

Optimisation de l'utilisation du taro (Colocasia esculenta) variété lamba en panification par l'usage de la gomme Grewia mollis. Juss (Famille Tiliaceae)

Emmanuel Panyoo Akdowa

▶ **To cite this version:**

Emmanuel Panyoo Akdowa. Optimisation de l'utilisation du taro (Colocasia esculenta) variété lamba en panification par l'usage de la gomme Grewia mollis. Juss (Famille Tiliaceae). Alimentation et Nutrition. Université de Lorraine, 2014. Français. NNT : 2014LORR0303 . tel-01751450

HAL Id: tel-01751450
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01751450

Submitted on 29 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITE DE LORRAINE

Ecole Nationale Superieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires

Ecole Doctorale Ressources, Procedes, Produits, Environnement

Laboratoire d'Ingenierie des Biomolecules

UNIVERSITE DE NGAOUNDERE

Ecole Nationale Superieure des Sciences Agro-Industrielles

Formation Doctorale Sciences Alimentaires/Nutrition

Laboratoire de Biophysique, Biochimie Alimentaire et Nutrition

THESE EN CO-TUTELLE

Présentée devant l'Université de Lorraine et l'Université de Ngaoundéré
Pour obtenir les grades de
Docteur de l'Université de Lorraine et Docteur/Ph.D. de l'Université de Ngaoundéré

Spécialité : Procédés Biotechnologiques et Alimentaires / Sciences Alimentaires et Nutrition

Par
Emmanuel PANYOO AKDOWA

Optimisation de l'utilisation du taro (*Colocasia esculenta*) variété *lamba* en panification par l'usage de la gomme *Grewia mollis. Juss (Famille Tiliaceae)*.

Soutenue publiquement devant la commission d'examen le 16 septembre 2014

Jury :

President	
ETOA François-Xavier	Professeur, Université de Yaoundé I
Rapporteurs	
MONTET Didier	Directeur de recherche, CIRAD Montpellier
Examinateurs	
SCHER Joël	Professeur, Université de Lorraine (Directeur de thèse)
MBOFUNG C. M. F.	Professeur, Université de Ngaoundéré (Directeur de thèse)
Invités	
GAIANI Claire	Maître de Conférences, Université de Lorraine
NJINTANG Y. N.	Maître de Conférences, Université de Ngaoundéré

PAGE DE SIGNATURES

Nous acceptons que la thèse intitulée: **Optimisation de l'utilisation du taro (*Colocasia esculenta*) variété *lamba* en panification par l'usage de la gomme *Grewia mollis*. Juss (Famille Tiliaceae).** Soit soutenue publiquement par Monsieur **PANYOO AKDOWA Emmanuel** à l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-industrielles (ENSAI) pour l'obtention du grade de Docteur/PhD en Sciences Alimentaires et Nutrition de l'Université de Ngaoundéré et de Docteur en Procédés Biotechnologiques et Alimentaires de l'Université de Lorraine.

Le Responsable de l'Unité de Formation Doctorale

Le Chef de Département de Sciences Alimentaires et Nutrition

Le Directeur de l'ENSAI

CERTIFICATION

Nous certifions que les résultats enregistrés dans la présente thèse résultent des travaux de recherche menés par Monsieur **PANYOO AKDOWA Emmanuel** sous notre direction au sein du Laboratoire de Biophysique, Biochimie Alimentaire et Nutrition (LABBAN) de l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles (ENSAI) de l'Université de Ngaoundéré au Cameroun et du Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules (LIBio) de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires (ENSAIA) de l'Université de Lorraine en France.

Directeurs

Carl Moses F. MBOFUNG	Joël SCHER	Nicolas Njintang Yanou
Professeur Université de Ngaoundéré	Professeur Université de Lorraine	Maître de conférences Université de Ngaoundéré

LISTE DES PUBLICATIONS ET DE CONFERENCES.

Panyoo E.A, Gaiani C., Njintang Y.N., Scher J. & Mbofung C.M.F. (2012). La farine de taro (*colocasia esculenta l*) variete *lamba*- un nouvel ingredient pour la boulangerie-proprietes physicochimiques et rheologiques. *Séminaire RP2E*, 19 janvier 2012, Nancy, France.

E. Panyoo Akdowa, Nicolas Y. Njintang, Claire Gaiani, Joel Scher and Carl MF Mbofung (2013). Production de pain à base d'une farine composée de blé-taro au Cameroun : Etude technique et économique. 1ere Conférence internationale. « Recherche Africaine sur l'Alimentation et la Nutrition » Institut National Polytechnique d'Houphouiet Boiny de Yamoussoukro, Cote d'ivoire, 4-6 juin 2013. Communication orale.

E. Panyoo Akdowa, Nicolas Y. Njintang, Rasa Hussain, Claire Gaiani, Joel Scher and Carl MF Mbofung (2013). Physicochemical and rheological properties of taro (*Colocasia esculenta*) flour affected by cormels weight and method of peeling. *Food Bioprocess Technol*. DOI 10.1007/s11947-013-1175-8.

E. Panyoo Akdowa, Boudjeko Thaddee, Woguia Alice Louise, Claire Gaiani, Nicolas Y. Njintang Joel Scher and Carl MF Mbofung (2013). Optimization of variables for aqueous extraction from *Grewia mollis* shrub powder. *Journal of polymers.* Volume 2014, Article ID 926850, 10 pages.

DEDICACES

A toute ma famille

A fille Panyoo Ouadossa Fabiola Néomie

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé au sein du Laboratoire de Biophysique et de Biochimie Alimentaire et de Nutrition (Département Sciences Alimentaires et Nutrition) de l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles (ENSAI) de l'Universite de Ngaoundéré et du Laboratoire d'Ingénierie et de Biomolécules (LiBio) de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires (ENSAIA) de l'Université de Lorraine.

Il a bénéficié du concours de la Coopération pour la Recherche Universitaire et Scientifique (CORUS-IRD 6052) à qui j'adresse mes sincères remerciements.

Mes remerciements vont ensuite à l'endroit de Carl Moses F. MBOFUNG, Professeur à l'ENSAI de l'Université de Ngaoundéré pour son encadrement, son grand soutien tout au long de la thèse et aussi pour m'avoir donné toute l'autonomie nécessaire de mener à bien ce projet. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude pour sa confiance, sa disponibilité, son dynamisme et son enthousiasme. Je lui exprime ma vive reconnaissance.

Je tiens à remercier Monsieur Joël SCHER, Professeur à l'ENSAIA-Université de Lorraine (France), pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant de m'accueillir au sein du Laboratoire d'Ingénierie et de Biomolécules (LiBio) et pour avoir accepté de diriger cette thèse. Je lui suis reconnaissant pour son soutien scientifique et sa disponibilité durant mes années de thèse. Ses conseils m'ont été très précieux pour mener à bien ce travail de recherche.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Nicolas Y. NJINTANG, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Ngaoundéré, pour la confiance qu'il m'a toujours accordée, pour avoir accepté de faire partie de l'équipe et qui m'encadre depuis la maîtrise. Professeur, vous resterez pour moi dans le domaine de la Science un modèle à suivre.

Mes remerciements vont également:

-au Professeur Robert NDJOUENKEU, Chef du Département de Sciences Alimentaires et Nutrition, pour sa confiance et ses nombreux conseils.

-aux Professeurs Jean-Bernard MILLIERE, Michel LINDER, Muriel JACQUOT, Claire Gaïani pour avoir répondu à mes préoccupations et l'aide apportée à la réalisation de ce travail.

- à tous les Enseignants de l'ENSAI de Ngaoundéré et particulièrement aux Professeurs : Clergé TCHIEGANG, Richard KAMGA, Martin NGASSOUM, Jean Bosco TCHATCHUENG, Léopold TATSADJIEU, Richard EJOH, Emmanuel NSO, Augustin MBAWALA qui ont tout mis en œuvre pour parfaire notre formation, et au Docteur, Edith FOMBANG, pour leurs participations à ma formation et leurs multiples conseils qu'ils m'ont prodigués.

- à Monsieur et madame NUMFOR pour l'accueil et la collecte des échantillons lors de mon séjour à Buea.

- à mon cousin Boniface BOUBA et son épouse du côté de l'Allemagne pour leur accueil, je n'oublierai pas mes week-ends passés en votre compagnie dans le cadre de la thèse.

- à mon cousin Emmanuel MAÏNA DJOULDE. A divers titres il a contribué à la réalisation de ce travail. Trouve ici un motif de satisfaction.

- à Mr Belibi Belibi Placide Désiré pour les conseils et la dernière relecture de ce travail.

- à ma fiancée Mbakep Madomen Bello pour l'amour qu'elle m'a comblé.

- aux Pr Mathurin Jean Nzikou, Dr Eric Fankem, Chancelle Ndangui betty, Abel wafo, pour l'excellent temps passé à Nancy. Qu'ils trouvent ici un motif de satisfaction.

- aux Docteurs, ABOUBAKAR, Carole Hélène EDIMA, Richard NGUIMBOU, Giscard KAPSTO, MAKHLOUF Himeda, Elie Baudelaire NJANTOU, Robert BEKA, Armand ABDOU BOUBA pour leurs conseils et encouragements

- à Mesdames, Carole JEANDEL, Carole PERROUD, Anne LAPLACE du LIBio. Affables et disponibles, elles nous ont orienté et formé dans l'utilisation des équipements pendant mon séjour à Nancy. Ma gratitude leur sera permanente.

Je remercie tous mes collègues du CRAN (Centre de recherche en science alimentaires et nutrition) de l'Institut de Recherches Médicales et d'Etudes des plantes Médicinales (IMPM) pour leurs conseils et l'ambiance conviviale qu'ils ont fait régner pendant nos travaux.

Je remercie enfin les thésards, tout le personnel du LIBio, du laboratoire de Biophysique et Biochimie des Sciences Alimentaire et Nutrition de l'ENSAI avec qui j'ai passé des moments agréables au cours de ces années. J'ai vécu au sein du laboratoire une expérience très enrichissante aussi bien sur le plan professionnel que sur le plan humain.

Sommaire

PAGE DE SIGNATURES II

CERTIFICATION III

LISTE DES PUBLICATIONS ET DE CONFERENCES. IV

DEDICACES V

REMERCIEMENTS VI

SOMMAIRE IX

LISTE DES FIGURES XIV

LISTE DE TABLEAUX XVII

LISTE DES ABREVIATIONS XIX

RESUME XX

ABSTRACT XXII

Introduction générale 1

CHAPITRE I-Revue de la littérature 6

I-Generalites sur le taro (*Colocasia esculenta*). 6

I-1-DESCRIPTION ET PRODUCTION DU TARO 6

I-2-COMPOSITION NUTRITIONNELLE DU TARO. 9

I-3-ACRETE DU TARO. 10

I-4-INFLUENCE DE QUELQUES PARAMETRES SUR LA COMPOSITION PROXIMALE DU TARO. 11

I-6-LES GOMMES 16

I-6-1-SOURCE, EXTRACTION, ET UTILISATION DES GOMMES EN PANIFICATION 16

I-6-1-1-Source des gommes. *16*

I-6-1-2-Generalites sur les plans d'experiences. 17

I-6-1-3- Extraction des gommes. 17

I-6-1-4-Influence des facteurs sur le rendement d'extraction des gommes. 17

I-6-1-5-Infleunce des facteurs sur la viscosite de la gomme. 18

I-7-Description de *Grewia mollis* 19

I-7-1-Origine et repartition geographique de *Grewia mollis.* 20

I-7-2-Utilisation de *Grewia mollis.* 20

I-8. Revue sur l'incorporation des farines locales en panification. 21

I-8-1-Interet de l'incorporation des farines locales. 21

I-8-2-Contraintes a l'incorporation des farines locales en panification. 22

I-8-3-Solutions techniques aux contraintes a l'incorporation des farines locales. 23

I-8-4-Utilisation du taro en panification 26

I-8-5-Incorporation du gluten dans la farine. 27

I-8-6-Ajout de substitut du gluten. 27

I-8-7-Utilisation des gommes en panification. 27

I-8-7-1. Influence des gommes sur la capacite d'absorption d'eau. 27

I-8-7-2. Influence des gommes sur les proprietes rheologiques. 29

I-8-7-3. Resume de l'influence des gommes ou des fibres sur la qualite des produits. 34

I-8-7-4. Mecanisme technologique de l'influence negative des gommes sur la pate au cours de la substitution. 35

I-9-Bilan de la revue bibliographique. 36

CHAPITRE II. MATÉRIEL ET MÉTHODES 37

II-1.Échantillonnage et production des farines. 37

II-1-1.Échantillonnage et production de la farine du taro (*Colocasia esculenta*) pour caracterisation physicochimique. 37

II-1-2. Échantillonnage et production de la poudre de l'ecorce de *Grewia mollis* pour l'optimisation de l'extraction. 37

II-1-3.Échantillonnage et production de la poudre des farines de ble, taro et gomme pour le plan de melange. 38

II-2-Analyse des proprietes physico-chimiques de la farine de taro 40

II-2-1-DETERMINATION DE LA TENEUR EN EAU DES FARINES 40

II-2-2-DETERMINATION DE LA TENEUR EN CENDRES BRUTES (AOAC, 1990) 40

II-2-3-DETERMINATION DE LA TENEUR EN PROTEINES TOTALES. 41

II-2-4-DETERMINATION DE LA TENEUR EN SUCRES REDUCTEURS ET SUCRES DISPONIBLES. 43

II-2-5-DETERMINATION DE LA TENEUR EN LIPIDES TOTAUX. 44
II-2-6-DETERMINATION DES TENEURS EN FIBRES ALIMENTAIRES. 44
II-2-7-DETERMINATION DE LA TENEUR EN PHYTATES. 46
II-2-8-DOSAGE DES MINERAUX 48
II-2-9-DETERMINATION DU PROFIL EN ACIDES AMINES 48
II-2-10-ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE DES FARINES. 49
II-2-11-DETERMINATION DES PARAMETRES DE COULEUR DES FARINES. 50
II-2-12-ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES FARINES DE TARO. 51
II-2-13-MESURE DE LA SPHERICITE ET DE LA CONVEXITE. 52
II-2-14-ANALYSE RHEOLOGIQUE DES FARINES DE TARO 53
II-2-15-ANALYSE DES RESULTATS. 53
II-3 Optimisation de l'extraction de la gomme *Grewia mollis* 54
II-3-1. PLAN D'EXPERIENCE ET ANALYSE STATISTIQUE. 54
II-3-3. Procedure d'extraction de la gomme. 56
II-3-4.Détermination des reponses. 56
II-3-5. DETERMINATION DU PROFIL EN SUCRES. 57
II-3-6. ANALYSES STATISTIQUES. 58
II.4 Optimisation du potentiel boulanger de la farine de taro par l'ajout de la gomme *Grewia mollis* 58
II-4-1. FORMULATION DES MELANGES DE FARINES. 58
II-4-2. Composition proximale des farines. 60
II-4-3. EXTRACTION ET DOSAGE DE L'AMIDON ENDOMMAGE. 60
II-4-4.DETERMINATION DE LA CAPACITE D'ABSORPTION D'EAU. 61
II-4-5. Rheologie des patons. 61
II-4-6. Determination du domaine de viscoelasticite des patons et analyse du module elastique g' 61
II-4-7.Test de fluage et recouvrement des patons. 62
II-4-8.Essai de panification 64
II-4-9-Volume de pousse de la pate au cours de la fermentation 65

II-4-10-Analyse du volume de pain 65
II-4-11-Determination des caracteristiques texturales sur le pain. 66
II-4-12. Analyses de la couleur de la mie et de la croute de chaque pain. 67
II-4-13-Analyse sensorielle sur le pain. 68
II-4-14. Analyses statistiques des resultats des plans de melanges 68
II-4-14.1. EXPLOITATION DES RESULTATS DU PLAN DE MELANGE 68
II-4-14-2 ANALYSES STATISTIQUES 69
CHAPITRE III-Résultat et discussion 70
III-1 Caracterisation chimique de la poudre du tubercule de taro (*Colocasia esculenta*) 70
III-1-1. Composition chimique des farines 70
III-1-2-PROFIL EN ACIDES AMINES DES FARINES DE TARO 75
III-1-3-PARAMETRE TRICHROMATIQUE L A*B* DE LA FARINE DE TARO VARIETE LAMBA 77
III-1-4- CALORIMETRIE DIFFERENTIELLE DE LA FARINE DE TARO VARIETE LAMBA. 78
III-1-5- COMPOSITION MINERALE DES FARINES. 80
III-1-6- REPARTITION GRANULOMETRIQUE DE LA FARINE DE TARO VARIETE LAMBA 82
III-1-7-PROPRIETES RHEOLOGIQUES DES FARINES DE TARO LAMBA 86
III-2. Optimisation de l'extraction de la gomme *grewia mollis* 88
III-2-1.Composition chimique de la poudre de l'ecorce de *grewia mollis.* 88
III-2-2- ANALYSE DES RESULTATS DU PROCEDES D'EXTRACTION 89
III-2-3 INFLUENCE DU TEMPS, DE LA TEMPERATURE, DU PH ET DU RATIO SUR LE RENDEMENT ET LA VISCOSITE. 92
III-2. 4- COURBES ISO REPONSE, ET OPTIMISATION DE L'INFLUENCE DU RATIO, DU TEMPS, DE LA TEMPERATURE ET DU PH SUR LA VISCOSITE ET LE RENDEMENT D'EXTRACTION. 96
III-2-5-PROFIL EN SUCRES DES GOMMES 103
III-3 OPTIMISATION DU POTENTIEL BOULANGER DE LA FARINE DE TARO PAR L'AJOUT DE LA GOMME GREWIA MOLLIS 105
III-3 1-PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUES ET FONCTIONNELLES DES FARINES DE BLE, TARO, GOMME. 105
III-3 1-1-COMPOSITION PROXIMALE DES FARINES DE BLE, TARO, GOMME. 105
III-3 1-2-PARAMETRES DE COULEUR DE CHAQUE FARINE. 106

III-3 1-3-CAPACITE D'ABSORPTION D'EAU DES FARINES DE TARO, BLE, GOMME ET DES FARINES FORMULEES. 107
III-3 2-PROPRIETES DES PATES 113
III-3 2-1 CARACTERISTIQUES RHEOLOGIQUES DE LA PATE COMPOSEE BLE, TARO, GOMME GREWIA MOLLIS. 113
III-3 2-1-1. Effet du pourcentage des farines sur le module elastique G', de la pate..... 113
III-3 2-1-2 Caracteristique du module elastique (G')..... 113
III-3 2-3-VOLUME DE PATES COMPOSEES BLE-TARO-GOMME GREWIA MOLLIS PENDANT LA FERMENTATION..... 126
III-3 2-4.RELATIONS ENTRE LES PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUES, FONCTIONNELLES DE LA FARINE ET LES PROPRIETES RHEOLOGIQUES DE LA PATE. 128
III-3 3-Influence de l'ajout de la gomme grewia mollis, farine de taro et farine de ble sur les proprietes du pain 130
III-3 3-1- INFLUENCE DE L'AJOUT DE LA GOMME GREWIA MOLLIS, FARINE DE TARO ET FARINE DE BLE SUR LA COULEUR DE LA MIE ET DE LA CROUTE..... 130
III-3 3-2. INFLUENCE DE L'AJOUT DE LA GOMME GREWIA MOLLIS, FARINE DE TARO ET FARINE DE BLE SUR LE VOLUME DU PAIN..... 132
III-3 3-3. Influence de l'ajout de la farine de taro, farine de ble et la gomme *grewia mollis* sur les proprietes texturales du pain 137
Conclusion generale 147

Liste des figures

Figure 1 Taro géant (*Cyrtosperma mercusii*) (Nguimbou *et al.,* 2013a) 7

Figure 2: *Colocasia esculenta* (variété Ibo coco) (Aboubakar *et al.,* 2012) 7

Figure 3:*Colocoasia esculenta* (variété *Lamba*) 8

Figure 4: Schéma de production de la farine de taro (A) et de la poudre de la gomme (B). .. 39

Figure 5: Formule DNS avant (A) et après chauffage (B). 43

Figure 6: Espace chromatique CIE L*a*b* 51

Figure 7: Présentation du système d'axe pour l'étude de 3 facteurs dans un plan de mélange 59

Figure 8: Courbe typique du fluage et recouvrement sur les pâtes 63

Figure 9: Dispositif de suivi de pousse de la pâte pendant la levée 65

Figure 10: Mesure du volume de pain 66

Figure 11: Courbe typique du profil de texture 67

Figure 12: Profil en acide aminée de la farine de taro *Lamba*. 76

Figure 13: Répartition granulométrique de la farine de taro *Lamba*. 83

Figure 14: Image du qicpic des particules de farine *Lamba* 84

Figure 15: Sphéricité et concavité des particules de la farine *lamba.* 85

Figure 16: Module de stockage (G') en fonction de la température. 87

Figure 17 : Représentation quadratique du ratio(A), du temps(B) de la température (C) et du pH (D) sur la viscosité et le rendement d'extraction. 95

Figure 18: Influence du ratio et du temps sur la viscosité (A) et le rendement (B) d'extraction de la gomme (pH 7 ; température 55°C). 99

Figure 19: Influence du ratio et du pH sur la viscosité (A) et le rendement (B) d'extraction de la gomme (temps 2h ; température 55°C). 100

Figure 20: Influence du ratio et de la température sur la viscosité (A) et le rendement (B) d'extraction de la gomme (pH 7 ; temps 2h). 101

Figure 21: Zone optimale d'extraction de la viscosité et du rendement d'extraction de la gomme *Grewia mollis.* 102

Figure 22: Profil en sucres par chromatographie en phase gazeuses de la gomme. 104

Figure 23: Capacité d'absorption d'eau réelle (CAEr) et capacité d'absorption d'eau aparente (CAEa) des farines de blé, taro et gomme. 110

Figure 24: Capacité d'absorption d'eau de farine de blé, Grewia mollis (A) taro, *Grewia mollis* (B) 111

Figure 25: Diagramme de cox sur la capacité d'absorption d'eau des mélanges des farines. 111

Figure 26: Analyse de variance de l'influence du blé, taro et gomme sur la capacité d'absorption d'eau des mélanges des farines. 112

Figure 27: Domaine linéaire des pâtes composées (blé, taro, gomme) du module élastique en fonction du taux de cisaillement (s^{-1})..... 115

Figure 28 : Module élastique (G') de la pâte en fonction de la farine de blé , *Grewia mollis.*(A) et de taro , *Grewia mollis* (B)..... 116

Figure 29: Diagramme de cox sur le module élastique (G'). 117

Figure 30: Analyse de variance de l'influence du blé, taro et gomme sur le module élastique.III-3 2-2-Propriétés viscoélastiques fluage-recouvrement de la pâte composée (Blé-taro-gomme *Grewia mollis*). 117

Figure 31 : Diagramme de cox de la complaisance instantanée (J_0)..... 120

Figure 32: Diagramme de cox de la viscosité (n_0) 120

Figure 33: Diagramme de cox de la complaisance instantanée de recouvrement (J_o^r) 121

Figure 34: Volume de pousse des pâtes Blé, *Grewia mollis* (A) et Taro, *Grewia mollis* (B) 127

Figure 35: Diagramme de cox sur le volume de pousse des pâtes Blé, *Grewia mollis,* taro..... 128

Figure 36: Analyse de variance sur le volume de pousse des pâtes blé, taro, gomme *Grewia mollis*. 128

Figure 37: Influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé, et la gomme Grewia mollis sur le volume de pain : blé, *Grewia mollis* (A), Taro, *Grewia mollis* (B)..... 135

Figure 38 : Diagramme de cox de l'influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme Grewia mollis sur le volume de pain. 136

Figure 39:Analyse en composante principale entre les paramètres rhéologiques de la pâte et du pain blé-taro. 142

Figure 40: Influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur l'acceptabilité générale du pain : (A) farine de blé et gomme *Grewia mollis* (B) farine de taro et gomme *Grewia mollis* 145

Figure 41: Diagramme de cox de l'influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur l'acceptabilité générale. 145

Figure 42 : Courbe de désirabilité de l'influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur l'acceptabilité générale du pain. 146

Liste de Tableaux

Tableau 1: Production du taro des 10 premiers pays du monde 9

Tableau 2 : Composition biochimique de quelques espèces de taro. 10

Tableau 3: Teneur en oxalate du taro. 11

Tableau 4: Maladies couramment traitées par le *Grewia mollis* 21

Tableau 5: Produits de boulangerie-pâtisserie testés au Cameroun avec succès. 24

Tableau 6: Gradient d'élution des acides aminés par chromatographie liquide haute performance en phase inverse 49

Tableau 7: Matrice du plan d'expérience et des réponses. 55

Tableau 8: Tableau des composants et limites 59

Tableau 9: Formulation des Farines 60

Tableau 10 : Composition chimique des tubercules en fonction de la masse 74

Tableau 11: Paramètre trichromatique L a* b* de la farine de taro *lamba.* 78

Tableau 12: Calorimétrie différentielle de la farine de taro (DSC). 79

Tableau 13: Composition minérale des farines. 81

Tableau 14: Répartition granulométrique de la farine de taro *Lamba*..... 83

Tableau 15: Caractéristiques de l'écorce de *Grewia mollis* 88

Tableau 16: Analyse de variance de l'optimisation de la viscosité de la gomme de *Grewia mollis*..... 90

Tableau 17: Analyse de la variance de l'optimisation de la viscosité de la gomme de *Grewia mollis.* 91

Tableau 18: Conditions optimales d'extraction de la gomme *Grewia mollis* 103

Tableau 19 : Composition proximale de chaque farine..... 106

Tableau 20 : Paramètres de couleur..... 106

Tableau 21 : Influence de la gomme sur les paramètres du fluage et recouvrement de la pâte blé-taro. 122

Tableau 22: Relations entre les propriétés physicochimiques, fonctionnelles de la farine et rhéologiques de la pâte. 129

Tableau 23: Test sur la couleur de mie et de la croute du pain. 131

Tableau 24: Influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme *Grewia mollis*..... 138

Tableau 25: Matrice de corrélation entre les paramètres rhéologiques de la pâte et du pain. 141

Liste des Abréviations

AOAC	Association of Official Analytical Chemists
AFNOR	Association Française de Normalisation
ATD	Analyse Thermique Différentielle
C.A.Ea	Capacité d'absorption d'eau apparente
C.A.Er	Capacité d'absorption d'eau réelle
CMC	Carboxyméthylcéllulose
F.A.O	Food Agriculture Organisation
HPMC	Hydroxypropylméthylcéllulose
J_{0f}	Complaisance instantané de fluage
J_{mf}	Complaisance viscoélastique de fluage
J_{max}	Complaisance maximale
J_{0r}	Complaisance instantané de recouvrement
J_{mr}	Complaisance viscoélastique de recouvrement
K	Indice de consistance
n_0	Viscosité apparente
G'	Module élastique
G''	Module visqueux
t	Temps

Résumé

Le problème dans cette étude est celui de l'incorporation de la gomme *Grewia mollis* dans le mélange blé-taro avec pour objet d'améliorer le taux de substitution du blé par la farine de taro qui, selon la littérature, ne peut dépasser de valeurs allant de 10 à 15 % sans altérer de façon considérable la qualité de la pâte de pain. Les objectifs définis dans cette étude sont triples : (1) d'abord connaitre les propriétés de la farine de taro variété *Lamba* qui, avant cette étude n'a pas fait l'objet d'études antérieures. (2) Déterminer les conditions optimales d'extraction de la gomme *Grewia*, dont on connait de la littérature les caractéristiques physicochimiques et fonctionnelles et pas les meilleures conditions d'extraction. (3) Etudier dans un plan de mélange à trois composantes l'effet du pourcentage de gomme, de farine de taro et blé sur les propriétés rhéologiques et sensorielles de la pâte et du pain. Dans cette étude les méthodes usuelles de caractérisation ont été utilisées. Pour l'objectif 1, le dispositif expérimental prend en compte la taille du tubercule (4 modalités) comme facteurs, et les paramètres mesurés sont : la composition proximale, la granulométrie et la forme de particules, les propriétés thermiques et rhéologiques de la farine. Pour l'objectif 2, la gomme est extraite selon un plan composite centré à faces centrées avec comme facteurs le ratio volume d'eau sur masse de la poudre de l'écorce, la température et le temps d'extraction, et les réponses sont la viscosité de la solution et le taux d'extraction. Une caractérisation du profil de sucres de la gomme a été faite. Pour l'objectif 3, un plan de mélange ternaire *Grewia*-taro-blé à contraintes a été effectué. Le volume de pousse de la pâte, le test de double morsure, le test du fluage-recouvrement ont été mesurés sur la pâte, alors que les pains obtenus ont fait l'objet d'une analyse du test de double compression et d'acceptabilité. Les résultats de l'objectif 1 ont montré que la composition physicochimique du taro varie en fonction de la masse et du pelage, le profil en acide aminé présente une

absence des acides aminés soufrés. Les résultats de l'extraction de la gomme dans l'objectif 2 ont montré que seul le ratio augmente significativement la viscosité et le rendement d'extraction de la gomme. Les conditions optimales d'extraction de la gomme *Grewia mollis* sont les suivantes: pH: 7,1 temps : 1h température: 73,1 °C ratio eau / poudre : 55,4 / 1, pour une viscosité de 0,98 Pa.s et un rendement de 0,32%. Les résultats de l'objectif 3 montrent que l'augmentation de la gomme *Grewia mollis* entraine une augmentation de la capacité d'absorption d'eau des farines mélangées, une augmentation de la viscoélasticité, du volume de pousse, du volume de pain, de l'acceptabilité générale jusqu'à un seuil de 2,5% puis une baisse est observée. Les analyses de corrélation ont montré que l'augmentation de la capacité d'absorption d'eau entraine une baisse des paramètres du fluage et du recouvrement de la pâte, du volume de pousse.

Mots clés: taro, plan de mélange ternaire, gomme *Grewia mollis*, blé, viscoélasticité.

Abstract

The problem in this study is the incorporation of *Grewia gum* in the wheat-taro mixture in order to improve the level of substitution of wheat flour by taro flour which, according to the literature, cannot exceed 10-15% without deteriorating in a considerable manner the quality of the bread paste. The objective defined in this study is threefold : (1) to know the properties of the flour of taro *Lamba* variety which, before this study have not been the object for research (2) to determine the optimum conditions for extraction of the *Grewia* gum, with known physico-chemical and functional characteristics but no standard for conditions extraction. (3) To study the effect of the percentage of gum, taro flour and wheat flour on the rheological and sensory properties of the paste and the bread using a mixture designs with three components. In this study the usual methods of characterization were used. For objective 1, the experimental device takes into account sizes of tuber (4 weight) like factors, and the measured parameters are: the proximate composition, the granulometry and the shape of particles, thermal and rheological properties of the flour. For objective 2, the gum is extracted using a central composite design with faces centered with factors like the flour water ratio (w / w), the temperature, extraction time and pH, the response were the viscosity of the solution and the yield of extraction. A characterization of the sugar profile of gum was made. For objective 3, a ternary mixture design *Grewia* - taro-wheat with constraints was carried out. The volume of dough, the rheology of paste, the double bite test, the creep-recovering test were measured on the dough, whereas a double compression test analysis and acceptability were carried out on the bread. The results of objective 1 showed that the physico-chemical composition of the taro varies as a function of the mass and peeling type, the amino acid profile reveals the absence of sulphur amino acids. The results of the extraction of gum showed that only the ratio significantly increases the viscosity and the yield of the gum.The optimum conditions for extraction of *the Grewia* gum are as follows:pH: 7.1 times : 1h

temperature: 73 °C water / powder ratio: 55.4 / 1, for a viscosity of 0.98 Pa.s and and yield of 0.32 %. The results of objective 3 show that the incorporation of gum increase the water absorption capacity, viscoelasticity of the dough, volume of the dough and even volume of bread. However the sensory analysis showed that the addition of gum up to 5% contributed to the rejection of the breads.

Key words: taro, *Grewia mollis* gum, viscoelasticity, ternary mixture plan, wheat

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Afrique subsaharienne souffre d'un problème d'utilisation en excès du blé pour la fabrication du pain. Or le blé utilisé provient exclusivement de l'importation. En effet, en 2010, elle a importé 12,3 millions de tonnes de blé et le Cameroun environ 422 000 tonnes pour une valeur estimée à 10 milliards de francs CFA (Chad Weigand, 2011).

Depuis près de 30 ans, la substitution partielle de la farine de blé, par d'autres farines suscite l'intérêt des chercheurs. Parmi les produits substituants le blé figurent des tubercules tels que le manioc, la patate, le taro. Les travaux qui abordent les farines composées blé et autres produits montrent que leur utilisation dans la panification et la pâtisserie est récente à travers le monde. Trois raisons essentielles selon les régions semblent justifier son développement : il s'agit des raisons d'ordres économiques, sociales et sanitaires (Shittu *et al.,* 2007).

En Europe et en Amérique du Sud, l'utilisation des farines composées vise essentiellement à réduire l'incidence de la maladie cœliaque qui est une maladie d'intolérance au gluten (Toufeili *et al.,* 1994 ; Gallagher *et al.,* 2003). Sur le plan sanitaire, le pain appelé missi rotti résultant de la composition du blé et du belgagram ou l'orge, est recommandé en inde aux patients diabétiques grâce à son effet régulateur du taux de glucose sanguin. Dans les pays en développement, notamment ceux d'Afrique, au sud du sahara, des efforts de recherche sont consentis pour la substitution partielle de la farine de blé par les farines de denrées locales disponibles (Shittu *et al.,* 2007). Ceci dans le but de réduire les importations onéreuses du blé et augmenter l'utilisation des denrées locales (Ikpeme *et al.,* 2010). Dans cet ordre d'idée, l'Etat Nigérian a multiplié des efforts pour limiter l'utilisation du blé dans la fabrication du pain et autres pâtisseries à travers l'introduction des tubercules tropicaux disponibles

(manioc, taro) dans la farine de blé (Ikpeme *et al.,* 2010). L'Etat Nigérian a pour cette raison entrepris l'encouragement de la consommation nationale du manioc et, la réduction des importations du blé en exigeant la fabrication du pain avec un minimum de 10 % de farine de manioc. Plus récemment, Sanful (2011) a rapporté l'intention des politiques de la sous-région d'Afrique de l'ouest d'introduire des farines locales disponibles (manioc, patate douce, pomme de terre, taro, macabo) dans la farine de blé. Il convient de signaler qu'en 2006 le Nigéria était le principal client externe du blé USA (Ikpeme *et al.,* 2010). Lorsqu'on s'intéresse à la disponibilité des ressources agricoles dans les pays en développement, l'on remarque l'occupation d'une place de choix des tubercules. Les études de Ikpeme *et al.* (2010) ont montré qu'une substitution partielle de blé par 10% de farine de taro donne un pain aussi accepté que le pain à 100 % de blé. En revanche Sanful (2011) a montré que le pain composé blé et 30 % de taro est très apprécié des consommateurs. En thailande des substitutions satisfaisantes de 40 % avec le riz ont été rapportées (Charoenthaikij *et al.,* 2010). Utilisant le maximum de substitution de 10 %, d'autres études se sont intéressées à l'effet du génotype et des conditions de culture (fertilisant, etc) sur la qualité des pains composés blé-manioc (Shittu *et al.,* 2008).

Les recherches dans notre laboratoire sur les farines composées pour la panification se sont penchées sur deux tubercules : le taro et la patate douce. Les premiers travaux sur le taro ont montré qu'une substitution jusqu'à 10 % avec la farine de taro crue n'a pas d'effet significatif sur les propriétés rhéologiques de la pâte (Njintang *et al.,* 2008). Toutefois des essais de production de biscuits composés à ce taux de substitution ont donné des biscuits irritants, liés à la présence d'oxalate de calcium dans les tubercules de taro. Dans des études subséquentes exigeant un traitement préalable des tubercules, une substitution de 15 % par la farine de taro précuite n'a pas affecté significativement les propriétés rhéologiques de la pâte ; mais

les biscuits à base de taro ont montré une acceptabilité meilleure comparé aux biscuits à 100% blé avec des substitutions allant jusqu'à 40% (Himeda *et al.,* 2012a).

Au regard de ce qui précède, les études de substitution de blé par d'autres farines pour la fabrication du pain représentent un challenge technologique majeur. En effet le blé est la céréale qui contient le gluten (très faible dans les autres céréales) essentiel à la formation du réseau protéique contribuant à la texture spongieuse des produits pâtissiers et panifiés. La matrice de gluten absente dans les tubercules est un déterminant majeur des caractéristiques rhéologiques de la pâte comme l'élasticité, l'extensibilité, la force et l'habilité à emprisonner les gaz. Dans la perspective d'augmenter la quantité des farines de tubercules, tout en améliorant la texture des produits panifiés et pâtissiers à base de farine composée, des recherches ont été menées sur l'utilisation des hydrocolloïdes comme agent texturant. Dans cette perspective, l'hydroxypropylmethyl-cellulose (HPMC), la methylcellulose (MC), la carboxymethylcellulose (CMC), les gommes psyllium, haricot locust, guar et xanthane ont fait l'objet d'investigations (Lazaridou *et al.,* 2007).

Les efforts de recherches sur l'application des hydrocolloides en panification viennent justifier les exploitations locales des gommes dans la fabrication des beignets et pain à l'instar de la gomme *Grewia mollis*. En effet, la gomme de *Grewia mollis* est utilisée dans la sous- région d'Afrique centrale, et particulièrement au Cameroun dans la panification des produits céréaliers. *Grewia mollis* est un arbuste largement distribué dans le Nord du Nigeria, dans d'autres pays africains, et au Cameroun. Différentes parties de cette plante sont utilisées dans des aliments et en médecine. Au Nigéria, les poudres ou mucilages obtenues de l'écorce de cet arbre sont utilisées comme agent épaississant dans des gâteaux, à base de céréales ou de farine de maïs, couramment appelés «Kosai et Punkasau» en Hausa (Nigeria). Ces poudres sont mélangées avec des farines de haricots ou de maïs en vue d'améliorer la texture des beignets. Certains résultats ont montré que le mucilage obtenu de l'écorce du tronc peut servir comme

liant dans une meilleure formulation de paracétamol (Nep & Conway, 2010). Des études phytochimiques sur les feuilles et l'écorce du tronc de *Grewia mollis* ont indiqué la présence de tanins, de saponines, de glycosides, de flavonoïdes, de phénol et l'absence d'alcaloïdes stéroïdiens (Nep & Conway, 2011).

Bien que de nombreuses études témoignent des aptitudes rhéologiques des gommes en général et de *Grewia* en particulier, très peu d'entre elles, voire aucune ne traite de leur utilisation en panification. Bien plus, très peu d'études ont considéré un mélange ternaire intégrant une farine non panifiable et une gomme. Cette argumentation mène vers la question générale de recherche de cette thèse: quel est l'effet de la gomme *Grewia* sur les propriétés rhéologiques et sensorielles de la pâte et du pain composée blé-taro dans un mélange ternaire? Répondre à cette question nécessite un préalable qui est la maîtrise des farines de base à savoir le taro et la gomme *Grewia*. Beaucoup de travaux ont permis une connaissance physicochimique et nutritionnelle de la farine de taro (Njintang *et al.,* 2006, 2007, 2008 **;** Aboubakar *et al.,* 2009, 2010). Toute fois les propriétés de la variété *Lamba*, actuellement la plus commercialisée au Cameroun, ne sont pas connues. D'autre part les caractérisations récemment rapportées sur le taro n'ont pas pris en compte les déterminants de sa qualité tels que la masse du tubercule. Pour ce qui est de la gomme *Grewia*, on a des connaissances sur son comportement rhéologique, et sa composition. Mais aucune information sur les conditions optimales d'extraction n'existe à notre connaissance. De ceci se posent deux questions de recherche préliminaires: quels sont les effets de la masse du taro variété *lamba* sur les propriétés physicochimiques et rhéologiques de la farine ? Quelles sont les conditions optimales d'extraction de la gomme *Grewia* ?

C'est pour répondre à ces trois questions que ce travail de thèse, s'inscrivant dans le cadre du projet de Coopération de Recherche Universitaire et Scientifique (CORUS-ird 6052-2) a vu le jour avec pour objectif général de déterminer les conditions optimales

de substitution du blé par le taro et la gomme pour la fabrication d'un pain aussi acceptable que le pain de blé 100 %. Cet objectif général se décline en 3 objectifs spécifiques :

1-caractériser sur le plan physicochimique le tubercule de taro variété *lamba* en fonction de sa masse;

2- déterminer les conditions optimales d'extraction de la gomme (*Grewia mollis*) ;

3- étudier l'influence du taux de blé, taro et *Grewia* selon un plan de mélange ternaire sur les propriétés rhéologique de la pâte.

4- établir une relation entre les propriétés rhéologiques de la pâte, les propriétés texturales du pain, et l'acceptabilité du pain.

Cette thèse comporte une introduction, une synthèse bibliographique sur la production et l'utilisation du taro, la caractérisation et l'utilisation des gommes alimentaires. L'objectif I de la thèse est l'influence de la masse sur les caractéristiques physicochimiques du taro, l'objectif II présente l'optimisation des conditions d'extraction de la gomme *Grewia mollis*, et l'objectif III présente l'influence du mélange blé/taro/gomme sur les propriétés technologiques de la pâte, la texture et l'acceptabilité du pain. Cette thèse se termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I-REVUE DE LA LITTÉRATURE

I-Généralités sur le taro (*Colocasia esculenta*).

I-1-Description et production du taro

Le taro (*Colocasia esculenta*) est un membre de la famille des Aracées et est un tubercule tropical largement produit pour son rhizome souterrain. Il est surtout consommé dans les régions tropicales du monde. Cette plante est connue sous plusieurs dénominations : dasheen, eddoe, taro ou tannia (Masalkar et Keskar 1998; Onwueme, 1999). Sous l'appellations taro existe plusieurs espèces que sont *Cyrtosperma mercusii* (taro géant des marais) (figure 1), *Alocasia macrorrhiza* (taro géant) et *Colocasia esculenta* (Ibo coco) (figure 2). Au sud-ouest du Cameroun s'est introduite une nouvelle variété de taro communément appelée *Lamba* (figure 3). Le taro de la variété *lamba* est un tubercule non conventionnel dont la masse est comprise entre (170 à 284 g) est plus importante que celle d'Ibo coco. La commercialisation de cette nouvelle variété de tubercule de taro aurait même renvoyé la variété Ibo coco au second rang. Dans la limite de nos connaissances peu d'étude ont été consacrées à cette variété.



Figure 1 : Taro géant (*Cyrtosperma mercusii*) (Nguimbou *et al.,* 2013a)



Figure 2 : *Colocasia esculenta* (variété Ibo coco) (Aboubakar *et al.,* 2012)



Figure 3 : *Colocoasia esculenta* (variété *Lamba*)

Selon les statistiques de la FAO (2012), le Cameroun est le troisième pays producteur du taro dans le monde avec une production de 1,470,000 tonnes (tableau 1).

Tableau 1: Production du taro des 10 premiers pays du monde

Rang	Pays	Production (tonnes)
1	Nigeria	2,593,860
2	Chine	1,754,100
3	Cameroun	1,470,000
4	Ghana	1,354,800
5	Papouasi nouvelle Guinnée	271,100
6	Madagascar	270,200
7	Rwanda	185,964
8	Japon	153,500
9	Egypte	119,379
10	République centrafricaine	118,000

Source: FAO stat (2012)

I-2-Composition nutritionnelle du taro.

