

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 pour l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Alimentaires

Option : Biochimie et Technologies Alimentaires

Formulation d'une farine-biscuit de sevrage sans gluten à base de Riz, Maïs et Pois Chiche

Présenté par : NAMOUS Hadjer

Devant le jury composé de :

Président : ZIDOUNE M. N.

Prof. I.N.A.T.A.A., Univ. Constantine 1.

Rapporteur : BENATALLAH L.

M.C. I.N.A.T.A.A., Univ. Constantine 1.

Examineurs : KHELIFI D.

Prof. SNV., Univ. Constantine 1.

OULAMARA H.

M.C. I.N.A.T.A.A., Univ. Constantine 1.

Année universitaire

2010 – 2013

Dédicace

Ce projet est dédié à:

- Mes parents que j'aime tout au monde,

- Mon mari

- Mes sœurs et frères

- Mes tantes

- Mes amis

En reconnaissance de leur aide, encouragements et gentillesse.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, Le Tout Puissant et Le Miséricordieux, de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme ma formation de Magister.

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 m'avoir proposé ce sujet et pour son esprit scientifique et ses précieux conseils et pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury et d'évaluer ce travail.

J'exprime mes vifs remerciements à Madame BENATALLAH Leila Maitre assistance à l'I.N.A.T.A.A. qui a accepté de m'encadrer. Je lui témoigne ici, de ma profonde gratitude et reconnaissance pour la patiente assistance, les savants conseils, orientations et suivis, qu'elle m'a prodigué. Soyez assuré de tout mon respect et de ma profonde gratitude.

Je tiens également à remercier :

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

Vifs remerciements à madame ELHADEF ELOKI son aide et ses conseils précieux.

Mes remerciements à tous ceux qui ont contribués de près et de loin à la réalisation de ce travail et à tous les amis et les collègues pour leurs encouragements et leur amitié.

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

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction.....1

Revue Bibliographique

I. Maladie cœliaque..... 3

I.1. Prévalence 3

I.2. Présentation chez les enfants..... 4

II. Sevrodiversification..... 5

II.1. Sevrage..... 5

II.2. Age d'introduction des aliments de sevrage 6

II.3 Quantité d'aliments de complément à apporter, nombre de repas..... 6

II.4 Consistance 7

III. Céréales et légumes secs 7

III.1. Riz..... 8

III.2. Maïs 10

III.2. Pois chiche..... 11

IV. Complémentation céréales – légumes 13

V. Biscuiterie..... 13

V.1. Principaux ingrédients et leurs effets..... 13

V.2. Pâtes biscuitières et Cuisson..... 16

V.3. Critères d'évaluation de la qualité du biscuit 20

Matériel et Méthodes

I. Préparation des matières premières.....22

I.1. Nature et origines des matières premières 22

I.2. Nettoyage et triage des graines 24

I.3. Mouture des graines et tamisage 24

II. Caractérisation physico-chimiques des farines employées.....24

II.1. Granulométrie de farines 24

II.2. Composition biochimique des farines..... 25

III. Choix des matières premières28

IV. Diagramme de fabrication28

IV.1. Pétrissage.....	29
IV.2. Mise en forme.....	30
IV.3. Cuisson	30
IV.4. Refroidissement et conservation	30
V. Construction des plans d'experiences.....	30
V.1. Plan de criblage de Plackett-Burman.....	31
V.2. Plan d'optimisation de Box et Wilson.....	33
VI. Caracterisation des farines-biscuits obtenues	35
VI.1. Volume spécifique	35
VI.2. Capacité et vitesse de réhydratation	36
VI.3. Apport calorifique et densité nutritionnelle	37
VI.4. Caractérisation rhéologique des bouillies	38
VII. Analyse sensorielle	39
VII.1. Test de classement par rang	39
VII.2. Test descriptif.....	39
VIII. Analyse statistique	40

Résultats et Discussion

I. Caracteristiques des matieres premieres	41
II. Caracteristiques physico-chimiques des farines	41
II.1. Granulométrie des farines	41
II.2. Composition biochimiques des farines	42
III. Formulation et fabrication des farines-biscuits sans gluten	45
III.1. Etude du plan de criblage Plackett-Burman	45
III.2. Optimisation de la fabrication des farines-biscuits sans gluten.....	52
IV. Densites énergétique et nutritionnelle optimales	59
V. Caractérisation rhéologique des points de vérification	61
VI. Evaluation sensorielle des farines-biscuits fabriquées	64
VI.1. Résultat du test de classement.....	64
VI.2. Elaboration des profils sensoriels.....	65
Conclusion et perspectives.....	69
Références bibliographiques	71
Annexes	

Liste des abréviations

- A** : Teneur en azote totale de la farine
- ACT**: Apport Calorifique Total
- AFNOR**: Association Française de Normalisation
- ANOVA**: Analysis Of Variance
- OAIC**: Office Algérien Interprofessionnel de Céréales
- B.Am**: Bicarbonate d'ammonium
- B.Sd**: Bicarbonate de sodium
- C**: Teneur en cendres de la farine
- CCD**: Central Composite Design
- CCLS**: Coopérative des Céréales et Légumes Secs
- D**: Désirabilité composite
- FAO**: Food and Agriculture Organization
- FM**: Farine de maïs
- FPC**: Farine de pois chiche
- FR**: Farine de riz
- G**: Teneur en glucides de la farine
- H**: Teneur en humidité de la farine
- K**: index de consistance
- L**: Teneur en lipides de la farine
- MG**: Matière grasse
- mPa**: milli-Pascal
- N**: poids moléculaire de l'atome d'azote
- n**: index du comportement de l'écoulement
- P**: Teneur en protéines de la farine
- p***: valeur de *p*
- Pa**: Pascal
- PAHO**: Pan American Health Organization
- R^2** : Coefficient de détermination
- s**: Seconde
- SG**: Sans gluten
- WHO**: World Health Organization.

Liste des tableaux

Tableau 1. Quantité d'énergie devant en moyenne être apportée par les aliments de compléments pour un enfant allaité et nombre de repas correspondant (BRIEND, 2009).....	6
Tableau 2. Catégories du riz selon le rapport longueur/largeur Selon la norme Codex Stan 198-1995 (FAO/WHO, 2007).....	8
Tableau 3. Composition en éléments nutritifs du maïs (% base sèche) (NOUT <i>et al.</i> , 2003).....	11
Tableau 4. Matières premières disponibles.....	22
Tableau 5. Générateur des matrices pour N = 8, 12, 16, 20, 24 essais dans le cas du plan Plackett-Burman.....	31
Tableau 6. Matrice d'expériences de Plackett et Burman pour l'étude de 11 facteurs avec 12 combinaisons.....	32
Tableau 7. Relation entre les niveaux codés et les niveaux réels utilisés dans le plan composite centré à 3 facteurs.....	34
Tableau 8. Matrice du plan central composite (CCD) à trois facteurs.....	35
Tableau 9. Rapports longueur/largeur des graines de maïs, riz et pois chiche.....	41
Tableau 10. Distribution granulométrique des farines	41
Tableau 11. Composition biochimiques des farines en % de la matière sèche	42
Tableau 12. Résultat des essais du plan Plackett-Burman pour les 11 facteurs étudiés....	45
Tableau 13. Résultats du plan central composite à trois facteurs.....	53
Tableau 14. Résultats d'optimisation par la fonction de désirabilité.....	57
Tableau 15. Résultats de confirmation du modèle avec les valeurs mesurées et les valeurs prédites des réponses étudiées.....	57

Tableau 16. Densités énergétique, nutritionnelle et complémentation céréales-légumes secs des farines-biscuits des points de vérification comparées aux témoins avec et sans gluten.....	60
Tableau 17. Paramètres d'Ostwald de Waele (k, n) des bouillies (logiciel Viscotester VT550 version 2.09).....	62
Tableau 18. Résultats du test de classement par rang.....	64
Tableau 19. Test ANOVA pour les notes ¹ des attributs des échantillons sous forme de biscuit.....	65
Tableau 20. Test ANOVA pour les notes ¹ des attributs des échantillons sous forme de bouillie.....	67

Liste de figures

Figure 1. Muqueuse intestinale d'une personne normale (A) et d'un malade coeliaque (B) (NEHRA <i>et al.</i> , 2005).....	3
Figure 2. Granule d'amidon de riz avec MEB grossissement $\times 280$ (BOURSIER, 2005).....	9
Figure 3. Granule d'amidon de maïs avec MEB grossissement $\times 280$ (BOURSIER, 2005).....	11
Figure 4. Granules d'amidon de pois chiche avec MEB (POLESI <i>et al.</i> , 2011).....	12
Figure 5. Changements physiques des biscuits pendant la cuisson. Clés; Couleur: ●—● ; épaisseur:— ; poids : ●●● (HAZELTON <i>et al.</i> , 2004).....	18
Figure 6. Diagramme de fabrication des farines-biscuits	29
Figure 7. Procédé de l'estimation de la capacité de réhydratation des farines-biscuits; V_i : volume d'eau initiale; V_r : volume d'eau restant, V_a : volume d'eau absorbé.....	36
Figure 08. Surfaces de réponse (gauche) et contours (droite) des valeurs de volume spécifique pour les couples: (a) farine de maïs et eau d'hydratation; (b) farine de pois chiche et eau d'hydratation; (c) farine de pois chiche et farine de maïs.....	54
Figure 09. Surfaces de réponse (gauche) et contours (droite) des valeurs de la vitesse de réhydratation pour les couples: (a) farine de maïs et eau d'hydratation; (b) farine de pois chiche et eau d'hydratation; (c) farine de pois chiche et farine de maïs.....	55
Figure 10. Optimisation par la fonction de désirabilité (MINITAB 15).....	56
Figure 11. Vue en haut et de l'avant de: (a) biscuit de commerce; (b) farine-biscuit témoin; (c) farine-biscuit SG optimum et (d) farine-biscuit SG hors optimum.....	58
Figure 12. Coupes transversales de nos Farines-Biscuits et du biscuit de commerce (vue binoculaire grandissement $\times 10$).....	59
Figure 13. Courbe d'écoulement pour les différentes bouillies fabriquées (optimum et hors optimum) comparées aux témoins du commerce blé et sans gluten (45°C/10 min).....	61

Figure 14. Courbe de viscosité apparente (μ) en fonction de la vitesse de cisaillement ($\dot{\gamma}$) pour les différentes bouillies fabriquées (optimum et hors optimum) comparées aux témoins du commerce blé et sans gluten (45°C/10 min).....**63**

Figure 15. Profil sensoriel des trois farines-biscuits et du biscuit de commerce présentés sous forme de biscuits.....**66**

Figure 16. Profil sensoriel de quatre biscuits et une farine infantile du commerce présentés sous forme de bouillie.....**68**

Introduction

La maladie cœliaque peut être définie comme une maladie inflammatoire de la partie supérieure de l'intestin grêle (*duodenum, jéjunum*) (WIESER, 2004). Son incidence croissante se manifeste par une demande croissante des produits sans gluten sur le marché tant international (GALLAGHER *et al.*, 2004a) que national (BENATALLAH, 2009).

En Algérie, peu de données sont disponibles sur la fréquence de cette maladie. Elle reste, cependant, dangereuse, à cause de ses complications dues surtout à l'inobservance du régime alimentaire, très contraignant (SAIDAL, 2010). Les données 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 (Guelma, Mila et Khenchla) (BENATALLAH, 2009) et de 0.97‰ dans la ville de Constantine (BOUASLA, 2011).

Par ailleurs, les produits diététiques du commerce destinés à cette tranche de population sont pour la plupart importés, onéreux, peu diversifiés, de texture et de goût peu appréciés (BENATALLAH, 2009). Aussi, les enfants en âge de sevrage dont les besoins nutritionnels ne dépendent plus que du lait maternel, atteints de la maladie cœliaque souffrent d'un manque d'aliments de consommation courante ne contenant pas de gluten (BENATALLAH *et al.*, 2004). Pour cela, et en termes de santé publique, la mise à disposition de farines sans gluten au début de la diversification de l'alimentation du nourrisson, ainsi qu'une bonne pratique alimentaire devraient contribuer à la diminution de la fréquence et de la gravité de la maladie cœliaque de l'enfant (BOUDRAA et TOUHAMI, 1997).

Ce présent travail s'inscrit dans le cadre de l'amélioration et la diversification des aliments de complément, pour les nourrissons et enfants en bas âge. Donc, dans le souci de présenter un aliment diététique et nutritif, le principal objectif de ce travail était la formulation d'une farine infantile sans gluten sous forme de biscuit, dite "farine-biscuit", à base d'une farine composite constituée par deux céréales, le riz et le maïs et une légumineuse (pois chiche), formule proposé par l'équipe T.E.P.A. (Transformation et Elaboration de Produits Agro-alimentaires).

Pour atteindre cet objectif nous avons procédé de la manière suivante:

- Caractérisation physico-chimique des matières premières;

- Détermination de l'effet des facteurs influençant sur le volume spécifique et la vitesse de réhydratation des farines-biscuits à travers la réalisation d'un plan d'expérience de criblage (du Plackett-Burman);
- Optimisation du volume spécifique et de la vitesse de réhydratation de notre formule par un plan d'expérience central composite;
- Caractérisation de l'optimum sur les plans nutritionnel, énergétique, et rhéologique;
- Evaluation sensorielle des farines infantiles sans gluten présentées sous les deux formes prévues: biscuit et bouillie.

La première partie de ce manuscrit est consacrée à la description des données bibliographiques relatives à la maladie cœliaque et sa prévalence chez les enfants, à la sevrodiversification, aux céréales et légumes secs et à la technologie biscuitière. La seconde partie se focalisera sur la méthodologie. Les résultats obtenus sont comparés et discutés. Enfin, la dernière partie est consacrée à la conclusion générale et aux perspectives.

Revue
Bibliographique

I. Maladie cœliaque

I.1. Prévalence

La maladie cœliaque est une intolérance intestinale permanente au gluten du blé et des prolamines équivalentes des autres céréales réputées toxiques telles que le seigle et l'orge (CLOT *et al.*, 2001 ; WIESER, 2004). La consommation de ces protéines chez les sujets prédisposés entraîne une réponse auto-immune au niveau de la muqueuse intestinale (MATUCHANSKY, ROUSSEAU *et MORIN*, 2004 ; NEHRA *et al.* 2005). Elle se traduit par une atrophie de la muqueuse du grêle proximal menant à la malabsorption de plusieurs éléments nutritifs importants comprenant le fer, l'acide folique, le calcium et les vitamines liposolubles (GALLAGHER *et al.*, 2004a). Cette malabsorption peut à son tour donner lieu à une malnutrition aux symptômes très divers.

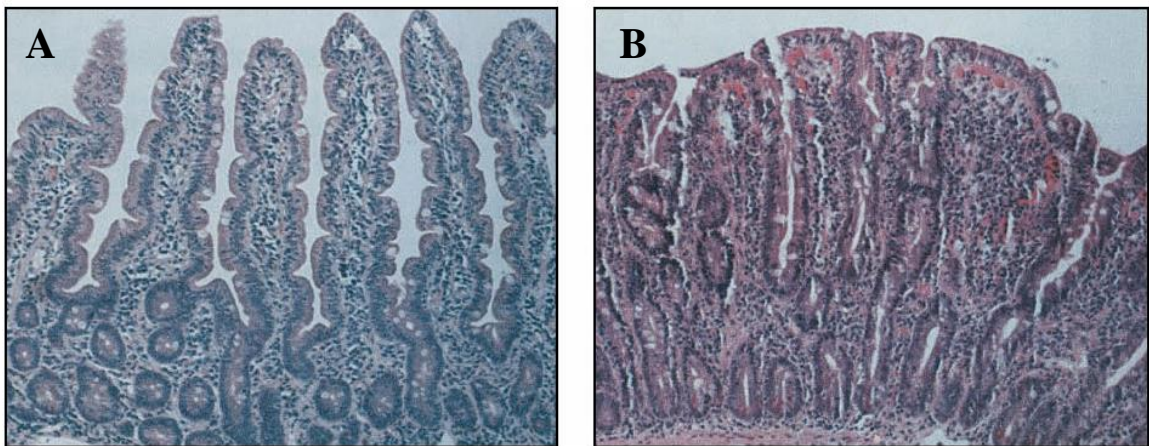


Figure 1. Muqueuse intestinale d'une personne normale (A) et d'un malade coeliaque (B) (NEHRA *et al.*, 2005)

Plusieurs études récentes ont montré que cette maladie est une des troubles perpétuelles les plus courantes qui affectent les personnes dans plusieurs parties du monde. Actuellement, la plus part des cas restent non diagnostiqués, et cela est due à l'absence des symptômes typiques (CATASSI *et FASANO*, 2008). La répartition de la maladie cœliaque dans le monde est apparemment associée à la consommation des céréales contenant du gluten (MANKAĬ *et al.*, 2006). Sa prévalence est estimée à environ 1/300 en Europe et aux États-Unis avec beaucoup de cas diagnostiqués à l'âge adulte (ADMOU *et al.*, 2009). On le trouve de plus en plus dans les endroits du tiers monde. Une prévalence élevée a été indiqué au Moyen Orient et également en Afrique du Nord dont la plus élevée a été décrite

chez les Saharawi, une population africaine d'origine Arabe-Berbère (CATASSI *et* FASANO, 2008 ; CURETON *et* FASANO, 2009).

En Algérie, nous ne possédons pas encore de données actuelles précises sur l'ampleur de la maladie cœliaque. Il existe très peu de travaux relatifs à la maladie. Les seules données à notre disposition sont celles de BOUDRAA *et al.* (2008) à Oran dont la prévalence de la maladie cœliaque symptomatique au 31/12/2007 pour des enfants de moins de 15 ans était de estimée environ 1,09%. Les autres données disponibles sont celles de BENATALLAH (2009) dans l'est algérien ou la prévalence moyenne calculée, en 2003, sur trois villes (1,4% à Guelma, 1,7% à Mila et 0,88% à Khanchela) est au moins 1,33%. Aussi, dans l'enquête menée par BOUASLA (2011), la prévalence de la maladie dans la commune de Constantine en 2008 a été d'au moins 0,97%.

I.2. Présentation chez les enfants

Chez les enfants cœliaques, la maladie peut se présenter essentiellement par des formes cliniques atypiques ou silencieuses, avec des symptômes extradigestifs fréquents, conduisant au retard diagnostique et exposant les malades à de complications parfois graves. Ces troubles peuvent contribuer considérablement à la morbidité et à la mortalité infantile dans beaucoup de pays en développement (CATASSI *et* FASANO, 2008 ; CURETON *et* FASANO, 2009). Les manifestations cliniques dites classiques de la maladie sont: la diarrhée, la distension abdominale, et le retard de croissance. Cependant, le vomissement, l'irritabilité, l'anorexie et même la constipation sont courantes. Ces manifestations varient avec l'âge de l'enfant aussi bien que s'il y avait une pratique d'allaitement. Les enfants plus âgés présentent souvent des manifestations extra-intestinales, telles que les petites tailles, les symptômes neurologiques ou l'anémie (GREEN, 2009).

Des études épidémiologiques récentes indiquent que la maladie cœliaque est commune chez les enfants, et sa prévalence est entre 1:300 et 1:80 (GALLAGHR, 2008). D'autres suggèrent que le modèle nutritionnel des enfants peut avoir un rôle critique dans le développement de la maladie et autres désordres auto-immuns (CATASSI *et* FASANO, 2008).

En Algérie, une étude rétrospective menée au CHU d'Oran (1975-2007) a montré que la prévalence de la maladie coeliaque symptomatique était de 109 pour 100 000 enfant de moins de 15 ans, soit 1 cas pour 917 enfant âgés de moins de 15 ans. Chez

les enfants de moins de 2 ans, les manifestations cliniques dites classiques sont la diarrhée, les vomissements, l'abdomen ballonné, les troubles du développement (fatigue, irritabilité), la faiblesse musculaire, l'anorexie (MAZICHI *et* KHIARI, 2010).

II. Sevrodiversification

La sevrodiversification est une combinaison entre le sevrage et la diversification de l'alimentation (BOGGIO, 2005) indique une introduction de nouveaux aliments aux nourrissons tout en continuant l'allaitement.

Pendant les premiers six mois, le lait maternel seul permet de couvrir les besoins nutritionnels des nourrissons et c'est pour cela que l'OMS et l'UNICEF recommandent actuellement l'allaitement maternel exclusif pendant cette période (BRIEND, 2009). Mais au-delà, les enfants ont besoin d'autres sources alimentaires afin que le bon développement soit assuré. Il est donc crucial de donner aux nourrissons des aliments complémentaires sûrs, adaptés et en quantité suffisante pour que la transition entre l'allaitement et la consommation de la nourriture familiale se passe bien. La période de la sevrodiversification débute habituellement à partir de 6 mois jusqu'à 24 mois. C'est un moment critique parce que c'est l'âge des insuffisances de certains micronutriments, et des maladies infantiles courantes telles que la diarrhée (DEWEY, 2005).

La relation entre l'âge d'introduction de gluten et le risque de la maladie cœliaque est encore controversé. Cependant, les céréales contenant du gluten et les prolamines équivalentes doivent être introduites dans le régime alimentaire des enfants après l'âge de six mois (CATASSI *et* FASANO, 2008). Pour cela, la mise à disposition de farines sans gluten au début de la diversification de l'alimentation du nourrisson, ainsi qu'une bonne pratique alimentaire devraient contribuer à la diminution de la fréquence et de la gravité de la maladie cœliaque de l'enfant (BOUDRAA *et* TOUHAMI, 1997).

II.1. Sevrage

Le sevrage implique la cessation de l'allaitement maternel. Cependant, le mot « Sevrage » est souvent utilisé pour indiquer le processus pendant lequel de nouveaux aliments sont introduits dans le régime alimentaire de l'enfant quand le lait maternel seul ne satisfait plus ses besoins nutritionnels. L'ensemble de ces aliments est désigné par le terme « Aliments de Sevrage » ou « Aliments complémentaires » (DEWEY, 2005) qui doivent varier dans la consistance, dans la forme et dans la constitution en nutriments avec l'âge de nourrissons. C'est ainsi qu'essentiellement liquide au départ (alimentation lactée),

elle se transforme progressivement pour devenir semi-liquide (bouillie), semi-solide (purée), puis solide (plat familial) (MASSAMBA et TRECHE, 1994).

Ce processus de sevrage est par excellence une période de transition marquée à la fois par des modifications qualitatives et quantitatives des pratiques. Il s'agit donc d'un processus complexe, multidimensionnel, dépendant de l'âge de l'enfant et de multiples déterminants (DELPEUCH, 1995)

II.2. Age d'introduction des aliments de sevrage

L'allaitement exclusif dès la naissance jusqu'à 6 mois, a plusieurs avantages pour les nourrissons et les mères. C'est surtout l'action protectrice contre des infections gastro-intestinales infantiles (PAHO/WHO, 2003).

La période qui s'étend de l'âge de 6 à 24 mois est appelée «période de l'alimentation de complément» plutôt que «période du sevrage» pour bien souligner que l'allaitement doit être continué durant cette période, si possible jusqu'à l'âge de deux ans, ou même au-delà, et pendant laquelle l'enfant est particulièrement vulnérable sur le plan nutritionnel. C'est dans cette tranche d'âge que la prévalence de la maigreur est la plus élevée et que les retards de croissance en taille apparaissent (BRIEND, 2009).

II.3 Quantité d'aliments de complément à apporter, nombre de repas

La sevrodiversification commence avec de petites quantités qui sont augmentées avec l'âge, tout en continuant l'allaitement. Les besoins énergétiques des aliments complémentaires des enfants avec une consommation moyenne du lait maternel dans les pays en développement est environ 200 kcal/jours à l'âge de 6 – 8 mois, 300 kcal/jours à 9-11 mois, et 550 kcal/jour à 12-23 mois (WHO/UNICEF, 1998). Dans les pays industrialisés, ces estimations varient à cause des différences dans la consommation moyenne du lait maternel (130, 310, et 580 kcal/jours à 6–8, 9–11, et 12–23 mois, respectivement) (PAHO/WHO, 2003 ; DEWEY, 2005).

Tableau 1. Quantité d'énergie devant en moyenne être apportée par les aliments de compléments pour un enfant allaité et nombre de repas correspondant (BRIEND, 2009).

Tranche d'âge (mois)	Quantité d'énergie (kcal/jour)	Nombre de repas par jour
6 – 8	200	2 à 3
9 -11	300	3 à 4
12 – 23	550	3 à 4

La fréquence avec laquelle les aliments complémentaires doivent être introduits (c.-à-d., le nombre de repas par jour) dépend de la quantité d'aliments totale exigée et de la capacité gastrique de l'enfant. Cette quantité d'aliments totale exigée est fonction de la quantité d'énergie requise et la densité énergétique des nourritures (g/1 kcal) (DEWEY, 2005).

II.4 Consistance

A l'âge de 6 mois, l'enfant a un système digestif qui a une maturité suffisante pour digérer la plupart des aliments consommés par la famille. En raison cependant d'une capacité limitée à mastiquer, les aliments doivent être écrasés ou réduits en bouillies avant d'être donnés à l'enfant (BRIEND, 2009). Donc, il faut que la consistance des aliments offertes soit augmentée et variée graduellement, avec l'âge (entre 6 à 12 mois), en s'adaptant à leurs exigences et capacités afin d'apparier le développement des enfants. Cette consistance doit être convenable au stage de développement neuromusculaire de l'enfant (DEWEY, 2005).

