Influence des amidons natifs ou acétylés de manioc et de pomme de terre sur les propriétés physico-chimiques et texturales du pâté de Boeuf (Bos indicus)

Pierre Désiré Mbougueng

▶ **To cite this version:**

Pierre Désiré Mbougueng. Influence des amidons natifs ou acétylés de manioc et de pomme de terre sur les propriétés physico-chimiques et texturales du pâté de Boeuf (Bos indicus). Alimentation et Nutrition. Institut National Polytechnique de Lorraine, 2009. Français. NNT : 2009INPL007N . tel-01749517

HAL Id: tel-01749517
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01749517

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.

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

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires

Laboratoire de Sciences et Génie Alimentaire

UNIVERSITE DE NGAOUNDERE

Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro - Industrielles

Laboratoire Biochimie et Technologie Alimentaire

THESE

Présentée à l'Université de Ngaoundéré

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'INPL et Docteur PhD. de l'Université de Ngaoundéré

Spécialité : Procédés Biotechnologiques et Alimentaires

Par

MBOUGUENG Pierre Désiré

INFLUENCE DES AMIDONS NATIFS OU ACETYLES DE MANIOC ET DE POMME DE TERRE SUR LES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET TEXTURALES DU PATE DE BŒUF (*Bos indicus*)

Thèse soutenue à l'ENSAI de l'Université de Ngaoundéré le 21 Janvier 2009

Jury :

Joseph Ngalani	Directeur de recherche, IRAD de Yaoundé
Clergé TCHIEGANG	Professeur, ENSAI, Université de Ngaoundéré
Didier Montet	Docteur HDR, CIRAD, Montpellier
Michel Parmentier	Professeur, LSGA, ENSAIA-INPL, Nancy
Tenin Dzudie	Professeur, ENSAI, Université de Ngaoundéré (Directeur de Thèse)
Joël Scher	Professeur, LSGA, ENSAIA-INPL, Nancy (Directeur de Thèse)

DEDICACES

A

Mon fils Otniel Manuel MBOUGUENG NZALI

Mon feu père NZALI LEVI

Ma mère MEKENZEU Martine

Mon âme sœur ANANFAH DONGMO Valerie

Papa Elie DJYA et sa famille

Feu Papa YIMBOU DJEMMO Emmanuel

Aux Fils et filles NZALI

Je dédie ce travail.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail en vue de l'obtention du titre de Docteur/Ph.D en Sciences Alimentaires et Nutrition de l'Université de Ngaoundéré (Cameroun) et de Docteur en Procédés Biotechnologiques et Alimentaires de l'Université de Nancy (France), qu'il me soit tout d'abord permis d'adresser mes remerciements aux deux institutions universitaires pour m'avoir accueilli tout au long de la réalisation de ce travail de thèse.

Mes remerciements vont également au Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) pour le financement qui a permis de réaliser les travaux et les voyages en France pour compléter les analyses commencées au Cameroun.

Je tiens aussi à exprimer mes sentiments de reconnaissance et de satisfaction à mes encadreurs :

Monsieur Clergé TCHIEGANG, Professeur à l'ENSAI de l'Université de Ngaoundéré (Cameroun) et responsable du Laboratoire de Biochimie et Technologie Alimentaire (LBTA) qui a dirigé ce travail et dont les qualités scientifiques ont beaucoup éclairée mes réflexions. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Monsieur TENIN DZUDIE, Professeur à l'ENSAI de l'Université de Ngaoundéré (Cameroun), Chef de département de génie des procédés et responsable du Laboratoire de Génie et Technologie Alimentaire (GETA). Sa patience, sa disponibilité et ses remarques pertinentes ont permis la réalisation de ce travail. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance.

Monsieur Joël SCHER, Professeur à l'ENSAIA-INPL de Nancy (France). Malgré ses multiples occupations, s'est montré disponible pour l'encadrement de ce travail, qu'il trouve ici l'expression de toute ma gratitude.

Mes vifs remerciements vont également à l'ENSAI de l'Université de Ngaoundéré et à son Directeur, le Professeur C.M.F. MBOFUNG, responsable de la Formation Doctorale SAN, ainsi qu'au Professeur R. NDJOUENKEU, Chef de Département SAN.

Ma gratitude va également au corps enseignant de l'ENSAI de Ngaoundéré particulièrement aux Professeurs : R. KAMGA, M.B. NGASSOUM , aux Docteurs : J.-B. TCHATCHUENG, E. SOH, R. EJOH, F. TAVEA et Monsieur P. AJEBESONE, pour leur dévouement et conseils lors de notre formation.

Je tiens aussi à remercier de tout cœur toute l'équipe du Laboratoire de Sciences et Génie Alimentaires (LSGA) de Nancy par son directeur le Professeur S. DESOBRY Sans

oublier les Professeurs FANNY, LINDER et SANCHEZ, le Dr M. JACQUOT, Mesdames M. N. MAUCOURT, C. JEANDEL, C. PEROU et A. LAPLACE, Messieurs J.P. JACQUOT et P. TCHWARZ pour l'accueil et le soutien pendant mon séjour au LSGA.

Aux aînés de la Formation Doctorale SAN qui nous ont guidé, Messieurs N.L. TATSAJIEU, Y. N. NJITANG, H. WOMENI, V.N. KAPCHIE, A.K. ABOUBAKAR DANDJOUMA, L. FEZEU, D. DJOULDE, G. MEDOUA, MOHAMADOU, C.P. KOUEBOU et O. AJOUDJI je dis merci.

A l'équipe des thésards qui ont été présents au sein du LSGA durant mes travaux : ALI, LYNN, CHARBEL, ATMAN, ELMIRA, KASSEM, ANGELICA, VIRGINIE, SUZANNA, LEÏLA, ALBARIN, JORDANE, HELENE CAROLE, MIREILLE, ABOUBAKAR, ELIE, ARMAND AGNIESZKA, PASCALE et IMRAN, merci pour votre entraide, le partage de nos cultures respectives et nos échanges au quotidien. Bonne chance aux nouveaux doctorants.

Mes sincères remerciements vont également :

Aux techniciens des laboratoires de l'ENSAI, Messieurs A. SIMO, C. TSENI, G. ZOMENI et B. MAGARA.

A C. FEZEU, R. GANYIM et M. TCHIMTCHOUA, H. G. Nzali à toute la famille DJIYA, à Madame et monsieur MEYATCHEYE Valentin.

A mes amies : G. B. NOUMI, ATANGANA ONDIGUI et A. MANA.

A mes camarades, messieurs A.C. NDIH, G. KAPTSO, A. ABDOU BOUBA, ABOUBAKAR, T. NGANGUE, E.B. DJANTOU. Et mesdames V.R. DJUIKOUO, J. MAIWORE, V.C PASSO, C. TCHANKOU, L.B. MEZAJOUG, G. YADANG, L. TCHATHOUANG, J. KLANG, HABIBA OUMAROU.

Enfin à tous ceux dont je n'ai pas cité les noms et qui de quelque façon que ce soit ont contribué à la réalisation de ce travail qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

SOMMAIRE

DEDICACES ..... **i**

REMERCIEMENTS ..... **ii**

LISTE DES FIGURES ..... **x**

LISTE DES TABLEAUX ..... **xiii**

LISTE DES ABREVIATIONS ..... **xv**

ABSTRACT ..... **xvii**

INTRODUCTION GENERALE **1**

Intérêts local, régional et international **5**

Objectifs économiques **5**

Partie I : Revue de la littérature **6**

CHAPITRE I : L'amidon natif et ses propriétés **7**

1- GENERALITES SUR L'AMIDON 7

1.1- Présentation physique de l'amidon 8

1.2- Classification des amidons natifs 10

1.3- Structure chimique de l'amidon 11

1.4- Amylose 13

1.5- Amylopectine 14

1.6- Traitement thermique de l'amidon 14

1.6.1- Comportement des granules d'amidon hydratées aux faibles températures 15

1.6.2- Transformations hydrothermiques de l'amidon 16

1.6.2.1- Gélatinisation 17

1.6.2.1.1- Mécanismes de gélatinisation de l'amidon 17

1.6.2.1.2- Suivi de la gélatinisation de l'amidon 18

1.6.2.1.3- Caractéristiques rhéologiques des empois d'amidon 19

1.6.2.2- Rétrogradation et gélification 19

1.6.2.2.1- Les mécanismes de gélification 20

1.7- Les différents types d'amidons et leurs utilisations 20

CHAPITRE II : Les amidons modifiés et leurs propriétés **22**

1- TECHNOLOGIES DE MODIFICATION DES AMIDONS 22
1.1- Modifications chimiques 22
1.1.1- Modification par réticulation et ses effets 24
1.1.2- Modification par substitution des fonctions hydroxyles 26
1.1.3- Modifications hydrophobes 27
1.1.4- Modification par fluidification et ses effets 28
1.2- Modifications physiques des amidons 29
1.2.1- Modification par traitements chaleur – humidité 30
1.2.2- Modification par dextrinisation des amidons 30
1.2.3- Modification par traitement de précuisson 32
2- FONCTIONS ET CONDITIONS OPTIMALES D'UTILISATION DES AMIDONS MODIFIES 33
2.1- Fonctions des amidons modifiés 33
2.2- Conditions optimales d'utilisation des amidons modifiés 33
2.2.1- Dispersion et solubilisation 33
2.2.2- Influence des traitements 34
3- AMIDONS ENDOMMAGES 34

CHAPITRE III : Amidon comme additif et ses interactions avec d'autres constituants alimentaires 35

1- UTILISATIONS ALIMENTAIRES DES AMIDONS MODIFIES 35
1.1- Exemple d'utilisation des amidons : Le pâté 36
1.1.1- Définition et composition du pâté 36
1.1.2- Qualité du pâté 36
1.2- Interactions des amidons avec d'autres constituants alimentaires 37
1.2.1- Avec les glucides 38
1.2.2- Avec les lipides 38
1.2.3- Avec les protéines 39

Partie II : Matériel et méthodes 40

II.1- LES AMIDON NATIFS : PRODUCTION, CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET RHEOLOGIQUES 41
II.1.1- Matériel végétal 41
II.1.2- Localité de collecte des échantillons 41
II.1.3- Méthodes 42
II.1.3.1- Extraction et obtention des poudres d'amidons natifs 42

II.1.3.2- Amidons natifs locaux et amidon commercial : caractérisations chimiques, physiques, fonctionnelles et rhéologiques 42
II.1.3.2.1- Caractérisations chimiques des amidons natifs 42
II.1.3.2.1.1- Humidité 42
II.1.3.2.1.2- Teneurs en lipides 44
II.1.3.2.1.3- Teneurs en protéines brutes 44
II.1.3.2.1.4- Teneurs en sucres totaux 44
II.1.3.2.1.5- Teneurs en cendres totales et dosage du phosphore 44
II.1.3.2.1.6- Détermination de la pureté des amidons natifs 45
II.1.3.2.1.7- Teneurs en amidon endommagé 46
II.1.3.2.1.8- Teneurs en amylose 46
II.1.3.2.1.9- pH 48
II.1.3.2.2- Caractérisations physiques des amidons natifs 48
II.1.3.2.2.1- Granulométrie : granulométrie laser 48
II.1.3.2.2.2- Observations morphologiques 50
II.1.3.2.2.3- Paramètres trichromatiques des amidons 51
II.1.3.2.3- Caractérisations fonctionnelles et rhéologiques des amidons natifs 51
II.1.3.2.3.1- Analyse Thermique Différentielle 52
II.1.3.2.3.2- Capacité de rétention d'eau 53
II.1.3.2.3.3- Capacité de Rétention d'huile des amidons 53
II.1.3.2.3.4- Etude de la rétrogradation des amidons 54
II.1.3.2.3.5- Mesure de la rhéologie des gels d'amidon 54
II.1.3.2.4- Dispositif expérimental et analyses statistiques des résultats 55
II.2- PATES A BASE D'AMIDONS NATIFS : CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET TEXTURALES 56
II.2.1- Matériel biologique 56
II.2.2- Production et caractérisation des pâtés aux amidons natifs 56
II.2.2.1- Production des pâtés aux amidons natifs 56
II.2.2.2- Caractérisations physico-chimiques et texturales des pâtés 60
II.2.2.2.1- Détermination du pH des pâtés crus et cuits 60
II.2.2.2.2- Détermination de l'Indice d'Acide Thiobarbiturique des pâtés cuits 60
II.2.2.2.3- Capacité de rétention d'eau réelle des pâtés 62
II.2.2.2.4- Evaluation de la perte de poids à la cuisson des pâtés 63
II.2.2.2.5- Profil de texture des pâtés 63

II.2.2.2.6- Dispositif expérimental et analyses statistiques des résultats 64
II.3- AMIDONS ACETYLES : PRODUCTION, CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET RHEOLOGIQUES 66
II.3.1- Matériel végétal 66
II.3.2- Méthodes 66
II.3.2.1- Modifications des amidons natifs 66
II.3.2.2- Caractérisations des amidons modifiés 67
II.3.2.2.1- Détermination du pourcentage d´acétylation et du degré de substitution des amidons modifiés 68
II.3.2.2.2- Dispositif expérimental et analyses statistiques des résultats 68
II.4- PATES A BASE D'AMIDON ACETYLES : CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUE ET TEXTURALES 69
II.4.1- Matériel biologique 69
II.4.2- Production et caractérisation des pâtés aux amidons modifiés 69
II.4.2.1- Production des pâtés aux amidons modifiés 69
II.4.2.2- Caractéristiques physico-chimiques et texturales des pâtés aux amidons modifiés 70
II.4.2.3- Dispositif expérimental et analyses statistiques des résultats 70
Partie III : Résultats et discussion 71
III.1- LES AMIDON NATIFS : CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET RHEOLOGIQUES 72
III.1.1- Composition chimique des amidons natifs 72
III.1.2- Caractérisations physiques des amidons natifs 77
III.1.2.1- Répartition granulométrique 77
III.1.2.2- Observation morphologique des amidons 78
III.1.2.3- Paramètres trichromatiques des amidons 80
III.1.3- Caractérisations fonctionnelles et rhéologiques des amidons natifs 81
III.1.3.1- Propriétés thermiques des amidons 81
III.1.3.2- Capacité de rétention d'eau des amidons 84
III.1.3.3- Capacité de rétention d'huile 85
III.1.3.4- Paramètres rhéologiques des gels d'amidon 86
III.1.3.5- Rétrogradation des amidons natifs 89
III.1.4- Conclusion partielle 91

III.2- PATE A BASE D'AMIDONS NATIFS : CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET TEXTURALES 92
III.2.1- Influence des types d'amidon et de leurs taux d'incorporation sur la composition globale des pâtés crus et cuits 92
III.2.2- Influence des types d'amidon et de leurs taux d'incorporation sur les propriétés physico-chimiques des pâtés crus et cuits 96
III.2.2.1- pH des pâtés crus et cuits 96
III.2.2.2- Capacité de rétention d'eau des pâtés 98
III.2.2.3- Pertes de poids à la cuisson des pâtés 98
III.2.2.4- Indices de TBA des pâtés cuits 99
III.2.3- Influence des types d'amidon et de leurs taux d'incorporation sur le profil textural des pâtés 100
III.2.4- Influence des types d'amidons et de leurs taux d'incorporation sur les paramètres de couleur des pâtés 104
III.2.5- Conclusion partielle 107
III.3- AMIDON ACETYLES : PRODUCTION, CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUES ET RHEOLOGIQUE 108
III.3.1- Pourcentages d'acétylation et Degrés de Substitution des amidons modifiés 108
III.3.2- Composition physico-chimique des amidons 109
III.3.3- Caractérisations physiques des amidons 114
III.3.3.1- Répartition granulométrique 114
III.3.3.2- Morphologie des granules d'amidon 115
III.3.3.3- Analyse de la couleur des amidons 117
III.3.4- Propriétés fonctionnelles et rhéologiques des amidons 119
III.3.4.1- Propriétés thermiques des amidons 119
III.3.4.2- Capacité de rétention d'eau des amidons 121
III.3.4.3- Capacité de rétention d'huile des amidons 122
III.3.4.4- Paramètres rhéologiques des gels d'amidon 123
III.3.4.5- Rétrogradation des amidons 125
III.3.5- Conclusion partielle 127
III.4- PATE A BASE D'AMIDON ACETYLES : CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET TEXTURALES 128
III.4.1- Influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur la composition globale des pâtés crus et cuits 128

III.4.2- Influence des amidons acétylés et du taux d'incorporation sur les propriétés physico-chimiques des pâtés crus et cuits 132
III.4.2.1- pH des pâtés crus et cuits 132
III.4.2.2- Capacité de rétention d'eau des pâtés 133
III.4.2.3- Pertes de poids à la cuisson des pâtés 134
III.4.2.4- Indices d'acide thiobarbiturique des pâtés cuits 135
III.4.3- Influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur le profil textural des pâtés cuits 136
III.4.4- Paramètres de couleur des pâtés cuits 140
III.4.5- Conclusion partielle 142
CONCLUSION GENERALE 143
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 146
ANNEXES 168
RESUME 172

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Formes et tailles des granules d'amidon de maïs, blé, riz, pomme de terre, manioc et de pois (MEB grossissement × 280) d'après Atkin, Cheng, Abeysekera et Robards (1999)…… 7

Figure 2 : Structure et ultra structure d'un grain d'amidon classique d'après Levèque, Haye et Belarbi, 2000……..... 9

Figure 3 : Photographie et représentation schématique d'un grain d'amidon d'après Jenkins et Donald (1998) (1998)……..... 9

Figure 4 : Diagrammes de diffraction des rayons X des types cristallins A, B, C et V d'après Zobel (1988)…….. 10

Figure 5a : Structure chimique du D-glucopyranose…… 12

Figure 5b : Schéma simplifié de la structure chimique de l'amylose d'après Buléon (2001)……..... 12

Figure 5c : Schéma simplifié de la structure chimique de l'amylopectine d'après Buléon (2001)……..... 12

Figure 6 : Comportement des granules d'amidons à teneur croissante en amylose sous différents traitements d'après Atkin *et al.* (1999)…… 17

Figure 7 : Différents états du grain d'amidon placé en présence d'un excès d'eau et soumis au chauffage-refroidissement Angellier (2005) …….. 18

Figure 8 : Schéma présentant les différents types d'amidons en fonction des traitements…… 21

Figure 9 : Représentation schématique de la réticulation d'après Fuertès (1998)……. 24

Figure 10 : Réactions de réticulation d'après Fuertès (1998)…… 25

Figure 11 : Réactions de stabilisation des amidons par estérification d'après Fuertès (1998……. 27

Figure 12: Réaction de synthèse d'un amidon OSA, d'après Fuertès (1998)…… 28

Figure 13 : Mécanisme de l'hydrolyse acide de l'amidon : cas de la liaison α : (1→4) d'après Bemiller (1965)…… 29

Figure 14 : Réactions possibles (a, b, c, d) lors de la dextrinification d'un amidon d'après Fuertès (1998)…….. 32

Figure 15a : Schéma général des caractérisations chimiques des amidons natifs locaux étudiés……..... 43

Figure 15b : Schéma général de la caractérisation physique des amidons natifs…….. 49

Figure 15c : Schéma général des caractérisations fonctionnelle et rhéologique des amidons natifs locaux……... 51

Figure 16 : Schéma du principe de fonctionnement d'un calorimètre différentiel …… 52

Figure 17 : Schéma de la préparation de la viande et de la mêlée pour la production des pâtés……. 58

Figure 18 : Schéma synoptique de la préparation des différents pâtés contenant les amidons locaux natifs et l'amidon témoin (amidon commercial)……. 59

Figure 19 : Schéma synoptique des analyses effectuées sur les pâtés produits……. 61

Figure 20 : Equation de la réaction de l'acide 2-thiobarbiturique avec les produits d'oxydation des acides gras…….. 62

Figure 21: Surfaces de réponse type du test à deux morsures sur un enregistreur graphique……... 64

Figure 22 : Réactions d'acétylation de l'amidon (Phillips *et al.*, 1999)…… 66

Figure 23 : Schéma de la préparation des amidons acétylés…….. 67

Figure 24 : Courbes de la fréquence de distribution granulométrique des amidons natifs…….. 77

Figure 25 : Exemple de courbe de gélatinisation (amidon de pomme de terre *Sipiera*) 82

Figure 26 : Evolution de la CRE des amidons natifs en fonction de la température….. 84

Figure 27 : Capacités de rétention d'huile des amidons natifs……... 86

Figure 28 : Exemple de courbe d'écoulement laminaire des amidons natifs……. 87

Figure 29 : Synérèse des amidons natifs…… 89

Figure 30 : Regroupement des amidons natifs suivant leurs affinités sur la base de leurs propriétés physicochimiques et fonctionnelles…… 90

Figure 31 : Influence du taux d'incorporation des amidons natifs sur les pertes de poids à la cuisson des pâtés……... 99

Figure 32 : Influence du taux d'incorporation des amidons natifs sur l'indice de TBA des pâtés cuits……... 100

Figure 33 : Regroupement des pâtés suivant leurs affinités sur la base de leur profil de textural…….. 104

Figure 34 : Courbes de la fréquence de distribution granulométrique des amidons natifs et acétylés…… 114

Figure 35 : Evolution de la CRE des amidons natifs et acétylés en fonction de la

température…… 121
Figure 36 : Influence de l'acétylation sur la capacité de rétention d'huile des amidons 122
Figure 37 : Influence de l'acétylation sur l'indice de consistance et d'écoulement des amidons…….. 123
Figure 38 : Influence de l'acétylation sur la synérèse des amidons…… 125
Figure 39 : Regroupement des amidons natifs et acétylés suivant leurs afinités sur la base de leurs propriétés physico-chimiques et fonctionnelles……... 126
Figure 40 : Influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur la CRE des pâtés…… 134
Figure 41 : Influence du taux d'incorporation des amidons acétylés sur les pertes de poids à la cuisson des pâtés……... 135
Figure 42 : Influence du taux d'incorporation des amidons acétylés sur l'indice de TBA des pâtés cuits……... 135
Figure 43 : Regroupement des pâtés suivant leurs affinités sur la base de leur profil textural …….. 139

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Teneurs (% MS) en amylose et en amylopectine d'amidons naturels d'après Cheftel et Cheftel (1976)…….. 13

Tableau 2 : Modification des amidons alimentaires d'après Wurzburg (1986).…… 23

Tableau 3 : Différentes catégories de dextrines d'après Wursburg (1986).…….. 32

Tableau 4 : Etalonnage de l'amylose et son dosage dans les amidons……... 47

Tableau 5 : Compositions globale des amidons (en %MS) …….... 72

Tableau 6 : Pureté, teneurs en amidon endommagé, en amylose (%MS) et pH des amidons natifs……... 75

Tableau 7 : Paramètres trichromatiques des amidons…….……... 80

Tableau 8 : Paramètres thermiques des amidons natifs…….…….…..... 82

Tableau 9 : Paramètres de viscosité des gels d'amidons…….……..….. 87

Tableau 10 : Composition globale des pâtés crus en fonction du taux d'incorporation d'amidons natifs (%MF) …….……... 93

Tableau 11 : Composition globale des pâtés cuits en fonction du taux d'incorporation d'amidons natifs (%MF) …… 94

Tableau 12 : pH et Capacités de Rétention d'Eau (CRE) des pâtés aux amidons natifs…….. 97

Tableau 13 : Paramètres texturaux des pâtés cuits à base d'amidons natifs…….. 102

Tableau 14 : Paramètres de couleur des pâtés cuits aux amidons natifs …….….. 105

Tableau 15 : Pourcentage d'acétylation et degré de substitution des amidons acétylés……. 108

Tableau 16 : Composition globale des amidons (en %MS)……... 109

Tableau 17 : Pureté, teneurs en amidon endommagé, en amylose (%MS) et pH des amidons……. 112

Tableau 18 : Paramètres trichromatiques des amidons natifs et acétylés ……..… 118

Tableau 19 : Paramètres thermiques des amidons natifs et acétylés..…… 119

Tableau 20 : Composition globale des pâtés crus aux amidons acétylés (%MF)…..... 129

Tableau 21 : Composition globale des pâtés cuits aux amidons acétylés (%MF)….. 130

Tableau 22 : Influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur le pH des pâtés crus et cuits..…… 132

Tableau 23 : Influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur les propriétés texturales des pâtés cuits……...……. 137
Tableau 24 : Paramètres de couleur des pâtés cuits aux amidons acétylés…… 140

LISTE DES ABREVIATIONS

%Ac : Pourcentage d'acétylation

%MF : Pourcentage de Matières Fraîches

%MS : Pourcentage de Matières Sèches

γ : Vitesse de cisaillement

ΔH : Enthalpie de gélatinisation

a* : Coordonnée de chromacité de la balance « rouge – vert »

ACP : Analyse en Composantes Principales

AED : Analyse Enthalpique Différentielle

ANOVA : Analyses de variance

ATR : Réflexion Totale Atténuée

ATD : Analyse Thermique Différentielle

b* : Coordonnée de chromacité de la balance « jaune – bleu »

CEE : Communauté Economique Européenne

CRE : Capacité de Rétention d'Eau

CRH : Capacité de Rétention d'Huile

DCS : Differential Scanning Calorimetry

DNS : Acide 3,5 Dinitrosalicylique de Sodium

DP: Degré de Polymérisation

DS : Degré de Substitution

K : Indices de consistance

L* : Luminance

MDA : Malondialdéhyde

n : Indices d'écoulement

TBA : Acide thiobarbiturique

Tc : Température de fin de gélatinisation

Tg: Température de transition vitreuse

To : Température seuil de gélatinisation

Tp : Température pic de gélatinisation

Xc : Indice de cristallinité

τ : Contrainte de cisaillement

MEB : Microscopie Electronique à Balayage

r= Coefficient de régression

R= Coefficient de corrélation

ABSTRACT

Despite the fact that starch is found in large quantities in the roots and tubers of crops cultivated in pratically all the regions of Cameroon, starch like other local bioproducts remains under-exploited in preference to imported raw materials. This observation served as the basis of this study, which was aimed at improving on local starch as substitute for imported Irish potato starch in beef patty using either native starch or their acetylated forms. The first part of this work deals with the physico-chemical and rheological characterisation of native starches of two local cultivars of Irish potatoes (*Sipiera* and *Tselefou*) and three cultivars of cassava (*2425, 4115* and *Seedling*) before they are incorporated into beef patty at 20, 30, 40 and 50g/kg ground meat. The influence of the type of starch and the amount of incorporation on the physico-chemical and textural properties of patties was evaluated. Results show that the physical, functional and rheological properties of starches are closely related to their botanical origin. Principal Component Analysis (PCA° showed that Irish potato cultivar *Sipiera* had properties that were close to reference. Results of incorporation trials of native starches in patty show that the type of starch and their amount of incorporation have a significant influence on the water content of the raw and cooked patties. The PCA of all the textural properties of patties with native starches show that patty from starch of cassava cultivar *Seedling* (*PS40*) was closest to the reference. In the second part of the work, amongst the starches which did not give patties close to the reference in terms of texture, the starch *Sipiera* and *2425* were selected on the basis of the closeness of their physico-chemical properties to that of the reference. These two starches were then acetylated for 10 and 20min. and this permitted us to have *Sipiera/10, Sipiera/20, 2425/10* and *2425/20* for natives starches *Sipiera* and *2425* respectively. These acetylated starches were then physico-chemically and rheologically characterized and then incorporated again at different amounts (20, 30, 40, 50g/kg) in beef patty. The global composition of native starches and their acetylated homologues showed that their water content increased with the percentage of acetylation. On the contrary the lipid and protein contents were neither influenced by acetylation nor by the time of acetylation. The functional properties of the native starches were however strongly influenced by acetylation and the time of acetylation. The PCA showed that the *Sipiera* starch and its modified homologues were close to the reference starch than cassava starches. This confirms the incorporation trials of acetylated starches at different amounts in patty. The *Sipiera/20* starch at an incorporation rate of 40g/kg ground meat is not significantly different from the reference patty.

Key words: *Manihot esculanta* C., *Solanum tuberosum* L., native starches, acetylated starches, physico-chemical, rheological, functional properties, native starch patties, acetylated starch patties.

INTRODUCTION GENERALE

Avec une population d'un peu plus de 16 millions d'habitants, le Cameroun se caractérise par une grande diversité de climats et de végétations qui lui permettent de disposer d'une offre en produits agroalimentaires plus diversifiée que celle des autres pays de la Communauté Economique et Monétaire d'Afrique Centrale (CEMAC). Le pays reste cependant déficitaire en produits d'origine animale (Diagne et De Oliviera, 2007). La viande et les produits carnés occupent pourtant une place de choix dans l'alimentation. Sous la dénomination « viande » il existe une très grande diversité de produits. Dès le milieu du XX^{ieme} siècle, l'évolution des techniques d'élevage et de production a permis d'accroître la disponibilité de cette matière première (Culioli, Berri et Mourot, 2002). Dans cette perspective, de nombreux procédés de transformation ont été développés. La viande se retrouve ainsi sur le marché sous différents états : le muscle à l'état pantelant, le muscle maturé et préparé sous différentes recettes. De toutes ces spécialités, les charcuteries à base de porc occupent une place de choix. Les charcuteries sont des produits à base de viande correspondant à des préparations culinaires, crus, précuites ou cuites conditionnées et conservées par le froid (Durand, 1999). Elles sont très prisées par les populations camerounaises ainsi que l'indique le taux d'importation estimé à 1.403t en 2006, soit environ 1.622 millions de francs CFA (Anonyme, 2006). Toutefois, il convient de noter que ce taux d'importation serait plus élevé si, une importante partie de la population n'était pas exclue de leur consommation à cause de son faible pouvoir d'achat ou des considérations d'ordre religieuse. Les charcuteries des industries camerounaises faites essentiellement à base de porc, ont deux problèmes : celui du type de viande (viande de porc) qui limite sa consommation et celui du prix de revient qui est élevé du fait que 70 à 80% des ingrédients entrant dans leur préparation sont importés et sujets aux inflations. En effet le taux d'importation des épices et aromates en 2005 au Cameroun s'élevait à 1.369.455 tonnes (Diagne et De Oliviera, 2007).

La perspective du développement de l'industrie charcutière au Cameroun, corrélée à la nécessité de réduire les coûts de production en vue de la promotion d'une plus large consommation grâce à une meilleure offre de prix, amène à réfléchir sur les substituants locaux des ingrédients utilisés dans les procédés industriels. Ceci aura pour corollaire d'augmenter la valeur ajoutée de la viande, des amylacées et de d'autres matières premières produites localement mais aussi de booster leur production.

