

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

UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE

**INSTITUT DE LA NUTRITION DE L'ALIMENTATION ET DES
TECHNOLOGIES AGRO-ALIMENTAIRES (INATAA)**

N°d'ordre
N°de série

Mémoire

présenté pour l'obtention du diplôme de **MAGISTER**

en Sciences Alimentaires

Option : Biochimie et Technologies Alimentaires

***Contribution à la diversification de l'alimentation
pour enfants cœliaques : fabrication de
farines-biscuits sans gluten***

par

Soulef BENKADRI

Présenté le 23/02/2010

Devant le jury composé de :

Président :	AGLI A.	Pr.	INAATA – Univ. M. Constantine
Rapporteur :	ZIDOUNE M. N.	Pr.	INATAA – Univ. M. Constantine
Examineurs :	MERGHEM R.	Pr.	Univ. M. Constantine
	OULAMARA H.	M.C. "A"	INATAA – Univ. M. Constantine
	BOUDJELLAL A.	M.C.	INATAA – Univ. M. Constantine

A ma chère mère,

à ma famille,

à mes amis.

RESUME

L'objectif de ce travail est d'étudier l'aptitude technologique de trois mélanges de farines de riz-légumes secs dans la fabrication d'une farine infantile sans gluten sous forme de biscuit destinée aux enfants cœliaques. Trois formules ont été testées: riz-fève (R-Fv), riz-pois protéagineux (R-PPr) et riz-pois chiche (R-PC) avec un rapport massique de 2/1 chacune.

Pour atteindre cet objectif, a été étudié l'effet des principaux ingrédients utilisés dans la fabrication des biscuits (eau, sucre et matière grasse) à différents taux d'incorporation sur la qualité du produit fini. Ensuite ont été situés les proportions assurant le meilleur compromis entre les exigences technologiques et les recommandations nutritionnelles pour le sucre et la matière grasse (MG) concernant ce type de produits.

L'étude du comportement rhéologique des pâtes biscuitières a montré une réduction dans leur consistance suite à l'augmentation des taux de chacun de ces trois ingrédients. En outre, la variation de la teneur en eau semble avoir un effet plus marqué sur la consistance des pâtes que celle du sucre et de la MG.

Les formules sans gluten testées ont donné des farines-biscuits plus denses de qualité moindre comparées à celle du biscuit témoin de commerce "Casse-croute Aurès" avec une capacité à la réhydratation nettement plus faible.

La qualité organoleptique des farines-biscuits sans gluten obtenues évaluée par analyse sensorielle a été jugée inférieure à celle du biscuit de commerce, notamment au niveau du goût et de la friabilité. Leur instantanéité lors de la préparation des bouillies est significativement inférieure à celle des bouillies des témoins du commerce (Vigor et Blédine).

Sur le plan nutritionnel, nos farines-biscuits sans gluten présentent une densité énergétique et nutritionnelle en protéines et en lipides nettement plus élevée que celle de la farine témoin sans gluten du commerce et sont conformes aux recommandations nutritionnelles concernant ce type de produits.

En conclusion, nos résultats témoignent de la faisabilité technologique en biscuits des mélanges (2/1) de farines riz-légumes secs testées dans la présente étude tout en restant à un niveau plus bas que le biscuit témoins de blé. C'est la formule R-Fv qui a présenté les meilleures réponses technologiques, en raison probablement de sa teneur relativement plus élevée en protéines. Il serait intéressant d'étudier la faisabilité d'autres rapports riz/légumes secs en recherchant à chaque fois le meilleur compromis dans l'utilisation des compléments eau, sucre et MG et éventuellement l'ajout d'agents améliorants.

Mots-clés : maladie cœliaque, riz, fève, pois-protéagineux, pois-chiche, farines infantiles, biscuits.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة القدرة التكنولوجية لثلاث خلأط من طحين الارز و البقول الجافة في صنع طحين اطفال خالي من الغلوتين على شكل بسكويت موجه للاطفال المصابين بمرض عدم تحمل الغلوتين، اذ تم تجريب ثلاث صيغ: ارز مع الفول (R-Fv)، ارز مع البازلاء (R-PPr) و ارز مع الحمص (R-PC)، بنسبة 2/1 لكل منها.

لتحقيق هذا الهدف تم دراسة تاثير المكونات الرءيسية المستخدمة في صنع البسكويت (الماء، السكر و الدهون) بنسب مختلفة على جودة المنتج النهائي. بعدها تم تعيين النسب اللتي تضمن افضل توافق بين المتطلبات التكنولوجية و التوصيات الغذائية الخاصة بالسكر و المادة الدهنية لمثل هذه المنتجات.

دراسة السلوك الانسيابي لمختلف عجناات البسكويت بينت انخفاض في اتساقها اثر الزيادة في نسب كل من هذه المكونات الثلاث. بالاضافة الى ذلك فان التغير في نسبة الماء له التاثير الاكبر مقارنة مع السكر و الدهون.

الصيغ الخالية من الغلوتين المختبرة اعطت طحين بسكويت اكنف وذا جودة اقل مقارنة مع البسكويت الشاهد "كسكروط لاوراس" مع قدرة اقل على التبلل.

النوعية المذاقية للثلاث طحين-بسكويت الخالية من الغلوتين المتحصل عليها و اللتي تم تقييمها بطريقة التحليل الحسي اعتبرت بانها اقل من تلك الخاصة بالبسكويت التجاري الشاهد خاصة على مستوى الذوق و التفتت. اما الفورية في التحضير فانها اقل من تلك الخاصة بالعصيدتين التجاريتين (فيغور و بليدين) المستعملتين كل منهما كشاهد.

من الناحية التغذوية، فان الثلاث تركيبات البسكويتية الخالية الغلوتين لديها كثافة طاقوية و غذائية من البروتين و الدهون اعلى من تلك الخاصة بالطحين الخالي من الغلوتين المستعمل كشاهد (فيغور). بالاضافة الى انها مطابقة للتوصيات الغذائية الخاصة بهذا النوع من المنتجات.

في الختام، النتائج المتحصل عليها تضره الجدوى التكنولوجية في تصنيع البسكويت ابتداء من الخليط (1/2) من طحين الارز و البقول الجافة المختبرة في هذه الدراسة، في حين تبقى في مستوى ادنى من بسكويت القمح الشاهد. الا ان الصيغة المكونة من (R-Fv) هي اللتي اظهرت افضل الاستجابات التكنولوجية، ربما بسبب محتواها العالي نسبيا من البروتين. لهذا السبب سيكون من المهم دراسة فعالية نسب اخرى من طحين الارز و البقول الجافة مع البحث على افضل حل توفيقى في استخدام محتويات الماء، السكر و المواد الدهنية مع احتمال اضافة محسنات.

الكلمات الدالة: مرض عدم تحمل الغلوتين، ارز، فول، بازلاء، حمص، طحين اطفال، بسكويت.

ABSTRACT

The objective of this work is to study the technological ability of three mixtures of rice-dry legumes flour in the manufacture of infant gluten-free flour as a biscuit for celiac children. Three formulas were tested: rice-bean (R-Fv), rice-pea (R-PPr) and rice-chickpea (R-PC) with a rapport of 2/1 for each one.

To achieve this goal, has been studying the effect of the main ingredients used in manufacturing biscuits (water, sugar and fat) at different rates of incorporation on the quality of the finished product. Next, were situated the proportions providing the best compromise between technological requirements and nutritional recommendations on sugar and fat for such products.

The study of rheological behaviour of biscuits dough showed a reduction in their consistency following the increase in rates each of these three ingredients. In addition, the variation in water content seems to have a greater impact on the consistency of dough than sugar and fat.

The gluten free formulas tested gave denser flours-biscuits of lower quality compared with the biscuit "Casse-croute Aures" used as witness with a capacity to hydration significantly lower.

The organoleptic quality of gluten-free flours-biscuits evaluated by sensory analysis was considered lower than in the control biscuit, particularly in the level of taste and friability. Their immediacy when preparing porridge is significantly lower than that of witnesses (Vigor and Blédina).

Nutritionally, our gluten-free flours-biscuits formulas have an energy and nutritional density of protein and lipid significantly higher than that of the control flour of trade and comply with dietary recommendations regarding such products.

In conclusion, our results demonstrate the technological feasibility in the biscuit of the mixtures (2/1) of rice-dried legumes flours tested in this study while remaining at a level lower than the wheat control biscuit. It is the formula R-Fv who has presented the best technological responses, probably because of its relatively high content of protein. It would be interesting to study the feasibility of other reports rice-dry legumes searching the best compromise in the use of additional water, sugar and fat and possibly the addition of improver agents.

Keywords: celiac disease, rice, bean, peas, chickpeas, infant flour, biscuit.

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements vont à mon directeur Pr. ZIDOUNE M. N., de l'Institut de la Nutrition de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaire (**INATAA**), pour avoir proposé le sujet de ce mémoire, pour ses idées et ses conseils. Mes remerciements vont aussi à Mme BENATALLAH Leila, pour son esprit scientifique, et ses commentaires concernant ce mémoire.

Je voudrais remercier Pr. AGLI A., Pr. MARGHEM R., Dr. OULAMARA H. et Dr. BOUDJLLAL A. pour avoir accepté de faire l'évaluation de ce mémoire.

J'exprime ma plus profonde gratitude au propriétaire de la biscuiterie "Aurassienne" de Marouana, w. de BATANA pour son accueil au sein de son entreprise.

Je remercie aussi l'I.T.G.C. (Institut Technique des Grandes Cultures) de Guelma pour leur approvisionnement en légumes secs.

Je tiens également à exprimer ma plus vive reconnaissance au Mr. MEKHANCHA Djamel-Eddine qui m'a donné libre accès à son laboratoire ALNUTS (Alimentation, nutrition et santé).

Enfin, je présente mes plus sincères remerciements à toutes mes amies pour leur précieux soutien tout au long de ce travail, spécialement BOUCHEHAM Nouhed.

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	i
Remerciements.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des abréviations.....	xiii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures.....	x
Introduction	1
Rapport Bibliographique	
I. Alimentation de l'enfant	3
1-1/ Age de la diversification alimentaire.....	3
1-2/ Farines infantiles.....	4
1-3/ Densité énergétique des bouillies.....	8
II. Le riz et les légumes secs dans l'alimentation	8
2-1/ Le riz.....	8
2-1-1/ Généralités.....	8
2-1-2/ Classification du riz.....	9
2-1-3/ Traitement du riz après récolte.....	9
2-1-4/ Valeur nutritionnelle.....	10
2-1-5/ Qualité culinaire du riz.....	10
2-2/ Légumes secs.....	11
2-2-1/ Généralités.....	11
2-2-2/ Composition et valeur nutritionnelle des légumes secs.....	11
2-2-3/ Facteurs antinutritionnels des légumes secs.....	12
2-2-4/ Fèverole.....	13
2-2-5/ Pois chiche.....	13
2-2-6/ Pois protéagineux.....	14
2-2-7/ Complémentation céréales-légumineuses.....	14
III. La technologie biscuitière	15
3-1/ Définition du biscuit.....	15
3-2/ Classification des biscuits.....	15
3-3/ Effet des principaux ingrédients.....	16
3-3-1/ La farine.....	16
3-3-2/ La matière grasse.....	17
3-3-3/ Le sucre.....	19
3-3-4/ L'eau.....	20

3-4/ La pâte biscuitière.....	21
3-5/ Cuisson des biscuits.....	22
3-6/ Critères de qualité d'un biscuit.....	22

Matériel Et Méthodes

1/ Matières premières.....	24
1-1/ Le riz.....	24
1-2/ Les légumes secs.....	24
1-3/ Le sucre.....	26
1-4/ La matière grasse.....	26
1-5/ La levure chimique.....	26
1-6/ Le sel.....	26
1-7/ L'eau.....	26
1-8/ La farine de blé tendre.....	26
2/ Mouture des grains.....	26
3/ Caractérisation physicochimique des farines utilisée dans la fabrication des farines-biscuits.....	27
3-1/ Granulométrie.....	27
3-2/ Composition biochimique.....	27
3-2-1/ Humidité.....	27
3-2-2/ Cendres.....	28
3-2-3/ Matières protéiques.....	28
3-2-4/ Lipides totaux.....	29
3-2-5/ Glucides totaux.....	30
4/ Fabrication des farines-biscuits	30
4-1/ Choix des témoins.....	30
4-1-1/ Témoins du commerce.....	30
4-1-2/ Farine-biscuit témoin de fabrication.....	31
4-2/ Diagramme de fabrication.....	31
4-2-1/ Préparation des pâtes.....	31
4-2-2/ Pétrissage.....	33
4-2-3/ Mise en forme et moulage.....	33
4-2-4/ Cuisson.....	33
4-2-5/ Refroidissement.....	33
4-3/ Formules à tester pour la fabrication.....	34
4-3-1/ Les trois formules de base.....	34
4-3-2/ Ajout de sucre et de matière grasse.....	34
4-3-3/ Niveaux d'eau d'hydratation à tester pour l'étude.....	37

4-3-4/ Récapitulatif des ajouts d'eau, de sucre et de matière grasse retenus pour l'étude....	38
5/ Tests d'appréciation des produits finis.....	39
5-1/ La farine sous forme de biscuit.....	39
5-1-1/ Volume spécifique des farines-biscuits.....	39
5-1-2/ Test de réhydratations des farines-biscuits.....	39
5-2/ La farine préparée en bouillie.....	40
6/ Test de caractérisation rhéologique des pâtes de fabrication.....	40
7/ Evaluation Sensorielle.....	42
 Résultats et discussion	
1/ Caractéristiques physico-chimiques des farines initiales.....	46
1-1/ Granulométrie.....	46
1-2/ Composition biochimique des farines initiales.....	46
1-2-1/ Composition biochimique des formules de base.....	48
1-2-2/ Composition biochimique des différentes formules biscuitières testées pour l'étude.....	49
1-3/ Capacité d'hydratation des différentes farines utilisées dans la fabrication.....	51
2/ Caractéristiques des produits finis après cuisson.....	52
2-1/ Volume spécifique (Vsp).....	52
2-1-1/ Effet de l'eau sur le Vsp des farines-biscuits issues des formules biscuitières testées.....	52
2-1-2/ Effet de la matière grasse sur le Vsp des farines-biscuits issues des formules biscuitières testées	54
2-1-3/ Effet du sucre sur le Vsp des farines-biscuits issues des formules biscuitières testées.....	56
2-1-4/ Optima des taux d'incorporation de l'eau, de la matière grasse et du sucre retenus.....	56
2-2/ Cinétique de réhydratation des farines-biscuits issues des formules biscuitières finales.....	60
3/ Comportements rhéologiques de différentes pâtes biscuitières	63
3-1/ Effet de l'eau sur l'étalement des pâtes biscuitières.....	63
3-2/ Effet de la matière grasse sur l'étalement des pâtes biscuitières.....	65
3-3/ Effet du sucre sur l'étalement des pâtes biscuitières.....	67
4/ Evaluation biochimique et nutritionnelle de nos meilleures farines-biscuits.....	69
4-1/Composition biochimique.....	69
4-2/ Densité énergétique.....	70
4-3/ Densité nutritionnelle.....	71
5/ Evaluation sensorielle.....	73
Conclusion générale.....	76
Liste des références bibliographiques.....	79

Liste des abréviations

- B. Am** : Bicarbonate d'ammonium
- B. Sd** : Bicarbonate de sodium
- C-C** : Casse-croute
- DE** : Densité énergétique (kcal/100 g)
- DN** : Densité nutritionnelle (g/100 kcal)
- FAO** : Food and Alimentation Organisation
- GRET** : Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques
- max** : maximum
- MC** : Maladie cœliaque
- MG** : Matière grasse
- mh** : matière humide
- min** : minimum
- ms** : matière sèche
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- ONIC**: Office National Interprofessionnel des Céréales (Paris)
- opt** : optimum
- R-Fv** : Riz-Fèverole
- R-PC** : Riz-Pois chiche
- R-PPr** : Riz-Pois protéagineux
- Vsp** : Volume spécifique (cm³/g)

Liste des tableaux

Pages

Tableau 01 : Composition souhaitable en nutriments pour des farines infantiles destinées aux nourrissons de 6 à 2 ans en complément du lait maternel.....	5
Tableau 02 : Principales farines infantiles sans gluten existant sur le marché algérien.....	6
Tableau 03 : Comparaison de la valeur nutritionnelle du riz cargo, riz blanchi et de la farine de riz pour 100 g de matière sèche.....	10
Tableau 04 : Composition moyenne de trois légumes secs pour 100 g de matière sèche.....	12
Tableau 05 : Caractéristiques dimensionnelles moyennes des grains de légumineuses et de riz.....	24
Tableau 06 : Composition globale des deux farines témoins du commerces (Blédine et Vigor) tel que déclaré sur emballage.....	31
Tableau 07 : Intervalles de variation des taux d'incorporation des ingrédients majeurs (eau, sucre et matière grasse) à étudier (en g ajoutés à 100 g de farine).....	38
Tableau 08: Granulométrie des farines de départ (en % de la masse).....	46
Tableau 09 : Composition globale des différentes farines initiales (en % de la masse sèche).....	47
Tableau 10: Composition globale moyenne des formules de base (en % de la masse sèche).....	49
Tableau 11: Composition en nutriments majeurs (en % de la masse sèche) des différentes formules biscuitières testées en variant le taux de sucre et de matière grasse (g ajouté à 100 g de farine).....	50
Tableau 12: Formules biscuitières finales correspondant aux optima des taux d'ingrédients ajoutés (en g à 100 g de farine) qui ont donné le meilleur des volumes spécifiques (V _{sp}) des farines-biscuits pour chacune.....	58
Tableau13 : Composition en nutriments majeurs de nos meilleures formules biscuitières comparée à celle des farines témoins du commerce (en % de matière sèche).....	69

Listes des figures

	Pages
Figure 01 : Echantillons des trois légumes secs de l'étude	25
Figure 02 : Diagramme de fabrication adopté pour les farines-biscuits à base de blé tendre et les formules exemptes de gluten.....	32
Figure 03 : Effet de la variation du taux d'hydratation sur le volume spécifique (Vsp) des farines-biscuits après cuisson, en fixant à 20 % chacun de sucre et de MG (en g ajouté à 100 g de farine).....	53
Figure 04 : Evolution du volume spécifique (Vsp) des farines-biscuits après cuisson en fonction du taux de matière grasse (margarine) en fixant à 20 % le taux de sucre et à 36% ; 46% ; 50% et 44% le taux d'hydratation pour les farines-biscuits (Blé), (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) respectivement (en g ajouté à 100 g de farine).....	55
Figure 05 : Evolution du volume spécifique (Vsp) des farines-biscuits après cuisson en fonction du taux de sucre (en fixant à 20 % le taux de margarine et à 36% ; 46% ; 50% et 44% le taux d'hydratation pour les farines-biscuits (Blé), (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) respectivement, exprimés en g ajouté à 100 g de farine).....	57
Figure 06 : Cinétiques de réhydratation des farines-biscuits sans gluten comparées aux témoins de blé de farine-biscuit et du commerce.....	61
Figure 07 : Optima des farines-biscuits avec et sans gluten et du témoin de commerce (C-C) avec découpes transversales.....	62
Figure 08: Effet de la variation du taux d'hydratation sur l'étalement des différentes pâtes biscuitières (min , opt et max : minimum, optimum et maximum d'hydratation ajoutée à 100g de farine).....	64
Figure 09 : Effet de la variation du taux de matière grasse (MG) sur l'étalement des différentes pâte biscuitières (min et opt : minimum et optimum de margarine ajoutée à 100 g de farine).....	66
Figure 10 : Effet de la variation du taux de sucre sur l'étalement de différentes pâtes biscuitières (min , max-1 et opt : minimum, maximum moins un niveau et optimum de sucre ajouté à 100 g de farine).....	68
Figure 11 : Densités énergétiques (DE) de nos meilleures formules biscuitières avec et sans gluten et des farines infantiles témoins du commerce (Vigor et Blédine) avec et sans gluten.....	71
Figure 12 : Densité nutritionnelle (DN) en nutriments majeurs de nos meilleures formules biscuitières et celle des farines témoins du commerce, exprimé en g/100 kcal.....	72
Figure 13 : Notes moyennes données pour la couleur, l'odeur, le goût et la friabilité des farines-biscuits avec et sans gluten et au biscuit témoin du commerce.....	73
Figure 14 : Notes moyennes données pour la couleur, l'odeur, le goût et l'aspect de l'ensemble des bouillies.....	74

INTRODUCTION

Introduction

La Maladie Cœliaque (MC) est une entéropathie associée à l'alimentation. Elle se caractérise par une intolérance au gluten, protéine présente dans le blé et d'autres céréales (seigle, orge et avoine). Elle se produit chez des individus génétiquement prédisposés. La fraction protéique toxique est la gliadine (extrait alcoolique des prolamines du blé), appelée aussi sécaldine dans le cas du seigle, hordénine pour l'orge et avénine de l'avoine. Elles sont responsables d'une atrophie totale ou subtotale des villosités intestinales conduisant à une malabsorption de nombreux éléments nutritifs qui se traduit par un retard de croissance chez les enfants et un risque d'ostéoporose chez les adultes. (DENERY-PAPINI et coll., 2001 ; GUANDALINI et GUPTA, 2002 ; ANCELLIN et coll., 2004; CEGARRA M., 2006 ; SCHMITZ J., 2007).

Actuellement, la maladie cœliaque est considérée comme l'une des affections gastro-intestinales les plus fréquentes dans le monde. En Europe, sa prévalence a été estimée entre 0,3 et 3,5‰ (BERRAH et coll., 2000 ; DENERY-PAPINI et coll., 2001 ; DUBUISSON et coll., 2002). Elle est considérée comme rare en Amérique du nord et en Inde, exceptionnelle en Afrique noire et ignorée en Chine (BERRAH et coll., 2000), probablement parce que le riz et le maïs sont à la base de leur alimentation (SCHMITZ et CELLIER, 2002).

Dans les pays maghrébins, on peut citer le chiffre de 1,2‰ naissances vivantes en Tunisie (BOUDRAA et TOUHAMI, 1997). En Algérie, les données de BOUDRAA et coll. (2008), ont révélé une incidence moyenne de 2,37‰ naissances vivantes de 1978 à 2006 dans la ville d'Oran à l'ouest algérien. Une prévalence de 1,09‰ a été notée chez des enfants de moins de 15 ans à la fin de l'année 2007, comparée à 1,7‰ en 1996 selon les données de BERRAH et coll. (2000). Au sein de l'équipe de Transformation et Elaboration de Produits Agroalimentaires (T.E.P.A.) du Laboratoire de Recherche en Nutrition et Technologies Alimentaires (L.N.T.A.) de l'I.N.A.T.A.A., une enquête menée par BENATALLAH et coll. (2004) à l'est algérien dans les villes de KHENCHLA, BATNA, JIJEL, MILA et GUELMA a révélé une prévalence moyenne de l'ordre de 0,9 ‰ pour l'ensemble des villes étudiées, en fin 2003.

Le traitement de la maladie cœliaque est uniquement diététique, et consiste à supprimer totalement le gluten de l'alimentation (DENERY-PAPINI et coll., 2001 ; DUBUISSON et coll., 2002 ; CICLITIRA et MOODIE, 2003 ; ANCELLIN et coll., 2004 ; CEGARRA, 2006 ; SCHMITZ, 2007). Ce traitement est simple dans son principe, mais difficile à mettre en œuvre compte tenu des contraintes sociales qu'il impose, notamment après la première année de la vie, au fur et à mesure que l'enfant grandit. Il pose problème dans les pays où l'alimentation est à base de céréales et les enfants sont souvent tentés par le pain, la pâtisserie et des friandises

contenant du gluten. (COURPOTIN et coll., 1991 ; COFFIN, 2001 ; DUBUISSON et coll., 2002).

En outre, en terme 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 MC de l'enfant (BOUDRAA et TOUHAMI, 1997).

En Algérie, les malades coeliaques souffrent d'un manque d'aliments de consommation courante ne contenant pas de gluten. 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. Ce problème se pose surtout pour les enfants en âge de sevrage dont les besoins nutritionnels ne dépendent plus que du lait maternel (BENATALLAH et coll., 2004).

Ce thème répond aux besoins d'une diversification de l'alimentation sans gluten pour des enfants en âge de sevrage. Il s'agit de formuler et de fabriquer trois farines infantiles sans gluten sous forme de biscuit pouvant être consommé tel quel ou délayé dans un liquide, auquel nous donnons le nom composé de « farine-biscuit sans gluten ». Basées sur une complémentation céréales-légumes secs de proportions massiques de 2-1, trois formules ont fait l'objet d'étude de la faisabilité technologique : Riz-Fèverole (R-Fv), Riz-pois protéagineux (R-PPr) et Riz-pois chiche (R-PC).

Cette faisabilité technologique sous la forme de biscuits, est approchée à travers l'étude de l'effet des principaux ingrédients utilisés en biscuiterie (eau, sucre et matière grasse) en variant leurs taux d'incorporation. Le critère retenu pour la détermination de l'optimum de chacun d'entre eux sera le volume spécifique des biscuits. Ce dernier permet l'appréciation de leur développement au cours de la cuisson et renseigne sur leurs propriétés texturales, l'un des principaux critères de qualité entrant pour une part importante dans l'appréciation qualitative d'un biscuit sec par le consommateur (THARRAULT, 1997). D'autre part, compte tenu de la possibilité de consommation de nos biscuits sous forme de bouillies, il est envisagé dans ce cas de rechercher la meilleure instantanéité lors de la préparation de celles-ci.

Dans la présente recherche et conformément aux objectifs signalés sont visés :

1. La fabrication de trois farines infantiles sans gluten sous forme de biscuits pouvant être consommées telles quelles ou délayées dans un liquide en se basant sur la supplémentation céréales-légumes secs ;
2. Les tests rhéologique et de l'aptitude technologique des farines-biscuits fabriquées ;
3. L'appréciation de leur qualité nutritionnelle à travers le calcul des densités énergétiques et nutritionnelles.

RAPPORT BIBLIOGRAPHIQUE

I. Alimentation de l'enfant

La période de la première enfance se caractérise par une croissance rapide, une maturation de toutes les fonctions de l'organisme, mais aussi par une immaturité physiologique en particulier métaboliques et des systèmes de défense. C'est aussi une phase essentielle d'acquisition des connaissances, de construction intellectuelle et sociale. Pendant cette période, l'alimentation participe étroitement à ces processus de développement par le choix des aliments progressivement introduits et par des apports quantitativement et qualitativement adaptés à des besoins évolutifs (ANCELLIN et DUMAS, 2004).

1-1/ Age de la diversification alimentaire

L'organisme du nourrisson qui a des besoins nutritionnels importants, présente des particularités physiologiques qui le rendent inapte jusqu'à un certain âge, à utiliser l'alimentation de l'adulte (MASSAMBA et TRECHE, 1994 ; LAMBERT-LAGACE, 1999) :

- absence ou immaturité de la denture;
- faible volume de tube digestif, en particulier de l'estomac;
- équipement enzymatique incomplet;
- faible développement de la muqueuse intestinale;
- insuffisance de l'appareil excréteur;
- fragilité du système immunologique.

Pendant les six premiers mois de la vie, le lait maternel permet de couvrir les besoins nutritionnels du nourrisson. C'est pour cela que l'OMS recommande un allaitement maternel exclusif pendant cette période. Toutefois, au-delà de six mois, l'alimentation lactée exclusive ne couvre plus les besoins du nourrisson qui ne cessent d'évoluer. Durant cette période dite de "sevrage", le bébé a besoin d'une nourriture spéciale lui fournissant suffisamment d'énergie, de protéines et d'autres matières nutritives comme des vitamines, des minéraux et des oligoéléments (GRET, 1994 ; DUPONT, 2005).

A partir de ce moment, il devient nécessaire d'introduire d'autres aliments, que nous désignerons sous le terme d'aliments complémentaires, pour assurer le développement et la croissance normale du nourrisson. Cette alimentation complémentaire est appelée à varier dans sa consistance, dans sa forme et dans sa constitution en nutriments avec l'âge de nourrisson. Elle doit donc avoir des caractéristiques physico-chimiques adaptées à sa physiologie particulière. 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).

Enfin, si l'âge d'introduction d'autres aliments que le lait peut varier suivant les nourrissons en fonctions des traditions culturelles familiales et de la maturation physiologique de l'enfant, l'ensemble des arguments nutritionnels et physiologiques plaident pour que la diversification alimentaire soit entreprise idéalement après 6 mois et jamais avant 4 mois (DUPONT, 2005). Ainsi, une introduction trop précoce d'aliments augmente le risque de maladies gastro-intestinales, d'intolérance alimentaire ou d'allergie, et induit une baisse de l'assimilation de certains éléments du lait maternel (fer en particulier) (GREINER, 1996). De ce fait, ce sont généralement les farines sans gluten qui sont les premières introduites pour un début d'une diversification alimentaire (LOKOMBÉ LÉKÉ et MULLIÉ, 2004).

1-2/ Farines infantiles

On dénomme habituellement "farines", les compléments alimentaires à très nette prédominance glucidique qui servent d'appoint calorique à l'alimentation du nourrisson. Les farines infantiles sont principalement composées de céréales; l'amidon y est partiellement hydrolysé. Certaines farines contiennent, en outre, du lait, des légumes, des fruits ou du cacao; elles sont souvent enrichies en minéraux, en fer et en vitamines (LAPAILLE, 1999).

Ainsi, par leur texture fine et digeste et leur composition riche et complète, les farines infantiles dites de sevrage, peuvent répondre aux besoins nutritionnels du jeune enfant, si elles sont bien utilisées en complément du lait maternel et non en s'y substituant (GRET, 1994).

Les farines de céréales apportent essentiellement deux types de nutriments : de l'amidon et des protéines appelées gluten. L'intérêt de l'amidon est d'être un glucide dont la dégradation intestinale est lente, libérant du glucose à un rythme régulier. Le gluten est une protéine imparfaitement adaptée à l'alimentation du petit enfant, sa composition est déficiente en plusieurs acides aminés, particulièrement en lysine par rapport aux besoins de cet âge. Mais son inconvénient principal, est le risque d'intolérance (maladie cœliaque) que peuvent provoquer celui du blé, du seigle, de l'orge et de façon moins certaine, de l'avoine. En outre, il n'y a intérêt d'administrer de la farine que lorsque le tube digestif du nourrisson est apte à hydrolyser l'amidon. Cette aptitude ne soit possible qu'à la fin du deuxième mois. Il ne semble donc pas utile d'introduire les farines avant l'âge de trois mois en ne donnant que des farines dites sans gluten jusqu'à l'âge de 6 mois et de n'introduire ensuite que progressivement les farines dites avec gluten (VERMEIL et coll., 1992).

Deux types de farines infantiles peuvent être distinguées : les farines dites « à cuire », qui nécessitent une cuisson plus ou moins prolongée, et les farines instantanées que l'on prépare sous forme de bouillies par simple mélange avec de l'eau portée à ébullition. Ces farines correspondent à des technologies de transformation différentes. Les farines à cuire s'obtiennent généralement par des procédés ne modifiant pas de façon importante leurs principaux

constituants (torréfaction/grillage, broyage et mélange de différentes matières premières). La production de farines instantanées fait appel à des procédés souvent plus complexes : cuisson au four (type biscuit), séchage sur rouleau, cuisson extrusion (BRUYERON, 1998).