Dès l'âge de six mois les enfants peuvent manger des aliments sous forme de purée, écrasés et semi-solides. A l'âge de 8 mois, la plus part des enfants peuvent aussi manger les « *finger foods* » (casse-croûtes que les enfants peuvent consommer tous seuls). A l'âge de 12 mois, ils peuvent digérer la plupart des aliments consommés par la famille (PAHO/WHO, 2003).

III. Céréales et légumes secs

Les céréales occupent une place très importante dans l'alimentation humaine quotidienne (GUPTA *et* VARSHNEY, 2005). Dont les principales cultivées dans le monde sont : le blé tendre (*Triticum aestivum*) ; le blé dur (*Triticum durum*) ; le riz (*Oryza sativa*) ; et le maïs (*Zea mays*). Les grains de céréales contiennent, 10 à 15% de l'eau ; 70 à 76% de glucides, 8 à 12% de protéines ; des vitamines du groupe B, PP, pantothénate de calcium ; des éléments minéraux et des fibres (NOUT *et al.*, 2003).

L'amidon, composant majeur, présente la principale source d'énergie. Bien que la composition des protéines soit déficiente en lysine, les céréales sont en générale consommées avec les autres sources des protéines ayant une composition en acides aminés complémentaires. La teneur relativement faible en matière grasse des graines de céréales est un avantage diététique, particulièrement une fois ajoutée aux polysaccharides non-amylasés, qui sont une source importante de fibres alimentaires (WRIGLEY, 2004).

Pour les malades cœliaques, le régime alimentaire doit être exclu de toute source de prolamines (régime sans gluten). Pour cela le riz et le maïs sont la base de toute préparation alimentaire pour ces personnes. Ces deux céréales cultivées depuis longtemps sont parmi les céréales les plus consommées en Afrique, sous forme de bouillie, de pâte, de couscous, de boisson ou de galettes qui constituent les plats coutumiers de ces régions. Toutes ces préparations traditionnelles sont à base de farine, de semoules plus ou moins grossières obtenues généralement après décorticage et mouture des grains (NOUT *et al.*, 2003).

Les légumes secs, y compris les haricots et le pois chiche, sont unes des plus importantes cultures dans le monde à cause de leur qualité nutritionnelle. Elles sont des sources importantes des complexes de carbohydrates, de protéines, de vitamines et de minéraux (ABOU ARAB *et al.*, 2010; MOHAMMED *et al.*, 2011). Ce sont de bonnes sources de lysine, complétant ainsi utilement les céréales ou la lysine est un acide aminé limitant (FAO 1982).

III.1. Riz

Le riz est le produit de consommation le plus important dans le monde (GUIMARÃS, 2009). Il constitue la denrée alimentaire de base de plus de la moitié de la population du globe. Une vingtaine d'espèces du genre *Oryza* ont été identifiées, mais la presque totalité du riz cultivé est de l'espèce *Oryza sativa L.*

Selon le codex standard 198-1995, le riz se présente en grains entiers et en brisures provenant de l'espèce *Oryza sativa L.* Il est classé dans des catégories selon le rapport longueur/largeur des grains en: grains longs, moyens et courts comme le montre le tableau suivant:

Tableau 2. Catégories du riz selon le rapport longueur/largeur Selon la norme Codex Stan 198-1995 (FAO/WHO, 2007).

	Catégorie selon le rapport longueur/largeur		
	Grain long	Grain moyen	Grain court
Riz décortiqué ou riz décortiqué étuvé	3,1 ou plus	2,1 – 3,0	2,0 ou moins
Riz usiné ou riz usiné étuvé	3,0 ou plus	2,0 – 2,9	1,9 ou moins

De toutes les céréales c'est le riz qui a la teneur la plus faible en protéines ayant la plus forte digestibilité cela étant probablement dû en partie à sa faible teneur en fibres

alimentaires et en tanin. Il est principalement consommé sous forme de grain blanche (blanchi), mais dans la dernière décennie, des douzaines de produits contenant le riz entant qu'ingrédient apparaissent dans le marché des aliments (JULIANO, 1994).

La composition du grain de riz dépend des facteurs environnementaux, des variétés cultivées et des traitements,etc. Cependant, les carbohydrates sont les composants les plus abandonnés dans le riz, avec approximativement 80% (14% d'humidité). L'amidon du riz est considéré non allergique à cause de la présence des protéines hypoallergique. Il détermine les propriétés physiques et fonctionnelles des grains de riz et ces propriétés sont largement dépendantes du rapport amylose/amylopectine qui varie en fonction de la variété. Les protéines font la seconde majeure partie après les carbohydrates, allant de 6.3 à 7.1g de Nx5.95. Les lipides présentent la fraction mineure, mais ils contribuent aux caractéristiques nutritionnelles, sensorielles et fonctionnelles, comme ils forment des complexes avec les chaines 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, les aliments infantiles, et les produits de la caisson-extrusion. Elle est considérablement employée pour les préparations des produits destinés pour les malades cœliaques (ROSELL *et* MARCO, 2008).

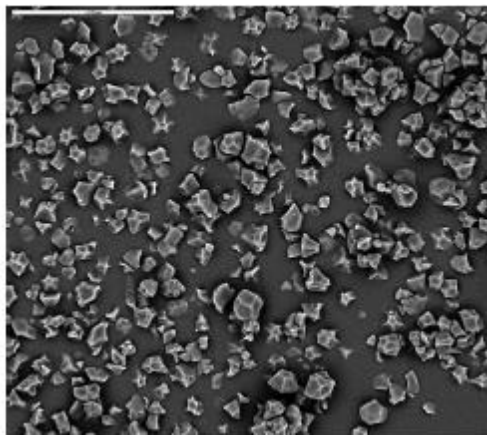


Figure 2. Granule d'amidon de riz avec MEB grossissement $\times 280$ (BOURSIER, 2005)

C'est la farine la plus appropriée de grains de céréale pour la production des produits sans gluten dus à son goût doux, couleur blanche, digestibilité, et propriétés hypoallergéniques. Cependant, malgré les nombreux avantages, ses protéines ont des propriétés fonctionnelles relativement faibles pour la transformation des produits alimentaires. Car et en raison de leur nature hydrophobe, les protéines insolubles de riz ne peuvent pas former la 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 des légumineuses en composition en acides aminés pour des régimes humains (JOULIANO, 2004).

III.2. Maïs

Dans les langues indiennes d'Amérique, le mot "Maïs" signifie littéralement «ce qui maintient en vie». Après le blé et le riz, c'est la céréale la plus répandue dans le monde. Sur le plan botanique, le maïs (*Zea mays*) est de la famille des graminées (SERNA-SALDIVAR, 2004). C'est une plante annuelle (WRIGLEY, 2004). Les grains sont le plus souvent de couleur blanche ou jaune, mais on trouve également de noirs, de rouges et de mélangés. Il fait partie du régime alimentaire d'un large groupe des personnes dans l'Amérique latine, l'Amérique du nord, l'Asie et l'Afrique (SERNA-SALDIVAR, 2004).

Le Maïs, inné en Amérique, est produit à l'échelle mondiale, surtout dans les régions tropicales et chaudes. Une seule espèce, mais plusieurs types importants de grain, le plus important commercialement est le maïs denté jaune (MORRIS, 2004).

Dans l'alimentation humaine, on peut utiliser le grain entier, parvenu ou non à maturité; on peut aussi le transformer au moyen des techniques de mouture sèche de manière à obtenir un nombre relativement important de demi-produits, tels que grits de maïs de différents calibres, farines et semoules de maïs. A leur tour, ces demi-produits trouvent de nombreuses applications dans des produits alimentaires très divers.

La qualité protéique de la farine complète de maïs était comparable à celle du blé en raison du grand germe qui a une forte teneur. La composition chimique après transformation en vue de la consommation est un aspect important de la valeur nutritive; elle est affectée par la structure physique du grain, par des facteurs génétiques et environnementaux, par la transformation et autres maillons de la chaîne alimentaire. Sur le plan nutritionnel, le maïs est tout à fait comparable aux autres céréales (FAO, 1993).

L'amidon de maïs a une température de gélatinisation légèrement supérieure à celle du blé et de seigle allant de 62°C jusqu'à 78°C (DELCOUR *et al.* 2010).

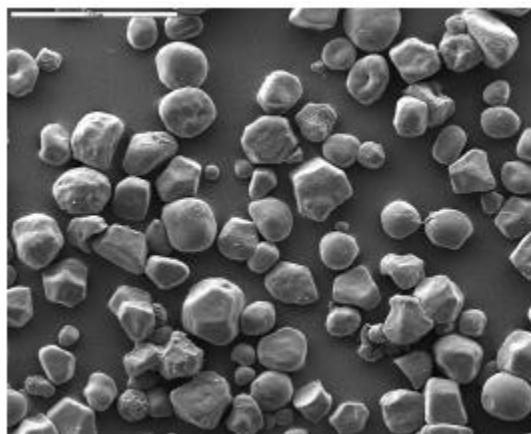


Figure 3. Granule d'amidon de maïs avec MEB grossissement $\times 280$ (BOURSIER, 2005)

Les grains de maïs cultivés en Algérie sont généralement impurs et mélangés. LAUMONT (1947), signale le maïs jaune ou blanc des landes et des variétés introduites de divers pays d'Espagne notamment. Le maïs local existe dans les oasis du sud (cas des oasis de la région d'Adrar), mais son existence se raréfie de plus en plus à cause du manque d'eau principalement (CHOUAKI *et al.*, 2007).

Tableau 3. Composition en éléments nutritifs du maïs (% base sèche) (NOUT *et al.*, 2003).

	Amidon	Protéines	Lipides	Fibres	Cendres
Maïs	73	7,4 – 12,3	3,7 - 5,8	3,2 – 3,5	1 – 2

III.3. Pois chiche

Le pois chiche (*Cicer arietinum L.*) est l'une des premières légumineuses à domestiquer par l'homme dans le Vieux Monde (SAXENA, 1990). C'est une légumineuse herbacée et annuelle (KNIGHTS, 2004). Et une des plus importantes dans le monde à cause de sa qualité nutritionnelle et cela est due à sa richesse en carbohydrates (index glycémique inférieur), protéines, vitamines et minéraux.

En raison de leur bonne balance en acides aminés, de la biodisponibilité protéique élevée (haute valeur de digestibilité protéique) et les niveaux relativement bas en facteurs antinutritionnels, les grains de pois chiche ont été considérés entant qu'une source convenable des protéines diététiques. Ils ont une grande taille, d'une couleur saumon-blanche, et contiennent des niveaux élevés des carbohydrates (41.10 - 47.42 %) dont l'amidon est la fraction principale représentant environ 83.9 %, et de protéines (21.70 -

23.40 %). La farine des graines décortiquées de pois chiche est utilisée dans la préparation de plusieurs plats et entant que supplément dans les aliments de sevrage, le pain et les biscuits (ABOU ARAB *et al.*, 2010). Les grains de pois chiche ont été utilisés fréquemment dans les soupes (Chorba et Harira), sauces (Couscous), plats(Tadjines), sandwiches (Karentika). Comme il a été aussi mélangé avec le café (LABDI, 1990).

L'importance de cette légumineuse dans l'alimentation humaine provient du fait que sa graine a une teneur élevée en protéines (environ 20%) avec une meilleure digestibilité protéique plus haute que celle de quelques autres légumineuses (exemple: 90.5% contre 62-68% pour le *Phaseolus vulgaris*), une propriété hypocholesterolémique. Elle n'a aucune activité hématogglutinante avec une faible activité antitrypsique. La composition en acides aminés du pois chiche complémente parfaitement celle des autres céréales, pour cela le pois chiche et les céréales sont une partie intégrale de plusieurs recettes alimentaires traditionnelles commune dans le bassin méditerranéen (SAXENA, 1990).

Le pois chiche est généralement d'une faible teneur en facteurs antinutritionnels tels les inhibiteurs d'amylases, dont les activités sont encore réduites par la cuisson. (KNIGHTS, 2004). En Algérie, où le marché du pois chiche de type *kabuli* est très porteur, l'accroissement de la production est limité par la faiblesse des rendements, rendant le pois chiche peu compétitif par rapport aux autres cultures. L'augmentation de la productivité par l'amélioration des techniques culturales et la création variétale devraient permettre le développement de la culture en Algérie (PLUVINAGE, 1990).



Figure 4. Granules d'amidon de pois chiche avec MEB (POLESI *et al.*, 2011).

Les granules d'amidon sont larges d'une forme ovale avec de petites granules sphériques, avec une surface lisse. D'un point de vue technologiques l'amidon de pois

chiche est intéressant dans l'utilisation des aliments qui demandent des viscosités chaudes comme les soupes; les porridges et autres; la température de gélatinisation de l'amidon du pois chiche est environ 64.6°C avec un bon gonflement (POLESI *et al.*, 2011).

Les amidons de légumineuse sont caractérisés par des niveaux élevés d'amylose (POLESI *et al.*, 2011).

IV. Complémentation céréales – légumes

Il est bien connu que les protéines végétales soient une alternative aux protéines des sources animales pour la nutrition humaine (ABOU ARAB *et al.*, 2010).

Généralement, 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'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 lysine, complétant ainsi utilement les céréales ou la lysine est un acide aminé limitant. Les légumineuses ajoutent à la céréale de base toute une gamme de saveur et de texture (FAO, 1982).

V. Biscuiterie

Le terme "biscuit" est dérivé du mot latin "*bis coctus*", qui signifie "cuit deux fois" (GALLAGHER, 2008). On peut décrire un biscuit entant qu'une matrice complexe constituée de plusieurs cavités avec différentes tailles et formes, qui sont formées pendant la cuisson quand les gaz de levée et la vapeur d'eau sont libérés. Ces cavités sont des porosités formées par l'expansion des bulles d'air (air pockets) piégées durant le pétrissage (FUSTIER, 2006). En fait, la texture des biscuits est attribuée en premier lieu à la gélatinisation de l'amidon et le sucre refroidi plutôt qu'à la structure protéine/amidon. Néanmoins, les biscuits sans-gluten commercialement disponibles, sont à la base des amidons pures (natives) et pour cela ils sont d'une qualité organoleptique inférieure (GALLAGHER, 2004a ; ARDENT *et al.*, 2009).

V.1. Principaux ingrédients et leurs effets

Les trois ingrédients de base pour la fabrication des biscuits sont: la farine, la matière grasse et le sucre (GALLAGHER, 2008 ; ARDENT *et al.*, 2009). Les différentes combinaisons de ses ingrédients donnent naissance à un large éventail de produits avec de

formes et de textures diverses (MAACHE-REZZOUG *et al.*, 1998a ; ARDENT *et al.*, 2009).

V.1.1. Farine

La farine de blé unique parmi toutes les céréales. Quand elle est mélangée avec de l'eau, ces composants protéiques forment un réseau élastique capable de piéger les gaz et de développer une structure ferme et mietteuse pendant la cuisson (ABDEL-AAL, 2009). Les teneurs en protéines des farines utilisées dans la fabrication des biscuits sont de 7% à 10% (HAZELTON *et al.* 2004) et une force boulangère "W" inférieur à 150. Si la teneur en protéine est inférieure à 7.5%, des problèmes de machinabilité de la pâte apparaissent, mais à 12% et plus, la pâte est trop élastique et se rétrécit beaucoup et les dimensions des biscuits sont difficiles à contrôler (FUSTIER, 2006).

Généralement, les farines utilisées pour la fabrication des biscuits sont obtenues après la mouture des graines de blé tendre, avec une faible teneur en amidon endommagé (GALLAGHER, 2008).

La valeur technologique d'une farine se juge d'après son aptitude à donner une pâte machinale, c'est à dire une pâte qui ne doit pas coller, mais doit résister à un certain degré de brisure et pouvoir s'étendre en couches minces sans se briser, sans craqueler à la surface, ni se rétrécir, ni se crêper et aussi donner un biscuit de qualité (FUSTIER, 2006).

L'élimination du gluten résulte en un problème majeur pour les boulangeries. Cependant, le développement du réseau glutineux dans les pâtes biscuitières est minime et indésirable (à l'exception de quelques "semi-sweet" biscuits qui peuvent avoir un système glutineux développé); la texture des biscuits après cuisson est attribuée à la gélatinisation de l'amidon et au sucre refroidi plutôt qu'à la structure protéine/amidon (GALLAGHER, 2004a).

V.1.2. Matière Grasse

La matière grasse est un ingrédient très important dans la fabrication des biscuits. Elle est d'habitude de nature semi-solide à température ambiante pour qu'elle se mélange bien et sans problème avec les autres ingrédients. Elle contribue à la plasticité de la pâte, joue le rôle d'un lubrifiant et influe la machinabilité de la pâte, et les qualités texturales et gustatives du biscuit après cuisson. La capacité de la matière grasse à disperser les constituants du mélange est dû à l'insolubilité dans l'eau de cette matière (MAACHE-REZZOUG *et al.*, 1998a).

La principale fonction de la matière grasse est la fabrication des produits plus tendre. Elle lubrifie la structure en se dispersant dans la pâte durant le pétrissage (GALLAGHER, 2008), ce qui empêche la formation du réseau glutineux, résultant en une matrice moins élastique (FUSTIER, 2006). La formation de ce réseau glutineux est inhibée si la matière grasse couverte la farine avant qu'elle s'hydrate. Après cuisson les propriétés organoleptiques désirées pour ces produits se caractérisent par une texture moins dure, une tendance à se fondre dans la bouche. Pour cela, la consistance désirée de la pâte peut être achevée en augmentant la teneur en matière grasse tout en diminuant la teneur en eau (GALLAGHER, 2008).

En grande quantité, l'effet lubrifiant de cet ingrédient est tellement grand que peu d'eau est nécessaire pour l'obtention d'un niveau faible de la consistance. Cependant, il faut noter que l'effet de la matière grasse sur la pâte et la qualité du biscuit n'est pas seulement fonction de sa composition mais aussi de celle de la farine et ses lipides natives (FUSTIER, 2006).

V.1.3. Sucre

Le sucre présent dans les biscuits affect le goût, les dimensions, la couleur, la dureté et la surface du produit fini.

L'effet du sucre sur le comportement de la pâte est un facteur important dans la fabrication des biscuits. En excès, le sucre cause un ramollissement de la pâte, due en part à la compétition entre le sucre ajouté et la disponibilité de l'eau dans le système. Il rend le produit cuit fragile comme il contrôle l'hydratation et tend à disperser les molécules des protéines et d'amidon ce qui résulte en une prévention de la formation d'une mass continue (MAACHE-REZZOUG *et al.*, 1998a) et une inhibition du développement du gluten pendant le pétrissage de la pâte.

Le saccharose est le sucre principal utilisé dans l'industrie biscuitière. En général, quand la taille des cristaux du sucre augmente, la taille et la symétrie des biscuits diminuent alors que l'épaisseur augmente (GALLAGHER, 2008). Et comme le sucre garde l'eau; il joue le rôle d'un durcisseur, et cause la cristallisation des cookies pendant le refroidissement ce qui les rend croustillant et friable (FUSTIER, 2006).

L'eau, considérée souvent tant qu'ingrédient, est un agent liant (FELLOW, 2000). Elle est essentielle pour la formation de la pâte, est nécessaire pour la solubilisation des autres ingrédients, pour l'hydratation des protéines et les carbohydrates et pour le développement du réseau glutineux. Elle a un rôle complexe, comme elle détermine l'état conformationnel des biopolymères, affecte la nature des interactions entre les différents constituants de la formule et contribue à la structuration de la pâte (FUSTIER, 2006). Elle est aussi un facteur essentiel dans le comportement rhéologique de ces pâtes (MAACHE-REZZOUG *et al.*, 1998a). N'importe quelle augmentation de la teneur en eau modifie le module élastique (G') et le module visqueux (G''), et diminue la viscosité. S'il y a peu d'eau, la pâte devient fragile à cause de la déshydratation rapide de la surface (FUSTIER, 2006).

V.2. Pâtes biscuitières et Cuisson

V.2.1. Formation de la pâte

Les différences dans la formulation; processus et attributs du produit fini sont fonction de la consistance de la pâte. Plusieurs types de biscuits existent, cependant, et malgré les différentes catégories, il y en a certaines exigences rhéologiques c'est-à-dire; la pâte doit être suffisamment cohésive pour être façonnée/formée, et ne pas être collante.

Le degré du développement du gluten est aussi un déterminant très important pour quelques types de biscuits (GALLAGHER, 2008). Une pâte trop élastique n'est pas désirée dans la fabrication des biscuits comme elle rétrécit après le laminage (MAACHE-REZZOUG *et al.*, 1998a)

Le pétrissage, parfois le malaxage, est employé afin de développer un produit avec des caractéristiques désirables plutôt qu'assurer l'homogénéité, cependant un pétrissage excessif peut altérer la pâte (FELLOWS, 2000).

Les pâtes biscuitières sont cohésives, mais sont moins extensibles et élastiques que les pâtes utilisées dans la fabrication des pains. À cause du réseau glutineux minime développé, la texture des biscuits après cuisson est attribuée à la gélatinisation de l'amidon et le sucre refroidi plutôt qu'au réseau protéine/amidon. Le développement du gluten est minime et sert seulement à fournir une cohésion pour le maintien et le façonnage. Les pâtes biscuitières sont suffisamment extensibles pour être laminées facilement, sans être élastiques ce qui prévient le rétrécissement après le découpage, cela est utile pendant l'emballage (GALLAGHER, 2008).

Il faut noter qu'une variation de 1% de la teneur en eau change considérablement les diverses caractéristiques rhéologiques de la pâte biscuitière. Ces caractéristiques sont très importantes comme ils influencent la machinabilité de la pâte et aussi la qualité du produit fini (MANOHAR et RAO, 1999).

Les étapes de pétrissage, d'oxydation des protéines et d'absorption d'eau jouent un rôle majeur dans la structure et les propriétés rhéologiques des pâtes (FUSTIER, 2006).

Pour la fabrication des biscuits sans-gluten, la farine de blé tendre doit être remplacée par autres ingrédients exemptes de gluten. Ces ingrédients ne remplacent pas uniquement l'amidon mais aussi les fractions protéiques (GALLAGHER, 2008).

V.2.2. Cuisson

La cuisson fait intervenir simultanément les transferts de chaleur et de matière (FELLOWS, 2000). De nombreuses modifications physiques et chimiques ont lieu au cours de la cuisson. Ces changements sont essentiellement d'ordre moléculaire et sont principalement causés par les transformations hydrothermiques qui affectent les constituants majoritaires de la pâte (cristallisation des sucres, gélatinisation de l'amidon, dénaturation des protéines, et auto-oxydation des lipides) (AIT AMEUR, 2006).

C'est une étape clé durant laquelle la pâte se transforme en un produit poreux digestible ayant une flaveur, sous l'influence de la chaleur (LARA *et al.*, 2011). Elle détermine les propriétés physiques du biscuit y compris les dimensions (diamètre et épaisseur), le poids et le teneur en eau du biscuit (CRONIN et PREIS, 2000).

Durant la cuisson, la viscosité de la pâte diminue, provoquant l'étalement et l'expansion dans toutes les directions. C'est à ce stage de la cuisson que la fonction critique des protéines de la farine de blé tendre (gliadine et gluténine) entre en action, et cela en diminuant l'expansion de la pâte (GALLAGHER, 2008).

Toutefois, la matière grasse se fond et le sucre se dissout ce qui augmente la fluidité, ainsi permet l'expansion du biscuit (SCHOBER, 2009).

Les réactions biochimiques et physico-chimiques dans la pâte biscuitière pendant la cuisson sont très complexes et elles concernent : la dénaturation des protéines, perte de la structure granulaire de l'amidon; fonte de la matière grasse, réaction de Maillard, expansion de la pâte résultant de l'évaporation de l'eau et aussi de l'expansion thermique des gaz (LARA *et al.*, 2011).

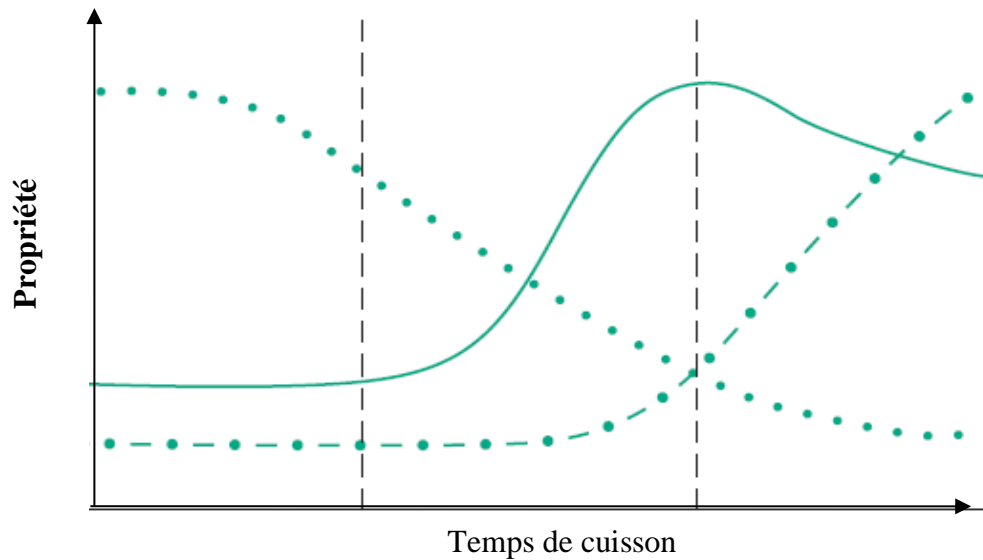


Figure 5. Changements physiques des biscuits pendant la cuisson.