Le tubercule de taro est une excellente source d'amidon (environ 77,87 %). Il est pauvre en lipides (environ 0,42 %) et présente une teneur moyenne en protéine faible (3 à 4 %) pouvant atteindre pour certaines espèces 0,1 % (Nguimbou *et al.,* 2013a). Certaines variétés de taro comme le taro géant des marais constituent une source additionnelle de pro vitamine A (Nguimbou *et al.,* 2013a) tandis que le taro variété ibo coco est une bonne source de potassium (Aboubakar *et al.,* 2008). Les taros sont également riches en calcium mais sa biodisponibilité pourrait être réduite à cause de la présence d'acide oxalique dont une grande partie est sous forme d'oxalate de calcium responsable de l'irritation qu'elle induit à la muqueuse buccale.

Tableau 2 : Composition biochimique de quelques espèces de taro.

Espèces de taro	(*Cyrtosperma mercusii)*[*]		*Colocasia esculenta* (Variété ibo coco)[**]
	Partie centrale	Partie périphérique	
Teneur en eau (g)	85,4±1,1	85.8±0,84	9,0±0,4
Lipides	2,1±0,12	1,5±0,02	1,17±0,32
Protéines (g)	9,0±0,3	10,1±0,19	3,4±0,1
Fibres brutes	2,2 ± 0,07	3,6 ± 0,12	/
Sucres (g)	83,2 ± 0,8	79,1 ± 0,5	93,9
Caroténoïdes (mg/100g)	5,9±0,14	1,6±0,09	/
Vitamine C (mg/100g)	21,2±1,17	4,60± 0,10	/
Composé phénolique (mg/100g)	126,4± 2,77	109,5± 0,73	/

Source: **Abouboubar *et al.,* 2008 ; [*]Nguimbou *et al.,* 2013a.

Le tubercule de taro est riche en mucilage (environ 40 %) (Nguimbou *et al.,* 2013b). La teneur moyenne en amidon extraite est de 27 g pour 100 g de matière fraiche avec des granules de petites tailles allant de (0,25 à 0,5 µm) (Nand *et al.,* 2008). Ceci est un atout militant pour l'utilisation de l'amidon de taro dans divers aliments pour nourrisson (Nip, 1997). La faible taille des granules et la teneur élevée en fibres alimentaires solubles font du tubercule de taro une bonne source de glucides pour les régimes de sevrage infantile (Huang *et al.,* 2000).

I-3-Acreté du taro.

Le taro présente une forte teneur en oxalates (545,8 mg/100g) (tableau 3) (Lewu *et al.,* 2010). Cet oxalate cause une irritation forte et une sensation de brûlure dans la gorge en cas d'ingestion (Akpan et Umoh, 2004). Les démangeaisons apparaissent lorsque les cristaux d'oxalate de calcium sont libérés et infligent des piqûres minuscules sur la peau en cas de contact avec elle. L'âcreté du taro peut être réduite par des opérations unitaires d'épluchage, de râpage, de trempage, et de fermentation (FAO,

1990). Une cuisson de 25 min du taro dans sa peau permet d'éliminer l'âcreté (Aboubakar *et al.,* 2009 ; Lewu *et al.,* 2010).

Tableau 3 : Teneur en oxalate du taro.

	Taro (variété sud-Aficaine) cru	Taro cuit (variété sud-Aficaine)
Teneur en oxalate (mg/100g de M.S)*	545,8±12,5	405,2±7

*(Lewu *et al.,* 2010)

I-4-Influence de quelques paramètres sur la composition proximale du taro.

La composition chimique du tubercule de taro a été rapportée par de nombreux auteurs (Aboubakar *et al.,* 2008 ; Aboubakar *et al.,* 2009 ; Aboubakar *et al.,* 2010; Grancher *et al.,* 2010 ; Himeda *et al.,* 2012b ; Nguimbou *et al.,* 2013). Selon ces auteurs cette composition chimique est fonction de la variété du tubercule (Aboubakar *et al.,* 2008). Elle varie aussi selon le mode de cuisson des tubercules (Aboubakar *et al.,* 2009), de la méthode de trempage (Grancher *et al.,* 2010), de la granulométrie de la farine (Aboubakar *et al.,* 2010), du degré de maturité des tubercules (Himeda *et al.,* 2012b) et de la partie du tubercule (Nguimbou *et al.,* 2013a).

Aboubakar *et al.* (2008) ont produit de la farine et les amidons à partir de six variétés de taro. Ils ont étudié leur composition chimique, leur microstructure et leur rhéologie. Sur le plan chimique les résultats ont montré qu'il existe une différence significative entre les variétés de taro. La température de gélatinisation ne varie pas quel que soit la variété étudiée ainsi que la farine et l'amidon analysé. Sur le plan rhéologique, les farines et les amidons de toutes les variétés présentent un comportement pseudo-plastique et suivent le modèle rhéologique de puissance.

Aboubakar *et al.* (2009) ont effectué la cuisson du taro pendant 25 min dans différents milieux (eau, tamarin, citron et eau de fermentation). Les résultats ont montré que les caractéristiques physicochimiques varient en fonction du milieu de cuisson et du temps de cuisson. La tendreté des tubercules observée pendant la cuisson est associée à la baisse des protéines solubles, des amidons résistants, à l'augmentation du degré de gélatinisation, à la séparation cellulaire, et à l'augmentation des sucres solubles. Parmi les méthodes de cuisson, la cuisson en milieu acide entraine une tendreté plus significative que les autres modes de cuisson. Elle entraine aussi une diminution significative de la teneur en oxalate. Cependant ce mode de cuisson rend le tubercule acide et non acceptable.

Aboubakar *et al.* (2010) ont étudié l'effet du stockage des farines de taro pendant cinq mois sur les propriétés physicochimiques et rhéologiques des pâtes. Les résultats ont permis de montrer que pendant les trois premiers mois de stockage, la capacité d'absorption d'eau reste élevée mais baisse pendant les deux derniers mois de stockage. Les farines stockées à température ambiante dans des sacs en polyéthylène peuvent par contre être stockées pendant 3 mois sans variation significative de leur composition physicochimique. Ces mêmes résultats indiquent que les 4^{eme} et 5^{eme} mois sont les mois maximum de stockage des farines de taro dans des sacs en polyéthylène à 4 °C.

Des cossettes fraîches de taro ont été trempées de manière traditionnelle dans de l'eau ou une solution de trempage de maïs ou une infusion de tamarin pour éliminer l'âcreté du tubercule (Grancher *et al.,* 2010). Il ressort des résultats obtenus que seul le trempage dans une infusion de tamarin induit une baisse de la teneur en protéines brutes. L'infusion de tamarin ne modifie pas la teneur en fibres brutes alors que les autres l'ont fortement diminuée. Toutes les méthodes de trempage ont entraîné une diminution significative des minéraux, à l'exception d'une augmentation des teneurs en

sodium (due à la qualité de l'eau des préparations) et en phosphore lorsque le trempage a été réalisé dans une solution de maïs (probablement due à l'hydrolyse des phytates de ce dernier).

En Côte d'Ivoire, Amon *et al.* (2011) ont étudié l'effet du temps de cuisson des tubercules de taro sur la composition physicochimique et les propriétés fonctionnelles des farines. Les résultats montrent que le temps de cuisson entraine une réduction de la teneur en eau, en sucres réducteurs, en sucres totaux, en lipides, en fibres brutes, en composés phénoliques, l'affinité de l'iode avec l'amidon. La capacité d'absorption d'eau, l'indice de solubilité et la capacité moussante augmentent avec le temps de cuisson. Les protéines et les cendres ne sont pas affectées par le temps de cuisson. Les résultats observés lors de cette étude sont en accord avec ceux observés par Njintang *et al.* (2006). Cependant la farine de taro de la variété ivoirienne présente une faible teneur en protéines comparée aux variétés cultivées au Cameroun (Aboubakar *et al.,* 2012; Nguimbou *et al.,* 2013a).

L'étude de l'effet de la maturité des tubercules de taro (variété sosso) cultivés au Tchad sur la composition physicochimique et les propriétés fonctionnelles des farines a permis de les comparer aux tubercules cultivés dans d'autres pays (Himeda *et al.,* 2012b). Les tubercules ont été récoltés à différents stades de maturité (6, 7, 8, 9, et 10 mois), ensuite ils ont été transformés en farine après séchage puis broyage. Les résultats montrent une augmentation de la teneur en phosphore, de la température de gélatinisation, de la capacité d'absorption d'eau, et de l'index de solubilité avec le stade de maturité. Cependant l'eau mono moléculaire, et la constance de GAB diminuent avec le stade de maturité. Quelle que soit la variété du tubercule, les valeurs nutritives du taro montrent que c'est une excellente source d'hydrates de carbone, pauvre en lipides et en protéines de qualité moyenne. Les feuilles de taro contiennent par contre beaucoup de

protéines et constituent une excellente source de carotène et de potassium. Elles sont riches en calcium mais toutefois réduit par la présence d'acide oxalique.

La masse du tubercule de taro en Thaïlande a une influence sur l'achat du tubercule (Chinnasarn et Manyasi, 2010). Au regard de ce qui précède, très peu d'études ont été réalisées sur l'effet de la masse du tubercule de taro sur les propriétés physicochimiques de la farine de taro.

I-5-Utilisation du taro

Le taro est l'aliment de base traditionnel dans les îles du Pacifique, où on le transforme en une série de produits alimentaires semblables à ceux décrits pour le manioc et l'igname (Hong et Nip, 1990). Il peut être bouilli, frit ou pilé en boule. Depuis plusieurs générations, les polynésiens connaissent un mode de conservation du taro sous forme de pâte fermentée, appelée «popoi». Ce mode de conservation leur permet de se prémunir des périodes de famine ou d'approvisionner les pirogues lors des migrations interinsulaires. Même aujourd'hui où les peuples polynésiens ne connaissent plus ni épisodes de famine, ni migration, la popoi reste un mets toujours prisé. On peut la trouver couramment sur les étalages des marchés. Pour préparer la popoi sèche, le taro cuit est fortement comprimé de manière à obtenir une masse molle qui est enveloppée dans les feuilles de ti (Cordyline sp). Elle peut se conserver ainsi pendant plusieurs mois. La popoi ordinaire la plus employée s'obtient en écrasant les tubercules préalablement cuits, pelés et additionnés d'une petite quantité d'eau légèrement citronnée pour acidifier la préparation. Cette bouillie épaisse est pilée soigneusement à la main pour éliminer les fragments, et les amas de fibres sont retirés au fur et à mesure du pétrissage. La popoi est prête quand elle présente un aspect lisse, translucide, avec la consistance d'une pâte à pain. Elle est ensuite enveloppée dans des feuilles de ti qui lui garantissent sa fraîcheur et est stockée dans un endroit frais. Bien préparée, elle peut se conserver jusqu'à 3 semaines. En matière de diététique, la popoi a une excellente réputation. En effet, elle constitue un mets de choix pour les personnes connaissant des

problèmes d'allergies nutritionnelles, à cause de ses grains d'amidon très fins, et de sa facilité de digestion. Les personnes atteintes d'ulcère d'estomac peuvent trouver dans la popoi un aliment privilégié. Cette pâte fermentée, additionnée de lait de coco, de banane ou de poisson bouilli est destinée à l'alimentation des enfants en bas-âge, des vieillards, ou des adultes comme accompagnement lors des repas. La popoi ne diffère de la composition moyenne du taro cuit que par la transformation d'une partie de ses sucres en acides organiques. Sa composition minérale reste la même. La différence réside dans la fermentation des hydrates de carbone qui donnent naissance à des acides organiques s'opposant à la putréfaction, assurent la conservation du produit, stimulent l'appétit et favorisent la digestion (Jane *et al.*, 1992).

Dans le sud du Tchad et en particulier dans le Mayo Kebbi, les tubercules sont pelés, tranchés puis séchés et transformés sous forme de farine (Njintang, 2003). La farine composée à base de taro et de riz est utilisée pour la préparation des aliments tels que le «fufu» ou de la bouillie, qui servent à l'alimentation des enfants et des adultes. Les cossettes sèches sont préparées et consommées avec du sucre.

Au Cameroun, la variété *Colocasia esculenta* est généralement consommée sous forme d'une pâte homogène appelée achu (Njintang *et al.,* 2006). Dans la préparation de cet aliment, les tubercules sont préparés pendant 2 à 3 heures de temps, pelés et pilés dans un mortier. Cette pâte est consommée accompagnée d'une sauce très épicée appelée *sauce jaune ou achu*. Cet aliment est d'une très grande valeur socio-culturelle dans les groupes ethniques Bamiléké et Ngemba de l'ouest et du nord-ouest du Cameroun respectivement. Pendant longtemps, le «achu» a été réservé aux grandes cérémonies et aux personnalités privilégiées.

Avant de présenter l'influence des gommes dans la panification il faudrait montrer l'origine des gommes, ensuite les facteurs qui influencent l'extraction de ces gommes, faire une revue sur l'utilisation des farines locales en panification et enfin l'utilisation des gommes en panification.

I-6-Les gommes

Les gommes hydrosolubles ou hydrocolloïdes, sont des molécules qui se dissolvent ou se dispersent aisément dans l'eau pour aboutir à une augmentation très grande de la viscosité, avec, quelquefois, un effet gélifiant (Williams et phillips, 2000).

I-6-1-Source, Extraction, et utilisation des gommes en panification

I-6-1-1-Source des gommes.

Selon Williams et phillips (2000) et Laaman, (2011) les épaississants et gélifiants utilisés peuvent avoir différentes provenances. La plus importante est sans doute le règne végétal, où l'on trouvera :

- *Des exsudats de plantes* : gomme arabique, gomme adragante, gomme karaya
- *Des galactomannanes* issus de certaines graines : guar, caroube, gomme tara
- *Des pectines* situées dans les parois cellulaires et les ciments intracellulaires des végétaux
- *Des extraits d'algues* : algues rouges, avec l'agar-agar, les carraghénanes, algues brunes avec les alginates
- *Des constituants végétaux transformés* : dérivés de la cellulose, amidons modifiés

Le règne animal est également représenté, avec la gélatine. Plus récemment encore, on a su faire appel aux micro-organismes pour la synthèse de certains produits : gomme xanthane, gomme gellane.

La plupart de ces gommes font l'objet d'une extraction dans des conditions bien précises. Généralement les plans d'expériences sont utilisés pour optimiser l'extraction des gommes (Hosseini-parvar *et al.,* 2009).

I-6-1-2-Généralités sur les plans d'expériences.

Les plans d'expériences permettent d'organiser au mieux les essais qui accompagnent une recherche scientifique ou des études industrielles (Goupy, 2001). Ils sont applicables à de nombreuses disciplines et à toutes les industries à partir du moment où l'on recherche le lien qui existe entre une grandeur d'intérêt, y, et des variables, x_i. Il faut penser aux plans d'expériences si l'on s'intéresse à une fonction du type : $y = f(x_i)$.

Avec les plans d'expériences on obtient le maximum de renseignement avec le minimum d'expériences. Pour cela, il faut suivre des règles mathématiques et adopter une démarche rigoureuse (Box *et al.,* 2005). L'extraction des hydrocolloïdes est influencée par la température, le pH, la concentration en sel, la nature du solvant, et le temps d'extraction (Wu *et al.,* 2007)

I-6-1-3- Extraction des gommes.

I-6-1-4-Influence des facteurs sur le rendement d'extraction des gommes.

Les gommes extraites des graines de *Lepidium perfoliatum* montrent que l'augmentation de la température et du temps d'extraction n'ont pas d'effet significatif sur le rendement (Koocheki et *al.,* 2009). Des résultats contraires sont observés sur d'autres gommes. En effet, les gommes extraites sur *Opuntia milpa alta* ont montré que l'augmentation du rendement d'extraction des hydrocolloïdes était due à l'augmentation de la température jusqu'à une certaine valeur, mais lorsque la température d'extraction dépasse ce point, le rendement d'extraction baisse (Cai et *al.,* 2008). Cette baisse serait due à la destruction des sucres (Esteves et *al.,* 2004).

Le rendement d'extraction augmente aussi avec le temps d'extraction de la gomme. Cependant des pH élevés n'ont aucun effet sur le rendement d'extraction de la gomme (*Alyssum homolocarpus*) (Koocheki et *al.,* 2008). Des faits contraires ont été observés (Somboonpanyakul et *al.,* 2006). En effet, leurs résultats ont montré que les pH élevés augmentent le rendement d'extraction. Les faibles ratios augmentent le rendement d'extraction de la gomme (*Tiliacora triandra*) (Singthong et *al.,* 2009).

En bref, le rendement d'extraction des gommes est influencé par le temps, la température, le ratio et le pH. Cette influence varie en fonction de la gomme.

I-6-1-5-Infleunce des facteurs sur la viscosité de la gomme.

Une baisse du ratio et une augmentation du pH entraine une augmentation de la viscosité de la gomme (*Lipidium sativum*) (Karazhiyan et *al.,* 2011). Des faits similaires ont été observés sur la gomme extraite des graines du Balangu (Mohammad et *al.,* 2007). Cependant, la réduction de la quantité de substrat, les pH élevés entrainent une baisse de la viscosité (Koocheki et *al.,* 2008). L'augmentation de la température d'extraction de la gomme (*Lipidium sativum*) entraine une augmentation de la viscosité, mais à des très hautes températures cette viscosité baisse (Karazhiyan et *al.,* 2011). Cette réduction de la viscosité à des hautes températures est due à une destruction irréversible des liaisons des sucres (Esteves *et al.,* 2004). Pour extraire la gomme de *Lepidum sativum* ayant une grande viscosité, il faut l'extraire dans les conditions suivantes : pH élevé, ratio élevé et température moyenne d'extraction (Karazhiyan *et al.,* 2011). Ces conditions d'extraction sont similaires pour la gomme de *Tiliacora triandra*, mais une longue durée d'extraction entraine une augmentation de la viscosité de la gomme (Singthong *et al.,* 2009).

I-7-Description de *Grewia mollis*

La plante *Grewia mollis* est un Arbuste ou petit arbre pouvant atteindre 10,5 m de haut, souvent multicaule; diamètre du tronc jusqu'à 30 cm ; jeunes branches densément couvertes d'une pubescence étoilée, devenant gris foncé à pourpre avec l'âge ; écorce externe noire, épaisse, rugueuse, écailleuse et profondément fissurée, écorce interne jaunâtre à brune, fibreuse. Feuilles alternes, simples; stipules lancéolées, de 5 à 10 mm de long, légèrement poilues, caduques; pétiole de 4 à 13 mm de long, à pubescence grisâtre à brun rougeâtre; limbe elliptique à elliptique-oblong, de 2 à 18 cm × 0,5 à 6,5 cm, base cunéiforme ou largement arrondie ou encore obliquement tronquée, apex aigu à légèrement acuminé, bord denté, à 3 nervures partant de la base, glabre à couvert d'une fine pubescence étoilée peu dense sur le dessus, densément couvert d'une pubescence grisâtre à blanc brunâtre en dessous. Inflorescence: cyme, en groupes de 2 à 6 à l'aisselle de feuille, de 2 à 3,5 cm de long, portant 2 à 3 fleurs ; pédoncule de 8 à 35 mm de long; bractées linéaires-lancéolées, jusqu'à 5 mm de long, caduques. Fleurs bisexuées, régulières, 5 mères, légèrement odorantes ; pédicelle de 3 à 11 mm de long ; sépales linéaires-oblongs, de 6 à 11 mm de long, à pubescence grisâtre à l'extérieur ; pétales obovales à oblongs, de 4 à 6 mm × environ 2 mm, parfois émarginés à l'apex, jaune vif ; androgynophore d'environ 1 mm de long, glabre, apex densément poilu; étamines nombreuses, de 3 à 6 mm de long ; ovaire supère, de 1,5 à 2 mm de long, densément poilu. Fruit: drupe globuleuse de 4 à 8 mm × 5 à 8 mm, couverte d'une fine pubescence blanchâtre, de couleur jaune virant au noir; endocarpe dur, ligneux, rugueux (Whitehouse et *al.,* 2001; Louppe et *al.,* 2008). Le genre *Grewia* comprend quelque 150 espèces, réparties dans les zones tropicales et subtropicales d'Afrique, d'Asie et d'Australie. La germination de *Grewia mollis* se produit souvent après un feu de

brousse suivi de pluies. La croissance est lente. Au Soudan, la floraison se situe vers la fin mars ; en Ouganda, elle a lieu en mai – août, et la fructification en août – octobre.

I-7-1-Origine et répartition géographique de *Grewia mollis.*

Grewia mollis se rencontre largement en Afrique tropicale, depuis le Sénégal et la Gambie jusqu'à la Somalie vers l'est, et vers le sud jusqu'à l'Angola, la Zambie et le Zimbabwe ; on le trouve aussi au Yémen.

I-7-2-Utilisation de *Grewia mollis.*

L'écorce et les feuilles de *Grewia mollis* sont mucilagineuses et sont couramment utilisées dans des soupes; séchées et pilées, on les mélange à la farine de haricots pour faire des gâteaux. En République démocratique du Congo, l'écorce est malaxée avec de l'eau pour obtenir une substance visqueuse qui est mélangée aux sauces. Au Gabon, l'écorce interne est parfois consommée. Les fleurs, les bourgeons et les jeunes pousses sont ajoutés aux soupes et aux sauces, par exemple au Nigeria. Au Soudan, les jeunes feuilles sont consommées cuites comme légume (Gill, 1992 ; Obidah *et al.,* 2010).

On connaît de nombreuses applications de *Grewia mollis* en médecine traditionnelle. Ces différents usages en médecines traditionnelles sont résumés dans le tableau 4 :

Tableau 4 : Maladies couramment traitées par le *Grewia mollis*

Maladie	Partie de la plante	Mode de préparation	Référence
Cicatrisation de plaies	Ecorces, feuilles	Les mucilages sont appliqués aux ulcères, plaies et sur la morsure du serpent	Louppe *et al.,* 2008 ; Dalziel, 1937
Toux	Ecorces, racines	Décoction	Louppe *et al.,* 2008 ; Dalziel, 1937
Fièvre,	Ecorces, feuilles et fruits	Extrait d'écorces, et ou des feuilles. Très souvent les fruits sont consommés.	Louppe *et al.,* 2008 ; Dalziel, 1937
Diarrhée	Ecorces	Décoction	Louppe *et al.,* 2008 ; Idika et Niemogha, 2008
Colique	Ecorces, feuilles	Infusion	Louppe *et al.,* 2008
Constipation	Ecorces	Mucilage	Louppe *et al.,* 2008
Rachitisme	Feuilles	Décoction	Louppe *et al.,* 2008
Palpitation	Racines, feuilles	Décoction	Louppe *et al.,* 2008
Rhumatisme	Racines	Pâte	Louppe *et al.,* 2008 ; Dalziel, 1937
Hémorroïde	Ecorces	Piler et dissoudre dans l'eau.	Louppe *et al.,* 2008 ; Idika et Niemogha, 2008

I-8. Revue sur l'incorporation des farines locales en panification.

I-8-1-Intérêt de l'incorporation des farines locales.

La panification à base de "farines composées" consiste à fabriquer des produits de boulangerie et de pâtisserie à partir d'un mélange de farine de blé panifiable et d'autres farines dites "non panifiables" en plus ou moins grandes proportions.

Les importations de blé sont très importantes et pèsent lourd sur la balance commerciale des pays Africains au sud du Sahara. Ces importations ont un impact négatif sur les habitudes alimentaires avec un modèle de consommation qui tend vers le type européen au détriment de la consommation des farines locales (Shittu *et al.,* 2009). Cette situation ne favorise pas la valorisation des produits locaux.

Une recherche sur les farines composées, outres ses effets positifs sur la balance commerciale et sur la valorisation des produits locaux, peut contribuer à l'amélioration de la qualité nutritionnelle de la ration alimentaire notamment des groupes cibles tels que les personnes souffrant des maladies du cœliaque, les diabétiques (Gallagher *et al.,* 2003). La qualité des protéines de céréales et de tubercules peut être améliorée par l'incorporation de légumineuses. Pour que les programmes nationaux donnent ces résultats escomptés, il faut lever les nombreuses contraintes que rencontre le secteur de la petite boulangerie.

I-8-2-Contraintes à l'incorporation des farines locales en panification.

La production de pain nécessite la présence de gluten dans la pâte. Les farines locales ne contiennent pas de gluten et ne sont donc pas panifiables. De plus, l'approvisionnement en matières premières locales de qualité, qui nécessite la mise en place d'unités locales de transformation des céréales et des tubercules. Les acteurs sont souvent illettrés et ne montrent pas d'enthousiasme aux innovations. Le manque de formation pour le respect de taux d'incorporation. Le manque de motivation des patrons boulangers: à quelques rares exceptions près (Sénégal, Côte d'Ivoire), le nombre de boulangeries est très faible ; il n'y a pas de concurrence qui pourrait stimuler les efforts de diversifications de la part des boulangers, gamme très restreinte de produits de boulangerie. Besoin de formation et d'assistance technique au niveau de l'organisation de la production, l'incorporation des farines locales en panification, le choix des équipements et sur la conception des unités. Manque de structure performantes, d'assistance aux boulangeries et les informations nécessaires aux promoteurs sont disparates. Manque de vulgarisation des acquis de la recherche agro-alimentaire en matière d'incorporation de farines locales en panification.

I-8-3-Solutions techniques aux contraintes à l'incorporation des farines locales.

Dans la panification, le gluten joue un rôle important. Il forme un réseau plastique (élastique et extensible) qui retient le CO_2 formé lors de la fermentation. Ce gluten est présent dans le blé et le seigle (Letang *et al.,* 1999). La panification des farines locales exige un apport en gluten ou en substituts du gluten. Les options utilisées sont :

- Incorporation des farines locales dans la farine de blé

- Ajout de gluten dans la farine locale

- Ajout de substituts au gluten (émulsifiants, amidon gélatinisé, gomme)

- Incorporation des farines locales

Les principales farines utilisées sont le mil, le maïs, le sorgho, le riz, le manioc, la pomme de terre, la farine de taro. Les taux d'incorporation dépendent de la farine et des habitudes alimentaires des populations. Dans le cas de la panification de type français, un taux d'incorporation de 15 % n'implique pas de modifications dans le procès de fabrication du pain. Le taux d'incorporation peut atteindre 20 à 30 %. Au Kenya des essais de panifications ont obtenu de bons résultats avec une incorporation de 45 % de farine de maïs. Au Cameroun, des travaux menés par la Fao, l'Onudi, Agro-pme et d'autres instituts ont montré la faisabilité de la panification à base de farines composées. Différents types de produits de boulangerie-pâtisserie ont été testés avec succès (tableau 5).

Tableau 5: Produits de boulangerie-pâtisserie testés au Cameroun avec succès.

Produits finis	Farine de froment	Farines non panifiables utilisées	
Pain blanc français	90-95 %	Farine de tubercule ou de céréale	5 à 10 %
Pain de seigle	70%	Farine de tubercule ou de céréale	30%
Pain de blé/maïs	90%	Farine de maïs	10%
Pain de blé/patate douce	85%	Farine de patate douce	15%
Beignet traditionnel	60 à 90 %	Farine de tubercule	16 à 40 %
Beignet de boulangerie	60 à 90 %	Farine de tubercule	10 à 40 %
Pâtes alimentaires	10 à 90 %	Farine de tubercule	10 à 90 %

Sources : **Réné, (1995)**

Pour être utilisables en panification, les farines doivent avoir les qualités suivantes :

- une granulométrie fine et uniforme, voisine de celle de la farine de blé (environ 130 microns) ;
- une teneur en fibres inférieure à 1 %;
- une couleur blanche ;
- un taux d'humidité inférieur à 10 % ;
- une acidité inférieure à 1 % en équivalent acide lactique ;
- un bon pouvoir d'hydratation et de développement de la pâte par rapport à la farine de blé ;
- être inodore ;
- une faible teneur en tanins.

Imbs *et al.* (1989) ont étudié l'acceptabilité de pains à base de farines composées dans le Nord-Cameroun, cette étude a consisté à l'incorporation de farines locales (sorgho et maïs) à la farine de froment pour la fabrication du pain. A l'aide d'un plan de mélange ternaire, et un test hédonique, les résultats ont montré qu'il n'existe pas de

différence significative entre le pain de blé 100 % et le blé 90 %, maïs 10 %. Les formulations blé 80 %, sorgho 10 %, maïs 10 % présentent une bonne acceptabilité, cependant ils ont un léger défaut pour la couleur. Les formulations blé 75 %, sorgho 10 %, maïs 10 %, manioc 5 % présentent une bonne acceptabilité mais inférieure à celle du pain précédent.

Balla *et al.* (1999) ont étudié les propriétés boulangères de farines composites sorgho-blé à différents pourcentages. L'absorption d'eau et la stabilité au pétrissage des pâtes des farines composites diminuent lorsque le taux d'incorporation de la farine de sorgho augmente jusqu'à 20 %. Ces résultats s'expliquent d'une part par la faible teneur en protéines de la farine de sorgho et d'autre par le faible niveau d'endommagement des grains d'amidon de la farine de sorgho. L'effet d'une substitution partielle du blé par celle du sorgho induit aussi des modifications des caractéristiques alvéographiques. Lorsque le taux de substitution augmente, la ténacité de la pâte augmente aussi. Ceci est la conséquence de la mauvaise hydratation de la pâte composite. Par contre, le travail de déformation (W) et l'extensibilité (L) de la pâte diminuent, ce qui traduit des mauvaises propriétés de levage de la pâte. Quant au rapport P / L traduisant l'équilibre de l'alvéogramme, il augmente avec l'incorporation de farine de sorgho et démontre des pâtes peu extensibles.

I-8-4-Utilisation du taro en panification

Plusieurs travaux (Njintang *et al.,* 2008 ; Sanful, 2011; Himeda *et al.,* 2012b) ont été réalisés pour l'utilisation de la farine de taro comme ingrédient dans la formulation d'aliments. L'une de ces études a consisté à tester le potentiel de la farine de taro crue pour la substitution partielle de la farine de blé servant à la fabrication du pain ou du biscuit (Njintang *et al.,* 2008). Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de la farine de taro entraine une grande capacité d'absorption d'eau par rapport au blé, la farine composée blé-taro a généralement une tendance à augmenter la capacité d'absorption d'eau. De même, l'augmentation du niveau de la farine de taro dans la farine composée blé-taro a entraîné une diminution significative de la pression de rupture de la pâte, l'extensibilité, et l'indice de résistance à l'élasticité. Enfin, il a été montré qu'il n'existe pas une différence significative entre l'incorporation à 10 % de la farine taro dans la farine de blé et la farine à 1000 % blé concernant leur paramètre alvéographique. Ces observations sont semblables à ceux observé par Sanful (2011).

La composition chimique, les caractéristiques fonctionnelles et sensorielles de la farine composite blé-taro pour réaliser des biscuits ont été déterminés (himeda *et al.,* 2012b). Il ressort de ces analyses que 10 % d'incorporation de la farine précuite de taro (variété red ibo Ngaoundéré) dans la farine de blé et 15 % de la variété géante ressemblant à l'œuf présente des propriétés panifiables semblables à celle de la farine 100% blé, mais après ce seuil critique des valeurs de substitution, la pâte composite présente une très faible extensibilité, aucune élasticité et une résistance faible. Cependant, à tous les niveaux de substitution (jusqu'à 30 %), les biscuits sont soit acceptables ou même mieux que ceux obtenus avec la farine 100 % de blé.

I-8-5-Incorporation du gluten dans la farine.

Le gluten, mélangé au taux de 10 % à la farine de manioc a été utilisé avec succès en panification au Gabon. Le gluten est un sous-produit des amidonneries de blé et son prix abordable sur le marché permet d'envisager son utilisation en boulangerie commerciale. Cependant le gluten pose un problème pour les personnes souffrant de la maladie du cœliaque.

I-8-6-Ajout de substitut du gluten.

L'ajout de ces substituts est utilisé pour la production de pains moulés et non des pains de type français. Pour améliorer la cohésion, le substitut doit permettre une attraction entre les granules de l'amidon. Il doit agir comme un liant entre les granules. Les principaux substituts sont : Carboxymethylcellulose, gomme caroube, gomme xanthane, microcristalline cellulose, amidon prégélatinisé (Lazaridou *et al.,* 2007 ; Barcenas et *al.*, 2009).

I-8-7-Utilisation des gommes en panification.

Les gommes présentent plusieurs applications industrielles. Cependant dans le cadre de ce travail nous allons présenter leur utilisation en panification. De par leur richesse en fibres alimentaires, dans la littérature les gommes sont souvent associées à ces derniers.

I-8-7-1. Influence des gommes sur la capacité d'absorption d'eau.

L'influence de gommes sur les propriétés fonctionnelles de la pâte, est fonction de la nature, de l'origine, de la taille des particules, de la structure moléculaire des

gommes, ainsi que des concentrations de gommes ajoutées à différentes formulations de la pâte (Collar *et al.,* 1999).

Une des mesures rhéologiques empiriques les plus utilisées pour mesurer les propriétés fonctionnelles de la pâte est l'utilisation des équipements tels que le farinographe ou le mixographe. Sudha *et al.* (2007) ont utilisé le farinographe pour mesurer l'effet de l'addition du son de blé, de riz, d'avoine et d'orge sur la capacité d'absorption d'eau de la pâte. Les résultats ont montré que la capacité d'absorption d'eau de la pâte et du temps de développement de la pâte ont augmenté avec l'ajout de ces fibres. Par contre, la stabilité et la dureté de la pâte sont réduites avec l'ajout de ses sons. Ces résultats indiquent que les fibres entrainent un affaiblissement de la pâte. Le temps de développement de la pâte jusqu'à l'optimum exige une augmentation de la quantité d'eau et le temps de mélange. Les résultats sont en accord avec plusieurs d'études (Wang *et al.,* 2002; Sudha *et al.,* 2007; Anil, 2007; Ajila *et al.,* 2008 ; Penella *et al.,* 2008 ; Stojceska et Ainsworth, 2008). D'autres études réalisées par Peressini et Sensidoni (2009) ont trouvé que lorsqu'on ajoute de l'inuline pour substituer la farine de blé dans une préparation de pâte, la capacité d'absorption d'eau diminue avec le taux de substitution jusqu'à une teneur de 7,5 %. Cependant, Rosell et *al.* (2006) ont constaté que l'ajout de l'inuline n'a pas entrainé des effets significatifs de la capacité d'absorption d'eau de la pâte mesurée avec le farinographe. Barcenas *et al.* (2009) ont étudié l'influence des gommes arabiques, pectines, et Hydroxymélthylcéllulose (HPMC) à différentes concentrations sur la capacité d'absorption d'eau. Les résultats ont montré que la gomme arabique n'affecte pas de façon significative, la capacité d'absorption d'eau. Ceci serait dû à la structure compacte et fortement branchée de la gomme arabique qui pourrait inhiber l'interaction entre les régions polaires et la chaine peptidique du gluten. La gomme HPMC entraîne une influence significative sur la capacité d'absorption d'eau. Cette dernière décroît avec l'augmentation de la concentration de la gomme (0,002 g HPMC / g gluten) mais au-delà de cette

concentration aucune baisse de la capacité d'eau n'est observée. Comme s'il y'avait d'abord une interaction entre les groupements hydroxyle de la gomme et celle des protéines du gluten. Ensuite cette interaction aurait baissé avec la présence des molécules d'eau. La gomme pectine entraine une baisse significative de la capacité d'absorption d'eau mais cette baisse n'est pas dépendante de la concentration de la gomme. En effet, Les pectines sont des polyosides composés essentiellement de chaînes d'acide galacturonique liées en α (1-4), de configuration 4C1. Des molécules de sucres neutres : arabinose, galactose, xylose, rhamnose et glucose s'intercalent également dans la chaîne provoquant une irrégularité de sa structure. Cette irrégularité pourrait expliquer la baisse de la capacité d'absorption d'eau. Des résultats similaires ont été rapportés par Rosell *et al.*(2001).

I-8-7-2. Influence des gommes sur les propriétés rhéologiques.

Les gommes sont constituées de polysaccharides solubles dans l'eau ayant des structures chimiques différentes et possédants des groupements fonctionnels qui ont des propriétés gélifiantes, épaississantes, stabilisantes, moussantes. Ils permettent la rétention d'eau en améliorant les propriétés de texture, en contrôlant la mobilité des molécules d'eau (Rosell *et al.,* 2007). Elles sont souvent utilisées pour retarder le rancissement des produits de boulangeries (Bárcenas et Rosell, 2005). Guarda *et al.* (2004) ont étudié l'influence de plusieurs hydrocolloïdes sur la qualité de pain sans gluten et leur effet sur le rancissement du pain. La plupart des gommes utilisées ont montré leur habileté à réduire la déshydratation de la mie du pain au cours du stockage. Les gommes alginate et les gommes HPMC ont retardé le rancissement du pain. La capacité des alginates et des gommes HPMC à diminuer le rancissement des produits

pâtissier est due à l'inhibition de l'interaction entre le gluten et l'amidon (Davidou *et al.,* 1996 ; Bárcenas et Rosell, 2005).

Dans le même ordre d'idée, Lazaridou *et al.* (2007) ont étudié l'influence des gommes sur la rhéologie des pâtes et la qualité finale des pains. Les formulations étaient basées sur les farines de riz, l'amidon de maïs, et les caseinates de sodium. Les résultats ont montré que la gomme xanthane a eu plus d'effet sur les propriétés viscoélastiques des pâtes. De même, l'ajout de gomme xanthane aux formulations a montré une courbe sur le farinographe qui est similaire à la courbe obtenue avec les farines de blé. De plus, parmi, les formulations où l'on a ajouté de la gomme et après mesure du fluage, le classement de la viscoélasticité des pâtes est la suivante: xanthane > CMC > pectine > agarose > b-glucane. Une autre caractéristique rhéologique qui a été intensivement étudiée sur les gommes est la stabilité de la pâte. Ceci se rapporte à un affaiblissement dans le développement de la pâte, et lui devenant moins stable pendant le pétrissage. Beaucoup d'études ont été entreprises afin d'étudier les effets de l'addition des gommes sur les propriétés stabilisantes de la pâte. Des résultats contradictoires ont été observés: la stabilité de la pâte augmente avec l'addition de différents types de fibres telles que l'inuline (Wang, et *al.,* 2002 ; Peressini et Sensidoni, 2009) et le son du blé (Penella et *al.,* 2008). Cependant aucun effet n'a été observé avec l'ajout des fibres de la betterave à sucre (Rosell et *al.,* 2006). L'extensibilité de la pâte est une propriété rhéologique régulièrement utilisée pour évaluer la qualité de la pâte. Une bonne extensibilité de la pâte permet d'obtenir des cellules de gaz formées pendant la fermentation et la cuisson Elle permet aussi de prévenir une rupture prématurée des cellules de gaz. (Bloksma et Bushuk, 1988). Certain travaux ont montré que l'addition de la fibre provenant de plusieurs sources diminue l'extensibilité de la pâte, tandis qu'elle a un effet variable sur la résistance. (Anil, 2007 ; Sudha et *al.,* 2007). Barros et *al.* (2010) ont étudié les propriétés rhéologiques des farines de blé tendres, à ces farines de blé ils ont ajouté du son de blé. L'ajout du son de blé n'a eu aucun effet significatif sur la résistance de la

pâte. Ayadi *et al.* (2009) ont étudié l'extensibilité des pâtes issue des farines composée blé- *Opuntia ficus.* Le matériel utilisé pour la mesure était en l'alvéographe qui mesure l'extensibilité biaxiale (L). Les résultats ont montré que l'addition des farines d'*Opuntia ficus* comme source de fibre diététique a réduit l'extensibilité biaxiale (L) et la diminution la plus élevée a été observée lorsque 20 % de la farine de blé ont été substitué avec les farines d'*Opuntia ficus*. Réciproquement, la résistance de la pâte à la déformation (P) a augmenté avec l'addition des farines d'*Opuntia ficus*. Wang et *al.* (2002) ont également remarqué que ces paramètres ont augmenté lors de l'addition de trois sources de différentes fibres (caroube, inuline, et pois), avec de l'inuline ayant une augmentation la plus élevée. Dans la même étude, l'extensibilité de la pâte a diminué pour toutes les fibres exceptées l'inuline. Les interactions entre la fibre et les protéines de blé ont pu expliquer ces résultats, et également les différents composants de chaque fibre (par exemple la teneur élevée de cellulose dans les fibres de pois a pu être responsable de la baisse de l'extensibilité observée). Les résultats de l'alvéographe dans cette étude dépeignent les capacités de fermentation de la pâte (mesurée avec le rhéofermentomètre), où l'addition des fibres réduit la hauteur maximum de la pâte pendant la fermentation. Cependant, l'addition de l'inuline et de la fibre de caroube a conduit à obtenir des pâtes plus stables qui pourraient résister à une plus longue période d'imperméabilisation. Des résultats similaires ont été rapportés par Penella *et al.* (2008), qui ont constaté que l'addition du son de blé affecte négativement le développement de la pâte pendant la fermentation. Les mêmes auteurs montrent qu'en réduisant la taille de particules du son le développement de la pâte a pu être amélioré.

Plusieurs autres test rhéologiques tels que le profil de texture, la viscosité de la pâte, et les mesures dynamiques d'oscillation ont été également réalisés sur des pâtes supplémenté avec les fibres (Gomez et *al.,* 2010 ; Martinez-Cervera et *al.,* 2011) Peressini et Sensidoni, 2009 ; Sullivan *et al.,* 2010). Les résultats réalisés par Martinez-Cervera et *al.* (2011) ont montré que l'addition de la fibre de cacao a augmenté la

viscosité de la pâte et l'indice de consistance (k) et a abaissé l'index d'écoulement(n). Ceci indique une plus grande résistance à l'écoulement et donc une structure de plus en plus empêtrée. De tels changements de viscosité peuvent affecter la masticablité de la pâte ainsi que la qualité du produit final. Des résultats similaires ont été obtenus par Gomez *et al.* (2010) lors de l'ajout sur la pâte de la cellulose du son de blé, et des fibres d'avoine. Les pâtes ont présenté de grandes valeurs de G' et de G'' indiquant une pâte plus raide, d'une uniformité plus élevée et ayant une résistance à l'écoulement.