Les farines de sevrage doivent être un aliment très nourrissant. Elles doivent compléter les apports du lait maternel et couvrir correctement les besoins nutritionnels du nourrisson. A cet égard, MOUQUET et coll., (1998) proposent une composition souhaitable en nutriments (tableau 01).

Tableau 01: composition souhaitable en nutriments pour des farines infantiles destinées aux nourrissons de 6 à 2 ans en complément du lait maternel (MOUQUET et coll., 1998)

Teneurs minimales ou maximales pour 100 Kcal	
<p>Protéines et acides aminés</p> <p>Protéines brutes.....<5.5 g Histidine.....>28 mg Isoleucine.....>67 mg Leucine.....>181 mg Lysine.....>120 mg Méthionine + cystine.....>66 mg</p> <p>Lipides et acides gras essentiels</p> <p>Lipides.....≥2.1 g Acide linoléique.....>480 mg Acide linoléique.....>56 mg</p>	<p>Minéraux</p> <p>Sodium.....>74 mg Calcium.....>125 mg Magnésium.....>19 mg Fer.....>4 mg</p> <p>Vitamines</p> <p>Vitamine A.....5 µg ER Vitamine D.....>2.5 µg Vitamine C.....>2.3 mg Thiamine.....>50 µg Acide folique.....>3 µg</p>

En pratique, ces farines sont composées de céréales, que l'on enrichit avec des protéines animales (lait) ou végétales (légumineuses), des matières grasses et des fruits. Toute fois, leur qualité ne dépend pas de leur épaisseur, mais de leur teneur en énergie (GRET, 1994).

D'après une analyse des expériences de production de farines infantiles en Afrique (TRECHE, 1995b), la plus ancienne est née en Algérie (1966), représentant une des plus grandes capacités de production. Il s'agit de la "Supéramine", qui est une farine précuite déshydratée, enrichie en protéine, équilibrée en acides aminés essentiels et enrichie en vitamines et sels minéraux, sucre et aromatisée. Elle se compose de farines de blé dur (28 %), de pois chiche (38 %) et de lentille (19 %), de lait écrémé en poudre (10 %), de saccharose (5 %) et de 1 % d'additifs (vitamines A, D, B2, B6, PP, C, CO₂Ca).

Actuellement, les besoins en aliments infantiles sont couverts par l'importation avec apparition, sur le marché algérien, de farines infantiles sans gluten (tableau 02). Ces produits, faciles à préparer, contribuent à la diminution de la fréquence et de la gravité de la maladie cœliaque de l'enfant. Cependant leurs prix sont relativement élevés. Ils se situent entre 130 et 200 DA les boîtes de 250 g de farines.

Tableau 02: Principales farines infantiles sans gluten existant sur le marché algérien.

Nom et origine Composition	FRANCE LAIT (Riz+miel) (France)	FRANCE LAIT (Riz+Fruits) (France)	Vigor (céréales) (Espagne)	Vigor (Fruits) (Espagne)
Ingrédients	-Farine de riz (40 %) -Lait écrémé -Huile de palme -Protéines sériques -Poudre de miel (4 %) -Maltodextrines -Sucre	-Farine de riz (33 %) -Lait entier -Lait écrémé -Sucre -Poudre de fruits 4 % (pomme, abricot, orange, banane)	-Céréales 60 % (farine de riz, amidon de maïs) -Huile végétale -Sucre -Maltodextrines -Protéines d'haricot -Sel -Lécithine de soja -Vanille	-Céréales 50 % (farine de riz, amidon de maïs) -Fruits 65 % (orange, pomme, poire, banane) -Huile végétale -Sucre -Maltodextrines -Protéines de haricot -Sel -Lécithine de soja
Composition (100 g)				
-Apport calorique (kcal)	405	403	393	403
-Protéines (g)	15.9	15	5.2	5.5
-Glucides (g)	69.6	70	89.1	89.5
-Lipides (g)	7	7	1.7	12.5
-Minéraux (mg)	Ca, F, Na, K, Mg, Cl, Fe, Cu, Zn, I	Ca, F, Na, K, Mg, Cl, Fe, Cu, Zn, I	Na, Ca, F	Na, Ca, Fe
-Vitamines (mg)	A, D, E, K, C, B1, B2, PP, B5, B6, B12, acide folique, biotine	A, D, E, K, C, B1, B2, PP, B5, B6, B12, acide folique, biotine	A, D, E, K, C, B1, PP, B6, acide pantothénique, acide folique, biotine	A, D, E, K, C, B1, PP, B6, acide pantothénique, acide folique, biotine

Nom et origine Composition	Blédine (légumes) (France)	Blédine (diase-crème de maïs) (France)	Blédine (banane) (France)	Celia (céréales) (France)
Ingrédients	-Farine de riz 28.2 % -Amidon de maïs 35.3% -Légumes déshydratés 16.9 % (carotte 8 %, poireaux 4.8 %, épinards 2.7 %, oignons, tomates 0.4 %) -Maltodextrines -Tapioca -Huile de palme -Emulsifiant -Lécithine de soja -Sucre -Traces de lait	-Farine de riz 32% -Amidon de maïs 32 % -Tapioca -Maltodextrines -Lécithine de soja	Farine de riz 36.1% -Amidon de maïs 30.6 % -Flocons de banane déshydratés 8.3% -Huile de palme -Arôme naturel -Sucre -Carbonate de sodium -Lécithine de soja	-Crème de riz 88.7% -Amidon de maïs 36.9 % -Crème de tapioca 10.3% -Maltodextrines -Extrait de malt diastasique
Composition (100 g)				
-Apport calorique (kcal)	368	381	389	375
-Protéines (g)	4	2.3	3.4	2.9
-Glucides (g)	83.5	92	90.1	90.5
-Lipides (g)	2	0.4	1.7	0.3
-Minéraux (mg)	Na, Fe	Na	Na, Fe	Na, Ca, Fe
-Vitamines (mg)	E, C, B1, B5, B6, PP, acide folique, biotine	E, C B1, B5, B6, B8, B9, PP	E, C, B1, B5, B6, PP, acide folique, biotine	A, D, E, C, B1, B2, PP, B5, B6, B12, acide folique, biotine

1-3/ Densité énergétique des bouillies

La quantité d'énergie qu'un enfant peut consommer chaque jour à partir des bouillies dépend du nombre de repas, des quantités consommées à chaque repas et de la densité énergétique des bouillies (MOUQUET et coll., 1998).

Dans le cas de bouillies préparés à partir d'aliments amylicés n'ayant pas subi un traitement enzymatique ou hydrothermique, la concentration en farines des bouillies est le déterminant principal de leur densité énergétique. Or, dans de nombreuses sociétés, les mères prises par de multiples tâches, ne peuvent pas préparer de bouillies plus de deux fois par jour. Par ailleurs, les enfants ne peuvent pas ingérer plus de 30 à 40 ml de bouillies par kg de leur poids à chaque repas en raison de leur capacité stomacale réduite.

Pour augmenter l'ingéré énergétique des nourrissons, il semble donc être nécessaire de mettre en oeuvre des traitements enzymatiques et/ou hydrothermiques qui modifient les propriétés physico-chimiques des amidons, responsables de l'épaississement des bouillies lors de la cuisson, de façon à réduire à un niveau acceptable par les jeunes enfants leur viscosité lorsqu'elles sont préparées à des concentrations en matière sèche suffisantes.

En effet, pour qu'elles puissent compléter les apports du lait maternel lorsque leur fréquence de consommation est de deux fois par jour, les bouillies doivent avoir une densité énergétique proche de 120 Kcal/100 ml (de 100 à 140 Kcal/100 ml). Cette densité est deux fois supérieure à la densité énergétique moyenne des bouillies traditionnelles. En outre, elles doivent avoir une consistance suffisamment fluide pour être bien acceptées par les enfants (GRET, 1994 ; TCHIBINDAT et TRECHE, 1995 ; TRECHE, 1995a ; LAURENT, 1997 ; MOUQUET et coll., 1998).

II. Le riz et les légumes secs dans l'alimentation

Le choix des matières premières doit être raisonné. Il repose notamment sur l'évaluation de différentes contraintes et opportunités : leur disponibilité, les habitudes alimentaires de la population et enfin le coût des matières premières. Cependant, une faible proportion d'une matière première de prix élevé peut améliorer considérablement la valeur nutritionnelle finale d'un mélange de farines (BRUYERON et TRECHE, 1998).

2-1/ Le riz

2-1-1/ Généralités

Le riz est une graminée annuelle semi-aquatique. Il est presque exclusivement réservé à l'alimentation humaine et constitue la denrée alimentaire de base de plus de la moitié de la population mondiale. Une vingtaine d'espèces du genre *Oryza* ont été identifiées, mais la presque totalité du riz cultivé est de l'espèce *Oryza sativa* L. (JULIANO, 1994 ; LAIGNELET, 1998).

Les surfaces rizicoles occupent 11% des terres cultivables du monde dans des zones géographiques et climatiques très diverses. 90% se trouvent en Asie, qui fournit 92% de la production mondiale ; l'Afrique, le continent américain, et cinq pays de l'Union Européenne (Italie, Espagne, Portugal, France, Grèce) se partagent le reste. Ainsi, le riz occupe depuis 1995 la première place des céréales produites dans le monde, avant le blé et le maïs (PIRAS, 2000).

2-1-2/ Classification du riz

Le comité de la Commission du Codex Alimentarius propose une classification de riz usiné selon la longueur et le rapport longueur/largeur du grain (*Codex Alimentarius*, 1995) :

- Riz à grain long ; a une longueur moyenne du grain de plus de 6.0 mm et un rapport longueur/largeur de 3 ou plus.
- Le riz à grain moyen ; a des grains d'une longueur supérieur à 5.2 mm mais inférieur ou égale à 6.0 mm et un rapport longueur/largeur de moins de 3 ;
- Le riz à grain court ; a des grains d'une longueur moyenne de 5.2 mm ou moins et un rapport longueur/largeur de moins de 2.

2-1-3/ Traitement du riz après récolte

Après la récolte le grain de riz est séparé de la paille par battage. Le grain pourvu de sa balle prend le nom de paddy ou riz brut. Les balles (glumes et glumelles) qui sont riches en fibres cellulosiques représentent environ 20 % du poids du grain. Le grain proprement dit ou caryopse représentant environ 80 % de poids du riz paddy se compose, comme le grain de blé, de trois parties : l'écorce (péricarpe, tégument séminale, assise protéique), l'amande et le germe.

Pour obtenir un riz comestible. Le paddy nettoyé et séché subit un traitement mécanique appelé usinage comprenant deux étapes ; un décorticage qui consiste à lui retirer la balle non comestible donnant un riz décortiqué, aussi appelé riz cargo ou riz complet. Puis un blanchiment, ayant pour but de débarrasser le riz cargo de son écorce brune et d'obtenir ainsi le riz blanchi (MOHTADJI-LAMBALLAIS, 1989 ; FAO, 1990).

Afin d'améliorer les qualités nutritionnelles et d'usinage, ainsi que son aptitude à la cuisson et à la conservation, le riz peut subir un étuvage. Ce procédé consiste en un trempage préliminaire du paddy dans de l'eau, puis un passage à la vapeur, et en fin un séchage. L'étuvage entraîne une gélatinisation de l'amidon et une désintégration des fractions protéiques, facilitant ainsi leur digestibilité. En plus, il provoque une migration des vitamines, des protéines et des éléments minéraux vers l'intérieur du grain, en réduisant la perte de ces constituants au cours de l'usinage (FAVIER, 1989 ; FAO, 1990 ; ALARY et LAIGNELET, 1998).

2-1-4/ Valeur nutritionnelle

Le riz est un aliment énergétique de bonne valeur nutritionnelle avec une prédominance glucidique. L'amidon de riz, constituant glucidique majeur, se caractérise par une digestibilité élevée, raison pour laquelle le riz est utilisé, généralement sous forme de farine, dans les aliments infantiles (LAUREYS et GEEROMS, 2002). Les protéines du riz sont d'un point de vue nutritionnel parmi celles qui sont les moins mal équilibrées chez les céréales avec une teneur en lysine (facteur limitant pour les protéines céréalières) plus élevée (JULIANO, 1994 ; LAIGNELET, 1998). En plus, le riz se distingue des autres céréales par sa teneur élevée en glutélines (solubles dans les bases diluées) et faibles en prolamines (solubles dans les solutions alcooliques).

Les lipides du riz sont constitués principalement d'acides gras insaturés. Ils sont concentrés surtout au niveau du germe et de l'assise protéique. Le riz est une bonne source de vitamines du groupe B (thiamine, riboflavine et niacine) mais contient peu ou pas de vitamines A, C et D. La plus grande partie des vitamines se trouve dans la couche à aleurone et le germe, d'où une perte vitaminique importante du fait de l'usinage (tableau 03). Outre le silicium, le riz contient des quantités assez importantes de magnésium et de potassium et il est particulièrement pauvre en sodium qui en fait un aliment conseillé pour des régimes désodés (MOHTADJI-LAMBALLAIS, 1989; LAIGNELET, 1998).

Tableau 03: Comparaison de la valeur nutritionnelle du riz cargo, riz blanchi et de la farine de riz pour 100 g de matière sèche (MOHTADJI-LAMBALLAIS, 1998).

Nutriments	Riz cargo	Riz blanchi	Farine de riz
Protéines (g)	8	7,6	7,5
Lipides (g)	1,7	0,3	0,5
Glucides (g)	77,7	79,4	78
Fibres végétales (g)	1,2	0,2	/
Calcium (mg)	50	10	10
Fer (mg)	2,6	1,4	0,6
Vitamine B1 (mg)	0,30	0,06	0,06
Vitamine B2 (mg)	0,06	0,03	0,05

2-1-5/ Qualité culinaire du riz

Les propriétés physiques, telles que la longueur, la largeur, la translucidité, le degré d'usinage, la couleur et l'âge du riz usiné sont des indicateurs de la qualité du grain. La teneur de l'amidon de riz en amylose est le principal facteur de qualité à la consommation (JULIANO, 1994). Cette teneur varie entre 0 et 33%. En Europe, la majorité des riz produits ont une teneur comprise entre 10 et 25 %. Au niveau des transitions internationales, on sépare des autres, les riz

cireux « waxy » avec moins de 2 % d'amylose et donc avec un amidon composé presque exclusivement d'amylopectine (LAIGNELET, 1997).

Le contenu en amylose est directement en corrélation avec le gonflement du riz et l'absorption d'eau au cours de la cuisson et aussi la dureté, la blancheur et la texture du riz cuit. Ainsi les riz cireux gonflent peu et ont une forte tendance à se désagréger. Un riz riche en amylose est plus ferme et colle moins (JULIANO, 1994 ; LAIGNELET, 1997).

Le degré de cuisson du riz est influencé par la température de gélatinisation des granules d'amidon. Cette température est définie comme étant celle à laquelle au moins 90 % des granules d'amidon sont gélatinisés ou ont perdu leur biréfringence. Pour les granules d'amidon de riz, cette température est classée comme suit: faible (55-69,5 °C), intermédiaire (70-74 °C) et élevée (74,5-80 °C) (JULIANO, 1994 ; LAIGNELET, 1997).

2-2/ Légumes secs

2-2-1/ Généralités

Les légumes secs sont les graines comestibles des plantes de la famille des légumineuses. Ils sont particulièrement riches en amidon et à teneur peu élevée en lipides. Elles sont caractérisées par une forte teneur en protéines. Il s'agit des haricots secs, des lentilles, des pois chiches, des pois ronds et cassés, des fèves (FAO, 1982 ; BICHON, 1991 ; CUQ et LEYNAUD-ROUAUD, 1992).

Au niveau mondial, le Canada constitue le premier exportateur. Les plus grands importateurs sont l'Espagne et l'Inde. Cette dernière est le plus important acheteur de légumineuses destinées à la consommation humaine, tandis qu'en Espagne, la légumineuse la plus importée est le pois fourrager (GORDON, 2002).

En Algérie, la superficie réservée aux légumineuses représente près de 102.000 hectares (moyenne de la période 1990-1996), soit 1,26 % de la superficie agricole utile du pays et 4,3 % de la superficie totale des céréales. Les différentes cultures pratiquées sont : la fève, principalement la fêverole, et le pois chiche qui constituent les cultures les plus importants (plus de 80 % de la superficie nationale), le pois sec (9,7 %), la lentille et la gesse (KARALI, 2000). La production locale de légumes secs pour l'année 1998 ne dépassait guère les 45.000 tonnes, tan disque les chiffres des importations étaient environ trois fois plus importantes (146.485 tonnes) (BOUMGBAR, 2000).

2-2-2/ Composition et valeur nutritionnelle des légumes secs

Les légumineuses jouent un rôle essentiel sur le plan nutritionnel et économique en raison de leur place dans l'alimentation des millions de personnes. Leur importance alimentaire est due au fait qu'elles sont riches en protéines (teneur deux à trois fois plus élevée que la plupart des

céréales). Elles constituent une bonne source d'énergie et fournissent de nombreux éléments minéraux essentiels, comme le calcium et le fer (FAO, 2001).

Les protéines des légumineuses, localisées presque exclusivement dans les cotylédons, sont principalement constituées d'albumines (10 à 20 %) et de globulines (60 à 90 %). La fraction albumine est en général assez hétérogène car elle rassemble la plupart des protéines ayant un rôle physiologique dans la graine (enzymes, inhibiteurs). Elle est soluble dans l'eau et facilement attaquant par les enzymes digestives. Les globulines ont un rôle de réserve. Leur structure compacte explique leur résistance aux enzymes digestives (GUEGUEN et LEMARIE, 1996 ; CALET, 1992).

Les protéines des légumineuses ont un profil en acides aminés plutôt opposé à celui des céréales. Elles se caractérisent en général par des teneurs élevées en lysine et relativement faibles en acides aminés soufrés (GUEGUEN et LEMARIE, 1996 ; CALET, 1992). Cette déficience est plus marquée dans le cas du pois et de la fève que dans le cas du pois chiche (FAO, 1982).

Tableau 04 : Composition moyenne de trois légumes secs, pour 100 g de matière sèche (FAO, 1982 ; BOYELDIEU, 1991 ; CUQ et LEYNAUD-ROUAUD, 1992)

Graines	Protéines	Lipides	Glucides totaux	Cendres
Pois chiche	19,4-20	5-5,6	54,9-58	4
P-protéagineux	25-27	1,5-1,8	57-60	3,5
Fève	27-31	1,5	48,9-52	4-5

2-2-3/ Facteurs antinutritionnels des légumes secs

Les protéines n'ont de valeur biologique que dans la mesure où elles sont absorbées et retenues dans l'organisme. Or, les légumineuses renferment d'autres protéines que celles citées et les accompagnent à l'intérieur des corps protéiques et qui interfèrent sur leur digestibilité et leur absorption. Elles sont rassemblées sous le vocable de "facteurs antinutritionnels". Parmi ces derniers, les principaux sont les inhibiteurs de la trypsine et les phyto-hémagglutinines (ou lectines). Les premiers entravent l'action d'hydrolyse des protéases (trypsine, chymotrypsine) en les complexant. Les seconds altèrent et atrophiaient les villosités de la muqueuse intestinale et ont la propriété immunologique de précipiter les globules rouges (anémie).

D'autres éléments non protéiques apparaissent également comme antinutritionnelles (tanins, pectines, cellulose, etc.). Ils interfèrent avec les antitrypsines et les lectines dans la digestibilité des protéines. Les graines décortiquées en sont plus pauvres que les graines entières.

La faible digestibilité des légumes secs n'est pas due seulement à la présence des antinutritionnelles, mais aussi à la structure de leurs protéines elles mêmes et l'enveloppe glucidique qui les protège (6.5 % de sucre protège les globulines des protéases) (CALET, 1992).

2-2-4/ Fève

Les fèves et fêveroles sont des cultivars d'une même espèce, *Vicia faba L.*, originaire du sud de la mer Caspienne et semée dans de très nombreuses régions à climat tempéré. La fève appartient à la tribu des viciées. Ses dimensions conduisent à distinguer deux sous-espèces (BOYELDIEU, 1991) :

- *V. faba major*, ou fève proprement dite, dont la grosse graine aplatie peut mesurer 2 à 3 cm de long et porte un long hile noir ;

- *V. faba minor*, ou *equina*, la fêverole, dont la graine plus petite est plus ou moins cylindrique ou ovoïde, légèrement comprimée.

En tenant compte des différences de comportement physiologique (résistance au froid) des fêveroles, des variétés appropriées aux conditions du milieu peuvent être choisies dont deux groupes sont connus : les fêveroles de printemps et celles d'hiver (BOYELDIEU, 1991).

En Algérie, la fêverole a été l'une des espèces les plus utilisées dans les régions montagneuses, particulièrement en Kabylie, pour l'alimentation humaine et animale. Cette espèce a fortement régressé depuis la mise au point d'aliments du bétail. Plus récemment, en 1990, une étude de la valeur nutritive de la fêverole *Sidi Aïch* a été faite dans le but de l'incorporer dans l'alimentation du poulet de chair (CHOUAKI, 2006).

2-2-5/ Pois chiche

Le pois chiche, *Cicer arietinum*, n'est pas connu à l'état sauvage ; il semble être originaire d'Asie occidentale. Cependant, il est connue comme la légumineuse typique du bassin méditerranéen (FAO, 1990).

Il existe de nombreuses variétés de pois chiche (plus de 20.000 dans le monde) qui peuvent se classer en deux grands types (PLANCQUAERT et WERY, 1991) :

-*DESI* : graines assez petites, (poids de mille grains < 300 g), ridées, de couleur jaune à noire. Il représente environ 85 % de la production mondiale, et est surtout cultivé en Asie ;

-*KABULI* : graines moyennes à assez grosses (poids de mille grains > 250 g), ridées, de couleur claire ; il est cultivé surtout dans le bassin méditerranéen.

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 (PLUVINAGE, 1990). Cependant, des travaux de recherche

réalisés, depuis plus 15 ans par les différentes structures nationales (l'Institut National Agronomique INA, l'Institut Technologique des Grandes Cultures ITGC), ont porté essentiellement sur des aspects de techniques culturales et de comportement. En effet très récemment, quelques lignées de pois chiche d'hiver sont actuellement en phase de production de semence en station et chez les agriculteurs, il s'agit de : *Chetoui* et *Flip* (CHOUAKI, 2006).

2-2-6/ Pois protéagineux

Le pois protéagineux est une légumineuse annuelle à cycle court. Originaire du Moyen Orient. Le terme "pois protéagineux" désigne tous les pois secs (c'est-à-dire récoltés à maturité complète) à fleur blanche, de l'espèce *Pisum sativum*, quelque soit leur utilisation (CORPEN, 1999).

Le pois cultivé comporte des types très différents sélectionnés depuis longtemps dans des buts bien divergents : stockage du grain secs, consommation du grain vert, frais ou mis en conserve, fourrage. Ainsi au sein de l'espèce *Pisum commune Clavaud*, on distingue (BOYELDIEU, 1991) :

- *Pisum sativum* ou *hortense*, pois de jardin à grain globuleux, vert ou jaune, lisse ou ridé, à fleur blanche ; il en existe des milliers de cultivars ;
- *Pisum arvense*, pois des champs ou pois fourrager, à grain gris anguleux, à fleur bleuâtre, utilisé pour la pâture, distribué au bétail en plante entière ou en grains ;
- *Pisum axiphium*, ou pois sucré ;
- *Pisum elatius*, à fleur rose lilacé.

2-2-7/ Complémentation céréales-légumineuses

Depuis les débuts de l'agriculture, les céréales et les légumineuses ont toujours été cultivées ensembles. Associées et consommées ensemble, les protéines des légumes secs et des céréales se complètent et fournissent des protéines de bonne valeur nutritionnelle. Ainsi, les protéines des céréales trouvent un supplément de lysine dans celles des légumineuses qui en sont riche. Ces dernières trouvent une compensation en acides aminés soufrés dans les protéines des céréales qui en ont une bonne teneur. En outre, leur consommation simultanée donne aux protéines absorbées plus de valeur que si ces aliments étaient mangés séparément (FAO, 1982).

Chaque civilisation a mis au point sa propre combinaison de protéines complémentaires. Citons : riz et soja en Extrême-Orient, couscous et pois chiche en Afrique du nord, maïs et haricots secs en Amérique, mil et niébés en Afrique noire, blé, orge, seigle, avoine et haricots secs, lentilles, fèves, pois cassés en Europe (FAO, 1982 ; FAO, 1990). En outre, les légumineuses complètent les céréales non seulement pour les protéines, mais aussi pour les minéraux et les vitamines du groupe B (FAO, 1982). C'est ainsi que dans de nombreux pays la

supplémentation avec des farines de légumineuses est exploitée pour la fabrication de farines diététiques, particulièrement pour les nourrissons et les enfants en bas âge.

Toutefois, il existe pour les mélanges de céréales et de graines de légumineuses certaines proportions qui portent à son niveau maximal la valeur des protéines combinées. Ces proportions sont l'objet d'un débat permanent. Pour certains auteurs, une complémentarité optimale est assurée par un rapport céréales-légumes secs de 2/1. Ainsi, un apport d'environ 67 % blé et 33% pois chiche permet d'obtenir une qualité protéique optimale (FAO, 1990). Cependant, pour d'autres auteurs, l'addition d'une proportion de 5 à 10 % de légumineuses aux céréales est satisfaisante (FAO, 1982).

III. La technologie biscuitière

3-1/ Définition du biscuit

L'origine du mot biscuit est "Bis-Cuit", qui signifie subir une double cuisson. A ses débuts, le biscuit étant en effet une sorte de galette nécessitant une première cuisson, puis un passage dans des compartiments au-dessus du four ou dans une étuve pour terminer l'évaporation de son humidité (KIGER et KIGER, 1967 ; MENARD et coll., 1992). Cette double cuisson n'est plus pratiquée actuellement en biscuiterie et il sera plus juste d'entendre le terme biscuit par « bien cuit » (KIGER et KIGER, 1967).

A ce biscuit peut être attribuée la définition suivante : "C'est un aliment à base de farines alimentaires, de matière sucrantes, de matière grasse, et de tous autres produits alimentaires, parfums et condiments autorisés, susceptibles, après cuisson de conserver ses qualités organoleptiques et commerciales pendant une durée supérieure à un mois, et pouvant dépasser une année (biscuiterie sèche) ou un temps limité en fonction d'un débit régulier assez rapide (pâtisserie industrielle)" (KIGER et KIGER, 1967 ; MOHTEDJI-LAMBALAIS, 1989).

3-2/ Classification des biscuits

Il n'existe pas de classification officielle des biscuits en raison de la très grande variété des productions et de la multiplicité des composants pouvant entrer dans les diverses fabrications. Cependant, une classification peut être envisagée en se basant sur la consistance de la pâte avant cuisson (KIGER et KIGER, 1967, MOHTEDJI-LAMBALAIS, 1989 ; FEILLET, 2000) :

- Les pâtes dures ou semi-dures donnant naissance au type de biscuits secs sucrés et salés : casse croûte, sablés, petit beurre, etc. C'est une fabrication sans œufs qui représente environ 60 % de la consommation de biscuits.

- Les pâtes molles s'adressent à la pâtisserie industrielle (à ne pas confondre avec la pâtisserie fraîche). Il s'agit à la fois de biscuits secs, tels que boudoirs, langues de chat et d'articles

moelleux tels que génoises, madeleines, cakes, macarons. La particularité de ces biscuits est leur richesse en œufs et en matières grasses. Ils représentent environ 26.5 % de la consommation.

- Les pâtes qui ont une forte teneur en lait ou en eau et contiennent peu de matières grasses. Ce sont les pâtes à gaufrettes (10.5 % de la consommation).

Plusieurs facteurs peuvent influencé la qualité des biscuits tels que ; la qualité et le niveau des ingrédients utilisés, les conditions de fabrication telles que le pétrissage, le repos et le moulage de la pâte, et en fin la cuisson et le refroidissement des biscuits (MAACHE-REZZOUG et coll., 1998b ; MANOHAR et RAO, 2002).

3-3/ Effet des principaux ingrédients

Dans la fabrication des biscuits, les principaux ingrédients sont, la farine, l'eau, le sucre et la matière grasse. Une variété de forme et de textures peut être produite en changeant les proportions de ces ingrédients (MAACHE-REZZOUG et coll., 1998a ; CHEVALLIER et coll., 1999 ; FEILLET, 2000).

Les cadences aujourd'hui élevées des lignes de biscuiterie limitent fortement les ajustements en cours de fabrication. Les contraintes reposent donc de plus en plus sur le choix des matières premières mises en œuvre en exigeant une régularité toujours plus importante de ces dernières. De cette régularité dépend le respect des critères de qualité des produits fabriqués et donc la productibilité des lignes (THARRAULT, 1997). Plusieurs auteurs ont essayé de décrire l'effet des ingrédients dans une pâte et l'équilibre de la formule sur la structure finale du produit (MANOHAR et RAO, 1997 ; MAACHE-REZZOUG et coll., 1998a ; MANOHAR et RAO, 1999a ; 1999b).

3-3-1/ La farine

Malgré la diversité des produits rencontrés en biscuiterie (plus de 800 références reconnues à ce jour), la farine de blé reste la matière première principale de ce secteur. Elle constitue un élément clé de la qualité des produits de biscuiterie. C'est par exemple le cas des biscuits secs et des goûters, qui représentent la part la plus importante des références biscuitières, dont la farine représente plus de 60 Kg par 100 Kg de biscuit (MOHTEDJI-LAMBALAIS, 1989 ; SELSELET-ATTOU, 1991 ; MENARD et coll., 1992 ; THARRAULT, 1997 ; FEILLET, 2000).

La valeur biscuitière d'une farine se juge d'après son aptitude à donner une pâte machinable, qui selon KIGER et KIGER (1968) cité par (BARTOLUCCI, 1997) résiste à un certain degré de brisure et pouvoir s'étendre en couche minces sans se casser ou craqueler à la surface, en donnant un produit fini de qualité.

Certains facteurs intrinsèques à la farine comme les protéines ont une influence quantitativement et qualitativement importante sur la qualité du produit fini. Le rôle exercé par la teneur en protéines des farines sur leur qualité technologique est essentiellement fonction de la nature du produit fini. D'une façon générale, les fabrications des pâtes à levée lente, fermentées biologiquement (pains et biscottes), exigent des farines à teneur en protéines toujours plus élevée que celles dont la levée rapide est provoquée par des adjuvants chimiques (articles de biscuiterie et de pâtisserie). Il est connu que la panification devient impossible lorsque la teneur des farines en protéines est inférieure à 7% (COLAS, 1998).

Pour une farine biscuitière, la teneur en protéines doit être comprise entre 7.5 et 10 %. Elle doit rester inférieure à 11 %, car dans une farine trop forte, l'élasticité élevée de la pâte provoque son rétrécissement dans la machine et au four, avec l'inconvénient de donner des biscuits petits et épais (MENARD et coll., 1992 ; COLAS, 1998 ; FEILLET, 2000). En outre, l'augmentation de la teneur en protéines favorise la structuration du réseau de gluten formé pendant le pétrissage. Cependant, un réseau glutineux excessivement structuré bloque l'émission gazeuse. En conséquence, le biscuit produit est mince et sa texture est compacte (MAACHE-REZZOUG et coll., 1998a). Néanmoins, dans le cas des formules de biscuits riches en gras et en sucre (40% de sucre et 10 à 25% de gras). On peut employer des farines fortes, dont le corps sera coupé par ces matières (SELSELET-ATTOU, 1991 ; MENARD et coll., 1992).