Propriété: Couleur ●—● ; épaisseur: — ; poids ●●● (HAZELTON *et al.*, 2004).

a. Fonte des lipides et dissolution des sucres

Dès les premières minutes de cuisson la matière grasse fond et probablement même lors du repos de la pâte (AIT AMEUR, 2006) à des températures variant de 15°C à 50°C; ce qui est responsable des qualités plastiques de la pâte et promouvoir son étalement sous l'influence de la gravité (FUSTIER, 2006).

Le sucre présente une grande importance dans la définition de la résistance du biscuit à la fracture après la cuisson et sa capacité à la déformation suite au stockage, cet effet est attribué à la recristallisation du sucre durant cette période de stockage (AIT AMEUR, 2006). La moitié du sucre se dissout lors du pétrissage, et le reste se trouvant sous forme cristalline se dissout pendant la cuisson sous l'effet de la chaleur. Cela aussi augmente la fluidité et permet l'étalement de la pâte (FUSTIER, 2006).

La nature du sucre joue aussi un rôle dans le développement de la texture, en effet Sai MANOHAR *et al.*, (1997 et 2002) cité par AIT AMEUR (2006) montrent que le glucose et le sucre invertis influencent les caractéristiques rhéologiques de la pâte biscuitière, en particulier l'adhérence et la viscosité, alors que le sirop de fructose favorise le développement de la couleur.

b. Activation de la levure chimique

La levure chimique devient active à 55°C-70°C, libérant le CO₂ et NH₃; et la pâte s'étale dans toutes les directions (FUSTIER, 2006).

c. Modifications hydrothermiques de l'amidon

L'amidon est le constituant principal qui détermine la structure et la texture de plusieurs produits alimentaires à base de céréales. Sa température de gélatinisation est influencée par les niveaux élevés du sucre, attribuée à la limitation de la disponibilité de l'eau (DELCOUR *et al.*, 2010). C'est un polymère semi-cristallin et se présente sous forme d'un mélange de deux polymères de structures différentes : l'amylose (molécule linéaire) et l'amylopectine (molécule ramifiée).

Tout au long de la cuisson, le grain d'amidon va subir un ensemble de transformations correspondant à la perte de cristallinité, au gonflement et à la solubilisation. Pendant la gélatinisation, les granules d'amidon gonflent deviennent flexibles, certains éclatent et laissent diffuser l'amylose dans le milieu continu (MALOUMBA *et al.*, 2011). La température de la gélatinisation se situe entre 52°C et 95°C (FUSTIER, 2006).

Dans le cas de pâtes à biscuits (milieux peu hydratés : >20% base humide), les granules d'amidon sont peu altérés. Ces granules restent à l'état cru (BOURSIER, 2005). Toutefois il y a une hydrolyse partielle de l'amidon dans les milieux peu hydratés, qui permet à la fois de libérer le maltose (sucre réducteur), puis le glucose, qui peuvent ultérieurement réagir seuls sous l'effet de la chaleur pour donner des produits de caramélisation, ou avec les protéines pour donner les produits de Maillard (AIT AMEUR, 2006)

d. Dénaturation des protéines

Les protéines sont un constituant minoritaire de la farine de blé (8–10% du poids total), mais représentent un élément fonctionnel et nutritionnel important dans les produits céréaliers. La température de dénaturation dépend de la structure physico-chimique de la protéine. Pour les protéines de blé elle se situe entre 60 et 70°C (AIT AMEUR, 2006).

Une fois la température de la transition vitreuse est dépassée (dépendance humidité-température), le réseau protéique peut se développer, et cela est accompagné par une augmentation de la viscosité. Comme l'amidon est partiellement gélatinisé,

l'augmentation de la viscosité peut être attribuée aux propriétés des protéines. (FUSTIER, 2006)

Doescher *et al.* (1987) cité par (GALLAGHER, 2008) explique le phénomène par le fait que les protéines gonflent quand la température de la transition vitreuse est atteinte, une phase continue ou réseau se forme ce qui diminue la mobilité de l'eau et augmente la viscosité de la pâte, ainsi il arrête l'expansion de la pâte.

La pâte continue à se développer par la production et l'expansion thermique des gaz, jusqu'à ce que la viscosité de la pâte devienne trop élevée. La perte d'eau et la déshydratation du biscuit se continue jusqu'à une teneur en eau de 3% à 5%; avec une rigidification de la structure. Des fissures peuvent apparaître à la surface quand l'eau de la surface est évaporée et remplacée par l'eau qui diffuse de l'intérieur du biscuit. Le sucre qui n'est pas volatile, tend à être concentré, ce qui résulte en une cristallisation de la surface pendant la cuisson. La surface devient sèche avec apparition des fissures pendant que les agents de levée continue à promouvoir l'expansion; donnant au biscuit leur structure alvéolée (FUSTIER, 2006)

Finalement, la formation des dérivés de la réaction de Maillard, caramélisation du sucre et dextrinisation de l'amidon avec une modification de la couleur de la surface du produit et génération de la flaveur. Au même temps des modifications peuvent être observées dans les dimensions et la texture des biscuits due à la faible teneur en eau (3% - 5%). (FUSTIER, 2006)

V.3. Critères d'évaluation de la qualité du biscuit

Les attributs de la qualité les plus importants dans les aliments sont les caractéristiques sensorielles : la texture; la flaveur, l'arôme, taille et la couleur.

La qualité du biscuit, se traduit par une maîtrise rigoureuse des caractéristiques physiques (dimensions, couleur, humidité), apparence de la surface et de la texture (densité, dureté, résistance aux bris) (FUSTIER, 2006). Cette qualité est gouvernée par la nature et la quantité des ingrédients utilisés (MAACHE-REZZOUG *et al.*, 1998a).

Dans le cas des biscuits, la couleur et la texture sont des paramètres importants dont on doit contrôler.

V.3.1 Texture

Elle est déterminée principalement par la teneur en humidité, en gras et le types et les quantités des carbohydrates structurales (cellulose, amidons; pectines...etc.) et les

protéines présentes (FELLOWS, 2000). Elle influe considérablement la perception du consommateur.

L'expansion, un évènement pertinent dans la formation de la texture est déterminé par les propriétés rhéologiques de la pâte, qui dépend du comportement et interactions de ces composants et la solubilité du gaz dans la phase continue. Des expansions grande produisent une faible densité ce qui résulte en de biscuits de grandes porosité (LARA *et al.*, 2011).

Les dimensions physiques du biscuit sont gouvernées par le développement de la structure poreuse dans le four, et le poids et la teneur en eau du biscuit sont principalement contrôlés par l'évaporation d'eau pendant la cuisson (CRONIN et PREIS, 2000).

La résistance de la croute du biscuit à la déformation est un attribut textural dont on connaît sou le nom de la dureté et fermeté et c'est un facteur important dans les produits de panification comme elle est fortement corrélé avec la perception de la fraîcheur du biscuit. Pour cela, la texture est un critère de qualité important, ou la formation d'une miette tendre et flexible est désirée (LARA *et al.*, 2011).

Les propriétés de texture des aliments:

- une évaluation initiale de la dureté; la friabilité.
- une perception de la mastication et l'adhésion, l'humidité, si le produit est gras. avec une évaluation de la taille et la géométrie des particules de l'aliment.
- une perception de la vitesse de fracturabilité de l'aliment pendant la mastication, la libération de l'eau ...etc. (FELLOWS, 2000)

V.3.2 Couleur

La couleur est un facteur déterminant dans la définition de la qualité de n'importe quel aliment et elle est un trait que le consommateur remarque immédiatement comme elle influence l'impression sensorielle subjective (LARA *et al.*, 2011).

V.3.3 Goût, flaveur et arôme

Les attributs du goût sont le salé, le sucré l'amère et l'acidité. Les composants volatiles d'arôme sont produits sous l'effet e la chaleur, l'oxydation, l'activité non enzymatique sur les protéines, la matière grasse et les carbohydrates (ex. réaction de Maillard) (FELLOWS, 2000).

Matériel
&
Méthodes

L'objectif de ce travail est la formulation d'un aliment de sevrage sans gluten dite « farine-biscuit » à base de riz, de maïs et de pois chiche, visant comme consommateur final les enfants pendant le sevrage et ceux atteints de la maladie cœliaque.

I. Préparation des matières premières

I.1. Nature et origines des matières premières

Dans le tableau 4, nous présentons les matières premières que nous avons utilisées dans ce travail avec leurs prix correspondants. Il s'agit de la farine de blé tendre, le riz, le maïs, le pois chiche, la matière grasse, le sucre, le sel et les agents de levée (Bicarbonates de sodium et d'ammonium).

Tableau 4. Matières premières disponibles

Matière	Quantité (kg)	Prix unitaire (DA)
Farine de blé	2	40
Riz	12	70
Maïs	12	100
Pois chiche	7	-
Shortening	4	-
Sucre	2	60
Sel	1	40
Agents de levée	-	-
Eau distillée	Disponible à volonté	

I.1.1. Farine de blé tendre

La farine de blé tendre utilisée dans ce travail pour la fabrication de farines-biscuits témoins est achetée du marché local. Elle est conditionnée dans des sachets de 1 kg.

I.1.2. Riz

Le riz utilisé est un riz long, importé des U.S.A. Il est récolté en 2009 et importé par l'Office Algérien Interprofessionnel de Céréales (O.A.I.C.). On l'a acheté du C.C.L.S. de Constantine, en mai 2012.

I.1.3. Maïs

Le maïs est acheté du marché local où les malades cœliaques de la région de Mila ont l'habitude de s'approvisionner. C'est une production locale, de la région de Skikda et dont on ne connaît pas la variété. Il a été récolté en septembre 2012.

I.1.4. Pois chiche

Le pois chiche utilisé nous a été fournis par la ferme de TOURECHE de la région d'El-Khroub Constantine ayant un contrat avec le C.C.L.S. de Constantine. Il est de la variété ILC, récoltée en juillet 2012.

I.1.5. Matière grasse

La matière grasse utilisée dans la fabrication de nos farines-biscuits est un "Shortening", produit par la margarinerie « CEVITAL », Béjaïa.

I.1.6. Sucre

Le sucre employé est acheté du marché. C'est un sucre blanc cristallisé vendu sous le nom de "Skor" de la société "CEVITAL", Bejaïa.

I.1.7. Eau

L'eau utilisée dans les essais préliminaires d'hydratation de nos farines et dans la fabrication des farines-biscuits et la préparation des bouillies est une eau distillée d'un $\text{pH} = 6.5 \pm 0.14$.

I.1.8. Sel

Le sel utilisé est un sel fin iodé du commerce, produit par l'Entreprise Nationale Algérienne du Sel (E.N.A.Sel).

I.1.9. Agents de levée

Le bicarbonate d'ammonium (NH_4HCO_3) utilisé est un produit chimique à usage alimentaire. Il nous a été fourni un industriel au niveau de Constantine. Alors que le bicarbonate de sodium (NaHCO_3) a été acheté du marché local.

I.1.10. Biscuit du commerce et farine infantile du commerce

Notre biscuit témoin du commerce auquel sont comparés nos farines-biscuits est composé de: la farine de blé tendre, le sucre, la graisse végétale, les poudres à lever (Bicarbonates de soude et d'ammonium), l'arôme de vanille, et le sel.

La composition de la farine infantile sans gluten du commerce est la suivante: 61% de céréales (farines de maïs et de riz), sucre, maltodextrine, graisse végétale, sel, lécithine de soja, vitamines et vanille.

I.2. Nettoyage et triage des graines

Afin d'éliminer les impuretés (grains endommagés, pierres, et corps étrangers : cailloux, graines étrangères, insectes, débris de plantes, etc...), les grains de riz, de maïs et de pois chiche ont subi un triage manuel.

Les grains de maïs et de pois chiche ont subis en plus, un lavage avec de l'eau pour éliminer les souillures de surface. Ils sont bien égouttés puis séchés à l'air libre.

I.3. Mouture des graines et tamisage

Les grains sont réduits en farine à l'aide d'un broyeur à meules (Rouiba, Algérie). Puis les broyats obtenus sont passés à travers un tamis ayant des mailles de l'ordre de 200 μm et dont le passant constitue la farine.

II. Caractérisation physico-chimiques des farines employées

II.1. Granulométrie de farines

Selon le CODEX STAN 152 -1985, l'appellation « farine » désigne tout broyat de granulométrie inférieur à 212 μm . Etant donné que la granulométrie d'une farine permet de prévoir son comportement lors de l'hydratation, il est préférable d'obtenir la farine la plus fine. En effet, la quantité d'eau absorbée ainsi que la vitesse d'absorption d'eau augmente avec la finesse des particules (COLAS et THARRAULT, 1997).

Dans ce travail, une prise d'essai de 100 g pour chacune des farines destinées à la production des farines-biscuits est passée à travers une série de tamis d'ouverture de maille décroissante (200, 150, 125, 100 et 75 μm). Les refus et les passants de chaque tamis sont pesés avec une balance technique (*Sartorius*) de précision 10^{-2}g .

II.2. Composition biochimique des farines

Nous avons effectué des dosages de l'humidité (H), des cendres (C), des protéines totales (P), des lipides totaux (L). Ces dosages permettent de calculer la teneur en glucides totaux (G) par soustraction.

II.2.1. Humidité

La teneur en eau des farines étudiées est déterminée selon la norme AFNOR NFV03-707 de juin 1989. Sauf pour la farine de maïs dont la norme utilisée est la norme NF V03-708 de mars 1976 (AFNOR, 1991) par un séchage d'une prise d'essai d'environ 5 g pour les farine de blé, de riz et de pois chiche et de 8 g pour la farine de maïs, entre 130 et 133 °C jusqu'à masse constante.

Le séchage est réalisé dans une étuve (Memmert) avec circulation d'air. Les pesées sont effectuées avec une balance analytique (Sartorius MC 210) ayant une précision de 10^{-4} g.

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

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

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

II.2.2. Lipides totaux

Le dosage des lipides totaux est réalisé selon le protocole défini par la norme AFNOR NFV03-713 de février 1984 (AFNOR, 1991). La mesure est effectuée selon les trois étapes suivantes :

- Hydrolyse d'une prise d'essai de 30 g avec de l'acide chlorhydrique 4 M afin de libérer les lipides liés aux protéines et aux glucides.
- Extraction de la matière grasse à l'aide d'un solvant organique (hexane) en présence d'éthanol.
- Élimination de l'hexane par séchage de l'extrait.

La teneur en lipides totaux (L) pour 100 g de produit humide est calculée selon la formule:

$$L = 100 \times \frac{mr}{m_0}$$

Où m_0 est la masse de la prise d'essai, mr est la masse du résidu de lipides extraits.

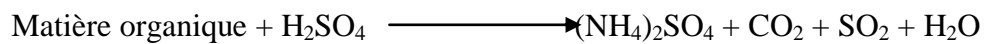
II.2.3. Matière protéiques

La teneur en protéines totales (P) est calculée après dosage de l'azote par la méthode de Kjeldahl décrite par la norme AFNOR NF V03-050 de septembre 1970 (AFNOR, 1991). Le principe de la méthode consiste en une minéralisation avec l'acide sulfurique ($d=1.83$) à chaud en présence d'un catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction, distillation de l'ammoniac libéré et titrage.

Les prises d'essai ont été fixées de façon à ce qu'elles renferment entre 0.005 g et 0.2 g d'azote et de préférence une quantité supérieure à 0.02 g.

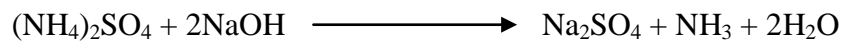
a. Minéralisation

La matière organique est détruite par l'acide sulfurique ($d = 1,84$) qui se combine avec ammonium est libéré (CHANG, 1998).



b. Distillation

L'ammoniac est déplacé de son sel par de la lessive de soude :



L'ammoniac libéré est déplacé par les vapeurs d'eau de la distillation. Le distillat est récupéré dans un volume connu d'acide borique (4 %).

c. Titration

L'ammoniac récupéré sous forme de borate d'ammonium est titré par de l'acide sulfurique 0,01 N en présence de l'indicateur coloré. Ce dernier est un mélange de bleu de méthylène et de rouge de méthyle. La titration s'achève au virage du milieu du vert au violet.

La teneur en azote totale A pour 100 g de produit humide est calculée selon la formule suivante:

$$A = \left(\frac{N \times D \times V \times 14}{1000 \times m_0} \right) \times 100$$

Où:

A : la teneur en azote totale exprimée en grammes pour 100 g de produit humide;

N: Normalité de l'acide titrant (acide sulfurique);

D: coefficient de la dilution de l'échantillon;

V: volume en ml de l'acide sulfurique;

14: masse atomique de l'azote.

m_0 : la masse de la prise d'essai.

Le coefficient de conversion de l'azote en protéines totales est de 5.7 pour la farine de blé tendre (FAO/WHO, 2007), et de 6.25 pour la farine de maïs et de la farine de pois chiche (RHEE, 2001; WELCH, 2005).

II.2.4. Taux de cendres

Les cendres correspondent au résidu restant après l'incinération de la matière organique dans les aliments (HARBERS, 1998). Pour les farines de blé, de riz et de maïs, nous avons adopté la norme AFNOR NFV03-720 de décembre 1981 avec une incinération à 900°C et la norme AFNOR NFV03-760 de décembre 1981 pour la farine de pois chiche, à 550 °C (AFNOR, 1991).

L'incinération est réalisée dans un four à moufle. La minéralisation est poursuivie jusqu'à combustion totale de la matière organique.

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 est la masse de la prise d'essai et mc est la masse du résidu après incinération.

II.2.5. Glucides totaux

La teneur en glucides totaux "G" en g pour 100 g de produit humide est calculée par différence:

$$G = 100 - (C+P+L)$$

Où: C : teneur en cendres ;

P : teneur en protéines totales ;

L : teneur en lipides totaux.

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 (R_f) sont exprimés sur base sèche selon la formule suivante:

$$R_f = X_i \times [100 / (100 - H)]$$

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

III. Choix des matières premières

La formulation de nos farines-biscuits est celle envisagée par l'équipe T.E.P.A. (Transformation et Élaboration de Produits Agroalimentaires) du Laboratoire de Recherche en Nutrition et Technologies Alimentaires (L.N.T.A.). Elle est à base de riz, de maïs et de pois chiche.

Le choix des matières premières repose sur le fait que le riz est le produit hypoallergénique sans goût utilisé pour les malades cœliaque (ROSELL et MARCO, 2008), cependant c'est un produit d'importation. Le maïs localement produit, est l'autre céréale disponible sur le marché et utilisée par les malades cœliaque algériens (BENATALLAH, 2009). Le choix du pois chiche repose sur les habitudes alimentaires, sachant que cette légumineuse se trouve dans la plus part des préparations culinaires algériennes, aussi les gâteaux (LABDI, 1990).

IV. Diagramme de fabrication

Le diagramme de fabrication (figure 06) adopté est celui de la biscuiterie Aurassienne (MAROUANA, W. de BATNA) cité par BENKADRI (2010), dans lequel le sucre puis la matière grasse (Shortening) sont introduits en premier. Un volume d'eau distillée contenant le bicarbonate d'ammonium (B. Am) et le sel (chlorure de sodium) est ensuite versé. La farine et le bicarbonate de sodium (B. Sd) introduite en dernier, sont tamisés afin de garantir un meilleur mélange. Les ingrédients sont mélangés tous ensemble. Après pétrissage, la mise en forme dans le moule est effectuée, puis les pâtons sont mis au repos puis sont envoyés vers le four pour être cuits.

Le choix de la forme "bâtonnet" (forme des biscuits de boudoir) est préféré à cause de la facilité de maintien par les jeunes enfants.

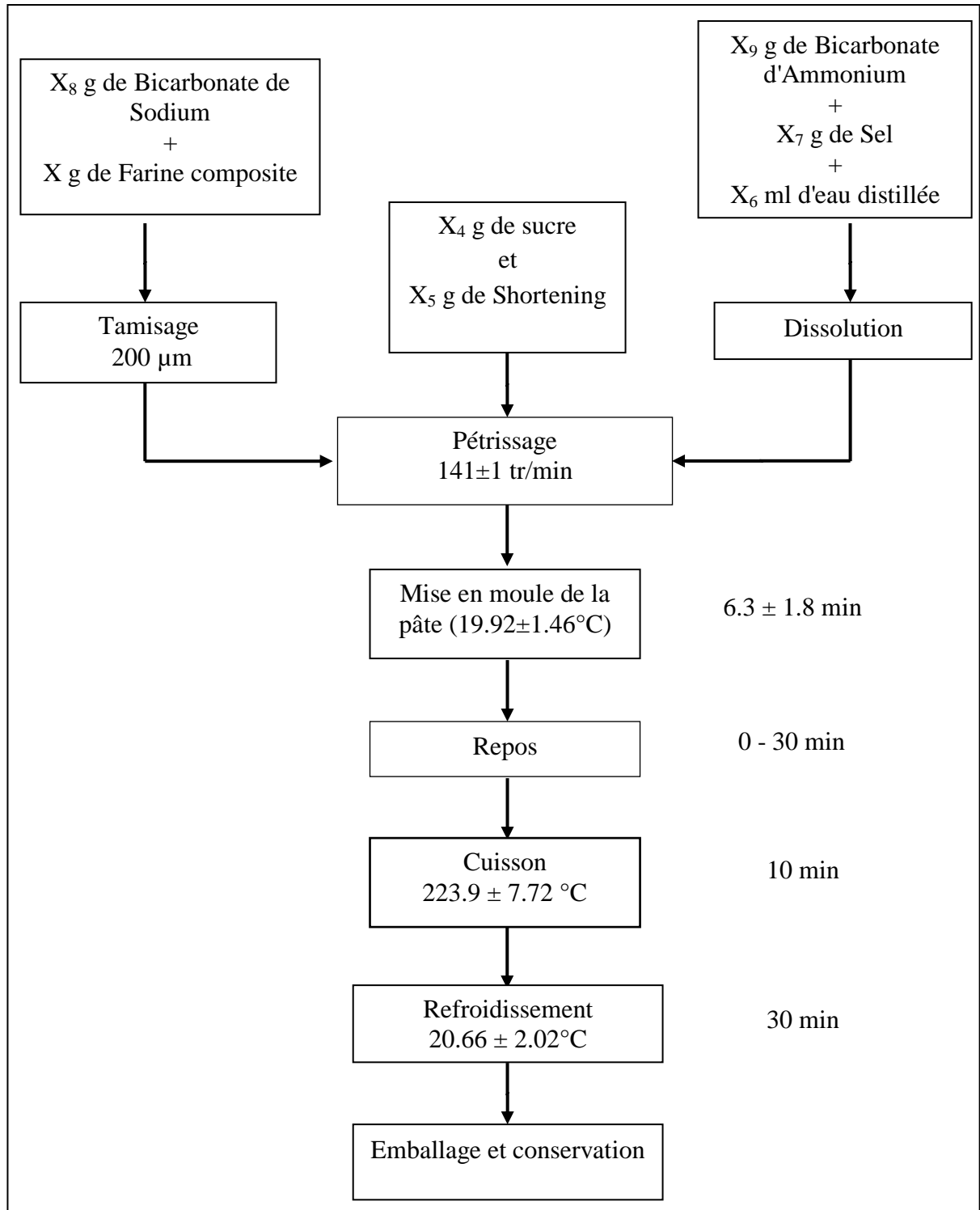


Figure 6. Diagramme de fabrication des farines-biscuits

IV.1. Pétrissage

Le pétrissage a été effectué dans un pétrin de marque BOMANN (Allemagne, 1200 W), à une vitesse fixé à 141 ± 1 tr/min (CONTAMINE *et al.*, 1995; MAACHE-REZZOUG *et al.*, 1998b). D'après les essais préliminaires effectués sur les formules sans

gluten utilisées, un intervalle de 8 à 15 minutes a été choisi pour effectuer les essais des plans d'expériences. Le minimum correspondant à 8 minutes a permis de donner une pâte homogène. Le temps maximum de pétrissage a été fixé sur la base du caractère collant de la pâte et la faisabilité. La température des pâtes est mesurée juste après le pétrissage à l'aide d'un thermocouple (DOSTMANN).

IV.2. Mise en forme

Le moule utilisé dans ce travail est un moule en silicone comprenant 10 empreintes. Chaque pâton correspond à un volume de 7.5 ml prélevée à l'aide d'une cuillère pâtissière.

IV.3. Cuisson

La cuisson a été effectuée dans un four ménager de marque EFBA (Turquie). Les farines-biscuits ont été cuits pendant 10 minutes, temps fixé sur la base d'essais préliminaires par l'estimation de la couleur de surface, à une température de 223.9 ± 7.72 °C. La température du four a été vérifiée avec le thermocouple avant chaque essai de cuisson. Un récipient contenant de l'eau bouillante a été placé au fond du four afin d'assurer une atmosphère humide pour éviter le dessèchement rapide des surfaces des farines-biscuits.

IV.4. Refroidissement et conservation

Après cuisson, les biscuits sortant du four sont refroidis à l'air libre à température ambiante (20.66 ± 2.02 °C) pendant 30 minutes puis emballés avec du papier film en plastique pour être conservés à température ambiante.

V. Construction des plans d'expériences

Pour la formulation de la farine-biscuit de sevrage sans gluten à base de riz, de maïs et de pois chiche, nous avons utilisé la méthodologie des surfaces de réponse. Un premier plan de criblage, de Plackett-Burman, a été employé pour la sélection des facteurs ayant un effet positif sur le volume spécifique et la vitesse de réhydratation. Un deuxième plan, Central Composite de Box-Wilson destiné à l'optimisation des facteurs significativement influents et d'une manière positive présélectionnés par le premier plan.