Des travaux récents sur la caractérisation de quelques épices de l'Ouest Cameroun (Tchiégang et Mbougueng, 2005) ont montré qu'il était possible de substituer des épices

importées (quatre épices Bovida^{TM}) par une formulation d'épices locales dans le pâté de bœuf (Mbougueng, Tenin, Tchiégang et Scher, 2006). Il ressort également de ces travaux que la viande provenant des bœufs élevés localement peut être utilisée pour la production du pâté de campagne. Cette substitution permet non seulement de valoriser la viande bovine du cheptel camerounais estimé à plus de 5 millions de têtes (Anonyme, 2005a), mais également donne l'opportunité aux musulmans de consommer les produits de charcuterie.

Le pâté de campagne à la viande de bœuf et aux épices locales est un aliment restructuré et diphasique. Il est constitué d'un marquant de maigre et d'une farse fine qui sert de ciment et dont l'amidon de pomme de terre importé, principal liant qu'elle contient demeure encore un « intrus ». Un premier pas a été franchi par la mise au point d'une formulation d'épices locales qui a permis de substituer les Quatre épices Bovida^{TM} dans le pâté (Mbougueng *et al.,* 2006). Un autre le sera lorsqu'on aura trouvé un amidon local pour remplacer les fécules de pomme de terre importés. Cet amidon importé présente des propriétés particulières avantageuses et indispensables pour son utilisation dans les pâtés. Il s'agit entre autres : d'un goût neutre, d'une haute capacité de liaison à l'eau, d'une bonne translucidité, d'une bonne température optimale de gélatinisation pour une utilisation comme agent de texture mais aussi et surtout d'une bonne stabilité à la cuisson (Buléon, 2001). Les caractérisations physico-chimiques et fonctionnelles des amidons locaux s'inscrivent donc comme une priorité pour la substitution de l'amidon de pomme de terre commercial dans la production du pâté de campagne.

Le Cameroun dispose de sources très variées et abondantes en amidon mais celles-ci sont orientées vers un usage culinaire domestique. Ceci se confirme par les travaux de la *Collaborative Study on Cassava in Africa* (COSA) qui montrent que les paysans africains cultivent les amylacées pour assurer la sécurité alimentaire d'une part importante de la population (Osswald, 1995). En Afrique, la seule production du manioc en 1998 a été de 90 millions de tonnes soit 57% de la production mondiale (Hillocks, 2002). Au Cameroun, la production des amylacées (igname, macabo, taro, maïs, melon, manioc, patate et pomme de terre) en 2004 s'élevait à 4.987.211 tonnes, soit 945.925 tonnes pour la seule province de l'Adamaoua (Agri-Stat, 2005). Cette production élevée pour le manioc s'explique par l'habitude alimentaire des *Gbayas* qui peuplent cette province et dont l'alimentation de base est le manioc consommé sous forme de boule de couscous (Akorada, 1992).

Au vu de ce qui précède, il est clair qu'il est possible d'avoir localement des amidons en grandes quantités. Il reste que qualitativement, les amidons locaux n'ont pas bénéficiés d'investissements suffisants pour apporter de la valeur ajoutée afin de les valoriser et les

rentabiliser à l'échelle internationale. Il s'agirait en l'occurrence de travaux sur les propriétés physicochimiques, fonctionnelles et rhéologiques des amidons locaux et de leurs gels (Amani, Dufour, Mestre et Kamenan, 2003). Des essais de modification des amidons natifs pour leur conférer une bonne stabilité aux températures élevées, en milieu acide, au cours des traitements mécaniques et au cours du stockage à froid (Baracco, Berger, Durand, Frentz, Giron et Guerin, *et al.*, 1982). L'essentiel des travaux effectués à ce jour portent sur les caractérisations physico-chimiques de quelques amylacées locales et de leur amidon (Mohamadou, Tanya et Mbofung, 1999 ; Klang, 2002 ; Yadang, 2002). Il convient de noter aussi des essais de détoxification par fermentation de quelques cultivars de manioc effectués par Djouldé, Etoa, Essia Ngang, et Mbofung en 2004 et en 2005.

Les travaux que nous avons menés dans cette étude relèvent de cette problématique et se proposent d'évaluer l'influence des amidons natifs ou acétylés de manioc et de pomme de terre locaux sur les propriétés physicochimiques et texturales du pâté de bœuf.

Dans un premier temps l'objectif est de déterminer les caractéristiques physicochimiques, fonctionnelles et rhéologiques de ces amidons locaux natifs et de les comparer à celles de l'amidon commercial de pomme de terre. Cet objectif s'appui sur l'hypothèse suivante :

Les propriétés physico-chimiques, fonctionnelles et rhéologiques de certains amidons des cultivars de pomme de terre et de manioc locaux sont proches de celles de l'amidon de pomme de terre témoin.

Dans un deuxième temps, ces amidons locaux seront incorporés dans les pâtés à différents taux avec pour objectif de déterminer l'influence du type d'amidon et de son taux d'incorporation sur les propriétés physico-chimiques et texturales des pâtés. Cet objectif a permis de vérifier la deuxième hypothèse :

Certains amidons locaux natifs pourraient substituer l'amidon de pomme de terre témoin dans le pâté de bœuf.

Il est admis que les amidons natifs sont de bons agents de texture pour les produits alimentaires (Cousidine, 1982). Cependant, des facteurs tels que le cisaillement, les températures élevées, les pH bas et la rétrogradation limitent leurs utilisations dans certaines applications industrielles. Dans le but d'améliorer la fonctionnalité de ces amidons, on est souvent amené à les modifier par acétylation (Hermansson et Svegmark, 1996). Les amidons natifs de pomme de terre *Sipiera* et de manioc *2425* ont été acétylés avec pour objectif d'obtenir des caractéristiques proches des celles de l'amidon témoin. Cet objectif s'appui sur l'hypothèse selon laquelle :

La modification par acétylation des amidons natifs locaux influence les propriétés physico-chimiques, fonctionnelles et rhéologiques des amidons locaux natifs.

Enfin les amidons modifiés produits ont été incorporés dans le pâté à différes taux avec pour objectifs de déterminer l'influence du temps d'acétylation de ces amidons et leurs taux d'incorporation sur les propriétés physico-chimiques et texturales des pâtés. Cet objectif a permis de vérifier la quatrième hypothèse :

Les amidons locaux acétylés permettent d'obtenir un pâté de qualités technologiques comparables au pâté à l'amidon de pomme de terre témoin.

Intérêts local, régional et international

Cette étude entre dans le cadre de la valorisation des bioressources tropicales. Elle vise à mettre au point un pâté entièrement constitué de produits locaux. A terme les résultats de cette étude permettrons de réduire les pertes post-récoltes, de diversifier l'alimentation des populations et d'augmenter la valeur ajoutée de la viande bovine ainsi que celle de certains tubercules et racines locales sources d'amidon. L'amélioration des conditions de vie des populations locales se fera à travers la diversification de leur alimentation, le développement des unités de transformation. La création de ces unités de transformation contribuera à la lutte contre la pauvreté en favorisant la création d'emplois (production et vente de tubercules et de racines sources d'amidons, production et vente des amidons, des épices et de pâté). Le pâté produit aura entre autres comme consommateurs cibles les musulmans.

Objectifs économiques

Les retombés économiques de la présente étude seront :

- L'augmentation de la valeur ajoutée de la viande bovine, des épices locales ainsi que celle de certaines racines et tubercules locales sources d'amidons ;
- La baisse du coût de revient des produits de charcuterie ;
- La création de nouveaux circuits économiques de vente du pâté de bœuf à base de produits locaux (épices locales, amidons locaux natifs et/ou modifiés).

Partie I : Revue de la littérature

CHAPITRE I : L’amidon natif et ses propriétés

1- Généralités sur l’amidon

L’amidon est le principal polysaccharide de réserve des végétaux supérieurs. L'amidon est biosynthétisé sous forme de grains dont la taille, la forme et la structure cristalline dépendent de son origine botanique (figure 1) (Buléon, Colonna, Planchot et Ball, 1998). Il représente une fraction pondérale importante dans un grand nombre de matières premières agricoles comme les céréales (30% à 70%), les tubercules (60% à 90%) et les légumineuses (25% à 50%). 50% de l’amidon produit industriellement sont destinés à l’alimentation humaine. C’est un nutriment abondant, renouvelable, peu coûteux, qui trouve dans les aliments de multiples fonctions comme épaississant, gélifiant, liant sous sa forme d’empois d’amidon granulaire. Sous forme hydrolysée, l’amidon est utilisé comme matière sucrante, liante ; il fait partie des additifs alimentaires (Singh, Kaur et McCarthy, 2007).

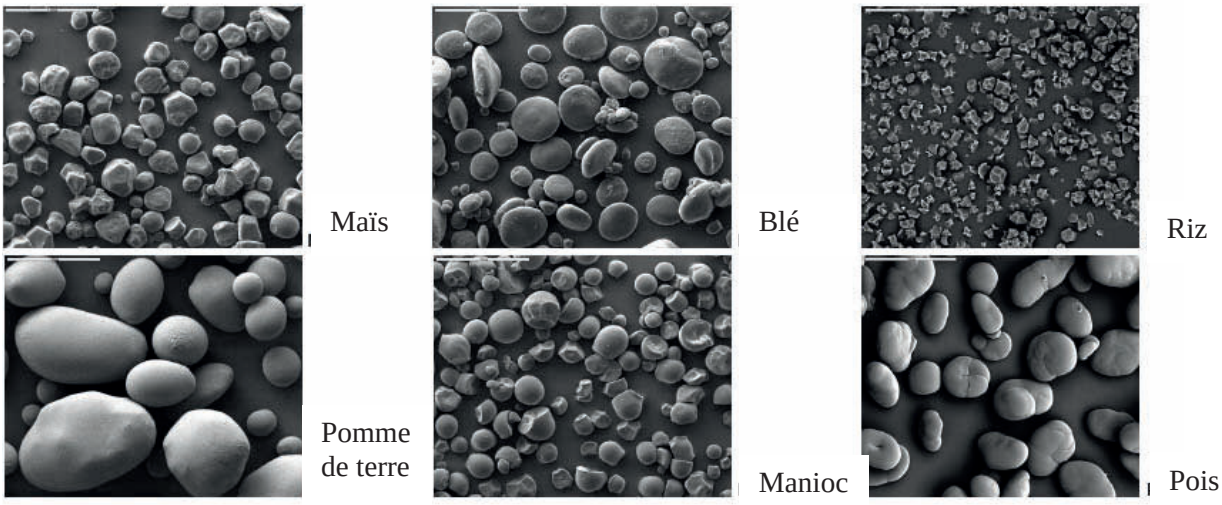


Figure 1 : Formes et tailles des granules d’amidon de maïs, blé, riz, pomme de terre, manioc et de pois (MEB grossissement × 280) d’après Atkin, Cheng, Abeysekera et Robards (1999)

Les amidons natifs correspondent au produit brut, extrait sans modification de structure moléculaire. Les principaux inconvénients des amidons natifs lors de leur utilisation en alimentation sont les suivants :

- formation d’un gel le plus souvent opaque ;

- mauvaise résistance aux traitements thermiques élevés, aux cisaillements (cutterage), au stockage prolongé à froid et surtout à la congélation ;

- mauvaise résistance à l'acidité, à un pH inférieur à 5 ;

- la température de gélatinisation diminue en même temps que la viscosité, entrainant une baisse du pouvoir liant et stabilisant ;

- ils nécessitent une cuisson (Breton-Dollet, 1996).

L'emploi des amidons natifs est réservé à des sauces soumises à des cuissons et à des traitements technologiques modérés et consommées rapidement après leur préparation.

Les amidons natifs les plus utilisés sont la fécule de pomme de terre et l'amidon de maïs. La fécule de pomme de terre a une saveur plus marquée, de très bonnes qualités liantes, mais elle est fragile (Dupin, Cup et Malewiak, 1992).

1.1- Présentation physique de l'amidon

L'amidon, après extraction à partir des organes de réserve des végétaux supérieurs et purification se présente sous la forme d'une poudre blanche insoluble dans l'eau froide. Cette poudre est constituée d'entités microscopiques de 2 à 100µm de diamètre selon l'origine botanique, nommées grains d'amidon. Les grains d'amidon ont une structure sphéroïdique avec une orientation moyenne radiale de leurs deux constituants macromoléculaires majeurs : l'amylose et l'amylopectine. Cette structure des grains d'amidon est faite de couches concentriques alternativement claires et sombres entourant un centre plus foncé appelé « hile » qui est le centre initial de croissance du grain (figures 2 et 3). Ces stries correspondent à une succession de zones dites « amorphes », peu résistantes à l'hydrolyse, et de zones présentant une structure semi-cristalline comportant une alternance de lamelles cristallines. Ces lamelles cristallines sont composées des chaînes courtes (Shot) S de Degré de Polymérisation (DP) d'environ 15, de l'amylopectine et de lamelles amorphes composées en majorité des points de jonction des molécules d'amylopectine et éventuellement d'amylose (Boursier, 2005).

L'empilement des lamelles cristallines et amorphes forme des ensembles appelés *blocklet* d'une taille comprise entre 300 et 500nm qui s'assembleraient pour constituer les couches cristallines (figure 2) (Gallant, Bouchet et Baldwin, 1997). La grosseur, la forme et la structure des graines varient selon la plante d'où provient l'amidon (Levèque *et al.*, 2000).

En lumière polarisée, les granules d'amidon ont la forme d'une croix noire dite « croix de Malte ». Ce phénomène de biréfringence positive vient confirmer l'organisation semi-

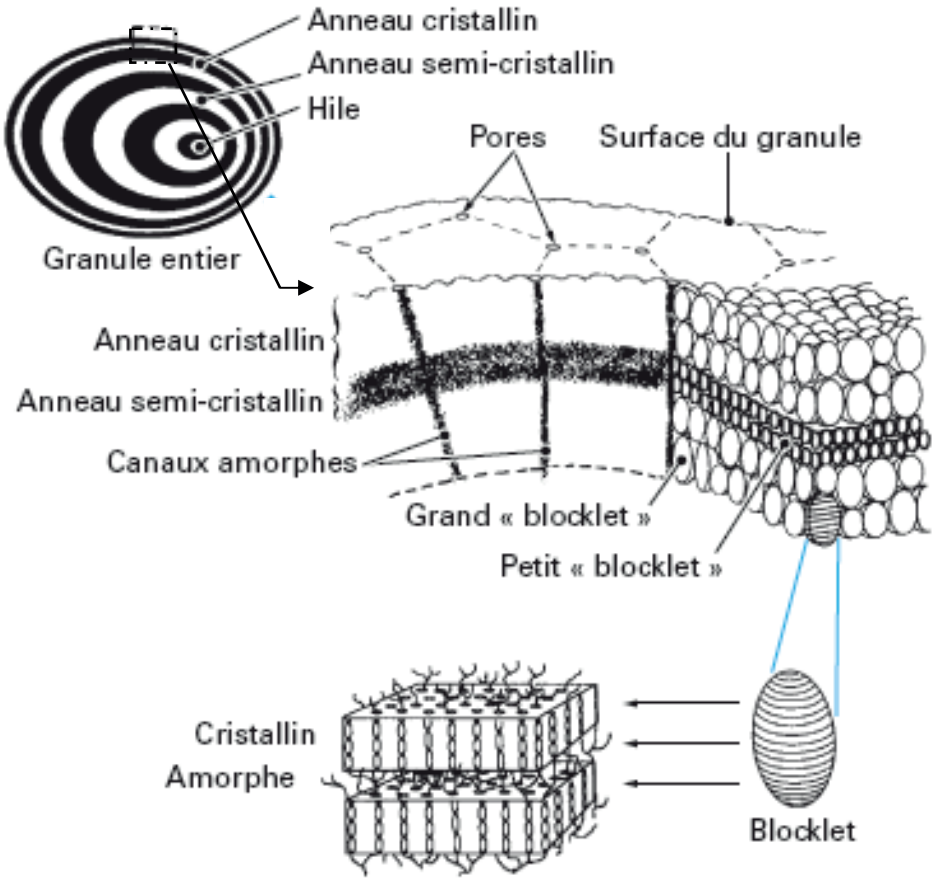
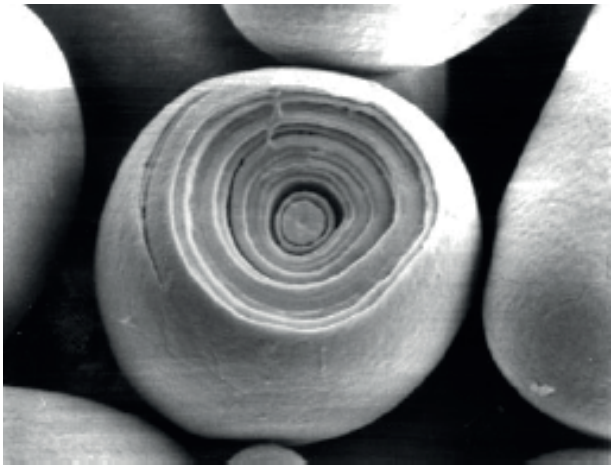
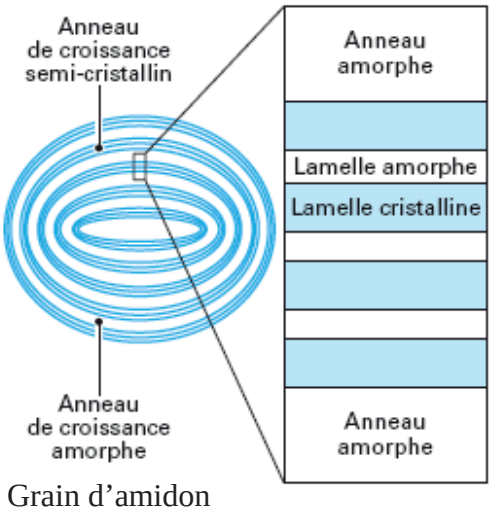


Figure 2 : Structure et ultra structure d'un grain d'amidon classique d'après Levèque, Haye et Belarbi, 2000



Anneaux de croissance d'un grain d'amidon



Grain d'amidon

Figure 3 : Photographie et représentation schématique d'un grain d'amidon d'après Jenkins et Donald (1998)

cristalline de ces granules. Les zones amorphes pourraient contenir des ensembles cristallins composés d'amylopectine de structure identique mais de taille réduite, de 50 à 70nm (Buléon, 2001). Ces ensembles dispersés dans l'amylose constitueraient avec les complexes amylose-lipides les parties dites « amorphes » du granule. Le développement limité des *blocklets* pourrait être lié à la présence de l'amylose (Gallant *et al.*, 1997).

L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) montre que l'amidon est un polymère semi-cristallin (Waliszewski, Aparicio, Bello et Monroy, 2003).

1.2- Classification des amidons natifs

Les amidons natifs peuvent être classés en quatre groupes (A, B, C et V) selon leur diffractogramme (figure 4). Le type A est caractéristique des amidons de céréales (amidon de blé et de maïs cireux). Le type B se retrouve principalement dans des amidons de tubercules et de céréales riches en amylose. Enfin, le type C correspond aux amidons des légumineuses. Il s'ajit d'un mélange des deux types cristallins A et B.

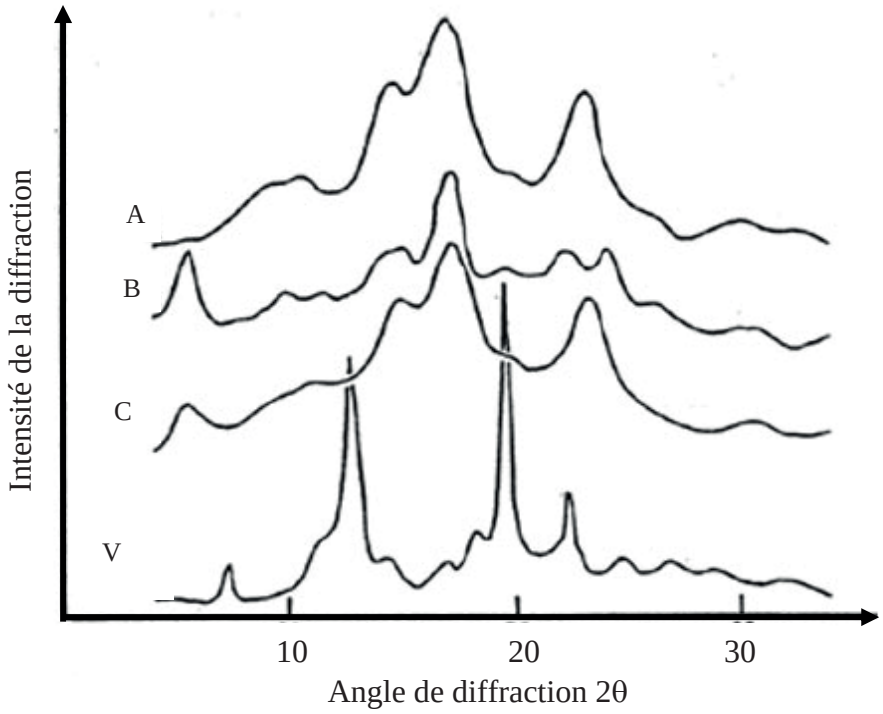


Figure 4 : Diagrammes de diffraction des rayons X des types cristallins A, B, C et V d'après Zobel (1988)

Le type V, de l'allemand "Verkleiterung", est observé lors de la formation de complexes entre l'amylose et une molécule complexante (iode, alcools, cyclohexane, acides gras…) (Zobel, 1988).

Les diffractogrammes des amidons du type A sont caractérisés par de grands pics aux tours de 15°, 17°, 18° et 23° tandis que ceux du type B ont de grands pics aux tours de 5° et 17° et de petits pics aux tours de 22° et 24° (Hizukuri, 1985; Zobel, 1988 ; Elsenhaber et Schulz, 1992; Cheetham et Tao, 1998).

L'allure du spectre de diffraction des rayons X de l'amidon dépend de la teneur en eau des grains au cours de la mesure. Plus l'amidon est hydraté, plus les raies du spectre s'affinent jusqu'à une certaine limite. L'eau fait donc partie intégrante de l'organisation cristalline de l'amidon.

1.3- Structure chimique de l'amidon

L'amidon est à 98-99% essentiellement un homopolymère de D-glucose dans sa conformation chaise la plus stable ($^4C_1$), les groupements hydroxyles C_2, C_3, C_4 et C_6 étant en position équatoriale (figure 5a). Les unités monomériques de D-glucose sont liées majoritairement par des liaisons de types α : (1→4) (95-96%) et dans une moindre mesure par des liaisons de types α : (1→6) (4-5%). Chaque molécule possède en son extrémité C_1 une fonction pseudo aldéhydique réductrice. La fraction glucidique est un mélange de deux polymères aux structures primaires très différentes : l'amylose, molécule essentiellement linéaire (figure 5b) et l'amylopectine, molécule ramifiée (figure 5c).

La teneur en amylose des amidons de diverses origines botaniques est généralement comprise entre 17 et 35%, bien que de grandes variations au sein d'une même variété soient possibles. L'amidon granulaire purifié contient également un certain nombre de constituants mineurs (protéines, lipides, minéraux) dont les teneurs sont fonction de l'origine botanique et de l'histoire technologique (séparation, séchage) de l'amidon. Ces constituants, bien que présents en faibles quantités (<1% MS), sont susceptibles de modifier le comportement général de l'amidon sans toutefois en changer les bases physico-chimiques. Deux types d'amidon sont alors identifiés. Les amidons dits "cireux" (*waxy*), sont principalement constitués d'amylopectine et de seulement 0% à 8% d'amylose. Les amidons "standards" en contiennent environ 75% (Duprat, Gallant, Guilbot, Mercuer et Robin, 1980).

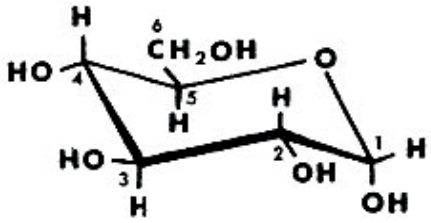


Figure 5a : Structure chimique du D-glucopyranose

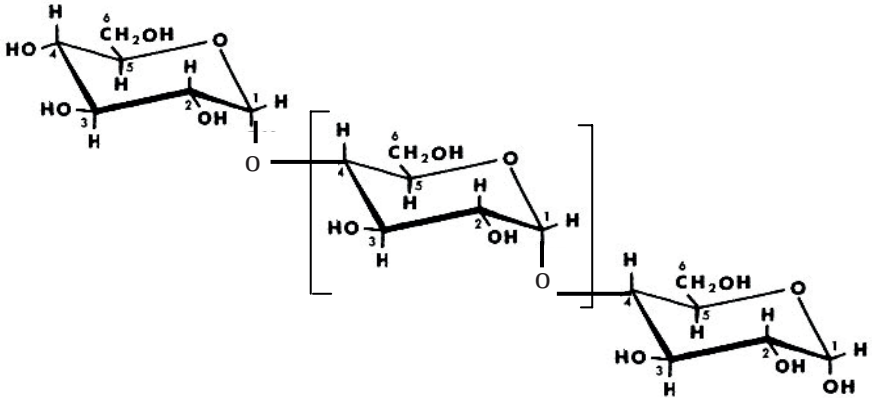


Figure 5b : Schéma simplifié de la structure chimique de l'amylose d'après Buléon (2001)

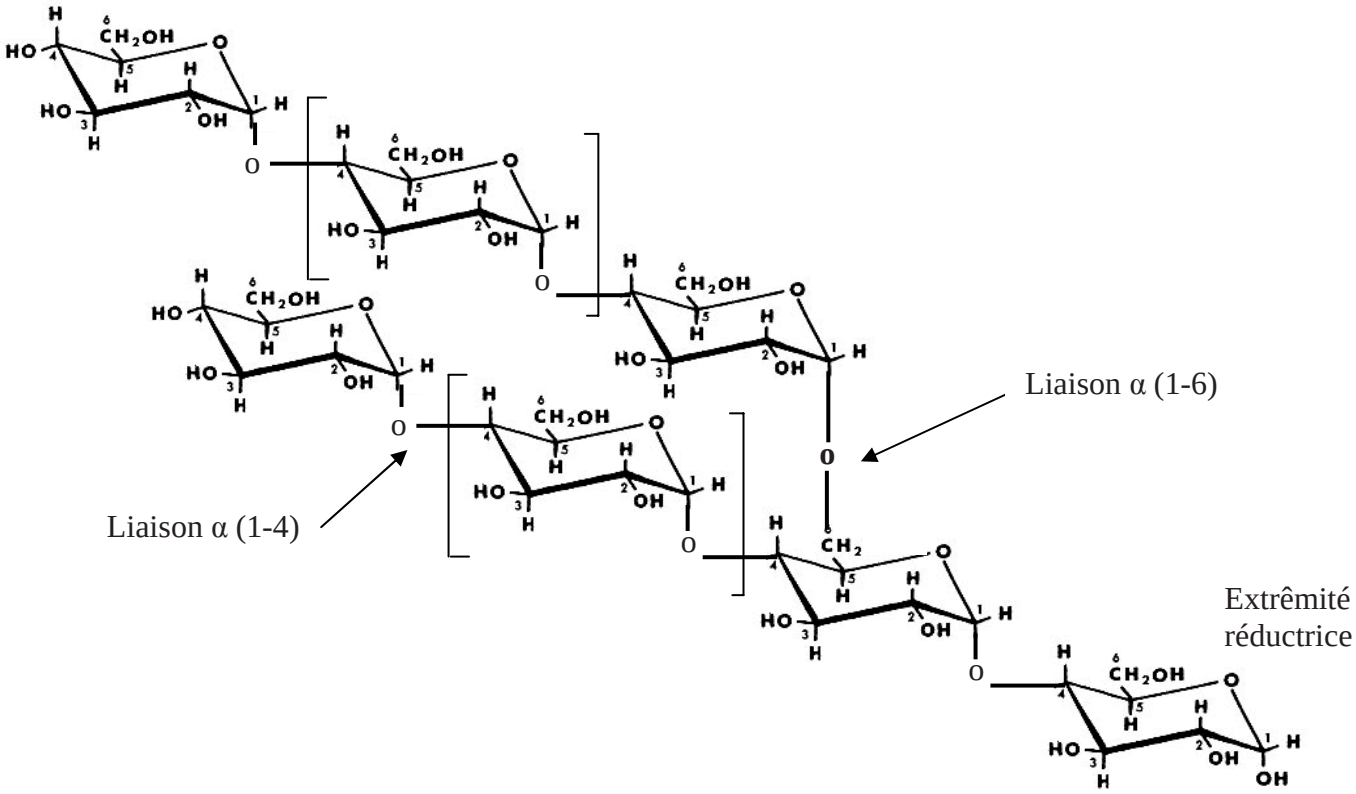


Figure 5c : Schéma simplifié de la structure chimique de l'amylopectine d'après Buléon (2001)

L'amidon peut également contenir un matériel intermédiaire qui est un ensemble de chaînes de structure intermédiaire entre l'amylose et l'amylopectine de degré de polymérisation 15 et 45.

Le tableau 1 donne les teneurs en amylose et en amylopectine de quelques amidons naturels.

Tableau 1 : Teneurs (% MS) en amylose et en amylopectine d'amidons naturels d'après Cheftel et Cheftel (1976)

	Amylose	**Amylopectine**
Pomme de terre	23	77
Manioc	20	80
Blé	20	80
Riz	15 à 35	65 à 85
Sorgho	25	75
Maïs	25	75
Maïs cireux*	0	100
Amylomaïs*	77	23
Banane	17	83

*obtenus par modifications génétiques

1.4- Amylose

L'amylose est un polymère essentiellement constitué d'unités de D-glucose liées par des liaisons de types α : (1→4). Les variations dans la morphologie des cristaux de l'amylose dépendent non seulement de l'origine botanique mais aussi des conditions d'extraction. L'amylose natif contient en moyenne 500 à 6000 unités glucosyl en plusieurs chaînes (1 à 20) et d'un degré de polymérisation (DP) moyen de 500 (Banks et Greenwood, 1975 ; Colonna et Mercier, 1984). Son poids moléculaire varie entre 200 000 et 800 000 Daltons. Il est responsable de plusieurs propriétés de l'amidon, notamment la synérèse et la rétrogradation. Du fait de son caractère essentiellement linéaire, l'amylose est susceptible de complexer les

molécules hydrophobes (iode, acides gras, chaînes hydrocarbonées). Cette complexation est fondée sur une conformation hélicoïdale (6 glucoses/tour) dans laquelle tous groupements hydrophiles (OH) de la chaîne sont tournés vers l'extérieur et les groupements hydrophobes (H, CH_2OH) vers l'intérieur. Il en résulte une cavité hydrophobe (Ø ≈ 4,5Å) pouvant être occupée par de nombreux composés tels que l'iode moléculaire, certains alcools, les lipides et les agents tensioactifs.