Par ailleurs, dans la formulation des produits de boulangerie et de biscuiterie sans gluten, le remplacement du gluten en tant qu'une protéine essentielle de structuration, contribuant à l'aspect et à la structure de beaucoup de produits, présente un défi technologique important. Ces dernières années il y a sensiblement eu plus de recherches sur les produits sans gluten comportant une approche diverse qui inclue l'utilisation des amidons, des gommes et des hydrocolloïdes et d'autres protéines sans gluten, comme solutions de substitution au gluten. Ces substances améliorent la structure, le goût, l'acceptabilité et la durée de conservation des produits de boulangerie sans gluten. De telles recherches ont également conduit à une augmentation de la gamme des produits sans gluten étant vendus sur le marché (GALLAGHER, 2004).

3-3-2/ La matière grasse

En biscuiterie, les matières grasses utilisées sont généralement d'origine végétale (MOHTEDJI-LAMBALAI, 1989 ; FEILLET, 2000). Celles-ci permettent d'accomplir un nombre considérable de fonctions telles que (KIGER et KIGER, 1967 ; STAUFFER, 1998) :

- ü Plasticité
- ü Contribution structurale ;
- ü Incorporation et stabilisation d'air ;
- ü Transfert de chaleur ;

Ü Qualités organoleptiques et nutritionnelles.

Les facteurs déterminant la capacité d'une matière grasse particulières à accomplir une ou plusieurs de ces fonctions sont : la plasticité d'une matière grasse solide, le rapport entre la phase solide et liquide (Indice de Graisse Solide "SFI" ou Contenu de Graisse Solide "SFC") et la stabilité à l'oxydation d'une graisse ou huile ou la rancidité (STAUFFER, 1998).

Plasticité

En biscuiterie, la matière grasse (MG) joue le rôle d'agent plastifiant et agit en tant que lubrifiant. Ainsi, dans le cas des pâtes fermes à faible taux d'hydratation (biscuits secs) elle accroît la plasticité de la pâte, ce qui se traduit par une diminution de sa consistance sans qu'il soit nécessaire d'ajouter de l'eau supplémentaire, qu'il faudra par la suite évaporer (KIGER et KIGER, 1967 ; MENARD et coll., 1992). En effet, chaque graisse possède sa plasticité particulière. La zone de fusion du corps gras est importante. Si, d'une part, la température du malaxage dépasse la zone de fusion de la MG, on verra apparaître de l'huile liquide. Cette huile aura tendance à être résorbée coup après coup par les particules de la farine, donnant une pâte huileuse qui n'aura pas les propriétés requises pour être machinée. D'autre part, une température au malaxage au-dessous de la zone de fusion laissera des particules de farine non recouvertes de gras (MENARD et coll., 1992).

Contribution structurale

Un second rôle du corps gras dans un biscuit sec est qu'il coupe le corps de la pâte et rend discontinu le réseau du gluten, donnant une pâte moins élastique. Les globules de la matière grasse entourent les protéines et les grains de l'amidon, les isolent en s'opposant à la formation d'une masse cohésive et continue. La capacité de la matière grasse de disperser les constituants du mélange, due à son insolubilité dans l'eau, se traduit après cuisson par la friabilité du biscuit. Cette dernière constitue l'une des caractéristiques recherchées du produit fini. (KIGER et KIGER, 1967 ; MAACHE-REZZOUG et coll., 1998a).

Le corps gras préalablement émulsifié, contient de l'eau et de l'air sous forme d'inclusion, qui sous l'action de la chaleur vont se vaporiser et former des vacuoles. Cette formation d'alvéoles, secondant celles des poudres levantes ajoutées au biscuit, confère au produit fini sa structure alvéolaire (KIGER et KIGER, 1967).

Incorporation et stabilisation d'air

La matière grasse joue un rôle important dans l'incorporation et la stabilisation de l'air dans les pâtes biscuitières. BROOKER (1993) ; ELIASSON et SILVERIO (1997) ; STAUFFER (1998) et KOCER (2007) ont montré qu'il existe une relation directe entre le rapport solide/liquide (Indice de Graisse Solide SFI) d'une matière grasse solide et la qualité des produits cuits.

Ainsi, au cours du processus à deux étapes de fabrication de biscuits, la matière grasse et le sucre sont d'abord mélangés ou écrémés pour incorporer de l'air. Ces bulles d'air sont les noyaux de propagation de gaz durant la cuisson au four, ce qui crée la structure intérieure du produit fini. En pratique, l'air se trouve dans l'huile liquide. Ainsi, si l'indice de graisse solide (SFI) est très élevé il n'y a pas de volume d'huile suffisant pour permettre une aération parfaite. D'un autre côté, si le SFI est trop bas, l'air n'est pas bloqué, et il peut échapper avant que le pétrissage de la pâte soit terminé. En effet, il y a une zone des valeurs de SFI pour donner cette aération optimale de la matière grasse fouettée, et qui correspond à la zone plastique.

Dans le processus à une étape, où tous les ingrédients sont mélangés ensemble, l'air est attrapé dans la phase liquide plutôt que dans la phase lipidique, en formant une mousse d'air dans l'eau. En pratique, les cristaux de graisse forment, pendant le pétrissage, une interface graisse solide (cristalline)-eau et peuvent stabiliser un grand nombre de petites bulles d'air par adsorption sur leur surface. Pendant la cuisson au four, un grand nombre de ces cristaux fondent libérant ainsi suffisamment d'interface aux bulles d'air pour s'expanser sans rupture sous l'effet de la vapeur d'eau et du gaz carbonique produits, donnant ainsi un biscuit de volume élevé avec une structure fine.

Transfert de chaleur

De toutes les matières premières mises en œuvre, la matière grasse est celle qui a le coefficient de conductibilité thermique le plus élevé. En effet, lors de la cuisson des biscuits les matières grasses ont la propriété d'atteindre rapidement et sans altération des températures relativement élevées (230 à 280°C) par rapport à la température d'ébullition de l'eau. Il est donc facile de penser que la cuisson d'un article sera d'autant plus rapide et plus régulière que chaque particule solide de la pâte sera en contact intime avec la matière grasse (MENARD et coll., 1992).

Qualités organoleptiques et nutritionnelles

Sur le plan organoleptique, le corps gras communique au produit, lorsque celui-ci ne contient aucun parfum surajouté, sa saveur et son arôme. En outre, il faut rappeler la grande valeur alimentaire des corps gras tant au point de vue source de vitamines que de calories, dont l'apport au mélange sucre-farine fait que les biscuits sont des produits nutritionnellement bien équilibrés (KIGER et KIGER, 1967).

3-3-3/ Le sucre

Le sucre est le troisième élément important dans la fabrication des biscuits. Il représente de 15 à 25 % dans la formule d'un biscuit sec, et plus de 25 % en pâtisserie industrielle. Le saccharose, ajouté à l'état cristallin, est le plus employé. En plus de son pouvoir sucrant, il

contribue à la formation des arômes, de la texture, de la coloration et à la conservation des biscuits. Il a également une fonction plastique (FEILLET, 2000).

En biscuiterie, le sucre a une influence remarquable sur le comportement de la pâte en provoquant son ramollissement. Cela est dû en partie à la compétition entre le sucre supplémentaire et la farine sur la disponibilité de l'eau dans le système (MAACHE-REZZOUG et coll., 1998a).

Le sucre influence les propriétés mécaniques des biscuits. Après cuisson, le saccharose agit en tant qu'agent durcissant en se cristallisant pendant le refroidissement du biscuit, ce qui fait du produit croustillant. Une augmentation de la concentration en sucre dans la formule crée des liens plus forts entre les particules après cristallisation en donnant un biscuit plus dur, indéformable avec une surface granuleuse (MENARD et coll., 1992 ; MAACHE-REZZOUG et coll., 1998a).

En outre, le sucre joue un rôle important dans le développement de la couleur du biscuit pendant la cuisson. Sa caramélisation à une température supérieure à 149 C donne la couleur recherchée de la face extérieure du biscuit et permet d'atteindre différentes nuances (MENARD et coll., 1992).

Enfin, le sucre aide à retarder le rancissement de la matière grasse et la multiplication microbienne dans les biscuits. Ainsi, la haute teneur en sucre d'un biscuit favorise une pression osmotique élevée et diminue l'activité de l'eau, ce qui prolonge la durée de conservation (MENARD, 1992).

3-3-4/ L'eau

L'eau est un ingrédient essentiel dans la formation de la pâte. Elle a un rôle complexe, en déterminant l'état de conformation des biopolymères. L'eau est nécessaire pour la solubilisation des ingrédients, pour l'hydratation des protéines et des hydrates de carbone et pour le développement d'un réseau de gluten. Elle affecte la nature des interactions entre les divers constituants de la formule et contribue à la structuration de la pâte.

Elle est également un facteur essentiel dans les comportements rhéologiques des pâtes. L'ajout d'eau à la formule réduit la viscosité et l'élasticité de la pâte et augmente son extensibilité. L'augmentation de la quantité d'eau produit également une réduction de la consistance, une augmentation de la fluidité et de l'adhérence de la pâte. En revanche, si la proportion de l'eau est trop basse, la pâte devient fragile et montre une formation marquée de croûte dû à la déshydratation rapide à la surface (MAACHE-REZZOUG et coll., 1998a).

Ainsi, en fonction de leur teneur en eau, les pâtes biscuitière et de pâtisserie peuvent être classées en :

- Pâtes dures laminées, découpées et moulées, qui ont une teneur en eau faible (16-20%) et l'amidon est peu gélifié après cuisson ;
- Pâtes molles aérées ou non, qui ont une teneur en eau de 24 à 38%. L'amidon est presque totalement gélifié après cuisson ;
- Pâtes liquides, qui ont une teneur en eau qui peut atteindre jusqu'à 65% et l'amidon est complètement gélifié après cuisson.

Ainsi, en fonction de l'état physique de l'amidon après cuisson, le produit de cuisson aura une plus ou moins grande aptitude à absorber la vapeur d'eau. C'est pourquoi les propriétés barrières à la vapeur d'eau sont parmi les plus importantes dans la détermination de sa durée de vie dans un emballage (MATHLOUTHI et ROGE, s.d.).

En outre, la teneur en eau initiale des farines ne revêt pas la même importance selon la fabrication envisagée. Elle est importante en boulangerie et en biscotterie, puisqu'elle intervient dans le taux d'hydratation des pâtes, et donc dans leurs caractéristiques rhéologiques. En biscuiterie, la teneur en eau des farines n'exerce aucune influence sur la qualité de certaines fabrications, comme la gaufrette, où l'on utilise des suspensions pouvant atteindre jusqu'à 100 % d'hydratation (sur la base du poids de la farine). Elle apparaît au contraire, importante pour certaines pâtes à biscuit faiblement hydratées, de type biscuit sec, où un écart de 1 % dans l'humidité de la farine pourrait entraîner des perturbations en fabrication, s'il n'était pas corrigé au niveau du pétrissage (COLAS, 1998).

3-4/ La pâte biscuitière

La pâte est le produit intermédiaire entre la farine et le biscuit et de ses qualités dépend la réussite industrielle finale. En effet, la rhéologie de la pâte est d'importance considérable dans la fabrication de biscuit. Ainsi, une pâte trop ferme ou trop molle, ne se traitera pas d'une manière satisfaisante sur l'équipement approprié de formation de la pâte et ne donnera pas un produit satisfaisant (MANOHAR et RAO, 2002).

Dans le but d'obtenir des pâtes biscuitières de bonne qualité, il est donc important de comprendre et de maîtriser toutes les étapes du procédé de fabrication à savoir la formulation, le pétrissage, le laminage et enfin la cuisson. Ainsi, de la machinabilité des pâtes biscuitières après pétrissage va dépendre la découpe en biscuits et le convoyage jusqu'au système de cuisson (ASSIFAOU, 2005).

Le pétrissage permet de mélanger intimement la farine et les autres ingrédients. Il peut être une source d'information sur les propriétés rhéologiques des pâtes. En effet, le mélange subit un traitement mécanique fournissant l'énergie qui permet l'établissement de nombreuses interactions entre les constituants de la pâte. Il en résulte des variations de consistance qui

modifient l'aptitude technologique des pâtes. Ainsi, L'étude de l'effet du temps de pétrissage sur les propriétés rhéologiques de la pâte biscuitière et les caractéristiques physiques des biscuits a montré que l'augmentation du temps de pétrissage entraîne un ramollissement de la pâte, une augmentation de la longueur et la réduction du poids de biscuit. Ainsi, un pétrissage excessif donne une pâte très molle. Cela est dû à une rupture dans les liaisons entre l'eau et les autres constituants, menant à une augmentation dans l'eau libre ((MAACHE-REZZOUG et coll., 1998 b ; MAACHE-REZZOUG et coll., 1998 c).

3-5/ Cuisson des biscuits

La cuisson est un processus durant lequel se déroulent de multiples réactions biochimiques et physico-chimiques complexes : dénaturation des protéines, gélatinisation partielle de l'amidon, expansion de la pâte par production et dilatation thermique de gaz, évaporation de l'eau, et formation de la couleur (réaction de Maillard) (MENARD, 1992 ; CHEVALLIER et coll., 1999 ; CHEVALLIER et coll., 2002).

Les changements chimiques, et rhéologiques du biscuit ont été décrits comme dépendant étroitement de la température et de la durée de cuisson (THORVALDSON et coll., 1999). Ainsi, selon le type de biscuit, le temps de cuisson peut varier de 6 à 10 minutes pour une température de cuisson variant entre 180 et 220°C (MANLEY, 1998).

Du point de vue physique, le processus de cuisson fait appel aux transferts de matière et de chaleur. La perte en masse du biscuit durant le processus de cuisson est essentiellement due à l'évaporation de l'eau contenue initialement dans la pâte, ce qui explique pourquoi on assimile généralement la cinétique de perte en masse d'un produit, à sa cinétique de perte en eau (KAISER, 1974). Elle dépend des propriétés intrinsèques du biscuit et des facteurs extérieurs comme la température, l'humidité et la vitesse de l'air dans le four (SAVOYE et coll., 1992).

3-6/ Critères de qualité d'un biscuit

Dans les procédés industriels, dont font partie les industries de la biscuiterie, la productibilité des lignes dépend du respect des critères de qualité des produits fabriqués. Pour un biscuit, il s'agit de satisfaire à des contraintes dimensionnelles, de poids, de couleur, de goût et de texture. Cette dernière entre pour une part importante dans l'appréciation qualitative d'un biscuit sec par le consommateur. Elle est en outre un indicateur de la fraîcheur du produit. Des mesures simples comme les dimensions, la teneur en eau ou encore la masse volumique apparente (densité) peuvent, dans un premier temps renseigner de façon satisfaisante sur les propriétés texturales d'un biscuit sec. Ainsi, à un produit aéré correspond une texture qualifiée de "friable" (THARRAULT, 1997).

En outre, les propriétés texturales des biscuits secs peuvent être directement caractérisés. Ainsi, lorsqu'une contrainte mécanique est appliquée selon une direction donnée, une déformation instantanée et irréversible peut provoquer une rupture partielle ou totale de l'échantillon. Plusieurs méthodes et types de sollicitation mécanique ont été employés. La pénétrométrie conique est l'une des méthodes mécaniques mettant en place une compression renouvelée, couplée éventuellement à un cisaillement, permet d'enregistrer des courbes force-déplacement à partir desquelles des paramètres de texture ont été calculés par détermination du nombre et de l'amplitude des pics (MAACHE-REZZOUG et coll., 1998a ; LAHLOU, 1999 ; THARRAULT, 1997).

MATERIEL ET METHODES

Matériel et méthodes

1/ Matières premières

1-1/ Le riz

Le riz utilisé est un riz blanchi acheté du commerce. C'est un riz importé par la société LABELLE. Il est d'origine vietnamienne de variété inconnue, récolté en 2004. Le rapport entre la longueur et la largeur du grain (tableau 1) est supérieur à 3, il s'agit donc d'un riz à grain long (FAO/OMS, 1996).

1-2/ Les légumes secs

Les légumes secs utilisées (fêverole, pois-chiche, pois protéagineux) sont issues de production algérienne de variétés connues, récoltées et fournies par la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (I.T.G.C.) de Guelma (figure 01).

1-2-1/ La fêverole

La fêverole, *Vicia faba minor*, est récoltée en 2002. Elle appartient à la variété *SIDI AICH G1*, de couleur marron foncée et de forme presque ovoïde.

1-2-2/ Le pois-chiche

Le pois-chiche, *Cicer arietinum*, est récolté en 2002. Il appartient à la variété *FLIP-90-13C G1*. Il présente une forme anguleuse et une couleur beige.

1-2-3/ Le pois protéagineux

Le pois protéagineux, *Pisum stivum*, est récolté en 2001. Il appartient à la variété *MESSIRE G2*, de grain lisse et de couleur jaune pâle.

Les caractéristiques dimensionnelles des grains de légumes secs et de riz mesurées à l'aide d'un pied à coulisse sur cinq lots de dix grains chacun pris au hasard, sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 05: Caractéristiques dimensionnelles moyennes des grains de légumes secs et de riz.

	Riz	Fêverole	Pois-chiche	Pois protéagineux
Longueur (mm)	$6 \pm 0,2$	$9,9 \pm 1,4$		
Largeur ou diamètre (mm)	$1,9 \pm 0,05$	$8,8 \pm 0,2$	$8,0 \pm 0,2$	$6,8 \pm 0,15$



Fèverole



Pois-protéagineux



Pois chiche

Figure 01 : Echantillons des trois légumes secs de l'étude

1-3/ Le sucre

Le sucre utilisé est un sucre blanc cristallisé, conditionné dans des sachets de 1 kg par SARL EL-THIKA, Aïn Smara - Constantine.

1-4/ La matière grasse

Notre matière grasse est une margarine du commerce produite par Cevital SPA–Bejaia, Algérie. Sa composition selon l'étiquetage est : huiles végétales en l'état et hydrogénées (82%), eau, sel, lécithine de soja (E322), mono et diglycérides (E471), acide citrique (E330), sorbate de potassium (E202), amidon, antioxydant (E307), arôme beurre, arôme bêta carotène (E160).

1-5/ La levure chimique

Le bicarbonate d'ammonium (NH_4HCO_3) et le bicarbonate de sodium (NaHCO_3) utilisés sont des produits chimiques à usage alimentaire. Ils nous ont été fournis par la biscuiterie Aurassienne de Batna.

1-6/ Le sel

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

1-7/ L'eau

L'eau utilisée dans la fabrication est une eau distillée de pH égal à 5.9 ± 0.3 .

1-8/ la farine de blé tendre

La farine utilisée dans la fabrication de notre farine-biscuit témoin est une farine de blé tendre, achetée du commerce, conditionnée dans des sachets de 5 kg. Elle est fabriquée par SARL Minoterie KENZA, zone industrielle Didouche mourad, Constantine.

2/ Mouture des grains

2-1/ Triage

Les grains de riz, de fève, de pois-chiche et de pois protéagineux utilisés pour la fabrication des farines-biscuits ont subi un triage manuel afin d'éliminer les impuretés (matières étrangères, grains endommagés).

Pour la fève, les grains ont subi, en plus, un décorticage manuel, facilité par un trempage dans l'eau à température ambiante pendant 6 heures, un dégermage, et enfin un séchage à l'air libre.

2-2/ Broyage

Cette opération a pour but de réduire les grains en particules de plus en plus fines. Les différents grains sont broyés avec un broyeur à meules (de marque UMA Rouiba, Algérie, type MGE3 tournant à 1410 tr/min).

2-3/ Tamisage

Cette opération a pour but la séparation de la fraction utilisable. Le tamisage est réalisé à l'aide d'un tamis d'ouverture de mailles de 200 μm , dont le passant constitue la farine (NURET, 1991, FAO/OMS, 1996) utilisée dans la fabrication des farines-biscuits.

3/ Caractérisation physicochimique des farines utilisée dans la fabrication des farines-biscuits

3-1/ Granulométrie

Cet essai permet la caractérisation des farines en exprimant selon leur grosseur la répartition des particules qui les composent dans des proportions déterminées. La granulométrie d'une farine permet de prévoir son comportement lors de l'hydratation. En boulangerie, la quantité d'eau absorbée lors de la formation de la pâte, ainsi que la vitesse d'absorption d'eau augmente avec la finesse des particules de la farine (COLAS et THARRAULT, 1997 ; FEILLET, 2000).

La granulométrie des différentes farines est estimée par fractionnement d'une prise d'essai de 100 g à travers une série de tamis d'ouverture de maille décroissante (200, 165, 125, 100 et 50 μm). Le tamisage manuel est poursuivi jusqu'à arrêt de passage des particules. Les refus et les passants de chaque tamis sont pesés avec une balance technique (Sartorius) de précision 0.01g.

Les résultats de cette opération correspondent à la moyenne de quatre répétitions pour chaque farine.

3-2/ Composition biochimiques

3-2-1/ Humidité

La teneur en eau des farines étudiées est déterminée selon la norme AFNOR NFV03-707 de juin 1989 (AFNOR, 1991) par séchage d'une prise d'essai de 5 g à 130 °C jusqu'à masse constante. Le séchage est réalisé dans une étuve (Mettler) avec circulation d'air. Les pesées sont effectuées avec une balance analytique (Sartorius MC 210) ayant une précision de 10^{-4} g. Elle est utilisée dans les pesées de toutes les déterminations qui suivent.

3-1-2/ Cendres

La teneur en matière minérale existant dans les différentes farines est déterminée par incinération d'une prise d'essai de 3 g à 900 °C pour les farines de riz et de blé tendre selon la norme AFNOR NFV03-720 de décembre 1981 (AFNOR, 1991) et à 550 °C pour les farines de légumineuses selon la norme AFNOR NFV03-760 de décembre 1981 (AFNOR, 1991). L'incinération est réalisée dans un four à moufle Heraeus M110. La minéralisation est poursuivie pendant 3 heures jusqu'à combustion totale de la matière organique et apparition d'un résidu blanchâtre.

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

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

Ri : résidu après incinération en g ;

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

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

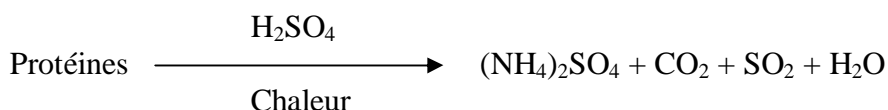
3-1-3/ Matières protéiques

La teneur en protéines totales est déterminée après dosage de l'azote total par la méthode de KJELDAHL selon la norme AFNOR NFV03-050 de septembre 1970 (AFNOR, 1991).

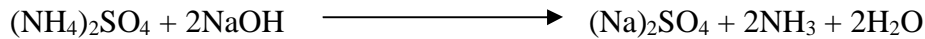
Le principe de la méthode consiste en une minéralisation d'une prise d'essai à l'aide de l'acide sulfurique ($d = 1.83$) à chaud en présence d'un catalyseur.

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 ; pour cela, nous avons retenu 1 g pour les farines de légumineuses, 2 g pour la farine de blé tendre et 3 g pour la farine de riz.

La minéralisation permet l'oxydation de l'azote organique en azote minéral sous forme ammoniacale (sulfate d'ammonium) (AUDIGIE et coll., 1984). Cette opération dure 3 heures dans un minéralisateur de marque BÜCHI K429.



La distillation permet la libération des molécules d'ammoniac. Leur élimination se fait par entraînement avec la vapeur après alcalinisation du minéralisât par du NaOH (10 N). L'ammoniac libéré est fixé dans une solution d'acide borique (4 %).



La titration est réalisée par l'acide sulfurique (0.01 N). Les opérations de distillation et de titration sont réalisées à l'aide d'un appareil automatique BÜCHI 329.

La teneur en azote total "NT" en g pour 100 g de sec est donnée par la formule suivante :

$$\text{NT} = 14 \times \text{D} \times \text{V} \times \text{N} \times 1000 \times \frac{100}{\text{Pe}} \times \frac{100}{(100-\text{H})}$$

14 : masse en gramme d'un atome d'azote ;

D : facteur de correction (coefficient de dilution de l'échantillon) ;

V : volume en ml de H₂SO₄ titrant ;

N : normalité de H₂SO₄ titrant (0.01) ;

Pe : masse en gramme de la prise d'essai ;

1000 : facteur de conversion du volume de l'acide titrant du ml en litre (la normalité "N" est en eq-g/l) ;

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

Le coefficient de conversion de l'azote en protéines est 5.7 pour les farines de blé et de riz (FAO, 1996), et 6.25 pour les légumes secs (GODON et LOISEL, 1991 ; FAO, 1996 ; GUEGUEN et LEMARIE, 1996).

3-1-4/ Lipides totaux

La teneur en lipides totaux est déterminée selon la norme AFNOR NFV03-713 de février 1984 (AFNOR, 1991). L'analyse se fait en trois étapes :

- 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. L'opération est réalisée dans un digesteur de marque BÜCHI B411 pendant 1 heure.
- Extraction de la matière grasse par de l'hexane réalisée dans un appareil d'extraction de marque BÜCHI B811.
- Elimination de l'hexane par séchage de l'extrait lipidique dans une étuve de marque "Memmert".

La teneur en lipides totaux "L" en g pour 100 g de produit sec est calculée par la formule suivante :

$$m \times \frac{100}{Pe} \times \frac{100}{(100-H)}$$

m : masse en g du résidu lipidique ;

Pe : masse en g de la prise d'essai ;

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

3-1-5/ Glucides totaux

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

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

H : teneur en humidité (en % de produit sec) ;

C : teneur en cendres (en % de produit sec) ;

P : teneur en protéines totales (en % de produit sec) ;

L : teneur en lipides totaux (en % de produit sec).

4/ Fabrication des farines-biscuits

4-1/ Choix des témoins

4-1-1/ Témoins du commerce

A/ Biscuit

Pour la fabrication et l'estimation de la qualité technologique de nos farines-biscuits nous avons choisi un biscuit témoin avec gluten à base de farine de blé tendre, il s'agit du biscuit "Casse-croûte" qui appartient à la catégorie des biscuits « goûters ». Ce type est l'équivalent de "semi-sweet biscuit type" des Anglo-Saxons (THARRAULT, 1997 ; FEILLET, 2000, IGREJAS et coll. 2002b) qui se caractérise par une grande friabilité et des teneurs en sucre et en matière grasse modérées (IGREJAS et coll., 2002a ; PEDERSEN et coll., 2004 ; FUSTIER et coll., 2007).

En effet, notre biscuit témoin dénommé "Casse-croûte Aurès" est un biscuit local disponible sur le marché, fabriqué par la biscuiterie Aurassienne (MAROUANA, W. de BATNA). Il se caractérise par une structure alvéolaire aérée.

B/ Farines

Pour l'estimation de la qualité organoleptique (sous forme de bouillie) et nutritionnelle de nos farines-biscuits nous avons pris comme témoins deux farines infantiles disponibles sur le marché algérien. L'une sans gluten à base de riz et l'autre avec gluten à base de blé. Il s'agit respectivement des farines "Vigor" et "Blédine" représentées dans le tableau suivant :

Tableau 06 : composition globale des deux farines témoins du commerces (Blédine et Vigor) tel que déclaré sur emballage.

Nom et origine Composition	Vigor (céréales) (Espagne)	Blédine (Junior) (France)
Ingrédients	Céréales 60 % (farine de riz, amidon de maïs), Huile végétale, Sucre, Maltodextrines, Protéines d'haricot, Sel, lécithine de soja, Vanille	Farine de blé (68,2%), huile de palme, sucre, Maltodextrines, caramel (3,3%), lécithine de soja, lait entier en poudre (5%), arôme naturel
Composition (100 g)		
-Apport calorique (kcal)	393	388
-Protéines (g)	5.2	8,1
-Glucides (g)	89.1	83
-Lipides (g)	1.7	2,6
-Minéraux (mg)	Na, Ca, F	Na, Ca, Fe
-Vitamines (mg)	A, D, E, K, C, B1, PP, B6, B5, B8, B9	E, C, B1, PP, B6, B5, B8, B9

4-1-2/ Farine-biscuit témoin de fabrication

Notre témoin de fabrication est une farine-biscuit avec gluten à base de farine de blé tendre. Elle est fabriquée selon une recette témoin, celle du biscuit "Casse-croûte Aurès" qui nous a été fournie par la biscuiterie Aurassienne (MAROUANA, W. de BATNA). Nous avons choisi de lui donner la forme des biscuits "boudoirs" facilitant son maintien par le jeune enfant au moment de la consommation.

4-2/ Diagramme de fabrication

4-2-1/ Préparation des pâtes

Pour la préparation des pâtes les ingrédients sont introduits dans le pétrin dans un ordre précis (figure 02). Le sucre puis la matière grasse (margarine) 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 préalablement mélangée avec le bicarbonate de sodium (B. Sd) est introduite en dernier. Les ingrédients sont mélangés tous ensemble en une seule fois.

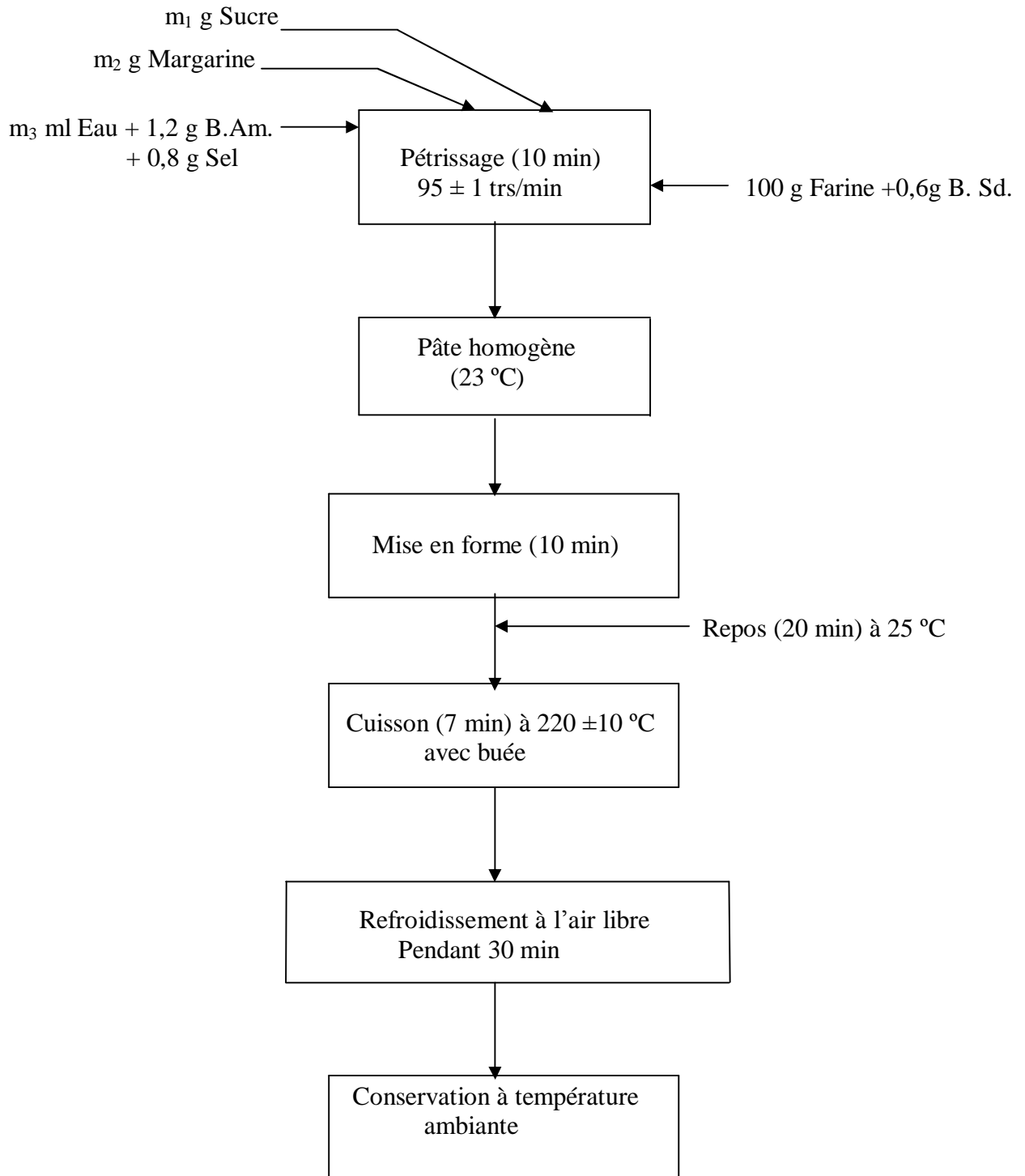


Figure 02: Diagramme de fabrication adopté pour les farines-biscuits à base de blé tendre et les formules exemptes de gluten.