Les sorties des plans d'expériences choisis sont le volume spécifique et la vitesse de réhydratation des farines-biscuits obtenus

V.1. Plan de criblage de Plackett-Burman

Le plan d'expérience de Plackett et Burman est constitué de matrices carrées ne contenant que des éléments égaux avec un niveau haut (+1) et un niveau bas (-1). Dans cette étude, la matrice employée comprend 11 facteurs pour 12 essais. Le générateur de matrice de Plackett et Burman est donné dans le tableau 05. Les facteurs de la dernière combinaison étant toujours pris au niveau bas (-1) (VIVIER, 2002).

Tableau 5. Générateur des matrices pour N = 8, 12, 16, 20, 24 essais dans le cas du plan Plackett-Burman (VIVIER, 2002).

N = 8	+	+	+	-	+	-	-																		
N = 12	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-														
N = 16	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-										
N = 20	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-						
N = 24	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-

Les essais ont été effectués en double, afin d'estimer l'erreur expérimentale. Les effets principaux de chaque facteur sur le volume spécifique et la vitesse de réhydratation des farines-biscuits sont estimés comme étant la différence entre chacune des moyennes des mesures effectuées au niveau supérieur et au niveau inférieur (BENNAMOUN *et al.*, 2004 ; LEUȘTEAN *et al.*, 2010). Mathématiquement l'effet de chaque facteur est exprimé comme suit :

$$E = \frac{\sum \text{réponses au niveau (+)} - \sum \text{réponses au niveau (-)}}{n}$$

Où: E : Effet de chaque facteur ;

n : Nombre d'apparition du facteur au niveau supérieur ou inférieur.

La signification de chaque facteur est déterminée via le test-*t* de Student. Si le test-*t* est significatif, l'effet est donc dû au changement du niveau du facteur et non pas au hasard ni à l'erreur expérimentale. Ceci implique que le changement du facteur dans l'intervalle du niveau [inférieur - supérieur] entraîne un effet positif ou négatif sur la réponse.

Le choix du plan Plackett et Burman repose sur le fait qu'il soit adapté pour le criblage des facteurs étudiés. Notant que le nombre d'expériences dans notre cas par

exemple pour 11 facteurs est nettement moins élevé par rapport au plan factoriel complet : 12 essais contre 2048.

La matrice ci-après (tableau 6) est obtenue suivant la procédure décrite par PLACKETT et BURMAN (1946). Comme nous avons 11 facteurs le nombre d'essai est de 12. Ce nombre sera réduit en 10 essais car il y en deux essais (N° 9 et 12 N°) ne contiennent pas de farine.

Tableau 6. Matrice d'expériences de Plackett et Burman pour l'étude de 11 facteurs avec 12 essais.

Facteur N° Essai	X ₁ FR	X ₂ FM	X ₃ FPC	X ₄ Sucre	X ₅ MG	X ₆ Eau	X ₇ Sel	X ₈ Bc. S	X ₉ Bc. A	X ₁₀ Durée Pétri.	X ₁₁ Temps repos
1	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+
2	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-
3	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+
4	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+
5	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+
6	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-
7	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-
8	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-
9	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+
10	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-
11	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Niveau(+)	100	100	50	30	30	65	1.5	1	1.5	15	30
Niveau(-)	0	0	0	10	10	54	0.5	0.5	0.5	8	0

(-): niveau bas; (+): niveau haut;

FR : farine de riz ; **FM** : farine de maïs ; **FPC** : farine de pois chiche ; **MG** : Matière grasse ; **Bc. S** : Bicarbonate de sodium ; **Bc. A** : Bicarbonate d'ammonium ; **Pétri** : pétrissage.

Les niveaux haut et bas pour chaque facteur ont été déterminés en se basant sur les essais préliminaires.

La réponse expérimentale \hat{Y} s'écrit sous forme d'une équation du premier degré:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \varepsilon$$

Où: \hat{Y} : réponse expérimentale (variable expliquée);

β_0 : constante;

β_i : régresseur de la variable explicative X_i ;

X_i : variable explicative ;

ε : erreur expérimentale.

V.2. Plan d'optimisation de Box et Wilson

Le plan composite centré de Box et Wilson est adopté pour l'optimisation des facteurs significatifs permettant la production de farines-biscuits avec le meilleur volume spécifique et la meilleure vitesse d'hydratation possibles.

A l'issue du premier plan d'expérience nous avons sélectionné les facteurs significatifs et positifs sur les deux réponses (volume spécifique et vitesse de réhydratation) en vue d'optimisation. Le reste des facteurs ont été fixés sur la base de leurs niveaux donnant un effet positif.

Les facteurs entrant dans la construction du deuxième plan sont: la farine de pois chiche, la farine de maïs et l'eau d'hydratation.

Le plan composite centré permet d'exprimer les résultats sous forme d'un modèle quadratique présenté par une équation polynomiale du second degré (CARLEY et al., 2004; BRADLEY, 2007; KHURI et MUKHOPADHYAY, 2010; TAPANI TAAVITSAINEN, 2012):

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_{12} + \beta_{22} X_{22} + \beta_{33} X_{33} + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3$$

Où: \hat{Y} : réponse (volume spécifique/vitesse de réhydratation);

X_1, X_2, X_3 : formes codées des variables explicatives ;

β_0 : constante du modèle ;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$: coefficients linéaires;

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$: coefficients quadratiques;

$\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}, \beta_{123}$: coefficients d'interaction.

La relation entre les valeurs codées des variables et les valeurs réelles correspondantes est décrite par l'équation suivante :

$$X_i = (A_i - A_0) / \Delta A$$

Où : X_i : valeur codée du facteur ;

A_i : valeur réelle de ce facteur ;

A_0 : valeur réelle du même facteur au niveau central ;

ΔA : pas entre le niveau central et les niveaux ± 1 .

Dans le tableau 7, sont représentées les variables codées et réels correspondants.

Tableau 7. Relation entre les niveaux codés et les niveaux réels utilisés dans le plan composite centré à 3 facteurs.

Facteurs	Niveaux codés				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Farine de pois chiche (X_1)	10	18.11	30	41.89	50
Farine de maïs (X_2)	10	18.11	30	41.89	10
Eau d'hydratation (X_3)	54	55.62	58	60.38	62

$\alpha = 1.682$.

Dans le tableau 8, nous présentons la matrice des niveaux codés du plan central composite à trois facteurs de Box et Wilson.

Tableau 8. Matrice du plan central composite (CCD) à trois facteurs

Essai n°	X1	X2	X3
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1.682	0	0
10	1.682	0	0
11	0	-1.682	0
12	0	1.682	0
13	0	0	-1.682
14	0	0	1.682
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

VI. Caractérisation des optima de farines-biscuits

VI.1. Volume spécifique

La mesure de la densité permet de renseigner de façon satisfaisante sur les propriétés texturales des biscuits (THARRAULT, 1997 ; MANOHAR et RAO, 2002). Elle est notée comme paramètre important dans les industries biscuitières utile pour l'appréciation de la fraîcheur du produit. Une densité faible est souvent proposée en tant qu'index de qualité puisqu'on le lie à un meilleur développement (FUSTIER *et al.*, 2009) et par conséquent, des biscuits d'une plus grande porosité sont obtenus (LARA *et al.*, 2011) ayant un volume spécifique élevé. En outre, à un biscuit aéré correspond une texture qualifiée de "friable" (THARRAULT, 1997).

Le volume spécifique des farines-biscuits (cm^3/g) est mesuré la manière suivante : Prendre un récipient de volume plus grand que celui des farines-biscuits et le remplir à ras avec des grains solides sphériques de volume spécifique connu ($0,77 \text{ cm}^3/\text{g}$). Déterminer le volume spécifique de ce récipient en pesant son contenu en grains dans une balance technique (Sartorius, 10^{-2}g) et en mesurant son volume (50.3 ml). Pour la mesure en elle-même, on vide à moitié le récipient de son contenu en grains sphériques, on place notre farine-biscuit et on verse dessus le reste du contenu en grains. Après arasement de la surface de la boîte de mesure, on récupère les grains sphériques débordants. Leur volume spécifique correspond à celui des farines-biscuits.

VI.2. Capacité et vitesse de réhydratation

La vitesse de réhydratation serait un indicateur de désintégration rapide de nos farine-biscuit dans le milieu liquide.

Dans le but d'estimer la capacité et la vitesse de réhydratation de nos farines-biscuits, nous avons opté pour un test simple qui consiste à une immersion dans de l'eau. Un biscuit de poids connu est mis dans une poche en plastique perforée suspendu préalablement imbibé d'eau et égoutté. L'ensemble est immergé dans un volume d'eau initial " V_i " pendant des périodes de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 et 60 secondes, puis retiré puis laissé s'égoutter (figure 7).

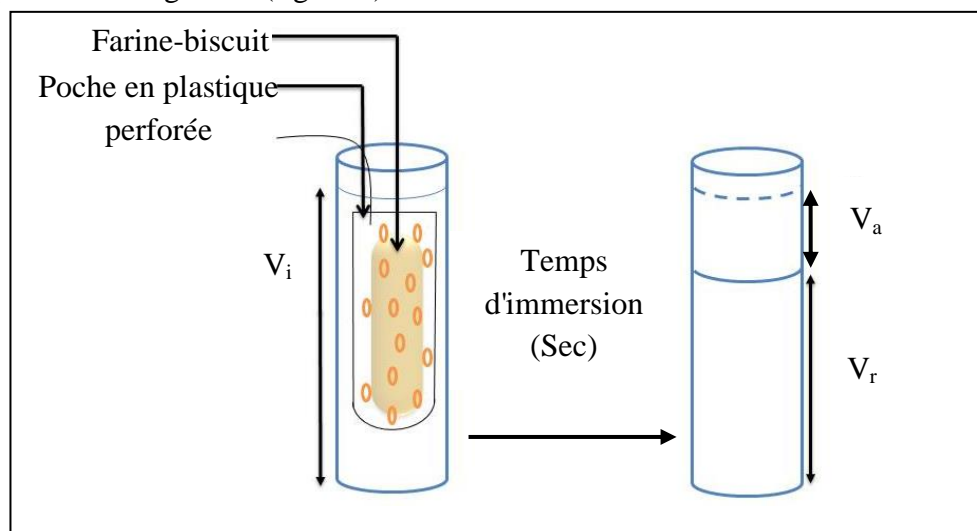


Figure 7. Procédé de l'estimation de la capacité de réhydratation des farines-biscuits; V_i : volume d'eau initiale; V_r : volume d'eau restant, V_a : volume d'eau absorbé.

Le volume d'eau restant dans le récipient " V_r " est noté. Le volume d'eau absorbé " V_a " par le biscuit est calculé par la formule suivante:

$$V_a = V_i - V_r$$

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de courbes de volume d'eau absorbée (ml) en fonction du temps d'immersion (sec). Les pentes à l'origine de ces courbes correspondent à la vitesse de réhydratation, calculées pour être utilisées comme réponse des plans d'expériences.

VI.3. Apport calorifique et densité nutritionnelle

L'apport calorifique total (ACT), exprimé en kcal, de nos formules biscuitières est déduit à partir des ingrédients énergétiques entrant dans la composition de chacune de la manière suivante:

$$\text{ACT} = \text{apport de la farine composite} + \text{apport du sucre} + \text{apport de Shortening}$$

L'apport calorifique des farines composites (riz, maïs et pois chiche) est calculé à partir de leur composition biochimique.

La valeur énergétique du sucre est égale à la quantité de sucre ajouté dans la formule multipliée par le coefficient 3.9 qui constitue le contenu énergétique d'un gramme de saccharose (FAVIER *et al.*, 1995). Les coefficients d'ATWATER correspondant à un gramme de lipides (9 kcal) et un gramme de protéines ou de glucides (4 kcal) (COX, 2005), ont été utilisés pour la conversion des quantités des nutriments énergétiques en énergie.

La densité énergétique (DE) est exprimée en kcal/ 100 g de produit. Pour nos formules, elle est estimée par la formule comme suit:

$$DE = (\text{ACT} \times 100) / (Q_{FC} + Q_S + Q_{Sh})$$

Où: DE: densité énergétique (kcal/100g);

ACT: Apport Calorifique Total (kcal);

Q_{FC} : quantité de la farine composite (g);

Q_S : quantité du sucre ajouté (g);

Q_{Sh} : quantité de la matière grasse ajouté (g).

La densité nutritionnelle (DN) en nutriments majeurs (protéines, glucides et lipides) est la quantité de ce nutriment apporté par 100 kcal de l'aliment (FAVIER *et al.*, 1995). Selon la norme CODEX STAN 074-1981, Rév. 1 – 2006, les teneurs maximales en lipides et en sucre simple ajouté doivent être respectivement de 3.3g/100 kcal et 5g/100kcal. Alors, les densités nutritionnelles présentées dans ce travail sont ceux des lipides (formule 1) et de sucre simple ajouté (formule 2), calculées comme suivant:

$$\text{DN}_{\text{lipides}} = [(\text{MG}_{\text{ad}} + \text{L}_{\text{FC}}) \times 100] / \text{ACT} \quad \text{Formule 1.}$$

$$\text{DN}_{\text{Sucre}} = (\text{Sucre}_{\text{ad}} \times 100) / \text{ACT} \quad \text{Formule 2.}$$

Où: $\text{DN}_{\text{lipides}}$: densité nutritionnelle en lipides (g/100kcal);

MG_{ad} : quantité de matière grasse ajoutée à la formule (g);

L_{FC} : teneur en lipides de la farine composite (g);

DN_{Sucre} : densité nutritionnelle en sucre (g/100kcal);

Sucre_{ad} : quantité de sucre ajouté à la formule (g);

ACT: Apport Calorifique Total de la formule (kcal).

VI.4. Caractérisation rhéologique des bouillies

L'objectif de notre travail est la formulation d'une farine-biscuit. Notre intérêt réside en son aptitude à être préparée sous forme de bouillies. Pour cela nous avons opté pour une caractérisation rhéologique des bouillies produites à partir des optima de nos farines-biscuits par l'étude des courbes d'écoulement ($\tau(\text{Pa}) = f(\dot{\gamma})$) et de viscosité apparente μ (mPa.s) en fonction de la vitesse de cisaillement $\dot{\gamma}$ (sec^{-1}). Les données sont comparées aux bouillies préparées à partir du biscuit et de farine infantile témoins du commerce.

Des proportions de (X g) de farine-biscuit/biscuit de commerce/farine infantile SG de commerce sont ajoutées à un volume X ml d'eau distillée à 75°C. La quantité en g de biscuit/farine infantile et celle en ml de l'eau distillée sont calculées en fonction de la teneur finale en matière sèche souhaitée pour la bouillie (proche de 15 g/100g de bouillie) (VAN HAO *et al.*, 2010). Cette teneur en matière sèche est déterminée par dessiccation à 105° C jusqu'à poids constant (mesures faites en double et la valeur moyenne est retenue).

La bouillie est laissée refroidir jusqu'à 45 °C. La viscosité apparente des bouillies est mesurée à l'aide d'un viscosimètre rotatif "HAAKE Viscotester VT 550"(Allemand), équipé d'un dispositif de mesure SV-DIN. La température de mesure est maintenue à 45 °C grâce à une enceinte thermostatée. Le test dure 10 min, conditions choisis selon ceux citées par MOUQUET et TRECHE, 2001:

- La température de 45°C correspond aux conditions de consommations des bouillies par les enfants,
- Le choix du temps de 10 minutes pour le test a pour but de réduire la variabilité de mesure liée à la nature non-newtonienne de la bouillie afin de prendre en considération le phénomène de fluidification « *shear-thinning* » et le phénomène thixotropique.

VII. Analyse sensorielle

La qualité sensorielle de nos farines-biscuits sous les deux formes de présentation (biscuit et bouillie) a été évaluée en appliquant deux tests sensoriels: le test de classement par rang, et le test descriptif tels que décrits par WATTS *et al.* (1991).

Le jury se compose de neuf sujets, qui sont des mères avec un âge moyen de 43.4 ans \pm 6.2. Des explications et des instructions ont été données aux dégustatrices avant le commencement de chaque test.

VII.1. Test de classement par rang

Quatre échantillons (farine-biscuit témoin, farine-biscuit sans gluten optimum, farine-biscuit sans gluten hors optimum et un biscuit du commerce "casse-croûte") ont été présentés simultanément à chaque dégustateur, codés avec des numéros aléatoires à 3 chiffres. Un volume d'eau tiède (150 ml) est mis à la disposition de chaque dégustateur en vue de tester l'instantanéité de préparation des bouillies. Nous avons demandé aux dégustateurs de classer les échantillons codés en fonction de la rapidité de préparation des biscuits sous forme de bouillies homogènes.

VII.2. Test descriptif

Deux séries (biscuits et bouillies) ont été présentées au panel de dégustation simultanément et d'une façon anonyme dans des récipients codés accompagnés chacun d'un verre d'eau et d'une cuillère pour chaque bouillies. La première série constituée de

quatre biscuits (farine-biscuit témoin, farine-biscuit sans gluten optimum, farine-biscuit sans gluten hors optimum et un biscuit de commerce), et la deuxième de cinq bouillies (trois issus des farines-biscuits et du biscuit de commerce, et une d'une farine infantile SG de commerce). Ensuite et sur une fiche, les dégustateurs sont demandés de noter sur une échelle de 1 à 7 l'intensité du descripteur sensoriel.

Le choix des descripteurs sensoriels du test descriptif a été effectué en fonction des premiers essais de dégustation de quelques mères de notre panel.

VIII. 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 R^2 et R^2 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 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 postériori ont été réalisés pour la détermination de la différence par paire.

Résultats

&

Discussions

I. Caractéristiques des matières premières

Le tableau suivant récapitule les rapports longueur/largeur pour les différentes graines de matières premières employées dans notre étude.

Tableau 9. Rapports longueur/largeur des graines de maïs, riz et pois chiche

	Graines de maïs	Graines de riz	Graines de pois chiche
Longueur/ largeur	1.52 ± 0.07	3.39 ± 0.09	1.14 ± 0.05

Les dimensions des grains des matières premières étudiées sont mesurées à l'aide de papier millimétré. Les mesures sont faites sur cinq lots de dix graines prises au hasard.

II. Caractéristiques physico-chimiques des farines

II.1. Granulométrie des farines

La détermination de la distribution granulométrique des farines permet d'avoir une idée sur la finesse des particules sachant que celle-ci joue un rôle important sur la vitesse d'hydratation et la quantité d'eau absorbée (COLAS et THARRAULT, 1997).

Tableau 10. Distribution granulométrique des farines

Classes des farines μm	Farine de blé tendre %	Farine de riz %	Farine de maïs %	Farine de pois chiche %
]200 - 150]	1.37 ± 0.30	15.58 ± 0.57		2.07 ± 0.12
]150 - 125]	6.98 ± 0.79	20.24 ± 0.93	< à 200 μm	4.51 ± 0.48
]125 - 100]	9.40 ± 0.33	14.75 ± 0.29	Les autres classes sont non identifiées	3.08 ± 0.30
]100 - 75]	44.12 ± 0.35	25.64 ± 0.46	du fait du colmatage du tamis	13.80 ± 0.25
<75	36.79 ± 0.27	22.12 ± 1.86		75.10 ± 0.59
Total	98.65 ± 0.15	98.34 ± 0.21		98.55 ± 0.05

Le tableau 10 présente la répartition des fractions granulométriques constituant les farines des différentes matières premières utilisées dans la formulation des farine-biscuits.

Les farines employées dans l'étude présentent plus de 98% des particules de dimensions inférieure à 200 µm.

Selon les résultats de classification obtenus, les différentes farines étudiées de blé, de riz et de pois chiche, se constituent principalement des particules de diamètre inférieur à 100 µm. Pour la farine de maïs, la classification granulométrique n'a pas été effectuée à cause de difficultés rencontrées lors de tamisage, vue le colmatage important observé au niveau des mailles de tamis empêchant le passage des particules de la farine.

La farine de pois chiche présente la fraction la plus fine (inférieur à 75 µm) avec un pourcentage de 75,10 %. Les farines de blé tendre et de riz présentent les fractions les plus élevées dans l'intervalle]200-75] µm avec respectivement 44,12 % et 25,64 %.

II.2. Composition biochimiques des farines

Les teneurs moyennes des farines utilisées dans ce travail sont récapitulées dans le tableau suivant

Tableau 11. Composition biochimiques des farines en % de la matière sèche

Composition (MS)	Humidité%	Protéines %	Lipides %	Cendres %	Glucides totaux %
Farine de riz	12.13 ± 0.14	7.72 ± 0.65	0.62 ± 0.07	0.50 ± 0.21	79.03
Farine de maïs	13.35 ± 0.07	9.90 ± 0.01	6.93 ± 0.01	2.03 ± 0.02	67.80
Faine de pois chiche	12.20 ± 0.14	22.18 ± 0.03	5.33 ± 0.04	2.69 ± 0.04	57.61
Farine de blé tendre	14.60 ± 0.14	9.88 ± 0.64	1.24 ± 0.01	0.64 ± 0.01	73.65

II.2.1. 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 la préservation des produits et sa connaissance est utile pour le calcul de la valeur nutritionnelle des produits alimentaires. Elle est aussi utilisée pour l'expression des autres déterminations analytiques (protéines; cendres, lipides...etc.) sur une base uniforme, base de matière sèche (BRADLY, 1998).

La teneur en eau de nos farines se situe entre 12.13 – 14.60% ce qui permet une bonne conservation de ces farines. En effet, selon la norme CODEX STAN 152-1985 (Rév. 1-1995) concernant la farine de blé tendre l'humidité maximale est de 15.5%. Donc la teneur d'eau de 14.60 ± 0.14 que présente notre farine de blé est en dessous de ces limites.

La farine de maïs présente une teneur en eau de 13.35 % qui est inférieure à 15%, teneur maximale donnée par le CODEX SATN 154-1985 (Rév. 1-1995) pour une farine complète de maïs.

La farine de pois chiche présente une teneur en eau de 12.20 % supérieure à celle trouvée par BENATALLAH (2009) et BENKADRI (2010), avec respectivement 10.77% et 11.13%. Alors que cette teneur pour la farine de riz est de 12.13 inférieure à celle rapportée par les mêmes auteurs avec des teneurs respectives de 13.15% et 13.45%.

II.2.2. Teneur en cendres

Le taux de cendres représente les résidus inorganiques restant après l'incinération de la matière organique dans les produits alimentaires. C'est le contenu total en minéraux (HARBERS, 1998).

Selon la norme CODEX STAN 154-1985 (Rév. 1-1995) concernant la farine complète de maïs, la teneur maximale en cendres est de 3% (MS). Alors que la valeur obtenue pour la farine de maïs utilisé dans le présent travail est de 2.03 %.

La faible teneur en cendres rapportée pour la farine de riz (0.5%) pourrait être due au fait que le riz utilisé pour la production de la farine soit décortiqué. Pour la farine de blé tendre cette teneur est de 0.64 %, alors que celle des farines de blé utilisées pour les biscuits se situent entre 0.45%-0.60% (FUSTIER, 2006).

Le taux de cendres pour la farine de pois chiche estimé de 2.69 % et proche de celui rapporté par SCHAKEL *et al.* (2004) et qui est de 2.82 %. Ce taux de cendre est le plus important que celui des autres farines (maïs et riz) et ce, probablement en raison de la présence des enveloppes connues pour leur richesse en minéraux.

II.2.3. Teneur en protéines

Selon la norme CODEX STAN 154-1985 (Rév. 1-1995) pour une farine complète de maïs, la teneur minimale en protéine (Nx6.25) est de 8 % (MS). Celle-ci est de 7% (MS) pour la farine de blé (N x 5.7), selon la norme CODEX STAN 152-1985 (Rév. 1-1995). D'après les résultats d'analyse de la composition biochimique de nos

farines, la teneur en protéines de la farine de maïs est de 9.90% et celle de la farine de blé tendre est de 9.80%. En comparaison avec les seuils minimaux donnés par les deux normes de CODEX citées en haut, ces deux farines se situent bien dans les limites fixées. SCHAKEL *et al.* (2004) rapportent une teneur en protéine de la farine de maïs de 9.33 %, ce qui est en dessous de nos chiffres.

Cependant, pour une farine de blé tendre utilisée dans la fabrication des biscuits la teneur désirable en protéine de cette farine doit être située entre 7.5 % et 9.0 % selon FUSTIER (2006).

La farine de pois chiche utilisée dans ce travail a une teneur relativement élevée en comparaison avec les autres farines. Cette teneur est proche de celle rapporté par SCHAKEL *et al.* (2004). Elle est de 22.18 % contre 22.22%. Cependant, elle est inférieure à celles rapportées par BENATALLAH (2009) et BENKADRI (2010) avec 24.88 % et 24.76 % respectivement.

La farine de riz présente la teneur la plus faible en protéine avec une valeur de 7.72% contre 5.95 %, valeur estimée par SCHAKEL *et al.* (2004) et 8.18 % selon BENKADRI (2010).