Aussi bien que certaines recherches se sont concentrées sur la pâte, d'autres se sont focalisées sur les caractéristiques physiques des produits panifiés substitués avec les gommes. Les résultats montrent que l'ajout de fibre influence négativement les produits panifiés (Katina, 2003). D'une manière générale, l'ajout de la fibre réduit le volume de pain, et permet d'obtenir des pains moins aérés et plus denses en produisant une mie plus dure et plus foncée. Stojceska et Ainsworth (2008) ont montré une diminution du volume de pain et une augmentation de la fermeté de la mie lorsque la farine de blé a été substituée avec la drêche de brasserie à des niveaux jusqu'à des teneurs de 30 %. Les résultats semblables ont été rapportés par d'autres auteurs (Laurikainen et *al.,* 1998 ; Salmenkallio-Marttila et *al.,* 2001 ; Wang et *al.,* 2002 ; Katina et *al.,* 2006). Sudha et *al.* (2007) ont substitué la farine de blé avec de la pulpe de pomme pour confectionner un gâteau, les résultats ont montré que le volume de pâte diminuait tandis que la densité et la dureté augmentaient au fur et à mesure que le niveau de substitution de la pulpe augmentait, Des résultats semblables ont été observés par Rupasinghe et *al.* (2009) avec les fibres issues de la pulpe de fruits. Cependant Gomez et *al.* (2010) ont obtenu une augmentation du volume de gâteau lorsque la farine de blé est substituée avec les fibres de blé ou d'avoine ayant différentes tailles de particules. Les gâteaux substitués jusqu'à 24 % de fibres ont un plus grand volume comparé au témoin (626 mL comparé à 508 mL). Lorsque 36 % des farines sont substituées par les fibres, on observe une diminution du volume du gâteau à 569 mL

mais il est encore plus élevé que le contrôle. Ces auteurs ont également montré que les fibres ayant des tailles de particules comprises autour de 80 µm produisent des gâteaux ayant un grand volume. Cependant leurs résultats sur la texture des gâteaux est similaire aux résultats de Sudha et *al.* (2007). Des résultats négatifs ont été trouvés sur les biscuits lorsque la farine de blé est substituée avec les pulpes d'orange (Larrea et *al.,* 2005) du son de blé (Gujral et *al.,* 2003) les fibre de mangue, de citron et de pomme. (Uysal et *al.,* 2007 ; Ajila et *al.,* 2008). L'effet négatif serait dû à l'augmentation de la dureté, la baisse de la croustillance. Des effets négatifs moindres, ont été trouvés par Brennan et Samyue (2004). En effet, ces auteurs ont montré que la substitution avec l'inuline, les fibres de patate, et les amidons résistants n'ont pas eu d'effet significatif sur les propriétés physiques et texturales de biscuits. Il est a noté que la substitution avec l'amidon résistant n'était que de 10 %.

Les propriétés sensorielles sont également affectées avec l'addition des gommes. Les études ont montré que les produits panifiés et ayant des teneurs élevées en gommes de xanthane n'étaient pas acceptés. Les résultats de l'analyse sensorielle montrent qu'indépendamment du type de fibre et des niveaux utilisés, l'acceptabilité de l'ajout de fibre varie entre 5 et 15% (Grigelmo-Miguel *et al.,* 2001; Wang, *et al.,* 2002; Larrea *et al.,* 2005; Anil, 2007; Stojceska *et al.,* 2008; Ajila *et al.,* 2008 ; Ayadi *et al.,* 2009 ; Peressini et Sensidoni, 2009). La baisse de l'acceptabilité des produits panifiés est majoritairement influencée par l'apparence, la texture, et la flaveur. Cependant, certaines études ont révélé des exceptions. Les travaux d'Utrilla-Coello *et al.* (2007) ont montré que la substitution de la farine de blé avec les farines de pois chiche jusqu'à des teneurs de 40% produit les pains ayant des propriétés sensorielles acceptables, qui ne sont pas significativement différentes des pains témoins (100 % de farine de blé). Des résultats similaires ont été observés par Laguna *et al.* (2011) qui ont substitué la farine de blé avec les amidons résistants.

I-8-7-3. Résumé de l'influence des gommes ou des fibres sur la qualité des produits.

Le bilan de cette revue montre que les gommes ont une influence significative sur la pâte et les produits panifiés. Ces influences sont résumées ainsi qu'il suit.

Sur la pâte et les gommes :

-augmentent l'absorption de l'eau de la pâte lors du mélange

-augmentent le temps de développement et la stabilité de la pâte au cours du mélange

-diminuent le développement de la pâte lors de fermentation.

-diminuent l'extensibilité de la pâte

-influencent les modules visqueux et élastiques de la pâte c'est -à-dire que : la pâte devient plus raide, ou dans certains cas augmente la viscosité.

Sur les produits panifiés les gommes :

-diminuent le volume de pain.

-Affectent la texture (augmente la dureté de la mie, et la baisse la croustillance).

-Changent l'aspect du pain (couleur de la mie, de la croute, et la densité).

-Affectent le goût.

I-8-7-4. Mécanisme technologique de l'influence négative des gommes sur la pâte au cours de la substitution.

La formation du réseau de gluten pendant la préparation du pain est essentielle. Ce réseau est responsable de la rétention du gaz produit au cours de la fermentation, du volume de la pâte, de la structure de la mie, et de la texture des produits panifiés. L'influence négative des gommes dans la pâte au cours de la substitution du blé, s'explique par la dilution du gluten. Cependant, cette dilution ne peut pas être seulement l'explication de l'impact négatif (Galliard et Gallagher, 1988; Noort *et al*., 2010). Une autre explication donnée à cet impact négatif est la restriction de l'eau par les gommes au gluten (Autio, 2006), la destruction physique du réseau de gluten et par là l'absence de gaz (Gan *et al.,* 1992). En effet ces derniers auteurs ont montré que les particules du son du blé détruisent la matrice gluten-amidon, agissant ainsi comme des points de faiblesse pour l'extensibilité de la pâte en faisant agrandir les cellules de gaz dans une autre direction. Ces effets ont une incidence sur le développement de la pâte et le volume de la pâte, et la structure de la mie des produits panifiés. Par ailleurs (Wang *et al.,* 2003) ont montré que le son du blé de par sa richesse en pentosanes est comparée à la matrice gluten-amidon, et présente une grande affinité avec les molécules d'eau. C'est cette grande affinité qui rend indisponible l'eau à la matrice gluten-amidon. Noort *et al*. (2010) bien que partageant l'explication de Wang *et al.* (2003) propose aussi que la réagrégation du gluten avec les gommes peut d'une manière ou d'une autre expliquer l'instabilité de la formation des cellules de gaz au cours de la fermentation.

I-9-Bilan de la revue bibliographique.

L'ensemble des données bibliographiques décrites ci-dessus a mis en évidence quelques points essentiels.

- En premier lieu, la plupart des composés présents dans les tubercules de différentes espèces de taros (*Colocasia spp*., *Cyrtosperma spp., Alocasia spp.*) et ayant une valeur nutritionnelle reconnue, cependant cette composition biochimique varie en fonction de plusieurs paramètres.

- La gomme *Grewia mollis* est une nouvelle gomme aux usages multiples en médecine traditionnelle, dont son utilisation en boulangerie n'a pas encore fait l'objet d'études, de plus l'optimisation des paramètres d'extraction restent encore à être élucidée.

- Enfin, les problèmes qui entravent jusqu'ici la valorisation du taro *Colocasia esculenta* en panification semblent être majoritairement liés à la perte de la viscoélasticité observée au cours de l'incorporation de la farine de taro. Par conséquent pour résoudre ce problème l'ajout de la gomme *Grewia mollis* pourrait augmenter la quantité de farine de taro à incorporer lors de la substitution de la farine de blé.

CHAPITRE II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1.Échantillonnage et production des farines.

II-1-1.Échantillonnage et production de la farine du taro (*Colocasia esculenta*) pour caractérisation physicochimique.

Les tubercules de maturité 8 à 9 mois ont été récoltés dans un champ paysan à proximité de la ville de Buea. Les tubercules ont été lavés à l'eau du robinet, épluchés et calibrés pour éliminer les échantillons défectueux au laboratoire. Les tubercules ont été divisés en 4 groupes correspondants en fonction de leurs masses : masses < 170 g < masses < 214 g, 214 g < masses < 284 g, et masses > 284 g. Les 4 classes ont été obtenues du diagramme de distribution d'un échantillon de tubercules de taro chaque groupe de tubercules a été pelé manuellement en utilisant un couteau en acier inoxydable. Les tubercules pelés ont été lavés abondamment à l'eau de robinet et coupés en tranches de 0,5 cm d'épaisseur, disposés sur des claies en aluminium et déposé dans un séchoir (drying oven, THERMOSI, Model SR 1000) à convection air forcée pour une opération de séchage pendant 48 h à 45 ± 2 °C. Après séchage, les cossettes ont été broyées dans un broyeur à marteau de type cullati (Polymix, Kinematica AG, Luzenestrasse, Germany) doté d'un tamis de 500 µm de diamètre, et les farines obtenues ont été scellées dans des sacs en polyéthylène et conservées à 4 °C jusqu'à utilisation.

II-1-2. Échantillonnage et production de la poudre de l'écorce de *Grewia mollis* pour l'optimisation de l'extraction.

L'écorce de *Grewia mollis* a été achetée dans un marché local de plante médicinale dans la ville de Maroua. La plante ainsi récoltée a été conduite au laboratoire pour enlever les écorces de la tige. Les écorces ont été séchées à l'air libre pour 24 h.

Ensuite ces écorces ont été découpées, puis broyées avec un broyeur de type culati. Les poudres ainsi obtenues ont été stockées pour l'extraction de la gomme selon le plan d'expérience de type composite centré à face centré. Par ailleurs des analyses de composition proximale ont été réalisées sur la poudre de l'écorce de *Grewia mollis* selon les protocoles pour chaque composé chimique décrit dans l'objectif 1.

II-1-3.Échantillonnage et production de la poudre des farines de blé, taro et gomme pour le plan de mélange.

La farine de blé a été achetée dans un supermarché local de Nancy, Région de Lorraine, France. Les tubercules de taro de variété *Lamba* ont été récoltés dans un milieu paysan du sud du Cameroun. Ils ont été acheminés au laboratoire, les tubercules de masse 284 g ont été pelés et traités tel que décrit sur la figure 4A. La Gomme *Grewia mollis* a été extraite à partir de la poudre obtenue de l'écorce de la tige selon le schéma de la figure 4 B. Les poudres obtenues ont été stockées dans un réfrigérateur à 4 °C avant l'utilisation.

Tubercule de taro cru de masse > 284 g

Ecorce fraiche de *Grewia mollis.*

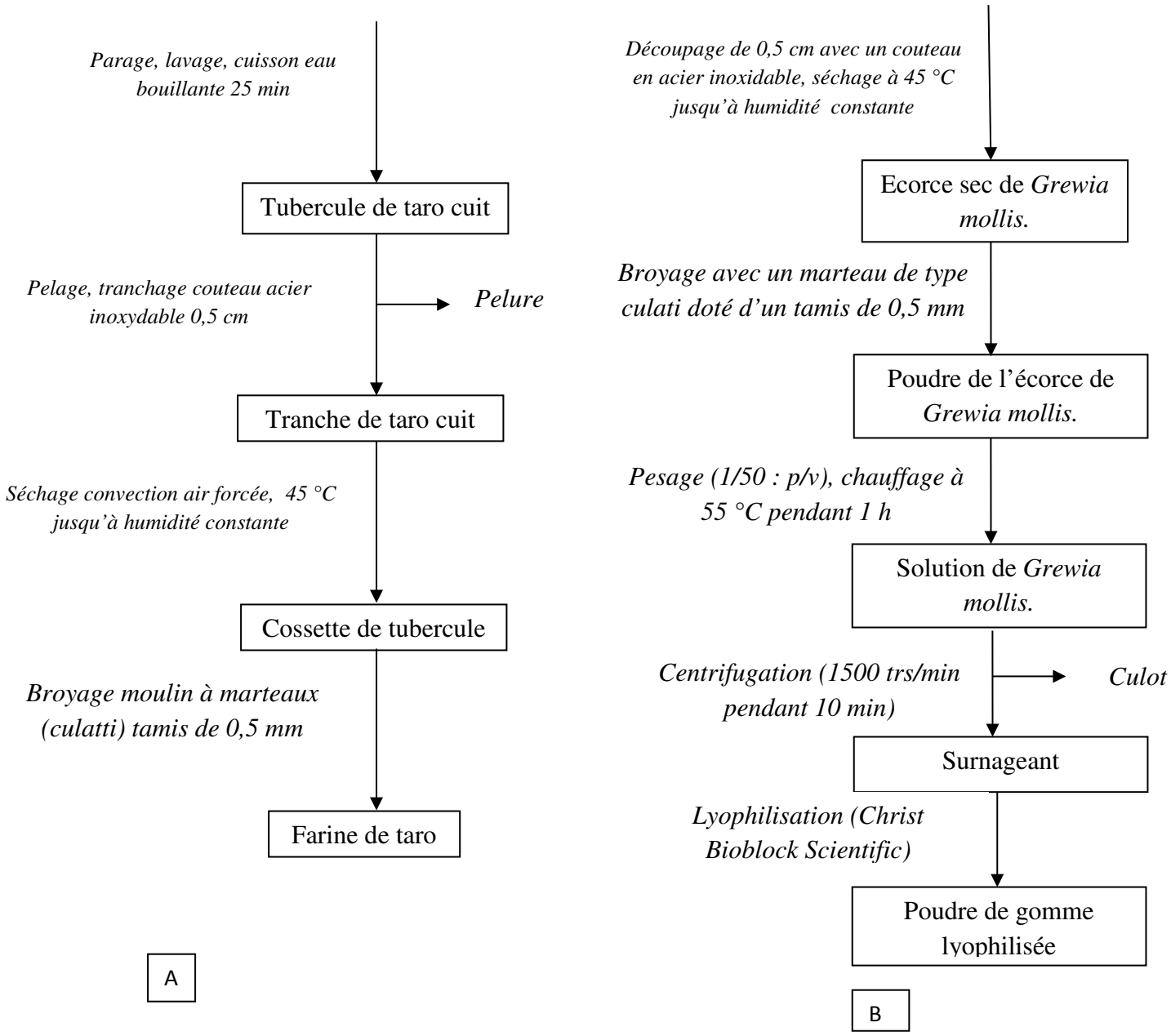


Figure 4 : Schéma de production de la farine de taro (A) et de la poudre de la gomme (B).

II-2-Analyse des propriétés physico-chimiques de la farine de taro

II-2-1-Détermination de la teneur en eau des farines

La détermination de la teneur en eau a été effectuée par la méthode AOAC (1990) basée sur la mesure de la perte en masse des échantillons après étuvage à 105 ± 2 °C jusqu'à élimination complète de l'eau libre et des matières volatiles.

Mode opératoire

Le creuset séché à l'étuve a été refroidi dans un dessiccateur pesé et taré (M0). Une masse d'échantillon de 1 g a été introduite dans le creuset (M1) et séchée à l'étuve à 105 ± 2 °C pendant 5 h jusqu'à obtention d'une masse constante. L'échantillon a été refroidi dans le dessiccateur et pesé (M2).

La teneur en eau ou le taux d'humidité (TH) a été calculée suivant la relation :

$$TH = \frac{(M1 - M2) * 100}{M1 - M0}$$

M0 : poids du creuset à vide

M1 : poids du creuset contenant le matériel à sécher

M2 : Poids de l'ensemble creuset et produit après étuvage

II-2-2-Détermination de la teneur en cendres brutes (AOAC, 1990)

Les cendres d'un aliment constituent le nom que l'on attribue à un résidu inorganique résultant de la combustion de la matière organique qui est transformée en CO_2, H_2O et éventuellement en NO_2. Par conséquent, les cendres d'un matériau sont le point de départ pour l'analyse de minéraux spécifiques à des fins nutritionnelles.

- **Mode opératoire**

Pour déterminer la teneur en cendres des farines, la matière sèche des farines a été incinérée dans un four à moufle à 550 °C jusqu'à obtention des cendres blanches après 24 h. Le taux des cendres a été exprimé par rapport à 100 g de produit sec par la relation :

$$Cendre\ (\%) = \frac{(M3 - M1) * 100}{M2 - M1}$$

D'où M1 est la masse en gramme de la capsule vide ;

M2 est la masse de la capsule + masse de la prise d'essai séchée à 105 °C à l'étuve ;

M3 est la masse de la capsule contenant le résidu après incinération.

II-2-3-Détermination de la teneur en protéines totales.

Les échantillons secs de farines ont été minéralisés dans des matras de Kjeldahl (AFNOR, 1995). L'azote a été dosé à l'aide d'un appareil semi-automatique GEHARDT (Paris, France). La teneur en protéines brutes a été obtenue en multipliant la teneur en azote par le facteur conventionnel de 6,25 (FAO / WHO, 1985).

- **Mode opératoire**

0,1g d'échantillon a été introduit dans un matras de Kjeldahl, puis 2 mL d'acide sulfurique concentré et une pincée de catalyseur de minéralisation (Na_2SO_4 + $CaSO_4$ + Se) y ont été ajoutés. La minéralisation a été faite sur une rampe électrique à 400 °C. Le liquide de minéralisation devient incolore au bout de 2 h. Dans l'appareil à distiller semi-automatique Gerhardt (Vapodest 4S, Paris France), le contenu du matras de Kjeldahl a été additionné de lessive de soude NaOH (soude 10 N) ; il s'est produit la réaction suivante :

$$(NH_4)_2\ SO_4 + 2\ NaOH \longrightarrow Na_2SO_4 + 1/2H_2O + 2NH_3$$

L'ammoniac dégagé se combine instantanément avec la vapeur d'eau pour donner l'hydroxyde d'ammonium. Celui-ci, entraîné par la vapeur, se condense dans le réfrigérant et est finalement récupéré dans une solution d'acide borique contenant un indicateur coloré (vert de bromocrésol et rouge de méthyle (3 % ; p / v), vert en milieu alcalin et rose en milieu acide. Il se forme le borate d'ammonium selon la réaction :

$$NH_3 + 2H_3BO_3 \longrightarrow NH_4^+ + H_2BO_3^- + H_3BO_3$$

La solution vire au vert à cause du caractère alcalin du borate. Lors du dosage semi-automatique, ce sel est déplacé par un acide fort (H_2SO_4, 0,01 N) et, le sulfate d'ammonium est alors reformé selon la réaction:

$$2NH_4 + H_2BO_3 + 2H_2SO_4 \longrightarrow H_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 2H_2BO_3$$

Le moindre excès d'acide sulfurique provoque le virage au rose de la solution. Le volume de H_2SO_4 (0,01N) versé correspond à l'ammonium contenu dans le tube de départ. Un essai à blanc (sans échantillon) est effectué dans les mêmes conditions.
Le pourcentage d'azote dans la matière sèche est déduit de la formule :

$$(\%)N = \frac{[(V1 - V0) * 0{,}14 * 0{,}001] * 100}{m}$$

Avec :

V1 = volume de H_2SO_4 utilisé pour la titration de l'échantillon ;

V0 = volume de H_2SO_4 utilisé pour la titration de l'essai à blanc ;

m = masse de l'échantillon.

La teneur en protéines brutes (totales) a été calculée en multipliant la teneur en azote par le facteur 6,25 pour les mélanges de farines et 5,7 pour la farine de blé.

Trois essais ont été réalisés sur un même échantillon.

II-2-4-Détermination de la teneur en sucres réducteurs et sucres disponibles.

Les sucres réducteurs des farines ont été extraits à l'eau, tandis que les sucres disponibles ont été extraits avec de l'acide sulfurique (1,5 N). Après extraction des deux types de sucres, la méthode colorimétrique utilisant le DNS (Acide 3, 5 dinitrosalicylique) décrite par Fischer et Stein (1961) a été utilisée pour le dosage des sucres.

- **Principe**

L'acide 3, 5 dinitrosalicylique (DNS) forme par réduction en milieu alcalin, un complexe marron lorsqu'il est chauffé en présence des sucres solubles, figure 5. L'intensité de la coloration développée à 540 nm est utilisée pour quantifier les sucres présents**.**

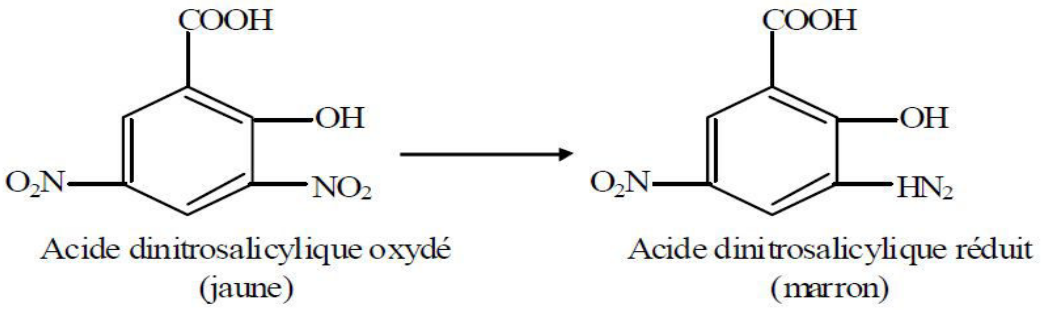


Figure 5 : Formule DNS avant (A) et après chauffage (B).

Extraction

Pour l'extraction des sucres disponible, une prise d'essai de 0,75g de farine a été dispersée dans 5 mL d'acide sulfurique (1,5 N). L'ensemble a été chauffé pendant 20 min, puis, il a été ajouté 5 mL de NaOH 10 % et, le tout a été ajusté à 50 mL jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. L'étalonnage a été préparé à partir du glucose et les résultats ont été exprimés en gramme de glucose pour 100 g de produits secs (g/100g M.S), à partir de l'équation de régression établie avec la gamme de glucose de 0 à 1 mg/mL.

II-2-5-Détermination de la teneur en lipides totaux.

L'extraction des lipides totaux a été effectuée par la méthode de Folch *et al.* (1957). Une prise d'essai de 2 g de farine de taro est mise en présence de 40 mL de mélange chloroforme: méthanol (2 : 1). Après 30 min d'agitation, le mélange est centrifugé pendant 10 min à une vitesse de 500 g (soit 3 500 tr/min) puis, filtré. Cette opération est effectuée trois fois sur le même contenu de farine et ce, afin d'épuiser entièrement son contenu en composés organiques. Le mélange a été récupéré après filtration dans un ballon préalablement taré. Il y a été ajouté ensuite une solution de KCl à 9 % et le mélange a été agité à travers une baguette en verre. Le ballon est connecté à un évaporateur rotatif réglé à 70 °C pour récupérer les lipides totaux et ce, après évaporation des solvants. Les lipides totaux ont été quantifiés par la prise de pesée.

II-2-6-Détermination des teneurs en fibres alimentaires.

Les fibres alimentaires ont été déterminées par la méthode **A.O.A.C (1997).** Ce dosage détermine le taux de fibres totales d'un aliment en utilisant une combinaison de méthodes enzymatiques et gravimétriques. Le taux de fibres est équivalent au poids du

résidu de la gélatinisation puis, digestion par l'α-amylase et, de la digestion avec une protéase et l'amyloglucosidase moins le poids des protéines et des cendres.

- **Mode opératoire**

Digestion

Dans les erlenmeyers, 0,2 g ont été pesés de chaque échantillon et 10 mL de tampon phosphate (pH = 6,0) ont été ajoutés, ainsi que 0,02 mL de solution d'α-amylase. Après avoir été recouvert avec du papier aluminium, les erlenmeyers ont été introduits dans un bain-marie maintenu à 90 °C sous agitation pendant 15 min. Après refroidissement, le pH des solutions a été ajusté à 7,5 ± 0,2 par ajout de 10 mL de NaOH 0,275 N. De plus, l'on a additionné au mélange 0,02 mL de protéase et, l'ensemble a été incubé pendant 30 min au bain-marie à 60 °C. Après refroidissement du mélange, le pH a été de nouveau ajusté entre 4,0 et 4,06 par addition de 2 mL de HCl 0,325 M. Un volume de 0,02 mL de solution d'amyloglucosidase a été ensuite ajouté avant une troisième incubation dans les mêmes conditions qu'après ajout de NaOH. Le volume de la solution a été alors complété à 50 mL à l'aide de 40 mL d'éthanol à 90°. Ceci a permis d'obtenir une précipitation complète au cours d'une incubation pendant 24 h.

- **La filtration**

La filtration des solutions a été faite à travers du papier filtre. Le résidu a été lavé avec 12 mL d'éthanol à 78 %, une portion de 2 mL d'éthanol à 95% et une portion de 2 mL d'acétone. Le résidu final, enveloppé dans le papier filtre utilisé, est passé au séchage, à l'étuve à 105 °C pendant 24 h et pesée. Une moitié a été utilisée pour la détermination du taux de cendres par incinération dans un four à moufle pendant 3 h et l'autre moitié a servi à la détermination des protéines résiduelles par la méthode de Lowry et *al.* (1951).

- **Expression des résultats**

Le taux de fibres alimentaires (%FA) dans les échantillons se calcule par la différence entre le poids du résidu sec et celui des protéines et des cendres.

$$\%F = \frac{(P_r - P_p - P_c) * 1}{P_e}$$

Avec Pr = masse du résidu ;

Pp = masse des protéines résiduelles ;

Pc = masse des cendres ;

Pe = matière sèche dans la prise d'essai.

II-2-7-Détermination de la teneur en phytates.

La détermination de la teneur en phytates s'est opérée par la méthode colorimétrique de Vaintraub et Lapteva (1988) et modifiée par Gao *et al.* (2007) comme suit : (1) le temps d'extraction prolongé à 16 h, (2) la température de centrifugation réduite à 10 °C, et (3) une étape de nettoyage insérée pour augmenter le recouvrement de l'acide phytique (PA) ; ainsi, une prise d'essai de 0,5 g a été introduite dans un tube à centrifugation en présence de 10 mL de HCl 2,4 %. Le mélange a été maintenu en agitation pendant 16 h à 200 trs/min (agitateur Polytest 20), suivi d'une centrifugation à 3000 trs/min pendant 20 min à 10 °C. Le surnageant a été récupéré et 1 g de NaCl y a été ajoutée. Les contenus des tubes ont été agités à 200 trs/min pendant 20 min pour dissoudre le NaCl et transférés en vue d'une décantation à 4 °C pendant 60 min (sinon -20 °C pour 20 min). Les mélanges ont été centrifugés à 1000 trs/min pendant 20 min, et les surnageants clarifiés par le traitement au NaCl ont été recueillis pour le dosage. Ce traitement au NaCl précipite les composants matriciels qui pouvaient interférer avec la réaction colorimétrique. Au dosage, 250 µL du surnageant clarifié ont été mélangés à 2750 µL H_2O distillée dans un tube à centrifugation. A ces 3 mL d'extrait ainsi traités il a été ajouté 1 mL du réactif de Wade (0,03 % $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ + 0,3 % acide

sulfosalicylique) et le contenu du tube a été agité et centrifugé à 1000 trs/min à 10 °C pendant 10 min. Les densités optiques (DO) ont été lues à 500 nm contre de l'eau distillée; un tube témoin constitué de 3 mL d'eau + 1 mL de réactif de Wade a été lu après centrifugation dans les mêmes conditions que les échantillons. La concentration en phytates a été calculée à partir de la différence entre l'absorbance du témoin et celle des échantillons testés en utilisant une courbe d'étalonnage d'acide phytique.

La teneur en phytate a été calculée selon la formule suivante:

$$phytate(\%) = \frac{Ci * Vt * 100}{Ms}$$

Avec Ci : concentration initial en phytate dans l'extrait (mg/mL),

Vt : volume total de l'extrait (en mL),

MS : masse sèche de la prise d'essai (en g).

Cependant, le phosphore phytique, désigné par PA-P et représentant 28,2 % de l'acide phytique PA, a été calculé par la relation suivante:

$$PA - P\ \left(\frac{mg}{100} g\ MS\right) = \frac{PA}{3{,}548} = 0{,}282 * PA$$

Les résultats ont été exprimés en mg d'acide phytique pour 100 g de matière sèche. Pour préparer la courbe d'étalonnage d'acide phytique, une série de solutions standard contenant de l'acide phytique a été préparée à raison de 5 à 40 µg/mL dans l'eau distillée (Latta et Eskin, 1980). 3 mL de ces standards ont été pipetés et introduits dans des tubes à centrifugation. A chaque tube a été ajouté 1 mL du réactif de Wade, et la solution a été homogénéisée par agitation pendant 5 s. Ensuite, le contenu a été centrifugé pendant 10 min à 1000 trs/min à 10 °C et la DO du surnageant a été lue à 500 nm en utilisant de l'eau pour remettre le spectrophotomètre à zéro.

II-2-8-Dosage des minéraux.

La teneur en minéraux (Ca, Na, Mg, K, Mn, Fe) a été déterminée par spectroscopie d'absorption atomique après solubilisation des cendres de 1g de farine en milieu acide. Les cendres ont été traitées avec 10 mL d'acide chlorhydrique puis complétées avec de l'eau à 100 mL. L'appareil utilisé était le spectromètre d'absorption atomique AAS 1100 (Perkin-Elmer, USA) alimenté par une flamme air-acétylène. Pour l'extraction du Ca et du Mg, il a été ajouté 10 mL de chlorure de lanthane (18 g d'oxyde de lanthane + 250 mL d'HCl concentré dans 100 mL d'eau distillée) avant de compléter la fiole jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.

II-2-9-Détermination du profil en acides aminés.

La détermination de la composition en acides aminés a été faite par chromatographie liquide haute performance en phase inverse (Colonne PTC RP-18,220 mm de longueur, 2,1 mm de diamètre interne et une pré-colonne, Applied Biosystems, Applera Corp, Fosters City, CA, USA). Les échantillons de farines de taro ont été hydrolysés sous vide à 150 °C pendant 60 min dans un appareil Pico-Tag (Waters, Milford, MA, USA) en présence de HCl 6 N avec 1% de phénol, puis récupérés par de l'eau ultra pure et déposés sur un « auto dérivateur analyseur - 420a » de marque Applied Biosystems (Applera: Corp, Fosters City, CA, USA). La dérivation au phényle isothiocyanate (PITC) a été faite en pré-colonne. La séparation des acides aminés a été faite sur une chaîne HPLC (Applied Biosystems model 172A: Corp, Fosters City, CA, USA) avec une colonne de phase inverse PTC RP-18 (2,1 x 220mm) série 238638, lot N° 02M9-40531 Brownlee (Applied Biosystems model 172A: Corp, Fosters City, CA, USA). Les solvants utilisés pour cette analyse sont l'acétate de sodium 45 mM pH 5,90 (A) et un mélange de 30 % d'acétate de sodium 105 mM, pH 4,60 et 70 % acétonitrile

(B), et la détection a été faite à 254 nm. L'acquisition et l'exploitation des résultats ont été faites par le logiciel Model 600 Data Analysis System (Applied Biosystems, Applera: Corp, Fosters City, CA, USA). Les paramètres du gradient sont consignés dans le tableau 6 suivant.

Tableau 6: Gradient d'élution des acides aminés par chromatographie liquide haute performance en phase inverse

Etapes	Temps (min)	Solvant A(%)	Solvant B (%)
1	0,1	100	/
2	0,2	100	/
3	10	62	38
4	20	42	60
5	25	/	100
6	30	/	100
7	31	/	100
8	0	95	5

II-2-10-Analyse thermique différentielle des farines.

L'analyse thermique différentielle (ATD ou DSC : «Differential Scanning Calorimetry») permet de déterminer les variations d'énergie liées à un changement d'état. L'analyse est dite « différentielle » car le flux énergétique mesuré au niveau de l'échantillon est soustrait à celui d'un point de référence constitué par une capsule vide. Un balayage de température permet donc de déterminer la température correspondant aux changements d'état, ainsi que la quantité d'énergie dégagée (transformation exothermique) ou consommée (transformation endothermique) lors du changement d'état.

Les thermogrammes de DSC des farines de taro ont été enregistrés sur un Perkin-Elmer Pyris1 modèle (Perkin-Elmer Corp Norwalk, USA) avec une vitesse de

chauffage de 5 °C/min et un balayage de température de 25 à 98 °C. Les farines ont été dispersées dans de l'eau distillée (1 : 3, w/v) dans une capsule d'aluminium hermétiquement scellée. L'appareil a été calibré pour la température et la mesure d'enthalpie avec de l'indium, et une capsule vide a été utilisée comme référence. Le logiciel *Pyris 1* a été employé pour calculer la capacité de chaleur et pour intégrer les pics. Les températures de début et de fin de gélatinisation ont été déterminées par l'intersection des tangentes adaptées aux flancs principaux et secondaires du pic avec la ligne de base.

II-2-11-Détermination des paramètres de couleur des farines.

Les mesures de la couleur ont été effectuées en utilisant un colorimètre «Datacolor International». La couleur est un attribut perceptif, subjectif, élaboré dans le système visuel à partir de la lumière renvoyée par les objets et par leur environnement. La colorimétrie consiste en un ensemble de données et de méthodes permettant de quantifier la couleur objective. L'espace chromatique CIE L, a*, b*, défini par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) est un espace à trois dimensions approximativement uniforme du point de vue des écarts chromatiques (Robertson, 1977). Les trois coordonnées de CIELAB sont des correspondants approximatifs de la luminance (L*), de la balance «rouge-vert» (a*) et de la balance «jaune-bleu» (b*), qui sont indiqués dans la figure 6. L'indice de blancheur a été calculé selon la méthode citée par Nguimbou *et al.* (2013a).

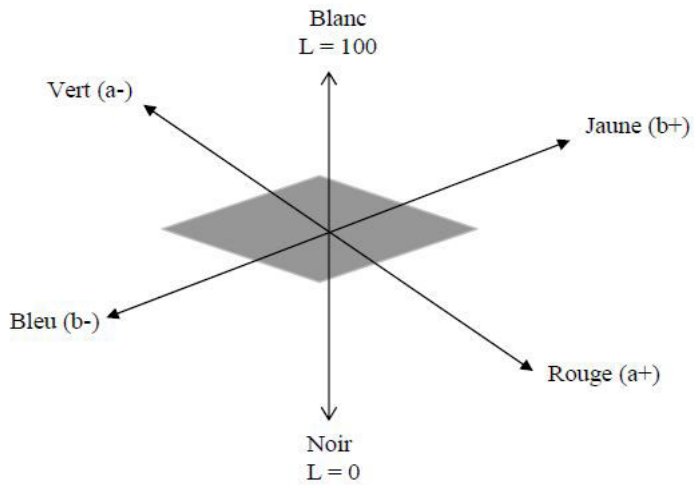


Figure 6 : Espace chromatique CIE L*a*b*

II-2-12-Analyse granulométrique des farines de taro.

Principe

La taille moyenne et la distribution granulométrique des particules ont été déterminées à l'aide d'un granulomètre laser. La granulométrie laser repose sur la diffusion statique de la lumière. D'après la théorie de Fraunhofer, une telle diffusion est observée lorsque le diamètre des particules est cinq fois supérieur à la longueur d'onde du faisceau incident. La quantité de lumière diffusée et l'importance de l'angle de déviation dépendent de la taille des particules. Ainsi, les grosses particules dévient des quantités importantes de lumière aux petits angles, alors que les petites particules dévient les quantités infimes de lumière aux grands angles. En assimilant les particules à des sphères lisses, l'angle de diffusion θ est relié aux diamètres des particules d par les équations proposées par la théorie de Mie. L'intensité des photons détectés aux différentes tranches d'angle de diffusion permet de déduire le nombre de particules correspondant à chaque classe de taille.

Mode opératoire

La mesure de la distribution de taille des farines a été réalisée avec un granulomètre de type Mastesizer modèle S (*instruments de Malvern, Orsay*). Cet appareil permet de mesurer le pourcentage de particules de farine distribuées dans les classes de grandeur choisies pour la mesure de poudre humide dans l'éthanol décrit par Gaini *et al.* (2011). L'utilisation de la lentille 300RF permet de mesurer des tailles comprises entre 0,05 et 900 µm. Le faisceau laser, issu d'un tube à gaz Hélium Néon, a une puissance de 5 mW et une longueur d'onde de 632,8 nm. Les données brutes provenant de l'unité optique sont traitées par le logiciel *Sizer Sv2.17 (Malvern Instrument, Orsay)* afin de calculer la taille des particules. Cinq mesures par dispersion sont réalisées à une minute d'intervalle et deux dispersions sont utilisées par échantillon.

II-2-13-Mesure de la sphéricité et de la convexité.

Les analyses de la concavité et convexité des farines ont été effectuées à l'aide de l'appareil QicPicTM (Sympatec GmbH, Allemagne) équipé du module LIXELLTM dispersion (Sympatec GmbH, Allemagne). Pour chaque mesure, 0,20 g de farine a été dispersé dans 75 mL d'éthanol (pour obtenir un bon obscurcissement et éviter la superposition des particules). Trois mesures ont été effectuées avec chaque échantillon de poudre selon la procédure décrite par Gaiani *et al.* (2011). Le diamètre d'un cercle de surface égale saillie (EQPC) a été déterminé avec l'appareil. La EQPC est défini comme le diamètre d'un cercle qui a la même superficie que la surface de projection de la particule. À partir de la EQPC, la sphéricité est déterminée et est définie comme le rapport du périmètre du cercle équivalent au périmètre réel. Cette valeur est comprise entre 0 et 1. Plus la valeur est élevée, plus irrégulière est la forme de la particule. Enfin, la convexité est déterminée, ce paramètre de forme décrit la compacité d'une particule.

II-2-14-Analyse rhéologique des farines de taro.

Les suspensions de farine de 100 g/L ont été préparées en ajoutant des poudres de farines dans de l'eau distillée. L'ensemble a été homogénéisé avec un barreau magnétique pendant 15 min avant de le mettre sur la plaque du rhéomètre. Les propriétés viscoélastiques ont été mesurées sur les suspensions de farines précédemment préparées avec un rhéomètre dynamique (*Kinexus, Malvern Instruments, Angleterre*) équipé d'un cône et d'un système parallèle de plaque de diamètre 30 mm, espacé de 1 mm entre les deux plaques. Les plaques sont recouvertes d'huile de silicone (dimethylpolysiloxane, viscosité de 50-cPs) pour éviter l'évaporation. Pour chaque échantillon de suspension de farine nous avons déterminé le domaine linéaire de viscoélasticité. En effet le domaine linéaire de viscoélasticité est la zone ou la viscoélasticité ne varie pas quel que soit la contrainte imposée à la suspension de farine. C'est dans ce domaine de viscoélasticité que les paramètres viscoélastiques sont déterminés. Lorsque le domaine de viscoélasticité est déterminé, la contrainte de cisaillement et la fréquence sont fixées à 0,5 s^{-1} et 1 Hz, respectivement. Les suspensions de farine de 100 mL/L ont été soumises à une montée en température (30 à 90 °C à une vitesse de 2 °C/min). Les paramètres rhéologiques, comme le module de conservation G' ont été déterminés pendant le chauffage et le refroidissement de chaque suspension de farine.

II-2-15-Analyse des résultats.

Les moyennes et les écartypes ont été calculés sur les mesures en triplicat. L'analyse des variances à deux facteurs a été utilisée pour voir l'effet des facteurs, et lorsque l'effet était significatif, un test de classement de Duncan a été fait sur l'un des facteurs au seuil de probabilité de 5 %. Le logiciel statgraphic 5.0 (Manugistics Rockville, Maryland, USA) a été utilisé à cet effet.

II-3 Optimisation de l'extraction de la gomme *Grewia mollis*

II-3-1. Plan d'expérience et analyse statistique.

La méthode de surface de réponse a été utilisée pour présenter l'influence des facteurs indépendants (températures : 25 à 85 °C ; pH : 4 à 10 ; ratio eau / poudre : 10 / 1 à 80 / 1 ; temps d'extraction : 1 à 3 h) sur les réponses telles que la viscosité apparente (Pa.s) et le rendement d'extraction (g/Kg). Un plan d'expérience composite à face centré a été utilisé à cet effet. Le tableau 7 représente les facteurs et leurs bornes. Les facteurs sont liés aux valeurs codées qui représentent les valeurs élevées (+1), les valeurs centrales (0) et les valeurs basses (-1). Le logiciel Minitab 16 a été utilisé pour les analyses statistiques. Le plan d'expérience est composé de 30 expériences ayant 16 expériences factorielles, de 8 points en étoiles et 6 points aux centres. Les facteurs significatifs ont été déterminés en réalisant une analyse de variance (ANOVA) sur chaque réponse. Étaient significatifs les facteurs dont le niveau de probabilité est inférieur à 5 %. Le logiciel sigma plot 11 a été utilisé pour tracer les courbes d'isoréponses dans le but d'indiquer les zones optimales de chaque réponse et les zones optimales des deux réponses superposées. Toutes les bornes des facteurs indépendants fixées dans cette étude ont été respectées et les réponses ont été maximisées.

Tableau 7 : Matrice du plan d'expérience et des réponses.

	Temps	pH	Température	Ratio	Viscosité	Rendement
	+1	-1	-1	+1	0,4339	0,6226
	-1	-1	+1	+1	0,2551	0,8174
	-1	+1	+1	-1	0	0
	-1	-1	-1	-1	0	0
	0	-1	0	0	0,3119	0,3248
	0	+1	0	0	0,3481	0,2438
	0	0	0	0	0,8363	0,231
	0	0	+1	0	0,3085	0,227
	0	0	0	0	1,023	0,945
	0	0	0	0	1,1	0,409
	+1	+1	-1	+1	0,543	0,5436
	+1	+1	-1	-1	0	0
	0	0	0	0	0,834	0,285
	+1	+1	+1	-1	0	0
	-1	+1	+1	+1	0,3931	0,2006
	+1	+1	+1	+1	0,3107	0,3014
	+1	-1	+1	-1	0	0
	0	0	0	-1	0	0
	-1	-1	-1	-1	0	0
	+1	0	0	0	0,6979	0,177
	-1	0	-1	0	1,214	0,285
	-1	+1	-1	+1	0,8223	0,1608
	0	0	0	+1	0,4639	0,092
	-1	-1	-1	+1	0,4084	0,3346
	+1	-1	-1	-1	0	0
	0	0	0	0	0,5126	0,187
	-1	-1	+1	-1	0	0
	0	0	-1	0	0,4045	0,272
	+1	+1	+1	+1	0,2885	0,5906
	0	0	0	0	1,333	0,343
Niveau (-1)	1h	7	25°C	10		
Niveau (0)	2h	4	55°C	45		
Niveau (+1)	3h	10	85°C	80		

II-3-3. Procédure d'extraction de la gomme.

L'extraction aqueuse de la gomme *Grewia mollis* a été effectuée avec de l'eau distillée (ratio volume d'eau / masse poudre écorce 10 / 1 à 80 / 1) au pH de 4 à 10 en suivant les plans d'expérience du tableau 7. Les pH des solutions ont été ajustés avec des solutions de HCl ou de NaOH de concentration 0,1 M. Les températures (25 °C à 85 °C) d'extraction ont été ajustées avec l'aide d'une plaque chauffante à température contrôlable. Le temps (1 h à 3 h) d'extraction a été contrôlé à l'aide d'un chronomètre. Chaque extrait obtenu, a été centrifugé à 1200 rpm pendant 10 min et le surnageant a été séché à 45 °C dans une étuve ventilée pendant 12h.

II-3-4.Détermination des réponses.

Deux réponses ont été étudiées dans le présent travail. À savoir la viscosité et le rendement d'extraction de la gomme. Le rendement d'extraction de la gomme a été évalué de la manière suivante : l'extrait de la gomme a été séché dans une étuve à 45 °C pendant 12 h puis pesé et la masse de l'extrait sec est notée M1. Le taux d'extraction a été déterminé par la formule:

$$Y = \frac{M1 * 100}{M}$$

Où M représente la masse de la poudre de l'écorce avant extraction.

Pour la détermination de la viscosité apparente, l'extrait de gomme séché a été réhydraté selon le ratio 2,5 % (m / m). La viscosité apparente a été déterminée sur chaque extrait avec le rhéomètre Malvern dynamique (Kinexus*, Malvern Instruments, Angleterre*) à une température de 25 °C, à pH 7, sous une rampe de contrainte de 0,001 S^{-1} à 1000 S^{-1}. Le rhéomètre était équipé d'un système parallèle de plaque de diamètre 30 mm, espacé de 1 mm entre les deux plaques.

II-3-5. Détermination du profil en sucres.