4-2-2/ Pétrissage

Le pétrissage de la pâte a été effectué dans un pétrin de marque KENWOOD KM300, menu d'un bol de pétrissage de type KENLYTE et d'une capacité de 4.4 l. A une vitesse de 95 trs/min, quatre durées de pétrissage (5-10-15-et 20 min) ont été testées sur une pâte à base de blé tendre par appréciation de la plasticité de la pâte après pétrissage. Un temps de pétrissage de 5 min a donné une pâte non cohérente et donc mal pétrie. Les temps 15 et 20 min ont provoqué un ramollissement de la pâte qui devient collante, ils correspondent donc à un pétrissage excessif. Ainsi l'optimum de temps de pétrissage retenu est 10 min qui a donné une pâte cohérente, non collante et d'une bonne malléabilité. La même durée de pétrissage est appliquée pour les pâtes des autres formules (R-Fv, R-PPr et R-PC). La température des pâtes est mesurée juste après pétrissage à l'aide d'un thermocouple.

4-2-3/ Mise en forme et moulage

Pour la mise en forme de nos farines-biscuits nous avons utilisé un moule comprenant 24 empreintes. Chaque empreinte a renfermé un volume de pâte à poids constant (10 g pour la pâte témoins et 11 g pour chacune des autres formules). Le moule est ensuite recouvert avec un film en plastique pour empêcher le dessèchement des pâtons. Ceux-ci reposent ensuite pendant 20 min à une température moyenne de 25 °C.

4-2-4/ Cuisson

La cuisson est réalisée dans un four ménager de marque SÜSLER 5007 à température et temps de cuisson réglables. Des récipients remplis d'eau bouillante ont été placés au fond du four afin de créer une atmosphère humide pour éviter un dessèchement rapide de la surface des biscuits. Ceux-ci ont été cuits à une température de 220 ± 10 °C, en présence de buée. Le temps moyen de cuisson est fixé à 7 min par appréciation de la couleur de surface des biscuits.

4-2-5/ Refroidissement

Les biscuits sortant du four à des températures élevées sont refroidis à l'air libre (température ambiante). Ce mode de refroidissement est jugé meilleur qu'un refroidissement accéléré puisqu'il permet au produit de se refroidir progressivement à l'abri de tout choc thermique provoquant les fissurations et la cassure du biscuit (SELSELET-ATTOU, 1991). Après une durée de refroidissement de 30 min, les biscuits sont pesés puis mis dans des sachets en plastiques bien fermés pour être conservés.

4-3/ Formules à tester pour la fabrication

4-3-1/ Les trois formules de base

La formulation de nos farines-biscuits est celle envisagée dans l'équipe T.E.P.A. (Transformation et Elaboration de Produits Agroalimentaires) du Laboratoire de Recherche en Nutrition et Technologies Alimentaires (LNTA). Il s'agit d'une complémentation céréales-légumineuses avec un rapport massique de 2/1 (FAO, 1990), à partir de laquelle nous avons à tester l'aptitude technologique de trois formules de base (Riz-Fèverole, Riz-Pois protéagineux et Riz-Pois chiche) à donner ce type d'aliments diététiques.

La composition biochimique de ces formules de base est déduite par calcul à partir de celle des farines initiales (riz, féverole, pois-protéagineux et pois-chiche). Elle se caractérise essentiellement par une amélioration quantitative et qualitative en protéines.

Ces formules constituent principalement une source énergétique, dont la valeur calorique de chacune est calculée à partir de sa composition en nutriments énergétiques (glucides, protéines et lipides).

Pour la conversion des quantités des nutriments énergétiques en énergie nous avons adopté les coefficients d'ATWATER tels que rapportés par SOUCI et coll. (1994) et FAVIER et coll. (1995), où un gramme de lipides apporte 9 kcal et un gramme de protéines ou de glucides apporte 4 kcal.

Ainsi, les apports caloriques assurés par ces formules de base (exprimés pour 100 g de matière sèche) sont de l'ordre de 397 kcal pour les formules de (R-Fv) et (R-PPr) et de 402 kcal pour celle de (R-PC). En effet, ces apports énergétiques se rapprochent de celui de la farine infantile sans gluten du commerce (Vigor) qui est de 393 kcal.

4-3-2/ Ajouts de sucre et de matière grasse

Selon le *Codex Alimentarius* (FAO/OMS, 2006), la norme visant les aliments transformés à base de céréales destinés à l'alimentation des nourrissons et des enfants en bas âge précise les spécifications relatives à la teneur en éléments nutritifs concernant les produits céréaliers à complément protéique qui sont, ou qui doivent être préparés pour la consommation avec de l'eau ou un autre liquide approprié. Les teneurs maximales en sucre ajouté et en matière grasse totale, exprimées en gramme par 100 kcal de produit fini, sont fixées à :

- 5 g de sucre ajouté/100 kcal, soit (1,2 g/100 kJ) ;
- 3,3 g de lipides/100 kcal soit (1,1 g/100 kJ).

Le principe de calcul des quantité de sucre et de matière grasse devant être ajoutés à 100 g de farine de base consiste donc, dans un premier temps, à estimer l'apport calorique total de chaque formule biscuitière, puis, dans un second temps, de calculer les quantités de sucre et de matière grasse à ajouter dans 100 kcal de produit fini.

- **Apport calorique total**

L'apport calorique total (ACT) des formules biscuitières exprimé en kcal est calculé à partir des ingrédients énergétiques entrant dans la composition de chacune est qui sont :

- Les farines (formules de base) dont la quantité est fixée à 100 g chacune et à laquelle sont ajoutés les quantités des autres ingrédients.

- Le sucre (saccharose) dont la valeur énergétique est tirée de la table de composition des aliments (FAVIER et coll., 1995) en multipliant la quantité de sucre ajouté par le coefficient 3,9 qui constitue le contenu énergétique d'un gramme de saccharose.

- La matière grasse qui est une margarine contenant 82 % de lipides. Sa valeur énergétique est tirée de la table de composition des aliments (FAVIER et coll., 1995) en multipliant la quantité de margarine ajoutée par le coefficient 7,4 qui constitue le contenu énergétique (9 kcal) d'un gramme de margarine à 82 % de lipides.

- **Ajouts à tester pour l'étude**

Les teneurs en matière grasse et en sucre ajoutés exprimées en g/100 kcal, sont calculés en tenant compte du contenu calorique total (ACT) du mélange pour chaque ajout de matière grasse et de sucre à 100 g de farine.

Partant de la teneur initiale en lipides des farines (Lip_0) et considérant le minimum de lipides recommandé (2.1 g/kcal) que doit contenir une farine infantile (MOUQUET et coll., 1998), nous avons pu calculer le minimum de matière grasse devant être ajouté (MGaj).

L'augmentation de la quantité de matière grasse ajoutée (MGaj) et donc de celle de la matière grasse totale (MGtot) dépend de la quantité du sucre ajoutée (Sucaj) jusqu'aux maximums recommandés pour chacun d'eux par 100 kcal de mélange et qui sont respectivement 3.3 g/100 kcal et 5 g/100 kcal.

Les calculs sont effectués en appliquant les formules suivantes :

$$MG_{tot} = (MG_{aj} + lip_0) \times 100/ACT$$

$$Suc_{aj} = Sucaj \times 100/ACT$$

- MG_{tot} : contenu en matière grasse totale dans 100 kcal ;
- MG_{aj} : quantité de matière grasse ajoutée (g) ;
- lip_0 : contenu initial en lipides dans 100 g de farine ;
- ACT : apport calorique total après ajout de MG_{aj} de matière grasse et de $Sucaj$ de sucre ;
- Suc_{aj} : contenu en sucre dans 100 kcal ;
- $Sucaj$: quantité de sucre ajouté (g).

Les teneurs minima et maxima en lipides (MG_{tot}) et en sucre ajouté exprimés en g/100 kcal de produit seront comme suit :

§ MG_{tot} : de 2,1 à 2,9 g/100 kcal pour les formules de (BI), de (R-Fv) et de (R-PPr) ; de 2,4 à 3,1 g/100 kcal pour la formule de (R-PC).

§ Sucre ajouté : de 1,1 à 4,2 g/100 kcal pour l'ensemble des formules.

En effet, les quantités en gramme de margarine et de sucre à ajouter chacune à 100 g de farine correspondants à ces minima et maxima seront de 10 à 20g margarine et de 5 à 25 g sucre pour l'ensemble des formules biscuitières (R-Fv, R-PPr et R-PC) et celle du témoin de fabrication (Blé).

L'ajout de ces quantités de sucre et de matière grasse constitue un supplément calorique à celui fournie par chacune des formules de base. Ces dernières fournissent jusqu'à environ 451 kcal/100 g (ms) pour les formules (R-Fv) et (R-PPr) et 454 kcal/100 g pour celle de (R-PC) lorsque les quantités de margarine et de sucre ajoutés atteignent 20 g et 25 g respectivement.

L'ajout des quantités en gramme de sucre et de margarine pour l'ensemble des formules biscuitières se fait à raison de 5 g pour chacun (MANOHARR et RAO, 1997; 1999a ; 1999b ; MAACHE-REZZOUG, 1998a). Ces quantités vont être exprimées en % (g ajouté à 100 g de farine).

Ainsi, nous aurons cinq niveaux de sucre à étudier correspondant à cinq taux pour chaque formule biscuitière et qui sont : 5, 10, 15, 20, et 25 %. Alors qu'on aura uniquement trois niveaux de matière grasse à étudier correspondant à trois taux pour chaque formule biscuitière et qui sont : 10, 15 et 20 % de margarine.

En effet, l'étude de l'effet du sucre et de la MG sur la qualité des produits finis (farines-biscuits) nécessite de réaliser quinze épreuves pour chaque formule biscuitière (blé, R-Fv, R-PPr et R-PC).

4-3-3/ Niveaux d'eau d'hydratation à tester pour l'étude

Les biscuits secs se caractérisent par une pâte dure ou sem-dure. Ainsi, La consistance de la pâte est d'une importance considérable dans l'industrie biscuitière en influençant la machinabilité de la pâte et la qualité du biscuit (KIGER et KIGER, 1967 ; MANLEY, 1998 ; MOHTEDJI-LAMBALAIS, 1989 ; FEILLET, 2000). En effet, une pâte trop ferme ou trop molle, ne se traitera pas d'une manière satisfaisante sur l'équipement approprié de formation de la pâte et ne donnera pas un produit satisfaisant (LAUNAY et BARTOLUCCI, 1997 ; MANOHAR et RAO, 2002 ; ASSIFAOUÏ et coll., 2006).

Pour la détermination des intervalles de variation des taux d'hydratation de l'ensemble des formules biscuitières, nous sommes parti d'un minimum d'eau ajoutée à 100 g de farine (après ajout de sucre et de matière grasse) permettant d'obtenir une pâte ferme, qui se tient au pétrissage et maniable. L'ajout de l'eau est poursuivi jusqu'à apparition du caractère collant pour l'ensemble des formules biscuitières. Ainsi, le taux maximum d'hydratation fixé pour chaque formule est celui à partir duquel la pâte devient collante.

En effet, la variation des taux d'hydratation (exprimée en g ajouté à 100 g de farine) sera : de 32 à 40 % pour la formule biscuitière témoin (blé), de 34 à 50 % pour la formule sans gluten (R-Fv), de 36 à 52 % pour celle de (R-PC) et de 38 à 54 % pour celle de (R-PPr).

Etant donné qu'une variation de 1 % dans la teneur en eau (g ajouté à 100 g de farine) affecte significativement les caractéristiques rhéologiques de la pâte biscuitière (MANOHAR et RAO, 1999a), l'ajout de l'eau se fait à raison de 2 % pour la formule témoin et de 4 % pour les formules sans gluten (car ces dernières absorbent plus d'eau).

Ainsi, cinq niveaux d'hydratation correspondant à cinq taux sont à étudier pour chaque formule biscuitière et qui sont : 32, 34, 36, 38, et 40 % pour la formule biscuitière témoin (blé) ; 34, 38, 42, 46 et 50 % pour la formule sans gluten (R-Fv) ; 36, 40, 44, 48 et 52 % pour celle de (R-PC) et 38, 42, 46, 50 et 54 % pour celle de (R-PPr)

En fin, l'étude de la faisabilité des intervalles de variation des taux d'hydratation augmente le nombre d'épreuves à réaliser jusqu'à 60 épreuve pour chaque formule biscuitière, compte tenu du nombre d'essais (15) à réaliser pour le sucre et la MG.

Ainsi, le nombre total d'expériences à réaliser pour l'ensemble des formules biscuitières (blé, R-Fv, R-PPr et R-PC) devient 240 expériences. Ce nombre, trop élevé, nécessite autant de manipes, de temps, et de matières premières (ingrédients).

Une réduction de ce nombre est faite en faisant varier le taux de sucre, de MG ou d'eau tout en gardant constant un seul taux pour chacun des deux ingrédients restants (MANOHARR et RAO, 1997; 1999a ; 1999b ; MAACHE-REZZOUG, 1998a). Cela réduit le nombre à 11 expériences pour chaque formule biscuitière, et donc à 44 expériences pour l'ensemble des formules biscuitières.

En effet, pour l'étude de la variation du taux d'hydratation, le taux de la MG et celui du sucre sont fixés à 20 % chacun, en raison de leur effet ramollissant sur la pâte biscuitière. En outre, la MG a un effet textural augmentant la friabilité et donc l'instantanéité de préparation en bouillies des farines-biscuits.

Le taux d'hydratation choisi pour l'étude de la variation des taux de MG et de sucre est celui qui donne le meilleur volume spécifique des biscuits après cuisson pour l'ensemble des formules biscuitières.

4-3-4/ Récapitulatif des ajouts d'eau, de matière grasse et de sucre retenus pour l'étude

Les intervalles des taux d'incorporation de faisabilité à étudier pour les trois ingrédients (eau, MG et sucre) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 07: Intervalles de variation des taux d'incorporation des ingrédients majeurs (eau, sucre et matière grasse) à étudier (en g ajoutés à 100g de farine).

Formules	Intervalles de variation des taux d'ingrédients (g ajoutés à 100g de farine)		
	Eau (%)	Margarine (%)	Sucre (%)
Blé	32, 34, 36 [*] , 38, 40	10, 15, 20 [*]	5, 10, 15, 20 [*] , 25
Riz-Fèverole	34, 38, 42, 46 [*] , 50	10, 15, 20 [*]	5, 10, 15, 20 [*] , 25
Riz-Pois chiche	36, 40, 44 [*] , 48, 52	10, 15, 20 [*]	5, 10, 15, 20 [*] , 25
Riz-Pois protéagineux	38, 42, 46, 50 [*] , 54	10, 15, 20 [*]	5, 10, 15, 20 [*] , 25

* : taux d'incorporation fixe.

5/ Tests d'appréciation des produits finis

5-1/ La farine sous forme de biscuit

5-1-1/ Volume spécifique des farines-biscuits

La qualité des biscuits secs est généralement évaluée par leur densité qui constitue un des paramètres technologiques pouvant renseigner de façon satisfaisante sur les propriétés texturales d'un biscuit sec (IGREJAS et coll., 2002b ; MANOHAR et RAO, 2002 ; PEDERSEN et coll., 2004 ; FUSTIER et coll., 2007). Ainsi, une densité faible correspond à un biscuit léger ayant subi une prise de volume lors de la cuisson et donc un volume spécifique (V_{sp}) élevé (BARTOLUCCI, 1997). En outre, à un biscuit aéré correspond une texture qualifiée de "friable" (THARRAULT, 1997).

Pour l'appréciation des volumes spécifiques (V_{sp}) de nos farines-biscuits, des particules solides de "semsem" de V_{sp} connue sont utilisées.

Le biscuit préalablement pesé est placé dans un récipient de volume donné. Ce dernier est rempli à l'aide des particules choisies avec et sans l'échantillon de biscuit. La quantité de particules écartée lors du remplissage en présence de l'échantillon permet après pesée de déduire le volume du biscuit. Rapporté à sa masse, ce volume est converti en volume spécifique.

5-1-2/ Test de réhydratations des farines-biscuits

Ce test permet d'apprécier la capacité et la vitesse de réhydratation des biscuits. L'aptitude à la réhydratation d'un biscuit est d'autant plus grande que son volume spécifique est élevé reflétant une structure alvéolaire bien aérée, facilitant la pénétration de l'eau ; ce qui peut être indicateur de désintégration rapide du biscuit en milieu liquide.

Seuls les farines-biscuits présentant les meilleurs V_{sp} sont considérées, comparées au biscuit témoin du commerce. An effet, un biscuit préalablement pesé est placé dans une poche en tulle suspendue par un fil métallique permettant de plonger et de retirer le biscuit dans l'eau. La poche est préalablement imbibée d'eau distillée puis égouttée. L'ensemble est immergé dans un récipient contenant un volume initial suffisant d'eau distillée à 25 C° pendant des périodes de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 et 100 sec. Après immersion le biscuit est retiré et laissé s'égoutter pendant 30 sec. Le volume d'eau ainsi restant dans le récipient est noté. Le volume d'eau absorbé par le biscuit est obtenu par différence au volume initial.

Les résultats de ce test sont exprimés sous forme de graphes représentant l'évolution du volume d'eau absorbé, par unité de masse (g) de biscuit, en fonction du temps de trempage.

5-2/ La farine préparée en bouillie

La qualité des bouillies préparées à partir de nos trois farines-biscuits sans gluten et celle du témoin de fabrication est appréciée à travers leur capacité à se désintégrer en milieu liquide et donc leur instantanéité. Cette évaluation est faite par analyse sensorielle.

Pour la préparation des différentes bouillies et en se basant sur le contenu énergétique (kcal) pour 100 g de chacune de nos farines-biscuits et des farines témoins de commerce (Vigor et Blédine), nous avons pu estimer leurs concentrations moyennes (g de matière sèche/100 ml) permettant d'assurer chacune une densité énergétique proche de celle recommandée (120 kcal/100 ml). Ces concentrations sont très proches de celles mentionnées dans les modes de préparation de la majorité des farines du commerce.

La préparation des bouillies consiste à délayer une quantité moyenne de 30 g de chacune de nos farines-biscuits, de farines ou de biscuit témoins dans 100 ml d'eau à 45 °C, température à laquelle la bouillie est généralement consommée (MOUQUET et coll., 1998 b ; TRAORE et coll., 2003).

Des essais préliminaires à l'aide d'un agitateur à rotation (Heidolph RZR 2020) nous ont permis de fixer un temps moyen d'agitation permettant une solubilisation complète du biscuit témoin de commerce donnant ainsi une bouillie homogène servant de référence pour la comparaison des autres bouillies issues des différentes farines-biscuits. En effet, le biscuit est divisé en quatre morceaux égaux est ensuite immergé dans l'eau pendant 20 sec (temps tiré des résultats du test de réhydratation, pour lequel il arrive à une hydratation maximale). Une agitation pendant 60 secondes est effectuée à une vitesse constante de 160 trs/min.

6/ Test de caractérisation rhéologique des pâtes de fabrication

Le comportement rhéologique de différentes pâtes biscuitières est approché par le test d'étalement. Le but de ce test est d'apprécier la résistance à l'étalement des pâtes issues de différentes formules biscuitières (celles qui ont donné les meilleures farines-biscuits et celles qui ont donné les plus mauvais), tout en étudiant l'effet de la variation des taux d'incorporation de l'eau, de la matière grasse et du sucre sur leur comportement.

Le choix des niveaux d'incorporation à étudier pour chacun de ces ingrédients est porté sur celui pour lequel la pâte a donné un biscuit ayant le meilleur volume spécifique (V_{sp}), comparé aux niveaux auxquels correspondent les V_{sp} les plus faibles.

- Pour l'eau ; trois niveaux ont été choisis pour chaque formule biscuitière :
 - L'optimum d'hydratation (opt) : pour lequel la pâte a donné le meilleur Vsp du biscuit et dont le taux varie d'une formule à l'autre ;
 - Le minimum (min) et le maximum (max) d'hydratation pour lesquels la pâte a donné les plus faibles Vsp du biscuit et dont les taux varient d'une formule à l'autre.

- Pour le sucre ; trois niveaux ont été choisis pour chaque formule de farine-biscuit :
 - L'optimum (opt) : pour lequel la pâte a donné le meilleur Vsp du biscuit et dont le taux est fixé à 25 % correspondant au maximum de sucre ajouté pour l'ensemble des formules ;
 - Le minimum (min) : pour lequel la pâte a donné le plus faible Vsp du biscuit et dont le taux est fixé à 5 % de sucre ajouté pour l'ensemble des formules ;
 - Le max-1 : qui correspond à un taux intermédiaire permettant d'étudier la variation d'un niveau à partir de l'optimum et qui représente 20 % de sucre ajouté pour l'ensemble des formules.

- Pour la matière grasse (MG) ; seulement deux niveaux ont été retenus pour l'étude, en raison de la plus faible différence dans la résistance à l'étalement des pâtes entre les niveaux minima et maxima que celle notée pour l'eau et le sucre :
 - L'optimum (opt) : pour lequel la pâte a donné le meilleur Vsp du biscuit et dont le taux est fixé à 20 % correspondant au maximum de margarine ajoutée pour l'ensemble des formules ;
 - Le minimum (min) : pour lequel la pâte a donné le plus faible Vsp du biscuit et dont le taux est fixé à 10 % de margarine ajoutée pour l'ensemble des formules ;

Le test consiste à soumettre un échantillon de pâte à l'écrasement par des charges pendant un temps fixe et de suivre l'évolution de son diamètre.

Les charges utilisées sont des plaques en verre pesant chacune 200 g. Nous avons choisi de donner aux pâtons une forme cylindrique permettant la stabilisation de la plaque sur le pâton.

Pour la mise en forme des pâtons. Nous avons utilisé un récipient en métal de 15 mm de hauteur à l'intérieur duquel la pâte est bien répartie, puis arasée à l'aide d'un fil. Après un temps de repos de 20 min, les échantillons sont prélevés à l'aide d'un emporte-pièce cylindrique de

25 mm de diamètre extérieur et 24 mm de diamètre intérieur, lubrifié à l'intérieur avec de l'huile de table.

Le pâton est placé sur une plaque en verre au dessous de laquelle du papier millimétré est fixé pour servir à la lecture de l'étalement du diamètre de pâton. Une charge (plaque de verre) de 200 g est soigneusement placée sur la surface du pâton. Les surfaces des deux plaques qui sont en contact avec la pâte sont préalablement lubrifiées avec l'huile de table pour empêcher une éventuelle adhésion de la pâte empêchant par la suite son étalement.

La lecture de l'étalement est faite après 2 min lorsque le diamètre du pâton se stabilise pour tous les échantillons. La lecture des variations du rayon est effectuée sur quatre points situés aux extrémités de deux diamètres pris perpendiculairement sur le papier millimètre. L'opération est répétée dix fois en ajoutant à chaque fois une charge de 200 g.

La moyenne des valeurs (mm) lues sur les quatre points après chaque étalement constitue l'étalement moyen du rayon de pâton du à la charge correspondante :

Le diamètre moyen du pâton après chaque étalement est calculé comme la somme du diamètre moyen initial du pâton (en mm) et du double de l'étalement du pâton à une charge donnée.

Les résultats de ce test sont exprimés sous forme de graphes représentant, pour chaque formule biscuitière et pour chaque ingrédient à différents taux d'incorporation, l'évolution du diamètre moyen du pâton en fonction de la charge appliquée.

7/ Evaluation Sensorielle

L'évaluation de la qualité organoleptique de nos farines-biscuits est faite par analyse sensorielle. Cette dernière consiste à les classer sous leurs deux formes de consommation (biscuit et bouillie) par rapport à un biscuit et deux bouillies témoins. Pour cela nous avons opté pour un test de classement par notation selon la norme AFNOR V09-014 d'avril 1982 (AFNOR, 1995).

Les descripteurs des propriétés organoleptiques retenus pour l'évaluation des biscuits sont : la couleur, l'odeur, le goût et la friabilité. Pour l'évaluation des bouillies, les descripteurs sont : la couleur, l'odeur, le goût et la texture (présence ou non de grumeaux reflétant le degré de solubilité et donc l'instantanéité du produit).

Le jury se compose de dix sujets. Chaque dégustateur reçoit deux séries (biscuits, bouillies), la première se compose de cinq biscuits (nos quatre biscuits fabriqués avec et sans gluten et celui du commerce) et la deuxième de sept bouillies préparées à partir de ces cinq

biscuits et des deux farines du commerce. Les échantillons lui sont présentés simultanément pour chaque série et d'une façon anonyme dans des récipients codés accompagnés chacun d'un verre d'eau et d'une cuillère pour les bouillies.

Des instructions et des explications préliminaires sont données aux dégustateurs avant chaque série de dégustation. Elles portent essentiellement sur les descripteurs de propriétés organoleptiques des farines-biscuits et des bouillies ainsi que les notes qui leur sont attribuées.

Formulaire de réponse I

Poste N° :

Nom :

Prénom :

Date :

Cinq biscuits codés A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5 vous sont présentés. Pour chacun des critères, il vous est demandé d'attribuer une note de 1 à 7 selon un ordre croissant d'appréciation.

Couleur

Très brune Très clair

Odeur

Mauvaise Très bonne

Goût

Mauvais Très bon

Friabilité

Très ferme Très friable

Formulaire de réponse II

Poste N° :

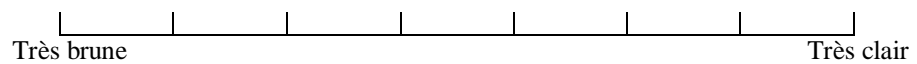
Nom :

Prénom :

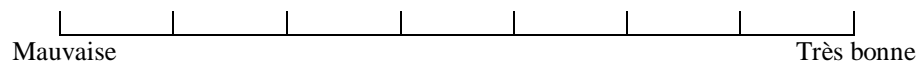
Date :

Sept bouillies codées B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆, B₇ vous sont présentées. Pour chacun des critères, il vous est demandé d'attribuer une note de 1 à 7 selon un ordre croissant d'appréciation.

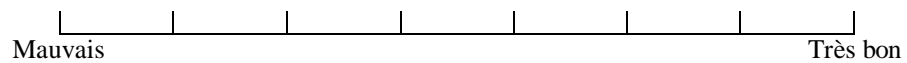
Couleur



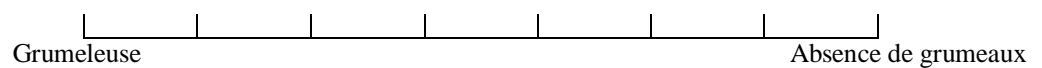
Odeur



Goût



Texture



RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats et discussion

1/ Caractéristiques physico-chimiques des farines initiales

1-1/ Granulométrie

Les résultats de la classification granulométrique ont permis de séparer cinq fractions caractéristiques des différentes farines initiales exprimées en pourcentage massique présentées dans le tableau suivant :

Tableau 08: Granulométrie des farines initiales (en % de la masse).

Classes des farines (μm)	Farine de Blé (%)	Farine de Riz (%)	Farine de Fève (Fèverole) (%)	Farine de Pois protéagineux (%)	Farine de Pois-chiche (%)
] 200-165]	1,19 \pm 0,51	15,57 \pm 0,46	4,40 \pm 0,63	7,84 \pm 1,09	2,04 \pm 0,42
] 165-125]	8,61 \pm 0,88	20,15 \pm 0,83	5,28 \pm 0,63	8,94 \pm 0,60	4,79 \pm 0,33
] 125-100]	9,21 \pm 0,88	13,35 \pm 0,86	4,58 \pm 0,61	5,79 \pm 0,50	3,28 \pm 0,51
] 100-50]	43,07 \pm 0,93	25,51 \pm 1,10	19,53 \pm 0,96	11,05 \pm 0,78	13,47 \pm 0,61
<50	36,42 \pm 0,80	23,79 \pm 0,84	64,73 \pm 1,07	64,95 \pm 0,73	74,94 \pm 1,13
Total (%)	98,50 \pm 0,07	98,37 \pm 0,11	98,51 \pm 0,12	98,57 \pm 0,12	98,42 \pm 0,09

Les différentes farines étudiées (tableau 08) sont principalement constituées de particules de diamètre inférieur à 100 μm . Pour chacune des farines de blé et de riz, cette fraction est répartie en proportions voisines entre deux classes ; celle de diamètre $\text{Ø} \geq 50 \mu\text{m}$ et celle de diamètre $\text{Ø} < 50 \mu\text{m}$. Tandis que les farines de légumes secs sont principalement constituées de particules de diamètre inférieur à 50 μm (plus de 64%).

Les particules constituant la fraction de diamètre $\text{Ø} \geq 100 \mu\text{m}$ sont réparties pour chaque farine entre trois classes de diamètre $200 > \text{Ø} \geq 165 \mu\text{m}$; $165 > \text{Ø} \geq 125 \mu\text{m}$ et $125 > \text{Ø} \geq 100 \mu\text{m}$. Ces proportions varient entre 2,04 % et 8,94 % pour les farines de légumes secs, et entre 13,35 % et 20,15 % pour la farine de riz. Alors que la farine de blé présente la proportion la plus faible (1,19 %) en particules de diamètre compris entre 200 et 165 μm .

1-2/ Composition biochimiques des farines initiales

Les teneurs moyennes des constituants majeurs des farines de départ sont présentées dans le tableau 09.

Tableau 09: Composition globale des différentes farines initiales (en % de la masse sèche).

Composition (% ms)	Farine de Blé tendre	Farine de Riz	Farine de Fèvevole	Farine de Pois protéagineux	Farine de Pois-chiche
Humidité	14,59 ± 0,07	13,45 ± 0,15	12,87 ± 0,14	11,27 ± 0,06	11,13 ± 0,12
Cendres	0,43 ± 0,05	0,65 ± 0,05	3,39 ± 0,24	3,44 ± 0,14	3,58 ± 0,08
Protéines	11,83 ± 25	8,18 ± 17	34,31 ± 27	29,88 ± 25	24,76 ± 13
Lipides totaux	0,73 ± 0,05	0,74 ± 0,04	0,64 ± 0,10	0,61 ± 0,19	3,45 ± 0,30
Glucides totaux	87,02	90,43	61,67	66,08	68,21

La farine de blé tendre utilisée dans la fabrication a une humidité moyenne de 14,59 %. Cette valeur est située dans l'intervalle 12,60-14,70 % donné par SOUCI et coll. (1994) et inférieure à 15,5 % maximum fixé par le *Codex Alimentarius* (FAO, 1996).