II.2.4. Teneur en lipides

La farine de maïs présente la teneur la plus élevée en lipides avec une valeur de 6.93%, ce qui est probablement dû à l'utilisation des grains de maïs non dégermé lors de la mouture. Elle est nettement supérieure à la valeur rapportée par SCHAKEL *et al.* (2004) et qui est de 3.77 %. Pour la farine de pois chiche, la teneur en lipides (5.33 %) est inférieure à celle rapporté par SCHAKEL *et al.* (2004) qui est de 6.68%. Celle-ci reste, cependant, supérieure à celles trouvées par BENATALLAH (2009) et BENKADRI (2010), avec 2.21 % et 3.45 % respectivement. La teneur en lipides de la farine de blé est de 1.24%, résultat concordant avec celui de la FAO (1982) rapportant une teneur en lipides pour les farines de blé tendre se situant entre 1 à 2 %. D'autre parts, celle de la farine du riz que nous avons utilisé est plus élevée (0.62 %) pour la même référence [0.3 à 0.5] %.

III. Formulation et fabrication des farines-biscuits sans gluten

III.1. Etude du plan de criblage de Plackett-Burman

Le plan Plackett-Burman a été employé pour le criblage des 11 facteurs étudiés afin de tirer ceux ayant un effet positif sur les deux réponses prévues dans ce travail qui sont, le volume spécifique et la vitesse de réhydratation des farines-biscuits.

Les onze facteurs étudiés (la farine de riz, la farine de maïs, la farine de pois chiche, le sucre, la matière grasse, l'eau d'hydratation, le sel, le bicarbonate de sodium, le bicarbonate d'ammonium, le temps de repos, et la durée de pétrissage) ont permis de mesurer deux réponses, le volume spécifique et la vitesse de réhydratation des farine-biscuits obtenues. L'analyse statistique a permis de mesurer l'effet de chaque facteur et son niveau de signification sur les réponses prévues. L'ensemble des résultats est synthétisé dans le tableau 12.

Tableau 12. Résultats des essais du plan Plackett-Burman pour les 11 facteurs étudiés.

Essai N° \ Réponse	Volume spécifique (cm ³ /g)	Vitesse de réhydratation (ml/s)
1	1.50 ± 0.03	5.99 ± 0.63
2	1.28 ± 0.02	5.08 ± 0.34
3	1.67 ± 0.01	7.26 ± 0.78
4	1.50 ± 0.06	4.32 ± 0.72
5	1.48 ± 0.02	4.14 ± 0.10
6	1.70 ± 0.01	6.69 ± 0.66
7	1.76 ± 0.13	5.01 ± 0.24
8	1.94 ± 0.01	6.65 ± 0.17
9	1.56 ± 0.02	5.43 ± 0.16
10	1.34 ± 0.01	2.48 ± 0.01
11	1.39 ± 0.00	6.70 ± 0.88
12	1.56 ± 0.02	5.43 ± 0.16

Parmi les 12 essais du plan Plackett-Burman, seul 10 ont été réalisés, et ce à cause de l'absence totale de la farine composant principal dans la fabrication des biscuits, dans les essais 9 et 12. Pour cela les données manquantes ont été remplacées par

imputation simple consistant à mettre à la place de ces données la moyenne calculée sur les données réellement observées (GLASSON-CICOGNANI et BERCHTOD, 2010).

III.1.1. Facteurs influençant le volume spécifique des farines-biscuits

Les résultats du plan montrent que le meilleur volume spécifique a été obtenu avec l'essai N° 9 ($1.94 \pm 0.01 \text{ cm}^3/\text{g}$), contre le plus mauvais avec l'essai N° 10 ($1.34 \pm 0.01 \text{ cm}^3/\text{g}$).

Le traitement statistique du plan Plackett-Burman a révélé que parmi les 11 facteurs étudiés, 7 facteurs s'avèrent avoir un effet significatif sur le volume spécifique. Ceux-ci sont classés par ordre décroissant de l'effet comme suit: Farine de pois chiche, farine de riz, matière grasse, temps de repos après mise en forme, bicarbonate d'ammonium, durée de pétrissage, et le sucre. Cependant, il faut noter que ces facteurs diffèrent selon leur effet en facteurs ayant un effet positif et ceux présentant un effet négatif sur le volume spécifique.

• Effet de la farine de pois chiche

Selon l'analyse statistique, la présence de la farine du pois chiche influe significativement ($p < 0.001$) et positivement ($\beta = 0.123$), en exerçant l'effet le plus prononcé sur le volume spécifique de nos farine-biscuits. Cet effet pourrait être attribué à la richesse de cette matière en protéines et en lipides.

D'après BELITZ *et al.*, 2009, les protéines joueraient un rôle important en tant qu'agent moussant et stabilisant dans plusieurs aliments. Celles-ci peuvent aider le moussage à cause de leurs propriétés tensio-actives (YADAV *et al.*, 2012). Elles stabiliseraient les bulles de gaz en formant des films flexibles et cohésifs autour d'elles. Au moment de l'impact, la protéine s'adsorbe à l'interface par les régions hydrophobes, suivi par un dépilement partiel suite à la dénaturation de la surface. La réduction de la tension superficielle causée par l'adsorption de la protéine faciliterait la formation de nouvelles interfaces, tout en formant des films stabilisant (BELITZ *et al.*, 2009). Selon YADAV *et al.* (2012), le poids des biscuits serait inversement proportionnel à la concentration en farine de pois chiche.

D'autre part, il faut noter que la teneur en lipides natives de la farine contribuerait à l'amélioration de la qualité des biscuits (FUSTIER, 2006). D'après MAC

RITCHIE et GRAS, (1973), les lipides sont des substances tensio-actives et le complexe de lipides de la farine contient une large gamme d'agents de moussage et d'anti-moussage. Ces propriétés leur permettent de jouer un rôle majeur dans la stabilisation de la structure de la pâte, affectant ainsi positivement le volume du pain.

• **Effet de la farine de riz**

La farine de riz quant à elle, présente un effet significatif ($p < 0.001$) sur le volume spécifique mais négativement ($\beta = - 0.895$). C'est-à-dire que plus il y a de la farine de riz, plus le volume spécifique du farine-biscuit est faible. Ceci pourrait être dû à la nature hydrophobe des protéines insolubles de riz ne pouvant pas former une pâte viscoélastique nécessaire pour retenir le dioxyde de carbone menant à un produit avec un volume spécifique relativement bas (ROSELL *et* MARCO, 2008).

• **Effet de la matière grasse**

L'effet de la matière grasse est positivement significatif ($p < 0.001$ et $\beta = 0.06$). MAACHE-REZZOUG *et al.* (1998a) qui montrent que la présence de la matière grasse contribue à la réduction de la nature élastique de la pâte, et de ce fait, la matière grasse qui tend à disperser les constituants du mélange s'opposerait à la formation d'une masse continue et cohésive. Les globules de la matière grasse entourent les protéines et les granules d'amidon, les isolent et empêchent la formation des polymères, réduisant ainsi la densité du réseau.

D'autre part, les matières grasses contribueraient à la qualité du produit fini en donnant une flaveur riche, de la tendreté et une aération uniforme pour la rétention de l'humidité et l'expansion en taille (METZROTH, 2005). L'ajout de la matière grasse "Shortening" fait stabiliser les cellules d'air qui sont générés durant le pétrissage (JACOB & LEELAVATHI, 2007). Quand les cristaux de la matière grasse fondent pendant la cuisson, l'interface graisse/liquide des cristaux absorbés fournit une source de matériau interfacial supplémentaire pour la surface des bulles. Ceci permettrait l'expansion des bulles sans rupture. Ainsi, la matière grasse, par sa phase de transition, peut jouer un rôle dans la stabilisation des cellules de gaz dans la pâte et influencerait l'expansion durant la cuisson (CHEVALIER *et al.*, 2000 ; LAZARDIOU & BILIADERIS, 2009).

Nos résultats corroborent ceux de BENKADERI (2010) mais divergent avec ceux de MAACHE-REZZOUG *et al.* (1998a)

- **Effet du temps de repos**

Le temps de repos, à son tour a un effet significatif ($p = 0.001$) mais négatif ($\beta = - 0.039$). En effet, des temps de repos courts permettraient d'obtenir de meilleurs volumes spécifiques.

- **Effet du bicarbonate d'ammonium**

Le bicarbonate d'ammonium aurait aussi un effet significativement négatif ($p < 0.002$; $\beta = - 0.039$). Cela pourrait être dû à la faible résistance du réseau protéique de nos formules qui sont exemptes de gluten contre la forte activité levante de cet agent, considéré comme fort à cause de la libération de trois gaz, le CO₂, l'ammoniac et la vapeur d'eau. Cette forte activité associée au non perméabilité de la surface de nos biscuits se traduit par la présence de larges fissures sur leur surface.

- **Effet de la durée de pétrissage**

Les résultats de l'analyse statistique a montré que la durée de pétrissage affecterait significativement et négativement le volume spécifique des farines-biscuits ($p < 0.002$; $\beta = - 0.036$). En effet, un pétrissage excessif altèrerait les liaisons formées au début entre les différents constituants de la pâte.

Le pétrissage est employé afin de développer un produit avec des caractéristiques désirable plutôt qu'assurer l'homogénéité. Cependant, un pétrissage excessif pourrait altérer la pâte (FELLOWS, 2000).

Dans le cas du gluten, ce dernier donne de la tolérance à la pâte pendant le pétrissage et cela est dû à son extensibilité et résistance à l'extension. Les pâtes produites à partir des formulations sans gluten n'ont pas le caractère cohésif et élastique obtenu à partir de la farine de blé, en raison de l'absence de cette protéine (LAZARDIOU & BILIADERIS, 2009).

- **Effet du sucre**

L'effet du sucre sur le volume spécifique est significativement positif ($p < 0.007$; $\beta = 0.029$). Selon MAACHE-REZZOUG *et al.* (1998a), l'augmentation de la quantité en sucre impliquerait une diminution considérable dans le poids des biscuits, donc ceux-ci sont moins denses. Nos résultats sont également dans le même sens que ceux obtenus par BENKADRI (2010).

Le reste des facteurs étudiés (farine de maïs, sel, bicarbonate de sodium et eau d'hydratation) n'ont aucun effet significatif sur le volume spécifique.

III.1.2. Facteurs influençant la vitesse de réhydratation des farines-biscuits sans gluten

La meilleure vitesse de réhydratation a été obtenue avec l'essai N° 3 (7.26 ml/s) contre l'essai N° 10 (2.48 ml/s).

L'analyse statistique a montré que seulement 8 facteurs sur les 11 étudiés ont un effet significativement positif ou négatif sur la vitesse de réhydratation des farines-biscuits. Ces facteurs sont: la farine de riz, la farine de maïs, la farine de pois chiche, le sucre, l'eau d'hydratation, le sel, le bicarbonate de sodium et le bicarbonate d'ammonium.

- **Effet de la farine de riz**

Notant le même effet sur le volume spécifique, le riz semble exercer un effet significatif mais négatif sur la vitesse de réhydratation des farines biscuits avec $p < 0.001$ et $\beta = - 0.648$. Cela pourrait être dû à la structure compacte des farines-biscuits obtenues.

- **Effet de la farine de maïs**

La farine de maïs semble avoir un effet significativement positif sur la vitesse de réhydratation des farines-biscuits ($p < 0.004$ et $\beta = 0.381$). Ceci serait probablement dû à la richesse de cette matière en amidon et la taille de ses granules.

- **Effet de la farine de pois chiche**

L'analyse statistique a montré aussi que la farine de pois chiche exerce un effet significatif ($p < 0.001$) sur la vitesse de réhydratation des farines-biscuits et qu'il est positif ($\beta = 0.553$). Cet effet pourrait être attribué à la richesse de la farine de pois chiche en protéines. Également, l'effet positif de ce facteur sur le volume spécifique permettrait d'expliquer la facilité de pénétration de l'eau à l'intérieur du produit à cause de sa structure alvéolaire aérée.

- **Effet du sucre**

Inversement à son effet positif sur le volume spécifique, le sucre semble avoir un effet significativement négatif sur la vitesse de réhydratation des farines-biscuits ($p < 0.009$ et $\beta = - 0.326$). En effet, le sucre joue le rôle d'un durcisseur et cause la cristallisation des biscuits pendant le refroidissement (FUSITER, 2006) menant à une surface dure qui pourrait rendre la vitesse de pénétration de l'eau plus lente.

- **Effet du taux d'hydratation**

L'hydratation des farines-biscuits issue du plan Plackett-Burman semble avoir un effet significatif sur la vitesse de réhydratation ($p < 0.008$) et négatif ($\beta = - 0.328$).

- **Effet du sel**

Le sel aussi influe significativement et d'une manière négative sur la vitesse de réhydratation des farines-biscuits ($p < 0.030$; $\beta = - 0.263$).

- **Effet du bicarbonate de sodium**

Malgré son effet positif et non significatif sur le volume spécifique, ce facteur influe significativement et positivement sur la vitesse de réhydratation ($p < 0.001$; $\beta = 0.658$).

- **Effet du bicarbonate d'ammonium**

L'effet du bicarbonate d'ammonium est aussi significativement négatif sur la vitesse de réhydratation ($p < 0.05$; $\beta = - 0.223$) possédant ainsi le même effet sur le volume spécifique.

III.1.3. Choix des variables en vue de l'optimisation des farines-biscuits sans gluten

L'objectif principal de cette étude est la formulation d'une farine-biscuit de sevrage sans gluten. Ceci voudrait dire que le produit fini doit être préparé sous forme de biscuit à haute vitesse de réhydratation, renseignant sur l'instantanéité de celui-ci à pouvoir être transformé en bouillie. Pour cela, nous avons retenu les facteurs les plus significatifs sur la vitesse de réhydratation (VR) et/ou sur le volume spécifique (VSp) des farines-biscuits sans gluten, à savoir la farine de pois chiche, la farine de maïs et le taux d'hydratation. Notre optimisation se fera donc par la construction d'un plan composite centré de Box et Wilson.

Nous avons choisi la farine de pois chiche en raison de son effet positif et significatif sur les deux réponses volume spécifique et vitesse de réhydratation. Quant à la farine de maïs, nous l'avons choisie pour son effet positif sur la vitesse de réhydratation des farines-biscuits fabriqués. Pour ces deux facteurs nous les avons fait varier entre 10 et 50 g selon les essais du premier plan d'expérience. Le troisième facteur choisi est le taux d'hydratation en raison de la grande variabilité de la teneur en eau de nos farines.

Concernant les 08 facteurs restants, nous les avons fixés selon les résultats obtenus au niveau du plan de Plackett-Burman montrant leurs effets sur les 02 réponses étudiées.

Pour la farine de riz, nous l'avons fixé au niveau (50g) et ce, dans le but que les teneurs finales en farines de maïs et pois chiche ne soient pas supérieures à celle du riz. En effet, le riz serait un ingrédient de choix en formulation infantiles probablement en raison de sa faible teneur en fibres alimentaires et en tanins (JULIANO, 1994). C'est également une céréale à goût doux, de couleur blanche, hautement digestible et hypoallergénique (ROSELL et MARCO, 2008).

Le bicarbonate de sodium exerce un effet positif sur les deux réponses sans être significatif sur le volume spécifique. Pour cela, il a été fixé à son niveau supérieur (1g/100g de farine composite). L'autre agent de levée qui est le bicarbonate d'ammonium a été fixé à son niveau inférieur (0.5g/100g de farine composite), car il a un effet significativement négatif sur les deux réponses.

La durée de pétrissage est fixée à son niveau inférieur (8 minutes) car elle a un effet négatif sur le volume spécifique et la vitesse de réhydratation des farines-biscuits.

Le sel exerce un effet positif non significatif sur le volume spécifique, cependant il a un effet négatif sur la vitesse de réhydratation, car il contribue aux propriétés organoleptiques du produit fini, nous avons évité de le mettre à niveau inférieur. Par contre la quantité du sel à ajouter dans la formule est de 1g / 100g de farine composite.

Pour les deux composantes énergétiques, le sucre et la matière grasse, leurs valeurs ont été fixées respectivement à 25 et 15 g/ 100 g de farine composite. Nous avons fixé ces deux variables à ces seuils, par souci du respect des exigences de la réglementation internationale données par le CODEX pour les aliments transformés à base de céréales destinés aux nourrissons et enfants en bas âge (CODEX STAN 074-1981, Rév. 1 – 2006). Selon laquelle la teneur maximale en lipides doit être de 3,3g/100 kcal et celle du sucre est de 5g/100 kcal.

III.2. Optimisation de la fabrication des farines-biscuits sans gluten

Avant de passer à l'exploitation des résultats du plan central composite de Box-Wilson à trois facteurs et cinq niveaux, nous devons d'abord tester sa validité.

III.2.1 Etude de la validité du plan d'optimisation

Le calcul du coefficient de détermination R^2 permet de mesurer la qualité du modèle du plan d'expériences (GOUPY et CREIGHTON, 2006). Cette statistique est le rapport de la somme des carrés des réponses calculées (corrigées de la moyenne) à la somme des carrés des réponses mesurées (corrigées de la moyenne).

Les valeurs observées de R^2 montrent que le modèle peut expliquer des variations totales de la réponse à 91.83% (R^2 ajusté = 84.48%) pour le volume spécifique et à 93.41% (R^2 ajusté = 87.48%) pour la vitesse de réhydratation. Cela veut dire que le modèle choisi est représentatif du système et confirme aussi la forte corrélation existant entre les deux réponses et les facteurs sélectionnés.

La statistique F de Fisher obtenue par analyse de variance est de 12.49 ($p < 0.001$) pour le volume spécifique et de 15.76 ($p < 0.001$) pour la vitesse de réhydratation. Ces deux valeurs sont supérieures à la valeur F tabulée (3.02) ($\alpha = 0.05$). Cela supposerait que le modèle est d'une bonne adéquation pour prévoir les résultats expérimentaux.

Le tableau 13 récapitule les résultats des essais du plan CCD d'optimisation.

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

Essai n°	Volume spécifique (cm ³ /g) mesuré	Volume spécifique (cm ³ /g) prédit	Vitesse de réhydratation (ml/s) mesurée	Vitesse de réhydratation (ml/s) prédite
1	1.41844	1.3853	3.60941	3.7332
2	1.62811	1.6160	4.58849	4.7044
3	1.33142	1.3212	4.87210	5.0142
4	1.51667	1.5482	5.90160	5.8054
5	1.45446	1.4133	3.56231	3.6016
6	1.57903	1.5796	4.14809	3.9490
7	1.45337	1.4558	5.15693	4.9841
8	1.67295	1.6185	5.33226	5.1515
9	1.31016	1.3544	4.59940	4.4932
10	1.71582	1.6852	5.26393	5.4506
11	1.40683	1.4532	3.40700	3.3323
12	1.46473	1.4320	5.26585	5.4211
13	1.46739	1.4770	4.98401	4.7869
14	1.55552	1.5596	3.84913	4.1267
15	1.51309	1.5150	4.32288	4.3360
16	1.46290	1.5150	4.70760	4.3360
17	1.47773	1.5150	4.25240	4.3360
18	1.51090	1.5150	4.19440	4.3360
19	1.56880	1.5150	4.15830	4.3360
20	1.48921	1.5150	4.39440	4.3360

En se basant sur les résultats obtenus avec les analyses de la régression, les interactions entre les trois facteurs étudiés ont des effets non significatifs, à l'exception de l'interaction entre la farine de maïs et de l'eau d'hydratation qui semble avoir un effet significativement positif sur le volume spécifique de nos farines-biscuits ($p < 0.03$; $\beta = 0.039$).

Les figures (8; 9) présentent les digrammes de contours et les surface de réponse pour les deux réponses étudiées, le volume spécifique et la vitesse de réhydratation

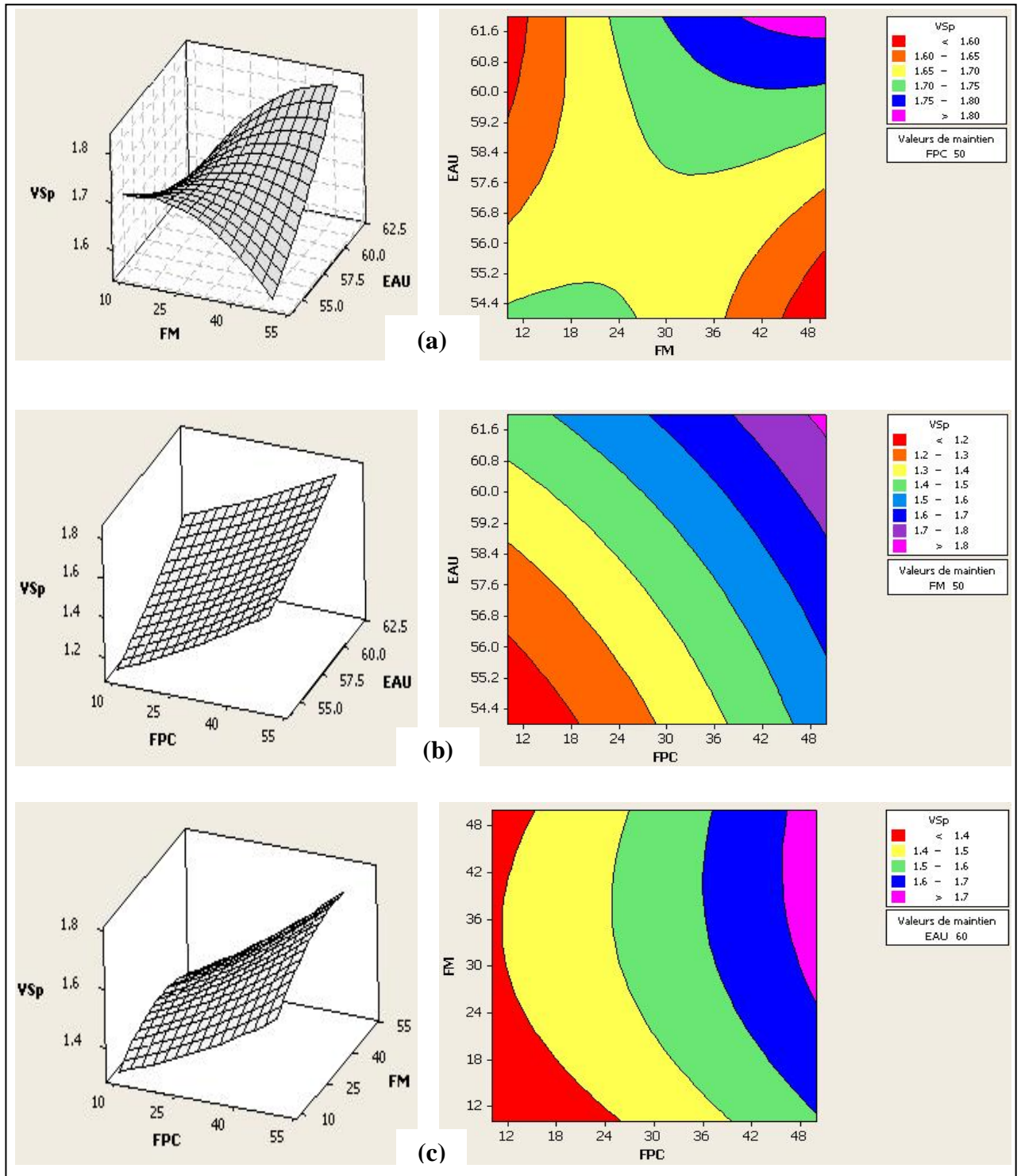


Figure 8. Surfaces de réponse (gauche) et contours (droite) des valeurs de volume spécifique pour les couples: (a) farine de maïs et eau d'hydratation; (b) farine de pois chiche et eau d'hydratation; (c) farine de pois chiche et farine de maïs.

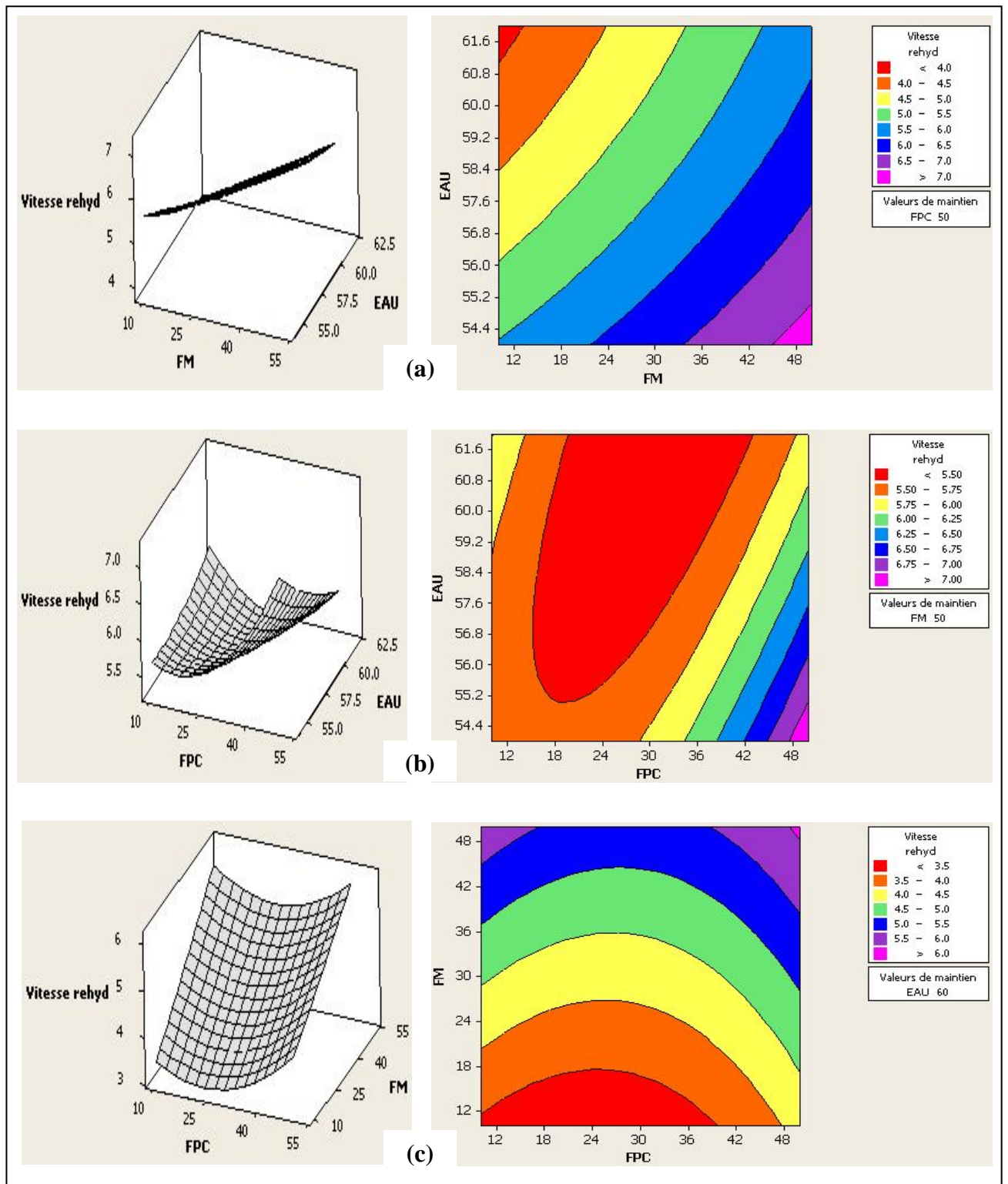


Figure 09. Surfaces de réponse (gauche) et contours (droite) des valeurs de la vitesse de réhydratation pour les couples: (a) farine de maïs et eau d'hydratation; (b) farine de pois chiche et eau d'hydratation; (c) farine de pois chiche et farine de maïs.