La complexation de l'amylose avec l'iode est à la base de sa caractérisation analytique (John, Schmidt et Kneifel, 1983). L'amylose est caractérisé par une capacité de fixation à l'iode de l'ordre de 20mg pour 100mg d'amylose et d'un maximum d'absorption compris entre 620 et 640nm (Buléon, 2001).

1.5- Amylopectine

L'amylopectine est le principal constituant glucidique de l'amidon (70-80%). Il s'agit d'une molécule ramifiée où les unités de D- glucose sont principalement liées par des liaisons de types α : (1→4) et quelques liaisons de types α : (1→6) (figure 5c). L'amylopectine est caractérisé par des masses moléculaires très élevées (10^7 à 10^8 Daltons) qui dépendent de l'origine botanique, du cultivar et des conditions physiologiques lors de la synthèse (Banks et Greenwood, 1975). Une distribution trimodale, au minimum, des chaînes constitutives d'amylopectine a été mise en évidence avec : des chaînes courtes (S, *short*) de DP moyen 15-20 ; des chaînes longues (L, *long*) de DP moyen 40-45 ; des chaînes de DP moyens supérieurs à 60 (Atkin *et al.*, 1999).

Les différences structurales dues à l'origine botanique portent essentiellement sur le rapport chaînes L / chaînes S qui est de l'ordre de 5, pour les amylopectines des tubercules, et de 8 à 10 pour les amylopectines des céréales (Thurn et Burchard, 1985).

1.6- Traitement thermique de l'amidon

Le comportement des granules d'amidon varie en fonction de la température. Aux températures inférieures à celle de la gélatinisation seul le phénomène de goflement est observé tandisqu'aux températures plus élevées (température de gélatinisation) l'amidon passe successivement par trois états : gonflé, gélatinisé et solubilisé (ou empois). Au cours du refroidissement l'amidon va donner un gel.

1.6.1- Comportement des granules d'amidon hydratées aux faibles températures

Le comportement de l'amidon en milieu hydarté dépend surtout de sa teneur en eau initiale. Les amidons sont traditionnellement commercialisés avec des teneurs en eau de 12 à 13% pour ceux des céréales, du manioc ou du pois, et 18 à 19% pour celui de la pomme de terre. L'amidon contient une quantité d'eau variable en équilibre avec l'humidité relative du milieu (Colonna, 1998).

Les quantités d'eau absorbées sont de l'ordre de 40 à 54%. Cette absorption s'accompagne d'un gonflement radial des granules. Pour l'amidon de maïs cireux, l'accroissement du diamètre des granules est de 80% et le volume est multiplié par 6. L'eau serait essentiellement absorbée par les parties dites « amorphes » du granule et le gonflement de ces zones provoquerait l'expansion radiale des granules. L'étude de la localisation de l'amylose dans le granule a amené Atkin *et al,* (1999) à proposer le modèle présenté sur la figure 6 où le gonflement de la fraction amorphe est simulé pour des amidons à teneur croissante en amylose, soit 0% pour l'amidon du maïs cireux, 21% pour l'amidon de pomme de terre et 70% pour l'amidon de l'amylomaïs. De la figure 6 il ressort que le gonflement du granule est d'autant plus élevé qu'il contient plus d'amylose, du fait que l'eau est absorbée par la partie amorphe du granule dont la taille est étroitement liée à la teneur en amylose (Al-Muhtaseb, McMinn et Magee, 2004). L'amidon cru employé dans les préparations en poudre sera susceptible, par sa capacité à absorber ou à donner de l'eau, d'améliorer la stabilité ou les caractéristiques d'écoulement de ces préparations.

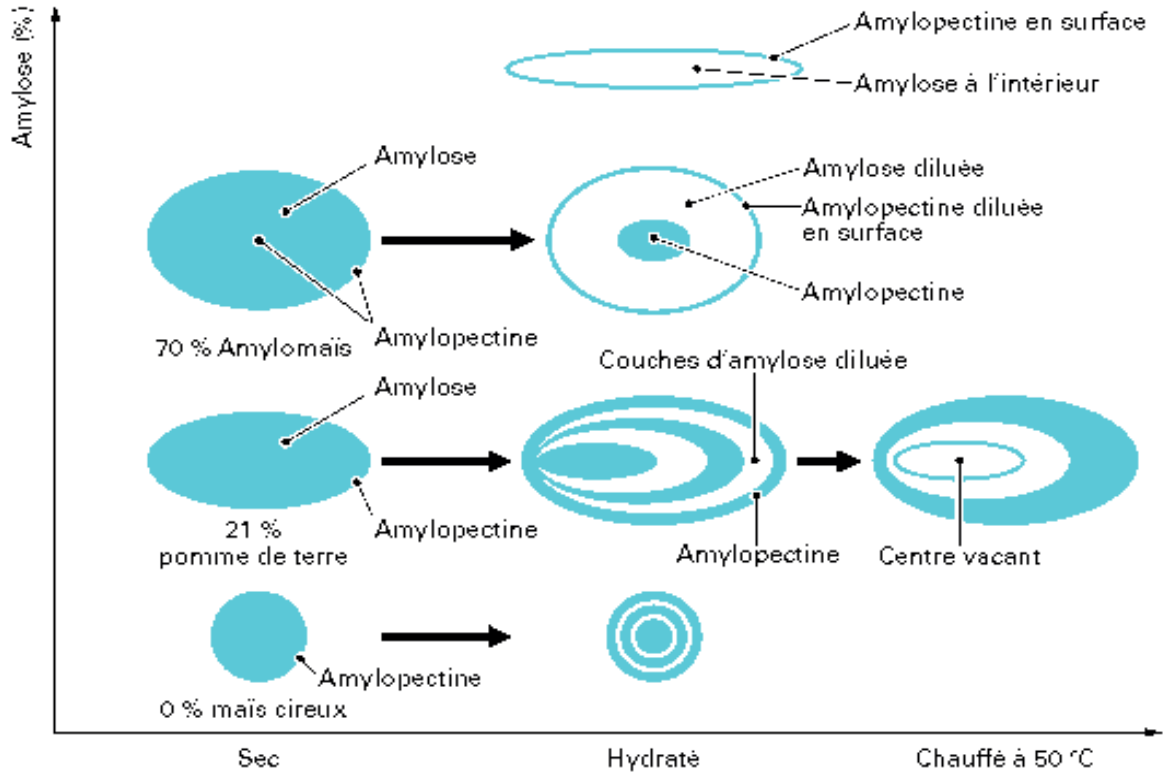


Figure 6 : Comportement des granules d'amidons à teneurs croissantes en amylose sous différents traitements d'après Atkin *et al.* (1999)

1.6.2- Transformations hydrothermiques de l'amidon

A température ambiante, les grains d'amidon sont insolubles dans l'eau (dans la gamme de pH compris entre 3 et 10) et ne présentent par leurs propriétés qu'un faible intérêt technologique (gants chirurgicaux, coffrage en confiserie…). Cependant, en présence d'un excès d'eau, à une température supérieure à 60°C, le grain l'amidon passe successivement par trois états : gonflé, gélatinisé et solubilisé (ou empois). Au cours du refroidissement l'amidon va donner un gel (figure 7) (Buléon, Colonna et Leloup, 1990).

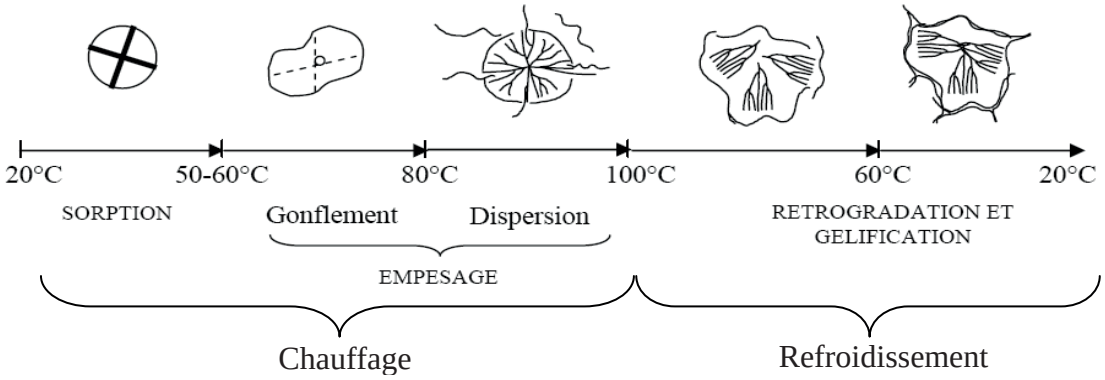


Figure 7 : Différents états du grain d'amidon placé en présence d'un excès d'eau et soumis au chauffage-refroidissement Angellier (2005)

1.6.2.1- Gélatinisation

La gélatinisation ou encore empesage est l'une des premières étapes communes à de nombreuses applications industrielles de l'amidon. Elle correspond au phénomène de gonflement irréversible et solubilisation observés lorsque les grains d'amidon sont en présence d'un excès d'eau et à des températures supérieures à 60°C. Elle est également définie comme la perte de la structure semi-cristalline de la granule d'amidon à la suite d'un traitement hydrothermique. La gélatinisation s'accompagne d'un gonflement de la granule d'amidon ainsi que de l'augmentation de la viscosité de la suspension d'amidon (Adrian, Potus et Frangne, 1995).

1.6.2.1.1- Mécanismes de gélatinisation de l'amidon

Lors du chauffage, les grains absorbent de l'eau dans les zones amorphes du grain provoquant leur gonflement irréversible. Ce gonflement conduit à la rupture des liaisons hydrogènes dans les zones cristallines du grain et donc à la déstructuration du grain. Au fur et à mesure de la rupture des liaisons hydrogènes, les constituants de faible masse moléculaire (amylose, matériel intermédiaire) diffusent hors du grain. Après ce traitement thermique, l'empois d'amidon est constitué de fantômes de grains et des macromolécules solubilisées. Pendant la gélatinisation, il n'y a quasiment pas de dégradation ou de dépolymérisation des chaînes polymères du fait de la faible agitation. La température de gélatinisation dépend de l'origine botanique de l'amidon et de la teneur en eau. La gélatinisation aurait lieu à la

frontière des zones amorphes riches en eau et en cristallites, par “arrachage” des chaînes de surface des cristallites suite à la rupture des liaisons hydrogènes les plus proches (Donovan, 1979). Si la teneur en eau est suffisante, alors toutes les chaînes constituant les cristallites sont ainsi “tirées”. Si la teneur globale en eau est limitée, alors la répartition de l’eau au sein du grain est inégale. Les cristallites situés près des zones amorphes riches en eau gélatiniseraient tandis que les autres fondraient à des plus hautes températures, jusqu’à n’observer qu’une fusion du grain pour de faibles teneurs en eau (Jenkins et Donald, 1998).

1.6.2.1.2- Suivi de la gélatinisation de l’amidon

La gélatinisation peut être étudiée par diverses méthodes, par observation des transformations :

- **Morphologiques**

La transition est suivie classiquement au microscope polarisant par l’observation de l’évolution de la birefringence en fonction de la température. La température de début et de fin de polarisation correspondant respectivement à la perte de 5 et 95 % de birefringence est fonction de l’espèce botanique (French, 1984).

- **Structurales**

On peut également suivre la gélatinisation par étude structurale lors de la transition. La transition se présente sous la forme d’une modification endothermique caractérisée par des températures critiques et l’enthalpie de gélatinisation. Cette transition s’accompagne de la diminution de la cristallinité de l’échantillon. Zobel (1988) a montré qu’il existe une corrélation entre les transitions mesurées par analyses enthalpiques différentielles et par diffraction des rayons X. A la suite des étapes de gélatinisation-fusion partielle observées dans la plupart des traitements hydrothermiques, l’amidon va acquérir une structure beaucoup plus accessible aux enzymes. Mais la haute dégradabilité de l’amidon gélatinisé est due fondamentalement à l’augmentation de la capacité d’absorption d’eau qui, en conséquence, induit une meilleure accessibilité aux enzymes (Zobel, 1988).

- **Comportementales**

Le suivi de la gélatinisation sur le plan comportemental correspond à l’observation de l’apparition de propriétés dites fonctionnelles (modification de la viscosité). Ainsi l’évolution

de la viscosité ou de la connaissance d'une suspension est suivie tout au long du traitement hydrothermique. Ces méthodes permettent de déterminer la température de gélatinisation et sont fondées sur les comportements en solubilité et gonflement des amidons. La gélatinisation est souvent décrite comme la diffusion des chaînes d'amylose hors du grain gonflé, l'amylopectine n'apparaissant en solution que si un traitement mécanique est appliqué au grain gonflé. Ceci résulte de la différence de comportement hydrothermique de ces deux types de chaînes, linéaire et ramifiée (Zobel, 1988).

1.6.2.1.3- Caractéristiques rhéologiques des empois d'amidon

Un empois d'amidon présente les caractéristiques d'un système au comportement rhéologique particulièrement complexe en particulier non newtonien, thixotrope et viscoélastique (Buléon *et al.,* 1990).

Les méthodes viscographiques permettent de suivre l'évolution d'un empois d'amidon au cours d'un chauffage éventuellement suivi d'un refroidissement. Le type d'appareil le plus répandu est l'amyloviscographe Brabender (Doublier, 1987).

Les méthodes rhéologiques (viscosimétrie, viscoélasticité) reposent sur des principes rhéologiques rigoureux. La viscosimétrie conduit à l'établissement des courbes d'écoulement laminaire, reliant la contrainte de cisaillement (τ) et la vitesse de cisaillement (γ), en général, de 10^{-4} à 10^{4}s. Tous les empois d'amidon ont un comportement rhéofluidifiant, ce qui se traduit par l'absence de relation linéaire entre τ et γ et une diminution du rapport τ/γ lorsque γ augmente. Les courbes d'écoulement sont fonction de tous les facteurs susceptibles d'influencer les caractéristiques des empois d'amidon, et notamment de l'origine botanique de l'amidon, les pourcentages des fractions amylose et amylopectine et des conditions de préparation de l'empois (cinétique de chauffage, intensité d'agitation). Elles fournissent des informations utiles à la compréhension du comportement rhéologique des amidons. Cependant, les bases moléculaires susceptibles d'expliquer les différences de comportement entre les amidons restent inexpliquées (Buléon *et al.,* 1990).

1.6.2.2- Rétrogradation et gélification

La rétrogradation désigne les réorganisations structurales (ou recristallisation) qui s'opèrent lors du refroidissement d'une dispersion d'amidon déstructuré lorsque la température de traitement est supérieure à la température de transition vitreuse (Tg). Ces solutions d'amidon obtenues à la suite d'un traitement thermique aux environs de 100°C en

présence d'un excès d'eau sont instables à la température ambiante. Au cours du refroidissement, les macromolécules se réorganisent, ce qui donne lieu au phénomène de rétrogradation.

La gélification de l'amidon est un phénomène essentiellement initié par un abaissement de température, induisant elle-même une diminution de solubilité des polymères. Les gels ainsi obtenus sont des structures poreuses (Leloup *et al.*, 1990).

1.6.2.2.1- Les mécanismes de gélification

La formation d'un gel d'amidon s'effectue en deux étapes d'après Miles, Morris et Ring (1984). Il y a d'abord une séparation de phases de type polymère-polymère et polymère-eau qui a lieu à des températures inférieures à 90°C. Elle résulte d'une part de l'incompatibilité de l'amylose et de l'amylopectine en solutions très concentrées (concentration $\geq$ 3% P/V), et d'autre part d'une interaction défavorable des polymères avec l'eau. La deuxième étape consiste en une réorganisation des portions de chaînes linéaires d'amylose ou de grappes des chaînes d'amylopectine. Il s'agit de la recristallisation ou rétrogradation proprement dite. Cette réorganisation se caractérise d'abord par une transition du type pelote statistique au niveau de la double hélice des segments de chaînes polymères et ensuite par une cristallisation par empilement de chaînes (Buléon *et al.*, 1990). Les gels sont donc formés de deux phases de plus de 70% du même polymère. La composition de chacune des deux phases dépend principalement du degré de gélatinisation et du rapport amylose/amylopectine dans le grain d'amidon (Buléon *et al.*, 1990 ; Leloup, Colonna et Buléon, 1991).

1.7- Les différents types d'amidons et leurs utilisations

Après extraction, la suspension d'amidon peut être séchée, précuite ou soumise à des traitements chimiques, ce qui aboutit à différents types d'amidons (figure 8). Ces amidons ont des utilisations multiples. Leur choix prend en compte la compatibilité avec le milieu, les traitements thermiques et mécaniques, les propriétés recherchées, mais aussi la législation en vigueur (Doublier, 2001).

C'est ainsi que les amidons réticulés sont utilisés dans les sauces épaisses telles que le *ketchup*. Le niveau d'épaississement souhaité est obtenu en jouant sur le degré de réticulation en fonction du pH, des contraintes de process (traitement thermique et cisaillement). Dans le cas des sauces émulsionnées, l'octényle succinate d'amidon est utilisé pour ses propriétés

hydrophiles et hydrophobes. Les amidons natifs (fécule de pommes) sont utilisés en charcuterie, les amidons réticulés aussi pour améliorer la texture, la rétention d'eau et la stabilité du produit fini. L'amidon prégélatinisé est utilisé dans les produits tels que les *snacks* extrudés pour favoriser l'expansion, la conservation de la forme et la croustillance. L'amidon prégélatinisé sert aussi dans les préparations instantanées. L'amidon fluidifié pour sa part est plus sollicité en confiserie pour assurer la texture de la gomme et sa stabilité (Chene, 2004).

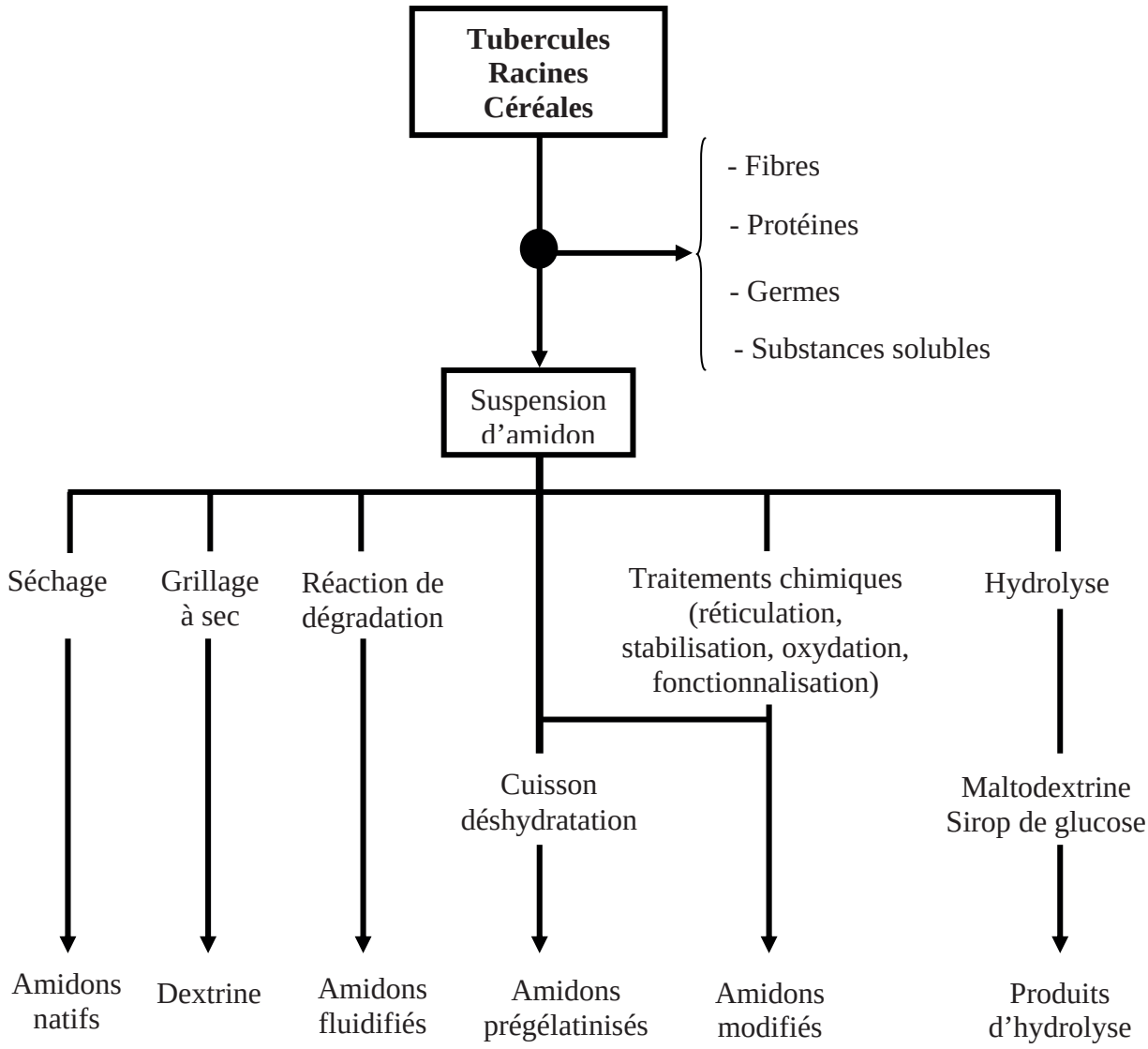


Figure 8 : Schéma présentant les différents types d'amidons en fonction des traitements

CHAPITRE II : Les amidons modifiés et leurs propriétés

Les amidons modifiés sont des produits obtenus au moyen d'un ou de plusieurs traitements, physiques et/ou chimiques d'amidons alimentaires. Ils peuvent avoir subi un traitement physique ou enzymatique, et avoir été blanchis ou fluidifiés par traitements acide ou alcalin. Les amidons modifiés sont issus des traitements de réticulation (création de nouveaux ponts entre les chaînes par des réactions d'estérification ou d'éthérification) ou de greffage (substitution des hydrogènes, des groupes hydroxyles par un radical chimique). Les amidons modifiés offrent une meilleure résistance aux températures élevées (appertisation), aux milieux acides (pH<5), aux traitements mécaniques (cisaillement) et au stockage à l'état congelé que les amidons natifs (Wurzburg, 1986).

1- Technologies de modification des amidons

Il existe différentes technologies qui permettent d'obtenir des amidons modifiés en changeant la structure de base des molécules d'amidon.

1.1- Modifications chimiques

Les modifications chimiques de l'amidon sont développées pour corriger les défauts des amidons natifs, c'est-à-dire pour les adapter aux besoins des industriels de l'alimentation via les exigences des consommateurs (Buléon *et al.*, 1990). Le tableau 2 donne quelques modifications autorisées des amidons alimentaires. Deux principaux types de réactions peuvent être distingués. Il s'agit des réactions qui modifient :

- la masse moléculaire du polymère : réactions de dégradation et réactions de réticulation ;
- les propriétés (sans modification majeure de leur masse moléculaire) : réactions de stabilisation et réactions de fonctionnalisation.

Pour un même amidon, plusieurs modifications peuvent être réalisées.

Les combinaisons de traitements autorisées conduisent à l'obtention des amidons suivants avec leur codification CEE :

- amidon oxydé acétylé : E 1451 ;
- phosphate de diamidon phosphaté : E 1413 ;
- phosphate de diamidon acétylé : E 1414 ;
- phosphate de diamidon hydroxypropylé : E 1442 ;

Tableau 2 : Modification des amidons alimentaires d'après Wurzburg (1986)

Nature de la modification	Modifications chimiques	Effets de la modification	Réglementation en Europe	Principales propriétés
Réduction du degré de polymérisation par hydrolyse	- Fluidification par acide - pyrolyse -dextrinification hydrolyse - polymérisation - oxydation	Réduction de la masse moléculaire	Amidon natif Amidon oxydé E 1404	Viscosité réduite
Introduction de liaisons inter- et intramoléculaires (diestérification)	- Réticulation phosphate - Réticulation adipate	Augmentation de la masse moléculaire	Phosphate de diamidon E 1412 Adipate de diamidon	Résistance à la température, à l'acidité, aux cisaillements
Greffage de groupements chimique à la place des fonctions hydroxyles	- Stabilisation acétate (ester) - Stabilisation phosphate (ester) - Stabilisation hydroxypropyl (éther)	Stabilisation	Amidon Acétylé E 1420 Amidon phosphaté E 1410 Amidon hydroxypropylé	Peu ou pas de rétrogradation
Greffage de groupements hydrophobes	/	Fonctionnalisation	Octényl succinate amidon (OSA)	Emulsifiant

- adipate de diamidon acétylé : E 1422.

Aux traitements chimiques peuvent être associés des traitements physiques qui, n'étant pas considérés comme modification, ne donneront pas lieu à des déclarations particulières. Des traitements légers d'oxydation dits traitements de blanchiment sont utilisés pour améliorer la couleur (action sur les pigments), le goût et la qualité bactériologique des amidons. Ces traitements sont repris par la législation (sur les traces d'oxydants résiduels), mais ces amidons ne sont pas considérés comme modifiés. Ce type de traitement a également un effet « réticulant » des amidons et améliore donc leur résistance aux traitements industriels (cuisson, cisaillement...) (Wurzburg, 1986).

1.1.1- Modification par réticulation et ses effets

La réticulation consiste à créer des pontages inter ou intramoléculaires dans les granules d'amidon (figure 9).

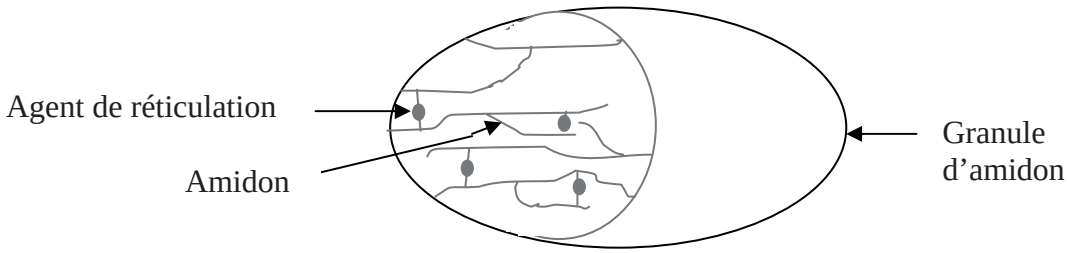
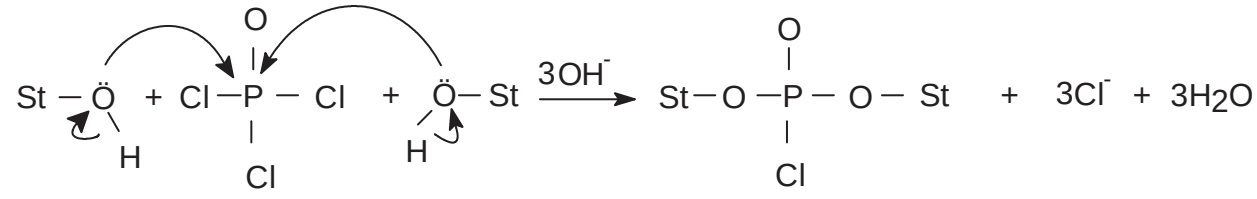


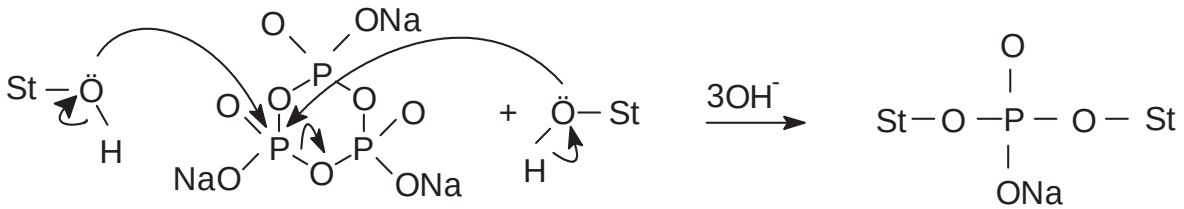
Figure 9 : Représentation schématique de la réticulation d'après Fuertès (1998)

Elle est réalisée par ajout des agents de réticulation à la suspension d'amidon maintenue à une température inférieure à celle de la gélatinisation (figure 10). Au cours de la réaction de réticulation, les agents de réticulation forment au niveau des molécules d'amylose et d'amylopectine des ponts inter et extra moléculaire. L'évolution de la réaction est contrôlée par la mesure de la viscosité à la cuisson. Lorsque l'opération est terminée, l'amidon est essoré et lavé pour éliminer les traces de réactifs avant séchage. Le taux d'agents réticulants, c'est-à-dire le nombre de pontages inter- ou intramoléculaires dans le granule d'amidon est ajusté suivant la résistance qui doit être conférée à l'amidon. Ce nombre varie d'environ 1 pontage pour 3000 unités de glucose pour un amidon faiblement réticulé à 1 pontage pour 300 unités glucose pour un amidon fortement réticulé. La localisation et la distribution de ces pontages sont mal connues. Ces modifications intéresseraient essentiellement la fraction amylopectine sur la partie périphérique des granules (Boursier, 1994).

Un faible niveau de réticulation induit des modifications importantes du comportement de l'amidon à la cuisson. La mise en évidence analytique de ces pontages est difficile, aussi le niveau de réticulation est souvent caractérisé par une méthode indirecte comme la mesure de viscosité lors d'une cuisson dans l'eau en milieu acide (Fuertes, 1998).