La connaissance de la teneur en eau des farines est déterminante pour leur bonne conservation en raison de leur hygroscopicité, où il est nécessaire de l'abaisser jusqu'à 14 %, 12 % voir 7 % selon les utilisations (COLAS, 1998). En outre, plus la teneur en eau de la farine est faible, plus il est possible de l'hydrater au pétrissage pour arriver à une consistance optimale de la pâte (GRANDVOINET et PRATX, 1994).

La teneur en protéines de la farine de blé tendre est de 11,83 % (ms). Cette teneur est supérieure à 7 % (ms) minimum fixé par le *Codex Alimentarius* (FAO, 1996). Tandis qu'elle est légèrement supérieure au maximum (11%) généralement fixé pour une farine biscuitière citée par MENARD et coll. (1992) ; COLAS (1998) ; et FEILLET (2000).

La teneur en cendres est un indicateur de la pureté de la farine. Elle est en relation avec son taux d'extraction et la minéralisation des grains mis en mouture. Elle définit, en outre, les types commerciaux des farines (COLAS, 1998 ; FEILLET, 2000). Ainsi, notre farine de blé tendre présente un taux de cendres de 0,43 % (ms) qui se range bien dans l'intervalle 0,40-0,46 % donné par MENARD (1992) et FEILLET (2000) pour une bonne farine biscuitière.

Notre farine témoins de blé tendre présente une teneur en lipides totaux de 0,73 % (ms). Cette teneur est nettement inférieure à l'intervalle 1,29-2,46% donné par SOUCI et coll. (1994).

La farine de riz présente un taux d'humidité de 13,45 %, conforme aux normes du *Codex Alimentarius* (FAO, 1996) qui en fixe une limite maximale de 15 %. Tandis qu'elle est supérieur à celle (12,5 %) donnée par SOUCI et coll. (1994). Les protéines représentent 8,18 % (ms), teneur supérieur à celles données par SOUCI et coll. (1994) et MOHTADJI-LAMBALLAIS

(1998) qui sont respectivement 7,63 et 7,5 % (ms). Les teneurs en lipides et en cendres respectivement de 0,74 % (ms) et 0,65 % (ms), sont du même ordre de grandeur que celles données par SOUCI et coll. (1994) qui sont de 0,78 % et 0,63 %.

Les teneurs en humidité des trois farines de légumes secs sont nettement inférieures à celles fixées par le *Codex Alimentarius* (FAO, 1996) qui sont de 15 % pour la féverole et le pois protéagineux et de 14 % pour le pois chiche. Les farines de féverole et de pois chiche présentent des taux d'humidité supérieurs à ceux donnés par CUQ et LEYNAUD-ROUAUD (1992) qui sont de 11 % et 10 %.

La farine de féverole présente une teneur en protéines (34,31 % ms) supérieur à celles données par CUQ et LEYNAUD-ROUAUD (1992) et BOYELDIEU (1991) qui sont respectivement 30,34 % (ms) et 27-31 % (ms). La teneur en protéines de la farine de pois protéagineux représente 29,88 % (ms), valeur supérieure à celles données par BOYELDIEU (1991) qui est entre 25 et 27 % (ms). La farine de pois chiche présente un taux de protéines de 24,76 % (ms) qui se situe dans l'intervalle de 13,7-27,2 % (ms) donné par CALET (1992) et de 12,4-30,6 % (ms) donné par GUEGUEN et LEMARIE (1996). Tandis qu'il est supérieur à celui donné par CUQ et LEYNAUD-ROUAUD (1992) qui est de l'ordre de 22,22 % (ms).

Les teneurs en lipides des farines de féverole et de pois chiche sont respectivement de 0,64 % et de 3,45 % (ms) et sont nettement inférieures à celles citées par CUQ et LEYNAUD-ROUAUD (1929) qui sont respectivement de 1,69 % et 5,56 % (ms). La farine de pois protéagineux en contient 0,61 % (ms), teneur nettement inférieure à 1,5 % (ms) donnée par BOYELDIEU (1991).

La farine de féverole présente une teneur en cendres de 3,39 % (ms) ce qui est inférieur à 5,62 % (ms) donnée par CUQ et LEYNAUD-ROUAUD (1929). Quand à la farine de pois chiche, celle-ci en contient 3,58 % (ms), teneur proche de celle citée par la même référence qui est de 4,44 % (ms). La farine de pois protéagineux présente une teneur de 3,44 % (ms) qui se rapproche de 4 % (ms) citée par BOYELDIEU (1991).

1-2-1/ Composition biochimique des formules de base

La composition globale moyenne des formules de base constituées d'un mélange de farines de 2 à 1 riz-légumes secs déduite par calcul est représentée dans le tableau 10 :

Tableau 10: Composition globale moyenne des formules de base (en % de la masse sèche).

Composition (% ms)	Farine de (Blé)	Farine de (R-Fv)	Farine de (R-PPr)	Farine de (R-PC)
Cendres	0,43	1,55	1,57	1,61
Protéines	11,83	16,80	15,34	13,65
Lipides totaux	0,73	0,71	0,70	1,64
Glucides totaux	87,02	80,94	82,40	83,10

A partir du tableau 10 et en comparaison avec les résultats du tableau 09, nous pouvons constater que la complémentation avec les légumes secs a significativement amélioré l'apport en protéines de la farine de riz. Nous avons noté une augmentation de 5,47 % après une substitution de un tiers par la farine de pois-chiche et de 7,16 % par la farine de pois-protéagineux. Elle atteint le double (de 8,18 % à 16,8 %) après l'ajout de la farine de fève.

La teneur en lipides totaux des formules de base (R-Fv) et (R-PPr) n'a pas significativement changée par rapport à celle de la farine initiale de riz. Tandis que celle de la formule (R-PC) a nettement augmenté. Elle est deux fois plus élevée que celle de la farine initiale de riz et même des autres formules de (R-Fv) et (R-PPr), en raison de la teneur relativement plus élevée en lipides de la farine initiale de pois chiche.

Cette complémentation riz-légumes secs a sensiblement réduit la teneur en glucides totaux des trois formules de base (R-Fv, R-PPr et R-PC) par rapport à celle de la farine initiale de riz.

1-2-2/ Composition biochimique des différentes formules biscuitières testées pour l'étude

La composition en nutriments majeurs (en % de la masse sèche) des différentes formules biscuitières testées pour la fabrication des farines-biscuits avec et sans gluten est représentée dans le tableau 11.

Nous avons constaté que l'ajout de sucre et de matière grasse a engendré une réduction progressive de la proportion des protéines pour l'ensemble des formules biscuitières et qui reste nettement inférieure à celle des formules de base correspondantes (tableau 10). Elle passe de 11,83 à 7,81 % ; de 16,8 % à 11,18 % ; de 15,34 % à 10,28 % et de 13,65 % à 9,15 % respectivement pour les formules (Blé), (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC), et cela lorsque l'ajout de sucre et de margarine atteint respectivement 25% et 20%.

L'ensemble des formules biscuitières avec et sans gluten testées pour la fabrication ont connue une augmentation remarquable dans leur contenu en lipides par rapport à celui des formules de base correspondantes. Cela suite à un ajout de 10 % à 20 % de margarine contenant respectivement d'environ 8 % à 16 % de lipides. La proportion des glucides totaux reste inférieure à celle des formules de base correspondantes et ce quelque soit le taux de sucre et de matière grasse ajouté.

1-3/ Capacité d'hydratation des différentes farines utilisées dans la fabrication

Lors de la détermination des taux minimum d'hydratation des pâtes issues des différentes formules biscuitières sans gluten et témoin, nous avons trouvé que le taux minimum d'eau ajouté (g d'eau ajouté à 100 g de farine plus les autres ingrédients) varie d'une formule à l'autre. Il est de 32 % pour la formule biscuitière témoin de fabrication à base de farine de blé tendre (B1), de 34 % pour la formule biscuitière sans gluten de (R-Fv), de 36 % pour celle de (R-PC) et de 38 % pour celle de (R-PPr). Rappelons que ces formules ont les mêmes quantités d'ingrédients (farines, sucre matière grasse, sel et poudres levantes). Donc, cette variation pourrait être le résultat de la variabilité dans le comportement des farines à l'hydratation. Celles-ci présentent chacune une capacité d'hydratation différente.

En effet, des essais d'hydratation ont été réalisés sur les farines initiales séparées afin de comparer leur capacité d'hydratation en déterminant le minimum d'eau ajoutée pour chacune permettant la formation d'une pâte cohésive. Les résultats obtenus sont : farine de blé tendre ($47,67 \pm 1,49$ %), farine de riz ($63,33 \pm 1,18$ %), farine de fève (37,67 ± 0,91 %), farine de pois-protéagineux ($43,67 \pm 0,75$ %) et farine de pois-chiche ($40,33 \pm 0,75$ %).

Ces résultats montrent que la farine de riz présente la capacité d'hydratation la plus élevée suivie par celle de blé. Les farines des trois légumes secs sont celles qui absorbent le moins d'eau.

Selon COLAS et THARRAULT (1997) ; COTTENET (1986) cité par MAACHE – REZZOUG et coll. (1998c) ; FEILLET (2000) la finesse d'une farine accroît l'absorption d'eau. Cependant, la considération des fractions granulométriques fines (<50 µm) des différentes farines (tableau 08), montre que malgré sa faible proportion dans la farine de riz, c'est l'ingrédient qui présente la capacité d'hydratation la plus élevée. D'autre part, les farines de légumes secs qui en renferment des proportions plus élevées que celles des farines de riz et de blé, présentent les capacités d'hydratation les plus faibles. En effet, on pourrait dire que la granulométrie peut affecter le comportement des farines à l'hydratation lorsque celles-ci sont de même nature ou de même origine botanique.

Donc, on pourrait relier cette différence de comportement à l'hydratation entre ces farines à la différence dans leur composition biochimique et la nature des composants qui y sont impliqués (LAUNAY et BARTOLUCCI, 1997).

En effet, plusieurs études sur la distribution de l'eau entre les constituants de la farine de blé ont montré que l'amidon est le principal composant impliqué dans les propriétés d'hydratation des farines en raison de sa présence en quantité importante (FEILLET, 200 ; ROMAN-GUTIERREZ et coll., 2002 ; GOESAERT et coll., 2005).

Plusieurs auteurs confirment qu'il n'existe pas un seul mais plusieurs amidons ayant des propriétés voisines mais différentes selon leurs origines botaniques (BULEON et coll., 1990 ; CHAMP et FAISANT, 1992). Ces propriétés dépendent des caractéristiques physiques et chimiques telles que la taille moyenne des granules et le rapport amylose/amylopectine (SINGHA et coll., 2006). Ainsi, le granule d'amidon de riz présente la plus petite taille par rapport aux autres amidons (BERNARD et CARLIER, 1992 ; JOLIANO, 1994). Ce qui pourrait expliquer leur grande capacité d'absorption d'eau. En outre, les amidons des légumineuses se caractérisent par rapport aux amidons des céréales par une teneur élevée (30 à 60%) en amylose (CHEFTEL et CHEFTEL, 1984 ; BORNENT, 1992).

2/ Caractéristiques des produits finis après cuisson

2-1/ Volume spécifique (V_{sp})

2-1-1/ Effet de l'eau sur le V_{sp} des farines-biscuits issus des formules biscuitières testées

Sur la figure 03 est représenté l'effet de la variation des taux d'hydratation sur le volume spécifique (V_{sp}) des farines-biscuits après cuisson (avec taux de MG et de sucre fixé à 20 % chacun). Les faibles V_{sp} enregistrés sont ceux correspondants aux faibles taux d'hydratation pour l'ensemble des formules biscuitières. Nous avons noté 2,80 cm³/g pour la farine-biscuit témoin de fabrication (Blé) ; 1,90 cm³/g ; 1,73 cm³/g et 1,69 cm³/g pour les farines-biscuits sans gluten (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) respectivement. Les V_{sp} atteignent respectivement : 3,22 cm³/g ; 2,15 cm³/g ; 1,95 cm³/g et 1,88 cm³/g pour des farines-biscuits de (Blé), de (R-Fv), de (R-PPr) et de (R-PC) ayant des taux d'hydratation de 36 %, de 46 %, de 50 % et de 44 % respectivement.

A des taux d'hydratation plus élevés, nous avons noté une diminution dans les V_{sp} des farines-biscuits correspondantes, où ils atteignent jusqu'à 3,09 cm³/g pour la farine-biscuit témoin ; 2,07 cm³/g ; 1,90 cm³/g et 1,76 cm³/g pour les farines-biscuits sans gluten (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) respectivement.

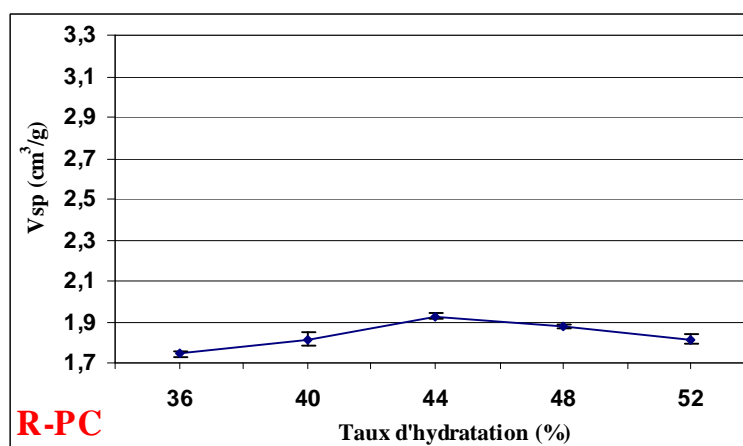
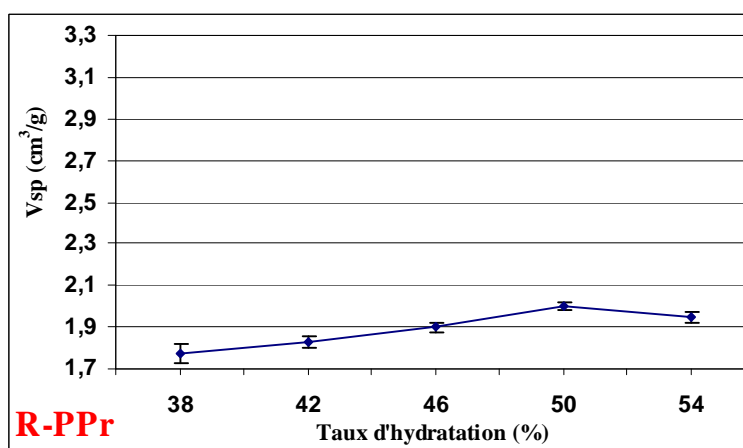
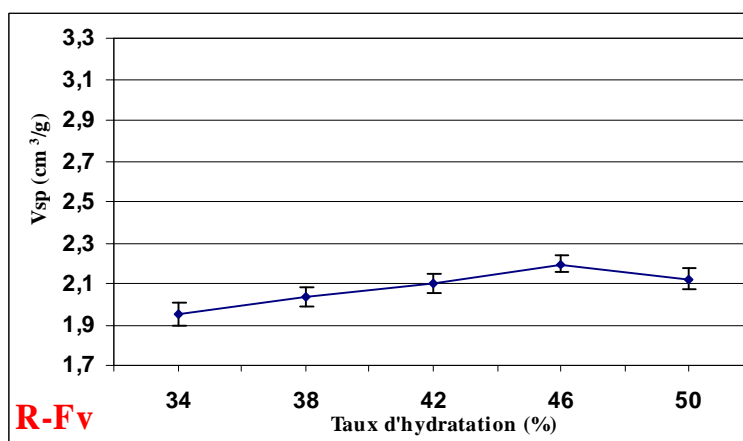
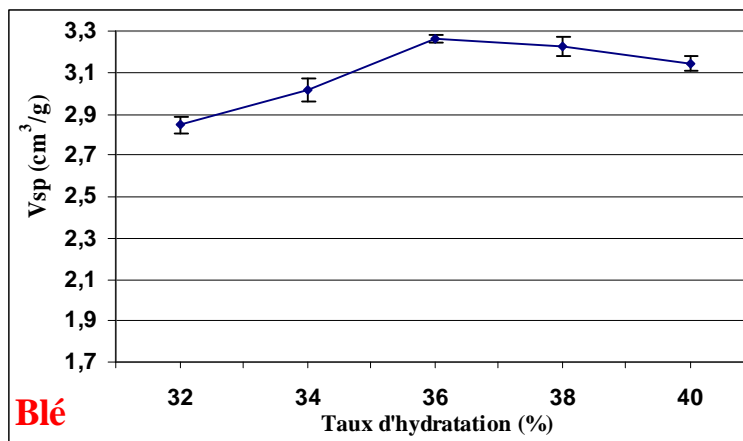


Figure 03 : Effet de la variation du taux d'hydratation sur le volume spécifique (Vsp) des farines-biscuits après cuisson, en fixant à 20 % chacun de sucre et de MG (en g ajouté à 100 g de farine).

Le faible V_{sp} enregistré pour le minimum d'hydratation de chacune des pâtes biscuitières pourrait s'expliquer par le fait que ces dernières deviennent plus rigides présentant une viscosité élevée qui s'oppose à la levée sous l'effet de la poussée gazeuse (LAUNAY et BURE, 1974 ; CHEVALLIER et coll., 1999). Ainsi MANOHAR et RAO (2002) ont montré que plus la pâte est dure donne des biscuits plus denses. D'autre part, les plus faibles V_{sp} notés à des taux d'hydratation plus élevés pourraient être due à un affaissement des biscuits en raison de la dilution des composants de la farine qui se traduit par une faible rétention gazeuse (BALLA et coll., 1999).

2-1-2/ Effet de la matière grasse sur le V_{sp} des farines-biscuits issus des formules biscuitières testées

La figure 04 illustre l'effet de variation du taux d'incorporation de la matière grasse (margarine) sur le volume spécifique (V_{sp}) des farines-biscuits après cuisson (en fixant à 20 % le taux de sucre et à 36% ; 46% ; 50% et 44% le taux d'hydratation pour les farines-biscuits témoin de fabrication, (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) respectivement, exprimés en g ajouté à 100 g de farine).

Nous avons constaté que les farines-biscuits ayant le plus faible taux de matière grasse (10 % de margarine) ont représenté des faibles V_{sp} qui sont : de 2,992 cm^3/g pour la farine-biscuit témoin de fabrication (Blé), de 1,942 cm^3/g pour celle de (R-Fv), de 1,818 cm^3/g et 1,75 cm^3/g pour celles de (R-PP) et (R-PC) respectivement. Ces V_{sp} semblent augmenter avec le contenu en matière grasse. Ils atteignent respectivement 3,22 cm^3/g ; 2,15 cm^3/g ; 1,95 cm^3/g et 1,88 cm^3/g pour des formules biscuitières contenant 20 % de margarine.

Cette amélioration dans le volume des farines-biscuits en fonction de la teneur en matière grasse traduit le rôle de celle-ci dans la stabilisation et le maintien des bulles d'airs incorporées lors du pétrissage (GIVEN, 1994). En effet, dans une pâte biscuitière qui consiste en une émulsion de matière grasse dans une phase aqueuse continue de farine, sucre et d'autres ingrédients, les cristaux de lipides s'adsorbent à l'interface air/eau (ELIASSON et SILVERIO, 1997). Durant la cuisson, un grand nombre de ces cristaux fondent libérant ainsi suffisamment d'interface aux bulles d'air pour s'expanser sans rupture sous l'effet de la vapeur d'eau et du gaz carbonique produits (BROOKER, 1993 ; KOCER, 2007). Cette expansion se traduit par une levée des biscuits avec une structure alvéolée.

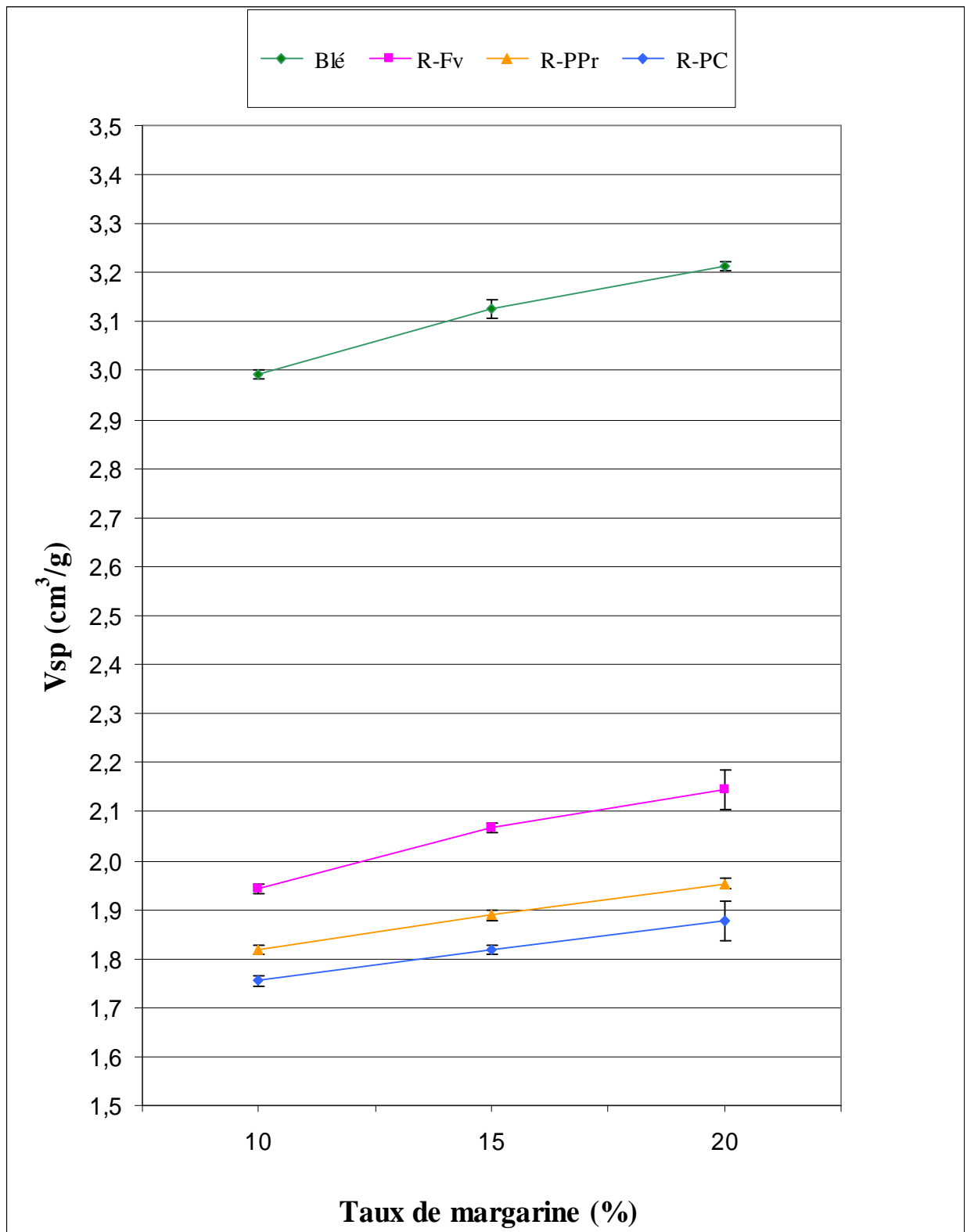


Figure 04 : Evolution du volume spécifique (Vsp) des farines-biscuits après cuisson en fonction du taux de matière grasse (margarine) en fixant à 20 % le taux de sucre et à 36% ; 46% ; 50% et 44% le taux d'hydratation pour les farines-biscuits (Blé), (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) respectivement (en g ajouté à 100 g de farine).

D'autre part, MONAHAR et RAO (1999b) ainsi que MAACHE-REZZOUG (1998a) ont rapporté que l'augmentation du taux de la matière grasse affecte les propriétés mécaniques des biscuits et accroissent leur friabilité après cuisson. Egalement SUDHA et coll. (2007) ont montré que la réduction de la proportion de matière grasse se traduit par un biscuit dur issu d'une pâte plus ferme.

2-1-3/ Effet du sucre sur le Vsp des farines-biscuits issus des formules biscuitières testées

A partir de la figure 05 nous pouvons constater une augmentation progressive du volume spécifique des différentes farines-biscuits avec l'accroissement du taux de sucre (en fixant à 20 % le taux de margarine et à 36% ; 46% ; 50% et 44% le taux d'hydratation pour les farines-biscuits (Blé), (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) respectivement, exprimés en g ajouté à 100 g de farine).

Une augmentation dans le Vsp est notée entre les farines-biscuits contenant 5 % de sucre et celles qui en renferment 25 %. Elle est de 2,89 à 3,27 cm³/g pour la farine-biscuit témoin de fabrication (Blé), de 2,03 à 2,18 cm³/g, de 1,88 à 2,01 cm³/g et de 1,82 à 1,95 cm³/g pour les formules sans gluten (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) respectivement.

Cette amélioration dans le volume des farines-biscuits pourrait être expliquée par le fait que l'addition de sucre dans une formule biscuitière permet une bonne incorporation de l'air pendant le pétrissage. En outre, l'ajout de sucre retarde la gélatinisation de l'amidon au cours de la cuisson permettant ainsi une expansion convenable des bulles d'air avant que la structure finale du biscuit ne soit figée (KIM et WALKER, 1992; KOCER et coll., 2007). Ce qui améliore le volume en donnant ainsi un produit aéré après cuisson.

Ainsi, MANOHAR et RAO (1997) ont noté qu'une supplémentation de 5% de sucre augmente significativement le volume du biscuit et réduit par conséquence sa densité, ce qui reflète une amélioration dans sa structure finale.

2-1-4/ Optima des taux d'incorporation de l'eau, de sucre et de la matière grasse retenus

La qualité d'un biscuit est souvent appréciée par une faible densité (volume spécifique élevé) qui est un des paramètres technologiques jugé comme étant le meilleur indice des propriétés texturales des biscuits (THARRAULT, 1997 ; MANOHAR et RAO, 1999a ; 1999b ; 2002 ; IGREJAS et coll., 2002b).

En effet, les optima des taux d'eau, de sucre et de matière grasse retenus sont ceux qui ont donné le meilleur des volumes spécifiques (Vsp) des farines-biscuits issues des différentes formules biscuitières testées pour chacune des formules (Blé, R-Fv, R-PPr et R-PC).

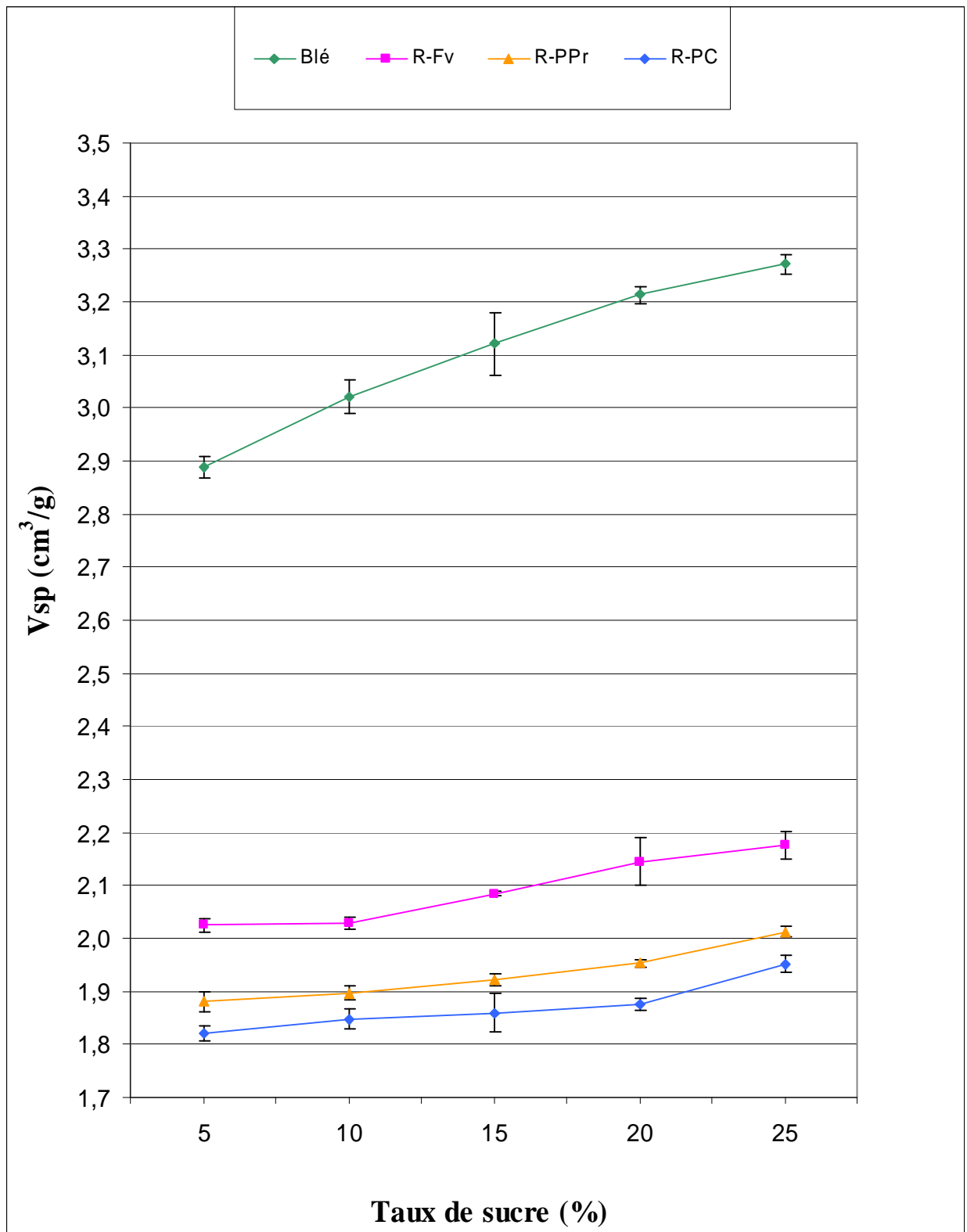


Figure 05 : Evolution du volume spécifique (Vsp) des farines-biscuits après cuisson en fonction du taux de sucre (en fixant à 20 % le taux de margarine et à 36% ; 46% ; 50% et 44% le taux d'hydratation pour les farines-biscuits (Blé), (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) respectivement, exprimés en g ajouté à 100 g de farine).

Ainsi, nous avons obtenu quatre formules biscuitières finales à base de farine de Blé, de R-Fv, de R-PPr et de R-PC ayant le même taux de sucre et de matière grasse, mais avec des taux d'hydratations différents (tableau 12).

Tableau 12: Formules biscuitières finales correspondant aux optima des taux d'ingrédients ajoutés (en g à 100 g de farine) qui ont donné chacune le meilleur volume spécifique (Vsp) de farine-biscuit.

Formules biscuitières	Taux d'ingrédients (en g ajouté à 100 g de farine)			Vsp (cm ³ /g)
	Eau (%)	Sucre (%)	Margarine (%)	
Blé	36	25	20	3,27 ± 0,02
R-Fv	46	25	20	2,18 ± 0,02
R-PPr	50	25	20	2,01 ± 0,01
R-PC	44	25	20	1,95 ± 0,02

Nous constatons que notre farine-biscuit témoin de fabrication (Blé) représente un Vsp moyen de 3,27 cm³/g qui est inférieur à celui du biscuit témoin de commerce "Casse-croûte Aurès" représentant 3,60 cm³/g. Alors qu'il est proche de 3,33 cm³/g donné pour le même type de biscuit (goûter) utilisé dans le test biscuitier du Centre Technique des Utilisateurs des Céréales (C.T.U.C.) comme critère de choix dans l'appréciation de l'aptitude biscuitière des farines issues des blés biscuitiers français (ONIC/ARVALIS–Institut du végétal, 2005).