III.2.1. Détermination des conditions optimales

La désirabilité est une méthode d'optimisation multicritère très utiles quand il faut trouver le meilleur compromis entre plusieurs réponses. Le facteur de désirabilité (D) varie de 0 à 1, où 1 présente la satisfaction maximale et 0 le refus complet (GOUPY et CREIGHTON, 2006).

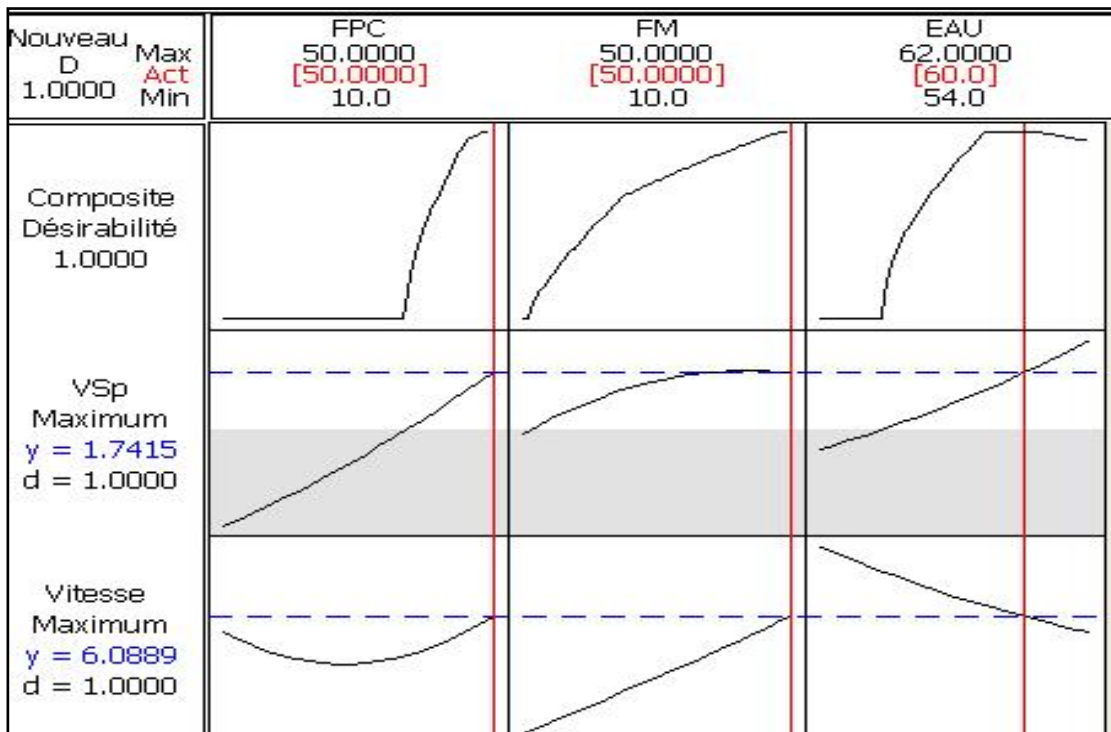


Figure 10. Optimisation par la fonction de désirabilité (MINITAB 15).

En effet l'optimum de notre étude a été obtenu par la fonction de désirabilité permettant d'avoir le meilleur volume spécifique avec la meilleure vitesse de réhydratation de nos farines-biscuits, avec une désirabilité $d=1$ pour chaque réponse, donc une désirabilité composite $D = 1$. Pour cela les conditions optimales ont été fixées comme suit: 50 g de farine de pois chiche, 50 g de farine de maïs et 60 ml de l'eau distillée par 100 g de farine composite (Farine-biscuit SG optimum) (Figure10).

Un point hors optimum (Farine-biscuit SG hors optimum) a été choisi pour une désirabilité de $d=0$ pour les deux réponses. Il est représenté par le point dont les conditions sont : 10 g de la farine de pois chiche, 10 g de la farine de maïs et 54 ml de l'eau distillée par 100 g de farine composite. Les résultats obtenus se trouvent dans le tableau 14.

Tableau 14. Résultats d'optimisation par la fonction de désirabilité

	Désirabilité Composite (D)	Farine de pois chiche (g)	Farine de maïs (g)	Eau d'hydratation (ml/100g de farine composite)
Farine-Biscuit SG optimum	1	50	50	60
Farine-Biscuit SG hors optimum	0	10	10	54

III.2.2. Confirmation du modèle

Les résultats de l'optimisation sont confirmés par la fabrication de farines-biscuits sans gluten avec les facteurs sélectionnés au point optimum et point hors optimum déterminée par le plan de Box et Wilson. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 15.

Tableau 15. Résultats de confirmation du modèle avec les valeurs mesurées et les valeurs prédites des réponses étudiées

POINTS	Volume Spécifique (cm ³ /g) mesuré	Volume Spécifique (cm ³ /g) prédit	Vitesse de réhydratation (ml/s) mesurée	Vitesse de réhydratation (ml/s) prédite
Farine-Biscuit témoin	2.12± 0.08	/	9.01±0.65	/
Farine-Biscuit SG optimum	1.70± 0.05	1.74	6.22±0.20	6.10
Farine-Biscuit SG hors optimum	1.37±0.05	1.37	4.16±0.41	3.44

Les valeurs mesurées sont proche de ceux prédites par le modèle mathématique sans avoir de différence significatives ($\alpha = 0.05$), ce qui confirme la validation du modèle.

D'après le tableau, le volume spécifique de la farine-biscuit SG optimum (1.70 cm³/g) est plus élevé que celui de la farine-biscuit SG hors optimum (1.37 cm³/g). Cependant, il est inférieur au résultat obtenu par BENKADRI (2010) pour une farine-

biscuit à base de riz et de pois chiche ($1.95 \text{ cm}^3/\text{g}$) et à celui de notre farine-biscuit témoin ($2.12 \text{ cm}^3/\text{g}$) (Figure 11).

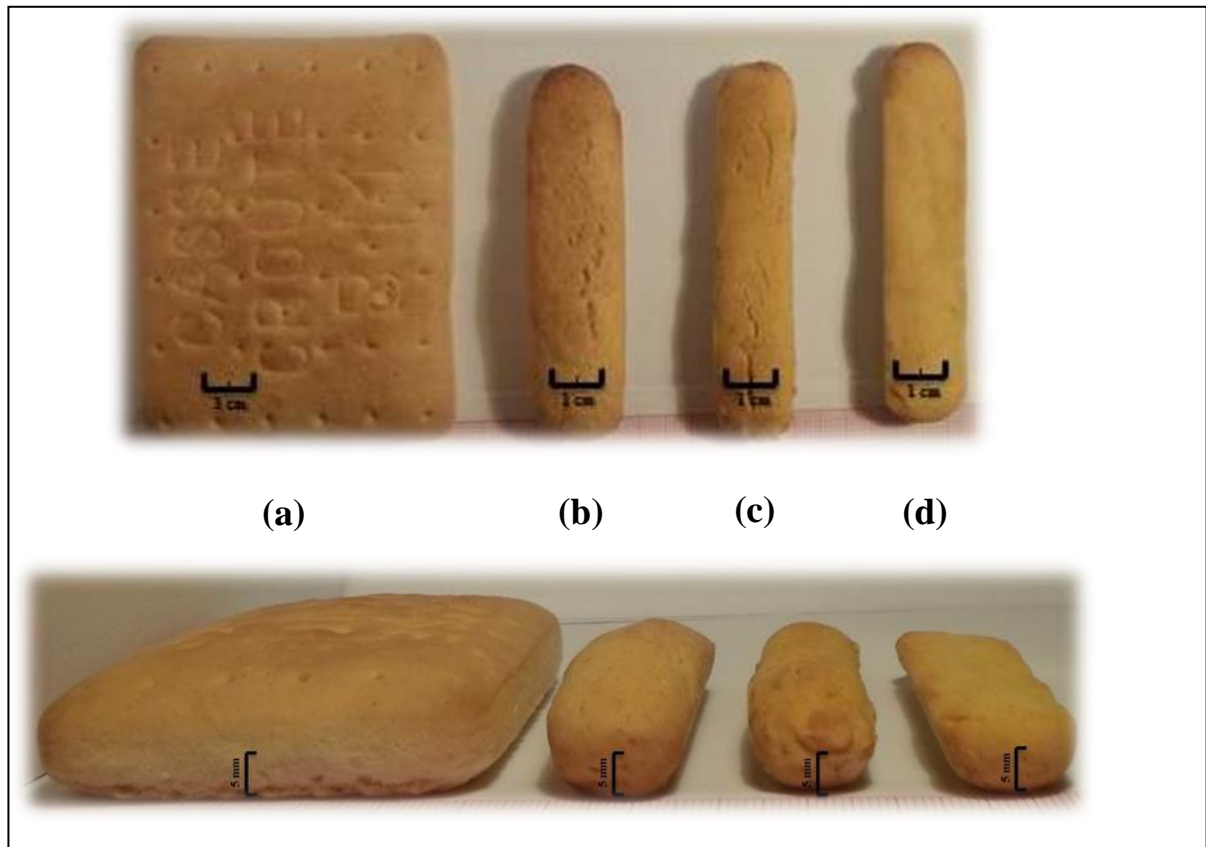


Figure 11. Vue en haut et de l'avant de: (a) biscuit de commerce; (b) farine-biscuit témoin; (c) farine-biscuit SG optimum et (d) farine-biscuit SG hors optimum.

D'autre part, la vitesse de réhydratation la plus rapide est celle enregistrée pour la farine-biscuit témoin (9.01 ml/s) suivie de celle de la farine-biscuit SG optimum (6.22 ml/s), pendant que la farine-biscuit SG hors optimum présente la vitesse la plus lente (4.162 ml/s). Ce comportement à l'hydratation serait peut-être corrélé avec le volume spécifique des farines-biscuits, reflétant ainsi la facilité de pénétration de l'eau à l'intérieur des produits à structure alvéolaire aérée (Figure 12).

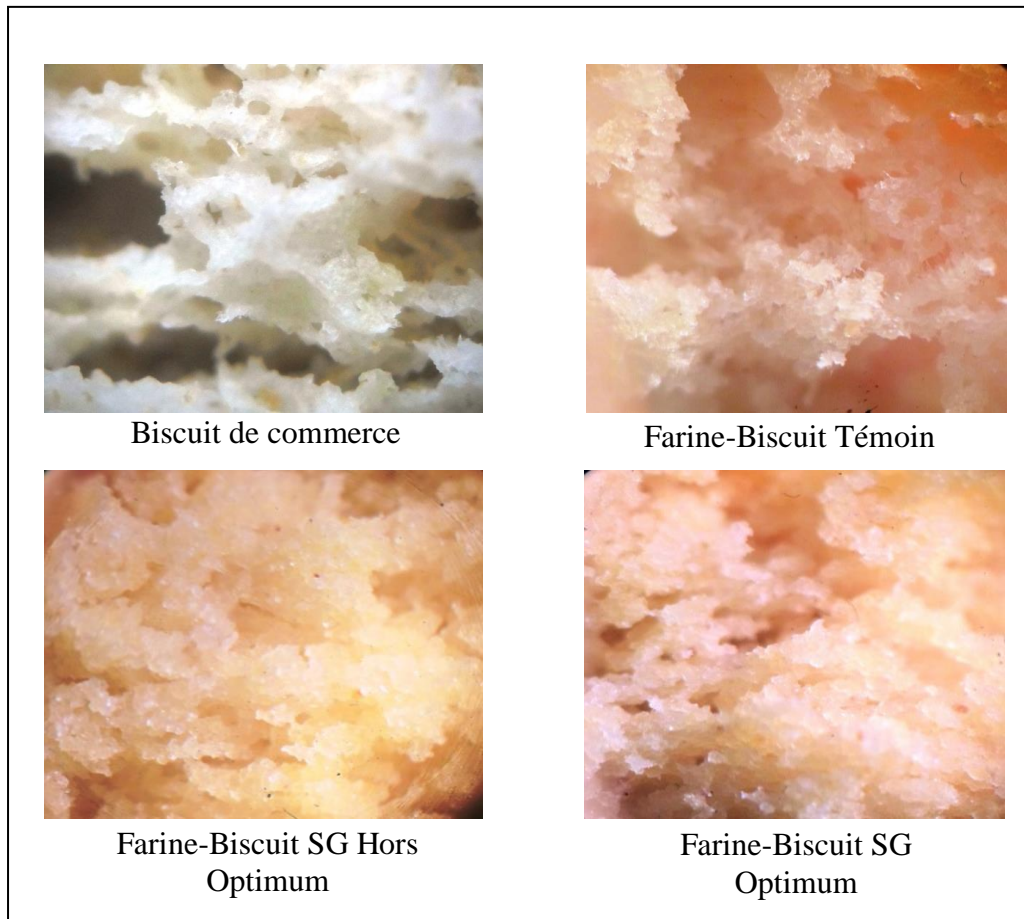


Figure 12. Coupes transversales de nos Farines-Biscuits et du biscuit de commerce (Vue binoculaire grandissement x 10).

IV. Densités énergétique et nutritionnelle optimales

Selon la commission du *codex Alimentarius* (CODEX STAN 074-1981, Rév. 1 – 2006), la valeur énergétique des aliments transformés à base de céréales destinés aux nourrissons et enfants en bas âge ne doit pas être inférieure à 80 kcal/100 g. Aussi, les teneurs en lipide et en sucre exprimées en densité nutritionnelle ne doivent pas dépasser les limites fixées par la même norme, qui sont de 3,3g/100 kcal et 5g/100 kcal respectivement.

Le tableau 16 récapitule la densité énergétique et la complémentation céréales-légumes secs pour le point optimum et celui hors optimum en comparaison à celles du biscuit témoin du commerce et la farine infantile sans gluten de commerce. Et aussi leur densités nutritionnelles (sucre et lipides).

Tableau 16. Densités énergétique, nutritionnelle et complémentation céréales-légumes secs des farines-biscuits des points de vérification comparées aux témoins avec et sans gluten.

	Complémentation céréales-légumes secs %	Densité énergétique Kcal/100 g	Densité nutritionnelle g/100 kcal	
			Lipides	Sucre simple ajouté
Farine-Biscuit SG optimum	66.66% de céréales 33.33% de légumes	604.12	3.3	4.16
Farine-Biscuit SG hors optimum	84.71% de céréales 14.29% de légumes secs	594.67	2.93	4.20
Farine-Biscuit témoin de blé	100% céréale	577.78	2.81	4.33
Biscuit de commerce (blé)	100% céréale	390	/	/
Farine infantile SG de commerce	61% céréales (maïs- riz)	387	/	/

*les résultats sont obtenus par déduction.

La complémentation céréales-légumes secs pour notre farine-biscuit SG optimum est respectée comme le rapport est de 1/3 farine de riz, 1/3 farine de maïs et 1/3 farine de pois chiche.

Nos farines-biscuits sans gluten optimum et hors optimum sont d'une densité énergétique élevée (604.12 et 594.67 kcal/100g) comparativement à celles de la farine-biscuit (blé) qui a une densité énergétique de l'ordre de 577.78 kcal/100 g pour notre formule de farine-biscuit témoin (Blé). Les densités énergétiques de tous les points (optimum et hors optimum) sont plus élevées que celles rapportées par BENKADRI (2010) pour une farine-biscuit à base de riz et de pois chiche (454 kcal/100 g). Et aussi plus élevées que celles du biscuit et de la farine infantile témoins du commerce (390 et 387 kcal/100 g).

Les densités nutritionnelles en lipides et en sucre sont respectées conformément à la norme précédemment citée (CODEX STAN 074-1981, Rév. 1 – 2006).

V. Caractérisation rhéologique des points de vérification

La viscosité est une propriété fonctionnelle importante des aliments influe sur la sensation de la langue et la qualité texturale des aliments préparés sous forme liquide (VAN HOAN *et al.*, 2008).

La bouillie est un fluide non newtonien rhéofluidifiant dont la viscosité varie avec le temps et la vitesse de cisaillement, c'est alors une viscosité apparente qui est liée aux conditions de mesure (MOUQUET, 1998).

La caractérisation rhéologique des farines-biscuits sans gluten fabriquées (optimum et hors optimum), du biscuit témoin du commerce et de la farine infantile sans gluten du commerce a permis de tracer des courbes d'écoulement (contrainte de cisaillement (τ) tracée en fonction de la vitesse de cisaillement($\dot{\gamma}$) présentées dans la figure 13 et des courbes de viscosité apparente (μ) tracée en fonction de la vitesse de cisaillement ($\dot{\gamma}$) (figure 14).

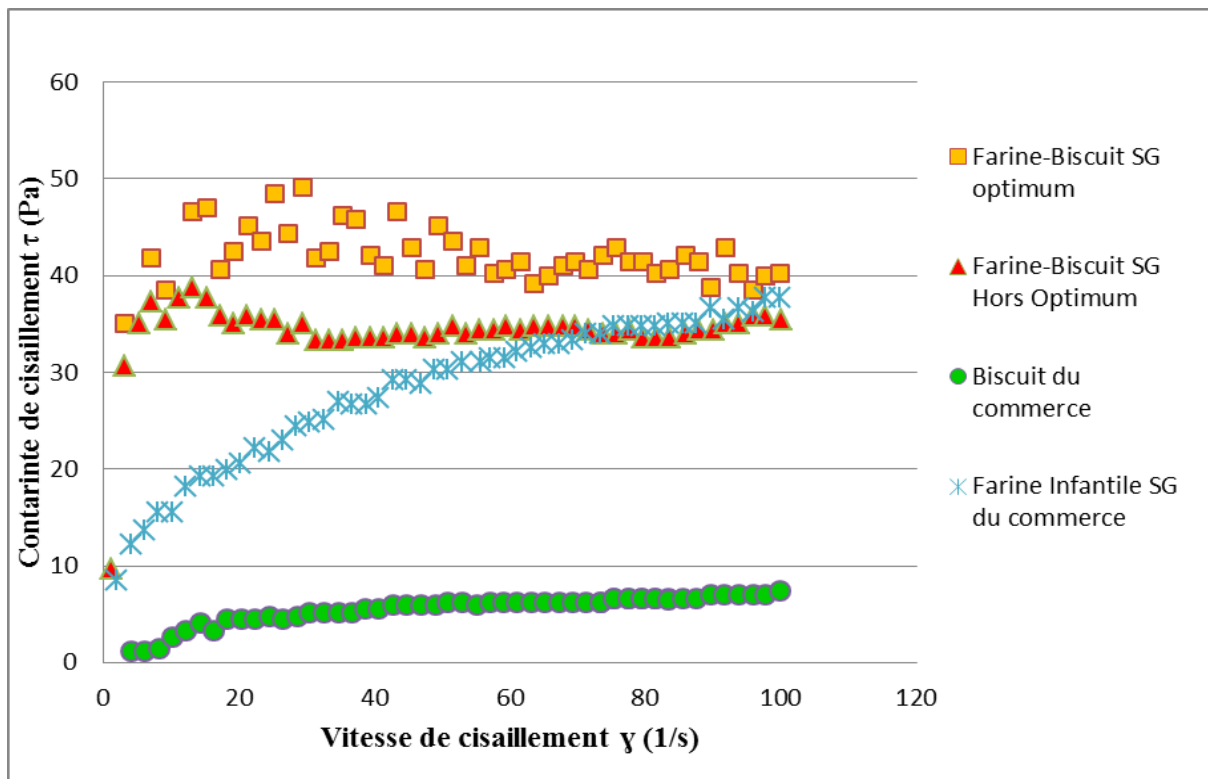


Figure 13. Courbe d'écoulement pour les différentes bouillies fabriquées (optimum et hors optimum) comparées aux témoins du commerce blé et sans gluten (45°C/10 min).

D'après les courbes d'écoulement (figure 13), les farines-biscuits sans gluten fabriquées (optimum et hors optimum) présentent des contraintes de cisaillement (τ) supérieures à celle de la farine infantile et du biscuit témoins du commerce. Aussi, la nature non lisse (dispersion des points) de ces courbes pour les farines-biscuits SG fabriquées pourrait être expliquée par la présence des grumeaux dans ces bouillies.

D'une manière générale, le comportement rhéologique des bouillies suit l'équation d'OSTWALD de WAELE (loi de puissance) :

$$\mu = K \times \dot{\gamma}^{n-1}$$

Où: μ : Viscosité apparente (Pa.s);

K: indice de consistance (Pa.s);

$\dot{\gamma}$: vitesse de cisaillement (1/s);

n: indice d'écoulement.

Tableau 17. Paramètres d'Ostwald de Waele (k, n) des bouillies (logiciel Viscotester VT550 version 2.09)

Paramètre d'Ostwald de Waele	K	n
	Indice de consistance	Indice d'écoulement
Bouillie (\approx 15g MS/100g)		
Farines-biscuit SG optimum	25.15	0.05
Farine-Biscuit SG hors optimum	24.25	0.09
Biscuit de commerce	6.91	0.47
Farine infantile de commerce	10.92	0.31

D'après le tableau 17, l'indice d'écoulement (n) obtenu pour chacune des bouillies est inférieur à 1, ainsi indiquant un comportement rhéofluidifiant (MOUQUET et TRECHE, 2001).

Les indices de consistance (K) différents d'une bouillie à l'autre est probablement due à la différence en composition biochimique notamment la teneur en amidon qui détermine la consistance (MOUQUET, 1998) et aux procédés de fabrication (cuisson pour le biscuit et cuisson-extrusion pour la farine infantile). En effet, la cuisson-

extrusion permet la gélatinisation et l'hydrolyse de l'amidon (MOUQUET *et al.*, 2003) Alors que dans la cuisson des biscuits il reste à l'état natif (BOURSIER, 2005) et sa gélatinisation est limitée (DERLCOUR *et al.*, 2010) pour cela lors de la préparation de bouillie l'amidon gonfle ce qui augmenterait de la viscosité (MOUQUET *et al.*, 2003). D'ailleurs, les farines-biscuits SG fabriquées présentent des indices de consistance proches (25.15 et 24.25 Pa.s), ce qui indique une consistance plus épaisse que celles de la farine infantile (10.92 Pa.s). Par contre le biscuit témoin du commerce présente la consistance la plus faible (6.91 Pa.s).