Le profil en sucre de la gomme a été effectué sur l'extrait optimisé suivant la procédure décrite par (Nguimbou *et al.,* 2013b). Dans la procédure, 2 mg de gomme séchée, ont été hydrolysés dans 2 mL d'acide trifluoroacétique 2,5 M à 100 °C pendant 2 h dans un tube scellé sous azote. Après hydrolyse l'acide a été éliminé sur un évaporateur rotatif, et l'hydrolysat a été réduit avec du borohydrure de sodium avant d'être acétylé (Albersheim *et al*., 1967). Le dérivé d'acétate d'alditol résultant a été séparé par chromatographie en Phase Gazeuse (1.85m x 4mm column, 3 % SP2340, 100 / 120 Supelcoport, Hewlett-Packard model 5710A). La chromatographie a été conduite sur un gradient isothermique à 215 °C avec un débit d'azote de 60 mL/min.

II-3-6. Analyses statistiques.

Le plan d'expérience a été soumis à l'analyse de variance (ANOVA) sur le logiciel statgraphic 5.0. Sur chaque réponse les facteurs étaient dits significatifs lorsque le seuil de probabilité t était inférieur à 5 %. Le tracé des courbes iso réponses a été réalisé pour identifier les zones de réponse souhaitées grâce au logiciel sigma plot 11.

II.4 Optimisation du potentiel boulanger de la farine de taro par l'ajout de la gomme *Grewia mollis*

II-4-1. Formulation des mélanges de farines.

Les farines composées ont été formulées par application des plans de mélange à trois ingrédients blé, taro et gomme. La figure 7 présente le système d'axe à 3 facteurs pour l'étude du plan de mélange. x_1, x_2 et x_3 représentent respectivement les proportions de blé, taro et gomme dans le mélange et sont liées par la relation mathématique :

$x_1 + x_2 + x_3 = 100$ %.

Outre la contrainte fondamentale, la présente étude impose d'autres (Tableau 8) que sont :

- des limites supérieures imposées au taro : le taux de substitution de taro doit pouvoir atteindre 30 % et le taux de gomme ne pourra dépasser 5 %. L'attribution des limites supérieures (dites « limites explicites ») aux proportions des composants engendre automatiquement l'apparition de limites inférieures implicites, et inversement pour le blé qui ne doit aller en dessous de 65 %. Ces contraintes ont pour effet de réduire le domaine expérimental d'étude tel que présenté à la figure 7. A ce stade, il est à préciser que, les mélanges relatifs aux sommets du nouveau triangle, représente le domaine expérimental à explorer.

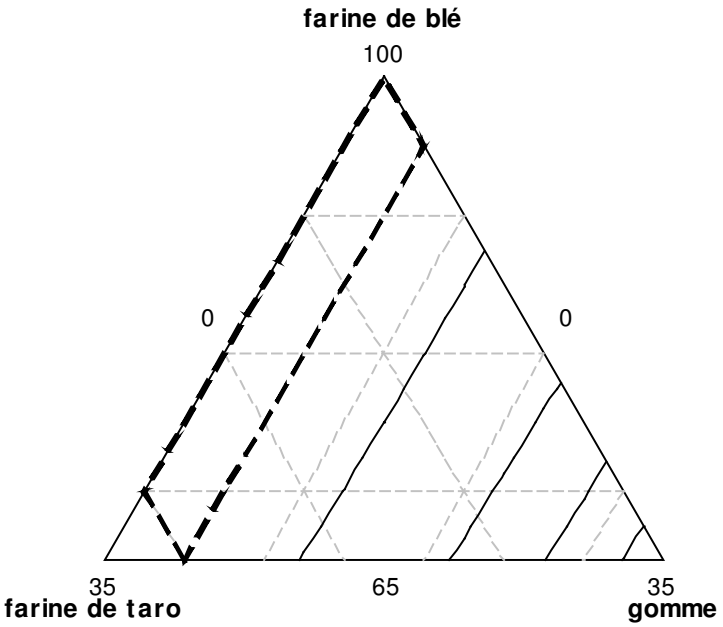


Figure 7 : Présentation du système d'axe pour l'étude de 3 facteurs dans un plan de mélange

Tableau 8: Tableau des composants et limites

Composants	Quantité minimale (g)	Quantité maximale (g)
Farine de blé	65	100
Farine de taro	0	30
Gomme *Grewia mollis*	0	5

A l'aide du logiciel Minitab 16 nous avons réalisé les différentes formulations qui sont consignées dans le tableau 9

Tableau 9 : Formulation des Farines

Mélanges	Blé (g)	Taro (g)	Gomme(g)
65/30/5	65	30	5
81/15/3	81,25	15	3,75
90/10/0	90	10	0
70/30/0	70	30	0
83/15/1	83,75	15	1,25
73/25/1	73,75	25	1,25
71/25/3	71,25	25	3,75
77/20/2	77,5	20	2,5
85/10/5	85	10	5
100/0/0	100	0	0

II-4-2. Composition proximale des farines.

L'analyse composition a été faite sur les farines individuelles (taro, blé et gomme). La teneur en eau, en cendres, en protéines totales, la teneur en sucres disponibles et la teneur en lipides ont été dterminées en référence au chapitre 1

II-4-3. Extraction et dosage de l'amidon endommagé.

Cette analyse a été effectuée sur les farines individuelles de taro, blé et gomme. L'extraction de l'amidon endommagé s'est faite selon la méthode de Goni *et al.* (1996). Dans la procédure, 0,025 g de farine a été pesé dans un bécher auquel ont été ajoutés 45 mL de tampon Acetate pH 5,0), 250 µL d' α-amylase (Thermamyl 120 L) et 100 µL amyloglucosidase (AMG 300 L) [Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO,USA)]. Après agitation, l'ensemble a été incubé à 40 °C pendant 20 min après lequel 2 mL d'acide sulfurique ont été ajoutés pour arrêter la réaction. Les sucres disponibles ont par la suite été déterminés selon la procédure décrite au chapitre 1.

II-4-4.Détermination de la capacité d'absorption d'eau.

La capacité d'absorption d'eau (CAE) a été faite sur les farines individuelles et les farines composées. Cette propriété est définie comme la quantité d'eau en grammes retenue par 100 g de farine après saturation et centrifugation selon la méthode modifiée de Phillips *et al.* (1988). Pratiquement, une masse de farine Mo égale à 1 g a été mélangée à 10 mL d'eau distillée et l'ensemble a été agité pendant 15 min à l'aide d'un agitateur de type Bioblock compsas et centrifugé à 5600 trs/min pendant 30 min dans une centrifugeuse de marque BECKMAN Coulter. Le culot (M2) a été récupéré, pesé et porté à l'étuve à 105 °C pendant 24 h. Le poids du culot sec (M1) a été déterminé. Les capacités d'absorption d'eau apparente (CEAa) et réelle (CAEr) ont été calculées ainsi qu'il suit :

$$C \quad (A \ \%= E \frac{(M2 - M \ )a}{M} \times 1^{o}$$

$$C \quad (A \ \%= E \frac{(M2 - M1)r}{M1} \times 1$$

II-4-5. Rhéologie des pâtons.

Les pâtons préparés à base de 100 g de farine formulé et de 150 g d'eau ont été réalisé pour une caractérisation rhéologique. Après un pétrissage de la farine et de l'eau à la main jusqu'à obtention d'une pâte onctueuse qui ne colle pas, deux test rhéologiques ont été utilisés pour déterminer le comportement rhéologique de la pâte. Parmi ces tests, il est question de la détermination du module élastique, et du test de fluage et recouvrement.

II-4-6. Détermination du domaine de viscoélasticité des pâtons et analyse du module élastique G'.

Pour chaque échantillon de pâte, il a été déterminé le domaine linéaire de viscoélasticité de la pâte qui représente la zone ou la viscoélasticité de la pâte ne varie

pas quel que soit la contrainte imposée à la pâte. C'est dans ce domaine de viscoélasticité qu'on détermine les paramètres viscoélastiques d'une pâte. Pour chaque échantillon de pâte après avoir déposé sur un système plaque-plaque (diamètre des plaques : 50 mm ; espacement entre les plaques : 2 mm ; température : 25 °C) du rhéomètre malvern (Kinexus, *malvern instrument, Angleterre*) puis laissé au repos pendant 30 min, nous avons imposé une rampe de taux de cisaillement de 0,001 S^{-1} à 1000 S^{-1}. Lorsqu'une pâte sort de son domaine linéaire de viscoélasticité le programme arrête la mesure de la viscoélasticité. C'est dans le domaine linéaire de viscoélasticité de la pâte ainsi défini que les paramètres élastiques (G') ont été déterminés pour chaque formulation.

II-4-7.Test de fluage et recouvrement des pâtons.

Le test de fluage et recouvrement a été réalisé sur un rhéomètre malvern (Kinexus, *malvern instruments)*. Il a été réalisé sur un système plaque-plaque. Le diamètre des plaques est de 50 mm et l'espacement entre les plaques était de 2 mm. L'expérience a été réalisée à une température de 25°C. Avant le début du test de fluage la pâte a été laissée au repos pendant 30 min. Puis sur chaque pâton, une pression de 50 Pa a été imposée pendant 1 min, puis relâchée pendant 30 min. Ainsi les mesures de fluage et de relâchement ont été mesurées (Lazaridou *et al.,* 2007). Les courbes typiques du fluage et du recouvrement (figure 8) ont été obtenues puis à l'aide du logiciels sigma plot 11. Nous avons extraits les paramètres du fluage et du recouvrement représentés par les complaisances (J). Selon Steffe (1999), elle est une fonction de :

$$J(t) = \frac{contrainte\ (^{\gamma})}{pression\ (^{\delta})}$$

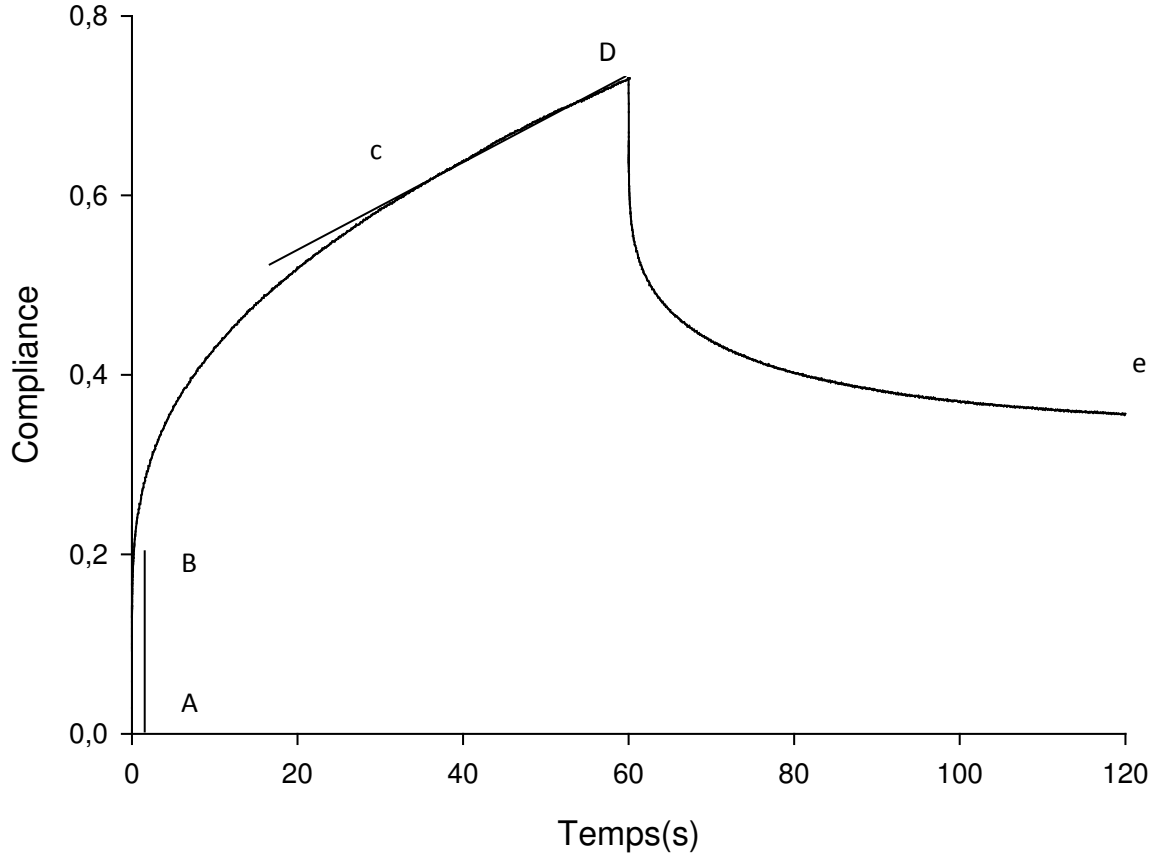


Figure 8 : Courbe typique du fluage et recouvrement sur les pâtes

Pour la phase de fluage l'équation suivante a été appliquée

$$J(t) = J0 + Jm(1 - exp^{(-\frac{t}{\tau})}) + \frac{t}{n0}$$

Pour la phase de recouvrement l'équation suivante a été appliquée.

$$\mathrm{J}(t) = Jmax - J0 - Jm.(1 - exp^{(-\frac{t}{\tau})})$$

La courbe de la figure 8 a été découpée en plusieurs parties qui présentent chaque terme de l'équation. Pour la phase de fluage :

1-La partie AB représente dans l'équation J_0. Elle est aussi appelé complaisance instantanée ou bien élasticité de la pâte au temps t = 0.

2-La partie BC représente la complaisance élastique retardée J_R représenté par l'équation dont l'expression est la suivante :

$$J(t) = J0 + Jm(1 - exp^{(-\frac{t}{\tau})})$$

Dans cette équation Jm et τ sont déterminés graphiquement en utilisant le logiciel sigma plot 11.

3-La partie CD représente la complaisance visqueuse et dans l'équation du fluage elle est représentée par n0. Ce coefficient est déterminé graphiquement en utilisant le logiciel sigma plot 11.

4-La partie DE représente la phase de recouvrement.

II-4-8.Essai de panification

La panification a été réalisée selon le protocole de Balla *et al.* (1999). Les quantités utilisées au cours du test de panification ont été les suivantes : 100 g de farine, 1,7 g de sel, 5 g de levure fraîche et 150 g d'eau. Une fois les ingrédients mis ensemble, ils ont été mélangés manuellement jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène, viscoélastique qui ne colle plus à la main. Après pétrissage, la pâte a été mise en boule, avant d'être placée pendant 40 min dans une chambre de fermentation dont l'humidité et la température ont été réglées respectivement à 75 % et 37 °C. Les pâtons ont été ensuite façonnés et moulés et puis laissés lever dans une étuve dont la température est de 37 °C pendant 20 min. La cuisson a lieu à 210 °C pendant 20 min dans un four à plaque (*Arthur martin pyrolyst*) muni d'un système d'injection de vapeur. À la sortie du four, les pains sont démoulés, ressuyés pendant 24 h avant toute mesure.

II-4-9-Volume de pousse de la pâte au cours de la fermentation

Pendant l'essai de panification, le volume de pousse de la pâte préparé dans les conditions définies plus haut a été suivi en plaçant les pâtons dans une éprouvette graduée comme illustré sur la figure 9. Le dispositif de mesure était placé dans une étuve dont la température était fixée à 30 °C sous une humidité relative de 0,75. Toutes les 10 min l'évolution du volume de la pâte a été prise jusqu'à un temps maximum de 60 min car avec ce temps le volume de pâte double Havet *et al.* (2000).

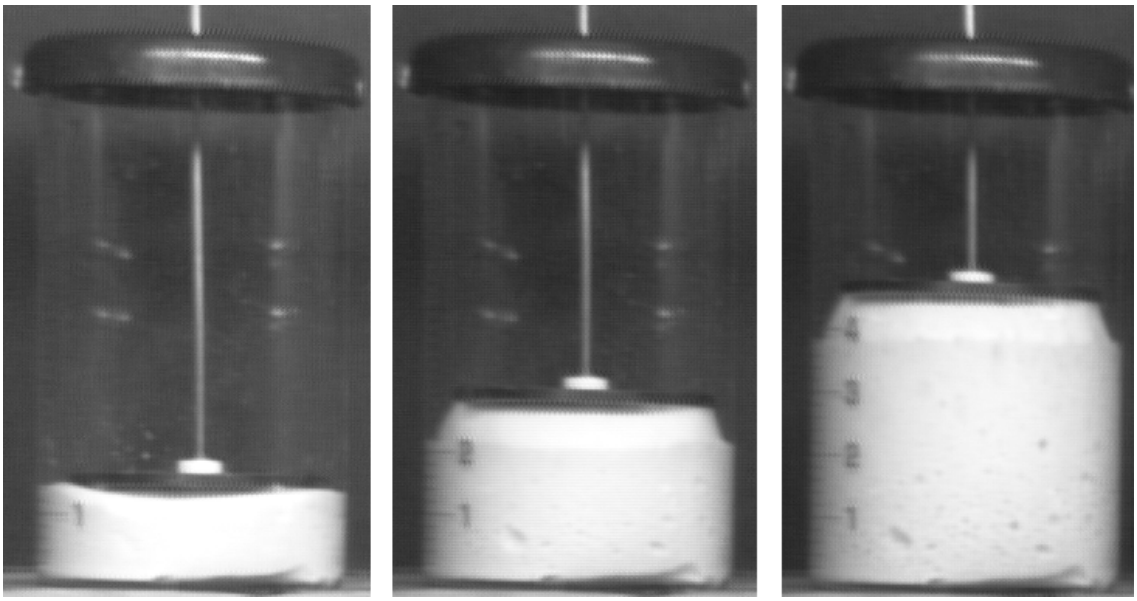


Figure 9 : Dispositif de suivi de pousse de la pâte pendant la levée

II-4-10-Analyse du volume de pain

Le volume du pain a été mesuré selon la méthode de déplacement volumétrique décrite par Shittu *et al.* (2009). Une petite bassine a été remplie de graines de colza à ras et le volume de colza déterminé. Le pain est introduit dans la bassine et le volume également ajusté à ras à l'aide des graines de colza. Le volume de colza libéré est déterminé et représente le volume qu'occupe le pain. Les graines de colza ont la particularité d'être homogène et remplissent tous les volumes de la bassine (figure 10).



Remplissage de la bassine vide avec les graines de colza



Remplissage de la bassine contenant du pain avec les graines de colza

Figure 10 : Mesure du volume de pain

II-4-11-Détermination des caractéristiques texturales sur le pain.

La mesure de la texture des pains a été faite en soumettant chaque échantillon à un test de double compression sur une machine universelle Lloyd (Lloyd instrument LRX, Allemagne) commandée par le logiciel Nexygen. La mesure du test de double compression a consisté à déterminer la force du capteur nécessaire pour avoir des compressions du pain à 80 % de son épaisseur (2,5 ± 0,02 cm) soit 20 mm. Pratiquement, chaque pain est soumis à 2 déformations de 20 mm chacune, à une vitesse de 10 mm/min, à l'aide du capteur muni d'une tige cylindrique de section circulaire avec 10 mm de diamètre soit 78,54 mm^2 de surface. La force maximale du capteur est de 500 N, et le pré charge définie à 0,5 N. Le pré charge ou le zéro de la force est la force minimale de contact entre la tige et la surface de la pâte marquant le début de l'expérience. La détermination des paramètres du profil de texture fait référence aux travaux de Rahman & Al-Farsi (2005). À partir des courbes de double compression illustrées par la figure 11, les paramètres physiques suivants ont été définis :

- la dureté en Newton (N) : elle exprime la force maximale obtenue à la première déformation ou morsure ;

- la cohésion est le rapport entre l'aire 2 et la deuxième déformation ou morsure et l'aire 1 à la première déformation. Elle représente la force qui unit les molécules ou particules constituant l'échantillon de pain ;

- l'élasticité (1 / L) représente la distance sur laquelle un matériel déformé tend à revenir à sa position non déformée après que la force déformante (appliquée par la tige du capteur) ait été soulevée ;

- le gumminess (N) ou consistance est le produit de la dureté et la cohésion;

- la masticabilité exprimée en mjoule (mJ) indique le produit du gumminess et de l'élasticité. Elle exprime l'aptitude du produit à former un bol alimentaire approprié à la dégustation.

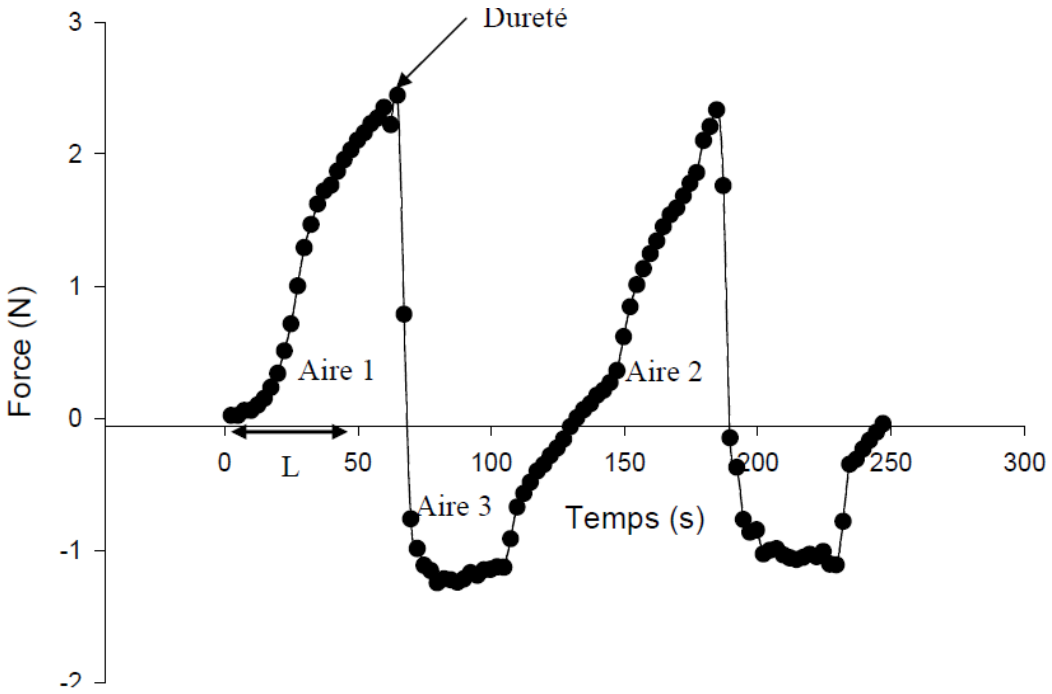


Figure 11 : Courbe typique du profil de texture

II-4-12. Analyses de la couleur de la mie et de la croute de chaque pain.

La couleur de la mie et de la croûte de chaque pain est une caractéristique essentielle de sa qualité. Pour cette raison, les mesures de la couleur ont été effectuées

en utilisant un colorimètre « Datacolor International » comme décrit dans le paragraphe 1 de matériels et méthode.

II-4-13-Analyse sensorielle sur le pain.

L'analyse sensorielle a été effectuée sur un panel constitué de 23 personnes au sein du laboratoire d'analyse sensorielle de l'ENSAIA de l'Université de la lorraine. Les pains ont été introduits au panel en groupe de 5 et il leur était demandé de donner leur acceptabilité sur le goût et l'aspect du pain selon une échelle variant de 1 à 5 respectivement pour n'aime pas et aime extrêmement.

II-4-14. Analyses statistiques des résultats des plans de mélanges

II-4-14.1. Exploitation des résultats du plan de mélange

L'ajustement du modèle mathématique, l'évaluation de ses qualités statistiques et prévisionnelles, et son exploitation sont réalisés selon une démarche analogue à celle de la méthodologie des surfaces de réponses. L'exploitation graphique des résultats par les courbes d'isoréponses est effectuée en considérant, à chaque fois, un triangle représentant trois composants (les proportions des composants restants étant fixées). Lorsque le domaine expérimental est réduit, il est plus commode de représenter les courbes d'isoréponses dans le plus petit triangle qui circonscrit les points expérimentaux. Plus le nombre de composants est élevé, plus le nombre de coupes l'est, et partant, il devient délicat de se faire une idée précise des variations de la réponse dans le domaine expérimental. On fait alors appel à l'analyse par la méthode de cox qui consiste à représenter la variation de la réponse le long d'une droite du domaine (« direction de Cox »), passant généralement par le centre de gravité et l'un des sommets du domaine. Ces courbes permettent d'évaluer l'évolution de la réponse

estimée en faisant varier la proportion d'un seul composant, à partir d'un mélange de référence tout en maintenant le rapport des autres composants constant.

II-4-14-2 Analyses statistiques

Les résultats ont été analysés par le logiciel minitab 16 en faisant des analyses de variances sur le plan de mélange. Le tracé des courbes de surface réponse, des courbes et l'extraction des donnés du fluage et recouvrement s'est fait avec le logiciel sigma plot 11.

CHAPITRE III-RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1 Caractérisation chimique de la poudre du tubercule de taro (*Colocasia esculenta*)

III-1-1. Composition chimique des farines

Le tableau 10 présente la composition chimique du taro *lamba* en fonction de la masse. D'une manière générale, la composition proximale varie significativement ($p < 0,05$) en fonctions de la masse. Les grandes teneurs en composé chimiques sont les fibres alimentaires et les protéines tandis que les plus petites teneurs sont les sucres réducteurs et les lipides. Les variations vont de 22 % (masse < 170 g) à 33 % (masse > 284 g). Cette forte teneur en fibres alimentaires montre que la farine de taro *lamba* peut être utilisée comme ingrédient pour améliorer la capacité d'absorption d'eau, la capacité d'absorption d'huile, la viscosité des aliments (Mohamed *et al.,* 2011). Le taux de sucre réducteur dans les échantillons varie de 1,1 % (214 g < masse < 284 g) à 1,5 % (masse < 170 g). De mêmes, les protéines et les cendres sont les composés chimiques les plus importants dans la farine (tableau 10). S'agissant de ces protéines, l'on remarque que leur teneur varie de 7 % (< masse < 214 g) à 9 % (masse < 170 g). Ces teneurs en protéines sont comparables à ceux obtenus par Sirima et Rachada, (2010). Cependant, la teneur en protéine est deux à trois plus élevée que celui de la variété de taro Ibo coco sélectionné pour la préparation du Achu (Njintang *et al.,* 2007). La haute teneur en azote dans cette farine peut être justifiée par la présence en mucilage, parce qu'il a été rapporté que la protéine est le composant majeur des mucilages (Aboubakar *et al.,* 2012). Cette forte teneur en protéine observée sur les échantillons de taro suggère une texture plus fine des pâtes issue de la variété de taro *lamba*. En effet, les mucilages jouent un rôle important dans les propriétés viscoélastiques. La teneur en cendre est

relativement plus élevée comparée au teneur de 1,8 à 3,6 g / 100g rapporté récemment par Ndabikunze *et al.* (2011), mais ces teneurs sont proches de celles obtenues par Njintang et Mbofung (2006). Cette variation de la teneur en cendre peut être due à la saison de récolte, ou bien aux conditions agronomiques des échantillons (Ndabikunze *et al.,* 2011). De façon générale, la masse de tubercule a un effet significatif ($p < 0,05$) sur la composition chimique de farine. La variation de la masse du tubercule semble être corrélée avec la teneur en minéraux. Les tubercules ayant une grande masse de tubercules sont ceux qui possèdent une grande teneur en minéraux. Des résultats similaire ont été observés par Jirarart *et al.*(2006) qui ont montré un changement important dans la composition chimique des tubercules en thaïlande. Sur la base de récents travaux, qui ont trait à l'influence de la maturité du tubercule de taro (variété sosso) sur la composition physicochimique, l'on peut dire que la masse du tubercule peut être aussi un indicateur du stade de la maturité du tubercule. La variation de cendre avec la masse du tubercule peut bien illustrer cette hypothèse qui a été démontrée par Himeda *et al.* (2012a) sur la maturité des tubercules.

Un autre composant chimique intéressant d'étudier a été l'anti nutriment, à l'instar du phytate. C'est un anti nutriment généralement rencontré dans les plantes. Les phytates chélatent les cations divalent et trivalent tel que le Ca^{2+}, Mg^{2+}, Zn^{2+}, et le Fe^{3+} réduisant ainsi, la biodisponibilité de ces minéraux pour le consommateur (Duffus *et al.,* 1991). Les résultats montrent une variation significative ($p < 0,05$) de la teneur en phytate entre les masses de tubercules. La grande teneur en phytate est de 9,57 mg/g pour des tubercules dont la masse se situe autour de 214 g et 284 g tandis que la plus petite teneur est de 4,79 mg/g pour les tubercules dont la masse se situe autour de 170 g et 214 g.

Tableau 10 : Composition chimique des tubercules en fonction de la masse

Masse du tubercule (g)	Cendres ($g.100g^{-1}$)	Protéines ($g.100g^{-1}$)	Sucres réducteurs ($g.100g^{-1}$)	Fibres alimentaires ($g.100g^{-1}$)	Tenneur en eau ($g.100g^{-1}$)	Lipides ($g.100g^{-1}$)	Phytate (mg/g)
Masse < 170	$4,4 \pm 1,21^{ab}$	$8,3 \pm 0,2^{c}$	$1,5 \pm 0,71^{a}$	$22,0 \pm 0,90^{a}$	$9,7 \pm 0,62^{b}$	$0,2 \pm 0,12^{ab}$	$5,76 \pm 0,50^{a}$
170 < masse < 214	$3,3 \pm 1,62^{a}$	$6,3 \pm 0,1^{a}$	$1,3 \pm 0,72^{a}$	$30,6 \pm 0,81^{c}$	$8,8 \pm 1,41^{ab}$	$0,1 \pm 0,03^{a}$	$4,79 \pm 0,51^{a}$
214 < masse < 284	$4,2 \pm 0,13^{ab}$	$7,0 \pm 0,8^{ab}$	$1,1 \pm 0,32^{a}$	$26,8 \pm 0,53^{b}$	$7,6 \pm 0,91^{a}$	$0,2 \pm 0,01^{ab}$	$9,57 \pm 0,78^{b}$
Masse > 284	$5,9 \pm 0,71^{b}$	$7,5 \pm 0,1^{b}$	$1,3 \pm 0,61^{a}$	$32,6 \pm 0,62^{d}$	$8,1 \pm 0,62^{ab}$	$0,4 \pm 0,20^{b}$	$9,23 \pm 1,58^{b}$

*Les chiffres précédés d'une même lettre indique qu'il n'existe pas de différence significative aux seuils de ($p < 0.05$).

III-1-2-Profil en acides aminés des farines de taro

La figure 12 présente la composition en acide aminé de la farine de taro *Lamba.* De cette figure, on note que parmi les acides aminés les plus important figurent l'acide aspartique et suivie de l'acide glutamique. Cependant, l'alanine, la glycine, la lysine, la leucine la Cystéine et la méthionine présentent des taux faibles dans la farine. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Njintang et Mbofung (2006) sur d'autre variété de taro et ceux de Njintang *et al.* (2011) sur différent mucilage de taro. Cette similarité du profil en acide aminé avec ceux des mucilages renforce la théorie selon laquelle la composition en protéine de la farine de taro est stable et intimement liée aux mucilages (Njintang *et al.,* 2011).

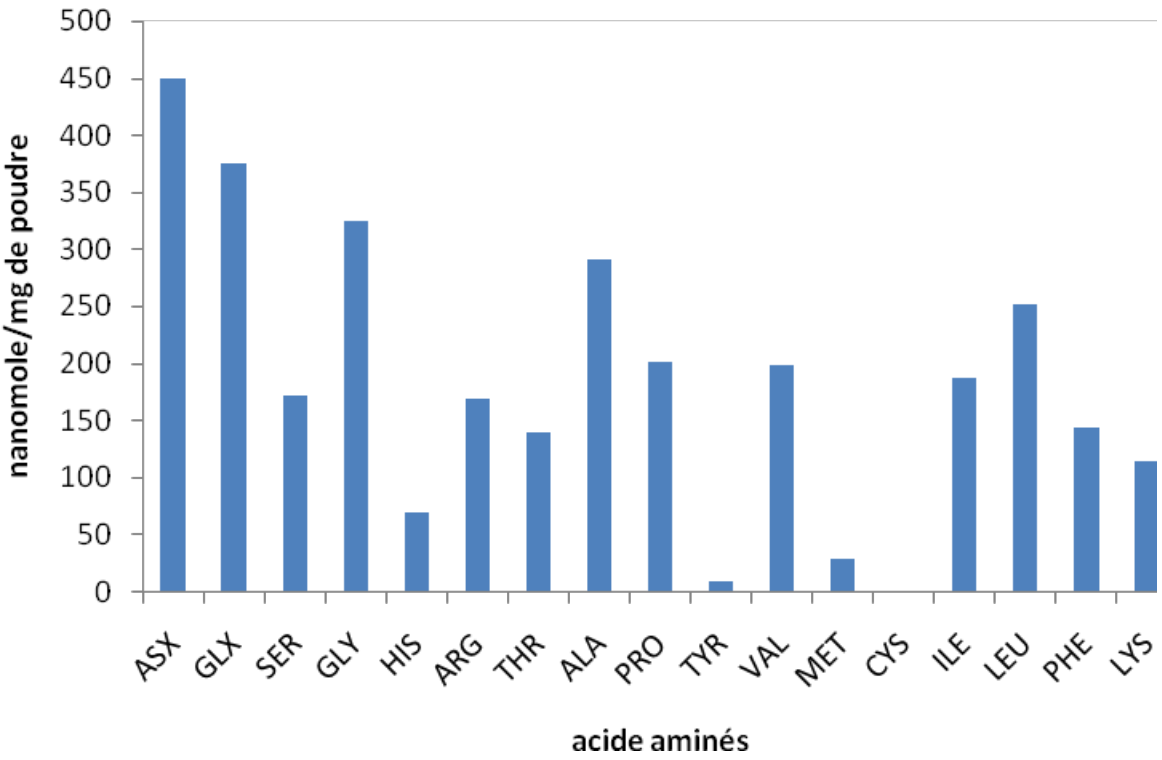


Figure 12 : Profil en acide aminée de la farine de taro *Lamba*.

III-1-3-Paramètre trichromatique L a*b* de la farine de taro variété lamba

Le tableau 8 présente les paramètres trichromatique L* a* et b* de la farine de taro *lamba.* L'analyse des résultats montre que la masse des tubercules influencent de façon significative ($p < 0,05$) la couleur. Les valeurs de paramètre trichromatiques sont les suivantes L* (83,9 - 89,9), a* (0,5 - 1,6) et b* (6,8 - 8,7). Les résultats montrent que les farines sont très blanches (valeur élevée de L*), moins rouge (faible valeur de a) et moins jaune (faible valeur de b). Une corrélation positive ($r = 0,766$) existe entre la masse du tubercule et le paramètre de blancheur (Valeur de L*). Cette corrélation montre que l'augmentation de la masse de tubercule entraine une augmentation de la blancheur du tubercule. Par contre, une corrélation négative ($r = - 0,890$; $- 0,902$) existe entre les masses et les valeurs de a et b. Cette corrélation montre que l'augmentation de la masse entraîne une baisse des valeurs de b et a. L'indice de blancheur permet de connaître l'état de variation de couleur pendant le séchage des tubercules (Nguimbou *et al.,* 2013). L'observation de cet indice de blancheur sur les farines obtenues montre que le séchage n'a pas eu d'effet significatif sur la blancheur du tubercule. De même, on note une corrélation négative ($r = - 0,747$) entre les protéines et la blancheur de la farine (L). Mais, il existe une corrélation positive ($r = 0,602$) entre les protéines et les valeurs de la rougeur (a) des farines. De même on observe qu'il existe une corrélation positive ($r = 0,761$) entre les fibres alimentaires et la blancheur de la farine. Cependant il existe une corrélation négative ($r = - 0,845$) entre les fibres alimentaires et la rougeur de la farine. En théorie, les protéines et les sucres réducteurs sont deux facteurs du brunissement de Maillard. Cette étude montre qu'à partir des corrélations qu'en plus des protéines qui sont responsables de la couleur des farines, il y'a aussi les fibres alimentaires qui sont aussi responsables de la couleur des farines.

Tableau 11 : Paramètre trichromatique L a* b* de la farine de taro *lamba*.

Masse de tubercules	L	a*	b*	Indice de blancheur
Masse < 170 g	$83,9\pm0,21^{a}$	$1,6\pm0,11^{c}$	$8,7\pm0,61^{b}$	86,5
170 <masse<214	$88,4\pm0,52^{bc}$	$0,5\pm0,11^{b}$	$8,2\pm0,50^{b}$	91,8
214<masse<284	$88,7\pm0,23^{c}$	$0,3\pm0,10^{a}$	$6,9\pm0,50^{a}$	91,1
masse>284	$87,8\pm0,32^{b}$	$0,2\pm0,10^{a}$	$6,7\pm0,14^{a}$	89,8

*Les chiffres précédés d'une même lettre indique qu'il n'existe pas de différence significative aux seuils de ($p < 0.05$).

III-1-4- Calorimétrie différentielle de la farine de taro variété *lamba.*

La calorimétrie différentielle de la farine de taro *lamba* en fonction de la masse est représentée dans le tableau 12. D'une manière générale, on note qu'il n'existe pas de différence significative entre la masse. Par conséquent on peut dire que la masse n'a pas eu d'effet sur la gélatinisation. La température de gélatinisation moyenne est de 83,9 ± 0,55 °C. Cette augmentation de la température de gélatinisation peut être due à la taille de granules d'amidon, à la force des liaisons entre les granules d'amidons et à d'autre composants chimiques contenus dans la farine (Aprianita *et al.,* 2009). En effet, Moorthy *et al.* (1993) explique cette forte température de gélatinisation par la présence en fibre alimentaire contenue dans la farine. Cette grande température de gélatinisation montre que la farine de taro *Lamba* peut être utilisée comme film en industrie.

Tableau 12 : Calorimétrie différentielle de la farine de taro (DSC).

Masse de tubercules	To	Tp	Te	ΔH(J/g)
masse<170g	75,9±0,70[a]	83,5±0,45[a]	86,5±0,72[a]	10,3±1,41[a]
170g<masse<214g	79,7±0,14[a]	83,0±0,04[a]	86,5±0,25[a]	13,1±0,21[b]
214g<masse<284g	80,5±0,45[a]	83,5±0,31[a]	86,5±0,65[a]	10,8±1,22[a]
masse>284g	80,5±0,42[a]	84,8±0,13[a]	88,3±0,73[b]	13,1±0,60[b]

T_0 (temperature de début de gélatinsation), T_p (temperature de pic de gélatinisation) and T_e (température de fin de gélatinisation)

III-1-5- Composition minérale des farines.

Le tableau 13 présente la composition minérale du taro variété *lamba* en fonction de la masse. D'une manière générale, la masse a une influence significative ($p < 0,05$) sur la teneur en minéraux de la farine de taro. Le potassium (K) est le minéral le plus abondant comparé aux autres minéraux (Ndabikunze *et al.,* 2011). Ces résultats sont contraires de ceux observés par Aboubakar *et al.* (2008). En effet leurs résultats ont montré que le Ca et le Mg étaient les minéraux les plus abondants sur certaines variétés (Ibo coco, sosso) de taro. Les résultats du tableau 13 montrent que les teneurs en Ca et en Mg viennent en deuxième position après le potassium (K). Cette teneur en minéraux pourrait s'expliquer d'une part par des variations d'ordre génétique, d'autre part par les conditions environnementales et la zone de culture du taro. Par exemple, Ndabikunze *et al.* (2011) ont montré que les tubercules de *Xanthosoma sagittifolium* et *Colocasia esculenta* récoltés dans les zones humides présentent une forte teneur en potassium (K).

Le tableau 13 présente la teneur en microéléments tels que le Fe, Mn, et le Mg. La teneur élevée en Fe (28,79 ppm) est pour les échantillons dont la masse est comprise entre 170 g et 214 g et la plus petite valeur 20,50 ppm) pour les masses supérieures à 284 g.

Tableau 13 : Composition minérale des farines.

Masse de tubercules (g)	K (mg/100g)	Ca(mg/100g)	Na(mg/100g)	Mg (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
masse<170	50,4±0,11^{b}	20,1±0,01^{b}	3,6±0,01^{a}	29,6±0,05^{c}	20,8±0,05^{b}	27,0±0,07^{b}
170<masse<214	46,8±0,08^{a}	18,7±0,05^{a}	3,6±0,03^{a}	31,6±0,03^{d}	28,8±0,06^{d}	37,3±0,06^{d}
214<masse<284	59,5±0,05^{d}	23,8±0,06^{d}	4,4±0,03^{c}	11,2±0,04^{b}	28,5±0,05^{c}	36,9±0,07^{c}
masse>284	53,3±0,07^{c}	21,4±0,04^{c}	3,8±0,02^{b}	3,8±0,01^{a}	20,5±0,04^{a}	26,6±0,05^{a}

*Les chiffres précédés d'une même lettre indiquent qu'il n'existe pas de différence significative aux seuils de ($p < 0.05$).

III-1-6- Répartition granulométrique de la farine de taro variété *lamba*

La distribution granulométrique de la farine de taro *Lamba* est représentée sur le tableau 14 et la figure 13. La taille des granules se répartisse entre 0,13 et 878 µm avec pour diamètre moyen d_{50} qui se situe autour de 107 µm (170 g < masse < 214 g) et 143 µm (masse < 170 g). La figure 13 montre que la distribution granulométrique de la farine est multimodale avec un diamètre moyen se situant autour de 204 µm. Cette distribution est différente de la distribution monomodale obtenue par Aprianita *et al.* (2008) sur d'autres farines de taro. Cette multi modalité de la farine se justifierait par la méthode de broyage. Cette observation a été confirmée par l'image obtenue au qicpic (figure 14). Les grosses particules seraient dues à l'agglomération des petites particules. Cependant l'analyse de la forme des particules montre que ces particules sont plus concaves que sphériques lorsque l'on quitte des particules de 0,13 vers 878 µm (Figure 15).

.

Tableau 14 : Répartition granulométrique de la farine de taro *Lamba*.

Masse de tubercule	D(v :0,10) µm	D(v :0,50) µm	D(v :0,90) µm
masse<170g	6,5±0,11[c]	143,8±14,71[b]	501,4±33,82[b]
170g<masse<214g	5,6±0,80[b]	142,9±5,20[b]	486,8±12,50[b]
214g<masse<284g	5,6±0,51[b]	106,9±16,60[a]	419,1±49,50[a]
masse>284g	4,5±0,12[a]	107,3±9,81[a]	482,6±24,51[b]

*Les chiffres précédés d'une même lettre indique qu'il n'existe pas de différence significative aux seuils de ($p < 0.05$).

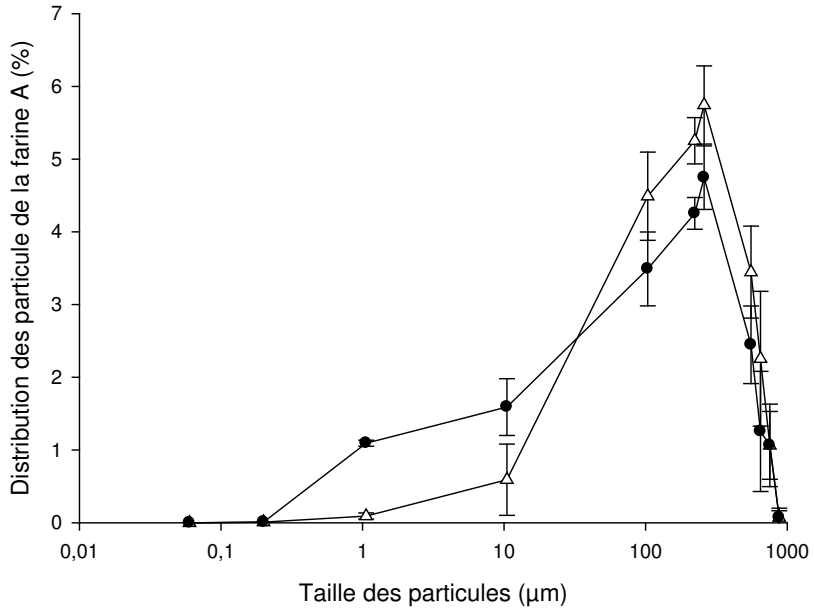


Figure 13 : Répartition granulométrique de la farine de taro *Lamba*.