Les autres farines-biscuits sans gluten représentent des Vsp moyens inférieurs à celui de notre témoin de fabrication (blé) en représentant : 2,18 cm³/g pour la farine-biscuit (R-Fv) ; 2,01 cm³/g et 1,95 cm³/g pour celles de (R-PPr) et (R-PC) respectivement.

Les faibles Vsp enregistrés pour les farines-biscuits sans gluten par rapport aux témoins pourrait être expliquée par l'absence du gluten responsable de la rétention gazeuse et donc la levée lors de la cuisson. Par ailleurs, la différence enregistrée entre les Vsp des farines-biscuits sans gluten semble être en corrélation ($r = 0,95$) avec la teneur en protéines totales des trois formules qui est significativement ($p < 0,05$) différente d'une formule à une autre. Ceci conclurait que le Vsp est fonction de la proportion de chacune des farines de légumes secs dans la formule de base, d'où l'intérêt d'étudier la faisabilité d'autres rapports légumes secs/riz contenant plus de légumes secs.

Le taux d'hydratation de notre formule biscuitière témoin représentant 36 % (en g ajouté à 100 g de farine) est légèrement inférieur à celui donné pour le biscuit témoin du commerce "Casse-croûte Aurès" qui est de 37 % (sur la base du poids de la farine), mais reste supérieur à celui du biscuit standard du C.T.U.C qui représente 26% (THARRAULT, 1997 ; FEILLET, 2000), ainsi que celui utilisé dans de nombreuses études sur les biscuits de même type (IGREJAS et coll., 2002b ; FUSTIER et coll., 2007), ou de types proches de biscuits (MANOHRD et RAO, 1997 ; 1999a ; 1999b ; 2002). Cependant, les autres formules biscuitières sans gluten ont montré des taux d'hydratation encore plus élevées, probablement en raison de leur teneur en riz dans un rapport de 2/1 par rapport aux légumes secs. En effet, nos résultats sur la capacité d'absorption d'eau donnés plus haut (§3, p51) ont montré que le riz absorbe plus d'eau que le reste des ingrédients avec et sans gluten corroborent ceux donnés dans le tableau 12.

Ainsi, de nombreuses études ont confirmé que la qualité de la farine de blé tendre à la base de l'élaboration de ce type de biscuits est fortement liée aux cultivars et aux variétés de blés utilisés. En effet, la différence dans les caractéristiques de l'endosperme du grain donne lors de la mouture des farines à différentes granulométries avec des taux d'amidon endommagé variables. Ce qui se répercute sur leurs capacités d'hydratations (IGREJAS et coll., 2002a ; IGREJAS et coll., 2002b).

En outre, certains des constituants de la farine semblent avoir une influence sur ces propriétés physico-chimiques (PEDERSEN et coll., 2004). IGREJAS et coll. (2002b) ont montré que le contenu en protéines été le principal variable responsable de la qualité potentielle des blés tendres sélectionnée pour biscuits. Ainsi, un contenu en protéines entre 8–10% du grain, et donc une faible capacité d'hydratation ont été jugés comme étant les principaux caractéristiques prescrites pour les blés biscuitiers (IGREJAS et coll., 2002a ; IGREJAS et coll., 2002b ; PEDERSEN et coll., 2004).

Le taux de sucre de notre formule biscuitière témoin et celles sans gluten est inférieur à celui donné pour le biscuit témoin du commerce "Casse-croûte Aurès" qui est de l'ordre de 28 % (sur la base du poids de la farine) et à celui utilisé dans de nombreuses études optant pour le même type de biscuit qui est de 30% (THARRAULT, 1997 ; MANOHAR et RAO, 1997 ; 1999a ; 1999b ; 2002 ; FEILLET, 2000 ; IGREJAS et coll., 2002a ; IGREJAS et coll., 2002b ; FUSTIER et coll., 2007).

Le meilleur taux de matière grasse retenu pour nos formules biscuitières témoin et sans gluten est de 20 % de margarine correspondant à 16,4 % de lipides, ce qui est nettement supérieur à celui utilisé dans la formule du biscuit témoin du commerce "Casse-croûte Aurès" qui est de l'ordre de 10 %. Alors qu'il est deux fois plus élevé que celui utilisé dans la plupart

des travaux cités ci-dessus et qui est de 8 % (THARRAULT, 1997 ; FEILLET, 2000 ; IGREJAS et coll., 2002a ; IGREJAS et coll., 2002b ; FUSTIER et coll., 2007). Cette augmentation dans le taux de matière grasse va permettre l'accroissement de la friabilité de nos farines-biscuits, facilitant ainsi leur désintégration et donc leur instantanéité de préparation sous forme de bouillies infantiles.

2-2/ Cinétique de réhydratation des farines-biscuits issues des formules biscuitières finales

La cinétique de réhydratation des farines-biscuits avec et sans gluten et du biscuit témoin "Casse-croute Aurès" du commerce (C-C) est représentée dans la figure 06. Les résultats sont donnés en volume d'eau absorbé/100 g de produit en fonction du temps de trempage.

Nous pouvons constater que le profil des courbes de réhydratation de nos farines-biscuits sans gluten se rapproche de celui de notre farine-biscuit témoin de fabrication à base de blé tendre (Blé). La cinétique présente deux phases : la première correspond à une phase rapide pendant les 20 premières secondes au cours de laquelle la farine-biscuit témoin présente un taux d'absorption nettement plus élevé que ceux des farines-biscuits sans gluten, mais significativement inférieur à celui du biscuit témoin de commerce (C-C). La deuxième, plus lente après 20 sec, montrant un pallier à partir de 60 sec, au cours de laquelle la farine-biscuit témoin (Blé) absorbe significativement ($p < 0,05$) plus d'eau que celles des autres formules sans gluten. Elle atteint un taux maximum d'hydratation de $190,97 \pm 5,68$ % contre $142,56 \pm 5,23$ % pour la formule (R-Fv) ; $136,30 \pm 5,22$ % pour celle de (R-PPr) et $132,50 \pm 6,37$ % pour la formule (R-PC).

Une nette différence est notée entre le comportement de nos farines-biscuits avec et sans gluten et celui du biscuit témoin de commerce (C-C). Ce dernier présente une première phase de réhydratation plus rapide durant les 5 premières secondes où il atteint un taux d'absorption nettement plus élevé que ceux de nos farines-biscuits avec et sans gluten, et qui est de $153,88 \pm 1,36$ % contre $109,25 \pm 6,33$ % pour la farine-biscuit témoin (Blé) et $70,11$ % ; $65,43 \pm 6,40$ % et $60,44 \pm 5,20$ % pour celles de (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) respectivement pour la même durée. Une deuxième phase de ralentissement lui succède, après 5 sec, présentant un pallier à partir de la vingtième seconde où il atteint plus rapidement un taux max d'absorption de $176,40$ % qui est nettement supérieur à ceux des autres formules sans gluten, mais inférieur à celui de notre farine-biscuit témoin (Blé).

Ce comportement à l'hydratation semble être lié aux propriétés structurales des biscuits. En effet, le biscuit témoin du commerce (C-C) possède un volume spécifique plus élevé avec une structure alvéolaire aérée (figure 07), reflétant ainsi la facilité de pénétration de l'eau à l'intérieur du produit.

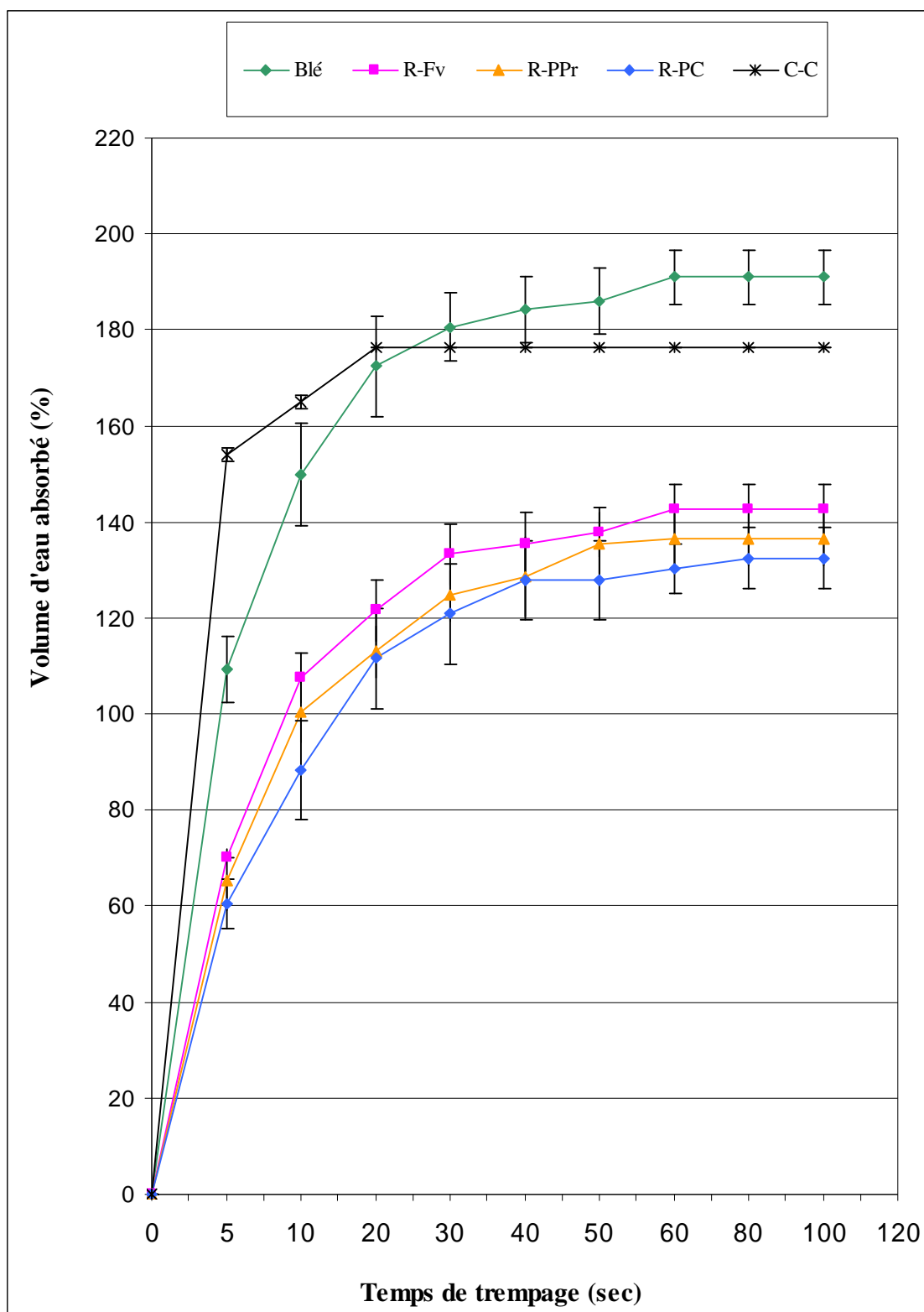


Figure 06 : Cinétiques de réhydratation de nos meilleures farines-biscuits sans gluten comparées aux témoins de blé de farine-biscuit et du commerce.

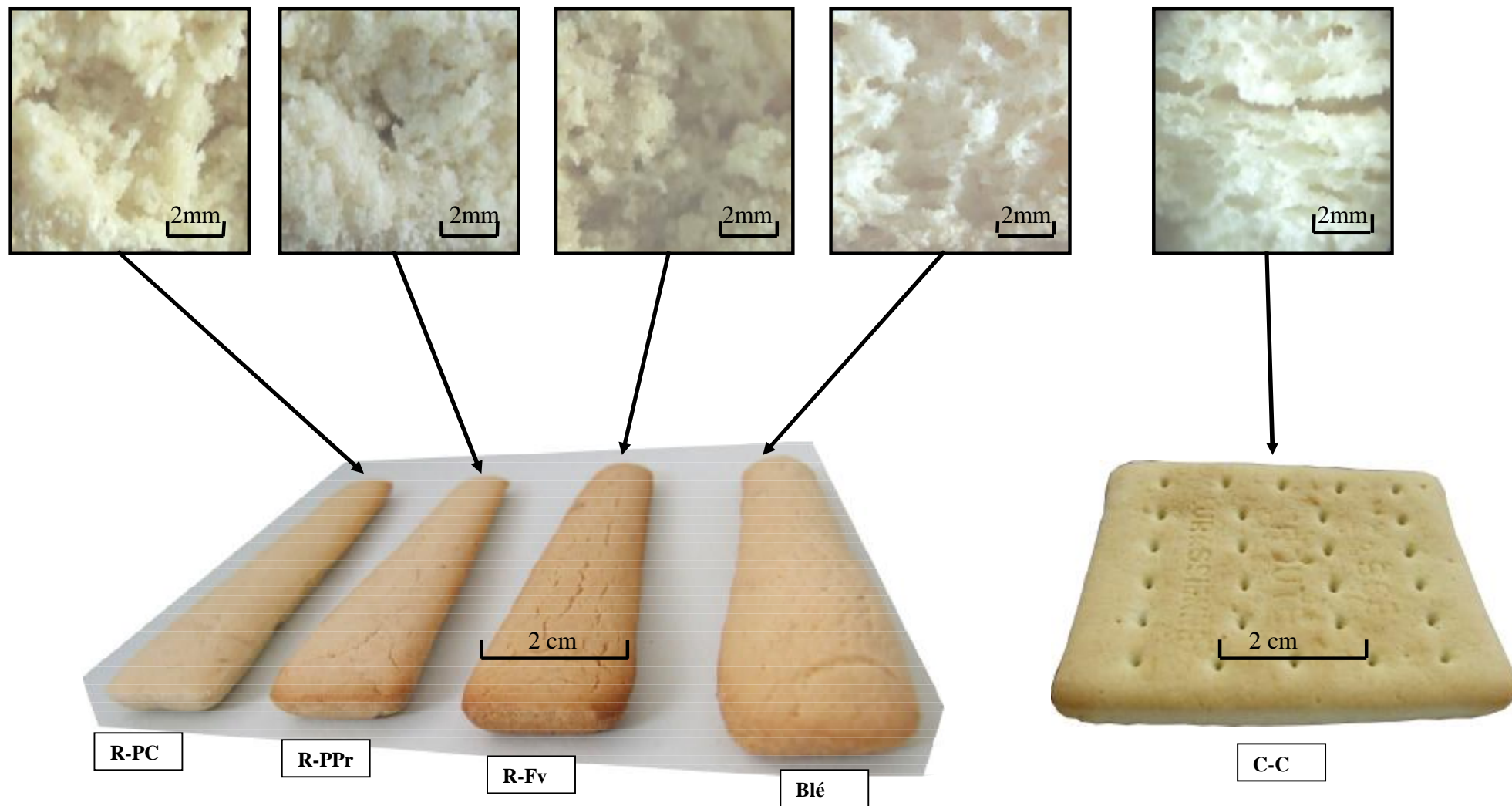


Figure 07 : Optima des farines-biscuits avec et sans gluten et du témoin de commerce (C-C) avec découpes transversales.

Toute fois, une différence dans le comportement des farines-biscuits sans gluten est enregistrée, dont celle de la formule (R-Fv) a montré une capacité à l'hydratation supérieure à celles des autres formules de (R-PPr) et (R-PC) avec un taux d'absorption significativement plus élevé.

3/ Comportements rhéologiques de différentes pâtes de fabrication

Le test d'étalement est un test rhéologique simple qui permet d'apprécier la résistance des pâtes en fonction de leurs teneurs en eau, en sucre et en matière grasse, à l'étalement à travers le suivi de l'évolution du diamètre moyen d'une éprouvette de pâte sous l'effet de différentes charges.

Les courbes d'étalement des pâtes biscuitières issues de farine de blé tendre et de formules riz-légumes secs sont présentées sur les figures 08, 09 et 10. Celles-ci montrent que quelque soit le taux d'hydratation, de sucre ou de matière grasse, le diamètre moyen des pâtons augmente avec les charges appliquées.

3-1/ Effet de l'eau sur l'étalement des pâtes biscuitières

La figure 08 illustre l'effet de la variation de la teneur en eau sur le comportement rhéologique des pâtes biscuitières. Sur cette figure sont présentés les étalements des pâtes correspondant à trois niveaux d'hydratations : le minimum, le maximum et l'optimum d'hydratation dont les taux varient d'une formule biscuitière à l'autre.

Ces courbes montrent que l'étalement du diamètre moyen des différentes pâtes est proportionnel avec le taux d'hydratation. Ceci pourrait être expliqué par la diminution de la résistance de la pâte à la déformation qui serait selon LAURIENT et coll. (1988) le résultat de la mise en place d'interactions eau-polymère au détriment de celles polymère-polymère conduisant à une diminution de la rigidité des chaînes.

Ainsi, MANOHAR et RAO (1999a) ont étudié l'influence de la teneur en eau et du type de farine sur les différents paramètres rhéologiques de la pâte et sur la qualité des biscuits. Ils ont montré qu'une variation dans la teneur en eau de 1% (sur la base du poids de la farine) affecte de manière significative les caractéristiques rhéologiques de la pâte quelque soit le type de la farine (capacité d'hydratation).

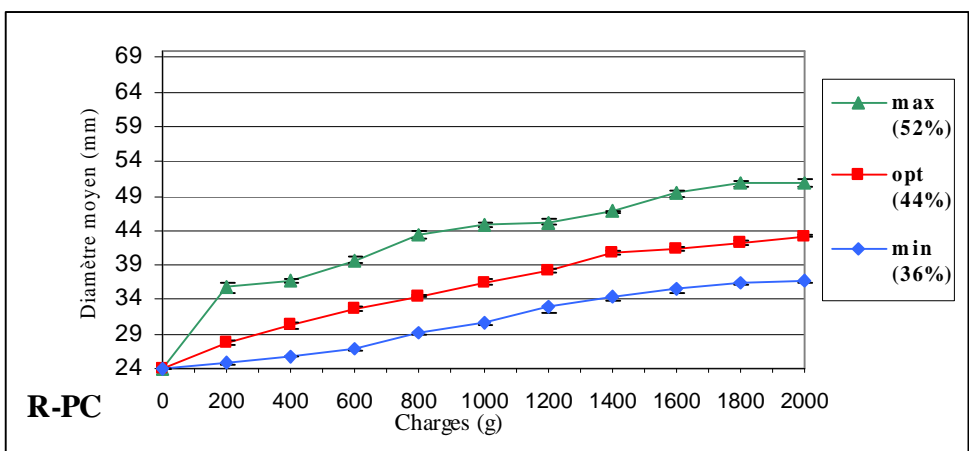
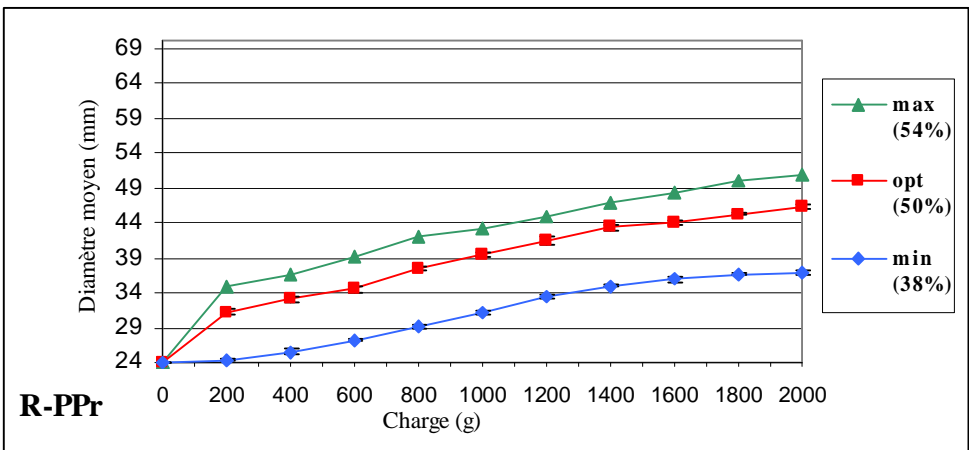
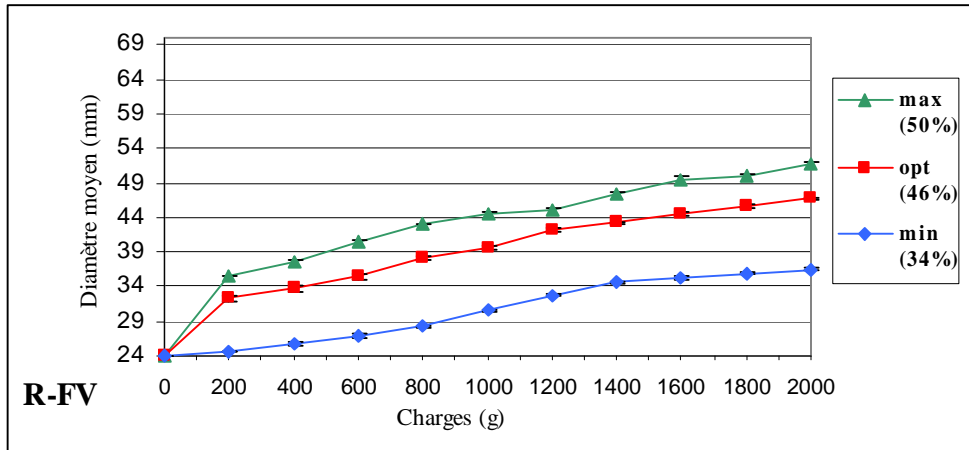
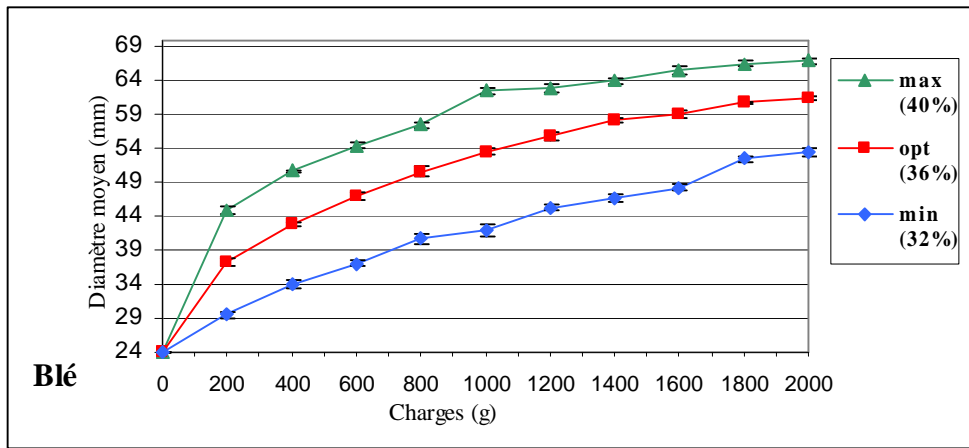


Figure 08 : Effet de la variation du taux d'hydratation sur l'étalement des différentes pâtes biscuitières (**min**, **opt** et **max** : minimum, optimum et maximum d'hydratation ajoutée à 100g de farine).

De même, MAACHE-REZZOUG et coll. (1998a) ont montré, pour le même type de biscuit (biscuit sec) que l'ajout d'eau à la formule biscuitière réduit la viscosité et augmente l'extensibilité de la pâte biscuitière.

Ainsi les courbes d'étalement de la figure 08 montrent qu'une augmentation de 4% (différence entre le niveau optimum et maximum d'hydratation) dans la teneur en eau des pâtes à base de farines de blé et celles de la formule (R-Fv) et de (R-PPr) conduit à une augmentation significative ($p < 0,05$) du diamètre moyen final des pâtons entre ces deux niveaux d'hydratation. Elle est de l'ordre de 6 mm pour la pâte de blé ; de 5 mm pour celle de formule de (R-Fv) et celle de farine de (R-PPr). Elle est de l'ordre de 8 mm pour la formule de (R-PC) suite à une augmentation de 8 % dans le contenu en eau.

A partir de ces mêmes courbes, on constate que quelque soit le niveau d'hydratation, la pâte à base de farine de blé tendre présente un diamètre moyen final significativement ($p < 0,05$) supérieur à ceux des autres pâtes à base de riz-légumes secs. Rappelons que quelque soit le niveau d'hydratation, la pâte à base de farine de blé tendre représente le taux d'hydratation le plus faible. En effet, cet étalement marqué témoigne de sa grande extensibilité probablement en raison de la présence de gliadines du gluten qu'elle renferme (CHEFTEL et coll., 1985 ; FEILLET, 2000).

En ce qui concerne les courbes d'étalement des pâtes à base de riz-légumes secs, il est à remarquer que l'évolution du diamètre moyen correspondant aux niveaux minima d'hydratation des trois formules ne présente aucune différence significative au seuil de 5 % ($p = 0,38$). Ceci signifierait que les pâtes issues des trois formules de farines (R-Fv), (R-PPr) et (R-PC) ont des consistances proches à leurs minimums d'hydratations qui sont respectivement 34 38 et 36 % (sur la base du poids de la farine).

3-2/ Effet de la matière grasse sur l'étalement des pâtes biscuitières

Les courbes de la figure 09 représentent l'effet de la variation du taux de la matière grasse (MG) sur le comportement rhéologique des pâtes biscuitières du témoin de blé tendre et de formules de riz-légumes secs. Sur cette figure sont présentés les étalements des différentes pâtes correspondant à deux niveaux de MG : le minimum et l'optimum représentant respectivement 10 % et 20 % de margarine ajoutée (en g à 100 g de farine) pour l'ensemble des formules biscuitières.

Il en ressort que la variation dans la teneur en MG a affecté le comportement rhéologique des différentes pâtes se traduisant par une évolution dans leur étalement.

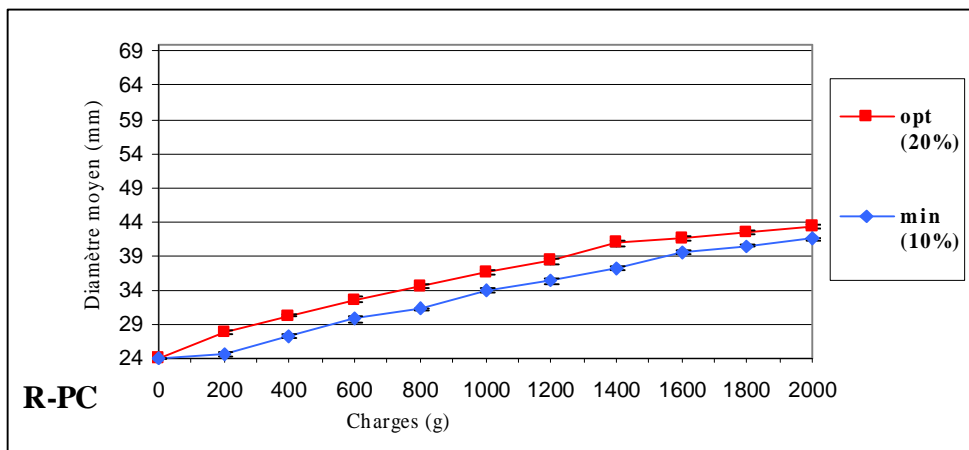
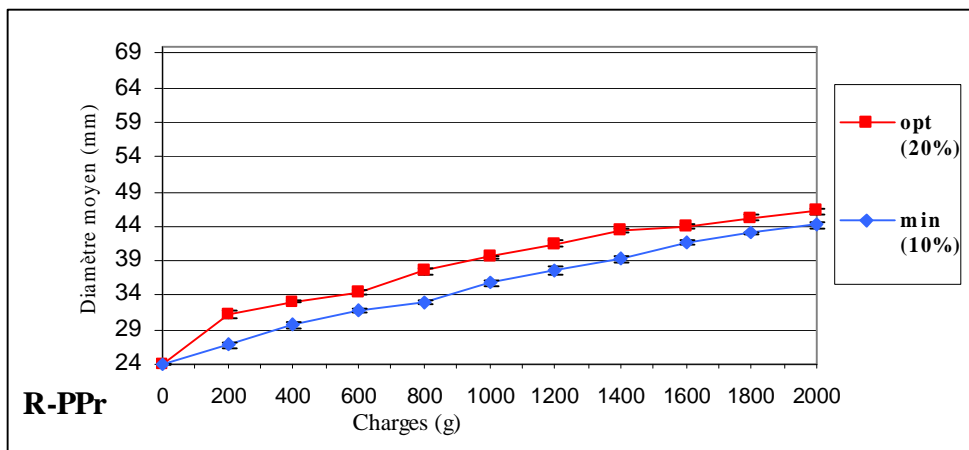
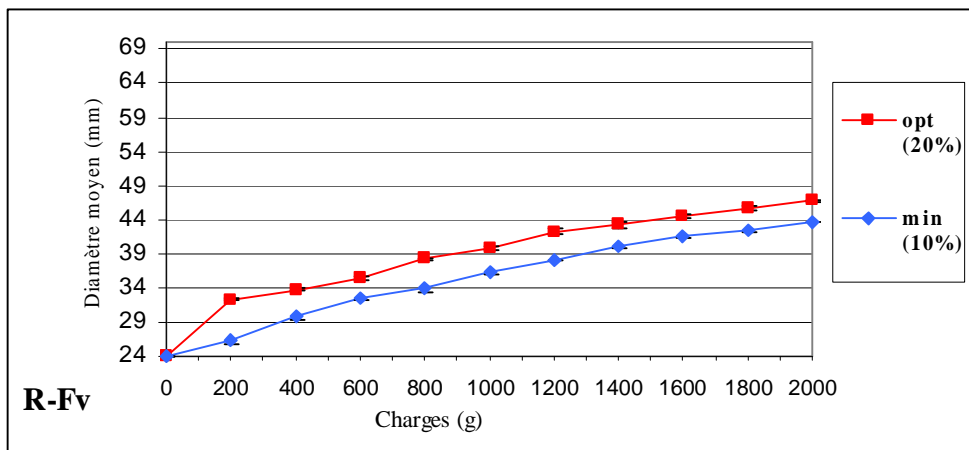
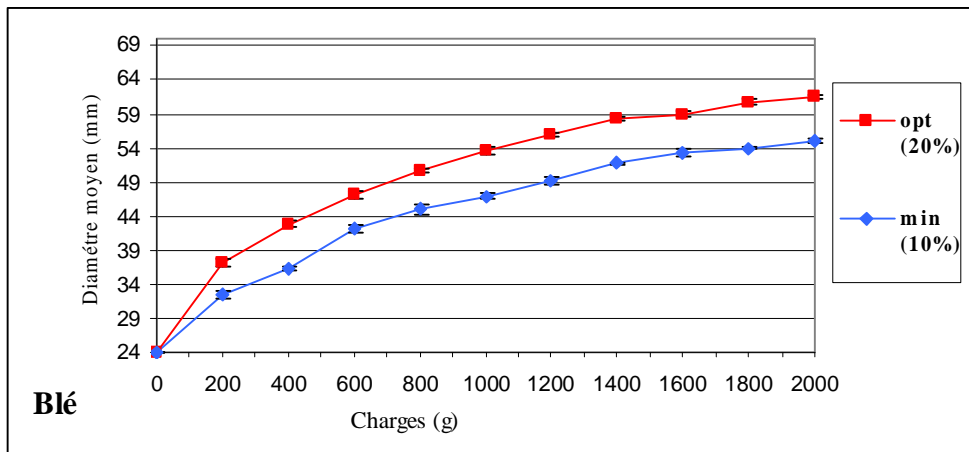


Figure 09 : Effet de la variation du taux de matière grasse (MG) sur l'étalement des différentes pâtes biscuitières (**min** et **opt** : minimum et optimum de margarine ajoutée à 100 g de farine).