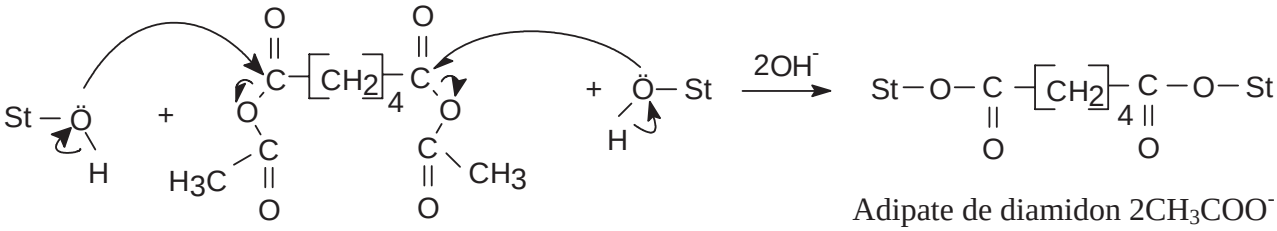


Amidon — Oxychlorure de phosphate — Amidon — Phosphate de diamidon



Trimétaphosphate de sodium — Phosphate de diamidon

(a) ester minéraux



Réactif adipate — Adipate de diamidon $2CH_3COO^-$

(b) ester organique

St=Starch (amidon)

Figure 10 : Réactions de réticulation d'après Fuertès (1998)

La réticulation a des effets sur le gonflement de l'amidon lors d'un traitement hydrothermique. Ce gonflement intervient à une température proche de la température de gélatinisation de l'amidon natif de référence. Les pontages chimiques apportent une intégrité suffisante pour maintenir le granule à l'état gonflé. Le volume de gonflement détermine la viscosité qui diminue avec l'augmentation de la réticulation (Wurzburg, 1986).

Contrairement aux amidons natifs, les amidons réticulés gardent l'état gonflés et pour des amidons ayant un taux de réticulation élevé, leur propriété (gonflement) est meintenue même lorsque :

- la température de cuisson croît ;
- les cisaillements mécaniques augmentent ;
- le pH du milieu diminue jusqu'à la rupture des pontages chimiques (Wurzburg, 1986).

1.1.2- Modification par substitution des fonctions hydroxyles

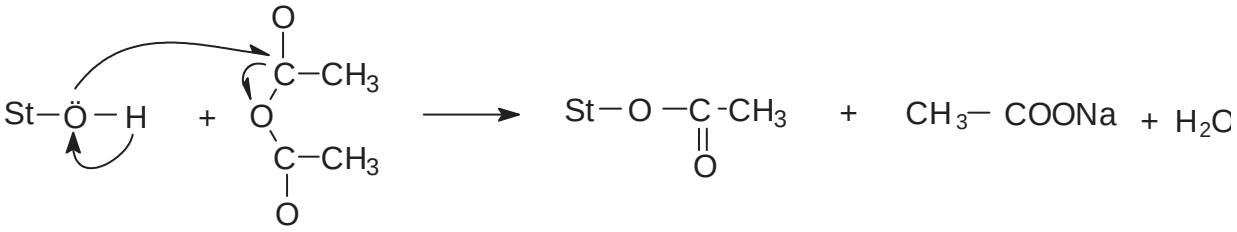
Les substitutions sont réalisées au niveau des groupements hydroxyles libres par l'intermédiaire de liaisons :

- esters pour les succinates (additif codifié CEE : E 1450), les acétates (E 1420) et les monophosphates (E 1410) d'amidons ;
- éthers pour les amidons hydroxypropylés (E 1440).

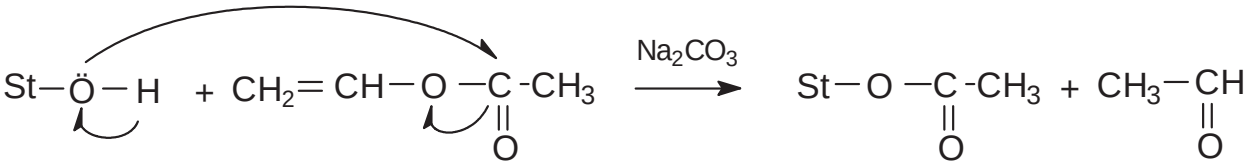
Si le degré de substitution (DS) maximal est de 3 (1 fonction alcool primaire et 2 fonctions alcool secondaire substituables par unité glucose), les amidons habituellement employés en alimentation présentent des DS compris entre 0,01 et 0,2. Ces modifications permettent de limiter la rétrogradation (stabilisation), de réduire la température de gélatinisation de l'amidon ou d'introduire de nouvelles propriétés c'est le cas de l'octényl succinate amidon (OSA) (Fuertès, 1998).

Le greffage de groupements acétate ou hydroxypropyle (figure 11) (ou phosphate, peu usité) sur les molécules d'amidon augmente les phénomènes de répulsions inter-chaînes. Ceci a pour conséquence d'éviter les réassociations de ces molécules après cuisson, c'est-à-dire de minimiser ou supprimer tous les phénomènes liés à la rétrogradation. Il s'agit entre autres de :

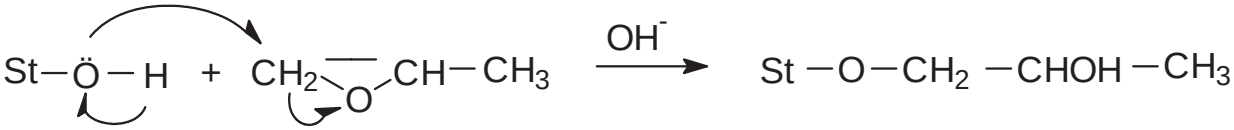
- l'augmentation de la viscosité et de l'opacification au refroidissement ;
- la gélification ;
- la synérèse.



(a) Estérification par l'anhydride acétique



(b) Estérification par l'acétate de vinyle



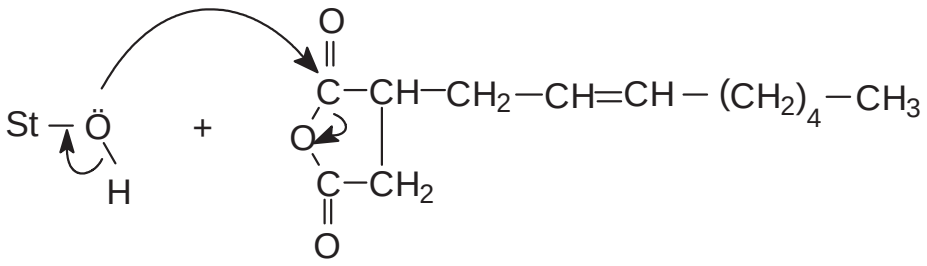
(c) Estérification par l'oxyde de propylène

Figure 11 : Réactions de stabilisation des amidons par estérification d'après Fuertès (1998)

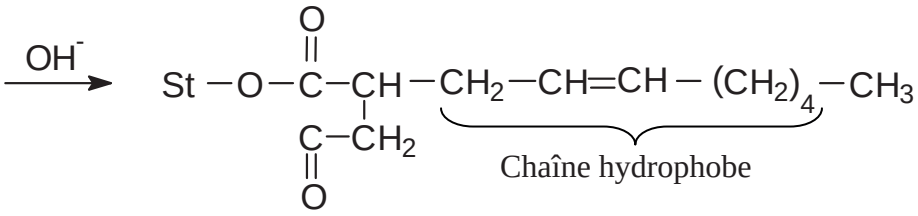
Les différentes réactions d'estérification se font par substitution au niveau des groupements hydroxyles libres des amidons. L'estérification par l'anhydride acétique et l'acétate de vinyle permet d'obtenir l'amidon acétylé, tandis qu'avec l'oxyde de propylène, l'amidon hydroxypropylé est produit.

1.1.3- Modifications hydrophobes

La substitution de l'amidon, molécule hydrophile, par des groupements octényl succinique hydrophobes conduit à la fabrication des molécules (OSA : octényl succinate amidon) présentant les deux fonctions opposées capables de développer des capacités émulsifiantes (figure 12).



Anhydride n-octényl succinique



n-octényl succinate d'amidon

St=Starch (amidon)

Figure 12 : Réaction de synthèse d'un amidon OSA, d'après Fuertès (1998)

En présence des groupements hydroxyles (OH^-), l'amidon réagit avec l'anhydride n-octényl succinique pour donner le n-octényl succinate d'amidon.

1.1.4- Modification par fluidification et ses effets

La fluidification vise à traiter l'amidon par voie chimique et/ou physique afin de provoquer une hydrolyse plus ou moins importante des polymères. La viscosité à chaud des empois sera réduite selon l'intensité du traitement. Ces traitements ont pour effet d'affaiblir la structure granulaire jusqu'à rendre les grains solubles dans l'eau froide pour les traitements les plus poussés (Boursier, 1994).

Différentes méthodes permettent d'obtenir ces amidons fluidifiés. Il s'agit entre autres de l'hydrolyse acide ou fluidification (figure 13), de l'oxydation, de la dextrinification et de l'hydrolyse enzymatique ménagée (Wurzburg, 1986).

Ces amidons fluidifiés se comportent comme des polymères très solubles susceptibles d'être utilisés à forte concentration sans induire des viscosités élevées. Ils trouvent leurs utilisations comme agents de texture des gommes de confiserie, comme support d'atomisation ou comme agents nutritifs dans les préparations liquides (Whistler, Bemiller et Paschall, 1984).

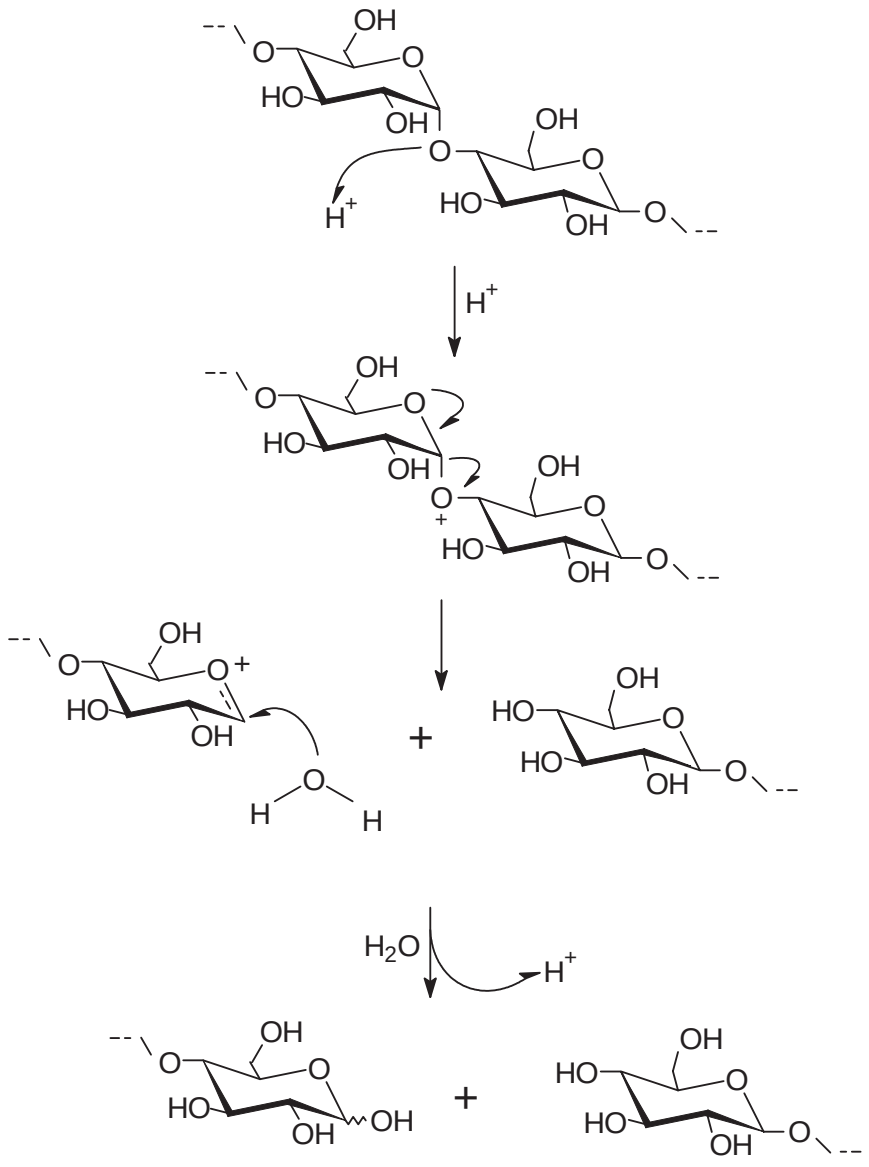


Figure 13 : Mécanisme de l'hydrolyse acide de l'amidon : cas de la liaison α : (1→4) d'après Bemiller (1965)

1.2- Modifications physiques des amidons

Les traitements physiques appliqués aux amidons natifs conduisent à des modifications importantes de structure pouvant améliorer leur comportement rhéologique et même leur conférer des propriétés comparables à celles des amidons modifiés chimiquement (Colonna, 2001). Entre autres méthodes physiques on peut citer : les traitements chaleur - humidité, la dextrinisation, les traitements de précuissons…

1.2.1- Modification par traitements chaleur – humidité

Ces traitements s'appliquent à des amidons granulaires et ne modifient pas leur état physique. Les amidons qui en résultent ont des profils de cuisson (température et vitesse de gonflement) modifiés et peuvent être utilisés dans des applications comme les soupes et les sauces instantanées dans lesquelles un gonflement différé de l'amidon assure une meilleure hydratation de tous les autres ingrédients de la formule (Colonna, 2001).

Deux traitements vont permettre d'induire des réarrangements moléculaires ou des cristallisations en plaçant les amidons dans les zones comprises entre les températures de transition vitreuse et les températures de fusion : ce sont l'*Annealing* et le *Heat Moisture Treatment* ou HMT.

L'*Annealing* est un traitement à chaud en milieu aqueux qui se réalise sur des suspensions d'amidon à 50 – 60% de teneur en eau, à des températures légèrement inférieures aux températures de gélatinisation pendant des temps variables (entre 12 et 24h) suivant le degré de transformation souhaité. Ce traitement ne change pas le type cristallin de l'amidon mais augmente sa température de gélatinisation (2 à 5°C par rapport à l'amidon natif) et induit un gonflement moins important (Colonna, 2001).

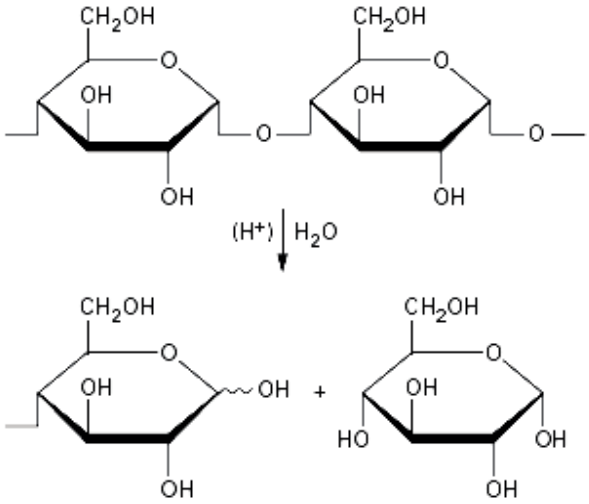
Le HMT quant à lui est réalisé en présence d'une quantité d'eau réduite (15 – 30% P/V) et à des températures plus élevées de 100 à 120°C. Une modification des cristaux peut être observée ici. Il peut y avoir par exemple passage du type B au type A. Dans le cas du HMT, la viscosité de l'amidon est moins élevée que dans le cas de l'*Annealing*.

1.2.2- Modification par dextrinisation des amidons

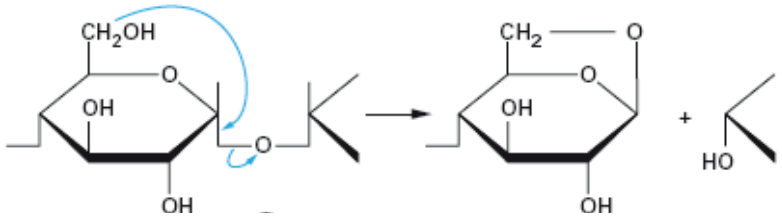
Les dextrines sont obtenues par grillage à sec d'un amidon en présence d'acide ou avec l'α amylase. Selon les conditions de traitement, la réduction de la masse moléculaire est accompagnée des réactions de transglucosidation ou de recombinaison et de dégradation.

Plusieurs types de réactions interviennent pendant la dextrinification (figure 14) **:** (a) l'hydrolyse, (b) l'anhydrisation interne, (c) la transglucosidation et (d) la réversion ou condensation.

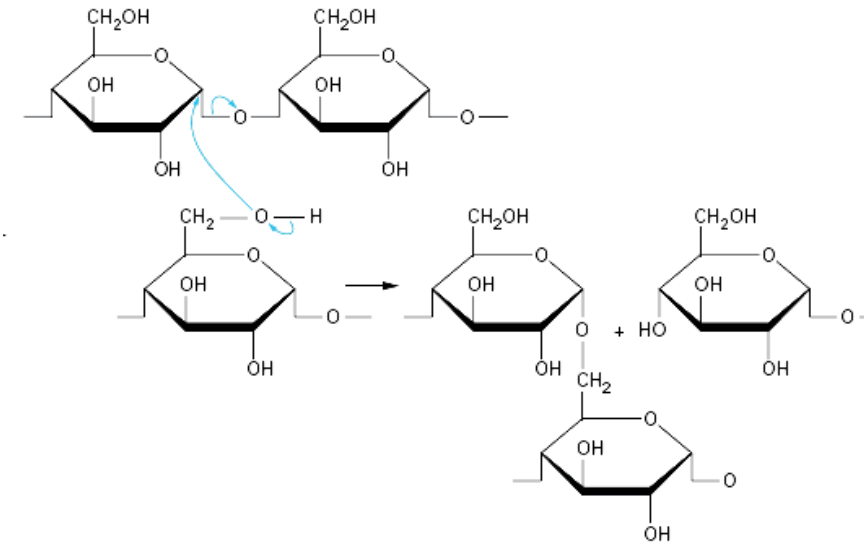
Les dextrines sont classées en trois catégories résumées dans le tableau 3. En industrie alimentaire, ce sont les dextrines blanches qui sont développées. Les dextrines restent sous forme granulaire, elles sont plus ou moins solubles dans l'eau froide, développent peu de viscosité à chaud et possèdent souvent une bonne stabilité du fait des produits de recombinaison formés lors de la production qui s'opposent à la rétrogradation de l'amidon. Elles se comportent comme les amidons fluidifiés et se retrouvent dans les mêmes applications (Whistler *et al.*, 1984).



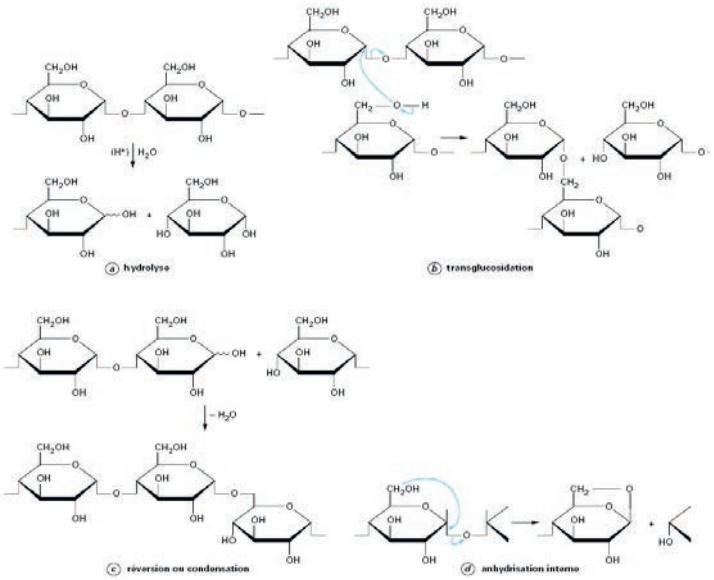
(a) Hydrolyse



(b) Anhydrisation interne



(c) Transglucosidation



(d) Réversion ou condensation

Figure 14 : Réactions possibles (a, b, c, d) lors de la dextrinification d'un amidon d'après Fuertès (1998)

Tableau 3 : Différentes catégories de dextrines d'après Wursburg (1986)

Dextrines	pH	Température de traitement	Niveau de modifications	Solubilité dans l'eau froide (%)
British gums	Basique	Elevée	Très important	100
Dextrines blanches	Acide	Faible	Moyen	0 à 70
Dextrines jaunes	Acide	Elevée	Important	70 à 100

1.2.3- Modification par traitement de précuisson

Les amidons natifs et modifiés peuvent être présentés sous des formes solubles à froid. La précuisson industrielle réalisée par l'amidonnier peut utiliser différents procédés : cuisson atomisation, séchage sur tambour, cuisson extrusion. Les larges plages de températures et de cisaillements induites par ces différents procédés conduisent à obtenir des amidons prégélatinisés ou des amidons précuits très divers en structures et propriétés. Les traitements de précuisson appliqués aux amidons conduisent à des modifications importantes de structure qui peuvent améliorer le comportement des amidons natifs jusqu'à leur conférer des propriétés d'amidon modifié ou leur ouvrir le champ des applications en rendant les amidons par exemple solubles à froid (Colonna, 2001).

2- Fonctions et conditions optimales d’utilisation des amidons modifiés

Dans les industries agro-alimentaires, les amidons modifiés font partie de la catégorie d’additifs agents de texture. La texture est une caractéristique fondamentale d'un produit alimentaire. Dans les aliments, les amidons contribuent à leur spécificité au même titre que l'arôme et le goût (Boursier, 1994).

2.1- Fonctions des amidons modifiés

Pour expliquer les fonctions des amidons modifiés, ils seront considérés ici comme hydrocolloïdes. Les hydrocolloïdes sont des molécules qui, à faibles doses sont capables de se lier à une quantité importante d’eau, et par la présence de la phase aqueuse du produit alimentaire, de modifier son comportement. Cette modification rhéologique dépend également de la molécule : longueur, rigidité, possibilité d’association (Multon, 2002).

2.2- Conditions optimales d’utilisation des amidons modifiés

Plusieurs paramètres entrent en jeu pour la détermination des conditions optimales d’utilisation des amidons modifiés. Entre autres, on tient compte de la dispersion, de la solubilisation et de l’influence du traitement appliqué lors de leurs utilisations.

2.2.1- Dispersion et solubilisation

La première étape d’une bonne utilisation des hydrocolloïdes consiste à faire en sorte que chaque grain arrive individuellement au contact de la phase aqueuse et réagisse sans risque de s’agglomérer aux autres grains pour former des grumeaux : **c’est la dispersion**. Dans un second temps, il faut passer du grain à l’individualisation des molécules de celui-ci : **c’est la solubilisation**. Pour cela, il faut que chaque macromolécule s’hydrate et se sépare des autres (Van Beynum et Roels, 1985).

La solubilisation réalisée est totale lorsque la dernière macromolécule du grain se retrouve seule. La solubilisation passe donc par l’hydratation du grain. Au contact de l’eau, suivant l’état de la surface du grain et la nature des macromolécules présentes, le grain s’hydrate et gonfle. La présence de ces grains gonflés dans la phase aqueuse modifie sa mobilité (Van Beynum et Roels, 1985).

Lorsque les macromolécules sont associées dans le grain, il est nécessaire, pour les dissocier, de casser les liaisons, en apportant de l’énergie par agitation mécanique et surtout traitement thermique. Suivant la nature et le nombre de liaisons, la température d’hydratation et de solubilisation est différente. Dans le cas particulier de l’amidon, la texture caractéristique

apportée par l'amidon est due aux grains gonflés obtenus à la température d'empesage. Cette texture peut être retardée en créant des liaisons entre les macromolécules (réticulation) (Van Beynum et Roels, 1985).

2.2.2- Influence des traitements

Au cours du procédé de préparation d'un produit alimentaire, les amidons modifiés subissent un certain nombre d'agressions (mécaniques, thermiques, chimiques) liées au procédé choisi pour sa préparation. Ces agressions peuvent modifier leurs propriétés (viscosité…). Il s'agit des actions :

Mécaniques : si les molécules se trouvent à l'état gonflé, la taille des grains les rend très fragiles aux actions mécaniques. La viscosité apportée par la gêne à la mobilité des grains gonflés va être modifiée en conséquence. Ces ruptures mécaniques s'accompagnent souvent d'une solubilisation partielle des macromolécules d'amidon, entraînant une modification du système rhéologique (http://www. synpa.org/ scripts /fr/ 02 information /02a1_humaine.asp, 2005).

Thermiques et chimiques : la viscosité diminue au-delà de la température de gélatinisation. Suivant leur nature, les macromolécules sont plus ou moins sensibles au milieu qui les entoure. L'acidité de certaines préparations alimentaires provoque, par exemple, une dépolymérisation des macromolécules (http://www. synpa.org/ scripts /fr/ 02 information /02a1_humaine.asp, 2005).

3- Amidons endommagés

Pendant le processus de production des amidons, plus particulièrement pendant le broyage, une fraction des granules d'amidon subit des dommages mécaniques. Le degré de dommages subis dépend du type de broyeur, du degré de broyage et de la dureté des graines, lorsqu'il s'agit des céréales (Horseney, 1994). Les conséquences de l'endommagement des granules d'amidon sont entre autres, l'hydratation rapide et leur susceptibilité à l'hydrolyse enzymatique (Ranhotra, Gelroth et Eisenbraun, 1993). Pour la panification, un certain taux d'endommagement des granules d'amidon est recherché car il optimise l'hydratation et favorise la fermentation. Cependant au-delà d'un certain taux, on note une hydratation excessive de la pâte, ce qui a pour conséquence l'accélération de l'action enzymatique (Ranhotra *et al.,* 1993). En somme, le taux d'endommagement est un indice d'évaluation de la qualité des amidons et même de la farine (Hakki, Williams et Köksel, 2004).

CHAPITRE III : Amidon comme additif et ses interactions avec d'autres constituants alimentaires

L'amidon modifié fait partie des épaississants. Il existe actuellement 11 différents amidons modifiés qui peuvent provenir entre autres du mais, du blé, du riz et de la pomme de terre. Ceux-ci figurent dans la liste positive des additifs alimentaires autres que les colorant et produits sucrants de la CEE :

- E 1404 : Amidon oxydé,
- E 1410 : Phosphate d'amidon,
- E 1412 : Phosphate de diamidon,
- E 1413 : Phosphate de diamidon phosphaté,
- E 1414 : Phosphate de diamidon acétylé,
- E 1420 : Amidon acétylé,
- E 1422 : Phosphate de diamidon acétylé,
- E 1440 : Amidon Hydroxypropylé,
- E 1442 : Phosphate de diamidon Hydroxypropylé,
- E 1450 : Octényle succinate d'amidon sodique,
- E 1440 : Amidon oxydé acétylé.

Même s'ils peuvent tous être utilisés, certains présentent des inconvénients. Ils peuvent faire obstacle à l'assimilation de calcium (E 1410 : Phosphate d'amidon, E 1412 : Phosphate de diamidon, E 1413 : Phosphate de diamidon phosphaté, E 1414 : Phosphate de diamidon acétylé, E 1442 : Phosphate de diamidon Hydroxypropylé) (http://www.synpa.org/scripts/fr/02information/02a1a_humaine.asp, 2004).

1- Utilisations alimentaires des amidons modifiés

Les préparations alimentaires contenant des amidons modifiés sont très variées. Les secteurs concernés par l'utilisation d'amidons modifiés sont nombreux : boulangerie-pâtisserie, boissons, produits laitiers, glaçages, nappages, sauces et aliments infantiles, préparations à base de poisson ou de viande. Les propriétés apportées par les amidons modifiés sont de différents types : viscosité et stabilité (produits laitiers), texture et rhéologie, amélioration de la sensation en bouche (visée par exemple dans la nourriture pour enfant) et aspect visuel (nappage) (Dupin *et al.*, 1992).

1.1- Exemple d'utilisation des amidons : Le pâté

1.1.1- Définition et composition du pâté

Sur le plan technologique, les pâtés sont soit des hachages gros contenant une partie plus ou moins importante de farce de liaison, soit des pâtes fines dans lesquelles sont éventuellement inclus des morceaux de maigres, d'abats ou de gras. Ils sont tranchables ou tartinables suivant les cas (Durand, 1999). Les pâtés répondent à des formules variées. Ils se composent d'environ 50% de gras, 20 à 40% de viande ou abats et des ingrédients divers agissant comme émulsifiants : œufs, lait, caséine solubilisée, bouillon gélatineux, polyphosphates, épices et aromates, ainsi que l'amidon. Suivant la grosseur des éléments, on distingue commercialement les pâtés de foie dont la pâte est homogène et fine, les pâtés de campagne avec des éléments plus ou moins gros. Cette différence porte principalement sur la texture du produit. L'utilisation des liants tels que l'amidon est usuel comme principal agent de texture. Son choix est primordial pour obtenir des produits de charcuterie de bonne qualité (Cheftel, Cheftel et Besançon, 1977).

Selon Durand (1999), le pâté peut en outre contenir :

- ***les ingrédients :*** sel, sucre, arômes, aromates, épices, vins, alcools, liqueurs, condiments, ferments, eau, glace, bouillon gélatineux, saumure ;

- ***les liants amylacés et protéiques :*** tels que les amidons natifs, les amidons modifiés et les lactoprotéines en quantités comprises, selon la dénomination de vente et la qualité du produit, entre 5 et 7%.

- ***les additifs :*** nitrate, nitrite, acides ascorbique et érythorbique et leurs sels, acides organiques (lactates, acétates), les polyphosphates, les colorants et les exhausteurs de goût, les amidons modifiés, la cellulose et ses dérivés (à l'exception des produits de qualité supérieure), gélifiants, épaississants.

1.1.2- Qualité du pâté

L'amidon qui est un des constituants du pâté intervient de façon plus ou moins importante dans l'expression de chacun de ses paramètres. Plusieurs paramètres permettent d'apprécier le pâté : principalement il y en a quatre.

- L'aspect extérieur

Les pâtés vendus en terrine ou en pain ont en général une croûte superficielle. La couleur de la croûte ne témoigne pas du degré de cuisson du pâté. Suivant le type d'amidon utilisé lors de

la fabrication du pâté, l'aspect du pâté à la coupe (couleur, texture) est affecté (Trémolière, Serville et Jacquot, 1977).

- La coupe

Elle renseigne sur le degré de cuisson et sur la texture du pâté qui est en grande partie influencée par le type d'amidon utilisé. La coupe doit être sèche. Le produit ne doit pas contenir un excès de gras (plus de 50% de la mêlée) que l'on peut déceler par la couleur générale (blanchâtre). Dans le pâté de campagne, on préférera celui dont les éléments sont bien apparents et assez gros (Trémolière *et al*., 1977).