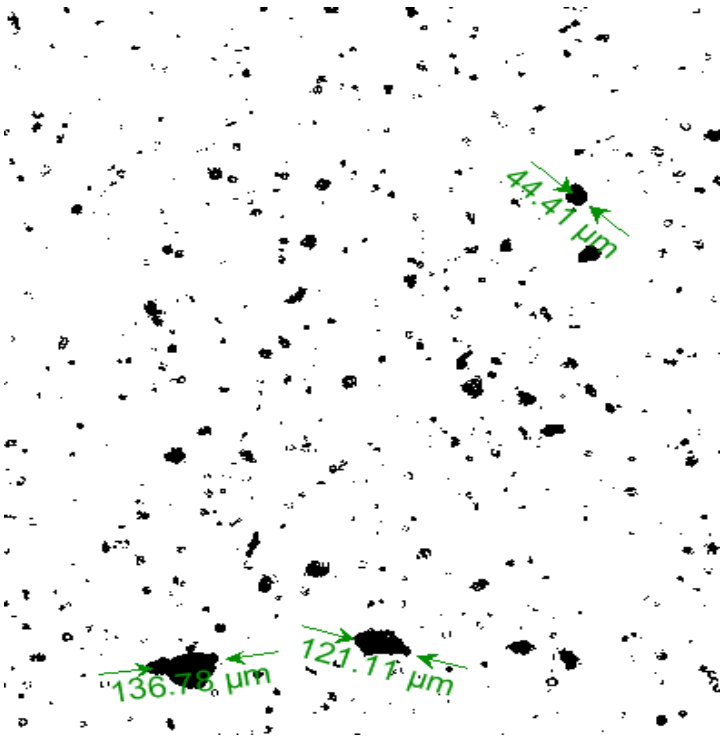


Figure 14 : Image du qicpic des particules de farine *Lamba*

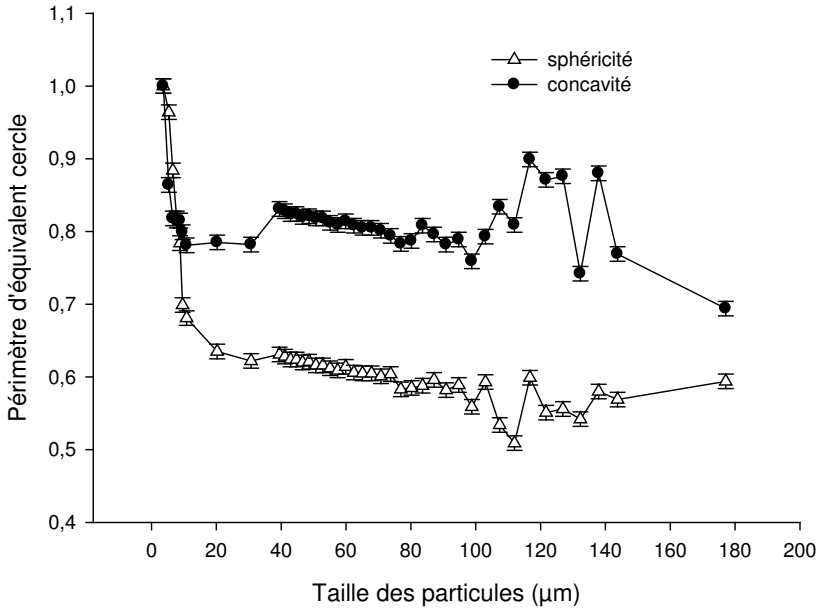


Figure 15 : sphéricité et concavité des particules de la farine *lamba.*

III-1-7-Propriétés rhéologiques des farines de taro Lamba

La figure 16 représente le module de stockage de la farine au cours du chauffage. La mesure de ce paramètre (G') permet de connaître les caractéristiques viscoélastiques de la farine de taro au cours du chauffage. L'analyse de la courbe montre qu'au cours du chauffage, de 30 °C à 80 °C les courbes sont presque constantes. Et autour de 80 °C et de 85 °C un pic de viscosité ou d'élasticité est observé qui baisse immédiatement après le chauffage. Ce phénomène s'explique par le changement d'état que subit la farine suite à la formation du gel à base de la matrice amidon et protéine contenus dans la farine. En effet au cours du chauffage il y a gonflement du gel qui atteint son maximum autour de la température de pic de gélatinisation. Après avoir atteint son maximum cette structure se rompt quelle que soit l'augmentation de la température (Vasanthan et Bhatty, 1996). Des résultats similaires ont été trouvés par Loubes *et al.* (2012) sur les amidons d'amaranthe. De plus, ces résultats sont renforcés par ceux de la calorimétrie différentielle dont les températures de pic de gélatinisation se situent autour de 83 et 84 °C pour toutes les farines étudiées. De façon comparée, on note une baisse du module stockage avec une augmentation de la masse du tubercule, Le module élastique G' des aliments est fortement corrélé à la dureté (Lazaridou *et al.,* 2007). C'est pourquoi, un module élastique G' faible fait penser à un aliment dur alors qu'un aliment ayant un grand module élastique G' est un aliment moelleux. Nos résultats semblent suivre cette tendance avec les échantillons de taro *lamba* qui sont essentiellement composés d'amidon et possédant ainsi une grande habilité à gélatiniser rendant ainsi l'aliment moelleux. La variation du module G' entre les masses révèle une différence de composition chimique dans les masses qu'il mérite une investigation. De plus, les travaux menés par Himeda *et al.* (2012a) ont montré une augmentation de la teneur en amidon avec la maturité qui a ainsi entraîné une augmentation de la capacité gélifiante des tubercules.

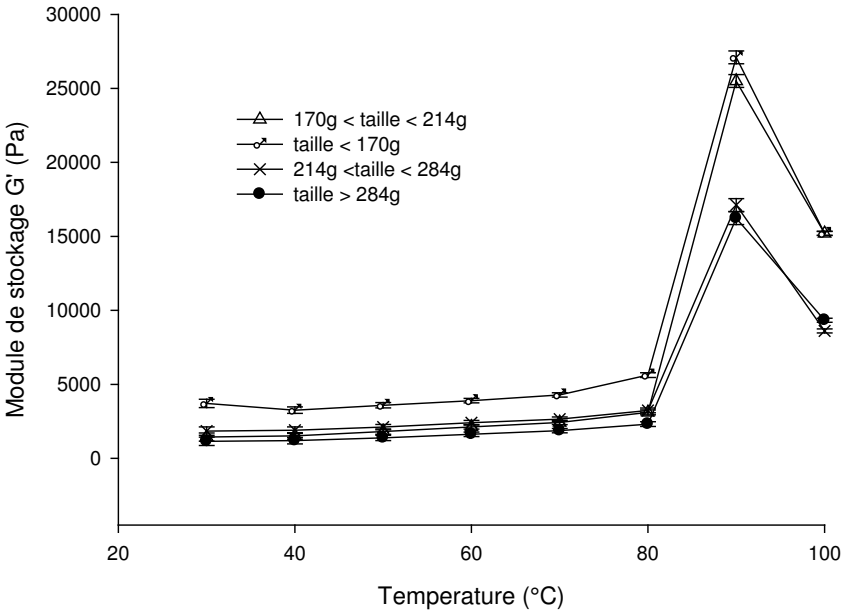


Figure 16 : Module de stockage (G') en fonction de la température.

III-2. Optimisation de l'extraction de la gomme *Grewia mollis*

III-2-1.Composition chimique de la poudre de l'écorce de *Grewia mollis.*

Le tableau 15 montre la composition chimique de la poudre de l'écorce de *Grewia mollis.* La poudre a une teneur en eau faible et principalement composée de sucre disponible. La teneur en cendre est élevée mais celle des protéines est moyenne. C'est pour la première fois dans la limite de nos connaissances que la composition proximale, des écorces de *Grewia mollis* est caractérisée. Cette composition est similaire à celles observées sur les écorces de *Scorodophleus zenkeri* et *Hua gabonii* dont les niveaux sont les suivants : 9,7 à 96 g/100 g M.S pour les cendres, 10,2 à 14,2 g/100 M.S pour les protéines, 2,5 à 3 g/100 M.S. pour les lipides et 3,2 à 20,5 g/100 M.S pour les sucres disponibles. D'une manière générale, les écorces des plantes, sont riches en fibres et peuvent contenir de la résine, des oxalates de calcium sous formes de cristaux, des tanins et d'autres éléments de sécrétion (Pallardy, 2008). La haute teneur en sucre disponibles dans cette écorce, reflète sa richesse en gomme (Nep et Conway, 2011) notamment comme les gommes arabiques, les gommes adragante, les gommes Karaya.

Tableau 15 : Caractéristiques de l'écorce de *Grewia mollis*

Composition physico-chimiques	Ecorces (*Grewia mollis*)
Teneur en eau (%)	12,3 ± 0,11
Protéines (g/100gMS)	7,8 ± 0,55
Cendres (g/100gMS)	12,6 ± 0,05
Sucres Disponibles (g/100gMS)	43,9 ± 2,13

III-2-2- Analyse des résultats du procédés d'extraction

Les résultats de l'analyse des données issues des surfaces réponse présentent un modèle polynomial de second degré dont les paramètres de l'équation montrent une relation entre les réponses et les facteurs. Dans cette équation, l'effet linéaire de chaque facteur (X_i), leurs interactions (X_iX_j) et leurs effets quadratiques (X_i^2) sur les réponses ont été déterminés. Les résultats de l'analyse de variance sont présentés sur les tableaux 16 et 17 respectivement pour la viscosité et le rendement d'extraction de la gomme. La valeur de la probabilité (P value) inférieure à 0,05 présente un effet significatif du coefficient. Le ratio influence de manière linéaire respectivement la viscosité ($p < 0,0062$) et le rendement ($p < 0,0009$). De même, la viscosité est influencée par l'effet quadratique du ratio (0,0212) et du temps (0,0542). Par ailleurs, lorsqu'on classe ces facteurs par ordre croissant (F-ratio) l'ordre est le suivant : ratio eau/poudre > temps > température > pH. Koocheki *et al.* (2008) ont extrait les gommes de *Qodume shirazi* et ont trouvé un effet similaire du ratio et de la température sur la viscosité et le rendement. Cependant, le pH n'a pas eu d'effet. Ces résultats sont contraires à ceux observés par Razavi *et al.* (2009). En effet, ces auteurs ont montré que le ratio n'a pas d'effet significatif sur la viscosité, mais influence significativement le rendement d'extraction. Amid et Mirhosseini (2012) ont observé une influence significative du ratio, de la température et du pH sur le rendement d'extraction de la gomme issue des graines de durian (*Durio zibethinus*). Les différences de l'influence des facteurs sur les réponses peuvent être dues à la composition chimique des gommes. La gomme de *Grewia* est riche en sucre neutre et quelque acide uronique. Nep *et al.* (2013) ont montré que ces acides uroniques sont l'acide galacturonique et l'acide glucuronique.

Tableau 16 : Analyse de variance de l'optimisation de la viscosité de la gomme de *Grewia mollis*

Source	Somme des carrées	Df	F-ratio	P-Value
linéaire				
A: temps	0,0656044	1	1,03	0,3266
B: pH	0,0179849	1	0,28	0,6032
C:température	0,0261258	1	0,41	0,5318
D: ratio	0,644974	1	10,11	0,0062*
quadratique				
AA	0,2773	1	4,35	0,0546
BB	0,205767	1	3,23	0,0926
CC	0,200101	1	3,14	0,0968
DD	0,422087	1	6,62	0,0212*
Interaction				
AB	0,0078550	1	0,12	0,7305
AD	0,000094492	1	0,00	0,9698
BC	0,000312507	1	0,00	0,9451
BD	0,00333624	1	0,05	0,8222
AC	0,0029671	1	0,05	0,8321
CD	0,088271	1	1,38	0,2578
Total (eurreur)	0,956746	15		
Total (corrigé)	4,57207	29		

**effet significatif pour p-value<0,05*

Tableau 17 : Analyse de la variance de l'optimisation de la viscosité de la gomme de *Grewia mollis.*

Source	Somme des carrées	Df	F-ratio	P-Value
linéaire				
A: temps	34,8446	1	0,10	0,7577
B: pH	619,909	1	1,76	0,2048
C:température	37,7153	1	0,11	0,7482
D: ratio	5999,3	1	17,0	0,0009*
quadratique				
AA	55,711	1	0,06	0,8141
BB	10,5134	1	0,16	0,6967
CC	365,476	1	0,03	0,8653
DD	185,664	1	1,04	0,3249
Interaction				
AB	339,648	1	0,96	0,3421
AD	101,004	1	0,24	0,6005
BC	173,185	1	0,49	0,4943
BD	75,5734	1	0,21	0,6501
AC	9,5103	1	0,03	0,8718
Total (eurreur)	5292,5	15		
Total (corrigé)	14902,5	29		

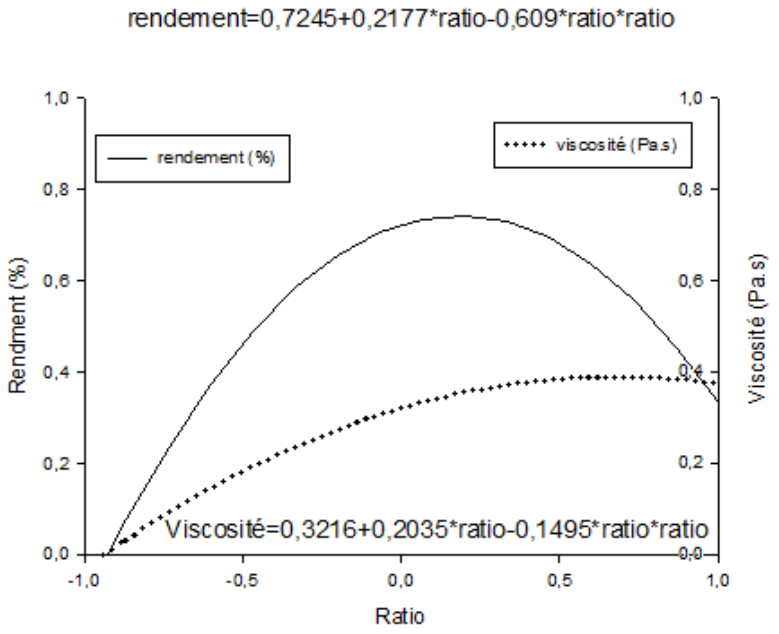
**effet significatif pour p-value<0,05*

III-2-3 Influence du temps, de la température, du pH et du ratio sur le rendement et la viscosité.

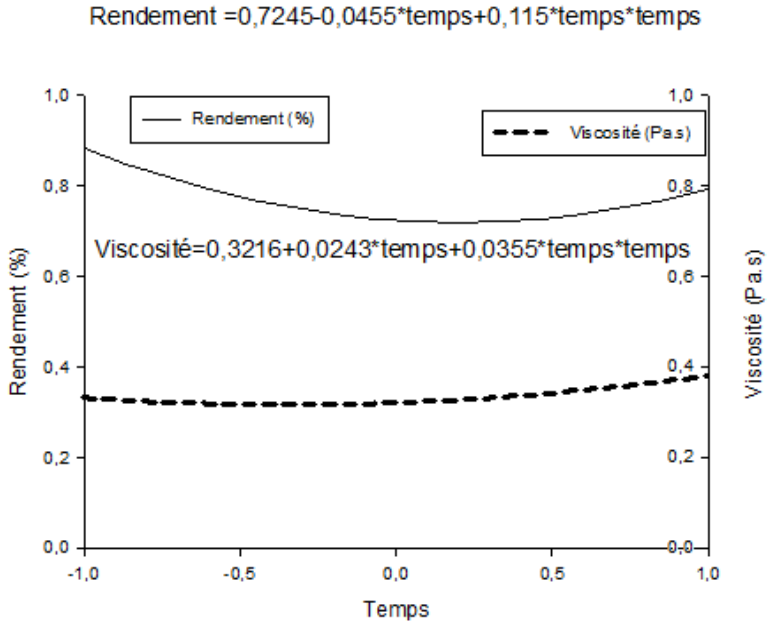
L'influence de ratio, du temps, de la température, et le pH sur les réponses est présentée respectivement sur les figures 17 A, 17 B, 17 C, et 17 D. Les équations quadratiques ont été générées lorsque les autres facteurs sont fixés au centre (valeur codé égale à zéro). La figure 17 A, présente une augmentation du rendement avec le ratio de 10 : 1 à 51 : jusqu'à une valeur de 0,78 % suivie d'une baisse du rendement de 0,37 % lorsque le ratio varie de 51 : 1 à 80 : 1. L'influence du ratio présente un effet quadratique similaire sur la viscosité dont l'optimum du ratio est de 69 : 1 qui équivaut au maximum de viscosité de 0,39 Pa.s. L'influence du temps, de la température d'extraction, et du pH est respectivement représentée sur les figures 17B, 17C, et 17D, ces figures montrent qu'aucun facteur n'influence la viscosité et le rendement de la gomme. Cela qui est confirmé par les tableaux 16 et 17 de l'analyse de variance. Plusieurs travaux ont montré l'influence du temps, de la température, du ratio et du pH sur le rendement et la viscosité. Koocheki *et al.* (1999) ont montré que le rendement augmente de manière exponentielle avec la température et le temps d'extraction. À la température élevée autour de 75 °C et à des temps autour de 3 h d'extraction, le rendement d'extraction atteint son équilibre. Des tendances similaires ont été observées avec les gommes des graines du flax (Cui *et al.,* 1994) des graines de sterculia (Wu *et al.,* 2007) des gommes des feuilles de Yanang (Singthong *et al.,* 2008). Ces résultats sont différents des nôtres. Cette différence serait due probablement à la nature et à l'origine de la gomme. En effet la gomme utilisée dans le cadre de cette thèse est une issue de l'écorce d'un arbuste rigide. Cette gomme est donc moins influencée par la température contrairement à la majorité des gommes dont la littérature nous informe qu'elles sont issues des graines et des feuilles. L'augmentation du rendement avec le ratio serait aussi due à la disponibilité de l'eau dont la pression permet d'extraire la

gomme du substrat (Karazhiyan *et al.,* 2011; Koocheki *et al.,* 1999). Inversement, Singthong *et al.* (2009) ont montré que le rendement d'extraction est élevé, lorsque le ratio est faible. La variation du rendement d'extraction avec le temps d'extraction révèle encore que cette variation serait due à la nature et à l'origine de la gomme. Ceci mérite d'être exploré. De plus, la composition chimique, des gommes peut affecter le rendement d'extraction de la gomme, plus particulièrement leur solubilité due à la variation du pH. L'influence du pH sur le rendement a été étudiée sur quelques gommes et les résultats sont similaires à ceux obtenus par Koocheki *et al.* (2009) ; Wu *et al.* (2007). Cependant, ils sont contraires de ceux observés par plusieurs auteurs. Somboonpanyakul *et al.* (2006) ont trouvé que le rendement d'extraction est élevé à des pH alcalins tandis que Furuta *et al.* (1998) ont trouvé que le rendement d'extraction est élevé à des pH acide. Cependant, selon Karazhiyan *et al.* (2011) l'influence du pH alcalin peut être due à l'hydrolyse et à la dissolution des composants insolubles, qui dans notre cas n'a pas eu lieu ceci à cause de la nature et l'origine des échantillons qui proviennent de l'écorce d'un arbuste.

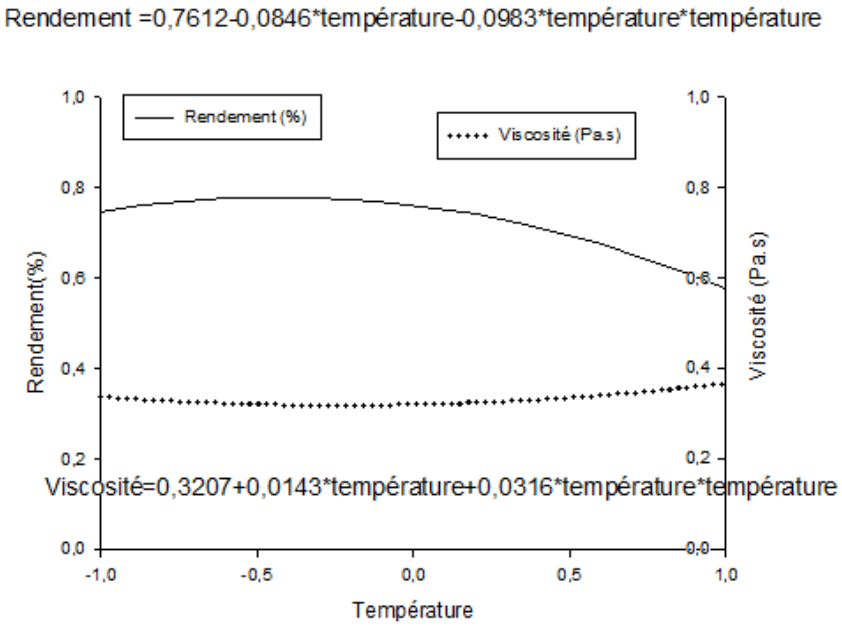
Plusieurs travaux (Estevez *et al.,* 2004 ; Koocheki *et al.,* 2009) ont été menés sur l'influence des facteurs d'extraction sur la viscosité des gommes. Koocheki *et al.* (2009) ont montré que le temps et la température d'extraction font augmenter la viscosité de la gomme des graines de *Lepidium sativium.* Estevez *et al.* (2004) ont montré que l'augmentation du ratio entraînait une diminution de la viscosité tandis que le pH n'a pas eu d'effet significatif plus particulièrement au faible ratio. Karazhiyan *et al.* (2011) ont trouvé des résultats similaires relatifs à l'influence du ratio, de la température, et du pH sur la viscosité.



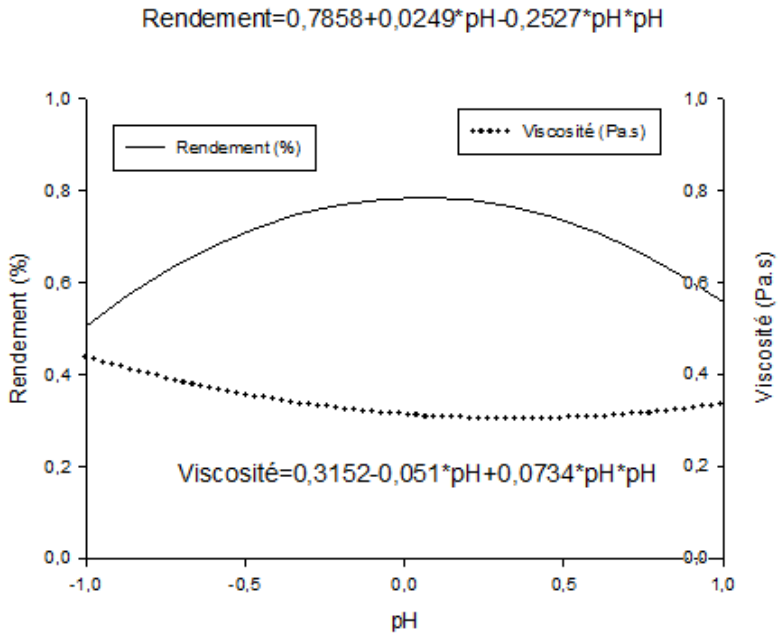
(A) Représentation quadratique du ratio sur la viscosité et le rendement d'extraction



(B) Représentation quadratique du temps sur la viscosité et le rendement d'extraction



(C) **Représentation quadratique de la température (C) sur la viscosité et le rendement d'extraction**



(D) **Représentation quadratique du pH (D) sur la viscosité et le rendement d'extraction**

Figure 17 **:** Représentation quadratique du ratio(A), du temps(B) de la température (C) et du pH (D) sur la viscosité et le rendement d'extraction.

III-2. 4- Courbes iso réponse, et optimisation de l'influence du ratio, du temps, de la température et du pH sur la viscosité et le rendement d'extraction.

La figure 18 ci-dessous présente les courbes iso réponses de l'influence du ratio eau/poudre (v/m) et du temps sur la viscosité (18 A) et le rendement (18 B). Chaque courbe iso réponse a été tracée lorsque les autres paramètres étaient fixés au centre à savoir température 55 °C et pH 7. Le temps d'extraction n'a pas d'effet sur la viscosité autour du ratio eau / poudre de 10 à 40 et de 60 à 80 (Figure 18 A). Cependant, entre les ratios 40 et 60, l'augmentation du temps d'extraction induit une baisse de la viscosité de 1,2 Pa.s à 0,8 Pa.s. Par ailleurs, quel que soit le temps d'extraction, on observe une augmentation de la viscosité pour des ratios compris entre 10 et 55 puis une baisse est observée. La plus grande viscosité est de 1,2 Pa.s, observée dans les zones de faible temps d'extraction, ce maximum diminue lorsque le temps d'extraction augmente. L'influence du temps et du ratio sur le rendement d'extraction montre presque le même effet que la viscosité et ce rendement d'extraction varie entre 0,1 % et 0,4 %.

La figure 19 ci-dessous présente la surface de réponse de l'effet du pH et du ratio eau / poudre sur la viscosité (19A) et le rendement (19B) d'extraction de la gomme. Les courbes ont été tracées au temps de 2 h et à la température de 55°C. L'interaction du pH et du ratio eau/poudre montre que le pH a une influence sur la viscosité au ratio de 50 : 1. Dans ces conditions, l'augmentation du pH de 4 à 7 entraine une augmentation de la viscosité de 0,4 à 0,8 Pa.s. Au-delà de ces valeurs de pH une baisse de la viscosité est observée. L'effet sur le rendement est également visible au ratio eau/poudre supérieur à 50:1 où une augmentation du pH entraine une baisse non significative du rendement de 0,5 % à 0,2 %. L'influence de la température est semblable à celle du temps, mais n'a pas d'effet significatif dans de faible zone de ratio. Cependant quelques effets ont été notés autour des ratios de 40 à 60. Dans cette zone de

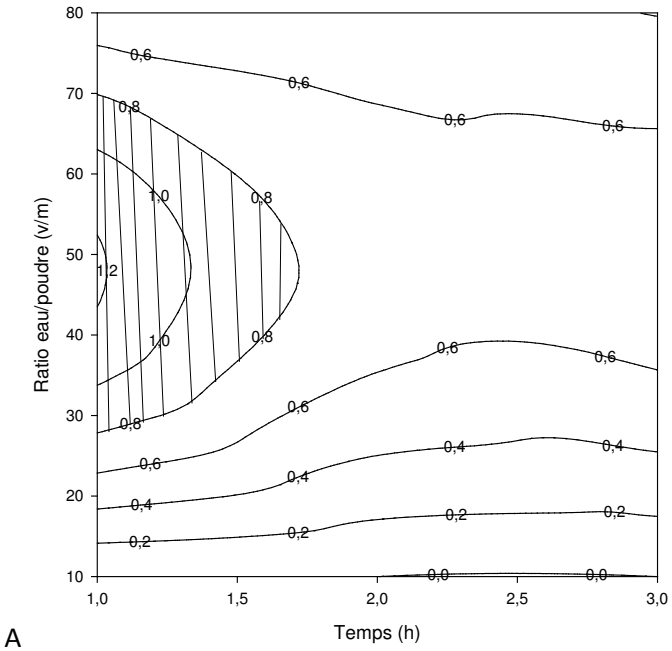
ratio, l'augmentation de la température a tendance à réduire la viscosité. Des effets similaires sont observés pour le rendement.

Les résultats de cette étude, ont montré que la viscosité et le rendement d'extraction de la gomme *Grewia mollis* sont significativement influencés par le ratio. Les facteurs temps, température, et pH influencent très peu la viscosité et le rendement. Dans le but d'identifier les conditions optimales d'extraction de la gomme, les courbes d'iso réponses ont été tracées. A cet effet, les conditions d'extractions étaient optimales lorsque la viscosité et le rendement étaient les plus élevés. L'optimum a été trouvé graphiquement en superposant les zones optimales des figures 18, 19, et 20. Les conditions optimales de la viscosité se situent autour des températures de 25 °C et 85 °C, des pH 6 et 8, des ratios 40 : 1 et 60 : 1 et des temps d'extraction de 1 h et 1,5 h. Tant disque, les conditions optimales du rendement d'extraction sont autour des températures de 30 et 60 °C, des pH 4-7, des ratios 50 : 1 et 70 : 1 et des temps d'extraction de 1 et 2 h. Les conditions optimales données par le logiciel et résumés dans le tableau 18 reflètent bien les optimums déterminés graphiquement. La superposition des courbes d'iso réponses, de la viscosité et du rendement est présentée sur la figure 21. Comme c'est le ratio et le temps qui ont eu un effet significatif sur la viscosité et le rendement, seules les figures ayant le ratio d'une part et le temps d'autre part ont été superposées. Sur cette base, les conditions optimales qui maximisent, la viscosité et le rendement de la gomme *Grewia mollis* sont le ratio 50:1-60:1 et le temps d'extraction de 1 h et 1,5 h.

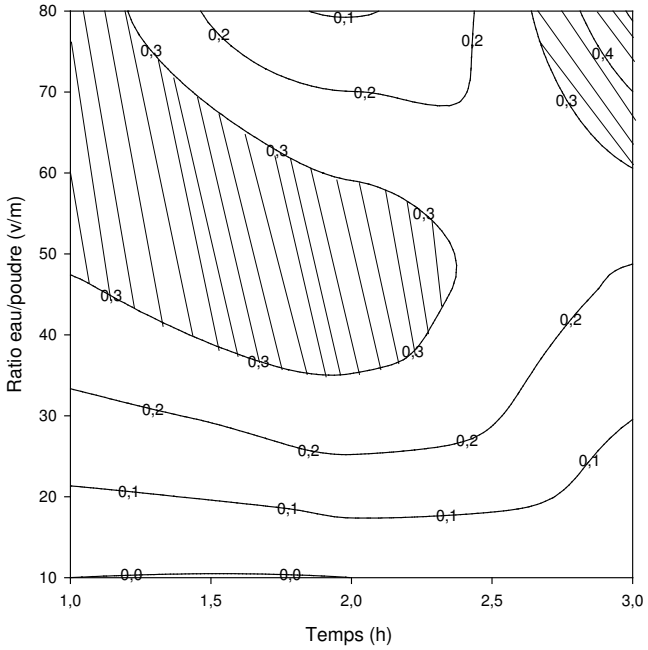
Le tableau 18 montre que les conditions optimales sont les suivantes: température de 73 °C, temps 1 h, pH 7,0 et le ratio 55 : 1. Dans ces conditions, la gomme extraite a un rendement de 0,32 % et sa viscosité est de 0,98 Pa.s. Ces valeurs sont proches des valeurs désirées qui sont respectivement de 0,4 % et 1,2 Pa.s pour le rendement et la viscosité. Les viscosités obtenues sont proches de celles obtenues sur

les gommes Xanthan (Riazi *et al.,* 2006) et même des autres gommes telles que les gommes issues des graines d'*Ocimum basilicum* (581,4 mPa.s) (Razvi *et al.,* 2009), et des gommes issues des feuilles de *Lepidium perfoliatum* (518,9 mPa.s). Cependant, le rendement d'extraction est faible comparé aux gommes issues des graines de Yanang (4,54 %) (Singthong *et al.,* 2009), de Flax (7,9 %) (Cui *et al.,* 1994), de mesquite (19,4 %) (Sepulveda *et al.,* 2007) et le mucilage d'Opuntia (19,4 %) (Esteves *et al.,* 2004). Mais, ce rendement est élevé comparé à celui de graines *Durio zibethinus* (1,2 %) (Amin *et al.,* 2007).

Sur la base de leur faible rendement, comparé aux gommes commerciales, l'utilisation de la gomme *Grewia mollis* comme nouvelle source d'hydrocolloïdes alimentaires, reste un problème. Bien plus, la partie de la plante utilisée, l'écorce, peut entraîner une destruction de la plante si la récolte est excessive.

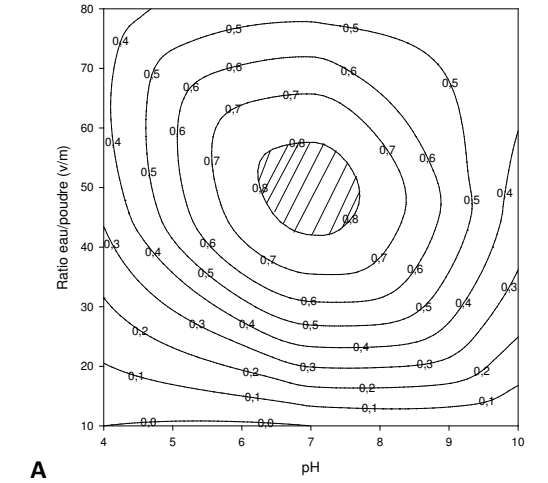


A



B

Figure 18 : Influence du ratio et du temps sur la viscosité (A) et le rendement (B) d'extraction de la gomme (pH 7 ; température 55°C).



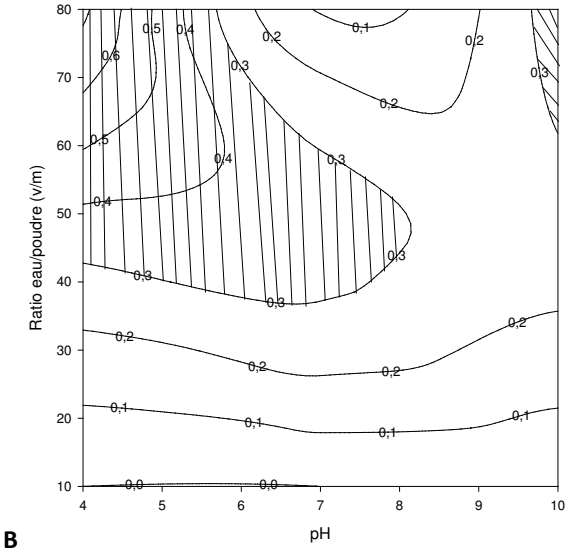
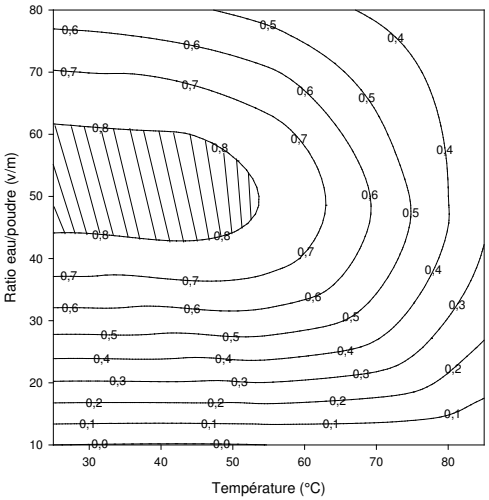
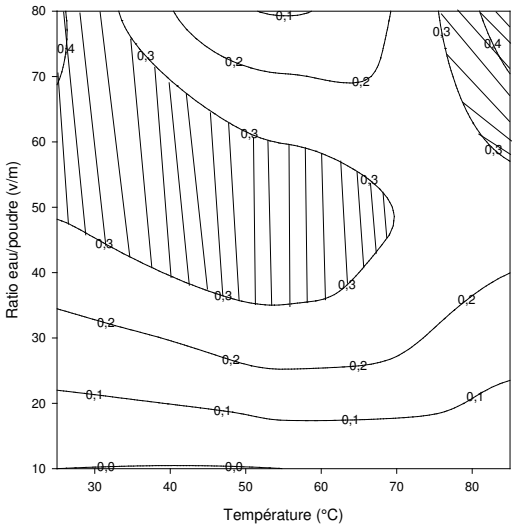


Figure 19 : Influence du ratio et du pH sur la viscosité (A) et le rendement (B) d'extraction de la gomme (temps 2h ; température 55°C).



A



B

Figure 20 : Influence du ratio et de la température sur la viscosité (A) et le rendement (B) d'extraction de la gomme (pH 7 ; temps 2h).

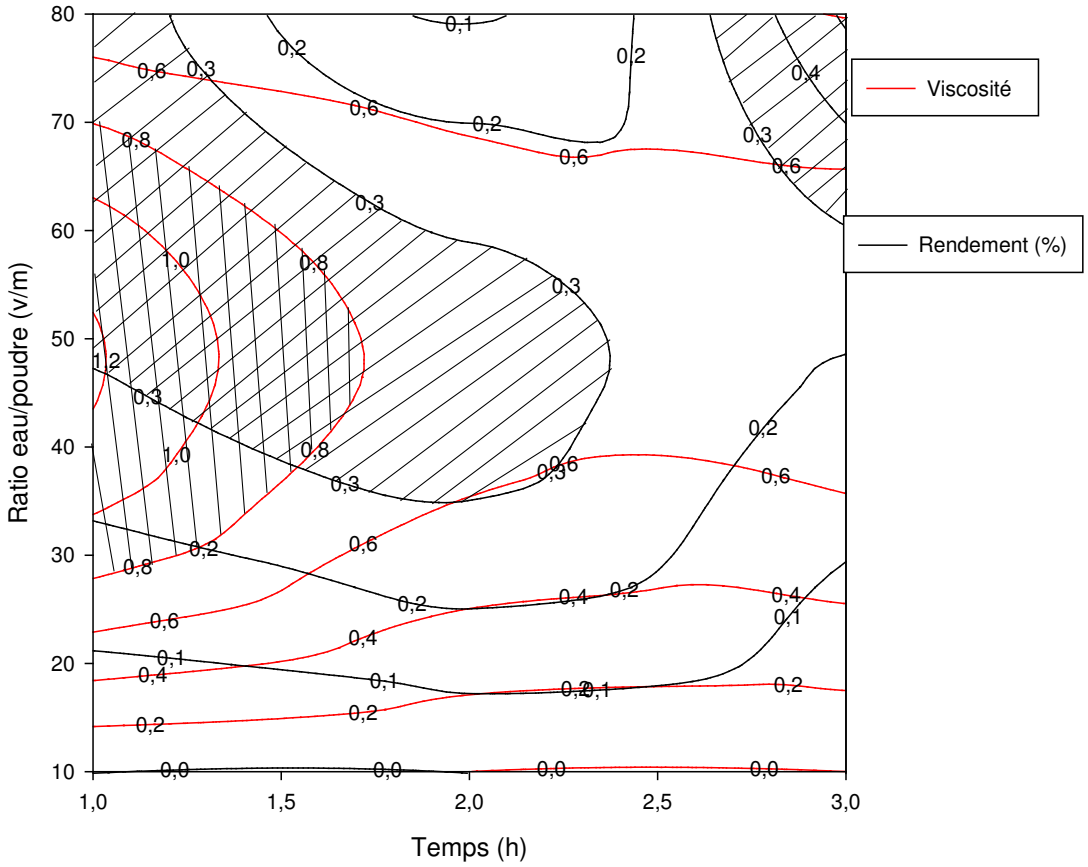


Figure 21 : Zone optimale d'extraction de la viscosité et du rendement d'extraction de la gomme *Grewia mollis*.

Tableau 18 : Conditions optimales d'extraction de la gomme *Grewia mollis*

Facteur	*Viscosité optimale*	*Rendement optimale*
Temps (h)	1,0*	3
pH	7,1*	4
Température (°C)	50,3	73,2*
Ratio eau : masse poudre	55,4 : 1*	80 : 1

*Valeur optimale choisie lors de superposition des courbes iso réponses.

III-2-5-Profil en sucres des gommes

Le profil en sucres de la gomme est présenté sur la figure 22. Les concentrations moyennes de ces sucres sont les suivantes : glucose (80 %) rhamnose (19 %) xylose (5 %), galactose (1 %) et arabinose (2 %). Ces résultats sont similaires de ceux observés par Nep et Conway (2011). En effet, ces auteurs ont trouvé des valeurs suivantes : glucose (67,1%) rhamnose (6,2 %) arabinose (12,7 %) xylose (2,7 %) et galactose (9,61%). Nos échantillons, ont présentés des teneurs considérables en acide galacturonique et l'acide glucuronique qui ont été montrées sur la gomme de *Grewia* par le spectrophotomètre à transformé de fourrié. La différence en composition des gommes peut être due aux conditions de transport, à l'environnement de synthèse et aux conditions d'extraction (Wang et Cui, 2005). En effet nous avons utilisé de l'eau chaude pour l'extraction de la gomme tandis que Nep et Conway (2011) ont extrait la gomme à la température ambiante puis ils ont séché la gomme avec différentes méthodes.

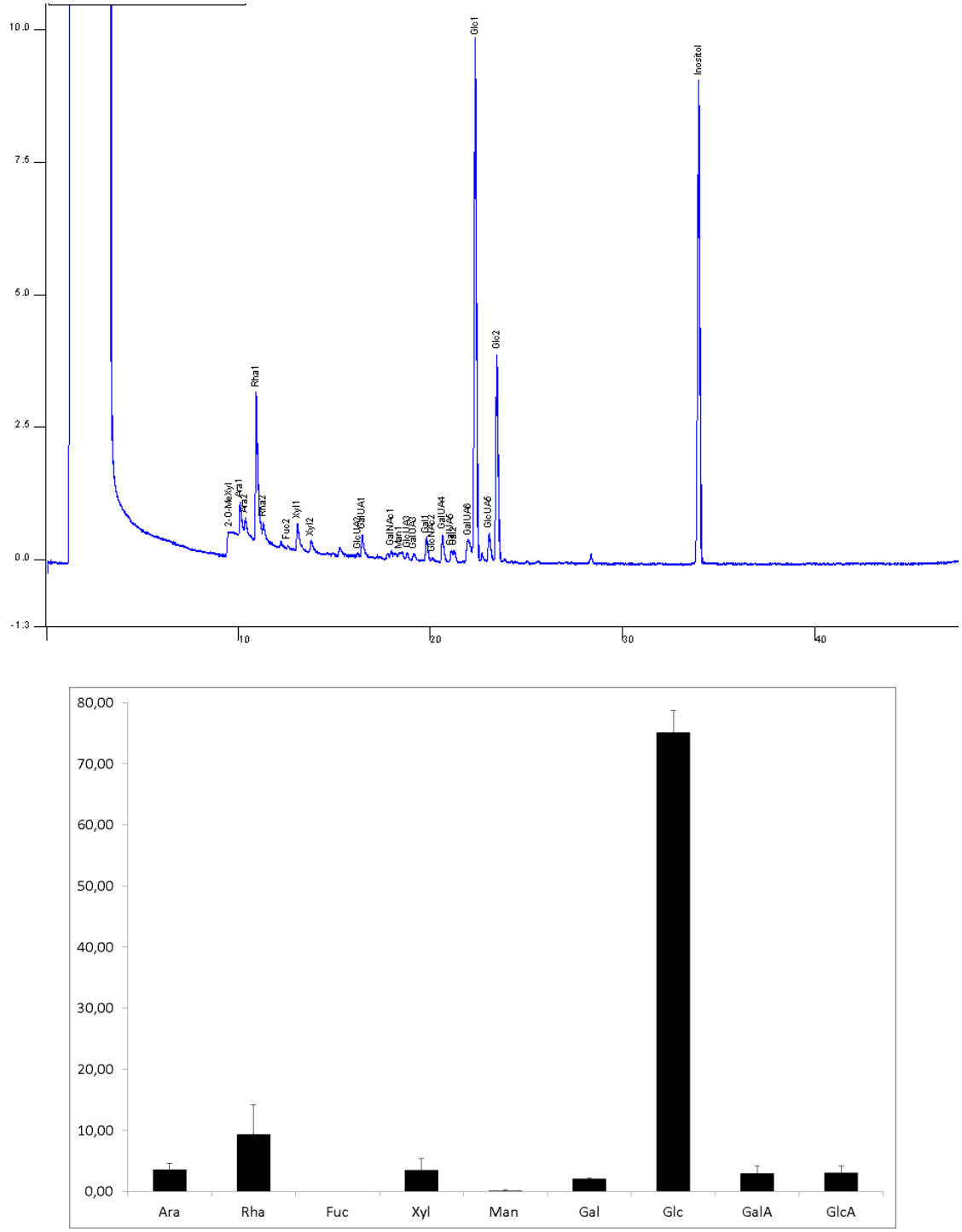


Figure 22: Profil en sucres par chromatographie en phase gazeuses de la gomme.