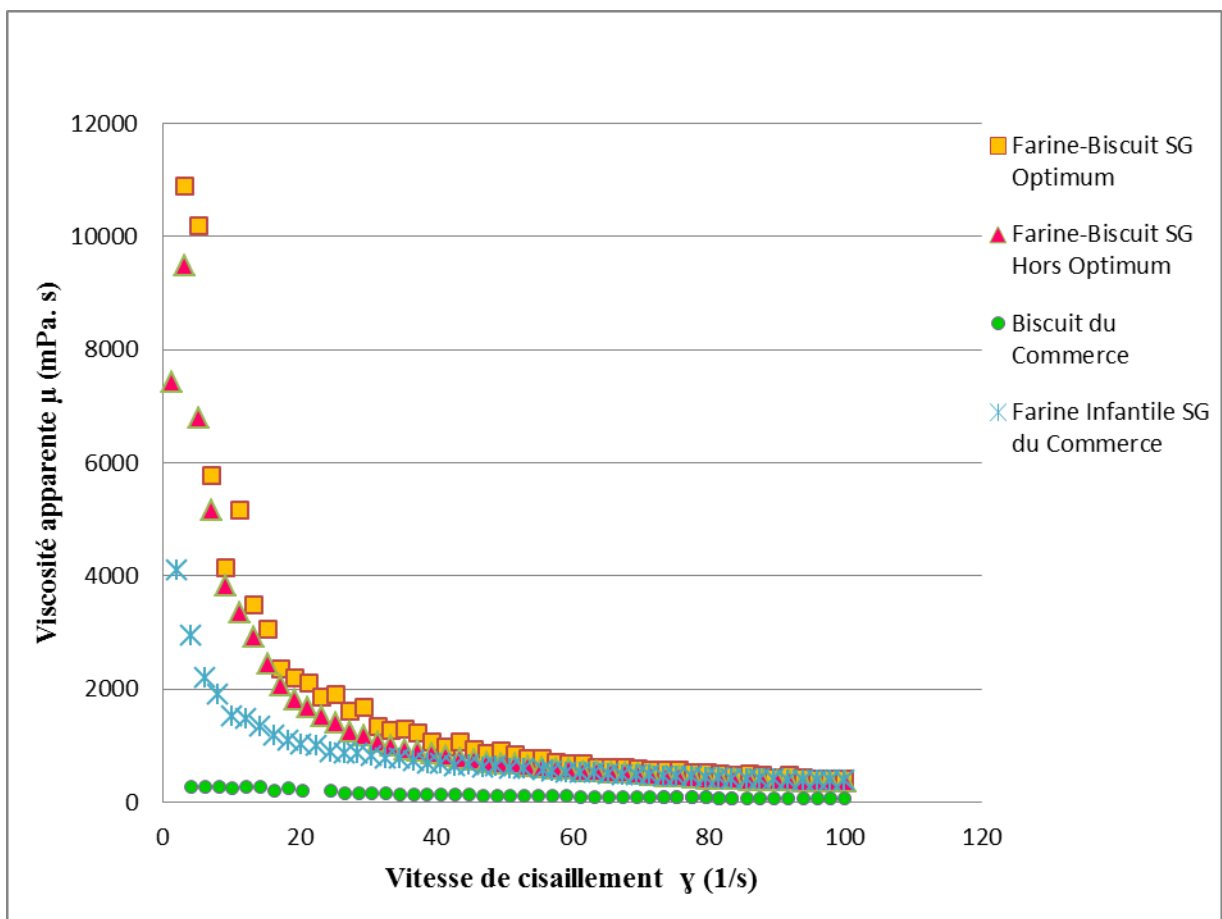


Figure 14. Courbe de viscosité apparente (μ) en fonction de la vitesse de cisaillement (γ) pour les différentes bouillies fabriquées (optimum et hors optimum) comparées aux témoins du commerce blé et sans gluten (45°C/10 min).

D'après les courbes présentées par la figure 14, sur un intervalle de vitesse de cisaillement de [0 – 40] (1/s), la bouillie de la farine-biscuit sans gluten optimum présente le caractère le plus visqueux, suivie de celles de la farine-biscuit sans gluten hors optimum et la farine infantile du commerce, respectivement. Alors que, la bouillie préparée à partir

du biscuit de commerce présente le caractère le moins visqueux. De plus en plus la vitesse de cisaillement augmente les viscosités apparentes des bouillies des farines-biscuits SG fabriquées et de la farine infantile SG du commerce se rapprochent qui serait du probablement à la composition biochimique voisine. Cependant, la viscosité apparente pour le biscuit témoin de commerce est toujours faible.

VI. Evaluation sensorielle des farines-biscuits fabriquées (optimum et hors optimum)

L'évaluation sensorielle a permis d'obtenir deux profils sensoriels, le premier pour les farines-biscuits et le deuxième pour les bouillies. Cette analyse a permis également de classer nos farines-biscuits selon leur rapidité de préparation sous forme de bouillie homogène avec désintégration rapide dans le milieu liquide, critère pouvant indiquer leur instantanéité.

VI.1. Résultat du test de classement

Ce test a permis de classer les biscuits selon la rapidité de leur préparation sous forme de bouillie homogène (tableau 18). La cote 1 indique que le biscuit prend la première classe et présente une préparation rapide. Les cotes 2 et 3 au suivant, et la cote 4 au moins rapide (préparation lente).

Tableau 18. Résultats du test de classement par rang

Dégustateur	Echantillon			
	A ^a	B ^{ab}	C ^{ab}	D ^b
1	1	3	2	4
2	1	2	4	3
3	1	3	2	4
4	1	3	2	4
5	2	4	1	3
6	2	4	1	3
7	1	2	3	4
8	1	2	3	4
9	1	2	3	4
Total des cotes	11	25	21	33

Rang attribué= 1 = Préparation rapide sous forme de bouillie homogène.

Seule la différence entre le biscuit témoin de commerce (A) et la farine-biscuit sans gluten hors optimum (D) est significative.

Notre panel de dégustation a classé le biscuit de commerce à base de blé en premier lieu comme étant le plus rapide à être préparé en bouillie homogène, suivi de la farine-biscuit résultante des conditions optimales du plan d'optimisation (farine-biscuit SG optimum), puis la farine-biscuit témoin du blé fabriqué suivi de la farine-biscuit obtenue à partir des conditions hors optimum (farine-biscuit SG hors optimum).

VI.2. Elaboration des profils sensoriels

VI.2.1. Profil sensoriel des farines-biscuits présentées sous forme de biscuit

Ce test permet de mettre en évidence les différences existant entre les échantillons et aussi de définir le profil sensoriel. Les résultats du test ANOVA (tableau 19) mentionnent au seuil de probabilité de 5%, les différences significatives entre les quatre biscuits.

Tableau 19. Test ANOVA pour les notes¹ des attributs des échantillons sous forme de biscuit

	Biscuit de commerce	Farine-biscuit témoin	Farine-biscuit SG optimum	Farine-biscuit SG hors optimum
Couleur	2.44 ^b	4.56 ^a	4.44 ^a	2.44 ^b
Odeur	4.78 ^{ab}	3.67 ^b	5.78 ^a	3.44 ^b
Goût sucré	3 ^{ab}	2.22 ^b	4.11 ^a	2.78 ^{ab}
Goût de farine	2.89 ^a	1.44 ^{ab}	1 ^b	2.22 ^{ab}
Goût de gras	0.67 ^a	1.44 ^a	1.22 ^a	1.78 ^a
Arrière-goût	1.11 ^a	0.78 ^a	1.67 ^a	2.11 ^a
Friabilité	4.89 ^a	2.33 ^b	3.89 ^{ab}	3.22 ^{ab}
Dureté	1.67 ^d	5.89 ^a	3.11 ^a	4.44 ^b
Croustillant	1.89 ^b	3.22 ^{ab}	3.44 ^{ab}	4.22 ^a
Acceptabilité globale	5.22 ^a	2.67 ^b	4.67 ^{ab}	3.22 ^{ab}

a,b,c' : Les valeurs de la même ligne notées avec les mêmes descriptifs ne présentent pas une différence significative au seuil de 5%.

1 : Les notes sont attribuées sur une échelle de 1-7.

SG: sans gluten

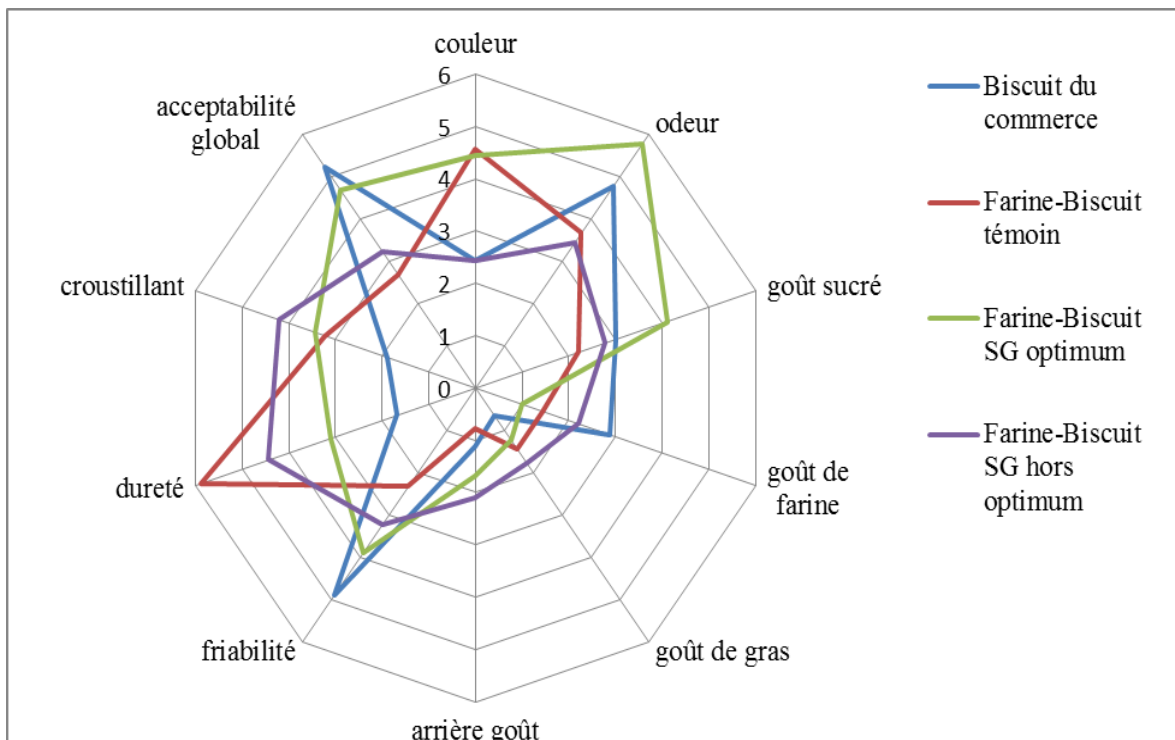


Figure 15. Profil sensoriel des trois farines-biscuits et du biscuit de commerce présentés sous forme de biscuits.

A travers les notes attribuées aux différents descripteurs, nous avons pu tracer le profil sensoriel de nos produits (figure 15). Nous constatons que les membres du panel de dégustation décrivent la farine-biscuit sans gluten optimum, comme un biscuit ayant une couleur et une odeur un peu prononcées, avec un goût sucré, et un faible goût de farine et de gras, avec un léger arrière-goût, friable, d'une dureté et d'un aspect croustillant moyens, et d'une bonne acceptabilité globale. D'après les mêmes dégustateurs, il n'y a pas de différence significative entre notre optimum (Farine-biscuit SG optimum) et le biscuit de commerce en ce qui concerne la friabilité, le caractère croustillant et l'acceptabilité globale du biscuit. Mais ils présentent des couleurs nettement différentes.

OZOLA *et al.*, (2010), dans leur étude d'élaboration d'un biscuit sans-gluten à base de farines de riz et de maïs, ont attribué la couleur jaune des biscuits à la farine de maïs. De même pour ERGIN *et al.*, (2012) où ils ont essayé différentes combinaisons de plusieurs farines (de riz, de maïs, de pomme de terre et de pois chiche), ils ont signalé que les farines de maïs et de pois chiche donneraient une couleur plus prononcés.

VI.2.2. Profil sensoriel des farines-biscuits présentées sous forme de bouillie

Le tableau suivant (tableau 20) récapitule les différences signalées entre les bouillies préparées à partir de notre farine-biscuit sans gluten optimum, du farine-biscuit sans gluten hors domaine optimal, de notre farine-biscuit témoin du blé, et de celui du biscuit de commerce et de la farine infantile sans gluten du commerce.

Tableau 20. Test ANOVA pour les notes¹ des attributs des échantillons sous forme de bouillie

	Biscuit de commerce	Farine-biscuit témoin	Farine-biscuit SG optimum	Farine-biscuit SG hors optimum	Farine infantile SG commerce
Couleur	1.89 ^c	5 ^a	4.22 ^{ab}	3 ^{bc}	2.44 ^c
Odeur	2.22 ^c	2.89 ^{bc}	3.89 ^{abc}	4.22 ^{ab}	5.67 ^a
Goût sucré	2.33 ^a	2.11 ^a	2.67 ^a	2.11 ^a	3.56 ^a
Arrière-goût	0.67 ^c	1.22 ^{bc}	0.78 ^{bc}	2 ^{ab}	2.89 ^a
Texture grumeleuse	1.11 ^{bc}	2.11 ^b	4.89 ^a	5.11 ^a	0.44 ^c
consistance	4.22 ^a	5.11 ^b	2.44 ^c	1 ^d	6.67 ^e
Acceptabilité globale	4.78 ^b	3.44 ^{bc}	2.89 ^c	2.22 ^c	6.44 ^a

a,b,c,d,e : Les valeurs de la même ligne notées avec les mêmes descriptifs ne présentent pas une différence significative au seuil de 5%.

1 : Les notes sont attribuées sur une échelle de 1-7.

SG: sans gluten

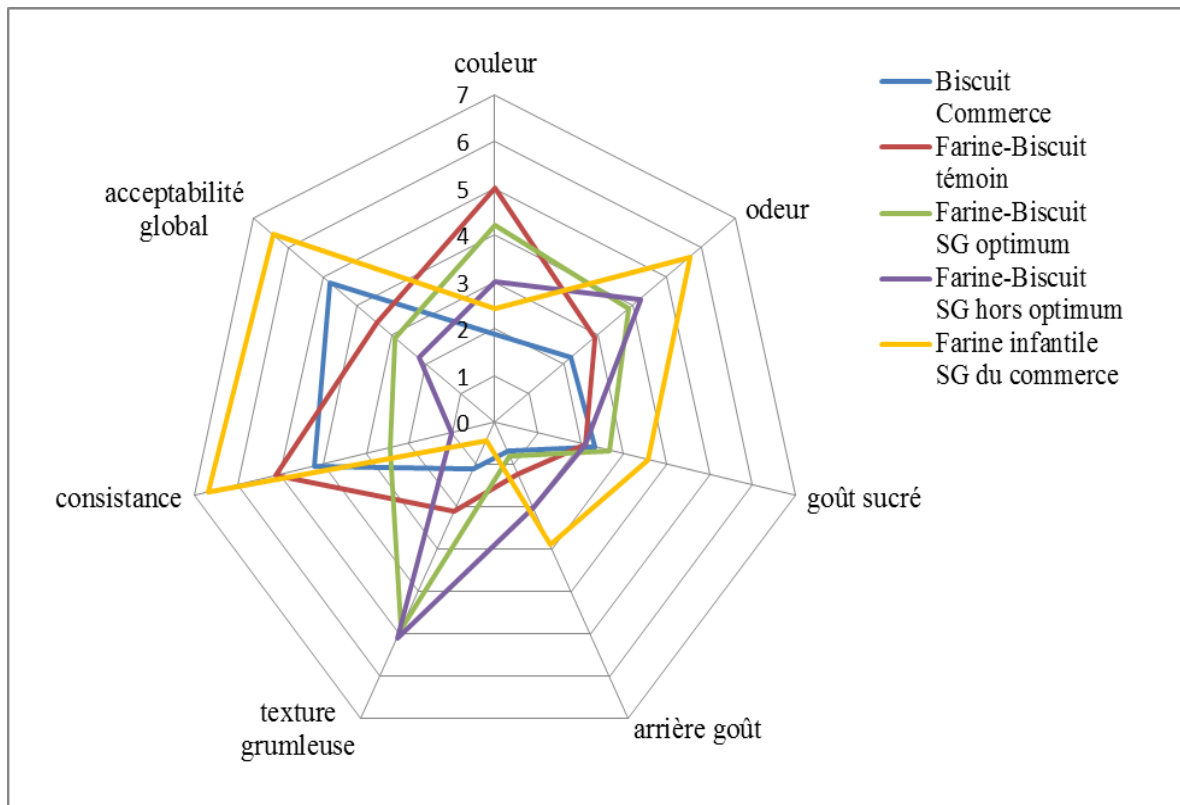


Figure 16. Profil sensoriel de quatre biscuits et une farine infantile du commerce présentés sous forme de bouillie.

Pour le même test sur les bouillies nous avons pu tracer un profil sensoriel (figure 16). Notre panel de dégustation trouve que les bouillies des farines-biscuits sans gluten (optimum et hors optimum) présentent une texture grumleuse, relativement élevée avec une consistance faible, et que la bouillie préparée à partir de la farine-biscuit sans gluten optimum présente une couleur foncée par rapport aux autres échantillons, ceci pourrait être attribué à sa composition en farines de maïs et de pois chiche.

La bouillie de la farine infantile sans gluten de commerce est la plus préférée en termes d'acceptabilité globale suivie de la bouillie préparée à partir du biscuit de commerce, puis celle du farine-biscuit témoin. Les bouillies des farines-biscuits sans gluten (optimum et hors optimum) ont été les moins acceptées.

Conclusion
&
Perspectives

Le principal objectif de ce travail est la formulation d'une farine infantile sans gluten sous forme de biscuit, dite "farine-biscuit", à base d'une farine composite constituée par deux céréales, le riz et le maïs et une légumineuse (le pois chiche).

La caractérisation physico-chimique des farines employées dans cette étude montre qu'elles sont constituées de plus de 98% de particules inférieures à 200 μm . Cependant, la farine de pois chiche présente la fraction la plus fine (inférieur à 75 μm). Elle présente aussi la teneur la plus élevée en protéines ($22.18 \pm 0.03\%$). Alors que la teneur la plus élevée en lipides ($6.93 \pm 0.01\%$) est celle de la farine de maïs.

Le de criblage Plackett-Burman a été utilisé pour faire ressortir les facteurs avec effet significatif et positif sur les deux réponses étudiées (volume spécifique et vitesse de réhydratation des farines-biscuits). Il en ressort que, sur le volume spécifique, la farine de pois chiche exerce l'effet le plus marquant ($p < 0.001$; $\beta = 0.123$), suivi de la matière grasse "Shortening" ($p < 0.001$; $\beta = 0.060$) et puis le sucre ($p < 0.007$; $\beta = 0.029$). Par contre, nous trouvons que les facteurs ayant une influence positive sur la vitesse de réhydratation sont le bicarbonate de sodium ($p < 0.001$; $\beta = 0.658$), la farine de pois chiche ($p < 0.009$; $\beta = 0.553$) et la farine de maïs ($p < 0.004$; $\beta = 0.388$).

Suite à ces résultats, trois facteurs ont été retenus pour procéder à l'étape d'optimisation et qui sont la farine de pois chiche [10-50] g, la farine de maïs [10-50] g et l'eau [54-63] ml d'hydratation, avec les autres facteurs fixés à des niveaux bien déterminés; farine de riz (50g), sucre (25%), matière grasse (15%), sel (1%), bicarbonate de sodium (1%), bicarbonate d'ammonium (0.5%), et temps de pétrissage (8 min.).

Le plan d'expérience central composite de Box et Wilson a été utilisé pour optimiser la formule finale de notre farine-biscuit sans gluten a donné un point optimum dans lequel les trois variables étudiées sont fixées à 50g pour la farine de pois chiche, 50g pour la farine de maïs et 60% (ml/100 g de farine composite) pour l'eau d'hydratation.

Notre farine-biscuit sans gluten issue du point optimum présente un volume spécifique de $1.70 \pm 0.05 \text{ cm}^3/\text{g}$ avec une vitesse de réhydratation de $6.22 \pm 0.01 \text{ ml/s}$. Cependant ces valeurs sont inférieures à celles enregistrées pour la farine-biscuit témoin qui présente un volume spécifique de $2.12 \pm 0.08 \text{ cm}^3/\text{g}$ et une vitesse de réhydratation de $9.01 \pm 0.17 \text{ ml/s}$.

La densité énergétique de notre farine-biscuit sans gluten optimum est de l'ordre de 604.12 kcal/100g et elle est supérieure à celle de la farine-biscuit témoin qui est de 577.78 kcal/100g et même à celle de la farine infantile du commerce qui présente une densité énergétique de 387 kcal/ 100g. Le rapport (2/1) de la complémentation céréales-légumes secs est respecté comme la farine composite optimale est constituée de 1/3 farine de riz, 1/3 farine de maïs et 1/3 farine de pois chiche, donc cet optimum est équilibré en acides aminés. Les densités nutritionnelles en lipides et sucre se situent dans les normes et est de l'ordre de 3.30g/100 kcal et 4.16g/100 kcal, respectivement.

L'analyse sensorielle montre qu'il n'y a pas de différence significative entre notre optimum (Farine-biscuit SG optimum) et le biscuit de commerce en ce qui concerne la friabilité et l'acceptabilité globale du biscuit. Par ailleurs, présentées sous les deux formes de consommation (biscuit, bouillie), notre farine-biscuit optimum est toujours de qualité inférieure en comparaison avec le biscuit de commerce et aux farines infantile commerciale.

Cette étude montre bien la faisabilité technologique de la formule sans gluten envisagée. Cependant il reste à chercher l'amélioration des qualités technologiques et organoleptiques est-ce par:

- Améliorer l'acceptabilité des bouillies issues des farines-biscuits optimale.
- Etude de la faisabilité d'autres rapports de riz, maïs et légumes secs
- Incorporation d'autres ingrédients permettant l'amélioration des volumes spécifiques des farines-biscuits comme exemple: denrées laitières, blanc d'œuf....etc.
- Mise en point de nouvelles techniques de mesure de l'instantanéité des farines-biscuits.

Références
Bibliographiques

A

ABDEL-AAL M.E. 2009. Functionality of Starches and Hydrocolloids in Gluten-Free Foods. In *Gluten-Free Food Science and Technology*, GALLAGHER E. Wiley-Blackwell. UK. Pp 200 – 224.

ABOU ARAB E. A., HELMY M. F. & 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.

ADMOU B., SBIHI M., BIENVENUC F. & CHABAA L. 2009. Diagnostique immunologique de la maladie cœliaque chez l'enfant. Mise au point. *Da Immuno-analyse & Biologie spécialisée*. 14 (4) : 373 – 378.

AFNOR. 1991. Recueil de normes- contrôle de la qualité des produits alimentaires céréales et produits céréaliers. AFNOR/DGCCRF. 3^{ème} édition. Paris. 360 p.

AIT AMEUR L. 2006. Evolution de la qualité nutritionnelle des protéines de biscuits modèles au cours de la cuisson au travers d'indicateurs de la réaction de Maillard: Intérêt de la fluorescence frontale. Thèse Doctorat en Chimie analytique. Institut National Agronomique, Paris – Grignon, 207 p.

ARDENT E.K., RENZETTI S. & FABIO DAL BELLO. 2009. Dough Microstructure and Textural Aspects of Gluten-Free Yeast Bread and Biscuits. In *Gluten-Free Food Science and Technology*, GALLAGHER E. Wiley-Blackwell. UK. Pp 107 – 125.

B

BELITZ H., GROSH W. & SCHIEBERLE P. 2009. Food Chemistry. 4th Edition, Springer. 1070 p.

BENATALLAH, L. ; ZIDOUNE, M. N. & AGLI, A. 2004. La maladie coeliaque : cas recensés de 1998 à 2003 et diététique associée à JIJEL, BATNA ET KHENCHELA. *Colloque ADELFI-EPIDIO : "L'Epidémiologie et la prise de décision en Santé Publique"*, Santé Publique & Sciences Sociales (10). Oran, : 88-89.

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

BENKADRI S. 2010. Contribution à la diversification de l'alimentation pour enfants cœliaque: fabrication de farine-biscuit sans gluten. Thèse de Magister en science

alimentaire. Option : Biochimie et Technologies alimentaires. I.N.A.T.A.A. Université Mentouri-Constantine. 88 p.

BENAMOUN L., MERAIHI Z., DAKHMOUCHE S. 2004. Utilisation de la planification expérimentale pour l'optimisation de la production de l' α -amylase par *Aspergillus Oryzae Ahlburg (Cohen) 1042.72* cultivée sur milieu à base des déchets d'oranges. *Journal of Food Engineering*, **64**: 257-264.

BOGGIO V. 2005. La sevrodiversification. *Médecine et enfance*. vol. 25, n°7, CAH1, pp 401-407.

BOUASLA A. 2011. Prévalence de la maladie cœliaque à Constantine (1996-2008) et diététique associée auprès des patients de l'EHS Sidi Mabrouk de Constantine (2009). Thèse de Magister en science alimentaire. Option : Nutrition Humaine. INATAA. Université Mentouri-Constantine. 80 p.

BOUDRAA G. et TOUHAMI M. 1997. La maladie cœliaque de l'enfant au Maghreb. *Médecine et Nutrition Clinique*, N°1 : 7-18.

BOUDRAA G., BESSAHRAOUI M., BOUZIANE NEDJADI K., NIAR S., NACEUR M., BOUCHETARA A., BENMANSOUR A. et TOUHAMI M. 2008. Evolution de l'incidence de la maladie cœliaque chez l'enfant de l'ouest algérien (1975-2007). *SFP 013* : 949.

BOURSIER B. 2005. Amidons natifs et amidons modifiés alimentaire. *Techniques de l'ingénieur*, Paris, n° 4690. Pp 1 – 22.

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

BRADLEY N. 2007. The Response Surface Methodology. Master of Science degree, speciality: Applied Mathematics and computer Science. Indiana University South Blend. 73p.

BRIEND A. 2009. L'alimentation de complément : recommandations actuelles. *Revue générale. Med Trop*; **69**: 298-302.

c

CARLEY M.K., KAMNEVA N.Y. & REMINGA J. 2004. Response Surface Methodology. CASOS Technical Report, Carnegie Mellon University. 26 p.

CATASSI C. & FASANO A. 2008. Celiac disease. In *Gluten Free Cereal Products and Beverages*. Edited by: ARENDT E.K. & DAL BELLO F. Elsevier Academic Press. Pp 1-22.

CHANG K.C. 1998. Protein analysis. In *Food Analysis*. Ed. NIELSEN S.S. 2nd Edition. Aspen Publishers, pp 237-249.