Dans ce même contexte, MANOHAR et RAO (1997, 1999b) rapportent que pour une formule d'un biscuit sec (à 30% sucre et 20% MG), l'addition ou la réduction de 5% de matière grasse engendre une modification significative dans la consistance de la pâte.

Ainsi, les courbes de la figure 09 montrent qu'une élévation de 10% dans la teneur en margarine pour l'ensemble des pâtes se traduit par une augmentation significative ($p < 0,05$) dans leur étalement. Ceci est dû au fait que l'addition de matière grasse provoque un ramollissement de la pâte (MAACHE-REZZOUG et coll. (1998a).

3-3/ Effet du sucre sur l'étalement des pâtes biscuitières

Les courbes de la figure 10 représentent l'effet de la variation du taux de sucre sur le comportement rhéologique des différentes pâtes. Sur cette figure sont présentés les étalements des pâtes correspondant à trois niveaux de sucre : le minimum, le maximum moins un niveau (max-1) et l'optimum de sucre ajouté à 100 g de farine représentant respectivement 5 %, 20 % et 25 % pour l'ensemble des formules biscuitières.

Ces courbes montrent que l'étalement des différentes pâtes augmente avec le contenu en sucre. Ceci pourrait être dû à l'effet ramollissant du saccharose se traduisant par une diminution de la force des pâtes. Cette réduction est due en grande partie à une compétition entre le sucre ajouté et la farine vis-à-vis de la disponibilité de la quantité d'eau incorporée dans la pâte (MAACHE-REZZOUG et coll., 1998a ; MANOHAR et RAO, 1997 ; GALLAGHER et coll., 2003).

A cet égard, MANOHAR et RAO (1997) ont montré qu'une variation de 5% (poids de la farine) de sucre dans une formule d'un biscuit sec affecte de manière significative les paramètres rhéologiques de la pâte tels que la consistance.

A partir des courbes de la figure 10, on peut constater qu'une augmentation de 5 % (20 à 25 %) dans la teneur en sucre augmente significativement ($p < 0,05$) le diamètre moyen des pâtons pour l'ensemble des formules. Ainsi, la pâte issue de la farine de blé présente une augmentation dans le diamètre moyen final de 3,44 mm ; celui de la pâte (R-Fv) augmente de 2,25 mm et celui de la formule (R-PPr) de 2,56 mm. Une augmentation de 1,81 mm est notée pour la formule (R-PC).

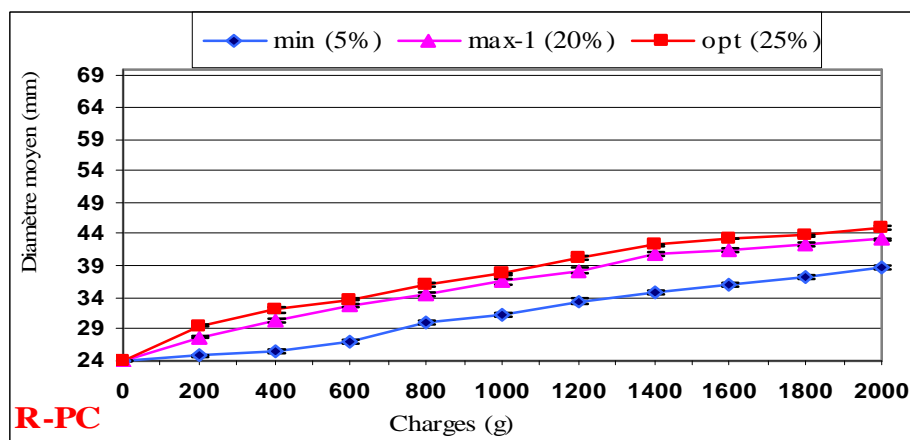
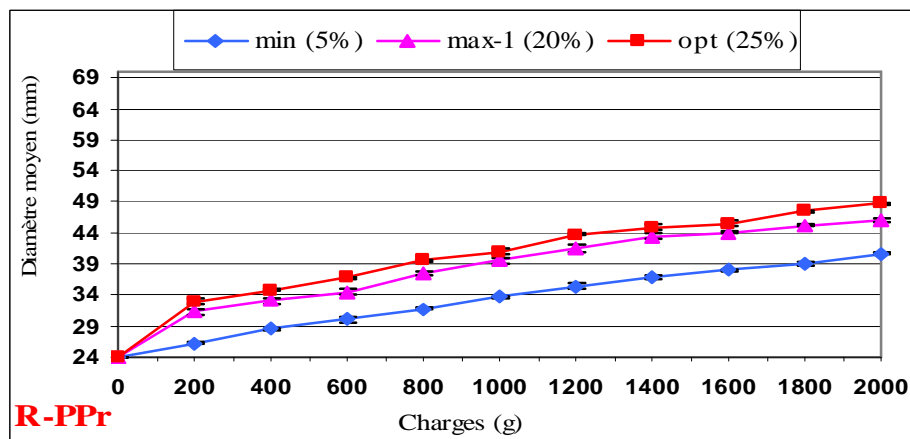
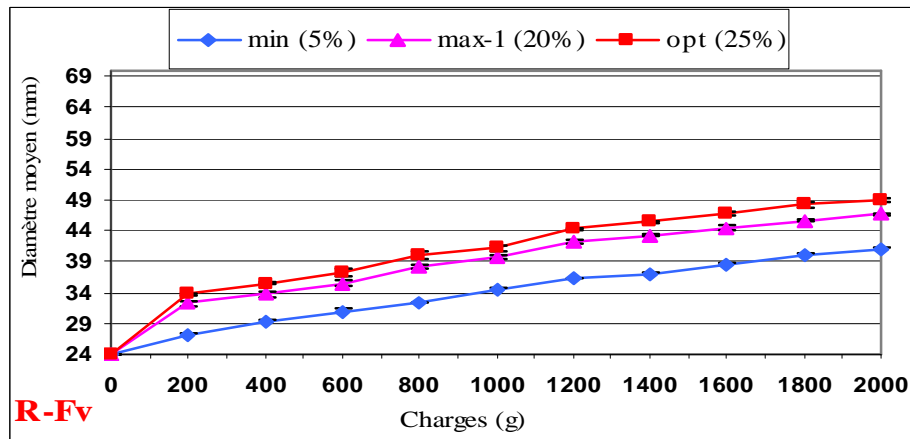
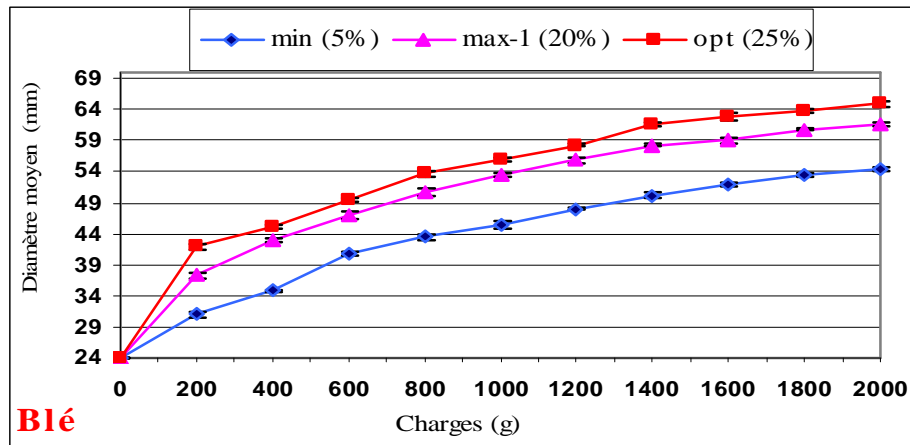


Figure 10 : Effet de la variation du taux de sucre sur l'étalement des différentes pâtes biscuitières (**min**, **max-1** et **opt** : minimum, maximum moins un niveau et optimum de sucre ajouté à 100 g de farine).

A partir des résultats illustrés dans les figures 08, 09 et 10, nous pouvons constater que la variation de la teneur en eau a un effet plus marqué sur la résistance à l'étalement et donc la consistance des pâtes que celle du sucre et de la MG.

Ainsi, dans le cas de la pâte témoin, une réduction de 4 % dans le contenu en eau engendre une réduction de 8 mm dans le diamètre moyen final du pâton. Alors qu'il fallait une réduction de 15 % de sucre et de 10 % de margarine pour arriver à presque le même diamètre moyen du pâton.

La même constatation est faite pour les autres pâtes sans gluten où nous avons noté, dans le cas des formules (R-Fv) et (R-PPr), qu'une réduction de 12 % d'eau a engendré une diminution dans l'étalement du pâton de 10,25 mm et de 9,38 mm respectivement. Tandis qu'une réduction de 15 % de sucre provoque une diminution de l'ordre de 6 mm contre une diminution de 3 mm pour la formule (R-Fv) et de 2 mm pour celle de (R-PPr) suite à un abaissement de 10 % dans le contenu en margarine. Pour la pâte de la formule (R-PC), les mêmes évolutions que celles des autres formules sans gluten ont été enregistrées en variant les taux d'incorporation de ces trois ingrédients, mais avec des valeurs d'étalement un peu plus basses. Cela est dû à un optimum d'hydratation plus faible qui est de 44 % comparativement à 46 % pour la formule (R-Fv) et 50 % pour celle de (R-PPr).

4/ Evaluation biochimique et nutritionnelle de nos meilleures farines-biscuits

4-1/Composition biochimique

La composition en nutriments majeurs de nos meilleures formules biscuitières avec et sans gluten, comparée à celle des farines témoins du commerce est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Composition en nutriments majeurs de nos meilleures formules biscuitières avec et sans gluten comparée à celle des farines témoins du commerce (en % de matière sèche).

Composition (% ms)	Blé	R-Fev	R-PPr	R-PC	Vigor	Blédine
Protéines (%)	7,81	11,18	10,28	9,15	5,2	8,1
Lipides totaux (%)	13,16	13,02	12,97	13,90	1,7	2,6
Glucides totaux (%)	76,42	72,47	73,41	73,88	89,1	83,0

A partir du tableau 13 nous constatons que nos formules de farines-biscuits sans gluten présentent des teneurs en protéines supérieures à celles des farines du commerce (Vigor et Blédine). Cela est le résultat d'une complémentation céréales-légumes secs. Cependant, notre formule de farine-biscuit témoin (Blé) présente une teneur légèrement inférieure à celle de la farine témoin de commerce (blédine). Le contenu en lipides de nos formules de farines-biscuits avec et sans gluten est nettement plus élevé que celui des farines du commerce. Ceci est le

résultat d'un enrichissement en matière grasse de nos formules biscuitières. En conséquent, la proportion des glucides totaux se trouve réduite en faveur de celle des protéines et des lipides totaux comparativement aux farines témoins du commerce.

Par ailleurs, la comparaison avec les normes établies par le Comité Consultatif du Projet d'Appui aux Activités de Nutrition (P.A.A.N.) pour la qualité nutritionnelle des farines infantiles (TCHIBINDAT et TRECHE, 1995), qui fixe une teneur supérieure à 4 % (ms) en lipides et une teneur comprise entre 10 et 16 % (ms) en protéines brutes, permet de constater que celles de nos formules de farines-biscuits sans gluten sont de bon niveau, sauf pour la formule (R-PC) qui présente une teneur en protéines légèrement inférieure (9,15 %), d'où la nécessité d'augmenter la proportion des légumes secs dans les formules de base. Alors que les teneurs en protéines et en lipides des farines du commerce (Vigor et Blédine) sont en deçà.

4-2/ Densité énergétique

La densité énergétique (DE) d'un aliment est la quantité d'énergie métabolisable (exprimée en kcal ou en kJ) apportée par 100 g de partie comestible (DUPIN et coll., 1996).

Les densités énergétiques calculées pour nos meilleures formules biscuitières avec et sans gluten, ainsi que celles des farines témoins du commerce (Vigor et Blédine) déclarées sur l'emballage, exprimées en kcal/100 g de produit, sont présentés sur la figure 11.

Selon la commission du *codex Alimentarius* (FAO/OMS, 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.

A partir de la figure 11, nous constatons que nos formules de farines-biscuits avec et sans gluten présentent des DE supérieures à celles des farines témoins du commerce. Elles sont de l'ordre de 455 kcal/100 g pour notre formule de farine-biscuit témoin (Blé), de 451 kcal/100 g pour celles de (R-Fv) et de (R-PPr) et de 454 kcal/100 g pour la formule (R-PC). Elles représentent 393 kcal/100 g pour la farine Vigor et 388 kcal/100 g pour Blédine. Ainsi, l'ensemble des formules de farines-biscuits et celles du commerce sont considérés de haute densité énergétique (GRET, 1994 ; MOUQUET et coll., 1998 ; TRECHE et coll., 1995a).

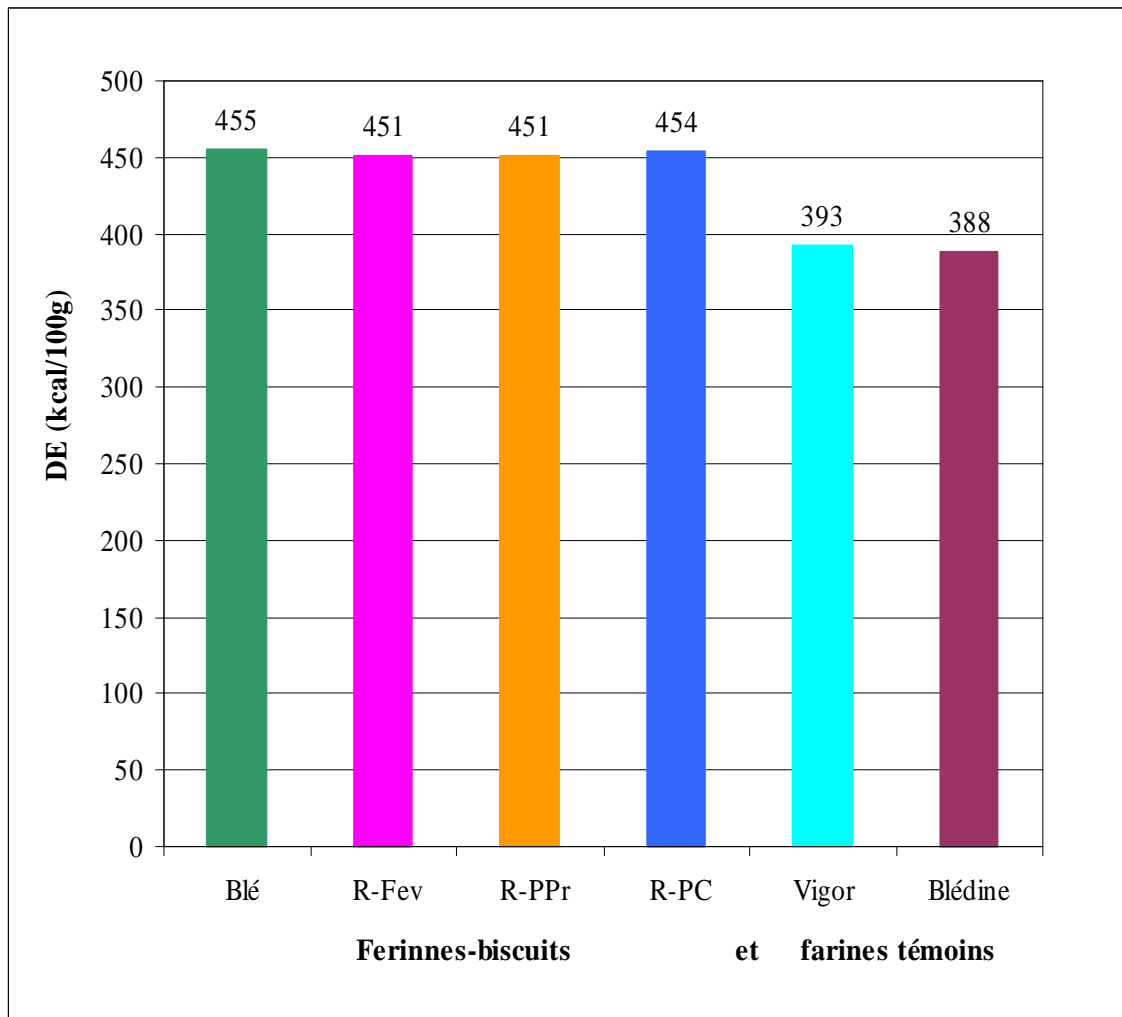


Figure 11 : Densités énergétiques (DE) de nos meilleures formules biscuitières avec et sans gluten et des farines infantiles témoins du commerce (Vigor et Blédine).

4-3/ Densité nutritionnelle

La densité nutritionnelle (DN) en un nutriment donné est la quantité de ce nutriment apportée par 100 kcal de l'aliment (FAVIER et coll., 1995).

La densité nutritionnelle en nutriments majeurs de nos formules de farines-biscuits et celle des farines témoins du commerce (Vigor et Blédine) est présentée sur la figure 12.

Nos formules de farines-biscuits avec et sans gluten présentent une densité lipidique nettement plus élevée que celle des autres farines témoins du commerce. Elle est de 2,9 g/100 kcal pour la formule témoin de fabrication et celles de (R-Fv) et (R-PPr) et de 3,1 g/100 kcal pour la formule (R-PC). Ces valeurs se situent bien dans l'intervalle] 2,1-3,3] g/100 kcal dont le minimum a été cité par (MOUQUET et coll., 1998) pour une composition souhaitable de farines infantiles destinées aux nourrissons de 6 mois à 2 ans et dont le maximum a été fixé pour les aliments transformés à base de céréales destinés aux nourrissons et enfants en bas âge (CONSLEG, 2003 ; FAO/OMS, 2006).

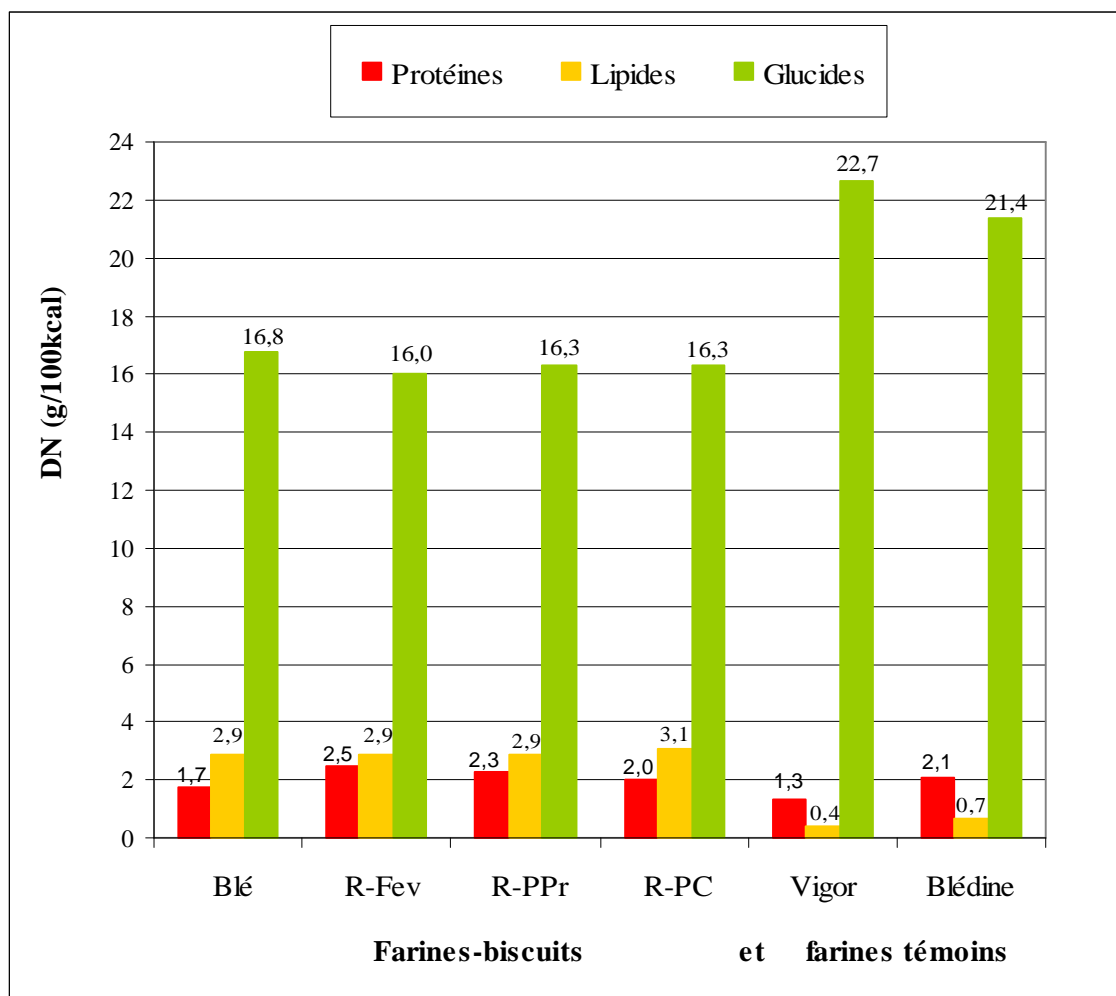


Figure 12 : Densité nutritionnelle (DN) en nutriments majeurs de nos meilleures formules biscuitières et celle des farines témoins du commerce, exprimé en g/100 kcal.

Les densités lipidiques enregistrées pour les autres farines du commerce (Vigor et Blédine) sont en deçà de cet intervalle avec 0,4 g/100kcal pour la farine Vigor et 0,7 g/100kcal pour Blédine.

La densité protéique de nos formules de farines-biscuits sans gluten est nettement plus élevée que celle de la farine sans gluten du commerce (Vigor). Nous avons noté 2,5 g/100 kcal pour la formule (R-Fv) ; 2,3 g/100 kcal pour celle de (R-PPr) et 2,0 g/100 kcal pour la formule (R-PC) contre 1,3 g/100 kcal pour Vigor. Notre formule de farine-biscuit témoin de fabrication (Blé) présente une densité protéique plus basse même à celle de la farine du commerce Blédine et qui sont 1,7 g/100 kcal et 2,1 g/100 kcal, respectivement. Ainsi, une densité protéique inférieure à 5,5 g/100 kcal est recommandée pour ce type de produits (MOUQUET et coll., 1998 ; CONSLEG, 2003 ; FAO/OMS, 2006).

Nos formules de farines-biscuits avec et sans gluten présentent une densité glucidique d'environ 16 g/100 kcal qui est nettement inférieure à celle des farines de commerce représentant 22,7 g/100 kcal pour la farine Vigor et 21,4 g/100 kcal pour Blédine.

5/ Evaluation sensorielle

Les résultats du test d'appréciation sensorielle sont représentés sur la figure 13 pour les biscuits et la figure 14 pour les bouillies.

La farine-biscuit (R-PC) est jugée de couleur plus claire que les autres formules sans gluten après celle de notre témoin (Blé), alors qu'elle est la moins appréciée au niveau de l'odeur et du goût. Cependant elle est classée deuxième après celle de (R-Fv) pour sa friabilité, ce qui pourrait être dû à la nature même du matériau qui est plus riche en lipides.

La farine-biscuit de la formule (R-Fv) est la mieux appréciée au niveau de l'odeur, du goût et de la friabilité par rapport aux autres farines-biscuits sans gluten.

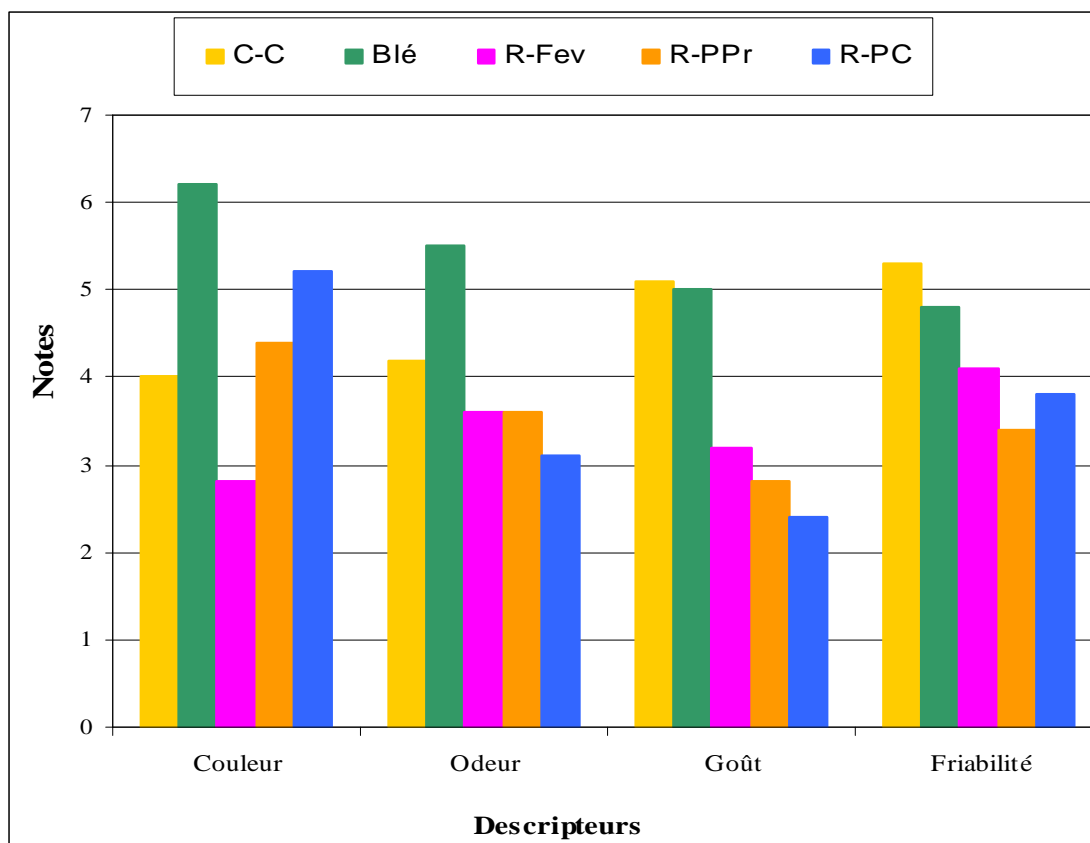


Figure 13 : Notes moyennes données pour la couleur, l'odeur, le goût et la friabilité des farines-biscuits avec et sans gluten et au biscuit témoin du commerce.

Le biscuit témoin "Casse-croute Aurès" du commerce (C-C) a été classé premier au niveau de la friabilité et le goût et en deuxième position au niveau de l'odeur après notre témoin (Blé).

Concernant les bouillies (figure 14), celle du témoin Vigor a été jugée la plus claire suivie par notre bouillie témoin (Blé) puis par celle du témoin de commerce. La bouillie de Blédine était la plus foncée. En outre, nous avons constaté que certaines bouillies (Blé et celles des autres farines-biscuits sans gluten), étaient plus foncées par rapport à celles des biscuits correspondants.

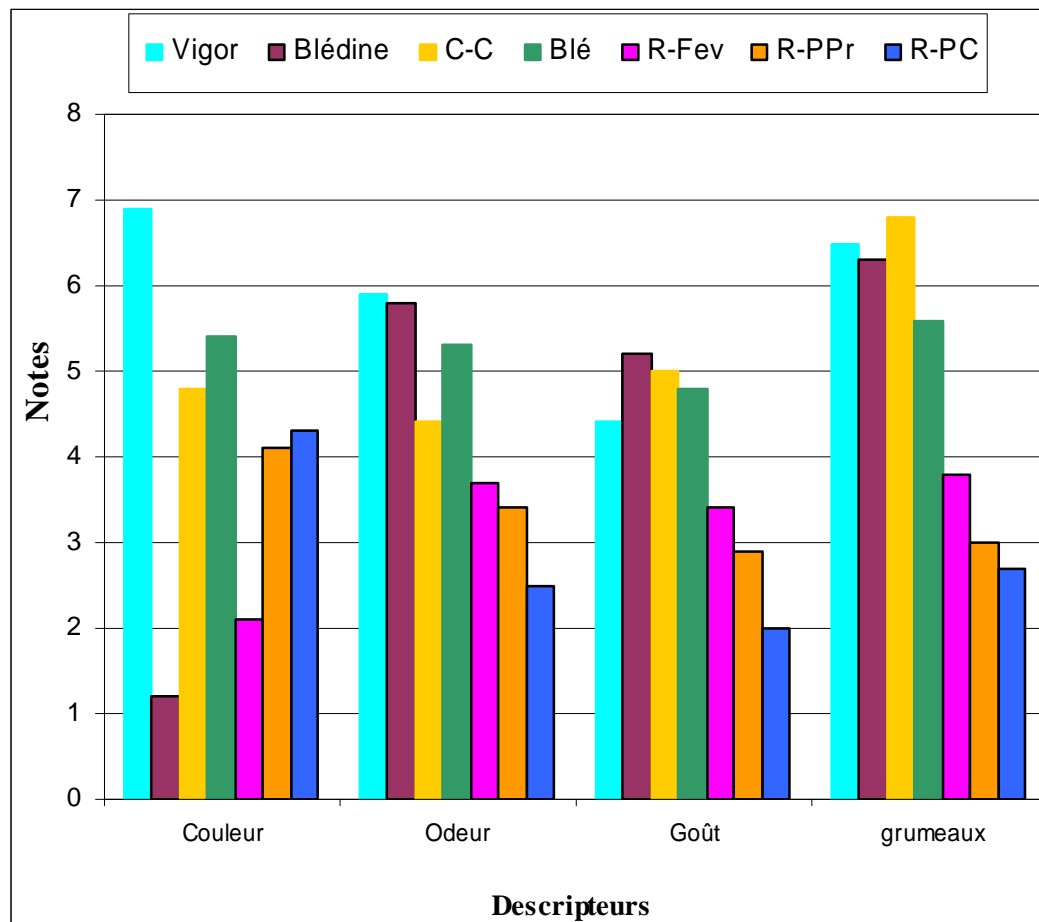


Figure 14 : Notes moyennes données pour la couleur, l'odeur, le goût et l'aspect de l'ensemble des bouillies.

Ainsi, la bouillie préparée à partir du biscuit témoin du commerce (C-C) présentait une couleur nettement plus claire à celle observée à son état sec. Cela pourrait être expliqué par le fait que la surface du biscuit formée par une couche de croûte a une couleur plus foncée que celle du centre et que la bouillie a pris la couleur du centre qui est la plus dominante.

Les autres bouilles ont connu le même comportement des farines correspondantes (matières premières utilisées en tant qu'ingrédient) qui donnent après hydratation des pâtes de couleurs plus foncées.

Pour l'odeur et le goût, les bouillies témoins du commerce Vigor et Blédine ont été les mieux appréciées, avec une préférence de Blédine dans le goût. Les autres bouillies ont gardé le même classement que ceux des biscuits à partir des quels elles ont été préparées. D'autre part, aucune différence significative entre les notes d'appréciation qui leurs étaient attribuées pour la forme biscuit et bouillie n'a été notée, excepté celle de la formule (R-PC) dont l'odeur et le goût très prononcés de pois chiche s'accroissent une fois que la farine-biscuit est délayée donnant une bouillie jugée d'odeur et de goût moins bons, et donc moins appréciée.