III-3 Optimisation du potentiel boulanger de la farine de taro par l'ajout de la gomme *Grewia mollis*

III-3 1-Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des farines de blé, taro, gomme.

III-3 1-1-Composition proximale des farines de blé, taro, gomme.

Les caractéristiques physico-chimiques de la farine de blé, taro et de la gomme Grewia sont présentées au tableau 19. D'une manière générale il existe une différence significative ($p < 0,05$) sur la composition physicochimique des farines. Alors que le blé se caractérise par une teneur en protéines élevée comparée à la farine de taro, la farine de taro est plus riche en cendres, en conformité des observations récentes de Himeda *et al.* (2012). Les compositions similaires de la farine de taro et de blé sont rapportées dans les travaux de Aboubakar *et al.* (2011) et Nindjin *et al.* (2011). La teneur en amidon endommagé est élevée pour la farine de blé (14,55) comparée à la farine de taro. Cette différence montre la relative fragilité de l'amidon de blé aux contraintes physiques du broyage, comparé à la farine de taro.

Comparée aux farines de blé et taro, la gomme de *Grewia* est essentiellement de nature glucidique avec une proportion de protéines. La teneur en protéines dans la gomme semble refléter les protéines de la farine de *Grewia*. Cette teneur a été évaluée à 7 %. On peut penser que pendant l'extraction de la gomme, les protéines se soient attachées aux glucides par l'intermédiaire des liaisons faibles. En effet la composition en monosaccharides de la gomme *Grewia* a montré des teneurs non négligeables d'acide galacturonique et glucuroniques, dotés de charges négatives susceptibles de s'attacher aux charges positives des amines de protéines. La présence des cendres et particulièrement des cations divalents dans la gomme auraient dans ce contexte un rôle à jouer dans la formation des gels en neutralisant les charges existantes pour faciliter le rapprochement entre les molécules de glucides de la gomme.

Tableau 19 : Composition proximale de chaque farine

	Blé	Taro	Gomme *Grewia mollis*
Teneur en eau (%)	10,57 ± 0,1[a]	10,35 ± 0,5[a]	12,51±0,10[b]
Protéines (g/100gMS)	12,05 ± 0,35[b]	11,69 ± 0,58[b]	10,1±0,08[a]
Cendres (g/100gMS)	1,05 ± 0,8[a]	5,27 ± 0,06[c]	2,51±0,04[b]
Lipides (g/100gMS)	1,31±0,02a	0,61±0,04a	0,15±0,03[a]
Sucres Disponibles (g/100gMS)	26,25 ± 0,21[a]	44,66 ± 4,40[b]	65,51±1,02[c]
Amidon Endommagé (g/100gMS)	14,55 ± 0,38[c]	12,47 ± 0,40[b]	-

**les chiffres précédé par une même lettres ne sont pas significativement (p<0,05) différent*

III-3 1-2-Paramètres de couleur de chaque farine.

Les paramètres de couleur L, a*, b* sont présentés dans le tableau 20. Les résultats montrent que plus la farine est blanche, plus est élevé la valeur de L, telle que la farine de blé ayant une valeur plus haute de L (91,17) qui est proche de la valeur de L de la farine de taro (85,26), la gomme présente la plus faible valeur de L (69,59). Par contre, la gomme a montré une valeur élevée de b * de 13,79 celle qui correspondant à une farine plus jaune par rapport aux valeurs de la farine de blé de 8,62 et de la farine de taro de 6,44. Ces résultats qui montrent une différence de couleur entre les farines de blé et/ou taro et la farine, témoignent d'une modification de la couleur de la pâte si des mélanges sont effectués.

Tableau 20 : Paramètres de couleur

	L	a*	b*
Blé	91,17 ± 0,42	0,65 ± 0,02	8,62 ±0,15
Taro	85,26 ± 0,03	- 0,68 ± 0	6,44 ± 0,005
Gomme	69,59 ± 6,89	3,44 ± 0,32	13,79 ± ,46

III-3 1-3-Capacité d'absorption d'eau des farines de taro, blé, gomme et des farines formulées.

L'aptitude technologique d'une farine se rapporte d'abord à son comportement vis-à-vis de l'eau, d'autant plus que la réhydratation représente très souvent la première étape dans leur utilisation. La capacité d'absorption d'eau réelle et apparente des farines de blé, taro et gomme *Grewia* est présentée dans la figure 23. Comme attendu, la farine de blé a présenté une capacité d'absorption d'eau plus faible comparée à la farine de taro. D'autre part la gomme absorbe 11 fois plus d'eau que la farine de blé et 3 fois plus que la farine de taro. La capacité d'absorber l'eau (CAE) joue un rôle majeur dans la formation de la pâte. Il a été montré que cette propriété est corrélée à la consistance de la pâte (Njintang *et al.,* 2008). Les travaux antérieurs de Njintang *et al.* (2008) et Himeda *et al.* (2008) ont montré que la teneur élevée en glucides de la farine est responsable de la haute capacité à absorber de l'eau. Toute fois des farines autres que les légumineuses à l'instar du pois marin (Lorimer *et al.,* 1991) riche en protéines, et les farines de céréales comme le riz délipidé (Singh *et al.,* 1995) ont montré des capacités d'absorption d'eau supérieures à celles du blé. La conséquence d'une substitution de la farine de blé par ces farines auraient très probablement une conséquence sur l'augmentation de la capacité d'absorption d'eau du mélange. A l'opposé, les composés à teneur en amidon élevée ne présentent pas toujours des CAE élevées comparées à la farine de blé. Les travaux de Bamidele *et al.* (1995) ont montré que la substitution de la farine de blé par le plantain, un amylacé contenant 95% de glucides et 2,85% de protéines, entraîne une réduction de la CAE du mélange. Ces observations contradictoires montrent que la teneur en glucides et protéines ne sont pas les seuls déterminants de la CAE des farines alimentaires. Il est à ce titre démontré que les gommes hydrocolloides se caractérisent par une capacité d'absorption d'eau très élevée (Lopez-Franco *et al.,* 2013). Quel que soit les cas, les gommes ont la particularité d'être

hautement hydrophiles. La gomme *Grewia* ne déroge pas à cette logique générale. Comme dans le cas du taro, la grande capacité d'absorption d'eau a été corrélée à la teneur en sucres dans la poudre des gommes (Koocheki *et al.,* 2011). L'absorption d'eau par la gomme *Grewia* se traduit par l'augmentation de la viscosité du milieu par gélification tel qu'indiqué au chapitre 2. Les différences entre les propriétés des différentes farines entraînent incontestablement une modification de la capacité du mélange à absorber l'eau. L'influence de la substitution du blé par le taro et la gomme *Grewia* sur la capacité d'absorption d'eau est présentée sur la figure 24 A et B. L'analyse de variance montre que toutes les farines associées au mélange ont une influence significative sur la CAE. Toute fois la variance associée à la capacité d'absorber de l'eau montre que la gomme l'influence de l'ordre de 57 %, alors que le blé a une variance de 37 % (Figure 26). Le diagramme de cox (Figure 25) associé au plan de mélange montre que globalement l'augmentation de la proportion de taro ou du blé entraîne une baisse de la capacité d'absorption d'eau du mélange, alors que l'augmentation de la proportion de gomme entraîne une augmentation de la capacité d'absorption d'eau du mélange. L'effet de l'incorporation de la farine de taro dans le blé selon un plan binaire (Njintang *et al.,* 2008) a montré des résultats contraires au présent travail. En effet les travaux récents de Njintang *et al.* (2008) ont montré que sur 3 variétés de taro l'augmentation de la proportion de taro dans un mélange blé-taro se traduit par une augmentation de la capacité d'absorption d'eau du mélange. Les résultats contraires observés dans le plan ternaire dans cette étude seraient la résultante d'une interaction forte avec la gomme qui imposerait sa forte aptitude à absorber l'eau au mélange. Cette aptitude des gommes à augmenter la CAE des mélanges avec les farines non panifiables a déjà été mise en évidence sur la plupart des gommes xanthane, alginate, j-carrageenan, et HPMC (Lazaridou *et al.,* 2007). D'autre part l'augmentation de la capacité d'eau de la farine de blé après ajout des gommes a été rapportée dans de nombreuses études (Guarda *et al.,* 2004; Rosell *et al.,* 2001). Les travaux de Laziradou

et al. (2007) ont montré que l'augmentation de la capacité d'absorption d'eau est fonction du type de gomme, avec la gomme xanthane ayant l'aptitude la plus élevée, suivie des pectines, agarose et le CMC. Dans la présente étude, le mélange farine de blé à 82,50 %, farine de taro à 15 % et la gomme de 2,5 % est la formulation qui se rapproche le mieux de la formulation standard blé 100 %.

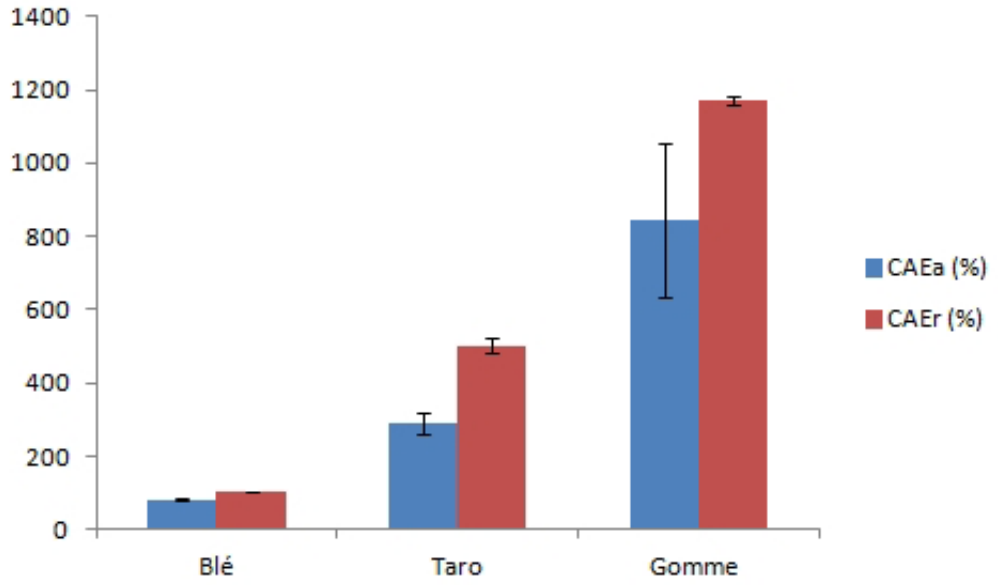
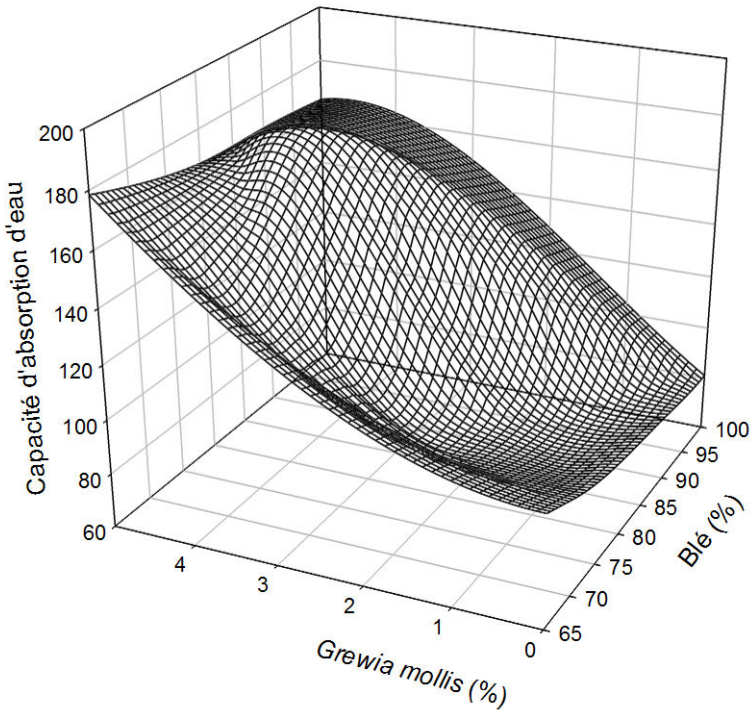
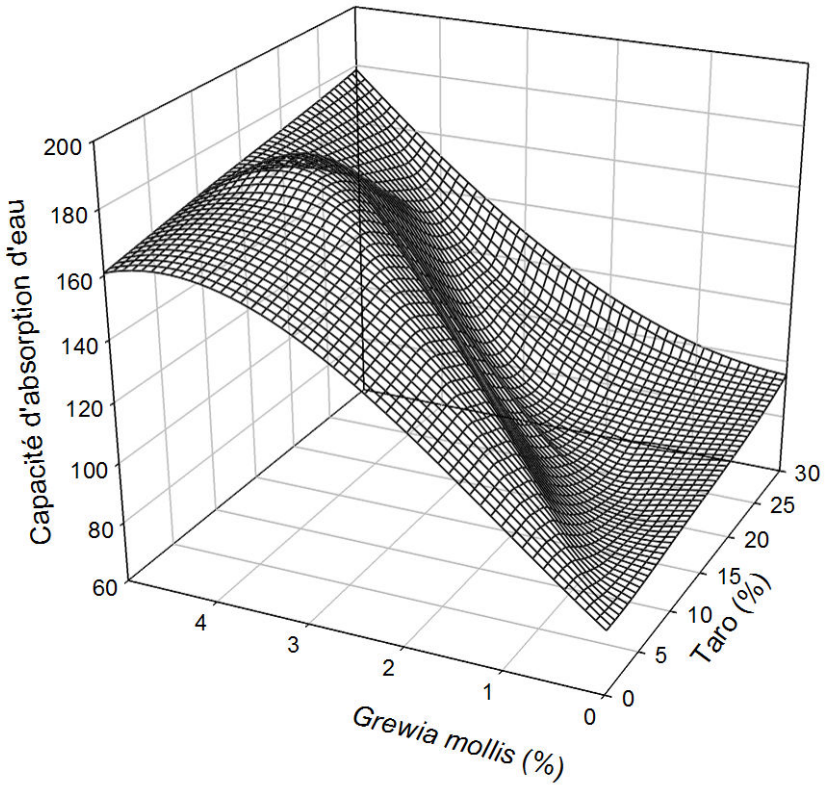


Figure 23 : Capacité d'absorption d'eau réelle (CAEr) et capacité d'absorption d'eau aparente (CAEa) des farines de blé, taro et gomme.



(A) Capacité d'absorption d'eau de la farine de blé et la gomme *Grewia mollis*



(B) Capacité d'absorption d'eau du taro et de la gomme *Grewia mollis*

Figure 24 : Capacité d'absorption d'eau de farine de blé, Grewia mollis (A) taro, *Grewia mollis* (B)

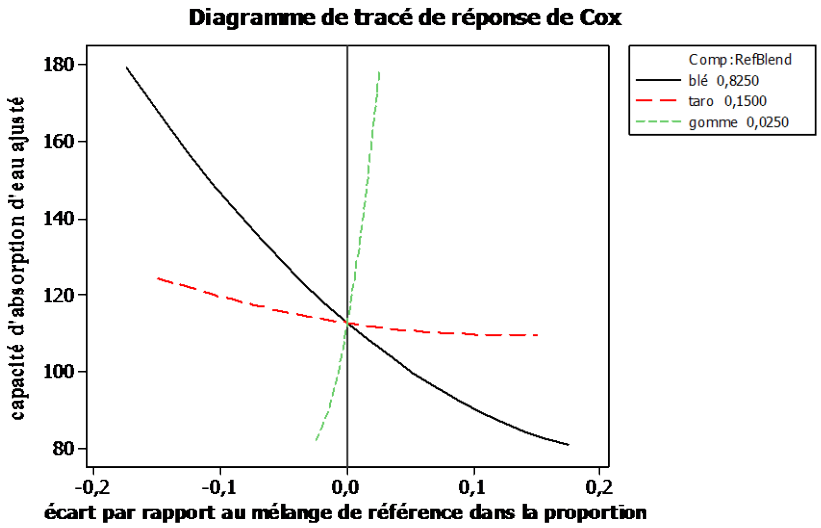


Figure 25 : Diagramme de cox sur la capacité d'absorption d'eau des mélanges des farines.

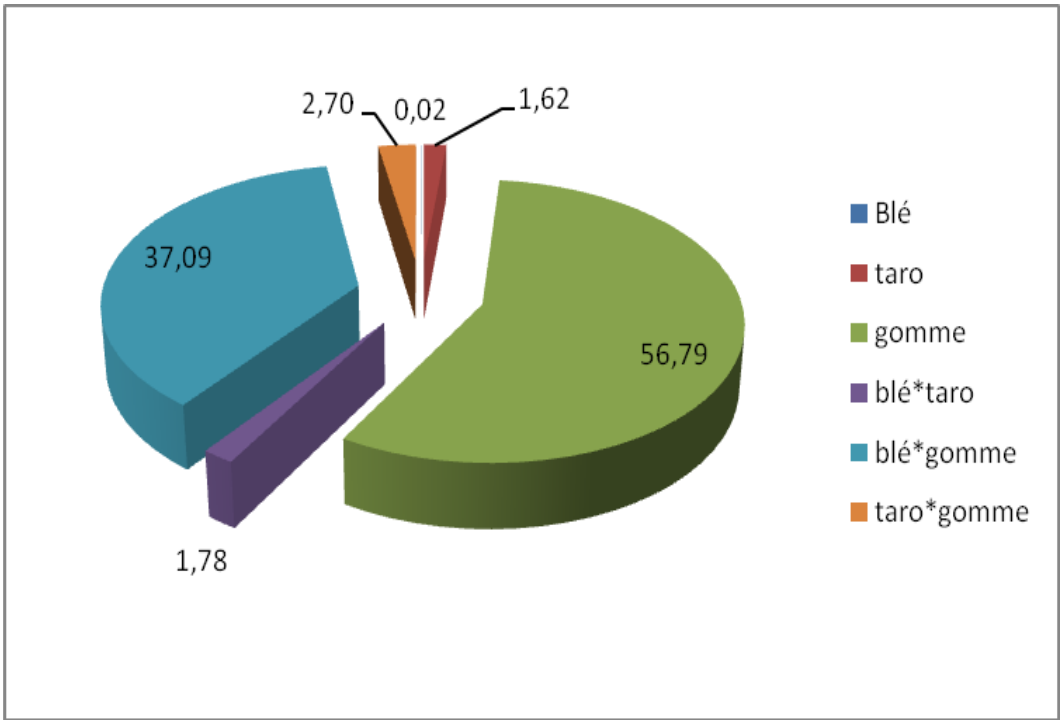


Figure 26 : Analyse de variance de l'influence du blé, taro et gomme sur la capacité d'absorption d'eau des mélanges des farines.

III-3 2-Propriétés des pâtes

III-3 2-1 Caractéristiques rhéologiques de la pâte composée blé, taro, gomme *Grewia mollis.*

III-3 2-1-1. Effet du pourcentage des farines sur le module élastique G', de la pâte.

La figure 27 présente le domaine linéaire de viscoélasticité des différentes formulations de pâtes. D'une manière générale, pour toutes les formulations, le domaine linéaire de viscoélasticité se situe autour du taux de cisaillement de 0,1 S^{-1}. Ces résultats sont semblables à ceux observés par Lazaridou *et al.* (2007), Asghar *et al.* (2006). En effet le domaine linéaire de viscoélasticité représente la zone où les paramètres élastiques (G') ne varient presque pas. Donc pour déterminer ces paramètres élastiques, et afin de mesurer le module élastique, de chaque formulation il faudrait se situer dans la zone où le taux de cisaillement ne fait pas varier la viscoélasticité des formulations.

III-3 2-1-2 Caractéristique du module élastique (G')

Une fois déterminé, le module élastique a montré une variation significative ($p < 0,05$) sous l'influence des ingrédients (figure 28 A et B). On peut noter de ces figures une interaction significative entre la gomme et d'une part le blé (Figure 28A), et d'autre part le taro (figure 28B). En présence d'une faible concentration de taro, l'ajout de la gomme entraîne une augmentation très forte du module élastique, alors qu'en présence d'une teneur élevée en taro, on observe une augmentation rapide de l'élasticité avec l'ajout de la gomme jusqu'à une teneur de 2 à 2,5 % au-delà de laquelle toute augmentation n'a plus d'effet significatif. Cette observation est contraire de l'interaction avec le blé qui montre plutôt une augmentation linéaire à des proportions en blé élevées. En revanche alors que l'élasticité augmente avec le taro de façon forte et linéaire à des teneurs en gomme faible, cette augmentation est faible à des teneurs élevées de gomme. L'effet inverse est observé pour le blé avec l'élasticité qui baisse rapidement à des

faibles teneurs en gomme et faiblement à des grandes teneurs en gomme. Ces observations témoignent de l'action de la gomme sur la propriété élastique de la pâte. l'analyse des variances (figure 30) a en effet montré que les modifications du module élastique dépendent à 53,04 % de la gomme. Globalement l'augmentation de la gomme et le taro entraîne une augmentation du module élastique (Figure 29) qui, en retour, baisse avec l'augmentation du blé. La baisse du module élastique de la pâte avec la gomme peut être due à la compétition entre les molécules par rapport à l'eau (Autio, 2006) et la destruction physique du réseau de gluten (Gan *et al.,* 1992). En effet ces derniers auteurs ont montré que les particules du son de blé détruisent la matrice gluten-amidon, agissant ainsi comme des points de faiblesse pour l'extensibilité de la pâte en faisant agrandir les cellules de gaz dans une autre direction. Par ailleurs Wang *et al.* (2003) ont montré que le son de blé de par sa richesse en pentosane et comparée à la matrice gluten-amidon, présente une grande affinité avec les molécules d'eau. C'est cette grande affinité qui rend indisponible l'eau à la matrice gluten-amidon. Des résultats similaires ont été obtenus par Gomez *et al.* (2010) lors de l'ajout sur la pâte de la cellulose du son de blé, et des fibres d'avoine. Les pâtes ont présenté de grandes valeurs de G' indiquant une pâte plus raide, d'une uniformité plus élevée et ayant une résistance à l'écoulement. De même, Bárcenas *et al.* (2009) ont montré que l'ajout de la gomme arabique et la gomme pectine entraîne une augmentation du module élastique.

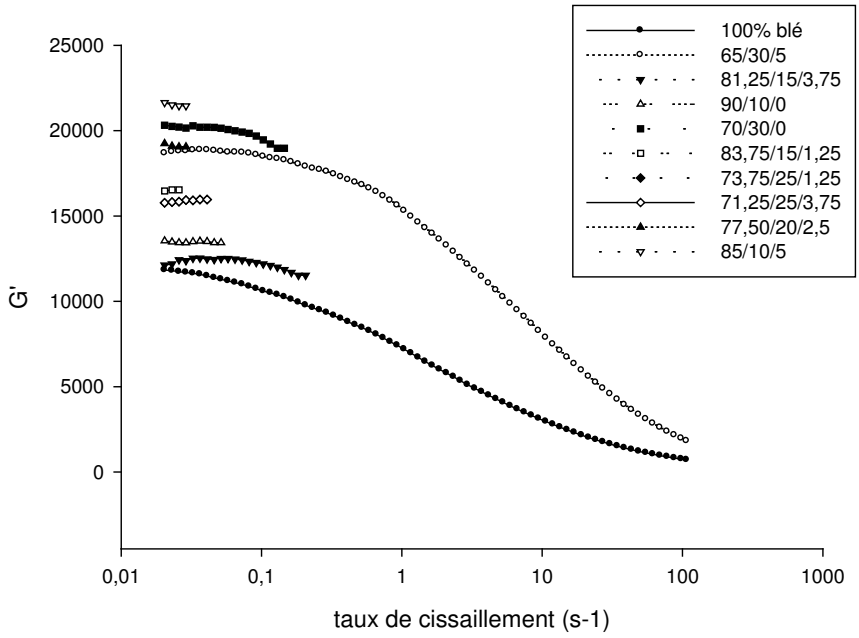


Figure 27 : Domaine linéaire des pâtes composées (blé, taro, gomme) du module élastique en fonction du taux de cisaillement (s^{-1})

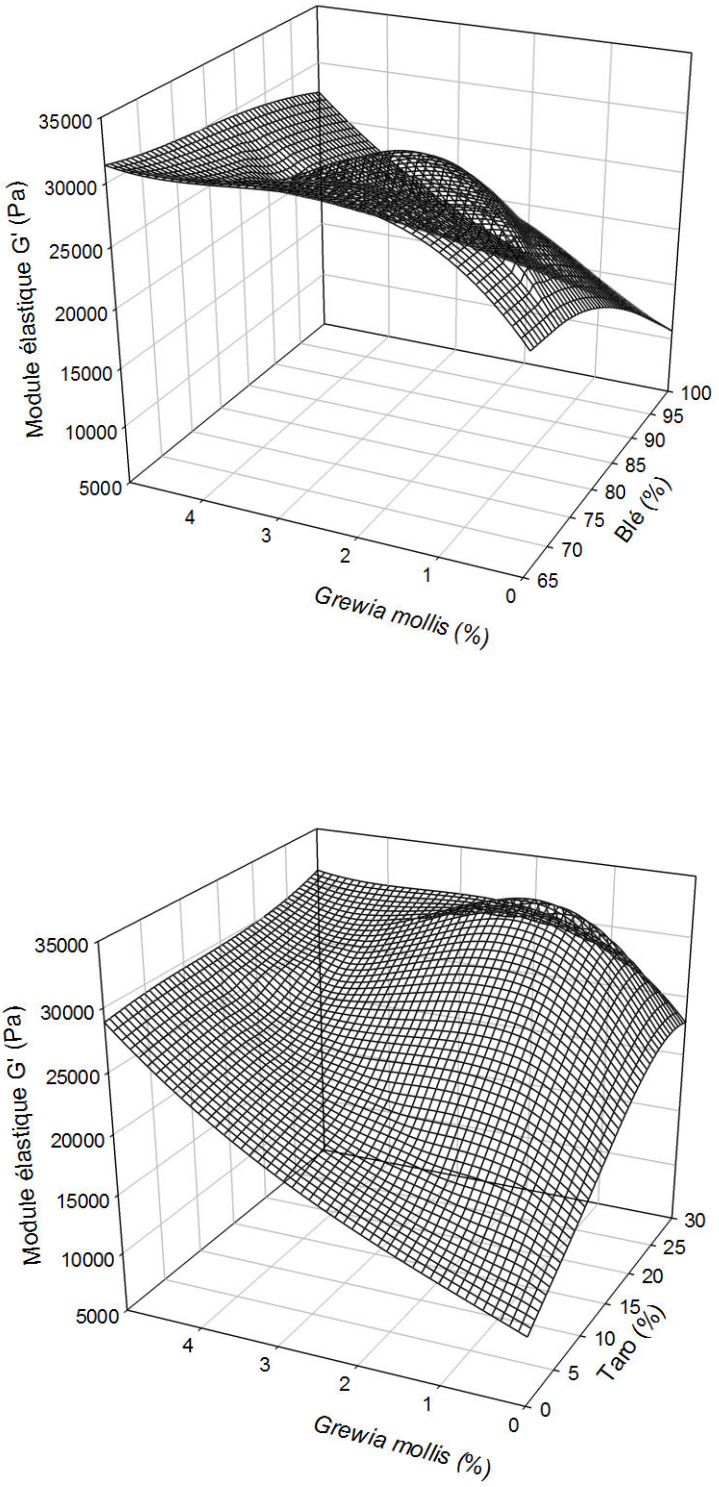


Figure 28 : Module élastique (G') de la pâte en fonction de la farine de blé, *Grewia mollis.*(A) et de taro , *Grewia mollis* (B)

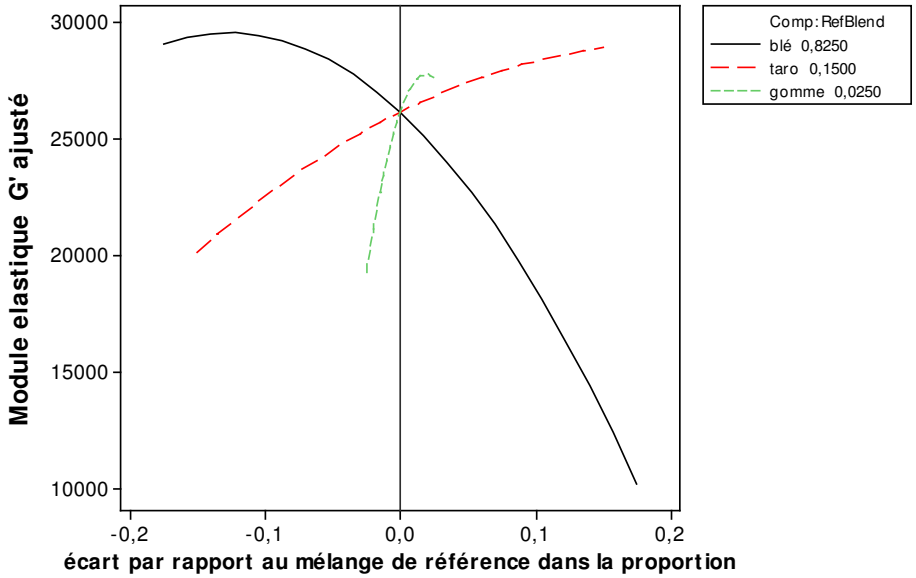


Figure 29 : Diagramme de cox sur le module élastique (G').

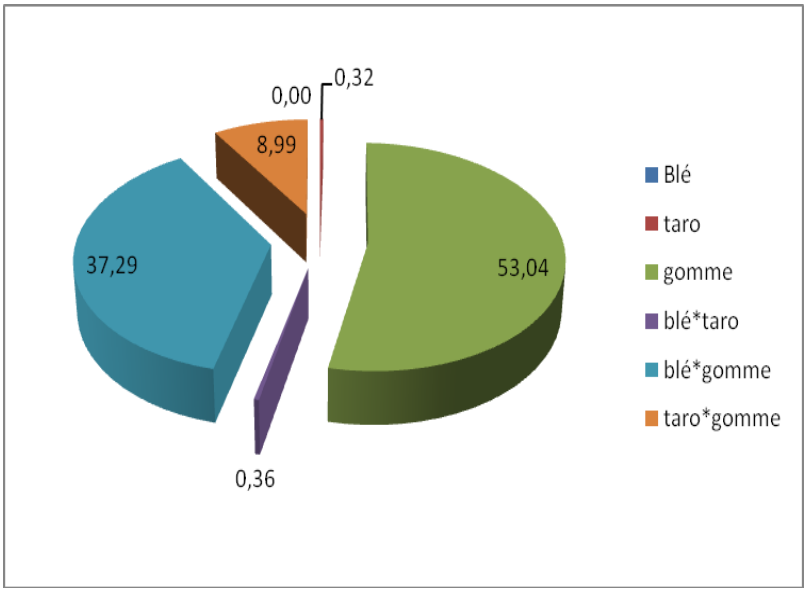


Figure 30 : Analyse de variance de l'influence du blé, taro et gomme sur le module élastique.

III-3 2-2- Propriétés viscoélastiques fluage-recouvrement de la pâte composée (Blé-taro-gomme *Grewia mollis*).

Le pâte à base de farine de blé est formée par une matrice viscoélastique hydratée qu'est le gluten et chargée par des particules rigides que sont les grains d'amidon. Les propriétés mécaniques de la pâte sont corrélées à la qualité des produits finis qui quant à eux dépendent en premier lieu de la composition et des caractéristiques des protéines qui constituent le gluten. La pâte de blé ainsi faite décrit en général une caractéristique dite viscoélastique caractérisée par la courbe de fluage-recouvrement. La courbe de fluage-recouvrement obtenue dans la présente étude (figure 8) est similaire à celle du blé quel que soit le mélange (Sivaramakrishnan *et al.,* 2004; Wang et Sun, 2002). La propriété viscoélastique combine les propriétés des fluides visqueux et la composante élastique.

Les caractéristiques du fluage-recouvrement des mélanges de pâte sont présentées dans le tableau 21. L'analyse de variance des paramètres rhéologiques déterminés en mode fluage-recouvrement montre qu'il existe une différence significative entre les différentes formulations (tableau 21). Le diagramme de cox de la figure 31 montre que le module de complaisance instantanée augmente à la suite de l'addition de la gomme dans le mélange jusqu'à une valeur de 2,5 % au-delà de laquelle toute augmentation de la proportion de gomme entraîne une baisse de la complaisance instantanée. Le taro quant à lui entraîne globalement une baisse de la complaisance instantanée (figure 31) alors que le blé entraîne une augmentation. Un effet similaire a été observé sur les caractéristiques de complaisance J_mc, J_{max}, J_0r et J_0er, qui par ailleurs ont montré une corrélation bien significative d'une part, et d'autre part, elle est positive avec la complaisance instantanée pour des valeurs du coefficient de corrélation respectivement de 0,87 ; 0,99 ; 0,85 et 0,83. L'incorporation de polysaccharides dans le blé a été rapportée avoir un effet positif sur la résistance de la pâte à la déformation,

autrement dit, elle a entraîné une augmentation de la viscosité et une baisse de la complaisance maximale (Wang *et al.,* 2002). L'augmentation de la viscosité semble être l'inverse de la complaisance au regard de la figure 32, et aux corrélations inverses fortes observées avec la complaisance instantanée J_oc (r = - 0,844) ; J_mc (r = - 0,825), J_or (r = - 0,675) et J_mr (r = - 0,677). Ces corrélations démontrent que l'augmentation du caractère visqueux de la pâte se traduit par une baisse de son élasticité et vice-versa. D'une manière pratique, les propriétés des mélanges sont proches de celles du blé pour un taux de gomme ne dépassant pas 2,5 %. De façon comparative, les valeurs des complaisances instantanées du fluage et du recouvrement sont élevées comparées aux complaisances élastiques retardées et à la viscosité (tableau 21). Comme attendu cette grande complaisance instantanée de nos pâtons montre que l'ajout de la gomme entraîne une augmentation du caractère élastique des pâtons. Ces observations contrastent avec celles de Njintang *et al.* (2007) qui ont constaté que les complaisances instantanées du fluage et du recouvrement de la pâte du «Achu» étaient plus petites comparées aux complaisances élastiques retardées et à la viscosité (n0). Il convient de signaler que l'augmentation de la complaisance est synonyme d'une faible résistance de la pâte à la déformation (Lazaridou *et al.,* 2007). La formulation 100/0/0 présente le plus grand module de complaisance instantanée (J_o) (9,4 ± 0,56 Pa^{-1}) suivie de la formulation 77/20/2 dont le module de complaisance est de $6,1*10^3$ Pa^{-1}. Le plus petit module de complaisance est observé pour les pâtes issues de la formulation 71/25/3 dont la valeur est de $3,15*10^3$ Pa, donc plus grande résistance à la déformation. Selon Hung *et al.* (2007) la différence observée entre les caractéristiques rhéologiques de la pâte de blé avec la pâte blé/taro/gomme, est due à la présence de fibre des gommes et du taro qui se combinent aux glutens pour former une matrice irrégulière et discontinue autour des granules d'amidons.

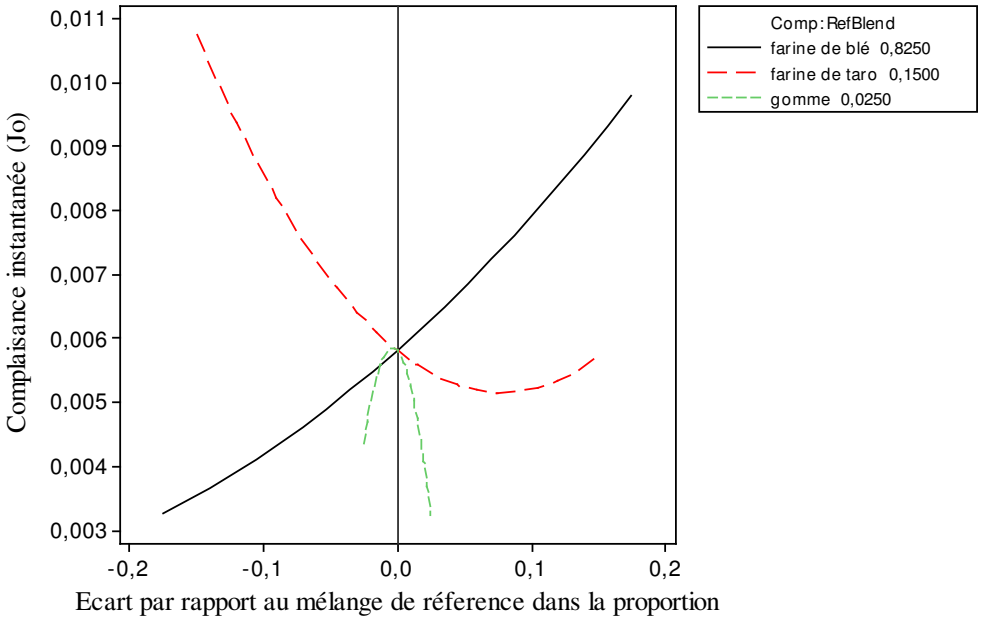


Figure 31 : Diagramme de cox de la complaisance instantanée (J_0)

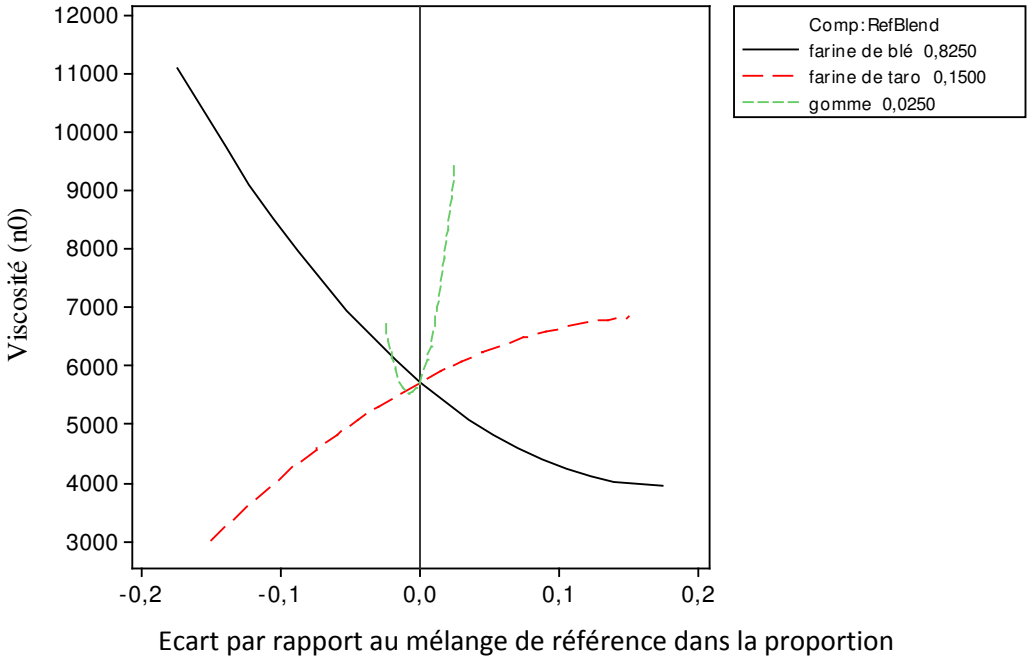


Figure 32 : Diagramme de cox de la viscosité (n_0)

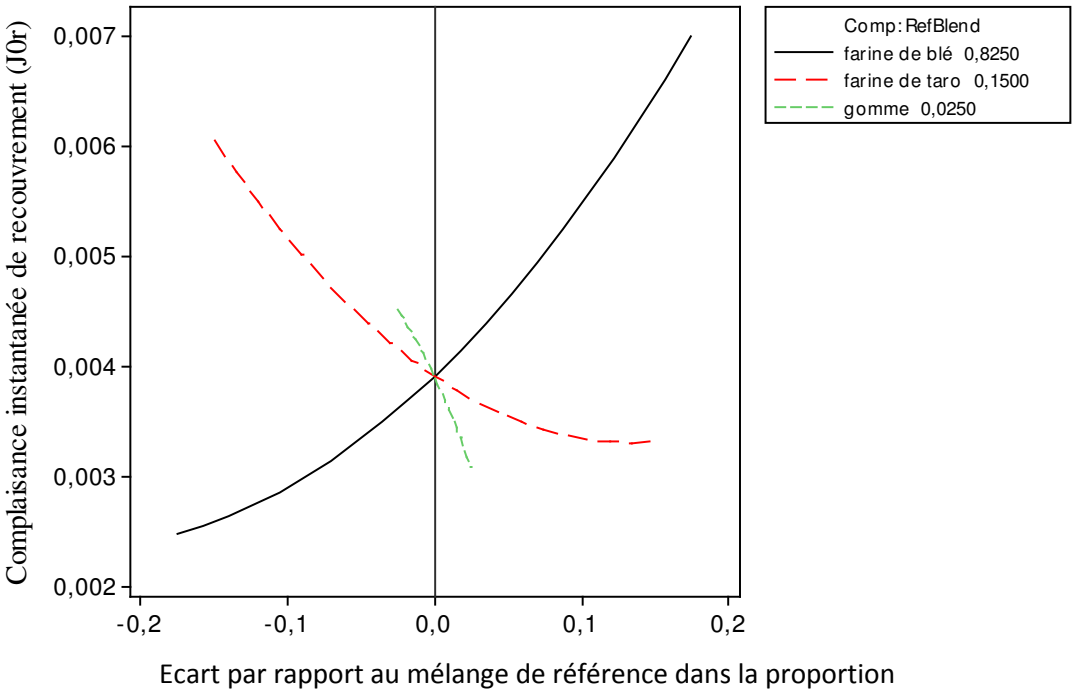


Figure 33 : Diagramme de cox de la complaisance instantanée de recouvrement (J_o^r)

Tableau 21 : Influence de la gomme sur les paramètres du fluage et recouvrement de la pâte blé-taro.