- La dégustation

On doit percevoir un goût agréable de foie. Les pâtés de seconde qualité sont généralement pauvres en foie et manquent de saveur. La consistance doit toujours être moelleuse. Dans le pâté de foie, on ne doit sentir aucun grain sous la dent, et dans tous les pâtés, on ne doit rencontrer aucun élément dur (Trémolière *et al*., 1977).

- La conservation

Le stockage à froid (4°C) peut être prolongé pour des pâtés de qualité. Il peut apparaître des moisissures superficielles après un certain temps. Un simple raclage suffit pour enlever les moisissures et le produit reste en général consommable. Suivant le type d'amidon utilisé, la rétrogradation de l'amidon entraîne une modification de la structure de la texture vers un durcissement. Ce durcissement s'accompagne de l'évacuation d'une quantité plus ou moins importante de la phase aqueuse initialement comprise entre les macromolécules d'amidon et on obtient un pâté de mauvaise qualité (Trémolière *et al*., 1977).

1.2- Interactions des amidons avec d'autres constituants alimentaires

Dans les aliments où l'amidon est présent, les phénomènes de gélatinisation et de gélification décrits plus haut sont aussi observés. Le mélange avec d'autres ingrédients et additifs peut modifier son comportement tant à la cuisson qu'à la conservation. Ces modifications peuvent être modulées par deux paramètres : la teneur en eau réellement disponible au niveau de l'amylose et l'amylopectine, et les incompatibilités avec les autres macromolécules alimentaires, ce qui débouche sur des phénomènes de séparation de phase.

1.2.1- Avec les glucides

L'addition des sucres dans une suspension d'amidon augmente proportionnellement la température de gélatinisation et la viscosité. L'effet retardateur des sucres sur la gélatinisation varie en fonction de leur nature : le glucose, le fructose ou le maltose ont moins d'effet retardateur que le saccharose. Ce phénomène serait lié à la disponibilité de l'eau, les températures de gélatinisation augmentant linéairement avec l'activité de l'eau (a_w) des solutions. Il est également avancé que des interactions sucres-amidons permettraient de stabiliser les parties amorphes du granule et d'empêcher une diffusion trop rapide de l'eau dans les granules d'amidon (Biliaderis et Prokopowich, 1994).

L'analyse thermique différentielle montre également que la présence de sucres retarde la gélatinisation, mais n'influence pas le gonflement.

Les sucres peuvent avoir des effets accélérateurs ou retardateurs sur la rétrogradation des amidons, même si les explications scientifiques du phénomène ne sont pas claires (Boursier, 2005). Les dernières hypothèses porteraient sur la compatibilité sucre-eau qui, si elle existe, permettrait une augmentation de la viscosité de la couche d'hydratation des molécules et réduirait la rétrogradation, ou favoriserait la rétrogradation en cas d'incompatibilité.

D'un point de vue pratique, lorsque la concentration en sucres est importante dans une formule, la température de cuisson doit être augmentée (Biliaderis et Prokopowich, 1994).

1.2.2- Avec les lipides

Dans un produit formulé aqueux, les matières grasses constituent des phases dispersées et les amidons sont présents dans la phase aqueuse, par conséquent les interactions sont faibles. La concentration en amidon et le mode de dispersion ou de cuisson dépendent de la quantité d'eau résiduelle. Les Octényl Succinates d'Amidon (OSA) agissent comme émulsifiants et constituent les interfaces huile/eau (Godet, 1994). Les interactions potentielles intéressent les matières grasses et les émulsifiants susceptibles de complexer l'amylose. Au moment de la cuisson, l'amylose qui diffuse dans le milieu ainsi que celui contenu dans les granules sont susceptibles de se complexer avec les lipides monoacylés présents. Les complexes amylose – lipides formés dans le granule sont peu solubles. Cette insolubilisation momentanée de l'amylose retarde le gonflement des granules jusqu'à ce que la température de décomplexation (> 85°C) soit atteinte et que le gonflement du granule reprenne son déroulement normal. Les effets des lipides endogènes sur le gonflement sont les mêmes que celles des lipides exogènes, mais les lipides exogènes renforcent cet effet (Cayot, Lafarge, Arvisenet et Taisant, 2000).

1.2.3- Avec les protéines

Les protéines, molécules chargées, et l'amidon, polymère neutre, ne développent pas a priori d'interactions spécifiques. Ils sont cependant dans les différentes applications en compétition pour l'eau disponible, l'espace pour l'expansion ou la gélification. L'amidon absorbe l'eau libérée par la coagulation des protéines et participe à la gélification dans les produits de charcuterie de viandes et de poissons. Dans les produits de cuisson, pain, gâteau, pâtisserie ou les pâtes, les granules d'amidon sont ensachés dans un réseau glutineux qui limitera leur expansion. Dans les produits laitiers qui subissent des traitements thermiques importants, l'amidon va protéger par sa viscosité les protéines des risques de coagulation, mais peut toutefois gêner le processus de cuisson si la viscosité à chaud est trop importante (gratinage accentué sur les parois des échangeurs) (Breton-Dollet, 1996).

Partie II : Matériel et méthodes

II.1- LES AMIDON NATIFS : PRODUCTION, CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET RHEOLOGIQUES

II.1.1- Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pour produire les amidons est composé d'une part des racines de trois cultivars de manioc (*Manihot esculanta* C.) *2425, 4115* et *Seedling* récoltées à maturité commerciale (12 mois après la mise en terre des boutures). Ce sont des variétés vulgarisées par l'IRAD, choisies en raison de leurs teneurs élevées en amidon et de leur saveur (manioc doux) (Hamidou, 2001). D'autre part, des tubercules de deux cultivars de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) les plus cultivés à l'ouest-Cameroun, *Sipiera* et *Tselefou* à maturité commerciale (6 mois après la mise en terre des semences) ont été sélectionnés. Le choix des variétés de pomme de terre a été fait sur la base de leur disponibilité et de leur teneur en amidon (Agri-stat, 2005). L'amidon de pomme de terre commercial *Leader price*^{TM} acheté sur le commerce a servi de témoin dans cette étude.

II.1.2- Localité de collecte des échantillons

Les cultivars de pomme de terre *Sipiera* et *Tselefou* proviennent d'un cultivateur basé à Bafou, localité située à environ 10Km de la ville de Dschang, chef lieu du département de la Menoua (Cameroun). Située à 5°27 de latitude Nord, et à 10°02 de longitude Est, l'altitude (1400m) de cette localité lui confère un climat de type équatorial humide, une saison des pluies qui va de mi-mars à mi-novembre et une courte saison sèche de mi-novembre à mi-février. La pluviométrie à Bafou est très importante, allant au-delà de 2 400mm/an. Les sols sont des endosols, hydromorphes en zone marécageuse (http://fr.wikipedia.org/wiki/Province_ de_l'Adamaoua_(Cameroun), 2006). Les échantillons de pomme de terre ont été récoltés au mois de décembre de l'année 2005.

Les cultivars de manioc *2425, 4115* et *Seedling* proviennent des champs expérimentaux de l'IRAD de Ngaoundéré (Cameroun). L'altitude élevée de Ngaoundéré lui confère un climat relativement frais compris entre 22 et 25°C, il est de type tropical soudanien. Ce climat a une saison sèche qui va de novembre à avril. Les précipitations moyennes annuelles sont de 900 à 1500mm/an. Les sols de Ngaoundéré se composent de latérite rouge ou brunâtre, résultat de l'érosion des montagnes due aux alternances de saisons sèches et humides (http://fr.wikipedia.org/wiki/Province_de_l'Adamaoua_(Cameroun), 2006). Les échantillons de manioc ont été récoltés en octobre de l'année 2005.

II.1.3- Méthodes

II.1.3.1- Extraction et obtention des poudres d'amidons natifs

L'extraction des différents amidons a été faite suivant le protocole décrit par Willinger (1964) modifié par Alves, Grossmann et Silva (1999).

Au laboratoire, les échantillons ont été lavés à l'eau de robinet, triés, épluchés à l'aide d'un couteau en acier inoxydable et rincés trois fois à l'eau distillée. Les échantillons ainsi préparés ont été fendus dans le sens de la longueur et découpés en cubes d'environ 5cm de cotés mais les tubercules de manioc ont d'abord été coupés en cylindres d'une longueur d'environ 10cm. Ensuite il a été procédé à un broyage pendant 20 min. à l'aide d'un *cutter* à cuve mobile (Manurhin, 03300 Cusset, n°426, France). Le broyat qui en résulte est ensuite mélangé à proportion égale avec de l'eau distillée, macéré à l'aide d'une spatule et filtré sur un tissu blanc en coton d'environ 200µm de maille. Cette opération a été répétée plusieurs fois jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule de la filtration soit clair (environ quatre fois). Tous les filtrats réunis constituent le lait d'amidon. Ce dernier est laissé au repos pour sédimentation pendant 4 heures à 4°C. Le culot résultant est lavé quatre fois à l'eau distillée et mis à sécher sur des claies recouvertes de papier aluminium à 45°C pendant 24 heures dans un séchoir. L'amidon sec est ensuite broyé dans un moulin à meules (S.A.M.A.P., 68280 Andolsheim, Modèle F100, N° Série : 12122317) et tamisé afin d'obtenir une granulométrie équivalente à celle de l'amidon commercial (inférieure à 50µm). Cette préparation de granulométrie inférieure à 50µm constitue l'amidon natif.

II.1.3.2- Amidons natifs locaux et amidon commercial : caractérisations chimiques, physiques, fonctionnelles et rhéologiques

Les amidons natifs et l'amidon témoin ont subi quatres types de caractérisation : chimique (figure 15a), physique (figure 15b), fonctionnelles et rhéologiques (figure 15c).

II.1.3.2.1- Caractérisations chimiques des amidons natifs

Les caractérisations chimiques effectuées sont résumées sur la figure 15a.

II.1.3.2.1.1- Humidité

La méthode décrite par Audigié, Figarella et Zonzain, *(*1980) a servi pour la détermination de la teneur en eau des amidons à 105±2°C. Les essais ont été effectués sur 40g d'amidon à chaque fois.

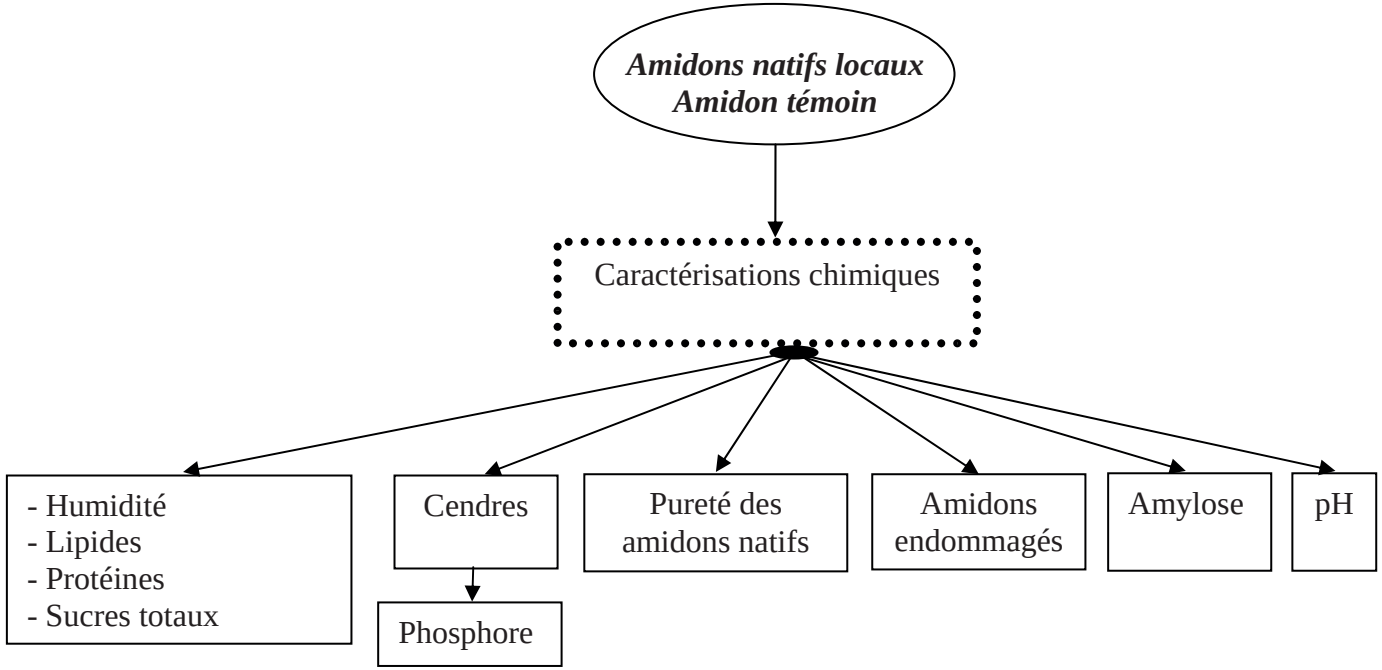


Figure 15a : Schéma général des caractérisations chimiques des amidons natifs locaux étudiés

II.1.3.2.1.2- Teneurs en lipides

La méthode par extraction au Soxhlet avec l'éther de pétrole décrite par l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (IUPAC, 1979) a été utilisée. L'extraction est effectuée à chaque fois sur 100g d'échantillon pendant 10 heures et les teneurs en lipides calculées par rapport à la matière sèche.

II.1.3.2.1.3- Teneurs en protéines brutes

Le dosage des protéines brutes s'est fait par détermination de l'azote total après minéralisation selon Kjeldahl (AFNOR, 1984). Dans l'appareil à distiller semi-automatique *Gerhardt* (Vapodest 4S, Paris France), le contenu du tube de Kjeldahl est additionné de lessive de soude (soude 10N) et titré avec l'acide sulfurique N/100.

La teneur en protéines brutes est calculée avec le facteur de conversion de l'azote en protéine qui est de 6,25 (Multon et Guthmann, 1991).

II.1.3.2.1.4- Teneurs en sucres totaux

Les sucres totaux ont été extraits par la méthode modifiée de Savoure (1980) et dosés selon celle décrite par Fischer et Stein (1961).

Le principe de la méthode consiste à faire réagir à chaud les extraits de sucres avec du 3, 5 - dinitrosalicylate de sodium (DNS). Les sucres réducteurs et non réducteurs donnent une coloration rouge - brun (l'acide 3 - amino 5 - nitrosalicylique) qui présente un maximum d'absorption à 530nm. La gamme d'étalonnage est constituée par une solution de glucose à 1mg/mL.

La quantité de sucres totaux (en équivalents de glucose) de chaque essai est calculée en se reportant à la courbe d'étalonnage d'équation de régression : DO= 1,9534Q avec un coefficient de régression r = 0,97.

II.1.3.2.1.5- Teneurs en cendres totales et dosage du phosphore

Les cendres totales sont déterminées par la méthode décrite par Wolff (1968). Elle consiste en l'incinération à 550°C d'une prise d'essai, puis par calcul de la teneur en cendres des échantillons par rapport à la prise d'essai et au poids du résidu obtenu. Les résultats sont exprimés par rapport à 100g de matière sèche.

De tous les minéraux, seul le phosphore a été dosé car il a une influence sur la viscosité des amidons (Chene, 2004). Pour cela, les cendres ont été dissoutes selon le protocole de Maynard (1970) et le dosage du phosphore réalisé par la méthode de Rodier (1978).

II.1.3.2.1.6- Détermination de la pureté des amidons natifs

La pureté des amidons représente la fraction amidon qui se retrouve dans l'amidon brute natif produit. Elle a été déterminée suivant la méthode décrite dans AFNOR (1982). La conversion de la teneur en glucose des différents amidons se fait par un facteur de 0,9 (http://admi.net/eur/loi/leg_euro/fr_387R4154.html, 1999).

Le principe consiste à laver les amidons pour éliminer les sucres libres et à hydrolyser le culot par l'amyloglucosidase. Après dispersion de l'amidon dans l'hydroxyde de sodium, l'amidon est hydrolysé en unités glucosyls par une amyloglucosidase (EC3.2.1.3., Sigma). Cette hydrolyse est suivie du dosage du glucose.

En pratique, pour déterminer la teneur en amidon, 250mg de poudre sont introduits dans un tube à centrifuger muni d'un bouchon à vis contenant 50mL d'éthanol 80%. Le tube est agité à l'aide d'un vortex pendant 20min. à température ambiante (20°C). Une centrifugation est effectuée pendant 5min. à 3000trs/min. Le surnageant est éliminée et le lavage du culot est renouvelé deux fois avec le même volume d'éthanol pour éliminer les sucres libres. Le culot de centrifugation est récupéré et solubilisé avec 2mL d'eau et 50mL de NaOH 0,5M sous agitation constante à 60°C pendant 30min dans un bain-marie agité. Le pH est alors ajusté à 4,7 ± 0,1 avec de l'acide acétique à 96%. Après avoir ramené le mélange réactionnel à 60°C (10min.), 1mL de la solution d'amyloglucosidase à 10mg/mL est ajouté et la préparation est laissée pendant 30min sous agitation constante. Après refroidissement, la solution est filtrée et le glucose est dosé au DNS (Fischer et Stein, 1960). Pour s'assurer que les étapes d'hydrolyse ont été bien conduites, un échantillon d'amidon témoin d'origine connu (amidon pur) est analysé dans les mêmes conditions que l'échantillon à doser.

Le pourcentage en masse d'amidon dans l'échantillon rapporté à la matière sèche est égale à : $\%\ amidon = \frac{0{,}9 \times c \times d}{m \times 100 \times (100 - H)}$ (http://admi.net/eur/loi/leg_euro/fr_387R4154.html, 1999).

- où 0,9 est le facteur de conversion du glucose en amidon,
- c, la masse en µg de glucose,
- d, le facteur de dilution,
- m, la masse en µg de la prise d'essai d'amidon,
- H, la teneur en eau de l'échantillon.

II.1.3.2.1.7- Teneurs en amidon endommagé

L'amidon endommagé a été déterminé suivant la méthode officielle AACC 76-30A (1992). Il correspond à des granules d'amidon ayant perdu leur intégrité au cours des différents stades de mouture.

Le principe de la méthode est basé sur le fait que la différence de matières solubles des extraits de la même farine avec et sans α amylase est principalement due à l'action de l'α amylase sur les granules d'amidon endommagés.

En pratique, un gramme de farine est hydrolysé par 0,05g d'amylase (*Apergillus Oryzea*, Sigma, St Louis, USA. A6211-250KU, 53.7Unit/mg solid) à 30°C, à pH 6 pendant 15 min. Les sucres réducteurs résultant de l'attaque enzymatique sont dosés par colorimétrie suivant la méthode utilisant le DNS et décrite par Fischer et Stein (1961).

La teneur en amidon endommagé représente la quantité d'amidon ayant été hydrolysée par l'enzyme.

Le pourcentage en masse d'amidon endommagé dans l'échantillon rapporté à la matière sèche est égale à : $\%amidon = \frac{0{,}9 \times c \times d}{m \times 100 \times (100 - H)}$

- où 0,9 est le facteur de conversion du glucose en amidon
- c, la masse en µg de glucose
- d, le facteur de dilution
- m, la masse en µg de la prise d'essai d'amidon
- H, la teneur en eau de l'échantillon.

II.1.3.2.1.8- Teneurs en amylose

L'amylose des amidons a été dosé selon la méthode décrite par Chrastyl (1987).

La teneur en amylopectine a été déduite de celle de l'amylose, par différence par rapport à la teneur en amidon des échantillons.

En solution aqueuse iodo-iodurée (I_2-IK) diluée, l'amylose native forme un complexe avec l'iode. La réaction correspond à une inclusion d'iode sous la forme $(I_2)_nI^-$ dans le canal de l'hélice de l'amylose. L'intensité de la couleur du complexe est fonction de la teneur en amylose.

La détermination de la teneur en amylose des amidons passe par trois étapes à savoir l'extraction des lipides des amidons, la solubilisation des amidons délipidés et le dosage de l'amylose.

- ***Extraction des lipides***

L'extraction des lipides a consistée en l'introduction de 10 à 20mg d'amidon en poudre dans un tube à essais. 5mL de méthanol à 85% préparé dans de l'eau distillée y sont ajoutés et le mélange placé dans un bain-marie à 60°C. L'extraction dure 30min. en agitant le tube occasionnellement. La solution obtenue est centrifugée à 2000trs/min. pendant 30min. L'extraction au méthanol à 85% est répétée trois fois dans les mêmes conditions en écartant à chaque fois le surnageant.

- ***Solubilisation de l'amidon délipidé***

2mL de NaOH 1M et 4mL d'eau distillée sont ajoutés au culot contenu dans un tube à essai à vis muni d'un bouchon. Le tube est placé dans un bain-marie à 95°C et maintenu pendant 30min. sous agitation. La solution obtenue est appelée « S ».

- ***Dosage de l'amilose***

0,1mL de la solution « S » est introduit dans un tube à essai, 5mL d'acide trichloroacétique (TCA) à 1%, 0,05mL de solution de I_2-IK 0,01N (1,27g d'I_2 par litre d'eau distillée + 3g de KI) et de l'eau distillée comme indiqué dans le tableau 4 y sont ajoutés. Les densités optiques sont lues à 620nm.

Tableau 4 : Etalonnage de l'amylose et son dosage dans les amidons

Tube N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**Inconnu**
Solution (S) (mL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
Amylose 1mg/5mL (mL)	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	0
TCA 1% (mL)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
I_2-IK 0,01N (mL)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Incubation pendant 30 min. à température 20°C								
Eau distillée	1,95	1,70	1,45	1,20	0,95	0,70	0,45	0,20	1,85
DO moyenne à 620nm	0	0,147	0,339	0,538	0,726	0,872	0,929	1,011	(Doi1+Doi2)/3
Quantité d'amylose (mg)	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	X

La quantité d'amylose dans chaque tube à essai est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage d'équation de régression DO= 3,23Q et de coefficient de régression r= 0,97.

La teneur en amylose (T_A) en g/100g de matière sèche est calculée par la relation suivante :

$$T_A = \frac{100 \times Q \times V_T \times 100}{V \times 100 \times (100 - Hr) \times m}$$

avec :

T_A : la teneur en amylose en g/100g d'amidon sec ;

Q : la quantité d'amylose en mg dans chaque tube à essai ;

V_T : le volume total en mL de la solution (S) dans chaque tube à essai (0,1mL),

m : la masse de la prise d'essai d'amidon en mg (20mg) ;

Hr : la teneur en eau résiduelle des amidons.

La teneur en amylopectine est calculée par différence entre la pureté de l'amidon et la teneur en amylose.

II.1.3.2.1.9- pH

Le pH a été mesuré selon la méthode décrite par Larsonneur (1993). Pour cela, une suspension aqueuse à 10% (m/v) d'amidon est agitée à température ambiante (20°C) pendant 30 min. puis centrifugée à 4500tr/min. pendant 15 min. Dans le surnageant, le pH est mesuré à l'aide d'une électrode Bioblock Scientific N° 90437.

II.1.3.2.2- Caractérisations physiques des amidons natifs

Les caractérisations physiques effectuées sont résumées sur la figure 15b.

II.1.3.2.2.1- Granulométrie : granulométrie laser

La taille moyenne et la distribution granulométrique des différents amidons ont été appréciées à l'aide d'un granulomètre Laser *Mastersizer S (Malvern Instruments, Orsay, France).*

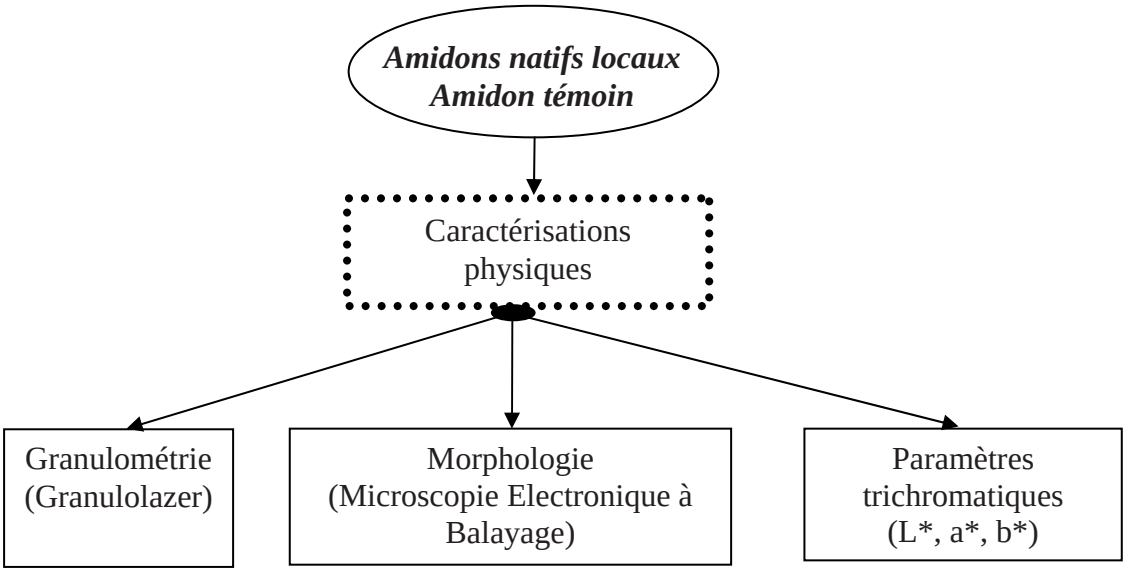


Figure 15b : Schéma général de la caractérisation physique des amidons

La granulométrie Laser repose sur la diffusion statique de la lumière (annexe 1). 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 tandis que les petites particules le font aux grands angles. En assimilant les particules à des sphères lisses, l'angle de diffusion est relié au diamètre des particules « d » par les équations proposées par la théorie de Mie (Zoulalian, 2006). L'intensité des photons détectés aux différentes tranches d'angles de diffusion permet de déduire le nombre de particules correspondant à chaque classe de taille (Berton, 2002).

Avant analyse, les échantillons sont dispersés dans l'éthanol à 95%. L'obscuration de la suspension (concentration de l'amidon dans l'éthanol) obtenue est comprise entre 20 et 30%. Pendant l'analyse, la suspension est mise en circulation à travers une lentille traversée par un faisceau Laser avec une agitation de 2000trs/min., afin de limiter la sédimentation. Le faisceau laser, issu d'un tube à gaz hélium-néon a une puissance de 5mW et une longueur d'onde de 632,8nm. L'alignement du faisceau laser et la mesure du bruit de fond ont été effectués dans l'éthanol à 95% (Berton, 2002).

La taille des particules est calculée à partir des données brutes provenant de l'unité optique à l'aide d'un logiciel Siser Sv2.17 (*Malven Instruments, Orsay, France*).

Trois mesures par dispersion sont réalisées à une minute d'intervalle et deux dispersions sont utilisées par échantillons.

Les courbes de distribution granulométrique mesurées en surfaces projetées et traduites en volume, représentent la moyenne des essais réalisés. Par la suite, les critères retenus sont le D(v ; 0,10), le D(v ; 0,50), le D(v ; 0,90), le D[4 ; 3], le D[3 ; 2] exprimés en micromètres (µm) et le Span. Ces différents critères signifient pour D(v; 0,10) par exemple la taille de particule pour laquelle 10% de l'échantillon se trouve en dessous de cette dimension. D[4 ; 3] est le diamètre moyen, D[3 ; 2] le diamètre moyen pondéré en surface (diamètre de Sauter) et le Span, représente la mesure de l'étendue de la distribution des granules d'amidon. Le Span est donné pat l'équation :

$$Span = D(v;0,90) - \left[\frac{D(v;0,10)}{D(v;0,50)}\right]$$

II.1.3.2.2.2- Observations morphologiques

L'observation des échantillons d'amidon en Microscopie Electronique à Balayage (MEB) a été faite par la méthode décrite par Berton (2002).

Un faisceau très fin d'électrons accélérés à une tension de 10 à 30KV, balaie la surface d'un échantillon où se produisent des interactions détectées par un capteur. Les électrons secondaires et / ou rétrodiffusés sont recueillis, en synchronisant la détection (mesure d'une intensité) au balayage du faisceau incident. On obtient ainsi une image de la surface. Le contraste dépend du type d'électrons sélectionnés, de la tension d'accélération choisie et de la nature des atomes présents.

Le contraste topographique est lié aux électrons secondaires et à leur accès au détecteur. Le « contraste d'angle » sert à distinguer les bords d'une sphère où les pointes apparaissent plus brillantes et les trous sombres. Le contraste chimique est lié au facteur de diffusion de l'atome donc au numéro atomique. Plus l'atome est lourd, plus le nombre d'électrons rétrodiffusés augment et plus la zone correspondante sera brillante.

La préparation des échantillons consiste en la pulvérisation d'une couche de 10nm de carbone à la surface des particules d'amidon fixées sur un ruban adhésif double face en matière plastique. Les observations ont été réalisées sous vide secondaire (environ 10^{-5} torr), par retro-

diffusion des électrons secondaires au moyen d'un microscope électronique à balayage *Hitachi S2500, Japon.*

Les images ont été prises, aux grossissements 1000 pour chaque échantillon.

II.1.3.2.2.3- Paramètres trichromatiques des amidons

La couleur est un attribut perceptif, subjectif, élaboré dans notre système visuel à partir de la lumière renvoyée par les objets et par leur environnement (CIE, 1976).

L'espace chromatique CIE L*a*b*, défini par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE, 1976) est un espace à trois dimensions uniformes du point de vue des écarts chromatiques.

Les trois coordonnées de CIE L*a*b* sont des correspondants de la clarté ou de la Luminance (L*), de la balance « rouge – vert » (a*) et de la balance « jaune – bleu » (b*). Dans cet espace couleur, les paramètres a* et b* sont les coordonnées de chromacité (Good, 2002).
Les paramètres L*a*b* des amidons ont été mesurés sur une surface de $1cm^2$ par un Tintomètre (Lovibond RT Color measurement Kit V2.28) couplé à un micro ordinateur. Pour cela 10g d'amidon sont introduits dans des coupelles en verre et les valeurs de L*, a* et b* sont affichées.

II.1.3.2.3- Caractérisations fonctionnelles et rhéologiques des amidons natifs

Les caractérisations fonctionnelles et rhéologiques effectuées sont résumées sur la figure 15c.