CHEVALLIER S., COLONNA P., DELLA VALLE G. & LOURDIN D. 2000. Contribution of major ingredients during baking of biscuit dough systems. *Journal of Cereal Science*. 31: 241-252.

CHOUAKI S., RAHA-BOUZIANE H., ZINE-ZIKARAT., CHEBOUTI A. & ISSOULAH R. 2007. Biodiversité en Algérie: Céréales, Légumineuses Alimentaires, Espèces fourragères et steppiques, Espèces Fruitières, Cultures Maraîchères et industrielles. 120 p.

CLOT F., BABRON M. C. et CLERGET-DARPOUX F. 2001. La génétique de la maladie cœliaque. *Médecine thérapeutique/Pédiatrie*. 4 : 263-267.

COLAS A. et THARRAULT J. F. 1997. Granulométrie des particules. In Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Ed. GODON B. & LOISEL W. Lavoisier. Tec et Doc. Paris : 42-49. 819 p.

CONTAMINE A.S., ABECASSIS J., MOREL M.H., VERGNES B., VEREL A. 1995. Effect of Mixing Conditions on the Quality of Dough and Biscuits. *Cereal Chem*. 72(6):516-522.

COX S. 2005. Energy. In *Encyclopedia of Human Nutrition*. Editors: CABALLERO, B.; ALLEN, L. & PRENTICE, A. 2nd edition, Elsevier academic press. Vol. II, pp 117.

CRONIN K. & PREIS C. 2000. A statistical analysis of biscuit physical properties as affected by baking. *Journal of Food Engineering*. 46: 217-225.

CURETON P. & FASANO A. 2009. The Increasing Incidence of Celiac Disease and the Range of Gluten-Free Products in the Marketplace. In *Gluten-Free Food Science and Technology*, GALLAGHER E. Wiley-Blackwell. UK. Wiley-Blackwell. UK. Pp 1 – 15

D

DELCOUR J. A., BRUNEEL C., DERDE L. J., GOMAND S. V., PAREYT B., PUTSEYS A., WILDERJANS E. & LAMBERTS L. 2010. Fate of Starch in Food Processing: From Raw Materials to Final Food Products. *Annu. Rev. Food Sci. Technol*. 1: 87-111.

DELPEUCH F. 1995. Synthèse Sur Les Pratiques De Sevrage En Afrique Et Perspectives Sur Les Améliorations Nécessaires. Pp 49-64.

DEWEY K. G. 2005. Complementary Feeding. In *Encyclopedia of Human Nutrition*. Editors: CABALLERO, B.; ALLEN, L. & PRENTICE, A. 2nd edition, Elsevier academic press. Volume I, Pp 465-471.

E

ERGIN A. & NUR HERKEN E. 2012. Use of various flours in gluten-free biscuits. *Journal of Food, Agriculture & Environnement*. Vol. 10(1): 128-131.

F

FAO, 1982. Les graines de légumineuses dans l'alimentation humaine « étude FAO : Alimentation et Nutrition (20) ». Rome. 152 p.

FAO, 1993. Le maïs dans la nutrition humaine. Collection FAO: Alimentation et Nutrition n° 25. www.fao.org/docrep/T0395F/T039500.pdf

FAO/WHO. 2007. Norme codex pour le riz - Codex Stan 198-1995. In Céréales, légumes secs, légumineuses et matière protéique végétale. 1^{ière} édition. FAO /WHO. Rome. 115 p.

FAVIER J. C., IRELAND-RIPERT J. et TOQUE C. 1995. Répertoire Général des Aliments – Table de composition. CNEVA-CIQUAL-INRA. Lavoisier Tec et Doc. Paris. 897 p.

FELLOWS P. 2000. Food Processing Technology Principles and Practice. 2nd Edition. Woodhead Publishing, Cambridge England. 575 p.

FUSTIER P., CASTAIGNE F., TURGEON S.L. & BILIADERIS C.G. 2009. Impact of endogenous constituents from different flour milling streams on dough rheology and semi-sweet biscuit making potential by partial substitution of a commercial soft wheat flour. *LWT – Food Science and Technology*, **42**, 363-371.

FUSTIER, P.J. (2006). Influence des fractions de mouture de blé tendre (farine patente, De-coupure et basse) sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits. Thèse de Doctorat, Option Sciences en Technologies des Aliments, Département des Sciences des aliments et de Nutrition, Faculté des sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec : 54 p.

g

GALLAGHER, E., GORMLEY, T.R. & ARENDT, E.K. 2004 a. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, **15**: 143 – 152.

GALLAGHER, E., MCCARTHY, D., GORMLEY, R. & ELKE ARENDT, E. 2004 b. Improving the quality of gluten-free products. The national Food Centre. Research & Training for the Food Industry. Research Report No 67. 28 p.

GALLAGHER E. 2008. Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods. In *Gluten Free Cereal Products And Beverages*, ARDENT E.K. & FABIO DAL BELLO. First Edition, Academic press, Elsevier, pp 321-341.

GLASSON-COCOIGNANI M. & BERCHTOLD A. 2010. Imputation des données manquantes: comparaison de différentes approches. 42èmes Journées de statistiques. Version 1-24 Juin 2010. 6 p.

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

GUIMARÃES P.E. Rice Breeding. In *Cereals – Handbook of Plants Breeding*. Vol. 3. Ed. CARENA J.M. Springer Science and Business Media, pp 99-126.

GUPTA P.K. & VARSHNEY R.K. 2005. Cereal genomics: An Overview. In *Cereal genomics*. Ed. GUPTA P.K. & VARSHNEY R.K. Springer Science and Business Media Inc. pp 1-18.

GREEN P. H. R. 2009. The Clinical Presentation and Diagnosis of Celiac Disease. In *Gluten-Free Food Science and Technology*. Editor : GALLAGHER E. Wiley-Blackwell. UK. pp 16 – 27

#

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

HAZELTON J. L., DESROCHERS J. L., WALKER C.E. & WRIGLEY C. 2004. Chemistry of manufacture. In *Cookies, Biscuits, And Crackers*. MILLER L. D. & WRIGLEY C. In *Encyclopedia of Grain Science*. Editors: WRIGLEY C. CROKE H. & WALKER C.E. Edition: Elsevier, vol I. pp 307-312.

J

JACOB J. & LEELAVATHI K. 2007. Effect of fat type on cookie dough and cookie quality. *Journal of Food Engineering*, vol. 73(1): 299-305.

JULIANO B.O. 1994. Riz dans l'alimentation humaine. Collection FAO. Alimentation et nutrition., n° 26. 184 p.

K

KNIGHTS E. J. 2004. Chickpea. In *Encyclopedia of Grain Science*. Editors: WRIGLEY C. CROKE H. & WALKER C.E Edition: Elsevier, vol I. pp 280-295.

KHURI A. & MUKHOPADHYAY S. 2010. Response Surface Methodology. *WIREs Computational Statistics*, Vol. 2: 128-149.

L

LABDI M. 1990. Chickpea in Algeria. *CIHEAM – Options Mediterranean* n°9: 137-140.

LARA E., CORTES P., BRIONES V. & PEREZ M. 2011. Structural and physical modification of corn biscuits during baking process. *LWT- Food Science and Technology*, 44, 622-630.

LAZARIDOU, A., & BILIADERIS, G.C. 2009. Gluten-Free Doughs: Rheological Properties, Testing Procedures – Methods and Potential Problems. In *Gluten-Free Food Science and Technology*. Editeur: GALLAGHER, E. Edition: Wiley-Blackwell, p 52.

LEUȘTEAN I., COMAN G. & BAHRIM G. 2010. The Plackett-Burman Model – An Improved Alternative to Identify the Significant factors implied in the Bioconversion of the Complex Cellulosic Waste to Ethanol. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, Research Article, Vol. 7: 55-60.

M

MACRITCHIE F. & GRAS W.P. 1973. The role of flour lipids in baking. *American Association of Cereal Chemists*, vol (50): 293-302.

MAACHE- REZZOUG Z., BOUVIER J.M., ALLAF K. & PATRAS C. 1998a. Effect of Principal Ingredients on Rheological Behaviour of Biscuit Dough and on Quality of Biscuits. *Journal of Food Engineering*. 35: 23-42.

MAACHE- REZZOUG Z., BOUVIER J.M., ALLAF K. & PATRAS C. 1998b. Study of Mixing in Connection with the Rheological Properties of Biscuit Dough and Dimensional Characteristics of Biscuits. *Journal of Food Engineering*. **35**: 43-56.

MALOUMBA P., JANAS S., DEROANNE C. MASIMANGO T. & BERA F .2011. Structure de l'amidon de maïs et principaux phénomènes impliqués dans sa modification thermique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **15**(2), 315-326

MANOHAR R.S. & RAO P. 1999. Effects of water on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. *Eur Food Res Technol* 209: 281–285.

MANOHAR R.S. & RAO P. 2002. Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. *Food Research International*. **35** : 807-813.

MASSAMBA J. et TRECHE S. 1994. Composition en nutriments des aliments de sevrage adaptés au contexte de l'Afrique centrale. O.R.S.T.O.M. 12 p.

MATUCHANSKY C., ROUSSEAU S. & MORIN M. C. 2004. Maladie cœliaque de l'adulte : Actualités du régime sans gluten. *Cah. Nutr. Diet.*, **39** : 311-317.

MAZICHI M.L. & KHIARI M.E. 2010. La maladie cœliaque chez l'enfant. In *Santé. Dossier: la maladie cœliaque. Science et santé*. Publication Trimestrielle édité par le groupe SAIDAL. 3^{ème} Trimestre, 2010, Numéro 8. 84 p.

MOHAMMED I., AHMED A.R. & SENGE B. 2011. Dynamic Rheological Properties of Chickpea and Wheat Flour Doughs. *Journal of Applied Sciences*. **11**(19): 3405-3412

MORRIS C.F. 2004. Grain _ Quality Attributes. In *Cereals*. Ed. WRIGLEY C. In *Encyclopedia of Grain Science*. Editors: WRIGLEY, C., CORKE, H., WALKER, E.C. Edition: Elsevier, vol I, pp 238-253.

MOUQUET C. 1998. Consistency of gruels for infants: a comparison of measurement procedures and the main influencing factors. *International Conference of Ibadan*, 16-21 Nov. 98.

MOUQUET C. & TRECHE S. 2001. Viscosity of Gruels for Infants : a comparison of measurement procedures. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*: **52**, 389-400.

MOUQUET C., SALVIGNOL B., VAN HOAN N., MONVOIS J. & TRECHE S. 2003. Ability of a very low-cost extruder to produce instant flours at a small scale in Vietnam. *Journal of Food Chemistry*, **82**: 249-255.

N

NEHRA V., MARIETTA E., & MURRAY, J. 2005. Celiac Disease. In *Encyclopedia of Human Nutrition*. Éditeurs : CABALLERO, B.; ALLEN, L. & PRENTICE, A. 2ème édition, Elsevier. Vol. I. Pp 407

NOUT R. HOUNHOUGAN D.J. & BOEKEL V.T. 2003. Les Aliments, Transformation, Conservation et Qualité. BACKHY Publishers. Netherlands. 268 p.

P

PAHO/WHO. 2003. Guiding Principles for Complementary Feeding of the Breast Fed Child. Division of Health Promotion and Protection Food and Nutrition Program, USA, 37p.

PLACKETT R. L. & BURMAN J. P. 1946. The design of optimum multifactorial experiments. *Biometrika*. **33**: 305-325.

PLUVINAGE J. 1990. Chickpea in the Mediterranean production systems: two contrasting examples of possible developments in Algeria and France. CIHEAM – Options Mediterranean n°9: 137-140.

POLESI L.F. SARMETO S.B.S. & ANJOS C.B.P. 2011. Composition and characterization of pea and chickpea starches. *Braz. J. Food Technol., Campinas*, **14** (1): 74-81.

R

RHEE C.K. 2001. Determination of Total Nitrogen. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. B.1.2.1-B1.2.9.

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

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

S

SAIDAL. 2010. Santé. Dossier: la maladie cœliaque. Science et santé. Publication Trimestrielle édité par le groupe SAIDAL. 3^{ème} Trimestre, 2010, Numéro 8. 84 p.

SAXENA. M.C. 1990. Status of chickpea in the Mediterranean basin. CHIEAM-Options Méditerranéennes – Série Séminaire – n°9: 17-24.

SCHAKEL S.F., VAN HEEL N. & HARNACK J. 2004. Appendix 1. Grain composition table. In *Encyclopedia of Grain Science*. Editors: WRIGLEY, C., CORKE, H., WALKER, E.C. Edition: Elsevier. Volume 3. Pp 441.

SCHOBER T. J. 2009. Manufacture of Gluten-Free Specialty Breads and Confectionery Products, 130 – 179, In: In: GALLAGHER E. *Gluten-Free Food Science and Technology*. Wiley-Blackwell. UK. 237 p

SERNA-SALDIVAR S.O. 2004. Foods from Maize. In *Maize*. Ed. LEE E.A. In *Encyclopedia of grain science*. Editors: WRIGLEY, C., CORKE, H., WALKER, E.C. Edition: Elsevier, pp 242-253

T

TAPANI TAAVITSAINEN V.-M. 2012. Experimental Optimization and Response Surfaces. In *Chemometrics in Practical Application*, Ed. VARMUZA K. Edition: In Tech, pp 91-138.

THARRAULT J. F. 1997. Qualité biscuitière des farines de blé tendre: des blés biscuitiers pour une bonne maîtrise de la texture des biscuits. In *Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales*. Ed. GODON B. et LOISEL W. Lavoisier. Tec. et doc. Paris. 819 p.

V

VAN HOAN N. 2008. Conditions d'utilisation d'un cuiseur-extrudeur à très faible coût pour la fabrication de farines infantiles au Vietnam. Thèse doctorat. Option: Nutrition et Sciences des aliments. Université Montpellier 2. 215 p.

VAN HOAN N., MOUQUET R.C. & TRECHE S. 2010. Effects of Starch, lipid and moisture contents on extrusion behaviour and extrudate characteristics of rice-based blends prepared with a very low-cost extruder. *Journal of Food Process Engineering*, **33**: 519-539.

VIVIER S. 2002. Stratégie d'optimisation par la méthode des plans d'expériences et application aux dispositifs électrotechniques modélisés par éléments finis. Thèse Doctorat. Spécialité: Génie Electrique. Ecole Centrale de Lille. Université des Sciences et Technologies de Lille: 306 p.

w

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

WHO/UNICEF. 1998. Complementary Feeding of Young Children in Developing countries: a review of scientific knowledge. WHO/NUT/98.1. 288 p.

WELCH R.W. 2005. Cereal Grains. In *Encyclopedia of Human Nutrition*. Editors: CABALLERO, B.; ALLEN, L. & PRENTICE, A. 2nd edition, Elsevier academic press, Vol. I. pp 346-357.

WIESER H. (2004). Celiac Disease. In *Encyclopedia of Grain Science*. Editors: WRIGLEY, C., CORKE, H., WALKER, E.C. Edition: Elsevier, pp 179.

WRIGLEY C. 2004. Cereals. In *Encyclopedia of Grain Science*. Editors: WRIGLEY, C., CORKE, H., WALKER, E.C. Edition: Elsevier, vol I. pp 187-273.

y

YADAV R.B., YADAV B.S. DHULL N. 2012. Effect of incorporation of plantain and chickpea flours on the quality characteristics of biscuits. *J. Food Sci. Technol*, **49 (2)**: 207-213.

Annexes

Annexe 01: Fiches de dégustation**Fiche du test de classement par rang**

Nom et prénom :

Date:

Age:

Nombre d'enfants:

Travaillez-vous ou non? Oui Non

Quatre échantillons (biscuits) vous sont présentés. Veuillez évaluer la facilité de préparation de ces biscuits sous forme de bouillies en procédant de la manière suivante: Prenez les biscuits et mettez-les dans le volume d'eau qui vous est présenté, remuez avec la cuillère jusqu'à obtention d'une bouillie homogène.

Classer les échantillons par ordre décroissant en fonction de la rapidité de préparation sous forme de bouillies, attribuez la cote 1 à l'échantillon présentant une préparation rapide, 2 et 3 aux suivants et 4 à celui ayant une préparation lente par rapport aux autres.

Code

Rang attribué

Quel biscuit préférez-vous pour une préparation rapide de bouillie?

Fiche du test d'intensité pour les biscuits

Nom et prénom :

Date:

Age:

Nombre d'enfants:

Travaillez-vous ou non? Oui Non

Examinez et goûtez les quatre échantillons puis attribuez une note de 1 à 7 selon l'intensité de chaque attribut.

Dans le cas où l'attribut sensoriel n'est pas détecté dans le produit, mettez 0.

	A	B	C	D
Couleur				
Odeur				
Goût sucré				
Goût de farine				
Goût de gras				
Arrière-goût				
Friabilité				
Dureté				
Croustillant				
Acceptabilité				

Quel biscuit préférez-vous et pourquoi?

Fiche du test d'intensité pour les bouillies

Nom et prénom :

Date:

Age:

Nombre d'enfants:

Travaillez-vous ou non? Oui Non

Examinez et goûtez les cinq échantillons puis attribuez une note de 1 à 7 selon l'intensité de chaque attribut.

Dans le cas où l'attribut sensoriel n'est pas détecté dans le produit, mettez 0.

	A	B	C	D	E
Couleur					
Odeur					
Goût sucré					
Arrière-goût					
Texture Grumeleuse					
Consistance					
Acceptabilité					

Annexe 02:



Four à ménager utilisé pour la cuisson
Marque "EFBA" Turquie.



Pétrin utilisé
Marque "BOWMANN" Allemand.



Moule en Silicone utilisé avec dix
empreintes



Axe "SV-DIN " pour la rhéologie
des bouillies



Viscosimètre rotatif "HAAKE Viscotester VT 550"(Allemand)
pour la rhéologie des bouillies



Thermocouple DOSTMANN

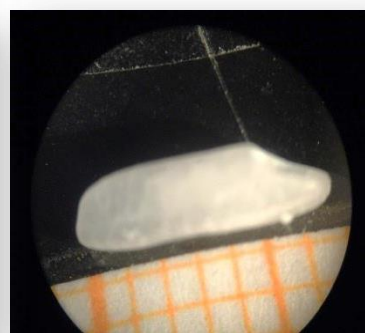
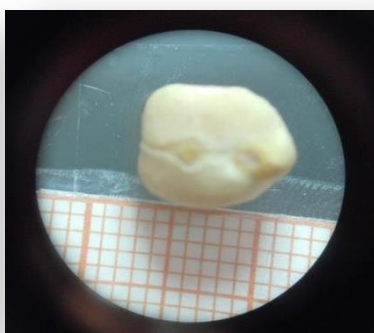


Binoculaire "PARALUX"



Balance "Sartorius" de
précision 10^{-2} g

Annexe 03: Matières premières



Matières premières de gauche en droite: grain de maïs, grain de pois chiche et grain de riz

Résumé

L'objectif de cette étude est la formulation d'une farine-biscuit de sevrage sans gluten à base de riz, de maïs et de pois chiche.

Une caractérisation physico-chimique des matières premières est réalisée. Un premier plan de criblage de Plackett-Burman a été utilisé pour la sélection des facteurs avec effet positif parmi les 11 étudiés: farine de riz, farine de maïs, farine de pois chiche, eau d'hydratation, sucre, matière grasse, sel, bicarbonate de sodium et bicarbonate d'ammonium, temps de repos après mise en forme, et la durée de pétrissage, sur le volume spécifique et la vitesse de réhydratation des farines-biscuits sans gluten. Un deuxième plan d'expérience, plan central composite a été construit afin d'optimiser les facteurs sélectionnés du premier plan en vue d'obtenir les meilleurs volumes spécifiques et vitesses de réhydratations. Ces facteurs sont la farine de pois chiche (50g), la farine de maïs (50g) et l'eau d'hydratation (60 ml/100g). Les optima ont été caractérisés sur le plan technologique et nutritionnel.

Alors que, le volume spécifique du point optimum ($1.70 \text{ cm}^3/\text{g}$) reste proche du témoin ($2.12 \text{ cm}^3/\text{g}$), ce dernier présente une vitesse de réhydratation (9.01 ml/s) supérieure à celle de notre farine-biscuit optimal (6.22 ml/s). D'autre part la densité énergétique est plus élevée (604.12 kcal) dans notre farine-biscuit contre 577.78 kcal pour le témoin. Le point optimum représentant la formule optimale reste équilibré en acides aminés et ce en raison du rapport de 1/3 de la farine de riz, 1/3 farine de maïs et 1/3 de la farine de pois chiche.

L'analyse sensorielle a démontrée qu'à l'état de biscuit, il n'y a pas de différence significative entre nos farines-biscuits sans gluten optimum et le biscuit du commerce en ce qui concerne la friabilité, le caractère croustillant et l'acceptabilité globale.

Les qualités organoleptiques de nos farines-biscuits restent inférieures à ceux du biscuit et de la farine infantile témoins du commerce.

Mots clés: Farine-biscuit, sevrage, sans gluten, Plackett-Burman, central composite, volume spécifique, vitesse de réhydratation.

Abstract

The aim of the study is the formulation of a gluten-free weaning flour-biscuit based on rice, maize and chickpea flours.

A physico-chemical characterization of raw materials is realized. A first Plackett-Burman screening design was used for the selection of factors with positive effect from the 11 studied ones: rice flour, maize flour, chickpea flour, hydration water, sugar, fat, salt, sodium bicarbonate, ammonium bicarbonate, resting time after molding and kneading time, on the specific volume and rehydration speed of the gluten free flour-biscuit. A second experimental design, central composite design, was used to optimize the selected factors of the first design in order to obtain the best specific volume and rehydration speed. These factors are: chickpea flour (50g), maize flour (50g) and hydration water (60 ml/100g). The optima were characterized from a technological and nutritional point of view.

While the specific volume of the optimum point ($1.70 \text{ cm}^3/\text{g}$) is close to that of the witness flour-biscuit sample ($2.12 \text{ cm}^3/\text{g}$), the later presents a rehydration speed (9.01 ml/s) higher than that of our optimal gluten free flour-biscuit (6.22 ml/s). On the other hand, density energy is higher (604.12 kcal) in our gluten free flour-biscuit versus 577.78 kcal for the witness flour-biscuit. The optimum point representing the optimal formula is balanced in amino-acids and this is because of the ratio of 1/3 rice flour, 1/3 maize flour and 1/3 chickpea flour.

Sensory analysis demonstrated that in the form of biscuit there is no significant difference between our optimal gluten free flour-biscuit and the commercial biscuit with regard to the crumbliness, the crustiness and the overall acceptability.

The organoleptic qualities of our gluten free flour-biscuit are inferior compared to those of the commercial biscuit and infant flour.

Key words: Flour-biscuit, weaning, gluten free, Plackett-Burman, central composite, specific volume, rehydration speed.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو صياغة طحين- بسكوت للفظام خالي من الغلوتين بواسطة الأرز، الذرة و الحمص.

في البداية تم تحليل المواد الاولية من الناحية الفيزيوكيميائية. استعمل في الاول مخطط Plackett-Burman لتحديد العوامل التي لها الأثر الإيجابي، من العوامل الاحدى عشر المدروسة: طحين الأرز، طحين الذرة، طحين الحمص، الماء، السكر، المادة الدسمة، الملح، بيكاربونات الصوديوم، بيكاربونات الامونيوم، وقت الراحة بعد التشكيل و مدة العجن، على الحجم النوعي و سرعة التبلل.

استعمل مخطط ثان، مخطط التركيبية المركزية، من أجل تحديد الظروف المثلى للعوامل المنتقاة باستعمال المخطط الاول و هذا للحصول على أفضل حجم نوعي و سرعة تبلل. وهذه الظروف هي : طحين الحمص (50 غ)، طحين الذرة (50 غ) و الماء (60 مل/100 غ). و قد تم تمييز الطحين-بسكوت الخالي من الغلوتين الناتج عن هذه الظروف من الناحية التكنولوجية و الغذائية.

ففي حين ان الحجم النوعي للنقطة المثلى (بالطحين-بسكوت الخالي من الغلوتين الأمثل) (1.70 سم/غ) يبقى قريبا من الحجم النوعي لعينة الطحين-بسكوت الشاهدة (2.12 سم/غ). هذه الاخيرة لها سرعة تبلل (9.01 سل/ثا) أعلى من تلك المتعلقة بالطحين-بسكوت الخالي من الغلوتين الأمثل (6.22 سل/ثا). من جهة أخرى، فإن الكثافة الطاقوية للطحين-بسكوت الخالي من الغلوتين و الناتج عن الظروف المثلى (604.12 كيلوحريرة) أعلى من الكثافة الطاقوية للطحين-بسكوت الشاهد (577.78 كيلوحريرة).

النقطة المثلى و التي تمثل الصيغة الأحسن متوازنة من حيث تركيبة الاحماض الأمينية و هذا لكون النسبة هي طحين الأرز 1/3 طحين الذرة 1/3 و طحين الحمص 1/3. التحليل الحسي بين انه لا يوجد اختلاف محسوس بين الطحين-بسكوت الخالي من الغلوتين و البسكوت التجاري من حيث الهشاشة و القابلية العامة. النوعية الذوقية للطحين-بسكوت الخالي من الغلوتين تبقى أقل مقارنة بتلك المتعلقة بالبسكوت و طحين الأطفال التجاريين.

كلمات مفتاحية: طحين – بسكوت، فظام، خالي من الغلوتين، Plackett-Burman، التركيبية المركزية، الحجم النوعي، سرعة التبلل.