	Paramètres rhéologiques	formulations									
		65/30/5	81,25/15/3,75	90/10/0	70/30/0	83,75/15/1,25	73,75/25/1,25	71,25/25/3,75	77,5/20/2,5	85/10/5	100/0/0	Valeur P
Phase fluage	n_0*10^{-4}[Pa s]	1,02±0,01^{g}	0,64±0,02^{d}	0,63±0,02^{d}	0,76±0,01^{f}	0,53±0,02^{c}	0,65±0,02^{e}	1,05±0,01^{h}	0,52±0,02^{b}	0,88±0,01^{h}	0,39±0,03^{a}	0,00
	J_0*10^3 [Pa^{-1}]	3,8±0,14^{ab}	5,3±0,28^{cd}	5,65±0,21^{d}	4,55±0,49^{bc}	5,4±0,42^{cd}	4,35±0,49^{bc}	3,15±0,21^{a}	6,1±0,14^{d}	4,1±0,14^{b}	9,4±0,56^{e}	0,00
	J_m*10^2 [Pa^{-1}]	1,06±0,01	1,65±0,02	1,71±0,02	1,34±0,03	1,94±0,02	1,57±0,6	1,01±0,03	2,03±0,04	1,21±0,28	2,8±0,01	0,61
	t(s)	18,24±0,02^{b}	19,26±0,02^{c}	19,96±0,02^{e}	21,69±0,01^{f}	22,37±0,02^{h}	22,12±0,12^{g}	19,88±0,01^{e}	19,49±0,01^{d}	19,26±0,02^{c}	17,03±0,01^{a}	0,00
Phase recouvrement	$J_{max}*10^2$[Pa^{-1}]	1,46±0,07^{b}	2,2±0,07^{f}	2,28±0,07^{f}	1,76±0,06^{d}	2,49±0,01^{g}	2,03±0,01^{e}	1,36±0,01^{a}	2,69±0,01^{h}	1,66±0,01^{c}	3,92±0,02^{i}	0,00
	$J_0^r*10^3$[Pa^{-1}]	2,42±0,02^{a}	2,83±0,2^{b}	5,05±0,03^{h}	3,63±1,1^{e}	4,75±0,05^{g}	3,53±0,75^{de}	3,23±0,03^{c}	3,43±0,51^{d}	3,83±0,05^{f}	7±0,65^{i}	0,00
	$J_m^r*10^2$[Pa^{-1}]	0,48±0,002^{a}	0,64±0,07^{b}	1,17±0,003^{h}	0,84±0,26^{e}	1,12±0,005^{g}	0,79±0,17^{d}	0,76±0,004^{c}	0,78±0,13^{d}	0,88±0,005^{f}	1,56±0,17^{i}	0,00
	t_r(s)	7,26±0,09^{b}	6,72±0,18^{a}	10,77±0,08^{e}	11,08±2,13^{e}	10,78±0,13^{e}	9,36±0,29^{d}	12,52±0,14^{g}	6,81±0,01^{a}	11,48±0,13^{f}	7,75±0,58^{c}	0,00
	$J_0^e*10^2$[Pa^{-1}]	0,72±0,004^{a}	0,92±0,098^{b}	1,68±0,000^{h}	1,20±0,371^{e}	1,60±0,010^{g}	1,14±0,245^{d}	1,08±0,008^{c}	1,12±0,186^{d}	1,26±0,010^{f}	2,26±0,235^{i}	0,00

**les chiffres précédé par une même lettres ne sont pas significativement ($p<0,05$) différents*

III-3 2-3-Volume de pâtes composées blé-taro-gomme Grewia mollis pendant la fermentation.

L'influence du taux d'incorporation du taro et de la gomme sur le volume de la pâte est présentée sur la figure 34. L'analyse de variance représentée de la figure 36 a montré que le taux de gomme influence le volume de pousse de la pâte à 53 %, et le blé de 38 %. Comme dans la capacité d'absorption d'eau du mélange, la farine de taro a un effet marginal (8 %) sur le volume de pousse. L'augmentation de la proportion de gomme dans le mélange entraîne une réduction linéaire du volume de pousse. De même l'ajout de la pâte de taro a un effet négatif sur l'augmentation de volume de la pâte (figure 35). Cette baisse du volume de la pâte s'expliquerait par l'effet diluant de la gomme, ou l'augmentation de la rigidité ou de la résistance à la déformation de la pâte. En théorie, lorsque la farine de blé est mélangée à l'eau, un complexe de protéines appelé gluten est formé. Cette molécule est en réalité le squelette de la pâte de blé qui joue un rôle important dans la rétention de gaz pendant la fermentation, ce qui donne au pain le caractère alvéolé. Le développement du gluten est la structure qui donne à la pâte de blé sa texture élastique et qui facilite la malléabilité de la pâte et la formation de différents produits (Aboaba et Obakpolor, 2010). À ce titre la substitution d'une portion de la farine de blé par d'autres farines entraîne une baisse de la teneur en gluten, ce qui fragilise le squelette de la pâte comparée à la pâte de blé 100 %. Les travaux de Nindjin *et al*. (2011) ont montré que cette substitution entraîne une diminution du temps de développement de la pâte probablement à cause de la baisse de la cohésivité de la pâte et de son pouvoir gonflant. Sudha *et al.* (2007) ont substitué la farine de blé avec de la pulpe de pomme pour confectionner un gâteau, et les résultats ont montré que le volume de pâte diminuait tandis que la densité et la dureté augmentaient au fur et à mesure que le niveau de substitution de la pulpe augmentait. Des résultats semblables ont été observés par Rupasinghe *et al.* (2009) avec les fibres issues de la pulpe de fruits.

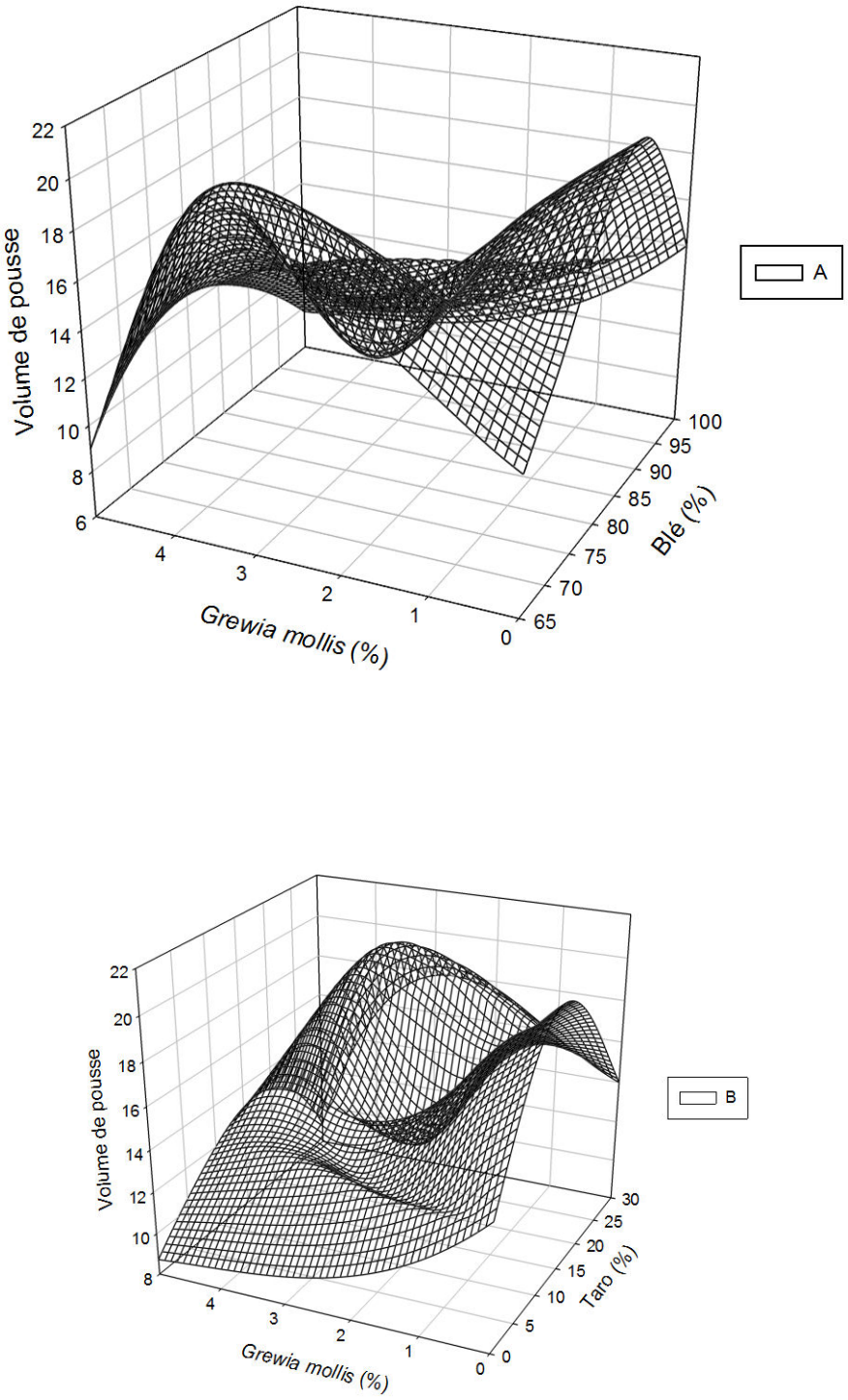


Figure 34 : Volume de pousse des pâtes Blé, *Grewia mollis* (A) et Taro, *Grewia mollis* (B)

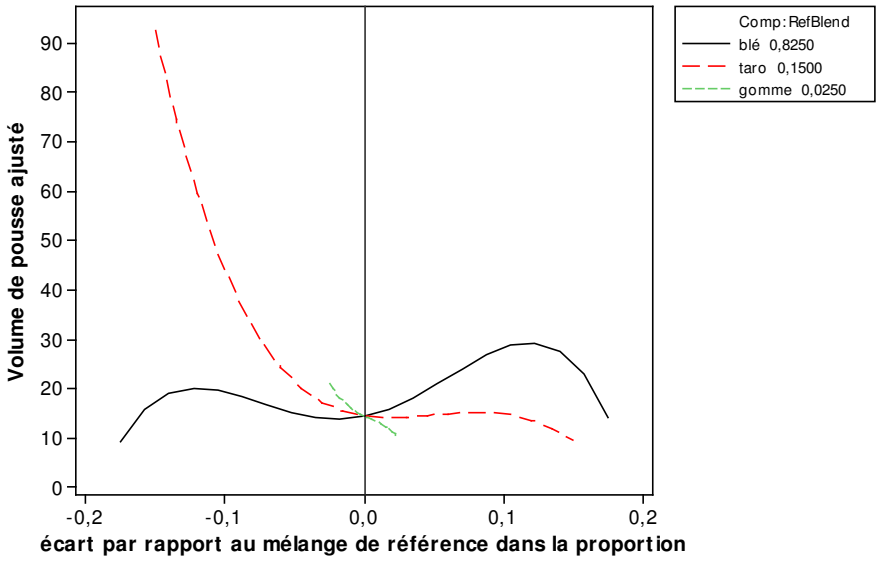


Figure 35 : Diagramme de cox sur le volume de pousse des pâtes Blé, *Grewia mollis,* taro

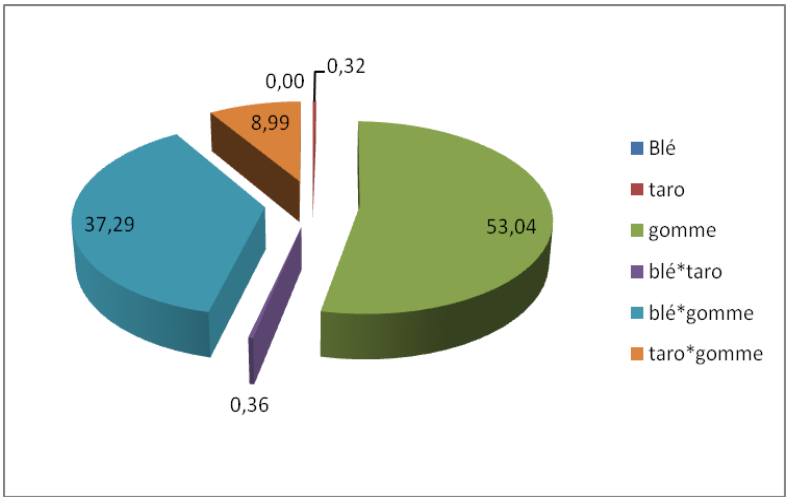


Figure 36 : Analyse de variance sur le volume de pousse des pâtes blé, taro, gomme *Grewia mollis*

III-3 2-4. Relations entre les propriétés physicochimiques, fonctionnelles de la farine et les propriétés rhéologiques de la pâte.

Les propriétés physicochimiques des farines conditionnent leur fonctionnalité et le comportement rhéologique des pâtes dont elles dérivent. La composition proximale des mélanges de farines a été déterminée, et leur corrélation avec les propriétés fonctionnelles et

rhéologiques ont été évalués (tableau 22). Une corrélation positive existe entre d'une part la gomme *Grewia mollis*, et d'autre part la capacité d'absorption d'eau (r = 0,93), le module élastique de la pâte (r = 0,68). Cette corrélation met en évidence la forte capacité d'absorption d'eau des gommes mise en évidence plus haut, et qui l'impose au mélange dans lequel elles sont mises. Comme également démontré plus haut, et en accord avec Lazaridou *et al.* (2007), l'ajout de la gomme au mélange entraînait une augmentation de la propriété d'écoulement, autrement dit du module élastique, de la pâte de blé probablement à cause de la quantité d'eau plus élevée emprisonnée dans les mailles des farines. De même, la présente étude a montré une corrélation entre la farine de taro et le module élastique (r = 0,70) probablement en relation avec la capacité d'absorption d'eau plus grande de la farine de taro. Toutefois, bien qu'il soit reconnu dans la littérature que les gommes entraînent une augmentation de la capacité d'absorption d'eau, des controverses sont observées sur l'élasticité. Les travaux de Lazaridou *et al.* (2007) ont montré que l'augmentation de l'élasticité avec l'ajout de la gomme dépend du type de gomme. Leurs travaux ont en effet montré que la pectine n'a pas d'effet significatif sur l'élasticité, alors que cette élasticité varie significativement avec les gommes caraboxyméthylcellulose et xanthane qui entraine son augmentation, et la gomme agarose qui entraine sa baisse. Un point important de la qualité du pain est le volume du pain, qui est une conséquence de la levée de la pâte. Malheureusement une corrélation négative a été observée entre le volume de pousse de la pâte et la teneur en gomme (r = - 0,49), et par ricochet avec la capacité d'absorption d'eau (r = - 0,50). Ces résultats sont en accord avec l'hypothèse faite par Autio (2006) qui stipule que la baisse du volume de pousse avec l'ajout de la gomme serait due à la restriction de l'eau au gluten par les sucres des gommes. Du fait de la relation qui pourrait exister entre le volume de la pâte et la texture de la pâte, on aurait espéré observer une corrélation significative entre le volume de pousse et les propriétés rhéologiques de la pâte. Ceci n'est pas le cas, car le volume de pousse en général n'a pas montré de corrélation

significative avec les paramètres de fluage-recouvrement. Toutefois des corrélations négatives entre la teneur en gomme et les paramètres du fluage et recouvrement ont été notées : J_o fluage (r = - 0,55), J_m fluage (r = - 0,55), J_{max} fluage (r = - 0,579), Jo recouvrement (r = - 0,680) J_m recouvrement (r = - 0,698) et J^e_o recrouvrement (r = - 0,694). En conformité avec les résultats de Lazaridou *et al.* (2007), ces corrélations négatives montrent bien que l'augmentation de la teneur en gomme entraîne une augmentation de la résistance de la pâte à la déformation, et donc à la réduction de la déformation maximale. Selon ces auteurs, la résistance à la déformation varie avec le type de gommes avec la gomme xanthane présentant la résistance la plus élevée, et la β glucane présentant la déformation la plus faible. Ces résultats contrastent cependant avec ceux de Sivaramakrishnan *et al.* (2004) qui ont montré que l'addition de l'hydroxypropylméthylcellulose (HPMC) à différentes concentrations dans la pâte de riz entraîne une baisse de la résistance à la déformation. La déformation de la pâte à notre avis dépend de la capacité d'absorption d'eau de la farine. Toute farine hydratée en dessous de sa capacité d'absorption d'eau présentera une résistance forte à la déformation. Ceci peut se traduire par une augmentation de l'élasticité de la pâte telle que mis en évidence par la corrélation significative entre la capacité d'absorption d'eau des mélanges et le module élastique (r = 0,526). Aussi une corrélation négative a été observée entre la CAE et le module de complaisance instantanée du fluage (J_0f et J_mf) et du recouvrement (J_0r et J_mr) respectivement de (r = - 0,54 et r = - 0,60) et de (r = - 0,67 et r = - 0,70). Cette corrélation remet en évidence le rôle de la propriété de la gomme sur la texture de la pâte du mélange dont la viscosité augmente la capacité d'absorption d'eau (r = 0,695). Des corrélations similaires entre la capacité d'absorption d'eau et les paramètres du fluage et recouvrement de la pâte de taro ont été observées par Njintang *et al.* (2007). Cette corrélation traduit l'interaction forte de l'eau et les molécules de gomme, d'amidon et les groupements non-polaires de la pâte pendant les phases de mélange, boulage et fermentation ainsi que leur rôle

dans la texture de la pâte. Grâce à leur pouvoir de rétention d'eau lié à la présence à leur surface des groupements methoxyl et hydroxypropoxyl, les gommes maintiennent l'homogénéité de la pâte et participent à la formation de films qui bloquent la sortie du gaz lors de la fermentation (Bell, 1990).

Tableau 22: Relations entre les propriétés physicochimiques et fonctionnelles de la farine et les propriétés rhéologiques de la pâte.

Variables	farine de blé	farine de taro	gomme	Tenneur en eau	protéines	sucre	Lipide	CAE	Module élastique	Volume de pousse	Joc	Jmc	t (s)c	n0c	Jmax c	J0r	Jmr	t (s)r	J0 er
farine de blé	**1**																		
farine de taro	**-0,982**	**1**																	
gomme	-0,429	0,253	**1**																
Tenneur en eau	0,224	-0,297	0,275	**1**															
protéines mélanges	0,287	-0,261	-0,227	**0,847**	**1**														
sucre	**-0,940**	**0,885**	**0,587**	0,113	-0,045	**1**													
Lipide mélange	**0,974**	**-0,942**	**-0,487**	0,373	**0,488**	**-0,874**	**1**												
CAE	-0,411	0,248	**0,930**	0,236	-0,226	**0,550**	**-0,471**	**1**											
Module élastique	**-0,781**	**0,695**	**0,685**	-0,142	-0,402	**0,774**	**-0,818**	**0,526**	**1**										
Volume de pousse	0,301	-0,221	**-0,488**	-0,291	-0,088	-0,420	0,282	**-0,497**	-0,282	**1**									
Joc	**0,818**	**-0,763**	**-0,550**	0,070	0,233	**-0,820**	**0,810**	**-0,545**	**-0,757**	0,045	**1**								
Jmc	**0,708**	**-0,644**	**-0,553**	-0,060	0,145	**-0,760**	**0,689**	**-0,599**	**-0,617**	0,250	**0,872**	**1**							
t (s)c	-0,354	**0,445**	-0,316	-0,304	-0,055	0,224	-0,306	-0,388	0,344	0,408	-0,423	-0,212	**1**						
n0c	**-0,702**	**0,612**	**0,677**	0,014	-0,249	**0,744**	**-0,718**	**0,695**	**0,595**	-0,173	**-0,844**	**-0,825**	-0,024	**1**					
Jmax c	**0,795**	**-0,731**	**-0,579**	0,039	0,226	**-0,809**	**0,789**	**-0,583**	**-0,730**	0,069	**0,991**	**0,894**	-0,350	**-0,898**	**1**				
J0r	**0,875**	**-0,796**	**-0,680**	0,033	0,261	**-0,897**	**0,872**	**-0,673**	**-0,844**	0,345	**0,853**	**0,739**	-0,227	**-0,675**	**0,816**	**1**			
Jmr	**0,877**	**-0,795**	**-0,698**	0,037	0,278	**-0,900**	**0,878**	**-0,701**	**-0,838**	0,410	**0,819**	**0,735**	-0,156	**-0,677**	**0,789**	**0,994**	**1**		
t (s)r	-0,061	0,089	-0,117	-0,029	0,055	0,040	-0,039	-0,160	0,037	**0,542**	-0,423	-0,312	**0,481**	0,401	**-0,458**	0,082	0,154	**1**	
J0 er	**0,877**	**-0,796**	**-0,694**	0,036	0,273	**-0,900**	**0,877**	**-0,693**	**-0,841**	0,391	**0,830**	**0,737**	-0,178	**-0,677**	**0,798**	**0,997**	**0,999**	0,132	**1**

III-3 3-Influence de l'ajout de la gomme *Grewia mollis*, farine de taro et farine de blé sur les propriétés du pain

III-3 3-1- Influence de l'ajout de la gomme *Grewia mollis*, farine de taro et farine de blé sur la couleur de la mie et de la croûte

La plus part des études rapportées sur les pains composés n'ont pas insistés sur la relation entre la gomme et la couleur probablement à cause des teneurs relativement faibles utilisées. Toute la réactivité de la gomme et l'eau, d'une part, d'autre part l'importance de la réaction de maillard dans la préparation de pain ainsi que le rôle de l'eau impose qu'on s'y penche. La croûte résultant de la réaction de maillard entre les sucres et les groupes amines (Primo-Martin *et al.,* 2006) a un brunissement plus prononcé lorsque la gomme est ajoutée au mélange. Ces résultats ont également été observés par Shittu et *al.* (2009) sur d'autres gommes, notamment la gomme xanthane. Ce brunissement plus important avec l'ajout de la gomme résulterait de la présence de sucres réducteurs.

Tableau 23: Test sur la couleur de mie et de la croute du pain.

**les chiffres suivis par une même lettre ne sont pas significativement (p<0,05) différents*

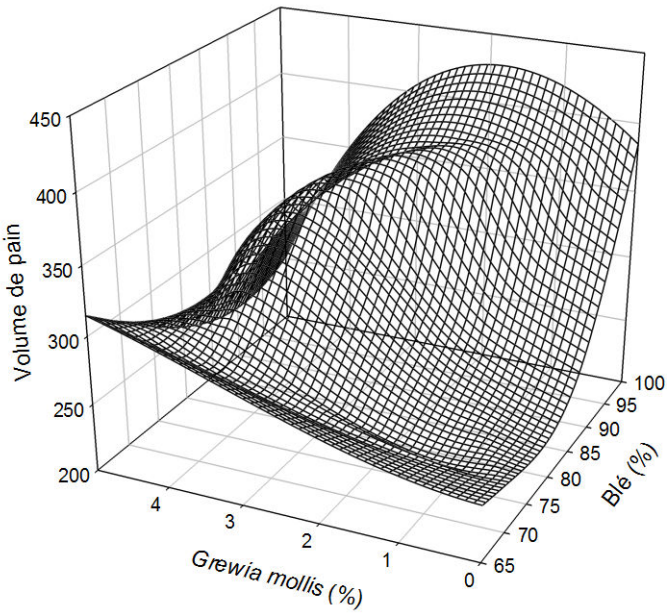
	croute			mie		
Pains blé/taro/gomme	L	a	b	L	a	b
70/30/0	40,61^{ab}	16,91^{d}	25,41^{a}	72,51^{bcd}	0,84^{a}	16,78^{bc}
73/25/1	66,98^{g}	8,25^{a}	32,92^{bc}	78,63^{d}	1,62^{b}	16,72^{bc}
77/20/2	36,3^{a}	17,87^{de}	29,5^{ab}	70,6^{abc}	2,27^{c}	17,07^{bc}
83/15/1	55,48^{ef}	18,27^{de}	37,34^{c}	72,52^{bcd}	1,69^{b}	15,47^{ab}
81/15/3	51,95^{de}	15,97^{cd}	35,91^{bc}	67,48^{ab}	2,89^{d}	17,83^{cd}
85/10/5	61,94^{fg}	10,95^{ab}	33,06^{bc}	73,28^{bcd}	2,79^{d}	17,44^{cd}
90/10/0	49,23^{cde}	12,9^{bc}	29,09^{ab}	76,98^{cd}	0,85^{a}	14^{a}
71/25/3	43,32^{abc}	20,68^{e}	29,89^{abc}	68,54^{ab}	2,94^{d}	18,15^{cd}
65/30/5	45,31^{bcd}	16,73^{d}	30,91^{abc}	64,72^{a}	3,49^{e}	19,01^{d}
100/0/0	61,52^{fg}	12,6^{bc}	33,36^{bc}	70,43^{abc}	1,14^{a}	18,03^{cd}

III-3 3-2. Influence de l'ajout de la gomme *Grewia mollis*, farine de taro et farine de blé sur le volume du pain.

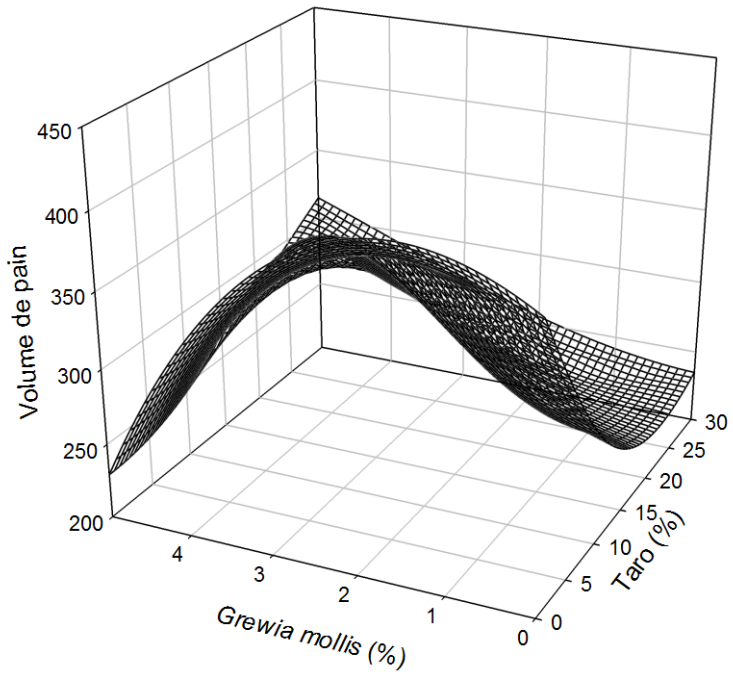
Le volume du pain est une caractéristique visuelle importante qui conditionne le choix du consommateur du pain. Les résultats du volume de pain montrent que l'ajout de la gomme entraîne d'abord une augmentation du volume de pain jusqu'au seuil de 3 %. Au-delà de ce seuil, une baisse du volume est observée (Figure 37 A). Par contre, l'augmentation de la teneur en taro entraîne une baisse du volume du pain (Figure 37 B). Le diagramme de cox associé au volume de pain (figure 38) montre que l'augmentation de la teneur en blé entraîne une augmentation du volume de pain. L'augmentation du volume du pain est le reflet de la rétention de gaz qui apparaît pendant la phase de fermentation ; et ce volume est fortement influencé par la quantité de gaz retenue par la pâte. Chaque alvéole d'air est caractérisée par une taille critique au-delà de laquelle la rétention du CO_2 est aléatoire car le plus souvent il diffuse dans l'atmosphère (Handlemann *et al.*, 1961 ; Delcour *et al.*, 1991). La substitution par la farine de taro réduit probablement la capacité du gluten à retenir le gaz pendant la cuisson, entraînant de ce fait une réduction du volume de gaz, et par ricochet le volume de pain. Cette réduction a pour conséquence une modification du profil de texture de la pâte. L'ajout de la gomme semble rectifier cet effet négatif de la farine de taro lorsque son taux est faible (< 3 %), et au-delà l'effet contraire est observé. La gomme apporte donc dans un premier temps sa propriété de liant entre les molécules permettant ainsi une rétention de gaz, mais lorsque sa concentration est plus élevée, elle contribue aussi à diluer d'avantage le gluten et réduire le volume du pain. Cet effet négatif des gommes avait été démontré par Katina (2003) qui a constaté que l'ajout de ces fibres réduit le volume de pain et permet aussi d'obtenir des pains moins aérés et plus denses, cet ajout produit aussi une mie plus dure et plus foncée. Dans le même ordre d'idées Stojceska et Ainsworth (2008) ont montré une diminution du volume de pain et une augmentation de la fermeté de la mie lorsque la farine de

blé a été substituée avec la drêche de brasserie jusqu'à des niveaux de 30 %. Ces résultats montrent bien la relation directe qui existerait entre le volume et la dureté tel que démontrée par de nombreux auteurs (Laurikainen *et al.,* 1998 ; Salmenkallio-Marttila *et al.,* 2001 ; Wang *et al.,* 2002 ; Katina *et al.,* 2006). Sudha *et al.* (2007) **;** Rupasinghe *et al.* (2009) ont rapporté une augmentation de la densité et la dureté des gâteaux au fur et à mesure que le niveau de substitution de la pulpe de pomme ou d'autres fruits augmentait dans le mélange. Inversement Gomez *et al.* (2010) ont obtenu une augmentation du volume de gâteau lorsque la farine de blé est substituée avec les fibres de blé ou d'avoine ayant différentes tailles de particules. Les gâteaux faits à base de blé substitué jusqu'à 24 % de fibres ont un plus grand volume. A 36 % de substitution des farines par les fibres, ces auteurs ont observé une diminution du volume du gâteau. Ces auteurs ont également montré que les fibres ayant des tailles de particules situées autour de 80 µm produisent des gâteaux ayant un grand volume. D'une manière générale les hydrocolloïdes sont fréquemment utilisés pour la confection des pains sans gluten ceci dans le but de mimer les propriétés viscoélastiques du gluten qui permettront l'augmentation de la rétention du gaz pendant la fermentation et la cuisson d'où une augmentation du volume de pain. Cet effet mimétique semble être dose dépendante telle que nous l'avons souligné plus haut. Ceci a été démontré avec la gomme xanthane qui a entraîné une augmentation du volume de pain à des faibles teneurs (0,5 %) (Peressini et Sensidoni, 2009 ; Sciarini *et al.,* 2010) suivie d'une baisse plus ou moins significative, selon les auteurs (Crocket *et al.,* 2011 ; Lazaridou *et al.,* 2007 ; Sabanis et Tzia, 2011). L'effet de la gomme dépendrait aussi du type et de son poids moléculaire. En effet une étude comparée des résultats de la littérature montre que la gomme HPMC est beaucoup plus intéressante pour entraîner une augmentation du volume de pain. Dans ce cas le volume de pain augmente essentiellement avec l'augmentation de la gomme HPMC (Le Bail et de Lamballerie, 2009). D'autre part l'effet de la gomme HPMC dépend de sa structure, ceux qui présentent de taux faibles de méthoxy permettant une

augmentation du volume du pain jusqu'à une teneur de 3 et 5 %, alors que ceux qui ont des taux élevés de méthoxy n'auraient pas d'influence significative sur le volume de pain (Crockett *et al.*, 2011). L'effet de la gomme sur le volume du pain semble s'expliquer par son impact sur la gélatinisation lors de la cuisson. Au cours de la cuisson, il y'a compétition pour la molécule d'eau entre les gommes et l'amidon. Cette compétition réduit l'hydratation de l'amidon du blé ce qui entraîne une baisse de sa gélatinisation, ce qui serait en partie responsable de la baisse du volume de pain (Schober, 2009).



(A) Influence de l'ajout de la farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur le volume de pain



(B) Influence de l'ajout de la farine de taro et la gomme Grewia mollis sur le volume de pain

Figure 37: Influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé, et la gomme Grewia mollis sur le volume de pain : blé, *Grewia mollis* (A), Taro, *Grewia mollis* (B)

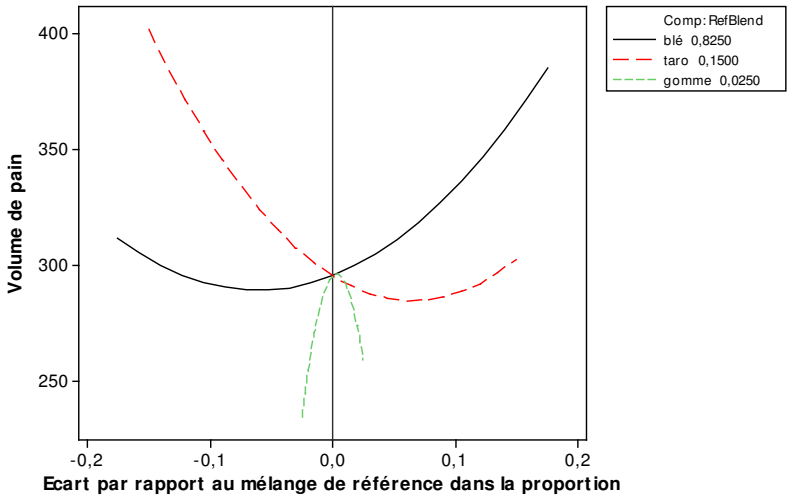


Figure 38 : Diagramme de cox de l'influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur le volume de pain.

III-3 3-3. Influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur les propriétés texturales du pain

Un paramètre important du pain est sa texture (Hager et Harendt, 2013). Les consommateurs peuvent décrire cette texture comme tendre ou flexible (décrit par une dureté faible) en général. Le profil de texture des pains composés est présenté dans le tableau 24. En général l'ajout d'ingrédients autres que le blé entraîne une augmentation de la dureté du pain dont la valeur de référence blé a été de 0,07 N. La dureté la plus élevée est observée pour la substitution 85/10/5 dont la gomme est la plus élevée. Cette augmentation de la dureté met ainsi en évidence le comportement de la gomme qui nécessite beaucoup plus d'eau que d'autres ingrédients. L'augmentation de la dureté des pains de maïs, riz et blé à la suite de l'addition de la gomme HPMC a aussi été mise en évidence dans les travaux de Hager et Harendt (2013). Toutefois ces propriétés de texture varient avec la teneur en eau dans le mélange, et des travaux dans ce sens ont permis de mettre en évidence l'effet positif des gommes.

La cohésion indiquant le lien entre les molécules internes de la pâte présente une variation peu importante comparée à la dureté. Cette valeur varie de 0,23 à 0,47, les valeurs les plus faibles étant associées aux teneurs élevées en gomme. On peut donc penser que le réseau de gluten est fragilisé au fur et à mesure que le taux de gomme augmente dans le mélange. A l'inverse la masticabilité augmente lorsque le taux de gomme augmente. La masticabilité la plus élevée (3,77) a été observée pour le mélange de pains 65/30/5 dont le taux de gomme est le plus élevé. Or les pains de bonne masticabilité sont les pains qui doivent avoir des masticabilités semblables à celle du pain blé 100 %. L'ajout d'une grande quantité de gomme entraîne une grande masticabilité rejetée par le panel. De nombreux travaux ont montré que les propriétés sensorielles sont également affectées avec l'addition des gommes.

Tableau 24: Influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur les propriétés texturales du pain Profil textural des pains.

Pains blé/taro/gomme	Cohésion	Masticabilité (kgf.mm)	Dureté (kgf/mm)
65/30/5	0,33±0,02^{abc}	3,77±0,36^{ab}	0,61±0,01^{e}
81,25/15/3,75	0,38±0,02^{abc}	1,47±0,44^{a}	0,15±0,03^{ab}
90/10/0	0,47±0,13^{c}	5,80±1,80^{c}	0,46±0,04^{d}
70/30/0	0,34±0,06^{abc}	1,97±0,11^{a}	0,31±0,02^{cd}
83,75/15/1,25	0,31±0,16^{abc}	2,04±1,61^{a}	0,41±0,11^{d}
73,75/25/1,25	0,36±0,09^{abc}	2,60±0,33^{a}	0,23±0,01^{bc}
71,25/25/3,75	0,44±0,03^{abc}	1,83±0,02^{a}	0,25±0,09^{bc}
77,5/20/2,5	0,23±0,07^{abc}	1,36±0,08^{a}	0,31±0,08^{cd}
85/10/5	0,26±0,02^{a}	4,57±0,18^{bc}	1,12±0,04^{f}
100/0/0	0,43±0,02^{cb}	0,90±0,19^{a}	0,07±0,02^{a}

*les chiffres précédé par une même lettres ne sont pas significativement ($p < 0,05$) différent

III-3 3-4.Corrélation entre les caractéristiques rhéologiques de la pâte et les propriétés physiques du pain.

Sur le plan théorique une pâte bien façonnée conduit à un pain de propriétés texturales bien données et de bonne acceptabilité. Il est donc attendu que la texture du pain obtenu soit corrélée aux propriétés rhéologiques de la pâte et à l'acceptabilité du produit. Cette partie de la thèse cherche donc à mettre en évidence les corrélations entre les propriétés texturales du pain et propriétés rhéologiques de la pâte. L'observation de la matrice de corrélation (Tableau 25) montre une corrélation significative ($p < 0,05$) entre quelques variables. La capacité d'absorption d'eau de la farine est positivement corrélée aux valeurs a* (R = 0,89) et b* (R = 0,66) de la mie. De même, le module élastique de la pâte est positivement corrélé à la valeur de la mie (R = 0,69) et négativement à la valeur de la cohésion du pain (R = - 0,72). Le temps de fluage est positivement corrélé à la valeur de la force de rupture (R = 0,80) du pain. La couleur **a*** de la mie est négativement corrélée aux valeurs de complaisance du fluage et du recouvrement J_0^r, de J_m^r et J_0^e respectivement R = - 0,68 ; R = - 0,71, et R = - 0,70.

La représentation de ces corrélations est représentée sur le cercle de corrélation de la figure 39, dérivant de l'analyse en composante principale. De cette figure on peut constater la proximité entre l'acceptabilité du pain et les paramètres de la pâte que sont J0, Jmax, Jm, et le paramètre du pain qu'est le volume du pain, dans une moindre mesure on a la proximité avec la cohésion et le volume de pousse. Cette proximité témoigne de la relation directe qui existe entre le volume du pain et son acceptabilité. Ce paramètre tel que développé plus haut dépend du volume de la pâte qui dépend intimement des propriétés physicochimiques des farines. Ainsi un pain composé acceptable se définit par un pain de volume élevé, et d'une pâte qui ne s'oppose pas à la déformation et présente les complaisances les plus élevées. A l'opposé les pains dures se caractérisent par une adhésion et masticabilité élevées et ne sont pas acceptables. Cette description des pains acceptables se définit bien pour le blé qui dans la

représentation des axes CP1xCP2 est proche de la variable acceptabilité. Tous les autres pains s'en éloignent et le seul qui se rapproche est le pain 83/15/2. Le pain le plus éloigné de 100 % blé est le pain 85/10/5. Ceci montre encore comme observé plus haut que la gomme, lorsqu'elle est ajoutée à des teneurs élevées, elle réduit significativement l'acceptabilité.

Tableau 25: Matrice de corrélation entre les paramètres rhéologiques de la pâte et du pain.