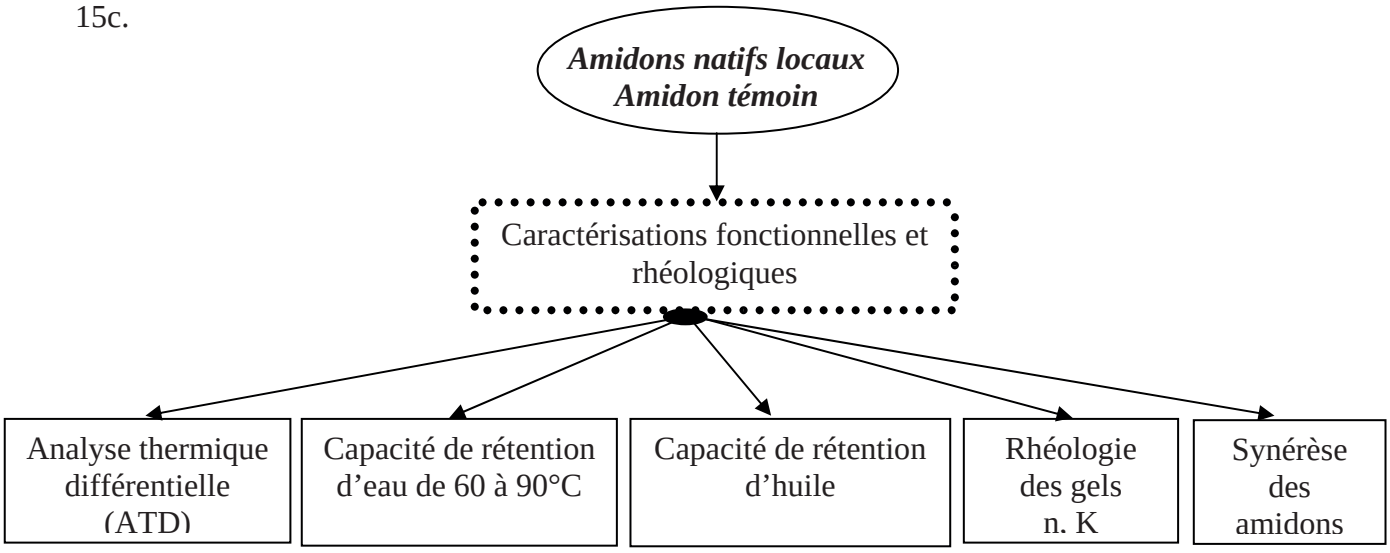


Figure 15c : Schéma général des caractérisations fonctionnelles et rhéologiques des amidons

II.1.3.2.3.1- Analyse Thermique Différentielle

L'Analyse Thermique Différentielle (ATD) a permis d'dentifier la température de gélatinisation ainsi que l'enthalpie de changement d'état des amidons.

Le principe de cette technique d'analyse est basé sur le fait que lors d'une réaction chimique ou durant le changement d'état physique d'un corps, la chaleur est soit libérée, soit absorbée. Cette chaleur correspond à une variation d'énergie qui est mesurée par calorimétrie différentielle. L'analyse est dite «différentielle» car le flux énergétique mesuré au niveau de l'échantillon est soustrait de celui d'un point de référence constitué par une capsule vide (figure 16). Un balayage en 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 (Tan et Che Man, 2002).

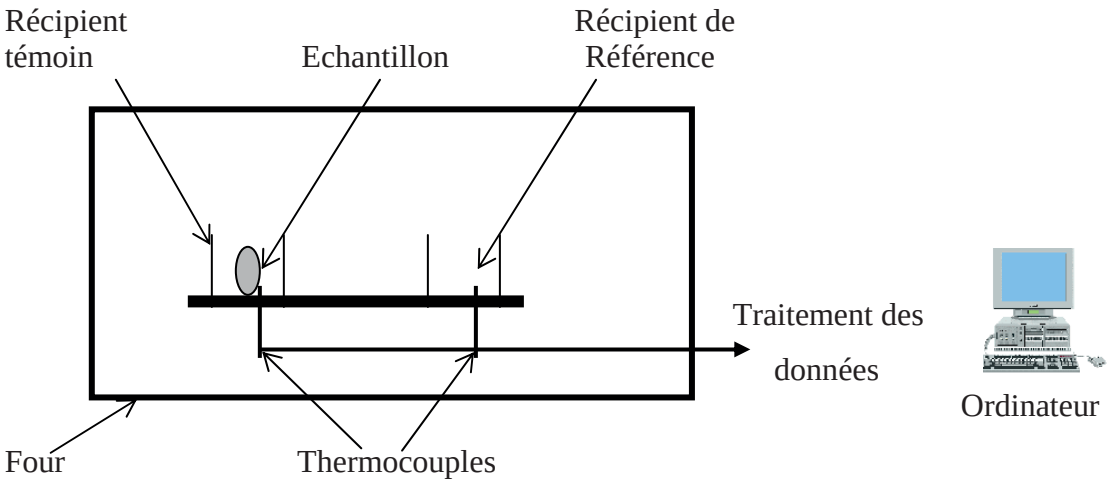


Figure 16 : Schéma du principe de fonctionnement d'un calorimètre différentiel

- Mode opératoire

L'équipement utilisé pour analyser les amidons est un calorimètre différentiel *Perkin-Elmer, modèle Pyris 1 (Perkin-Elmer Corp., Norwich, USA),* muni d'une balance analytique, d'une sertisseuse et de creusets ou capsules en aluminium d'une capacité de 50µl. L'appareil est calibré avec l'indium dont l'enthalpie ΔH est égale à 28,45J/g (Berton, 2002).

L'analyse est effectuée par un cycle de chauffage et refroidissement selon la méthodologie définie par Tan et Che Man (2002). Une prise d'essai constituée de 4mg d'amidon et de 12µl d'eau distillée est introduite dans une capsule en aluminium et scellée à l'aide d'une sertisseuse. L'ensemble est placé dans la chambre de mesure en même temps qu'une autre capsule vide servant de référence. Le chauffage est réalisé jusqu'à 98°C avec une vitesse de

montée en température de 5°C/min. Cette température a été maintenue pendant 1min à 25°C. L'enthalpie (ΔH) de changement de phase est mesurée à partir des thermogrammes endothermes sur la base de la matière sèche de l'échantillon. La température seuil (T_0), la température pic (T_P) et la température de fin de gélatinisation (T_c) ont été notées sur les thermogrammes.

II.1.3.2.3.2- Capacité de rétention d'eau

La Capacité de Rétention d'Eau (CRE) est l'aptitude pour les amidons à retenir leur eau propre et l'eau ajoutée. La méthode décrite par Leach et Schoch (1959) a servi pour cette mesure.

En milieu aqueux et en fonction de la température, les granules d'amidon absorbent de l'eau tandis que les sucres solubles sont dissous dans l'eau.

La CRE des amidons dans l'eau a été déterminée en fonction de la température. Des solutions d'amidon à 1% (P/V) sont préparées et mises au bain-marie à différentes températures allant de 60 à 90°C avec des intervalles de 5°C. Le mélange est mis sous agitation pendant 30min. puis centrifugé à 4500trs/min. pendant 15min. La capacité de rétention d'eau est estimée comme quantité d'eau retenue par l'échantillon après détermination de la matière sèche du culot (2h à 130°C). La CRE est donnée par l'équation :

$$CRE = \frac{\left[\left(M_C - M_T\right)\times 100\right]}{\left[m\times\left(100 - Hr\right)\right]}$$

Avec :

M_C : masse du tube à centrifuger + culot (g)

M_T : masse du tube à centrifuger (g)

m : prise d'essais (g)

Hr : teneur en eau des amidons

II.1.3.2.3.3- Capacité de Rétention d'huile des amidons

La Capacité de Rétention d'Huile (CRH) est l'aptitude pour les amidons à retenir l'huile qui leur est ajoutée. La méthode décrite par Beuchat (1977) a permis de déterminer la capacité d'absorption d'huile des amidons.

A 1g d'amidon, sont ajoutés 10mL d'huile de tournesol (de la marque Buttella, France). Le mélange est agité vigoureusement à l'aide du vortex pendant 1min. et laissé au repos pendant 30min. Après ce temps de repos, le tube contenant le mélange huile amidon est centrifugé à

4500trs/min. pendant 15min. et la quantité d'huile absorbée est déterminée. Les résultats sont exprimés par rapport à la matière sèche.

La capacité de rétention d'huile est donnée par la relation suivante :

$$CRH = \frac{\left[\left(M_C - M_T\right)\times 100\right]}{\left[m\times\left(100 - Hr\right)\right]}$$

Avec :

CRH : Capacité de Rétention d'Huile ;

M_C= masse du tube à centrifuger + culot (g) ;

M_T= masse du tube à centrifuger (g) ;

m= prise d'essais (g) ;

Hr= teneur en eau des amidons.

II.1.3.2.3.4- Etude de la rétrogradation des amidons

L'étude de la rétrogradation des amidons a été faite suivant la méthode décrite par Singh, Chawlad et Singh (2004). Cette rétrogradation (synérèse) est déterminée sur des gels d'amidon après 7 jours après stockage à 4°C.

Pour la préparation du gel, une suspension d'amidon, à 2% (p/v) dans de l'eau distillée est introduite dans un tube à essais, chauffée à 85°C pendant 30min. au bain marie et agitée toutes les 5min.

La synérèse ou rétrogradation est exprimée par la proportion (%) d'eau surnageant après centrifugation à 3200trs/min. pendant 10min. du gel selon la formule :

$$Synérèse = \frac{Liquide \quad séparé(g)}{masse \quad de \quad gel(g)} \times 100$$

II.1.3.2.3.5- Mesure de la rhéologie des gels d'amidon

La mesure de la rhéologie des différents amidons a été réalisée suivant la méthode modifiée décrite par Lamberti, Geiselmann, Conde-Petit et Escher (2004).

Les courbes de viscosité des amidons sont obtenues à l'aide d'un rhéomètre à contrainte imposée (*Stresstech S22363 Lund, Sweden*). Le système cône /plan de diamètre 40mm, avec un espacement de 0,150mm à 56°C a été utilisé. La contrainte imposée aux gels d'amidon (5% p/v) préparés à 70°C pendant 30min. a varié dans les essais d'écoulement de 2N à 40N.

Les courbes d'écoulement laminaire reliant la contrainte de cisaillement (τ) et la vitesse de cisaillement (γ)ont été tracées à l'aide du logiciel Sigma plot 8.0. L'équation de la courbe

d’écoulement de chacun des amidons a permis de déduire l’indice d’écoulement (n), le coefficient de régression (R) et l’indices de consistance (K) des amidons étudiés.

II.1.3.2.4- Dispositif expérimental et analyses statistiques des résultats

Le dispositif expérimental est à base de blocs complètement randomisés. Trois essais ont été réalisés pour chaque type d’analyse.

Les résultats des caractérisations chimiques, physiques, fonctionnelles et rhéologiques des amidons natifs ont été soumis à une analyse des variances (ANOVA) afin de déterminer s’il existe une différence significative entre les amidons pour les différents paramètres analysés. Lorsqu’une différence significative est notée, les moyennes sont comparées par le test de Duncan (Steel et Torrie, 1960). Des corrélations ainsi que l’Analyse en Composantes Principales (ACP) ont également été appliquées sur les résultats (Philippeau, 1986) pour rechercher l’existence des liens entre les différents paramètres analysés et regrouper les échantillons ayant des caractéristiques voisines. Les logiciels Statgraphics plus 5.0 (2000) et Statsoft 6 (2001) ont été exploités pour ces analyses statistiques.

II.2- PATES A BASE D'AMIDONS NATIFS : CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET TEXTURALES

II.2.1- Matériel biologique

Le matériel biologique est constitué d'une part d'amidons natifs de manioc et de pomme de terre produits et caractérisés dans ce travail (partie II.1-) et d'autre part du filet, du foie et de la tétine (le gras de la mamelle) de jeunes bovins « type lait » de 22 mois. Cette viande a été achetée à l'entreprise Socopa de Mirecourt Domvallier, localité située à environ 50Km de la ville de Nancy (France). La formulation d'épices utilisée est constituée d'épices locales dont la dose d'incorporation dans le pâté de campagne a été fixée à 3g/kg de mêlée (Mbougueng *et al.*, 2006). Cette formulation contient certaines des épices utilisées dans la préparation du *Nah poh* et du *Nkui* (Mbougueng *et al.*, 2006). Il s'agit des fruits de *Hua gabonii* et de *Xylopia aethiopica,* de l'amande de *Monodora myristica* et de la pulpe de l'aile des fruits de *Tetrapleura tetraptera*.

II.2.2- Production et caractérisation des pâtés aux amidons natifs

Le pâté de campagne qui fait l'objet de cette étude est le produit du hachage des éléments plus ou moins gros contenant une partie plus ou moins importante de farce de liaison (Durand, 1999). Les différents éléments entrant dans sa composition sont : le gras, le maigre et le foie (Baracco *et al.*, 1982).

II.2.2.1- Production des pâtés aux amidons natifs

Les différents pâtés ont été produits par substitution de l'amidon témoin (amidon de pomme de terre *Leader price*^{TM}) par des amidons natifs locaux. Afin de déterminer la meilleure dose d'incorporation, l'amidon natif de chaque cultivar a fait l'objet de quatre taux d'incorporation, soit 20, 30, 40 et 50g par Kg de mêlée.

La fabrication du pâté commence par le parage, le triage, la découpe et le salage de la viande (filet, tétine et foie) telle qu'indiquée sur la figure 17**.** La tétine qui représente le 1/3 du maigre est échaudée pendant 15min. dans de l'eau bouillante et ajoutée encore chaude au foie dont le poids représente aussi le 1/3 de celui du maigre (filet). L'ail et l'oignon à 6 et 10g/kg de mêlée respectivement sont ajoutés et le tout haché pendant 10min dans une moulinette (Magimix cuisine système 5100 automatique, France) jusqu'à obtention d'une farce fine. Le maigre haché à la plaque de huit (qui représente le marquant) et les épices (formulation d'épices locales, poivre

blanc et muscade à 3, 2 et 1g/kg de mêlée respectivement) sont additionnés à la farce fine préalablement apprêtée et mélangés pendant 5min. dans la moulinette. La farce qui en résulte a permis de formuler les différents pâtés à partir des amidons des trois cultivars de manioc (*2425, 4115* et *Seedling*), des deux cultivars de pomme de terre (*Sipiera* et *Tselefou*) aux quatre taux d'incorporation et de l'amidon témoin à 50g/kg de mêlée (figure 18). Les différents pâtés crus sont mis dans des moules ronds en aluminium de diamètre 8Cm et de profondeur 4,5Cm et enfournés à 120°C. Après 30min. à 120°C, la température de cuisson est ramenée à 95°C et les pâtés ont été cuits jusqu'à 70°C à cœur.

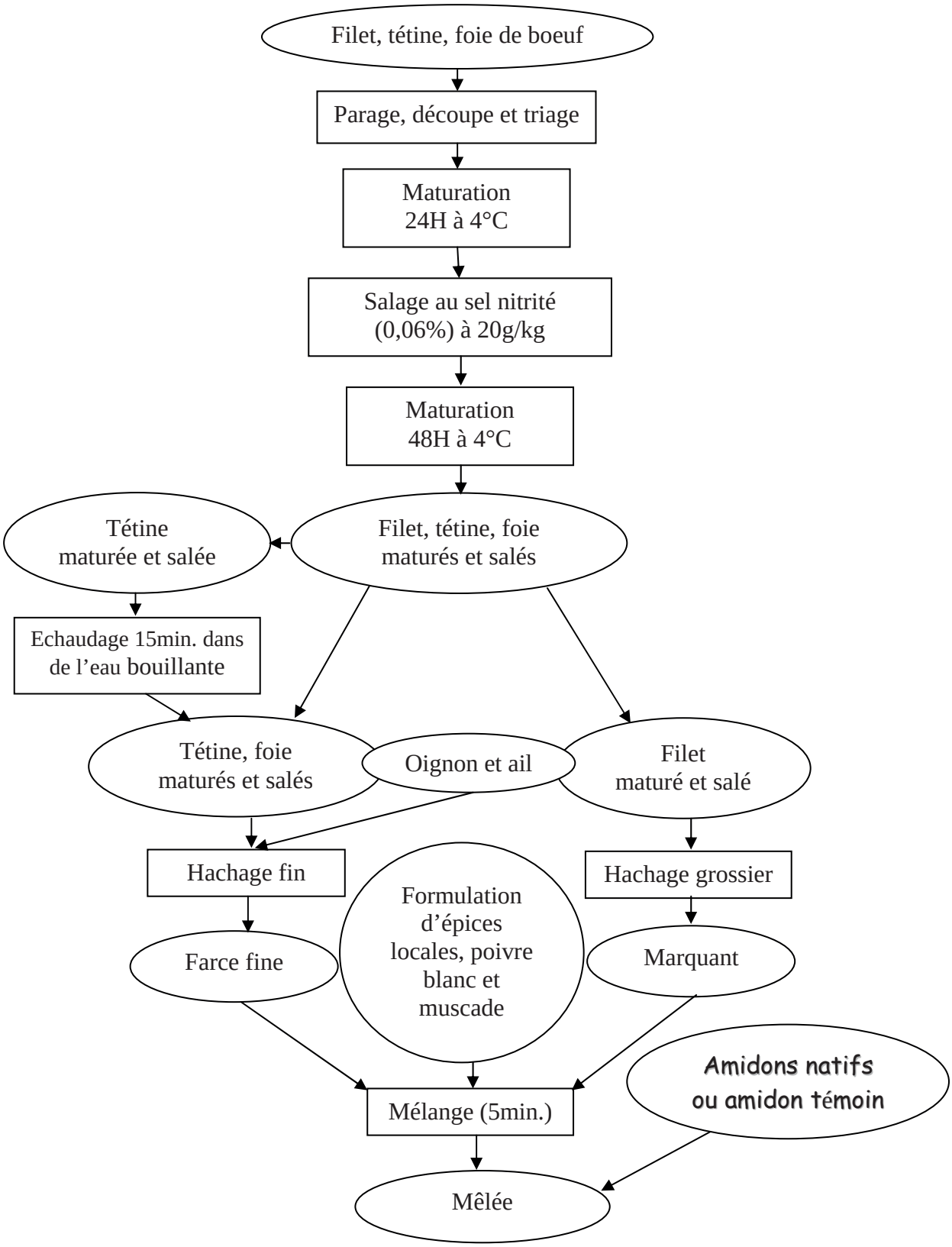


Figure 17 : Schéma de la préparation de la viande et de la mêlée pour la production des pâtés

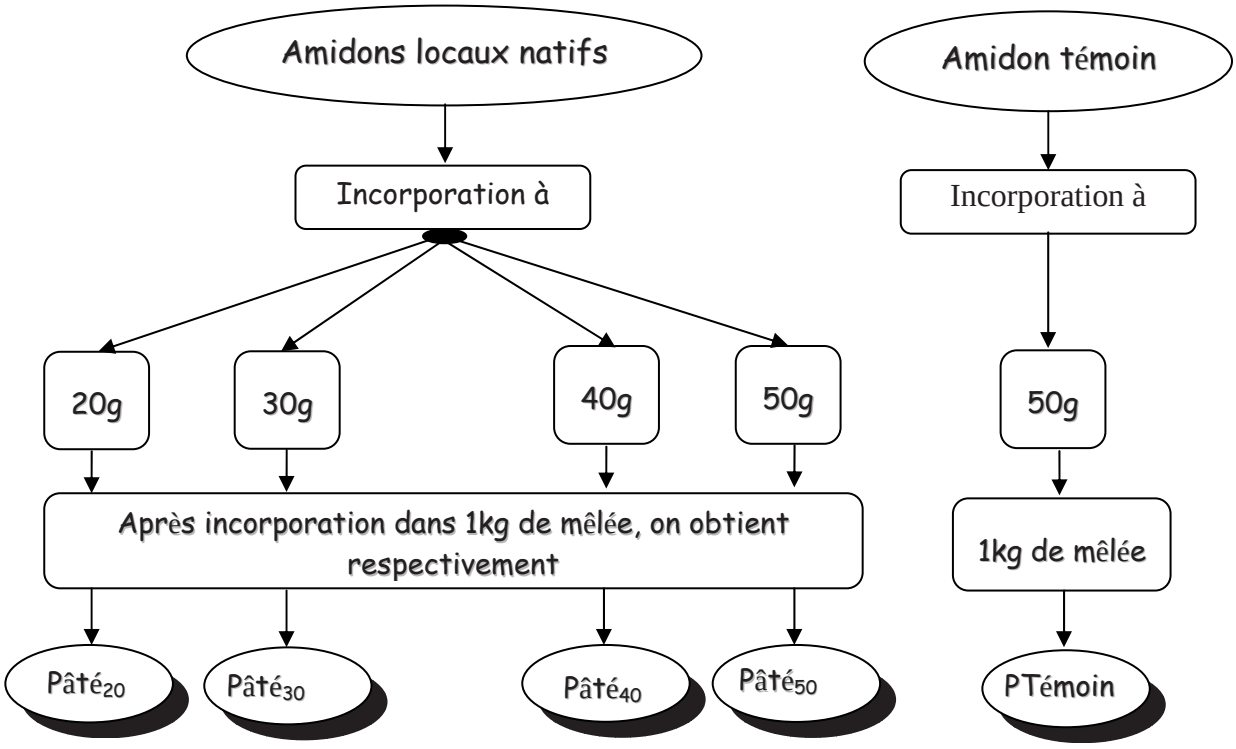


Figure 18 : Schéma synoptique de la préparation des différents pâtés contenant les amidons locaux natifs et l'amidon témoin (amidon commercial)

Au terme de la fabrication, on obtient six groupes de pâtés :

- ✓ Les pâtés contenant l'amidon natif de manioc du cultivar *2425* (noté *PV*), au taux d'incorporation de 20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée respectivement : PV_{20}, PV_{30}, PV_{40}, PV_{50} ;
- ✓ Les pâtés contenant l'amidon natif de manioc du cultivar *4115* (*PQ*), au taux d'incorporation de 20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée respectivement : PQ_{20}, PQ_{30}, PQ_{40}, PQ_{50} ;
- ✓ Les pâtés contenant l'amidon natif de manioc du cultivar *Seedling* (*PS*), au taux d'incorporation de 20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée respectivement : PS_{20}, PS_{30}, PS_{40}, PS_{50} ;
- ✓ Les pâtés contenant l´amidon natif de pomme de terre du cultivar *Tselefou* (*PT*), au taux d'incorporation de 20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée respectivement : PT_{20}, PT_{30}, PT_{40}, PT_{50} ;
- ✓ Les pâtés contenant l´amidon natif de pomme de terre du cultivar *Sipiera* (*PSi*) au taux d'incorporation de 20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée respectivement : $PSi_{20,}$ PSi_{30}, PSi_{40} PSi_{50} ;
- ✓ Le pâté témoin qui contient l'amidon de pomme de terre commercial à la dose de 50g/kg de mêlée : $P_{Témoin}$.

Pour mieux apprécier l'influence de ces différents amidons sur les pâtés, quelques paramètres physico-chimiques des pâtés ont été évalués. Le principal apport recherché lors de

l'incorporation des amidons dans les produits de charcuterie se situant au niveau de leur texture, la détermination du profil textural des pâtés a également été effectuée.

II.2.2.2- Caractérisations physico-chimiques et texturales des pâtés

Les teneurs en eau, en lipides, en protéines brutes, en cendres totales, en phosphore, ainsi que l'analyse de la couleur ont été effectuées suivant le protocole décrit dans la partie caractérisation des amidons natifs (II.1-) de cette thèse. Les analyses sus-citées ainsi que d'autres dont les protocoles sont décrits dans cette partie de l'étude sont résumées sur la figure 19.

II.2.2.2.1- Détermination du pH des pâtés crus et cuits

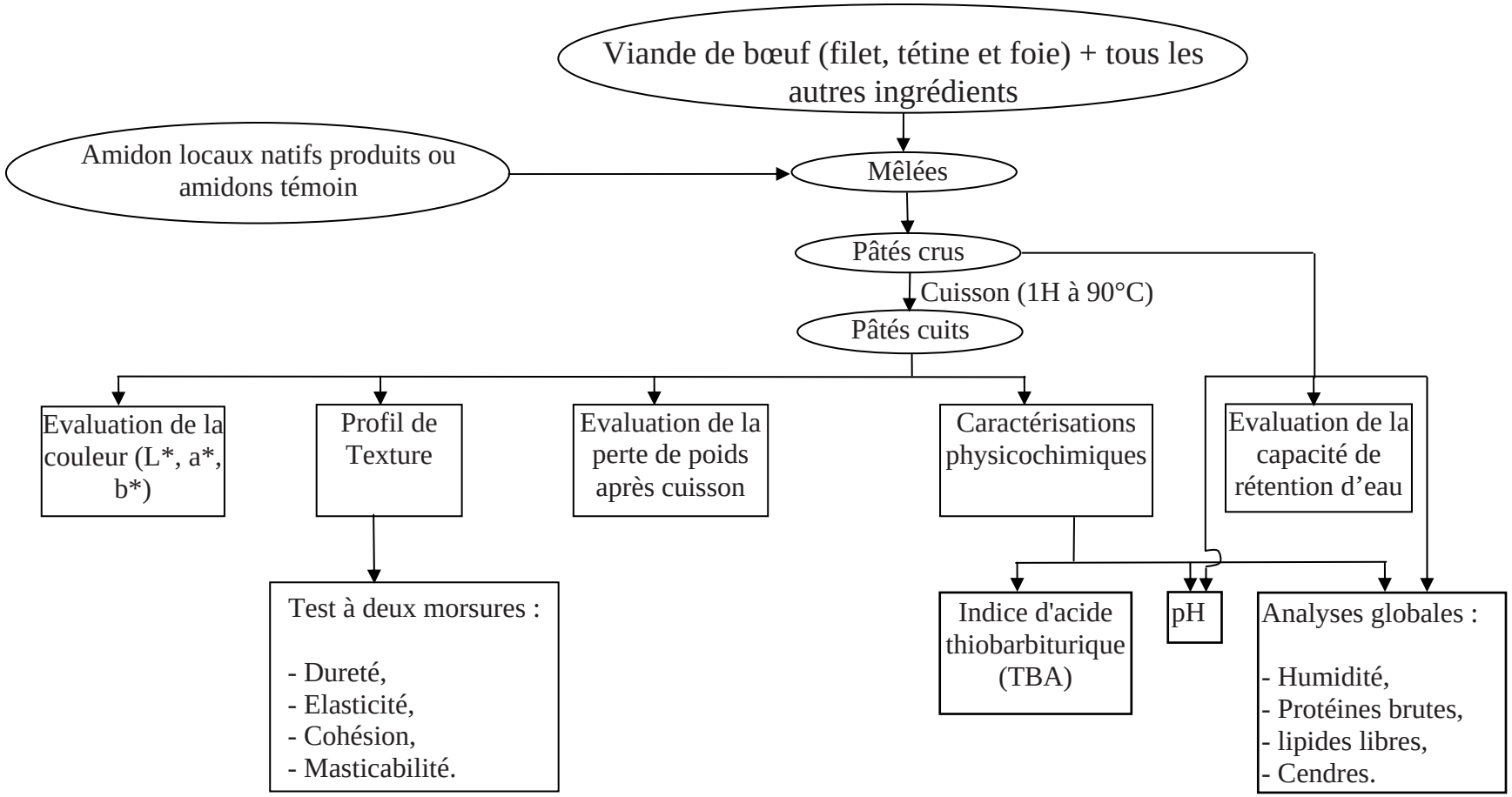
Le pH a été mesuré selon les normes AFNOR (1982). Dans un bécher contenant 10g d'échantillon broyé dans un broyeur de type Robot-coup Blender GT550, 100mL d'eau distillée sont introduits, le mélange homogénéisé pendant une minute et le pH mesuré à l'aide d'un pH-mètre utilisant une électrode Bioblock Scientific N° 90437.

II.2.2.2.2- Détermination de l'Indice d'Acide Thiobarbiturique des pâtés cuits

L'indice d'acide thiobarbiturique a été déterminé selon la procédure décrite par Veron, Witte, Gray, Krause, Miltone et Bailey (1970).

Principe

L'acide 2-thiobarbiturique (TBA) réagit avec les produits d'oxydation des acides gras insaturés pour donner une coloration rouge (figure 20). L'un de ces produits, le malonaldéhyde est extrait à l'aide d'un acide fort (acide phosphorique) qui le libère des produits auxquels il est lié tels que les protéines, les acides aminés et le glycogène



* F.A.M.R. : Flore Aérobie Mésophile Revivifiable

** A.S.R. : Germes Aérobies Sulfito-Réducteurs

Figure 19 : Schéma synoptique des analyses effectuées sur les pâtés produits

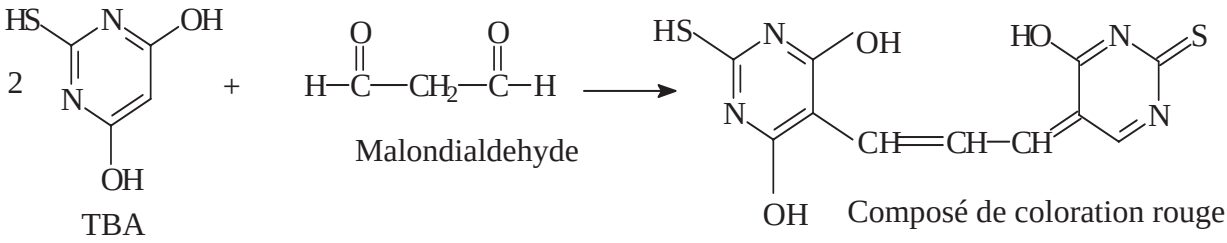


Figure 20 : Equation de la réaction de l'acide 2-thiobarbiturique avec les produits d'oxydation des acides gras

Mode opératoire

20g d'échantillons sont broyés et homogénéisés pendant 1,5min. dans 50mL de solution extractive (20% d'acide trichloroacétique dans l'acide phosphorique 2M à 4°C). La farce est transférée dans une fiole de 100mL avec 40mL d'eau distillée. Le volume global de l'échantillon est ramené à 100mL avec de l'eau distillée et l'ensemble est homogénéisé par agitation. 50mL sont filtrés à travers le papier filtre Watman N°1. Ensuite, 5mL du filtrat sont transférés dans un tube à essai (15x200mm) contenant 5mL de TBA (0,005M dans l'eau distillée). Les tubes sont fermés et les solutions mélangées à l'aide d'un vortex. Les tubes sont gardés ensuite à l'obscurité à la température ambiante (20°C) pendant 15 heures. La couleur obtenue après ce temps est mesurée au spectrophotomètre UV/Visible (Pharmacia Biotech ultrospec 4000, England) à 530nm.