L'instantanéité des différentes farines-biscuits fabriquées, du biscuit et des deux farines du commerce a été jugée à travers leur solubilité dans un milieu liquide. Cette solubilité est évaluée par absence de grumeaux dans les bouillies correspondantes. Dans le cas des bouillies préparées à partir de nos farines-biscuits avec et sans gluten et le biscuit témoin du commerce, la présence de grumeaux est due à une désintégration non complète du biscuit. Tandis que, dans le cas des bouillies préparées à partir des farines du commerce, les grumeaux sont formés suite à une agglomération des particules de farines. Ainsi, à partir de la figure 14, nous pouvons constater que la bouillie Vigor représente la note la plus élevée correspondant à l'absence de grumeaux suivie par la bouillie Blédine puis par notre bouillie témoin (Blé).

Pour les bouillies des formules sans gluten, la présence de grumeaux est nettement plus élevée. Ceci pourrait être dû au fait qu'elles n'ont pas subi suffisamment d'imbibition avant agitation. Toutefois, un aspect moins grumeleux a été noté pour la bouillie (R-Fv) que celui des bouillies (R-PC) et (R-PPr). Cela pourrait être lié à la plus ou moins grande friabilité présentée sous sa forme biscuit, qui pourrait s'expliquer par une structure plus aérée reflétée par un volume spécifique plus élevé par rapport au reste des farines-biscuits sans gluten. D'autre part, la légère différence enregistrée dans l'appréciation de la solubilité des deux farines-biscuits (R-PPr) et (R-PC) pourrait être expliquée par la friabilité de cette dernière.

En fin, nous pouvons conclure que le choix du volume spécifique des farines-biscuits comme critère de qualité pour prédire leur instantanéité semble être confirmé à travers l'étude de leur solubilité en milieu liquide.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion

Ce travail a été entrepris dans le but de contribuer à la diversification de l'alimentation d'une population cœliaque algérienne et de tester la faisabilité technologique d'un mélange de farines de riz et de légumes secs dans la fabrication de farines infantiles sans gluten sous forme de biscuit. Trois formules ont été étudiées : riz - féverole, riz - pois protéagineux et riz - pois chiche avec un rapport massique de 2/1 chacune. Cette formulation est envisagée dans l'équipe T.E.P.A. (Transformation et Elaboration de Produits Agroalimentaires) du Laboratoire de Recherche en Nutrition et Technologies Alimentaires (LNTA).

L'étude du comportement rhéologique à travers le test d'étalement des pâtes issues de nos formules avec et sans gluten a montré une réduction dans la résistance à l'étalement et donc de la consistance des pâtes après augmentation des taux d'hydratation, de sucre et de matière grasse (MG). En outre, la variation de la teneur en eau a un effet plus marqué sur la résistance à l'étalement des pâtes que celle du sucre et de la MG. Par ailleurs, nous avons constaté que quelque soit le niveau d'hydratation, de sucre et de MG, la pâte à base de farine de blé tendre s'étale plus que celles des autres pâtes à base de riz-légumes secs.

La qualité de nos farines-biscuits a été jugée à travers leurs volumes spécifiques (V_{sp}) comparées à celle du biscuit témoin de commerce "Casse-croute Aurès" et celle du même type de biscuit (goûter) utilisé dans le test biscuitier du Centre Technique des Utilisateurs des Céréales (C.T.U.C.). Nos pâtes biscuitières sans gluten ont donné des farines-biscuits de faible volume spécifique qui est de $2,18 \text{ cm}^3/\text{g}$ pour la farine-biscuit (R-Fv) ; de $2,01 \text{ cm}^3/\text{g}$ et $1,95 \text{ cm}^3/\text{g}$ pour celles de (R-PPr) et (R-PC) respectivement, contre un V_{sp} de $3,27 \text{ g}/\text{cm}^3$ pour la farine-biscuit témoin de fabrication, de $3,60 \text{ g}/\text{cm}^3$ pour le biscuit "Casse-croute Aurès" du commerce et de $3,33 \text{ g}/\text{cm}^3$ pour le biscuit standard du C.T.U.C. adopté pour l'appréciation de la qualité des blés biscuitiers français (ONIC / ARVALIS – Institut du végétal, 2005).

Les cinétiques de réhydratation ont montré que les farines-biscuits sans gluten avaient une capacité de réhydratation nettement plus faible que celle de notre farine-biscuit témoin et du biscuit témoin de commerce. Ce dernier atteint plus rapidement un taux max d'absorption de 176,40 % en 20 sec, contre les maxima atteints pour les formules sans gluten en un temps trois fois plus long (60 sec) et qui sont de 142,56 % pour la formule (R-Fv), de 136,30 % pour celle de (R-PPr) et de 132,50 % pour la formule (R-PC). Ce comportement à l'hydratation serait proportionnellement 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.

L'instantanéité ou l'aptitude des farines-biscuits à se dissocier dans un milieu liquide est évaluée par analyse sensorielle à travers la présence ou l'absence de grumeaux lors de la préparation des bouillies. Les résultats ont montré que la présence de grumeaux est significativement plus élevée pour les bouillies sans gluten comparativement aux bouillies témoins du commerce. Toute fois, un aspect moins grumeleux a été noté pour la bouillie (R-Fv) que pour les bouillies (R-PC) et (R-PPr). Ce qui pourrait s'expliquer par la plus ou moins grande friabilité qu'elle présente sous sa forme biscuit, et à son volume spécifique relativement plus élevé. D'autre part, une légère différence était enregistrée dans l'appréciation de la solubilité des deux farines-biscuits (R-PPr) et (R-PC).

La qualité organoleptique de nos farines-biscuits sans gluten a été évaluée par analyse sensorielle, comparée à celle du biscuit de commerce. En effet, c'est la farine-biscuit (R-Fv) qui a été la mieux appréciée au niveau de l'odeur et du goût et est jugée la plus friable par rapport aux autres farines-biscuits sans gluten, mais de couleur plus sombre même à celle du biscuit témoin. Par ailleurs, c'est la farine-biscuit (R-PC) qui a été jugée avoir l'odeur et le goût les moins bons, et la couleur la plus claire même à celle du biscuit témoin. Elle est cependant, plus friable que la farine-biscuit (R-PPr). En comparaison avec le biscuit témoin du commerce, nos farines-biscuits sans gluten sont de qualité nettement inférieure notamment au niveau du goût et de la friabilité.

L'analyse sensorielle de nos bouillies sans gluten a montré que ces dernières ont pris des couleurs plus foncées qu'aux celles observées à leur état sec. Tandis que la bouillie préparée à partir du biscuit témoin du commerce a présenté une couleur nettement plus claire à celle du biscuit correspondant. Parmi les bouillies sans gluten, c'est celle de la formule (R-PC) qui a été la moins appréciée, en raison du goût et de l'odeur accentuée du pois chiche qui devient de plus en plus prononcée sous sa forme délayée.

Sur le plan nutritionnel, nos formules biscuitières sans gluten présentaient une densité énergétique (R-Fv et R-PPr : 451 kcal/100 g et R-PC ; 454 kcal/100 g) plus élevée que celles des farines témoins du commerce (Vigor : 393 kcal/100 g et Blédine : 388 kcal/100 g).

La densité nutritionnelle en nutriments majeurs de nos formules biscuitières sans gluten se conforme aux recommandations pour ce type d'aliments, en représentant une densité lipidique de 2,9 g/100 kcal pour les formules (R-Fv) et (R-PPr) et de 3,1 g/100 kcal pour la formule (R-PC). Alors que celles des autres farines avec et sans gluten du commerce en sont en deçà, en représentant 0,4 g/100kcal pour la farine Vigor et 0,7 g/100kcal pour Blédine. La densité protéique de nos farines-biscuits sans gluten est relativement élevée que celle de la farine sans gluten de commerce. Elle est de 2,5 g/100 kcal pour la formule (R-Fv) de 2,3 g/100 kcal pour celle de (R-PPr) et de 2,0 g/100 kcal pour la formule (R-PC), contre 1,3 g/100 kcal pour la farine

Vigor. La densité glucidique est relativement plus élevée pour les farines du commerce et ce, au détriment de leurs densités protéiques et lipidiques.

Enfin, nos résultats montrent bien la faisabilité technologique des farines-biscuits sans gluten tout en restant de qualité inférieure à celle de la farine de blé tendre pour la fabrication de ce type de produits. Néanmoins, il est nécessaire de signaler que parmi ces formules sans gluten, c'est la farine de (R-Fv) qui a présenté les meilleures réponses, en raison probablement de sa teneur relativement plus élevée en protéines.

L'ensemble des résultats auxquels a abouti notre étude constitue une première approche de la faisabilité de substitution de la farine de blé tendre par des farines ne contenant pas de gluten. Il serait intéressant de poursuivre les points suivants :

- Etude de la faisabilité avec d'autres rapports riz/légumes secs afin d'améliorer leur aptitude technologique ;
- Utilisation d'améliorants tel que l'Hydroxypropyl méthyl cellulose (HPMC) contribuant à l'amélioration de la rétention gazeuse au cours de la cuisson et par conséquent à celle des volumes spécifique des farines-biscuits et donc de leur qualité ;
- Recherche et/ou mise au point de test d'appréciation des qualités rhéologiques des pâtes et des produits finis.

**LISTE DES REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Liste des références bibliographiques

-AFNOR (1991)

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

-AFNOR (1995)

Recueil de normes- contrôle de la qualité des produits alimentaires : Analyse sensorielle. AFNOR 5^{ème} édition. Paris. 400 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 de Doctorat. Institut National Agronomique, Paris – Grignon. 207 p.

-ALARY R., LAIGNELET B. (1998)

Traitement du riz In GODON B., WILLM C. Les industries de première transformation des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Api. Paris. 679 p.

ANCELLIN R. et DUMAS C. (2004)

La santé vient en mangeant et en bougeant. Livret d'accompagnement du "Guide nutrition des enfants et ados pour tous les parents" destiné aux professionnels de santé. Programme National Nutrition-Santé. Afssa. 151 p.

-ANCELLIN R., BERTA J. L, DUBUISSON C., La VIEILLE S. et MARTIN A. (2004)

Allergies alimentaires : Connaissances, clinique et prévention. afssa. Paris. 65 p.

-ASSIFAOU A., CHAMPION D., CHIOTELLI E. and VEREL A. (2006)

Characterization of water mobility in biscuit dough using a low-field H NMR technique. Carbohydrate Polymers. 64 : 197-204.

-AUDIGIE C., FIGARELLA J., ZONZAIN F. (1984)

Manipulation d'analyses biochimiques. Doin. 1^{ère} édition. Paris. 274 p.

-BALLA A., BLECKER C., OUMAROU M., PAQUOT M. et DEROANNE C. (1999)

Mise au point de pains composites à base de mélanges de farines de sorgho-blé et analyse texturale. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 3, 2 : 69-77.

BARTOLUCCI J. C. (1997)

Comportement rhéologique des pâtes et qualité des farines de blés tendres Français en panification et en biscuiterie. Thèse de doctorat. Ecole nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires, Massy, France. 300 p.

-BENATALLAH, L. ; ZIDOUNE, M. N. et AGLI, A. (2004)

La maladie cœliaque : cas recensés de 1998 à 2003 et diététique associée a 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.

-BERRAH M., BENHASSINE F., CHAOUI N. (2000).

Actualités sur la maladie coéliqua de l'enfant. Société algérienne de pédiatrie. Table ronde, 9 nov. Alger : 45 p.

-BICHON SAFRANE L. (1991)

Place légumes secs dans l'alimentation et l'équilibre nutritionnel des français aujourd'hui. LET. SC. FFN. 10 : 305-312.

-BOUDRAA G. et TOUHAMI M. (1997)

La maladie coéliqua de l'enfant au Maghreb. Médecine et Nutrition. Nutrition clinique, 1.

-BOUDRAA G. Bessahraoui M., Bouziane Nedjadi K., Niar S., Naceur M., Bouchetara A., Benmansour A., Touhami M. (2008)

Epidémiologie Evolution de l'incidence de la maladie coéliqua chez l'enfant de l'ouest algérien (1975-2007). Archives de pédiatrie. 15, 5 : 949.

-BOUMGBAR M. Y. (2000).

Le marché des légumineuses en Algérie. Agroligne. 7 : 8-10.

-BOYELDIEU J. (1991).

Produire des grains oléagineux et protéagineux. Lavoisier. Tec et Doc. Paris. 234 p.

-BRANLARD G. et LOISEL W. (1997)

Tests de laboratoires. In, **GODON B. et LOISEL W.** Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris. 819 p.

-BROOKER B. R. (1993)

The stabilization of air in cake batters - the role of fat. Food structure. 12: 285-296.

-BROYART, B., TRYSTRAM, G. (2002)

Modeling heat and mass transfer during the continuous baking of biscuits. Journal of Food Engineering. 51 : 47-57.

-BRUYERON O. (1998)

Les farines infantiles : quelle technologie retenir? Bulletin du réseau TPA. 15 : 16-22. 47 p.

-BRUYERON O. et TRECHE S (1998)

Les farines infantiles : Mettre au point son produit. Bulletin du réseau TPA. 15 : 12-15. 47 p.

-BULEON A., COLONNA P. LELOUP V. (1990)

Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. IAA Juin : 515-532.

-BURE J. (1980)

La chimie du blé. La pâte de farine de froment. SEPIA Paris. 147 p.

-CALET C. (1992)

Les légumes secs, Apport protidique. Cah. Nut. Diét. 2 : 99-108.

-CEGARRA M. (2006)

Le régime sans gluten : difficultés du suivi. Archives de pédiatrie, 13 : 576-578.

-CHAMP M. FAISANT N. (1992)

Technologies et qualités nutritionnelles des amidons. Les Cahiers de l'ENS.BANA. 8 : 1-23.

-CHEFTEL J. C. CHEFTEL H. (1984).

Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Vol. 1. Lavoisier Tec et Doc. Paris. 381 p.

-CHEFTEL J. C., CUQ J. L, LORIENT D. (1985)

Protéines alimentaires : Biochimie, propriétés fonctionnelles, valeur nutritionnelle, modifications chimiques. Lavoisier Tec et Doc. Paris. 309 p.

-CHEVALLIER S., COLONNA P., BULEON A. and DELLA VALLE G. (2000)

Physicochemical behaviors of sugars, lipids and gluten in short dough and biscuit. J. Agric. Food Chem. 48: 1322-1326.

-CHEVALLIER S., COLONNA P., DELLA VALLE G. and LOURDIN D. (1999)

Structural modifications of biscuit doughs during baking-Role of ingrédients. INRA. Paris. Les Colloques 91 : 191-197.

-CHEVALLIER S., DELLA VALLE G., COLONNA P., BROYART B. and TRYSTRAM G. (2002)

Structural and Chemical Modifications of Short Dough During Baking. Journal of Cereal Science. 35 : 1-10.

-CHOUAKI S. (2006)

Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques INRAA. 92 p.

-CICLITIRA P. J. and MOODIE S. J. (2003)

Celiac disease. Best Practice & Research Clinical Gastroenterology. 17,2 : 181-195.

-COFFIN (2001)

Maladie coeliaque et régime sans gluten. La lettre de l'institut Danone. Objectif Nutrition. 58 : 3-31.

-COLAS A. (1998)

Définition de la qualité des farines pour les différentes utilisations. In, **GODON B., WILLM C.** Les industries de première transformation des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris : 579-589. 679 p.

-COLAS A. et THARRAULT J. F. (1997)

Granulométrie des particules. In, **GODON B. et LOISEL W.** Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris : 42-49. 819 p.

-CONSLEG (2003)

Directive 93/5/CE de la commission du 16 février 1996 concernant les préparations à base de céréales et les aliments pour bébés destinés aux nourrissons et enfants en bas âge (texte

présentant de l'intérêt pour l'EEE). Office des publications officielles des communautés européennes. CONSLEG : 1996L0005-06/03/2003. 18 p.

-CORPEN. (1999)

Fertilisation azotée de trois légumineuses : le haricot, la luzerne et le pois protéagineux. CORPEN. Paris. 49 p.

-COURPOTIN C. FERRE P., GIRARDET J. P. et LE BARS M. A. (1991)

Alimentation de l'enfant malade. Lavoisier. Tec et Doc. Paris. 222 p.

-CUQ J. L. ET LEYNAUD-ROUAUD C. (1992)

Les graines de légumineuse. *In*, DUPIN H., CUQ J. L., MALEWIAK M. I., LEYNAUD-ROUAUD C. Alimentation et nutrition humaine. ESF. Paris : 941-961. 1533 p.

-DENERY-PAPINI S., POPINEAU Y., GUEGUEN J. (2001)

Implication des protéines des céréales dans la maladie cœliaque. Cah. Nut. Diét. 36,1 : 43-51.

-DUBUISSON C., LA VIEILLE S., MARTIN A. (2002)

Allergies alimentaires : Etat des lieux et propositions d'orientations. afssa. Paris. 104 p.

-DUPIN H., LAURET B., LUCETTE B. et BAUDIER F. (1996)

Aliments, alimentation et santé, questions réponses. Groupe de recherche en éducation nutritionnelle (GREEN). Lavoisier. Tec et Doc. Paris. 440 p.

-DUPONT C. (2005)

La diversification alimentaire, Cah. Nutr. Diét. 40, 5: 250-253.

-ELIASSON A. C. and SILVERIO J. (1997)

Fat in baking. *In*, FRIBERG S. E., and LARSSON K. Food emulsions (3rd ed.). New York: Marcel Dekker.

-FAO (1982)

Les graines de légumineuses dans l'alimentation humaine. FAO. Alimentation et nutrition 20. Rome.152 p.

-FAO (1990)

Utilisation des aliments tropicaux : Légumineuses tropicales. FAO. Alimentation et Nutrition. 47/4. Rome.76 p.

-FAO (1990)

Utilisation des aliments tropicaux : Céréales. FAO. Alimentation et Nutrition. 47/1. Rome. 120 p.

-FAO (1996)

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

-FAO (2001)

Légumineuses. FAO/SMIAR. Perspectives de l'alimentation N°4. 15 p.

-FAO/OMS (2006)

Codex Alimentarius : programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Rapport de la vingt-septième session du comité du codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime. FAO/OMS. ALINORM 06/29/26. 105 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.

-FAVIER J.C. (1989)

Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations. Céréales en régions chaudes. AUPELF-URELF. Édition. John Libbey Eurotext. Paris : 285-297.

-FEILLET P. (2000)

Le grains de blé, composition et utilisation. INRA. Paris. 308p.

-FUSTIER P., CASTAIGNE F., TURGEONB S.L. and BILIADERIS C.G. (2007)

Semi-sweet biscuit making potential of soft wheat flour paten middle-cut and clear mill streams made with native and reconstituted flours. Journal of Cereal Science. 46: 119-131.

-GALLAGHER E., O'BRIEN C. M., SCANNELL A. G. M and ARENDT E. K. (2003)

Evaluation of sugar replacers in short dough biscuit production. Journal of Food Engineering. 56: 261-263.

-GALLAGHER E., GORMLEY T. R. and ARENDT E. K. (2004)

Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. Food Science & Technology 15: 143-152.

-GIVEN P. S. (1994)

Influence of fat and oil–physicochemical properties on cookie and cracker manufacture. *In*, FARIDI H. The science of cookie and cracker production. New York: Chaman & Hall.

-GOESAERT H., BRIJS K., VERAVERBEKE W. S., COURTIN C. M., GEBRUERS K. AND DELCOUR J. A. (2005)

Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. Food Science and Technology. 16 : 12-30.

-GORDON M. M. (2002)

Les légumineuses au Moyen-Orient et en Afrique du Nord. Le Bulletin bimensuel, 22 mars 2002, 15, 5. Agriculture et Agro-alimentaire Canada. 4 p.

-GREINER T. (1996)

The concept of weaning : definitions and their implications. JHL 12, 2: 123-28.

-GRET. (1994)

La Production Artisanale de Farines Infantiles. Expériences et Procédés. GRET. 80 p.

-GUANDALINI S. et GUPTA P. (2002)

Celiac disease-A diagnostic challenge with many facets. *Clinical and Applied Immunology Reviews*. 2 : 293-305.

-GUENGUEN J. ET LEMARIE J. (1996)

Composition, structure, et propriétés physicochimiques de légumineuses et d'oléagineux. *In*, **GODON B.** Les protéines végétales. Lavoisier Tec et Doc. Paris: 80-110. 666 p.

-GRANDVOINET P. et PRATX B. (1994)

Farines et mixes. *In*, **GUINET R. ET GODON B.** La panification française. Lavoisier Tec et Doc. Paris : 100-131.

-IGREJAS G., GUEDES-PINTO H., CARNIDE V., CLEMENT J. and BRANLARD G. (2002b)

Genetical, Biochemical and Technological Parameters Associated with Biscuit Quality. II. Prediction Using Storage Proteins and Quality Characteristics in a Soft Wheat Population. *Journal of Cereal Science*. 36: 187-197.

-IGREJAS G., MARTINANT J. P., BOUGUENNE A., VILLAIN A. C., SAULNIER L., POPINEAU Y. and GERARD BRANLARD G. (2002a)

Genetical, Biochemical and Technological Parameters Associated with Biscuit Quality. I. Prediction Using Grain Hardness and Water Extractable Arabinoxylans. *Journal of Cereal Science*. 36 : 115-124.

-JULIANO B. O. (1994)

Le riz dans la nutrition humaine. FAO. Alimentation et nutrition 26. Rome. 184 p.

-KAISER V. A. (1974)

Modeling and simulation of a multi-zone band oven. *Food Technology*. 28. 50 : 52-53.

-KARALI R. (2000)

Les légumineuses alimentaires en Algérie : état actuel et perspectives de développement. *Agroligne*, 7 : p 15.

-KIGER J. L., KIGER J. G. (1967)

Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie-boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. Dunod. Tome 1. Paris. 696 p.

-KIM C. S. and WALKER C. E. (1992)

Interactions between starches, sugars and emulsifiers in high-ratio cake model systems. *Cereal Chemistry*. 69, 2: 206-212.

-KOCER D., HICSASMAZ Z, BAYINDIRLI A., KATNAS S. (2007)

Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar-and fat-replacer. *Journal of Food Engineering*. 78 : 953-964.

-LAIGNELET B. (1997)

Appréciation de la qualité technologique du riz. *In*, **GODON B., LOISEL W.** Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris : 728-743. 819 p.

-LAIGNELET B. (1998)

Le riz. In **GODON B., WILLM C.** Les industries de première transformation des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris : 75-83. 679 p.

-LAMBERT-LAGACE L. (1999)

Comment nourrir son enfant. Du lait maternel au repas complet. Les Editions de l'Homme. Québec. 295 p.

-LAPAILLE J. P. (1999)

L'alimentation du nourrisson. J. PHARM. BELG. 54, 4 : 1-32.

-LAUNAY B. et BARTOLUCCI J. C. (1997)

Comportement rhéologique des pâtes et des produits finis : les pâtes de farine de blé. In, **GODON B. et LOISEL W.** Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris : 122-174. 819 p.

-LAUNAY B., BURE J. (1974)

Etude de certaines propriétés rhéologiques des pâtes de farine, influence de la durée du pétrissage sur ces propriétés. Dechema Monographien. 77: 137-152.

-LAUREYS C., GEEROMS J. (2002)

New insights in the unique characteristics of rice derivatives. Remy Industries N. V. Wijgmaal. 21 p.

-LOKOMBÉ LÉKÉ A. et MULLIÉ C. (2004)

Nutrition du nourrisson et diversification alimentaire. Cah. Nutr. Diét. 39, 5 : 349-360.

-LORIENT D., COLAS B. et LEMSTE M. (1988)

Propriétés fonctionnelles des macromolécules alimentaires. Les cahiers de l'EMS. BMNA. Paris. 6. 268 p.

-MAACHE-REZZOUG Z., BOUVIER J. M., ALLEF K. and PATRASC. (1998 a)

Effect of Principal Ingredients on Rheological Behavior of Biscuit Dough and on Quality of Biscuits. Journal of Food Engineering. 35: 23-42.

-MAACHE-REZZOUG Z., ALLAF K., BOUVIER J. M. et TAYEB J. (1998 c)

Relation entre caractéristiques physiques et propriétés rhéologiques de la farine et de la pâte. Sciences des aliments. 18 : 267-281.

-MAACHE-REZZOUG Z., BOUVIER J. M., PATRAS C. and ALLAF K. (1998 b)

Study of mixing in Connection with the Rheological Properties of Biscuit Dough and Dimensional Characteristics of Biscuits. Journal of Food Engineering. 35: 43-56.

-MANLEY D. (1998)

Biscuits, cookies and crackers manufacturing manuals. CRC, 2000. Woodhead publishing limited, Cambridge: 15-20.

-MANOHARR. S. and RAO P. H. (1997)

Effect of Sugars on the Rheological Characteristics of Biscuit Dough and Quality of Biscuits. *J. Sci. Food Agric.* 75: 383-390.

-MANOHARR. S. and RAO P. H. (1999a)

Effects of water on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. Springer-Verlag. *Eur. Food Res. Technol.* 209. 281–285.

-MANOHARR. S. and RAO P. H. (1999b)

Effect of emulsifiers, fat level and type on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. *J. Sci. Food Agric.* 79: 1223-1231.

-MANOHARR. S. and RAO P. H. (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.

-MASSAUX C., BODSON B., LENARTZ J., SINDIC M., SINNAEVE G., DARDENNE P., FALISSE A. DEROANNE C. (2006).

L'amidon natif du grain de blé : un composé naturel à valoriser par la connaissance de ces propriétés techno-fonctionnelles. Livre blanc «céréales». FUSA et CRA-W Gembloux. 7 p.

-MATHLOUTHI M. C. et ROGE B. (s.d.)

Les produits de biscuiterie - pâtisserie. Dossier CDUS. Université de Reims. [en ligne] (consulté le 13-03-2006). 5 p.

-MENARD G., EMOND S., SEGIN R., BOLDUC R, BOUDREAU A., MARCOUS D PAINCHAUD M. et POIRIER D. (1992)

La biscuiterie industrielle. *In*, BOUDREAU A., MENARD G. (1992). Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. Sainte-Foy. Canada : 287-348. 439 p.

-MOHTADJI-LAMBALLAIS C. (1989)

Les aliments. Editions Maloine. Paris. 203 p.

-MOUQUET C., BRYERON O. et TRECHE S. (1998)

Caractéristiques d'une bonne farine infantile. *Bulletin du réseau TPA.* 15 : 8-11. 47 p.

-NDZONZI-BOKOUANGO G., BAU H. M., GIANNANGELI F., DEBRY G. (1989)

Effet de la germination sur la composition chimique et la valeur nutritive des graines de féverole. *Sciences des aliments.* 9, 4 : 785-797.

-ONIC / ARVALIS – Institut du végétal (2005)

Qualité des blés biscuitiers français: récolte 2005. [En ligne] (consulté le 13-03-2006). 4 p.

-PEDERSEN L., KAACK K., BERGSOE M. N. and ADLER-NISSEN J. (2004)

Rheological properties of biscuit dough from different cultivars, and relationship to baking characteristic. *Journal of Cereal Science*. 39: 37-46.

-PLANCQAERT Ph. et WERY J. (1991)

Le pois chiche : Culture–Utilisation, Publications sur les protéagineux. ITCF. Paris. 12 p.

-PLUVINAGE J. (1990)

Chickpea in the Mediterranean production systems: two contrasting examples of possible developments in Algeria and France. *Options Méditerranéennes. Série Séminaires*. 9 : 133-136.

-ROMAN-GUTIERREZ A. D., GUILBERT S. AND CUQ B. (2002)

Distribution of Water between Wheat Flour Components: A Dynamic Water Vapour Adsorption Study. *Journal of Cereal Science*. 36: 347-355.

-SAVOYE I., TRYSTRAM G., DUQUENOY A., BRUNET P., MARCHIN F. (1992)

Heat and Mass Transfer Dynamic Modeling of an Indirect Biscuit Baking Tunnel-Oven. Part I: Modeling Principles. *Journal of Food Engineering*. 1: 173-196.

-SCHMITZ J. (2007)

Le régime sans gluten chez l'enfant. *Journal de pédiatrie et de puériculture*. 20 : 337-344.

-SCHMITZ J., CELLIER C. (2002)

La maladie cœliaque. Xe symposium international sur la maladie cœliaque. Paris 3-5 juin 2002. A.F.D.I.A.G. 4 p.

-SELSELET-ATTOU G (1991)

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

-SINGH N., KAUR L, SANDHU K. S.,KAUR J., NISHINARI K. (2006)

Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. *Food Hydrocolloids*. 20: 532-542.

-SOUCI S. W., FACHMANN W., KRAUT H. (1994)

La composition des aliments: Tableaux des valeurs nutritives. Medpharm Scientific publishers. 5ème édition. Stuttgart. Germany. 1091 p.

-STAUFFER C. E. (1998).

Fats and oils in bakery products. *Cereal Foods World*. 43,3 : 120-126.

-SUDHA M. L., SRIVASTAVA A.K., VETRIMANI R. and LEELAVATHI K (2007)

Fat replacement in soft dough biscuits: Its implications on dough rheology and biscuit quality. *Journal of Food Engineering*. 80 : 922–930

-TCHIBINDAT F. et TRECHE S. (1995)

Vitafort : Une farine infantile de haute densité énergétique au Congo. *In, TRECHE S., DE BENOIT B., BENBOUZID D. et DELPEUCH F. L'alimentation de complément du jeune enfant*. ORSTOM. Paris : 177-188. 392 p.

-THARRAULT J. F. (1997)

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

-THORVALDSSON K. AND JANESTAD H. (1999)

A model for simultaneous heat, water and vapour diffusion, *Journal of Food Engineering*. 40 : 167-172.

-TRAORE T., ZAGRE N. M., TRAORE A. S. et TRECHE S. (2003)

Effet de la consommation de bouillies fortifiées de haute densité énergétique sur les ingérés, la croissance et les statuts en fer et en vitamine A d'enfants de 6 à 10 mois en zones rurales sahéliennes. 2^{ème} Atelier international. Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles. Ouagadougou. 23-28 / 11 / 2003.

-TRECHE S. (1995a)

Techniques pour augmenter la densité énergétique des bouillies. *In*, TRECHE S., DE BENOIT B., BENBOUZID D., DELPEUCH F. L'alimentation de complément du jeune enfant. ORSTOM éditions. Paris : 123-146. 392 p.

-TRECHE S. (1995b)

Analyse des expériences de production de farines infantiles en Afrique. *In*, TRECHE S., DE BENOIT B., BENBOUZID D., DELPEUCH F. L'alimentation de complément du jeune enfant. ORSTOM éditions. Paris: 25-235. 392 p.

-TURHAN M. and OZILGEN M. (1991)

Effect of Oven Temperature Variations on The Drying Behaviour of Thin Biscuits, *Acta Alimentaria*. 20(3-4) : 197-203.

-VERMEIL G., DARTOIS A. M. et FRAYSSEIX M. (1991)

Les nourrissons et les jeunes enfants. *In*, DUPIN H., CUQ J. L., MALEWIAK M. I., LEYNAUD-ROUAUD C. et BERTHIER A. M. Alimentation et nutrition humaine. ESF. Paris : 45-477. 1533 p.