	Capacité d'absorption d'eau	Module élastique	Volume de pousse de la pâte à 60 min	J_o	J_m	t fluage	n0	J_{max}	J_0^r	J_m^r	t recouvrement	J_0^e
L croute	0,03	-0,02	0,01	0,20	0,05	0,06	-0,18	0,16	0,29	0,28	0,08	0,28
a croute	0,11	0,20	-0,09	-0,17	0,04	0,03	0,18	-0,13	-0,28	-0,25	0,01	-0,26
b croute	0,41	0,23	-0,23	-0,07	-0,14	0,09	0,04	-0,08	-0,12	-0,13	-0,09	-0,13
L mie	-0,39	-0,04	0,57	-0,02	0,06	0,43	-0,24	0,00	0,17	0,22	0,39	0,21
a mie	**0,89**	**0,69**	-0,51	-0,46	-0,46	-0,33	0,58	-0,48	**-0,68**	**-0,71**	-0,25	**-0,70**
b mie	**0,66**	0,41	-0,59	-0,11	-0,16	-0,47	0,35	-0,15	-0,43	-0,48	-0,40	-0,46
Cohésion	-0,41	**-0,72**	0,60	0,29	0,26	-0,07	-0,16	0,27	0,52	0,52	0,20	0,52
Elasticité	-0,01	-0,33	0,09	0,25	0,05	-0,34	-0,18	0,21	0,29	0,26	-0,18	0,27
Adhésion	0,22	0,22	-0,06	-0,45	-0,55	0,17	0,37	-0,48	-0,16	-0,13	0,44	-0,14
Masticabilité	0,14	0,05	0,08	-0,30	-0,43	0,03	0,25	-0,33	-0,02	-0,01	0,34	-0,01
Force de rupture	-0,34	0,41	0,12	-0,26	-0,03	**0,80**	-0,14	-0,18	-0,22	-0,15	0,29	-0,17
Force d'adhésivité	-0,17	0,07	0,48	0,00	0,26	0,53	-0,33	0,08	-0,06	0,00	0,09	-0,02
Force d'adhésion	0,37	0,35	-0,19	-0,03	0,01	-0,03	-0,14	0,02	-0,42	-0,44	-0,62	-0,44
Rigidité	0,45	0,36	-0,34	-0,39	-0,53	-0,05	0,43	-0,44	-0,20	-0,19	0,34	-0,19
volume pain	0,16	-0,52	-0,19	0,63	0,53	**-0,80**	-0,30	0,60	0,35	0,29	-0,63	0,31

**En gras, valeurs significatives au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)*

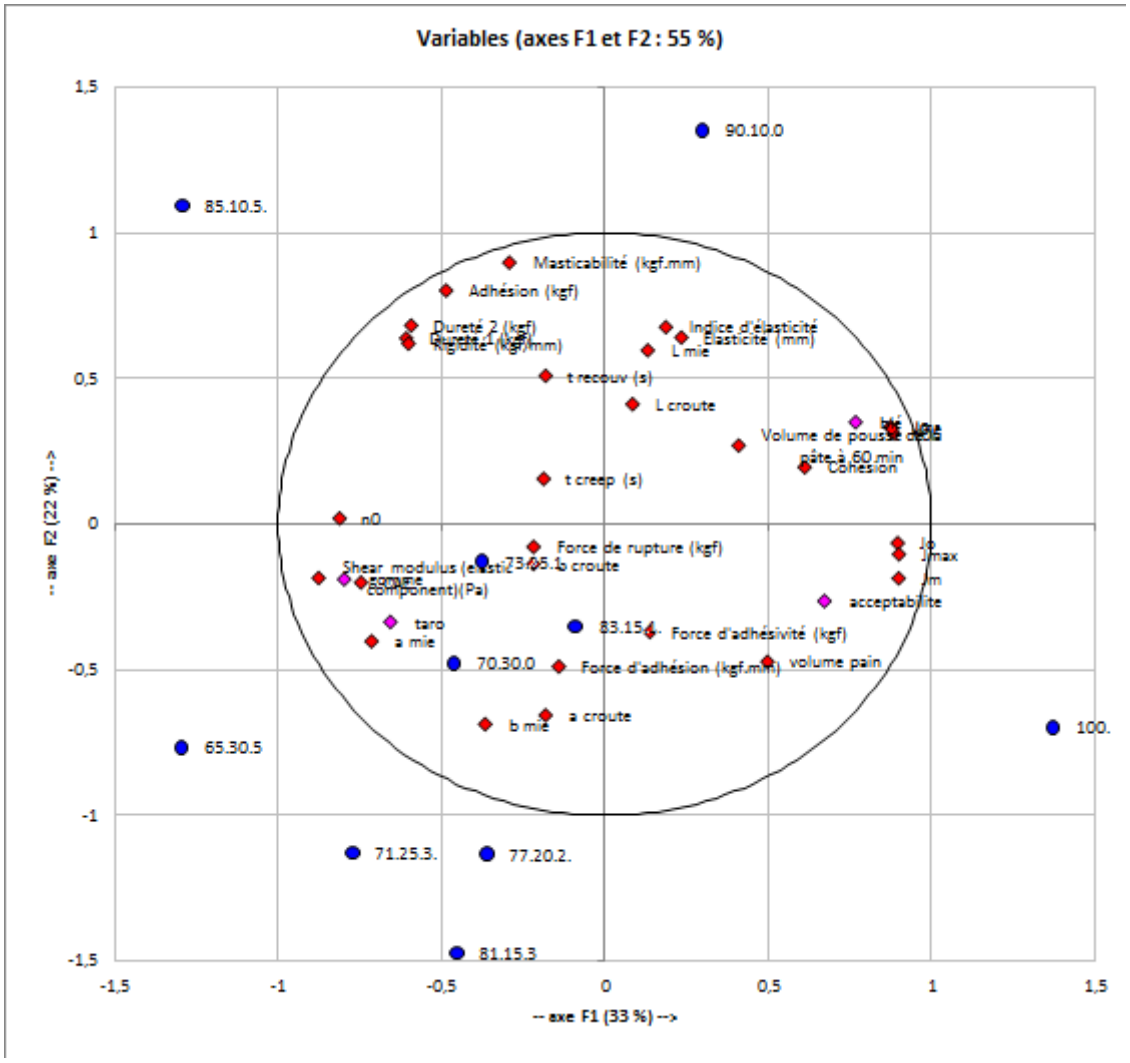
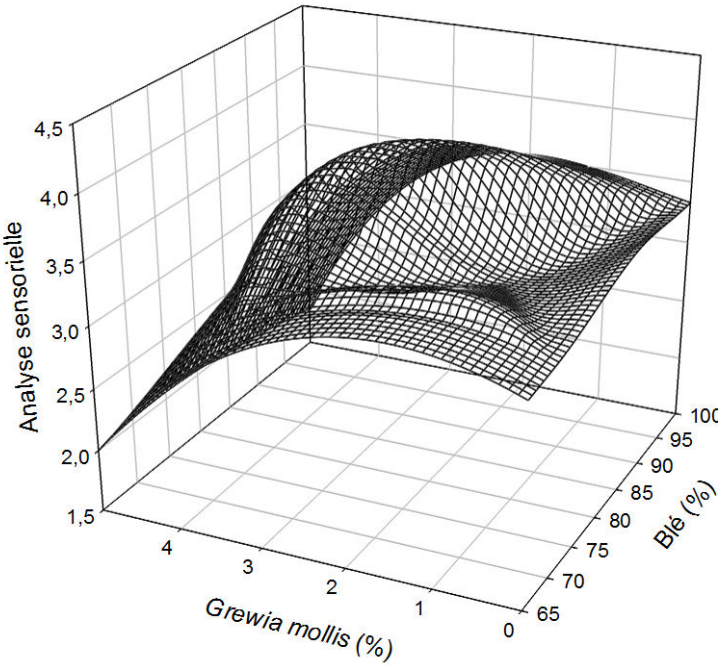


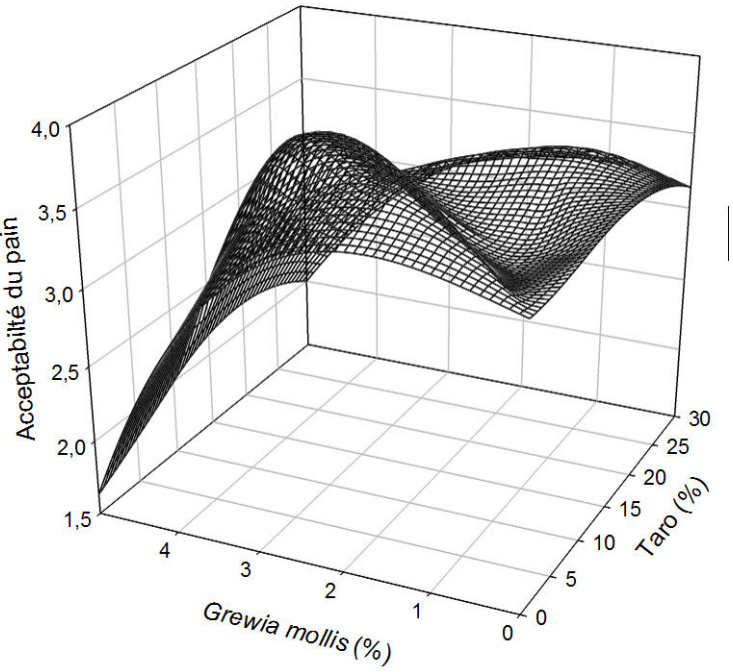
Figure 39 : Analyse en composante principale entre les paramètres rhéologiques de la pâte et du pain blé-taro.

III-3 3-5.Acceptabilité du pain et Application de la fonction désirabilité pour la détermination des conditions optimales d'acceptabilité.

La surface de réponse décrivant la variation de l'acceptabilité du pain en fonction de la teneur en ingrédients est présentée sur la figure 40 A et B. L'augmentation de la teneur en gomme n'a pas d'effet significatif sur l'acceptabilité jusqu'à un pourcentage de 3 %. Au-delà de ce seuil, toute augmentation entraîne une baisse de l'acceptabilité. A ce pourcentage en gomme, l'acceptabilité est meilleure pour le pourcentage de farine de taro allant de 17 à 20 %. L'acceptabilité étant le paramètre le plus important auquel nous référons les conditions optimales de la production de pains composés, nous avons évalué la désirabilité à cette variable. La fonction désirabilité (figure 41) revient sur les effets des pourcentages de blé, taro et gomme sur l'acceptabilité des pains. De cette courbe on peut noter que l'augmentation de teneur en blé et du taro entraîne une augmentation de l'acceptabilité générale du pain. De même, l'augmentation de la teneur en gomme jusqu'à un certain seuil de 2,59 % entraîne l'augmentation de l'acceptabilité du pain. Au-delà de ce pourcentage, on note une baisse de l'acceptabilité du pain. Ces observations rejoignent les représentations des surfaces de réponse. La fonction désirabilité quant à elle montre des variations différentes selon les farines. Avec le blé et le taro, la désirabilité augmente avec les proportions de ces ingrédients pour atteindre un optimum de 1, puis baisse lorsque les proportions augmentent. Les proportions seuils sont de 77,8 % pour le blé, 17,7 % pour le taro. La gomme ne présente pas la même variation de la fonction désirabilité qui est plus ou moins constante à 1 jusqu'à une proportion seuil de 2,6 % au-delà de laquelle on observe une baisse. En mettant toutes ces conditions optimales ensemble, la fonction désirabilité définit ainsi les conditions optimales de production de pain que sont : blé 77,8 %, taro 17,7 % et gomme 2,6 %. La pâte et le pain obtenus dans ces conditions se rapprochent du blé quant à ses propriétés rhéologiques et texturales et acceptabilité.



(A) Influence de l'ajout de la farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur l'acceptabilité générale du pain



B) Influence de l'ajout de la farine de taro, et la gomme *Grewia mollis* sur l'acceptabilité générale du pain

Figure 40 : Influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur l'acceptabilité générale du pain : (A) farine de blé et gomme *Grewia mollis* (B) farine de taro et gomme *Grewia mollis*

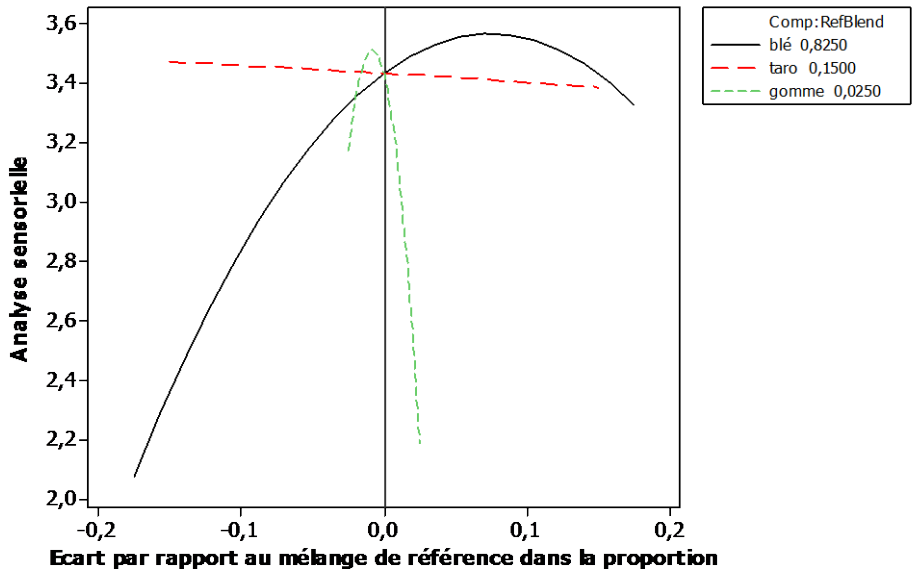


Figure 41: Diagramme de cox de l'influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur l'acceptabilité générale.

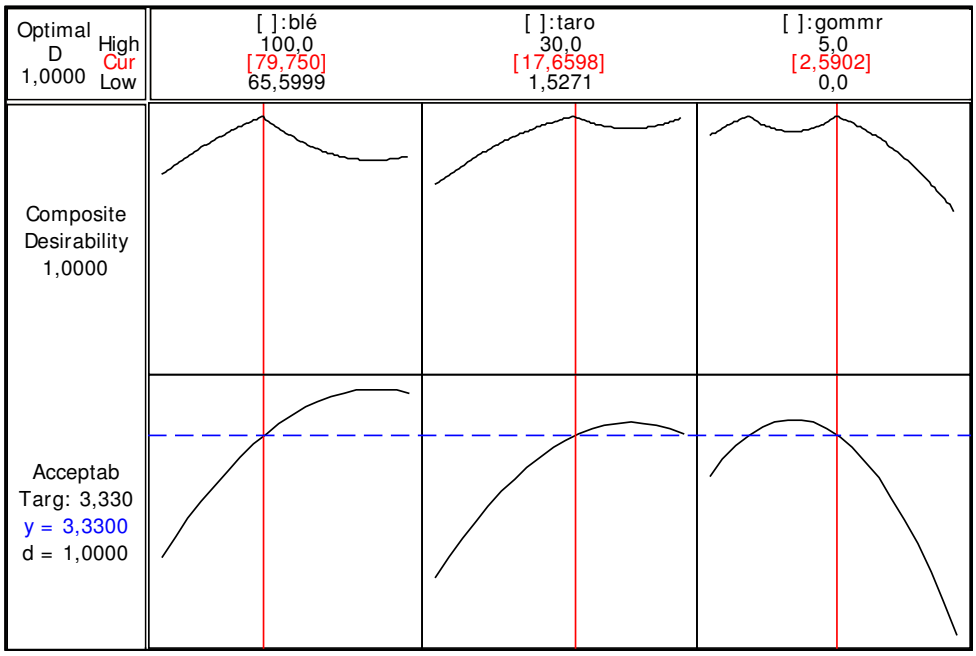


Figure 42 : Courbe de désirabilité de l'influence de l'ajout de la farine de taro, farine de blé et la gomme *Grewia mollis* sur l'acceptabilité générale du pain.

Conclusion générale

L'objectif du présent travail visait à déterminer les conditions optimales de substitution du blé par le taro et la gomme *Grewia mollis* pour la confection d'un pain aussi acceptable que le pain de blé 100 %. Pour atteindre cet objectif, ce travail avait 3 objectifs distincts :

- caractériser les tubercules de taro *lamba ;*
- optimiser l'extraction de la gomme *Grewia* ;
- optimiser dans un plan ternaire la confection du pain blé-taro gomme.

Sur les propriétés du taro *lamba*, les résultats obtenus ont révélé des différences sur les propriétés physicochimiques des farines repartis en fonction de la masse des tubercules. Les températures de début et de pic de gélatinisation sont autour de 82 °C. Les températures de gélatinisation ne varient pas quel que soit la masse des tubercules utilisée. La distribution granulométrique des farines de tubercules suit une distribution multimodale. Toutefois l'ensemble des particules de ces graines se situe autour des 210 µm. Les résultats ont aussi montré que les propriétés physicochimiques varient en fonction des masses du tubercule. La masse pourrait être un indicateur de maturité avec les tubercules de grande masse qui présentent une grande teneur en cendre, et en sucres. Sur le plan rhéologique, lorsque la masse des tubercules diminue, l'élasticité de la pâte augmente. D'une manière pratique, les tubercules de masse > 284 g sont non seulement attrayant pour le consommateur, mais leur propriétés visqueuses sont élevées. De ce fait, ils ont été retenus pour la production des farines de taro pour une utilisation en panification.

L'étude de l'extraction de la gomme *Grewia mollis* montre que le facteur ratio augmente significativement la viscosité et le rendement d'extraction. L'augmentation du ratio eau / poudre entraîne une augmentation de la viscosité et du rendement jusqu'à un maximum de

55 : 1 puis les deux réponses baissent. Les conditions optimales pour l'extraction de la gomme *Grewia mollis* sont les suivantes :

- Durée : 1h ;
- pH : 7 ;
- températures : 50 °C ;
- un ratio eau / poudre : 1/55.

Ce sont ces conditions d'extractions qui ont été utilisées pour l'extraction de la gomme *Grewia mollis*.

Sur la préparation des mélanges de farine et de pains composés, il en résulte que les 3 ingrédients sont différents particulièrement sur leur capacité d'absorption d'eau avec la gomme *Grewia* absorbant 11 fois plus d'eau que le blé et 3 fois plus que le taro. Ceci se reflète directement sur la capacité d'absorption d'eau du mélange qui augmente au fur et à mesure que le taux de gomme augmente. Cette capacité d'absorption d'eau a un lien direct avec les propriétés de la pâte et du pain composés. Le volume de pousse, l'aptitude à la déformation de la pâte et la viscosité de la pâte baissent systématiquement avec l'augmentation du taux de gomme, alors que le module élastique augmente. L'acceptabilité du pain a été positivement corrélée au volume et la complaisance instantanée de la pâte, indicateur d'une faible résistance à la déformation de la pâte. Ceci étant, l'augmentation de la teneur en gomme a montré une augmentation du volume de pain jusqu'à un optimum de 3 % au-delà duquel une baisse est observée. Par rapport à la farine de taro son augmentation entraîne systématiquement une baisse du volume du pain. L'analyse de la fonction désirabilité a ainsi permis de définir le mélange optimal de production du pain composé blé-taro-gomme qui est de 79,8 % de la farine de blé, 17, 6 % de taro 2,6 % de gomme Grewia. Cette

optimisation montre que la valeur masse de gomme a permis d'augmenter la quantité de taro à substituer qui est de 10 % à 17,65 % avec une acceptabilité de pains aussi tolérable que le pain fait à base de la farine de blé à 100 %.

Perspectives

Cette étude a permis de dégager un certain nombre de perspectives :

1. Evaluer l'effet de la masse des tubercules de taro en général sur la fonctionnalité et la rhéologie de la pâte, afin de généraliser nos observation sur le taro Lamba
2. Etudier le pouvoir gélifiant ou épaississant de la gomme *Grewia mollis.*
3. Evaluer l'influence de la teneur en eau sur la qualité de la pâte composée blé-taro-gomme
4. Comparer les propriétés techniques de la gomme *Grewia mollis* avec d'autres gommes industrielles connues

Réferences.

AOAC (1990). 15th edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C.

AOAC (1997). 15th edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C.

Aboubakar, Bonciu, C., Râpeanu, G., Njintang, Y. N., Mbofung, C. M. F., & Bahrim, G. (2012) Biochemical and Structural Changes of Taro (*Colocasia esculenta*) Tubers During Simple Thermal Treatments (Low Temperature) or in Combination with Chemicals. *Food Bioprocess Technology,* 5, 2739-2747.

Aboubakar, Njintang, N. Y., Nguimbou, R. M., Scher, J., & Mbofung, C. M. F. (2010). Effect of storage on the physicochemical, functional and rheological properties of taro (*Colocasia esculenta*) flour and paste. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, *7*, 37-48.

Aboubakar, Njintang, N. Y., Scher, J., & Mbofung, C. M. F. (2009). Texture, microstructure and physicochemical characteristics of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) as influenced by cooking conditions. *Journal of Food Engineering,* 91(3), 373-379.

Aboubakar, Njintang, Y. N., Scher, J., & Mbofung, C. M. F. (2008). Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches. *Journal of Food Engineering,* 86(2), 294-305.

Ahmed, M., Sorifa, M. A., & Eun, J. B. (2010). Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour. *Food chemistry,* 121, 112-118.

Ajila, C. M., Leelavathi, K., & Rao, U. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 48, 319-326.

Akpan, E., Umoh, I. B. (2004). Effect of heat and tetracycline treatments on the food quality and acridity factors in cocoyam *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. *Pakistan Journal of Nutrition* 3:240–243.

Amin, A. M., Ahmad, A. S., Yin Yin, Y., Yahya, N., & Ibrahim, N. (2007). Extraction, purification and characterization of durian (*Durio zibethinus*) seed gum. *Food Hydrocolloids*, 21, 273-279.

Amon, A. S., Soro, R. Y., Assemand, E. F., Due, E. A., & Kouame, L. P., (2011). Effect of boiling time on chemical composition and physicochemical and functional properties of flours from taro (*Colocasia esculenta* cv fouê) corm grown in Côte d'Ivoire. *Journal of Food Science and Technology.* 48:1–10.doi:10.1007/s13197-011-0578-7.

Anil, M. (2007). Using of hazelnut testa as a source of dietary fiber in breadmaking. *Journal of Food Engineering*, 80, 61-67.

Aprianita, A., Purwandari, U., Watson, B., & Vasiljevic, T. (2009). Physico-chemical properties of flours and starches from selected commercial tubers available in Australia. *International Food Research Journal*, 16, 507–520.

Autio, K. (2006). Effects of cell wall components on the functionality of wheat gluten. *Biotechnology Advances*, 24, 633-635.

Ayadi, M. A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., & Attia, H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30, 40-47.

AFNOR (Association Française de Normalisation) (1995). Recueil de normes françaises : contrôle de la qualité des produits alimentaires – analyse sensorielle. Edité par Afnor, 5 ième édition; Paris (France), 400 p.

Albersheim, P., Nevins, D. J., English, P. D., & Karr, A., (1967). *Carbohydrate Research, 5,* 340-345.

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

Bárcenas, M. E., & Rosell, C. M. (2005). Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 19, 1037-1043.

Bárcenas, M. E., De la O-Keller, J., Rosell C. M. (2009). Influence of different hydrocolloids on major wheat dough components (gluten and starch). *Journal of food Engineering*, 94, 241-247.

Barros, F., Alviola, J. N., & Rooney, L. W. (2010). Comparison of quality of refined and whole wheat tortillas. *Journal of Cereal Science*, 51, 50-56.

Bloksma, A., & Bushuk, W. (1988). Rheology and chemistry of dough. In (3rd ed).. In: Pomeranz, Y. (Ed.), Wheat: Chemistry and Technology, Vol. II (pp. 131e217) St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

BOX George. E. P., HUNTER William G., HUNTER J. Stuart (2005). «Statistics for Experimenters» deuxième édition. John Wiley and Sons. New-York. 633 pages.

Brennan, C. S., & Samyue, E. (2004). Evaluation of starch degradation and textural characteristics of dietary fiber enriched biscuits. *International Journal of Food Properties*, 7, 647-657.

Cai, W., Gu, X., & Tang, J, (2008). Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *opuntia milpa alta. Carbohydrate Polymers*, 71, 403-410.

Chad Weigand (2011). Wheat Import Projections Towards 2050. U.S wheat associates (14 pages).

Charoenthaikij, P., Kamolwan, J., Anuvat, J., Witoon, P., & Patcharee, T. (2010). Germination conditions affect selected quality of composite wheat-germinated brown rice flour and bread formulations. *Journal of Food Science,* 75.

Collar, C., Andreu, P., Martínez, J. C., & Armero, E. (1999). Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study. *Food Hydrocolloids*, 13, 467-475.

Cui, W., Mazza, G., Oomah, B. D., & Biliaderis, C. G. (1994). Optimization of an aqueous extraction process for flaxseed gum by response surface methodology. LWT, *Food Science and Technology*, 27, 363-369.

Chinnasarn, S., & Manyasi, R. (2010). Chemical and physical properties of taro flour and the application of restructured taro strip product. *World Applied Sciences Journal*, 9(6), 600–604.

Crockett, R., Ie, P., & Vodovotz, Y. (2011). How do xanthan and hydroxypropyl methylcellulose individually affect the physicochemical properties in a model gluten-free dough? *Journal of Food Science*, 76(3), E274-E282.

Dalziel J. M., (1937). *The Useful Plants of West Africa*, Crown Agents, London, UK.

Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E., & Bekaert, D. (1996). A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid. *Food Hydrocolloids,* 10, 375-383.

Duffus, C.M., & Duffus, J. S. (1991). Toxic substances in crop plants. In: D'Mello, F. J.,Duffus, C.M.&Duffus, J.H. (Eds.) Thomas Graham House, Science Park, Cambridge: *The Royal Society of Chemistry*, pp 1–21

Esteves, A, M., Saenz, C., Hurtado, M. L., Escobar, B., Espinoza, S., & Suarez, C., (2004). Extraction methods and some physical properties of mesquite (*prosopis chilensis* (Mol) Stuntz) seed gum. *Journal of the Science of food and Agriculture*, 84, 1487-1492.

Evans, Donald L. et Kassinger, Theodore W. (2002). Frozen Cakes, Pies, and Other Pastries Manufacturing. U.S. Department of Commerce.

FAO. (1990). FAOSTAT On-line. Rome: United Nations Food and Agriculture organization. http://faostat.fao.org/default.aspx.

FAO. (2012). FAOSTAT On-line. Rome: United Nations Food and Agriculture organization. http://faostat.fao.org/default.aspx.

FAO/WHO. (1985). Energy and protein requirements. In Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation, WHO Technical reports series No. 724. Rome: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

Folch, J., Lees, M., & Sloane, G. S. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue, *Journal of Biological Chemistry, 226,* 497–509.

Fisher, E. H., & Stein, E. A. (1961). DNS colorimetric determination of available carbohydrates in foods. *Biochemistry Preparation, 8,* 30-37.

Gaiani, C., Boyanova, P., Hussain, R., Pazos, M., Karam, M. C., Burgain, J., Scher, J. (2011). Morphological descriptors and colour as a tool to better understand rehydration properties of dairy powders, *International Dairy Journal*, doi: 10.1016/j.idairyj.2011.02.009.

Gallagher, E., Gormle, T. R., & Arendt, E. K. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*, 56, 153–163.

Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 143–152.

Galliard, T., & Gallagher, D. M. (1988). The effects of wheat bran particle size and storage period on bran flavour and baking quality of bran/flour blends. *Journal of Cereal Science*, 8, 147-154.

Gan, Z., Galliard, T., Ellis, P. R., Angold, R. E., & Vaughan, J. G. (1992). Effect of the outer bran layers on the loaf volume of wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 15, 151-163.

Gao Y., Shang C., Saghai Maroof M. A., Biyashev R. M., Grabau E. A., Kwanyuen P., Burton J. W., and Buss G. R. (2007). A modified colorimetric method for phytic acid analysis in soybean. *Crop Science*, 47, 1797–1803.

Gill, L. S. (1992). *Ethno-Medical Uses of Plants in Nigeria*, University of Benin Press, Benin, Nigeria.

Gomez, M., Moraleja, A., Oliete, B., Ruiz, E., & Caballero, P. A. (2010). Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. *Lwt-Food Science and Technology*, 43, 33-38.

GOUPY Jacques(2001). «Introduction aux Plans d'expériences». Dunod. Paris. 303 pages.

Grancher, D. Soudy, I. D. Delatour, P. (2010). Effects of traditional soaking on the nutritional profile of taro flour (*Colocasia esculenta* L. Schott) produced in Chad. *Revue de médécine vétérinaire,* 161, 1, 37-42.

Grigelmo-Miguel, N., Carreras-Boladeras, E., & Martin-Belloso, O. (2001). Influence of the addition of peach dietary fiber in composition, physical properties and acceptability of reduced-fat muffins. *Food Science and Technology International,* 7, 425-431.

Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C., & Galotto, M. J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 18, 241–247.

Gujral, H. S., Guardiola, I., Carbonell, J. V., & Rosell, C. M. (2003). Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3814-3818.

Goni, I., Garcia-Diza, L., Manasb, E., &Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: A method for foods and food product. *Food chemistry*, 56 (4), 445-459.

Havet M, Mankai M, Le Bail A, (2000). Influence of the freezing condition on the baking performances of French frozen dough. *Journal of Food Engineering, 45* (3), 139-145.

Himeda, Makhlouf., Njintang Nicolas, , Yanou., Edith, Fombang., Balaam, Facho., Pierre, Kitissou., Carl M. F. Mbofung., Joel, Scher (2012a). Chemical composition, functional and sensory characteristics of wheat-taro composite flours and biscuits. *Journal of Food Science Technology*. DOI 10.1007/s13197-012-0723-y.

Himeda, M., Njintang, N. Y., Nguimbou, R. M., Gaiani, C., Scher, J., Balaam F. J., Mbofung, C. M. F. (2012b). Physicochemical, rheological and thermal properties of taro (*Colocassia esculenta*) starch harvested at different maturity stages. *International Journal of Biosciences,* 2, 3, 14-27.

Hong, G. P. and Nip, W. K. (1990). Functional properties of precooked taro flour in sorbets. *Food Chemistry,* 36, 261–270.

Huang A S, Titchenal C A, Meilleur (2000). Nutrient composition of Hawaiian taro corms and breadfruit. *Journal Food Composition and Analysis,* 13, 859–864.

Idika N. and Niemogha M. (2008). "The diversity of uses of medicinal plants in Nigeria," in *A Textbook of Medicinal Plants of Nigeria*, T. Odugbemi, Ed., p. 63, University of Lagos Press, Lagos, Nigeria.

Ikpeme., Emmanuel C. A., Osuchukwu N. C., & Oshiele L., (2010). Functional and sensory properties of wheat (*Aestium triticium*) and taro flour (*Colocasia esculenta*) composite bread. *African Journal of Food Science* 4(5), 248-253.

Imbs G; Bessière A; Devailly A; Cousson T ; Kayem G. J ; Parmentier M. (1989). Etude de l'acceptabilité de pains à base de farines composées dans le Nord-Cameroun. *Céréales en régions chaudes*. AUPELF-UUREF, Eds John Libbey Eurotext, Paris, 327-336.

Jamin, F. F., & Flores, R. A. (1998). Effect of additional separation and grinding on the chemical and physical properties of selected corn drymilled streams. *Cereal Chemistry*, 75, 166–170.

Jane, J., Shen, L., Lim, S., Kasemsuwantt, T., Nip, W. K., (1992). Physical and chemical studies of taro starches and flours. *Cereal Chemistry,* 69, 528–535.

Jirarart, T., Sukruedee, A., & Persuade, P. (2006). Chemical and physical properties of flour extracted from taro (*Colocasia esculenta*) grown in different regions of Thailand. *Science Asia* 32: 279–284.

Karazhiyan, H., Razavi, S. M.A., & Phillips, G. O., (2011). Extraction optimization of a hydrocolloid extract from cress seed (*Lepidium sativum*) using response surface methodology. *Food Hydrocolloids*, 25, 915-920.

Katina, K. (2003). High-fibre baking. In S. P. Cauvain (Ed.), Breadmaking improving quality. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forssell, P., & Autio, K. (2006). Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT - Food Science and Technology,* 39, 479-491.

Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S. M. A., Kadkhodaee, R., & Milani, J. (2008). Optimization of mucilage extraction from Qodume Shirazi seed (*Alyssum homolocarpum*) using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*. doi:10.1111/j.1745e4530.2008.00312.x.

Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, S. M. A., & Bostan, A. (2009). Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. *Food Hydrocolloids*, 23, 2369-379.

Laaman, T. R. (2011). Hydrocolloids: Fifteen practical tips. Hydrocolloids in food processing. Blackwell Publishing Ltd. and Institute of Food Technologists.

Laguna, L., Salvador, A., Sanz, T., & Fiszman, S. M. (2011). Performance of a resistant starch rich ingredient in the baking and eating quality of short-dough biscuits. *LWT -Food Science and Technology*, 44, 737-746.

Larrea, M. A., Chang, Y. K., & Martinez-Bustos, F. (2005). Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. LWT - *Food Science and Technology*, 38, 213-220.

Laurikainen, T., Harkonen, H., Autio, K., & Poutanen, K. (1998). Effects of enzymes in fibre-enriched baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 239-249.

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033–1047.

Letang, C., Piau, M., & Verdier, C. (1999). Characterization of wheat flour-water doughs. Part I. Rheometry and microstructure. *Journal of Food Engineering,* 41, 121–132.

Loubes, M. A., Calzetta Resio, A. N., Tolaba,M. P., & Suarez, C. (2012). Mechanical and thermal characteristics of amaranth starch isolated by acid wet-milling procedure. *LWT-Food Science and Technology*, 46, 519–524.

Louppe, D., Oteng-Amoako A. A, & Brink M., (2008). *Plant Resources of Tropical Africa 7(1). Timber 1*, PROVA Foundation,Wageningen, Netherlands; Backhuys Publishers, Lenden, Netherlands; CTA,Wageningen, Netherlands, pp. 298–300.

Lopez-Franco, Y. L., Cervantes-Montano, C. I., Martinez-Robinson, K. G., Lizardi-Mendoza, J., Robles-Ozuna, L. E. (2013). Physicochemical characterization and functional properties of galactomannans from mesquite seeds (Prosopis spp). *Food Hydrocolloids*, 30, 656-660.

Lewu, M. N., Adebola, P. O., & Afolayan, A. J. (2010). Effect of cooking on the mineral contents and anti-nutritional factors in seven accessions of *Colocasia esculenta* (L.) Schott growing in South Africa. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 389–393.

Lowry O. R., Rosebrough N. J., Farr A. L. et Randall R. J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biology and Chemistry,* 193:265-9.

Emeje M., Isimi C. and Kunle O. (2008). Effect of *Grewia* gum on the mechanical properties of paracetamol tablet formulations. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology.* 2, 1-6.

Muazu, J., Musa, H., & Musa, K. Y. (2009). Compression, mechanical and release properties of paracetamol tablet containing acid treated *Grewia* gum. *Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 1(2), 74–79.

Martınez-Cervera, S., Salvador, A., Muguerza, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 729-736.

Masalkar, S. D., & Keskar, B. G. (1998). Other roots, tubers and rhizomes. In: Salunkhe DK, Kadam SS (eds) Handbook of vegetable science and technology: production, composition, storage and processing. Marcel Dekker, New York, pp 151–155.

Mohamed, E., Dorothea, B., Olivier, R., Souhail, B., Christophe, B., Hamadi, A., (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review *Food Chemistry*, 124: 411–421.

Mohammad, A. A., Haddad, K. M. H., & Farhoosh, R. (2007). Effect of Balangu seed gum on the rheological and sensory properties of Iranian flat bread, MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran (abstract in English).

Moorthy, S. N., Thankamma Pillai, P. K., & Unnikrishnan, M. (1993). Variability in starch extracted from taro. *Carbohydrate Polymers*, 20(3), 169–173.

Naczka, M., & Shahidi, F. (2006). Review, phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41, 1523–1542.

Nand. A. V., Charan, R. P., David, R. & Khurma, J. R., (2008). Isolation and properties of starch from some local cultivars of cassava and taro in Fiji. *South Pacific Journal of Natural Science,* 26:45–48.

Ndabikunze, B. K., Talwana, H. A. L., Mongi, R. J., Issa-Zacharia, A., Serem, A. K., Palapala, V.,& Nandi, J. O.M. (2011). Proximate and mineral composition of cocoyam (*Colocasia esculenta* L. and *Xanthosoma sagittifolium* L.) grown along the Lake Victoria Basin in Tanzania and Uganda. *African Journal of Food Science*, 5(4), 248–254.

Nep, E. I., & Conway, B. R. (2010). Characterization of grewia gum, a potential pharmaceutical excipient. *Journal of Excipients and Food Chemicals,* 1(1), 30–40.

Nep, E. I., & Conway, B. R. (2011). Physicochemical characterization of grewia polysaccharide gum: Effect of drying method. *Carbohydrate Polymers,* 84, 446–453.

Nep, E. I., Patricia O. Odumosu, Ndidi C. Ngwuluka, PatrickO. Olorunfemi, andNelson A. Ochekpe (2013). Review Article, Pharmaceutical Properties and Applications of a Natural Polymer from Grewia mollis. *Journal of Polymers*, ID 938726, 8pages, doi.org/10.1155/2013/938726.

Nguimbou, R. M., Njintang, N. Y., Himeda, M., Gaiani, C., Scher, J., & Mbofung, C. M. F. (2013a). Effect of cross-section differences and drying temperature on the

physicochemical, functional and antioxidant properties of giant taro flour. *Food Bioprocess Technology*, 6, 1809–1819.

Nguimbou, R. M., Boudjeko, T., Njintang, Y. N., Himeda, M., Scher, J., & Mbofung, C. M. F. (2013b). Mucilage chemical profile and antioxidant properties of giant swamp taro tubers. *Journal of food science and technology*. *http://dx.doi.org/10.1007/s13197-012-0906-6*

Nip, W. K. (1997). In: Smith DS, Cash J N, Nip W K, Hui Y H (eds) Taro: processing vegetable and technology. *Technomic Publishing, Pennsylvania,* 355–387.

Njintang, N. Y., Mbofung, C.M. F., & Kesteloot, R. (2007). Multivariate analysis of the effect of drying method and particle size of flour on the instrumental texture characteristics of paste made from two varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flour. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 250–256

Njintang, Y. N., & Mbofung, C. M. F. (2006). Effect of precooking time and drying temperature on the physico-chemical characteristics and in-vitro carbohydrate digestibility of taro flour. *LWT - Food Science and Technology*, 39(6), 684-691.

Njintang, Y. N., (2003). Studies on the production of taro (*Colocasia esculenta*) flour for use in the preparation of achu -a taro base food. Doctorat/Ph.D thesis, University of Ngaoundere, Cameroon, p 298.

Njintang, Y. N., Boudjeko, T., Tatsadjieu, N. L., Nguema-Ona, E., Scher, J., & Mbofung, C. M. F. (2011). Compositional, spectroscopic and rheological analyses of mucilage isolated from taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) corms. *Journal Food Sciences and Technology*. doi:10.1007/s13197-011-0580-0.

Njintang, Y. N., Mbofung, C. M. F., Balaam, F., Kitissou, P., & Scher, J., (2008). Effect of taro (*Colocasia esculenta*) flour addition on the functional and alveographic properties of wheat flour and dough. *Journal of science Food and Agriculture.* 88 : 273–279

Njintang, Y. N., Parker, M. L., Moates, G. K., Mbofung, C. M. F., Smith, A. C., & Waldron, K. W., (2006). Rheology and microstructure of achu, food based on taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) as affected by the method of preparation. *Journal of Science Food Agriculture* 86: 902–907.

Noort, M. W. J., van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H. A., & Hamer, R. J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality evidence for fibre-protein interactions. *Journal of Cereal Science*, 52, 59-64.

Obidah W., Godwin J. L., Fate J. Z., and Madusolumuo M. A., (2010). "Toxic effects of *Grewia mollis* stem bark in experimental rats," *Journal of American Science*, 6, 1544–1548.

Ologhobo, A. D., & Adejumo, I. O. (2011). Effects of differently processed taro (*Colocasia esculenta* [(L.) Schott]) on growth performance and carcass characteristics of broiler finishers. *International Journal of AgriScience*, 1(4), 444–448

Onwueme I (1999). Taro cultivation in Asia and the Pacific. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.

Onwuliri, F.C., Mawak, J. D., Wonang, D. L., Onwuliri, E. A., (2006). Phytochemical, toxicological and Histopathological studies of some medicinal plants in Nigeria. *International Journal of Natural and Applied. Sciences.* 2 (3): 225-229.

Obidah W., J. L. Godwin, J. Z. Fate, and M. A. Madusolumuo (2010)."Toxic effects of *Grewia mollis* stem bark in experimental rats," *Journal of American Science*, Vol. 6, no. 12, pp. 1544–1548.

Phillips R. D., Chinnan M. S, Branch A. L., Miller J. & McWatters K. H. (1988). Effects of pre-treatment on functional and nutritional properties of cowpea me*al. Journal* of *Food Science.*, 53, 805–809.

Pallardy. G. S (2008). The physiology of woody plants, 3rd edition, 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA.

Paraskevopoulou. A, Provatidou. E, Tsotsiou. D, Kiosseoglou V. (2010). Dough rheology and baking performance of wheat flour-lupin protein isolate blends. *Food Research International*, 43, 1009-1016.

Penella, J. M. S., Collar, C., & Haros, M. (2008). Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. *Journal of Cereal Science*, 48, 715-721.

Peressini, D., & Sensidoni, A. (2009). Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49, 190-201.

Razavi, S. M. A., Mortazavi, S. A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H., Motamedzadegan, A., & Khanipour, E. (2009). Optimization study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.) using response surface methodology. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 1755-1762.

Riazi, A., Farhoosh, R. & Razavi, S.M.A. (2006). An investigation on rheological properties of the gum from two current varieties of Salep in Iran. MSc thesis, Iran: Ferdowsi University of Mashhad, (Abstract in English).

Rosell, C. M., Collar, C., & Haros, M. (2007). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids,* 21, 452-462.

Rosell, C. M., Santos, E., & Collar, C. (2006). Mixing properties of fibre-enriched wheat bread doughs: a response surface methodology study. *European Food Research and Technology*, 223, 333-340.

Rupasinghe, H. P. V., Wang, L. X., Pitts, N. L., & Astatkie, T. (2009). Baking and sensory characteristics of muffins incorporated with apple skin powder. *Journal of Food Quality*, 32, 685-694.

Rahman, M. S., & Al-Farsi, S. A. (2005). Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content. *Journal of Food Engineering,* 66: 505–511.

Salmenkallio-Marttila, M., Katina, K., & Autio, K. (2001). Effects of bran fermentation on quality and microstructure of high-fiber wheat bread. *Cereal Chemistry*, 78, 429-435.

Sanful Rita Elsie (2011). Organoleptic and Nutritional Analysis of Taro and Wheat Flour composite Bread. *World Journal of Dairy & Food Sciences* 6 (2): 175-179.

Sepulveda, E., Sanez, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*, 68, 534-545.

Shittu T. A., Dixon A., Awonorin S. O., Sanni L. O., Maziya-Dixon B. (2008). Bread from composite cassava-wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality. *Food Research International* 41:569–578. doi:10.1016/j.foodres.2008.03.008.

Shittu, A. T., Rashidat, A. A., & Evelyn, O. A. (2009). Functional effects of xanthan gum on composite cassava-wheat dough and bread. *Food Hydrocolloids*, 23, 2254–2260.

Shittu, T. A., Raji, A. O., & Sanni, L. O. (2007). Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. *Food Research International*, 40, 280–290.

Singthong, J., Ningsanond, S., & Cui, S. W. (2009). Extraction and physicochemical characterisation of polysaccharide gum from Yanang (*Tiliacora triandra*) leaves. *Food Chemistry*, 114, 1301-1307.

Sirima, C., & Rachada, M. (2010). Chemical and physical properties of taro flour and the application of restructured taro strip product. *Journal World Applied Sciences.* 9: 600-604.

Somboonpanyakul, P., Wang, Q., Cui, W., Barbut, S., & Jantawat, P. (2006). Malva nut gum. (Part I): extraction and physicochemical characterization. *Carbohydrate Polymers,* 64, 247-253.

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., Ibanoglu, E., & Ibanoglu, S. (2008). Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 87, 554-563.

Sturza R., Gudumac V., Deseatnicov O. & Ciobanu C. (2008). *In vitro* and *in vivo* researches of the iron bioavailability in fortified bakery products. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI – Food Technology, New Series Year* II (XXXI), 31-36.

Sudha, M. L., Vetrimani, R., & Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100, 1365-1370.

Sullivan, P., O'Flaherty, J., Brunton, N., Arendt, E., & Gallagher, E. (2010). Fundamental rheological and textural properties of doughs and breads produced from milled pearled barley flour. *European Food Research and Technology*, 231, 441-453.

Sabanis, D., & Tzia, C. (2011). Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. *Food Science and Technology International*, 17(4), 279-291.

Schober, T. J. (2009). Manufacture of gluten-free speciality breads and confectionary products. In E. Gallagher (Ed.), Gluten-free *Food Science and Technology*. Oxford: Blackwell publishing Ltd.

Sciarini, L. S., Ribotta, P. D., Leon, A. E., & Perez, G. T. (2010). Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(11), 2306-2313.

Toufeili, I., Dagher, S., Shadarevian, S., Noureddine, A., Sarakbi, M., & Farran, M. (1994). Formulation of gluten-free pocket-type flat breads: optimization of methylcellulose, gum Arabic, and egg albumen levels by response surface methodology. *Cereal Chemistry*, 71, 594–601.

Utrilla-Coello, R. G., Osorio-Diaz, P., & Bello-Perez, L. A. (2007). Alternative use of chickpea flour in breadmaking: chemical composition and starch digestibility of bread. *Food Science and Technology International*, 13, 323-327.

Uysal, H., Bilgicli, N., Elgun, A., Ibanoglu, S., Herken, E. N., & Demir, M. K. (2007). Effect of dietary fibre and xylanase enzyme addition on the selected properties of wire-cut cookies. *Journal of Food Engineering*, 78, 1074-1078.

Vaintraub, I. A. & Lapteva, N. A. (1988). Colorimetric determination of phytate in unpurified extracts of seeds and the products of their processing. *Analytical Biochemistry,* 175, 227.

Vasanthan, T., & Bhatty, R. S. (1996). Physicochemical properties of small- and large granule starches of waxy, regular, and high-amylose barleys. *Cereal Chemistry*, 73, 199-207.

Wang, M., Hamer, R. J., Van Vliet, T., & Oudgenoeg, G. (2002). Interaction of water extractable pentosans with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. *Journal of Cereal Science,* 36, 25-37.

Wang, M., Hamer, R. J., van Vliet, T., Gruppen, H., Marseille, H., & Weegels, P. L. (2003). Effect of water unextractable solids on gluten formation and properties: mechanistic considerations. *Journal of Cereal Science*, 37, 55-64.

Whitehouse, C., Cheek, M., Andrews, S., & Verdcourt, B., (2001). "Tiliaceae and untingiaceae," in *Flora of Tropical East Africa*, H. J. Beentje, Ed., p. 120, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.

Williams, P. A., & Phillips, G. O. (2000). Introduction to food hydrocolloids. In G. O. Phillips, & P. A. Williams (Eds.), Handbook of hydrocolloids (pp. 1–19). New York, NY: CRC Press.

Wu, Y., Cui, S. W., Tang, J., & Gu, X. (2007). Optimization of extraction process of crude polysaccharides from boat-fruited sterculia seeds by response surface methodology. *Food Chemistry,* 105, 1599-1605.