Expression des résultats

La valeur de la TBA est obtenue en multipliant l'absorbance par 5,2 (Veron *et al.,* 1970). Celle-ci est exprimée en mg d'aldéhyde malonique par kg d'échantillon de pâté frais.

II.2.2.2.3- Capacité de rétention d'eau réelle des pâtés

La capacité de rétention d'eau (CRE) des différents pâtés crus a été déterminée par la méthode de Hamm, (1960) modifiée par Zayas et Lin (1988).

Le principe consiste à mesurer la surface du papier filtre Whatman N°4 imbibée par le jus issu du pâté cru.

Mode opératoire

Un échantillon de 0,5g de pâté cru est placé entre deux feuilles de papier filtre Whatman N°4 et pressé entre deux plaques de verre planes pendant 20min. sous une masse de 1Kg. La

surface du papier filtre imbibée par le jus issu du pâté cru pressé ainsi que la surface occupée par le pâté sont mesurées.

Expression des résultats

$$\text{CRE (\%)} = \left[1 - \left(1 - \frac{Sp}{Sj}\right)\right] \times 100$$

Où Sp est la surface d'étalage de l'échantillon de pâté sur le papier filtre et Sj, la surface du jus ayant imbibé le papier filtre.

II.2.2.2.4- Evaluation de la perte de poids à la cuisson des pâtés

La perte de poids (Pp) à la cuisson est évaluée en faisant la différence entre la masse du produit à l'entrée du four (m_1) et la masse du produit à la sortie du four (m_2) et ramenée à 100g de pâté cru.

$$Pp = \frac{100 \times (m_1 - m_2)}{m_1}.$$

II.2.2.2.5- Profil de texture des pâtés

Afin d'étudier l'influence du type d'amidon natif et de leur taux d'incorporation sur le profil de texture des pâtés, la méthode du test « à deux morsures » à l'aide de la Machine Universelle de marque LLOYD® a été exploitée. Ce test permet de simuler une morsure des échantillons de pâté. Au cours d'un essai unique, les paramètres de textures telles que la dureté, l'élasticité, la cohésion et la masticabilité ont été mesurés (Sherman, 1979; Prentice, 1984).

Le principe du test à deux morsures consiste à exercer une force donnée sur un échantillon de pâté à l'aide de la Machine Universelle d'essai LLOYD®, munie d'une tige en acier inoxydable de section circulaire de 20mm de diamètre. Après descente de la tige et première compression (simulant la première morsure) de l'échantillon, la tige remonte et le cycle recommence pour effectuer la seconde compression. L'ordinateur connecté au texturomètre trace alors une évolution de la force de compression puis de relaxation en fonction du temps.

Les surfaces de réponses obtenues des tracés (figure 21) permettent de tirer les différentes caractéristiques de l'échantillon donné. A savoir :

- La résistance à une déformation donnée, caractéristique de la dureté (H) de l'échantillon est définie comme la force nécessaire pour obtenir la déformation imposée dans la première morsure. La dureté est exprimée en newton (N) ;

- L'aptitude du produit à reprendre après sollicitations, sa forme et les dimensions qu'il avait avant d'être soumis à ces contraintes, caractérise son élasticité (ΔL/L) (Mohsenin et Mittal, 1977). ;

- La cohésion (A/A') est la propriété d'un ensemble dont toutes les parties sont intimement unies. Elle donne une idée sur la force qui unit les molécules constituant le pâté. Les calculs se font par intégration du tracé enregistré sur l'ordinateur à l'aide du logiciel Origine 6.0 (Microcal^{TM}, 1999).

- La masticabilité est le produit de la dureté et de la cohésion.

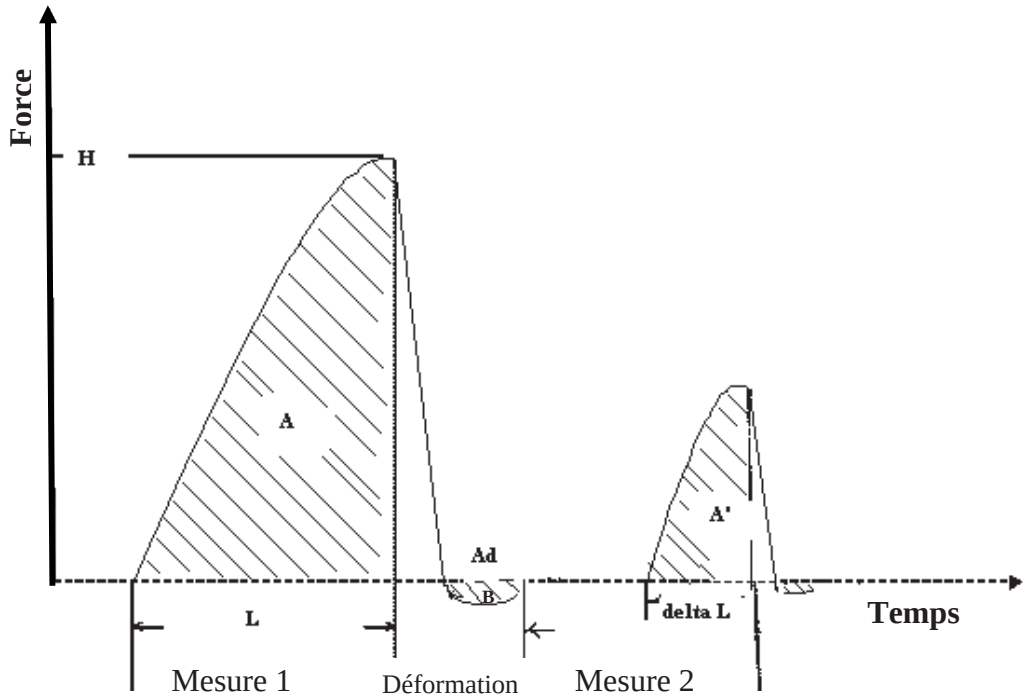


Figure 21: Surfaces de réponse type du test à deux morsures sur un enregistreur graphique

II.2.2.2.6- Dispositif expérimental et analyses statistiques des résultats

Le dispositif expérimental est un plan factoriel soit, 2 genres d'amylacées : la pomme de terre et le manioc ; avec 3 cultivars de manioc et 2 cultivars de pomme de terre, et 4 taux d'incorporation des amidons dans les pâtés (20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée).

Pour chaque paramètre analysé, le résultat est la moyenne de trois déterminations.

Des analyses statistiques ont été effectuées au moyen de l'ANOVA et du test de Duncan sur les résultats issus des caractérisations physico-chimiques et texturales des pâtés pour les comparer les uns aux autres. Des corrélations ainsi que l'Analyse en Composantes Principales (ACP) ont également été appliquées sur les résultats pour rechercher l'existence des liens entre les différents paramètres analysés et regrouper les échantillons ayant des caractéristiques voisines (Philippeau, 1986). Les logiciels Statgraphics plus 5.0 (2000) et Statsoft 6 (2001) ont été exploités pour ces analyses statistiques.

II.3- AMIDONS ACETYLES : PRODUCTION, CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET RHEOLOGIQUES

II.3.1- Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pour produire les amidons modifiés est composé des amidons natifs provenant des cultivars de pomme de terre et de manioc *Sipiera* et *2425* respectivement. Ces deux amidons font partie de ceux qui n'ont pas permis d'obtenir, aux différentes doses de leurs incorporation, un profil de texture semblable à celui du pâté témoin.

II.3.2- Méthodes

II.3.2.1- Modifications des amidons natifs

La méthode utilisée est celle décrite par Phillips, Huijum, Duohai et Harold (1999). L'acétylation est une modification chimique qui par estérification (figure 22) des amidons introduit des groupements acétyles dans leur structure (Elomaa, Asplund, Soininen, Laatikainen, Peltonen, Hyvärinend *et al.,* 2004). La modification des amidons natifs a été faite telle que décrite sur la figure 23. Deux degrés de substitution ont été effectués par amidon soit pendant 10 (*2425/10* et *Sipiera/10*) et 20min (*2425/20* et *Sipiera/20*).

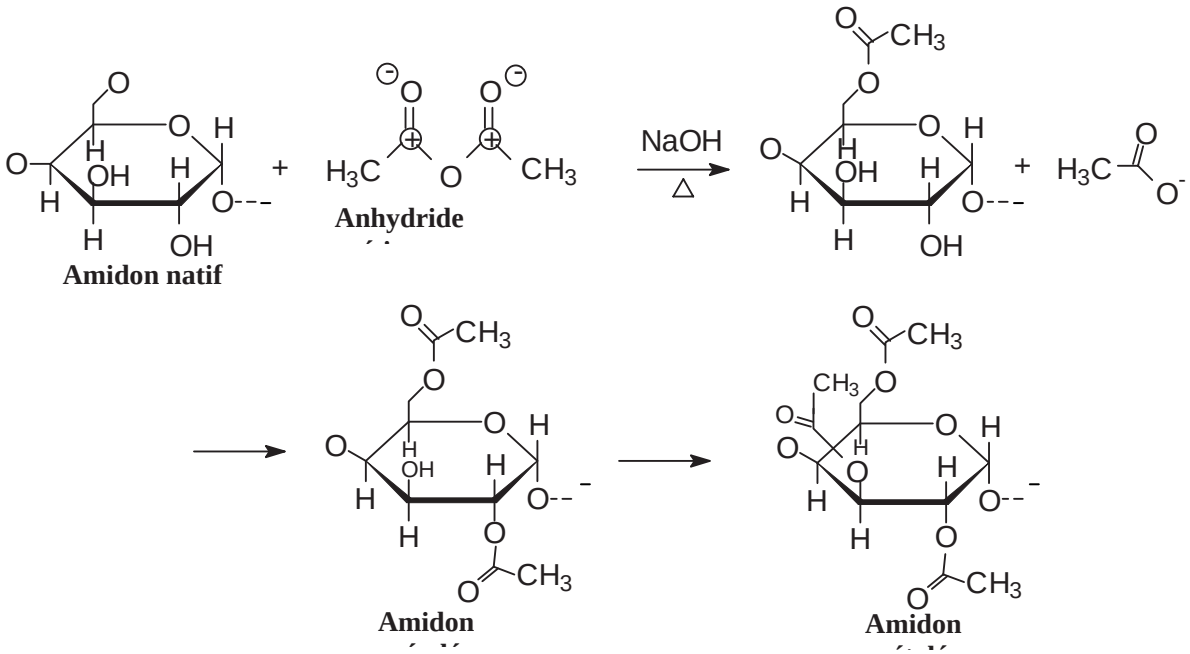


Figure 22 : Réactions d'acétylation de l'amidon (Phillips *et al.,* 1999**)**

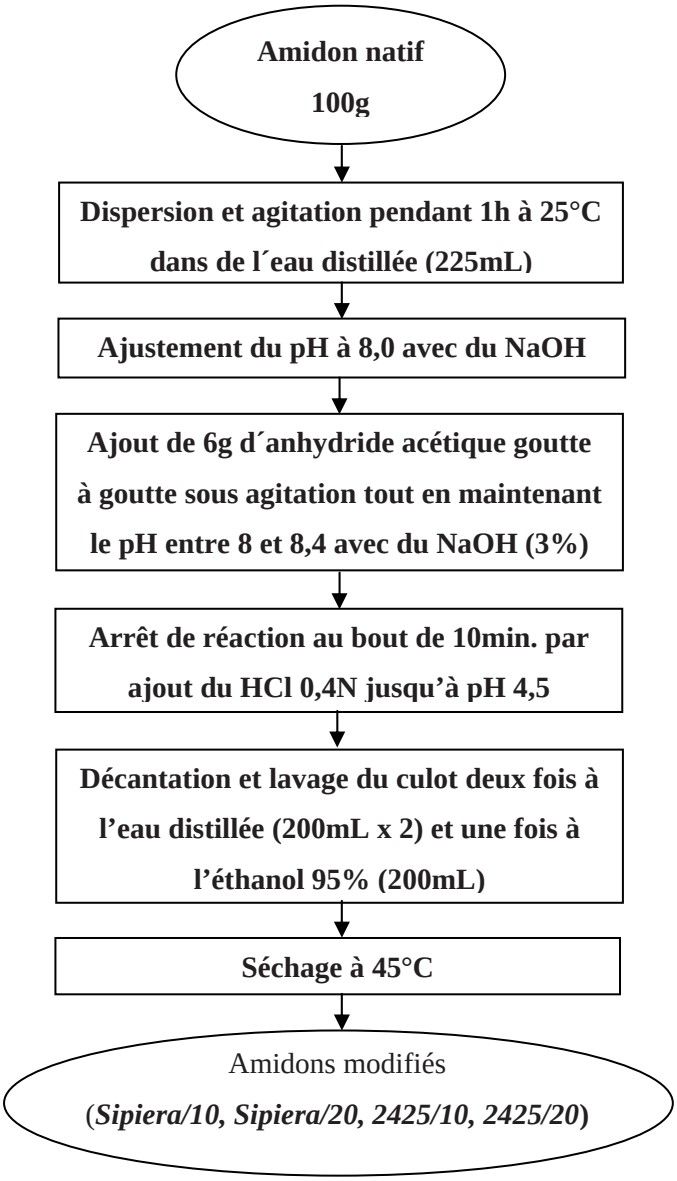


Figure 23 : Schéma de la préparation des amidons acétylés

II.3.2.2- Caractérisations des amidons modifiés

La valorisation rationnelle d´un amidon implique la connaissance préalable de ses propriétés (Delpeuh, Favier et Charbonnière, 1978). En plus de toutes les analyses effectuées sur les amidons natifs (figures 15a, 15b et 15c dans la deuxième partie de cette étude) le pourcentage d'acétylation (%Ac) et le degré de substitution (DS) des amidons modifiés ont également été déterminés.

II.3.2.2.1- Détermination du pourcentage d´acétylation et du degré de substitution des amidons modifiés

Le pourcentage d´acétylation (%Ac) et le degré de Substitution (DS), qui est défini comme la moyenne du nombre de sites par molécules de glucose possédant un substituant (Singh et Singh, 2005), sont déterminés par titrimétrie suivant la méthode de Wurzburg (1978).

1g d'amidon acétylé est placé dans un bécher de 250mL contenant 50mL d´éthanol à 75% dans de l´eau distillée. Le mélange est chauffé (50°C) sous agitation pendant 30min. et refroidi. 40mL de KOH (0,5M) sont ajoutés et l´excès titré avec du HCl à 0,5M en présence de la phénophtaléine (1% dans de l'eau distillée). La solution est ensuite laissée au repos pendant 2 heures. L´excédant de base issu de l´échantillon est titré. Un blanc constitué de l´échantillon non modifié est également traité dans les mêmes conditions.

$$\%\ Ac = \frac{(blanc - échantillon) \times molarité\ du\ HCl \times 0{,}043 \times 100}{poids\ de\ l'échantillon}$$

0,043 est le facteur de conversion du nombre de mol de KOH ayant réagi avec les groupements acétyls liés à l'amidon en acétyl.

Les volumes des titrations du blanc et de l´échantillon sont exprimés en mL et la masse de l´échantillon en g. Le Degré de Substitution est défini comme la moyenne du nombre de sites par molécules de glucose possédant un substituant (Singh et Singh, 2005).

$$DS = \frac{(162 \times \%Ac)}{[4300 - (42 \times \%Ac)]}$$

II.3.2.2.2- Dispositif expérimental et analyses statistiques des résultats

Le dispositif expérimental est un plan factoriel 2x2, soit deux types d'amidon et deux degrés de substitution. Trois essais ont été réalisés pour chaque type d'analyse.

Les analyses statistiques ont été effectuées suivant le même protocol et avec les mêmes outils que dans la partie caractérisation des amidons natifs (II.1-).

II.4- PATES A BASE D'AMIDON ACETYLES : CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUE ET TEXTURALES

II.4.1- Matériel biologique

En dehors des amidons acétylés *Sipiera/10, Sipiera/20*, *2425/10* et *2425/20* produits et caractérisés dans la quatrième partie de cette étude, tous les autres constituants des pâtés sont les mêmes que ceux utilisés dans la partie II.2-, qui traite de l'incorporation des amidons natifs dans les pâtés.

II.4.2- Production et caractérisation des pâtés aux amidons modifiés

II.4.2.1- Production des pâtés aux amidons modifiés

Les différents pâtés produits résultent de la substitution de l'amidon témoin (amidon de pomme de terre commercial) par les amidons locaux acétylés. Chacun des amidons modifiés a fait l'objet de quatre taux d'incorporation, à savoir 20, 30, 40 et 50g par kg de mêlée. Les pâtés ont été produits selon la procédure décrite dans la troisième partie.

Au terme de la fabrication, on obtient les produits suivants :

- ✓ Les pâtés contenant l'amidon de manioc *2425* modifié pendant 10 min. (*2425/10*), et noté *PV10* aux taux d'incorporation de 20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée respectivement $PV10/_{20}$, $PV10/_{30}$, $PV10/_{40}$ et $PV10/_{50}$;
- ✓ Les pâtés contenant l'amidon de manioc *2425* modifié pendant 20 min. (*2425/20*), noté *PV20* aux taux d'incorporation de 20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée respectivement $PV20/_{20}$, $PV20/_{30}$, $PV20/_{40}$ et $PV20/_{50}$;
- ✓ Les pâtés contenant l´amidon de pomme de terre *Sipiera* modifié pendant 10 min. (*PSi10*) aux taux d'incorporation de 20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée respectivement $PSi10/_{20}$, $PSi10/_{30}$, $PSi10/_{40}$ et $PSi10/_{50}$;
- ✓ Les pâtés contenant l´amidon de pomme de terre *Sipiera* modifié pendant 20 min. (*PSi20*) aux taux d'incorporation de 20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée respectivement $Psi20/_{20}$, $PSi20/_{30}$, $PSi20/_{40}$ et $PSi20/_{50}$;
- ✓ Le pâté témoin qui contient l'amidon de pomme de terre importé à la dose de 50g/kg de mêlée noté $P_{Témoin}$.

II.4.2.2- Caractéristiques physico-chimiques et texturales des pâtés aux amidons modifiés

Les paramètres physico-chimiques et texturaux qui sont les mêmes que ceux effectués sur les pâtés aux amidons natifs ont été mesurés sur les pâtés aux amidons acétylés, selon les mêmes procédures (figure 19).

II.4.2.3- Dispositif expérimental et analyses statistiques des résultats

Le dispositif expérimental pour cette partie de l'étude est un plan factoriel 2 x 2 x 4 soit 2 genres d'amylacées, 2 temps de modification et 4 taux d'incorporation dans les pâtés. Trois essais ont été réalisés pour chaque type d'analyse.

Les analyses statistiques ont été effectuées selon la procédure décrite dans la partie II.3-.

Partie III : Résultats et discussion

III.1- LES AMIDON NATIFS : CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET RHEOLOGIQUES

III.1.1- Composition chimique des amidons natifs

L'amidon contient des constituants mineurs tels que les protéines, les lipides et les minéraux. Ces constituants, bien que présents en faibles quantités (<2%), sont susceptibles de modifier le comportement général de l'amidon sans toutefois en changer les bases physico-chimiques (Duprat *et al.*, 1980). La composition globale exprimée en pourcentages de Matière Sèche (%MS) des amidons natifs produits ainsi que de l'amidon de pomme de terre commercial (témoin) qui a servi de témoin est donnée dans le tableau 5.

Tableau 5 : Composition globale des amidons (en %MS)

Amidons		Humidité	Lipides	Protéines (Nx6,25)	Sucres totaux	Cendres	P*
Pomme de terre	***Témoin***	18,33±0,15^{e}	0,25±0,02^{bc}	0,15±0,04^{a}	85,37±2,64^{a}	0,33±0,02^{d}	89,95±1,51^{e}
	Sipiera	10,85±0,04^{d}	0,91±0,09^{d}	0,17±0,02^{a}	85,77±3,31^{a}	0,17±0,03^{bc}	36,69±1,96^{c}
	Tselefou	10,29±0,12^{c}	0,02±0,00^{a}	0,24±0,05^{ab}	94,31±2,53^{b}	0,30±0,02^{d}	69,12±1,41^{d}
Manioc	***2425***	8,58±0,12^{a}	0,16±0,04^{b}	0,34±0,05^{b}	81,02±2,21^{a}	0,11±0,01^{ab}	8,71±0,03^{ab}
	4115	10,18±0,03^{c}	0,28±0,06^{c}	0,19±0,02^{a}	85,68±3,74^{a}	0,11±0,03^{a}	7,00±0,20^{a}
	Seedling	8,79±0,07^{b}	0,16±0,02^{b}	0,15±0,07^{a}	82,10±4,28^{a}	0,23±0,03^{c}	11,26±0,05^{b}

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différents (P > 0,05).
***** en mg/100g

L'humidité joue un rôle important dans l'écoulement et d'autres propriétés mécaniques des amidons (Shieldneck et Smith, 1971). L'humidité des différents amidons étudiés varie de 8,58±0,12 à 18,33±0,15% pour l'amidon *2425* et l'amidon témoin respectivement. A l'exception de l'amidon témoin, les teneurs en eau des amidons natifs locaux de pomme de terre et de manioc étudiés se trouvent dans un intervalle acceptable (10 à 14%) pour une bonne conservation des produits secs (Thomas et Atwell, 1999 ; Sriroth, Piyachomkwan, Wanlapatit et Oastes, 2000). Ces teneurs en eau diffèrent significativement (p<0,05) les unes

des autres aussi bien entre les amidons des cultivars de pomme qu'entre les cultivars de manioc. Les différences des teneurs en eau des amidons peuvent être attribuées à leurs dissemblances physico-chimiques (Zurima et Elevina, 2002). Les valeurs de la teneur en eau obtenues pour les amidons locaux sont inférieures à celles enregistrées par Elevina, Forrest, Emperatri´z (2005) pour l'amidon de macabo, de taro et de manioc soit : 13,83 ; 14,01 et 13,63% respectivement à l'exception de l'amidon témoin. Ceci peut s'expliquer par la différence de composition physico-chimique des amidons, mais aussi de l'humidité de l'atmosphère dans lequel ils ont été conservés.

Les teneurs en lipides des amidons varient de 0,02±0,00 à 0,91±0,09% avec la plus faible teneur attribuée au cultivar *Tselefou* et la plus grande au cultivar *Sipiera*. Ces résultats varient de façon significative (P<0,05) d'un cultivar à l'autre, indépendamment de l'origine botanique. Ces teneurs en lipides sont inférieures à celles trouvées dans l'amidon de maïs (1,22±0,16%) par Sangeetha et Raï (2006). Cependant, elles sont proches des résultats de Gunaratne et Hoover (2002) qui ont obtenu 0,02 ; 0,08 ; 0,09 ; 0,06 et 0,08% respectivement pour les amidons d'igname, de taro, de macabo et de pomme de terre. Les lipides tout comme les protéines sont des éléments de trace, dans les amidons. Leurs teneurs sont généralement inférieures à 1,5% (Whistler 1964). Les teneurs élevées en lipides dans les amidons peuvent provoquer dans les aliments où ils sont incorporés une mauvaise flaveur, une turbidité élevée, une température de gélatinisation élevée et une faible viscosité (Roller, 1996).

Les ***protéines brutes*** (N x 6,25) dans les différents amidons varient de 0,15±0,04 à 0,34±0,05% pour le témoin et le cultivar *2425* respectivement. Les teneurs en protéines des amidons des cultivars de pomme (*Témoin, Sipiera, Tselefou*) ne diffèrent pas de façon significative (p>0,05) les unes des autres tandis que pour les amidons des cultivars de manioc (*2425, 4115, Seedling*), le cultivar *2425* diffère significativement (P<0,05) des deux autres (*4115, Seedling*), mais pas du cultivar de pomme de terre *Tselefou* (P>0,05). On en conclut que les teneurs en protéines des amidons étudiés ne dépendent pas de l'origine botanique de l'amidon. Les teneurs en protéines de l'amidon de manioc du cultivar *Seedling* et de l'amidon témoin (0,15±0,07 et 0,15±0,04% respectivement) sont proches de celle indiquée par Gunaratne et Hoover (2002) pour l'amidon de manioc (0,13%). Cependant, la teneur en protéines brutes obtenue par les mêmes auteurs pour l'amidon de pomme de terre (0,56%) est largement supérieure à celles des amidons des cultivars de pomme analysés dans cette étude. Ces observations permettent de penser que la teneur en protéines brutes des amidons serait liée à la nature du sol.

Les teneurs en sucres totaux varient de 81,02±2,21% (*2425*) à 94,31±2,53% (*Tselefou*). Seule la teneur en sucres totaux de l'amidon du cultivar de pomme de terre *Tselefou* diffère significative (P<0,05) de celles de tous les autres amidons. La pureté de cet amidon qui est la plus élevée serait l'une des causes de cette différence. L'histoire technologique (Duprat *et al.,* 1980) des amidons pourrait également expliquer cette différence. A l'exception de l'amidon *Tselefou,* les teneurs en sucres totaux des autres amidons sont proches de celles indiquées dans la littérature, soient 87,7% pour l'amidon de manioc et 88% pour l'amidon d'igname (Freitas, Paula, Feitosa, Rocha et Sierakowski, 2004).

Les teneurs en cendres des différents amidons sont également données dans le tableau 5. Celles-ci sont représentatives des teneurs en minéraux. Elles varient de 0,11±0,01% (*2425*) à 0,33±0,02% (témoin). L'analyse statistique montre que la teneur en cendres varie d'un amidon à l'autre et ceci indépendamment de l'origine botanique. La nature du sol et le climat des zones de culture des plantes pourraient être à l'origine de ces différences (Vasanthan Bergthaller, Driedger, Yeung et Sporns, 1999). Les teneurs en cendres des amidons des différents cultivars de pomme de terre et de manioc étudiés sont proches de celles trouvées par Elevina *et al.* (2005), soient 0,20±0,04 ; 0,31±0,01 ; 0,12±0,02 pour *X. sagittifolium, C. esculanta* et *M. esculanta* respectivement.

Les teneurs en phosphore des amidons étudiés varient de 7,00±0,20 à 89,95±1,51mg/100g (MS) pour l'amidon *4115* et l'amidon témoin respectivement. Les teneurs en phosphore des amidons des cultivars de pomme de terre sont significativement supérieures (P<0,05) à celles des amidons des cultivars de manioc et diffèrent les unes des autres (P<0,05). L'amidon témoin a la teneur en phosphore la plus élevée (P<0,05), environ dix fois celles des amidons des cultivars *2524* (8,71±0,03mg/100g MS) et *4115* (7,00±0,20mg/100g MS). Les teneurs en phosphore de l'amidon témoin et de l'amidon du cultivar de pomme de terre *Tselefou* sont supérieures à celle indiquée par Singh, Singh, Kaur, Singh et Singh (2003) pour l'amidon de pomme de terre (4,8mg/100g MS). Cette différence pourrait être le fait non seulement de la nature du sol mais aussi de l'histoire technologique de ces amidons.

La pureté des amidons représente uniquement l'évaluation des molécules de glucose contenues dans l'amylose et l'amylopectine des amidons étudiés, converties en amidon par un facteur : 0,9 (http://admi.net/eur/loi/leg_euro/fr_387R4154.html, 1999). Les valeurs de pureté des amidons étudiés données dans le tableau 6 varient de 72,91±1,99 (*2425*) à 84,88±2,28% (*Tselefou*). Ces résultats montrent qu'il est difficile d'obtenir du manioc et d'autres tubercules de l'amidon pure, à cause de la présence des fibres et d'autres constituants mineurs (Elevina

et al., 2005). La pureté des amidons étudiés est inférieure à celle trouvée par Elevina *et al.* (2005) : 99,06 ; 98,85 et 99,54% pour *X. sagittifolium, C. esculanta* et *M. esculanta* respectivement. Cette différence pourrait s'expliquer par les méthodes d'extraction de ces différents amidons, par les teneurs en fibres des matières premières de départ et dans une moindre mesure par l'origine botanique de ces derniers (Duprat *et al.,* 1980). Seule la pureté de l'amidon du cultivar *Tselefou* diffère significativement de celles des autres.

Tableau 6 : Puretés, teneurs en amidons endommagés, en amylose (%MS) et pH des amidons natifs

Amidons		Puretés des amidons	Amidons endommagés	Amylose	pH
Pomme de terre	***Témoin***	76,83±2,37^{a}	17,84±0,58^{a}	23,49±3,02^{b}	6,96±0,04^{c}
	Sipiera	77,19±2,98^{a}	17,19±1,28^{a}	32,14±3,43^{c}	5,49±0,18^{a}
	Tselefou	84,88±2,28^{b}	25,74±0,81^{b}	38,40±1,20^{d}	7,11±0,21^{c}
Manioc	***2425***	72,91±2,00^{a}	26,55±1,24^{b}	24,31±2,89^{b}	5,55±0,01^{a}
	4115	77,11±3,37^{a}	27,48±0,72^{b}	16,33±2,50^{a}	6,56±0,16^{b}
	Seedling	73,89±3,85^{a}	25,59±1,61^{b}	14,09±1,36^{a}	5,43±0,05^{a}

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différents (P > 0,05)

L'évaluation de ***la teneur en amidons endommagés*** est un indice du degré de modification de la structure des granules d'amidon liée au procédé technologique d'extraction-broyage. Le degré d'endommagement d'un amidon a une influence sur ses propriétés fonctionnelles et rhéologiques (Mariotti, Alamprese, Pagani et Lucisano, 2006). La teneur en amidons endommagés varie de 17,19±1,28 à 27,48±0,72%, avec la teneur la plus faible attribuée à l'amidon du cultivar de pomme de terre *Sipiera* et la plus élevée observée avec l'amidon du cultivar de manioc *4115*. A l'exception de l'amidon du cultivar de pomme de terre *Tselefou*, le taux d'endommagement est plus important pour les amidons des cultivars de manioc qui ne diffèrent pas les uns des autres (P>0,05). Le taux d'endommagement des amidons est fonction à la fois de la structure du granule et des traitements mécaniques subis lors de la mouture (Massaux *et al.*, 2006).

La teneur en amylose influence les propriétés fonctionnelles des amidons telles que la capacité de rétention d'eau et la rétrogradation lors de leur utilisation dans les industries agroalimentaires (Adebowale et Lawal, 2003). Les amidons des pommes de terre *Tselefou* (38,40±1,20%) et *Sipiera* (32,14±3,43%) ont les teneurs en amylose les plus élevées (P<0,05). La plus faible est notée pour l'amidon du cultivar de manioc *Seedling* qui n'en contient que 14,09±1,36%. Les valeurs pour les cultivars *2425* et témoin sont proches de celles indiquées par Hoover et Hadziyev (1981) pour la pomme de terre (25,24%), par Gallant, Bew, Buy, Bouchet, Szylit et Sealy (1982) pour *D. alata* (22,8%) et *D. cayensis* (21,6%) et par Delfloor, Dehing et Delcourt (1998) pour *M. esculanta* (23,6%). Il existe une différence significative (P<0,05) entre les trois cultivars de pomme de terre. Les conditions physiologiques lors de la synthèse de l'amylose et le cultivar peuvent expliquer cette différence (Banks et Greenwood, 1975). Les cultivars de manioc *4115* et *Seedling* ne diffèrent pas significativement (P>0,05) l'un de l'autre, il en est de même pour le cultivar 2425 et le témoin qui sont de variétés différentes.

Au vu des résultats obtenus, les teneurs en amylose des amidons étudiés varient indépendamment de l'origine botanique des amidons. Sur la base de teneur en amylose des amidons étudiés et de leur pureté, il ressort que la teneur en amylopectine des amidons étudiés varie de 45,05 à 60,78%. A l'exception de l'amidon témoin qui a 53,34% d'amylopectine, les teneurs en amylopectines les plus élévées sont celles des amidons de manioc.

Le pH a une influence sur la capacité de rétention d'eau des amidons et leur vitesse de rétrogradation. Le pH est également un paramètre important dans la production des gels d'amidon de viscosité élevée. Le pH optimum pour une bonne gélatinisation est de l'ordre de 7 à 7,5 (Tabilo-Munizaga et Barbosa-Canovas, 2004). Le tableau 6 montre que les valeurs de pH les plus bas sont celles des amidons des cultivars *Seedling*, *sipiera* et *2425* qui sont de 5,43±0,05 ; 5,49±0,18 et de 5,55±0,01 respectivement. Ces valeurs ne sont pas significativement différentes les unes des autres (P>0,05). Le pH le plus élevée est noté pour l'amidon du cultivar de pomme de terre *Tselefou* (7,11±0,21) qui ne diffère pas significativement (P>0,05) de celui de l'amidon témoin (6,96±0,04). Les pH des amidons étudiés varient indépendamment de leur origine botanique. Les pH des amidons des pommes de terre témoin *et Tselefou* sont assez proches de celle (7,15) indiquée par Sangeetha et Raï (2006) pour l'amidon de pomme de terre. Cependant, les valeurs de pH enregistrées par le même auteur pour les amidons de manioc (4,80±0,03) sont légèrement inférieures à celles des amidons des cultivars de manioc *4115, 2425* et *Seedling*. Cette différence pourrait être attribuée à la nature du sol ou à méthode d'extraction de l'amidon.

III.1.2- Caractérisations physiques des amidons natifs

III.1.2.1- Répartition granulométrique

La granulométrie est une caractérisation fondamentale d'un produit pulvérulent. Elle est en relation avec les phénomènes d'échange et de réactivité, qu'ils soient physiques (migration d'eau, séchage, solubilisation), chimiques (oxydation) ou enzymatiques (digestion des aliments) (Melcion, 2000). Le granulomètre laser a permis d'obtenir la répartition des granules d'amidons en fonction de leur diamètre apparent (figure 24).

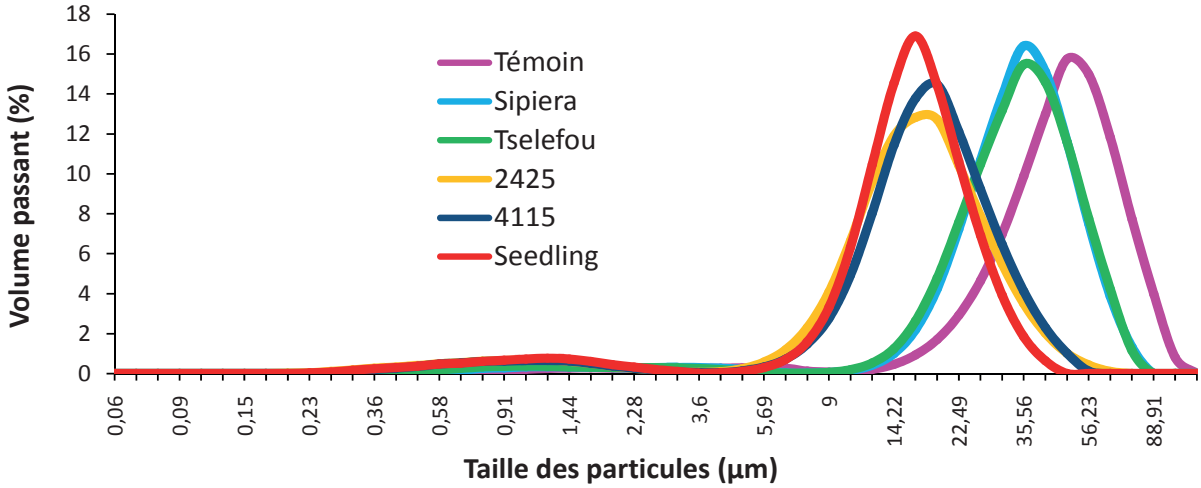


Figure 24 : Courbes de la fréquence de distribution granulométrique des amidons natifs

Les courbes de fréquences montrent une répartition bimodale des amidons de pomme de terre, de manioc ainsi que de l'amidon témoin. Cette répartition traduit le fait que les amidons étudiés sont constitués de deux grandes classes de tailles de granules. Les classes de tailles des amidons de manioc varient de 0,17 (*2425*) à 3,6µm (*Seedling*) et de 3,6 (*2425*) à 65,51µm (*2425*) tandis que celles des amidons de pomme de terre varient de 0,23 à 9µm pour les amidons *Tselefou* et témoin respectivement et de 10,48 à 76,32µm pour les amidons *Tselefou* et témoin respectivement. Cette répartition par classe montre que les granules d'amidon de plus grandes tailles se retrouvent parmi les amidons des cultivars de pomme de terre. Par ailleurs, l'amidon témoin contient des granules de taille supérieure à celle des amidons de cultivars de pomme de terre locales. La forme en cloche de toutes les courbes traduit une distribution homogène des granules des amidons analysés. De ces courbes on retient

également que le diamètre médian (D(v ;0,5)) (annexe 2) qui désigne la taille du granule d'amidon pour laquelle 50% de l'échantillon a une taille inférieure, est d'autant plus grand que la courbe de fréquence de distribution tend vers les tailles de granulométries les plus élevées. Le diamètre médian le plus grand est celui de l'amidon témoin (43,58 ± 0,08µm) et le plus petit, celui de l'amidon du cultivar de manioc *Seedling* (14,99 ± 0,00µm). L'analyse statistique montre que les diamètres médians de ces amidons diffèrent tous les uns des autres et de celui de l'amidon témoin. Les valeurs des diamètres médians des amidons de manioc sont assez proches des données de la littérature (16,4µm) (Angellier, 2005) pour l'amidon de manioc. En plus du diamètre médian d'autres paramètres granulométriques ont été évalués (annexe 2) parmis lequels l'étendue de la distribution granulométrique et le diamètre moyen.

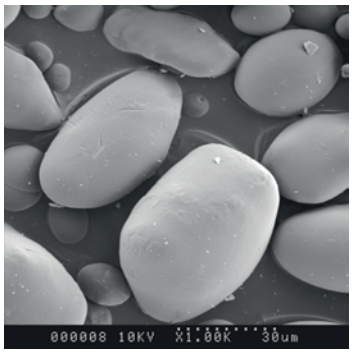
L'étendue de la distribution granulométrique (Span) est plus grande ($P<0,05$) pour les amidons des cultivars locaux de pomme de terre qui ne présentent pas de différence significative entre eux contrairement aux amidons des cultivars locaux de manioc. La valeur de Span la plus élevée ($P<0,05$) est celle de l'amidon témoin. Le diamètre moyen des amidons des cultivars de manioc est compris entre 15,27±0,00 et 17,41±0,09µm et celui des cultivars de pomme de terre entre 32,75±0,02 et 44,16±0,13µm. Ces valeurs sont proches de celles de Gunaratne et Hoover (2002) pour l'amidon de manioc (20µm) et de pomme de terre (45µm).

La taille et la répartition granulométrique des amidons sont liés à l'origine botanique (Angellier, 2005) et dans une certaine mesure au type de broyeur utilisé et de la teneur en eau des amidons. En effet, une corrélation significative ($R=0,86$) existe entre les paramètres granulométriques étudiés et la teneur en eau des amidons.

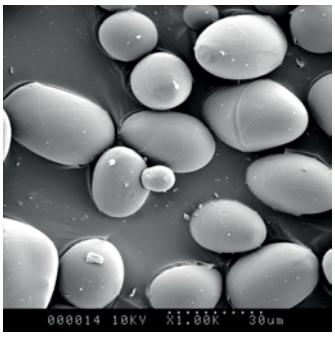
Sur le plan technologique, l'existence d'une corrélation significative entre les paramètres granulométriques étudiés et la CRE ($R=0,88$) permet de dire que la taille et la répartition granulométrique des amidons étudiés auront une influence sur les propriétés texturales des aliments dans lesquels ils seraient incorporés. En effet, des travaux ont montré qu'un amidon riche en petits granules, (le cas des amidons de manioc) constitue un bon substitut de matière grasse (Massaux *et al.*, 2006).

III.1.2.2- Observation morphologique des amidons

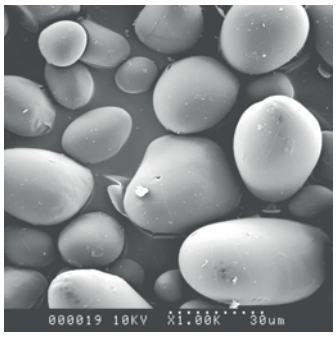
La microscopie électronique à balayage (MEB) au grossissement X 1000 a été faite pour apprécier l'aspect (forme, répartition granulométrique, intégrité) des granules des amidons étudiés. Les images obtenues (photographie 1) aideront à expliquer certains de leurs comportements.



Témoin

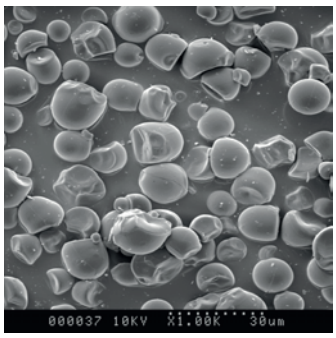


Sipiera

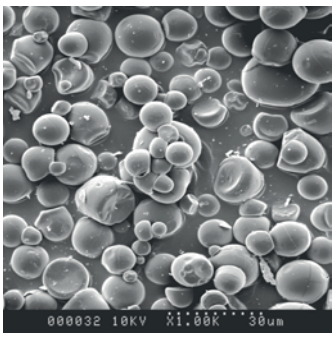


Tselefou

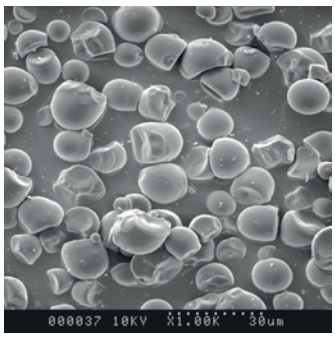
Amidons de pomme de terre



2425



4115



Seedling

Amidons de manioc

Photographie 1 : Photos des amidons natifs réalisées en microscopie électronique à balayage au grossissement X 1000

Les photos obtenues par MEB des amidons des cultivars de pomme de terre locales et de l'amidon de pomme de terre commercial font apparaître une population de particules constituées de granules d'amidon de grandes et de petites tailles ainsi que des impuretés qui pour la plupart seraient des fibres ou des particules d'amidons endommagés. Ces amidons de pomme de terre sont pour la plupart constitués de granules de forme ellipsoïdale. Les photos des amidons des cultivars de manioc font apparaître une population de particules plus hétérogènes en tailles et en formes. Ces particules sont plus petites comparées à celles des amidons de pomme de terre et ont des formes hémisphériques, sphériques et tronquées (Duprat *et al.,* 1980). Ces différences observées entre les amidons de pomme de terre et de manioc sont liées à l'origine botanique et à l'espèce. En plus des granules intactes sur les photos des amidons de manioc, on note également de nombreuses granules d'amidons endommagés. Cette présence de granules endommagées n'est pas directement liée à l'histoire technologique des amidons, mais serait due à leur structure. Les observations concernant la

taille et la répartition granulométrique des amidons faites sur les photos issues de la MEB confirment celles de la granulométrie Laser.

III.1.2.3- Paramètres trichromatiques des amidons

La couleur (tableau 7) est un attribut perceptif, subjectif, élaboré dans notre système visuel à partir de la lumière renvoyée par les objets et par leur environnement (CIE, 1976). L'amidon est incorporé dans les produits alimentaires car il contribue à l'élaboration de leur texture au travers de leurs propriétés épaississantes et gélifiantes. Cependant sa couleur par l'intermédiaire des attributs que sont la luminance (L*) et les paramètres de chromacité (a* et b*) peut également interférer avec celle du produit alimentaire dans lequel il est incorporé.

Tableau 7 : Paramètres trichromatiques des amidons

	Amidons de pomme de terre			**Amidons de manioc**		
	Témoin	***Sipiera***	***Tséléfou***	***2425***	***4115***	***Seedling***
L*	94,18±0,80^{b}	93,31±0,19^{b}	91,92±0,46^{a}	98,51±0,13^{c}	99,53±0,86^{cd}	99,92±0,59^{d}
a*	-0,15±0,02^{c}	-0,13±0,02^{c}	0,04±0,00^{d}	-0,65±0,02^{b}	-0,61±0,01^{b}	-0,84±0,08^{a}
b*	1,10±0,34^{a}	1,50±0,26^{a}	2,13±0,21^{b}	2,70±0,17b^{c}	3,28±0,47^{c}	2,73±0,02b^{c}

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même ligne ne sont pas significativement différents (P > 0,05)

La clarté ou luminance représente la quantité de lumière réfléchie ou transmise par l'objet analysé, relativement à une surface blanche éclairée de manière identique. Celle des amidons étudiés montrent une variation de 91,92±0,46 (*Tselefou*) à 99,92±0,59% (*Seedling*). Les luminances les plus élevées sont celles des cultivars de manioc, avec plus de 99%. Ces indices de luminance se rapprochent de ceux trouvés par Veiga-santos, Suzuki, Cereda, et Scamparini (2005) pour l'amidon de manioc (valeurs situées dans l'intervalle 98,10 à 98,70). Seule la luminance de l'amidon *Sipiera* ne diffère pas significativement (P>0,05) de celle de l'amidon témoin. Par contre, les amidons des pommes de terre locale sont distincts (P<0,05) entre eux et des amidons de manioc. Cette différence intra (entre les amidons de la même espèce végétale) et interspécifique (entre les amidons d'espèces végétales différentes) peut être attribuée à leurs compositions physico-chimiques et à leurs répartitions granulométriques.

En effet il existe une forte corrélation négative entre L* et la teneur en amylose (R=-0,90), en phosphore (R=-0,82) ainsi que les paramètres granulométriques (R=-0,88) des amidons analysés.

Les paramètres de chromaticité sont des attributs de la sensation visuelle qui permettent de dénifir des couleurs comme le bleu, le rouge, le vert, etc.

Les valeurs de a* varient indépendamment de l'origine botanique de -0,84±0,08 (*Seedling*) à 0,04±0,00 (*Tselefou*). Cependant au seuil de 5%, on note une similitude entre l'amidon de pomme de terre *Sipiera* et l'amidon témoin et entre les amidons de manioc *2425* et *4115*. La valeur de l'amidon de pomme de terre *Tselefou* (0,04±0,00) par contre se démarque de façon significative (P<0,05) de celle de tous les autres amidons locaux et du témoin.

Les valeurs de b* des amidons de manioc sont significativement (P<0,05) les plus élevés et ne diffèrent pas les unes des autres (P>0,05). Celui de l'amidon de pomme de terre *Sipiera* est significativement différent (P<0,05) de celle de son homologue locale et des amidons de manioc mais ne diffère pas significativement (P>0,05) de celle de l'amidon témoin. Les différences observées entre les valeurs de b* sont dues aux variations dans la composition physico-chimique de ces différents amidons (Sun, Zhou, Zhi Guoan et Li, 2007). En effet comme pour L*, on note l'existence des corrélations entre a* et la teneur en amylose (R=0,87), en phosphore (R=0,83) et la granulométrie (R=0,89) des amidons analysés. b* par contre est négativement correlé à la teneur en phosphore (R=-0,83) et à la granulométrie (R=-0,94) des amidons étudiés. De plus une correlation positive est notée entre b* et la pureté (R=0,92). De ces observations, il ressort que les paramètres de chromaticités ne sont pas influencés par les mêmes constituants, et quant c'est le cas, ce n'est pas toujours de la même façon. Ces paramètres ne montrent pas de différence significative (P>0,05) entre l'amidon témoin et l'amidon de pomme de terre de *Sipiera*.

III.1.3- Caractérisations fonctionnelles et rhéologiques des amidons natifs

Les propriétés fonctionnelles d'un produit sont l'expression de leurs caractéristiques physico-chimiques (Jeantet, Croguennec, Schuck et Brulé, 2007).

III.1.3.1- Propriétés thermiques des amidons

L'Analyse Thermique Différentielle (ATD) a été utilisée pour déterminer la température seuil (T_0) qui corespond à la température de début de gélatinisation, la température pic (T_p)

qui est la température optimale pour obtenir le gel le plus épais possible et la température de fin de gélatinisation (T_c). L'enthalpie de gélatinisation (ΔH) des différents amidons étudiés a également été déterminée. Cette analyse permet de prédire le comportement des amidons lorsqu'ils sont soumis à un traitement thermique. Les paramètres thermiques déterminés sont résumés dans le tableau 8. La figure 25 donne un exemple de courbe de gélatinisation, celle de l'amidon de pomme de terre *Sipiera.*

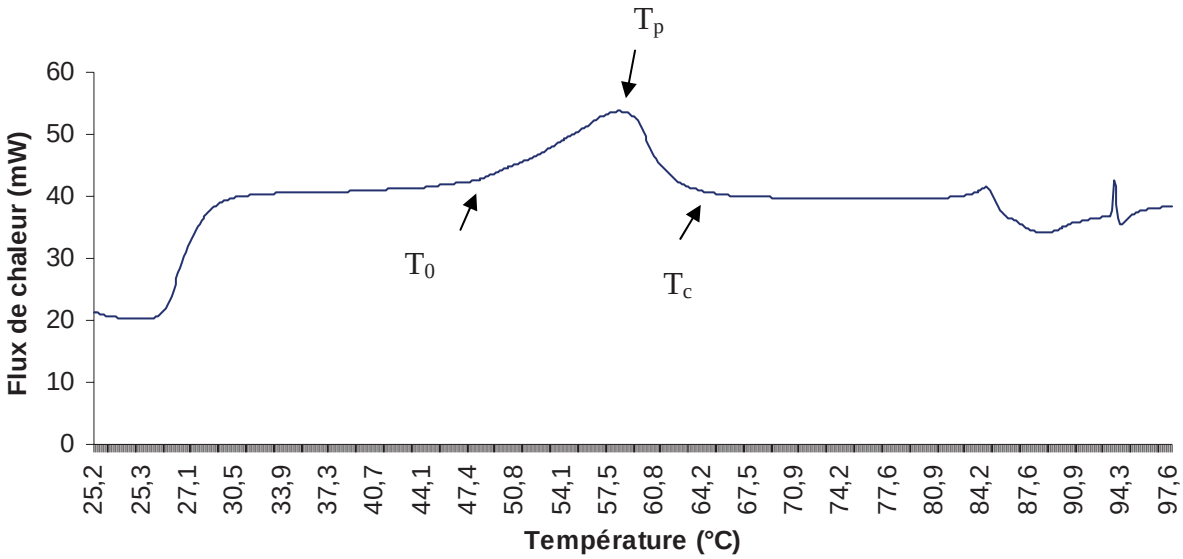


Figure 25 : Exemple de courbe de gélatinisation (amidon de pomme de terre *Sipiera*)

Tableau 8 : Paramètres thermiques des amidons natifs

Amidon		T_0(°C)	T_p(°C)	T_c(°C)	ΔH(j/g)
Pomme de terre	***Témoin***	57,69±0,31^{a}	61,31±2,07^{ab}	64,48±2,95^{ab}	10,26±0,13^{a}
	Sipiera	55,22±0,97^{a}	62,54±4,72^{ab}	65,01±2,89^{ab}	11,49±0,01^{b}
	Tselefou	60,40±1,95^{a}	66,82±0,00^{b}	68,02±0,00^{b}	14,24±0,07^{c}
Manioc	***2425***	82,70±7,29^{b}	87,35±4,01^{c}	90,86±4,60^{c}	14,34±0,00^{c}
	4115	56,40±1,70^{a}	61,06±0,30^{ab}	64,78±0,21^{ab}	16,75±0,98^{d}
	Seedling	55,92±0,32^{a}	58,99±0,00^{a}	61,20±0,06^{a}	13,99±090^{c}

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différents (P > 0,05)

La température de seuil de gélatinisation la plus grande (P<0,05) est celle de l'amidon du cultivar de manioc *2425* (82,70±7,29°C). La divergence observée au niveau de la valeur du premier endotherme (T_0) de gélatinisation de l'amidon du cultivar de manioc *2425* et celles des autres amidons analysés peut être attribuée à sa teneur élevelée en protéines (0,34±0,05%), en effet, le premier endothermes est fortement correlé (R=0,94) avec la teneur en protéines des amidons. Cette différence peut aussi être associée à l'indice de cristallinité des nanocristaux d'amidon, étant donné que le premier endotherme correspond à leur gélatinisation (Donovan, 1979). Les valeurs de T_0 des amidons des cultivars de pomme de terre et celle de l'amidon témoin sont dans l'intervalle [57,00-68,3°C] enregistrées par Singh *et al.* (2003) sur des amidons de pomme de terre.

La température pic de gélatinisation (T_p) est celle qui correspond à la gélatinisation de l'amidon. Elle varie de 58,99±0,00 à 87,35±4,01°C pour les amidons *Seedling* et *2425* respectivement. Seule la valeur de T_p (87,35±4,01°C) de l'amidon de manioc *2425* diffère significativement (P<0,05) de celle de l'amidon témoin (61,31±2,07°C). Les valeurs de T_p des amidons locaux à l'exception de *2425* sont assez proches de celles obtenues par Singh *et al.* (2003) pour des cultivars de pomme de terre (55,7-64,58°C) et par Martinez-Bustos *et al.* (2006) pour des amidons de cultivars de manioc (62,41-63,14). Cette différence entre la T_p de l'amidon du cultivar de manioc *2425* et celle des autres amidons pourrait être attribuée aux différences au niveau de la structure semi-cristalline de ces amidons (Donovan, 1979). La teneur en protéines des amidons est fortement correlée (R=0,96) à T_p, ce qui amène à penser que celle-ci pourrait être à l'origine des différences de T_p enregistrées entre les amidons. Le deuxième endotherme (T_p) est attribué à la dépolymérisation des chaînes d'amidon, ce qui se traduit au niveau structural par la perte de la structure semi-cristalline du granule (Donovan, 1979).

Tout comme pour les deux autres paramètres thermiques (T_0 et T_p), la température de fin de gélatinisation de l'amidon *2425* (90,86±4,60°C) est la plus élevée (P>0,05). Les valeurs de T_c des amidons étudiés à l'exception de l'amidon du cultivar de manioc *2425*, sont comparables aux résultats donnés par Singh *et al*. (2003) (60,6-72,4°C) pour les amidons de pomme de terre et par Martinez-Bustos *et al*. (2006) (68,15-70,80°C) pour des amidons de manioc.

L'enthalpie de gélatinisation est l'énergie nécessaire pour que la gélatinisation ait lieu. Elle varie de 10,26±0,13 (*Témoin*) à 16,75±0,98j/g (*4115*). L'enthalpie de gélatinisation la plus basse est celle de l'amidon témoin (10,26±0,13j/g). La variation d'enthalpie la plus élevée est enregistrée pour l'amidon du cultivar de manioc *4115* (16,75±0,98j/g), et est

significativement différent (P<0,05) des enthalpies des autres amidons. Une forte organisation moléculaire de cet amidon et la compacité de la structure de ses granules pourrait expliquer les différences d'enthalpie des amidons (Krueger, Knutson, Inglett, & Walker, 1987).

III.1.3.2- Capacité de rétention d'eau des amidons

Lors de la cuisson des aliments, les ingrédients qu'ils contiennent sont soumis à des températures croissantes qui peuvent atteindre plus de 100°C en fonction du mode de cuisson. L'amidon au cours du chauffage passe par différentes phases (gonflement, gélatinisation et solubilisation) y compris sa destruction aux températures élevées (Angellier, 2005). Du comportement de l'amidon lors de ces traitements dépend la qualité du produit fini. La CRE des différents amidons entre 60 et 90°C par paliers de 5°C et exprimée en g/g d'amidon est représentée sur la figure 26.

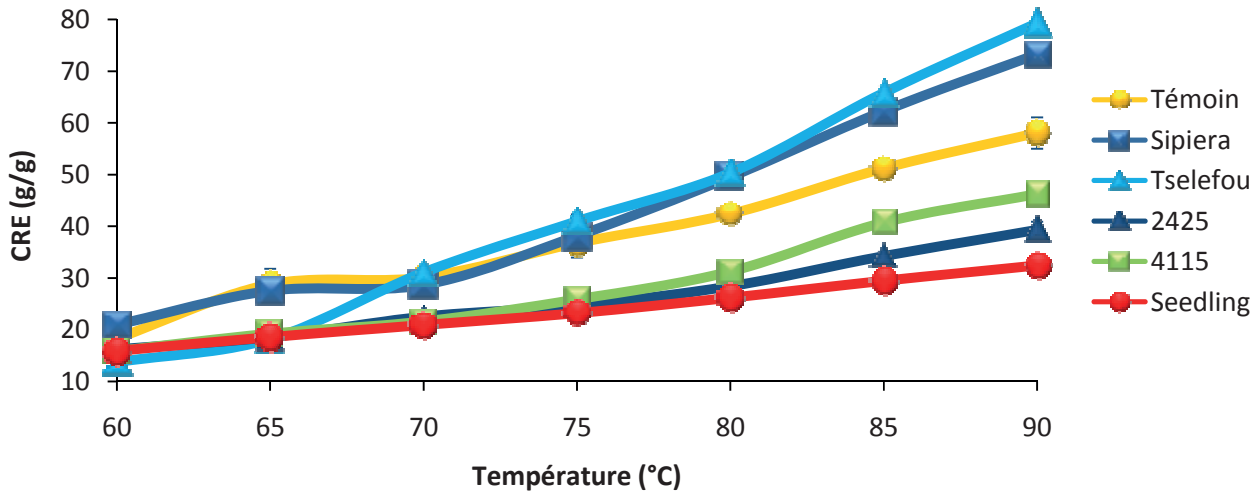


Figure 26 : Evolution de la CRE des amidons natifs en fonction de la température

La CRE des amidons natifs des cultivars de pomme de terre et de manioc augmente avec la température. Les mêmes observations ont été faites par Gunaratne et Hoover (2002) pour les amidons d'igname, de taro, de macabo, de manioc et de pomme de terre. La CRE des amidons natifs de pomme de terre étudiés sont significativement supérieure (P<0,05) à celle des amidons natifs de manioc. A première vue, ceci peut être attribuée à la différence de tailles des granules d'amidon. Aux températures élevées (à partir de 70°C pour certains amidons) le cas des amidons de pomme de terre, en présence d'un excès d'eau, les ponts

hydrogènes stabilisant la structure semi-cristalline des amidons se rompent et sont remplacés par des molécules d'eau (Tester et Karkalas, 1996). Les granules d'amidon de pomme de terre ayant un diamètre plus grand, retiennent plus d'eau. En effet, on note une corrélation significative et positive (R=0,88) entre la CRE et les paramètres de granulométrie des amidons. Pour les amidons de pomme de terre, dans l'intervalle de température 60-65°C, on note une augmentation relative de la CRE de l'amidon témoin et de *Sipiera* qui se stabilise entre 65 et 70. Dans cet intervalle de température, la CRE de l'amidon témoin et *Sipiera* est supérieure à celle de *Tselefou.* L'augmentation de la CRE de *Tselefou* est plutôt observée à partir de 65°C. Les phénomènes observés ci-dessus pourraient s'expliquer par le fait que les amidons témoin et *Sipiera* ont des T_0 de 57,69±0,31 et 55,22±0,97°C respectivement et sont inférieures à celle de *Tselefou* (60,40±1,95°C), d'où un déclenchement de la gélatinisation précoce avec comme conséquence une CRE plus élevée dans l'intervalle de température 60-70°C. Par contre entre 70-90°C, l'explication serait la structure semi cristallines et la teneur en amylose des amidons qui ont une incidence certaine sur les propriétés fonctionnelles des amidons (Seow et Thevalalar, 1993). L'existence d'une corrélation positive entre la CRE et la teneur en amylose (R=0,86) des amidons vient conforter cette explication.

Pour la CRE des amidons de manioc, une différence importante n'est pas notée entre 60 et 70°C bien qu'une différence significative soit observée entre la valeur de T_0 de *2425* et celles de *4115* et *Seedling.* Il semble qu'une combinaison de facteurs (teneur en amylose et amylopectine, structure de l'amylose et de l'amylopectine, structure semi-cristalline des amidons) influence la CRE des amidons, confirmant les corrélations mentionnées plus haut.

En somme, les différences entre les amidons locaux et le témoin pourraient être attribuées non seulement aux différents paramètres mentionnés plus haut (Granulométrie, teneur en amylose, cristallinité…), mais aussi à la technique d'extraction utilisée.

III.1.3.3- Capacité de rétention d'huile

Les amidons natifs ne contenant pas des groupements apolaires, leur Capacité de Rétention d'Huile (CRH) (figure 27) est essentiellement due à l'emprisonnement des molécules d'huile dans leur structure (Abu, Duodu et Minnaar, 2006). La CRH des amidons varie de 0,54g/g (*Tselefou*) à 0,69g/g (*4115*). Le test de comparaison multiple de Duncan laisse apparaître que les CRH des amidons de pomme de terre ainsi que du témoin ne diffèrent pas significativement (P>0,05) les unes des autres. Il en est de même pour les amidons de manioc

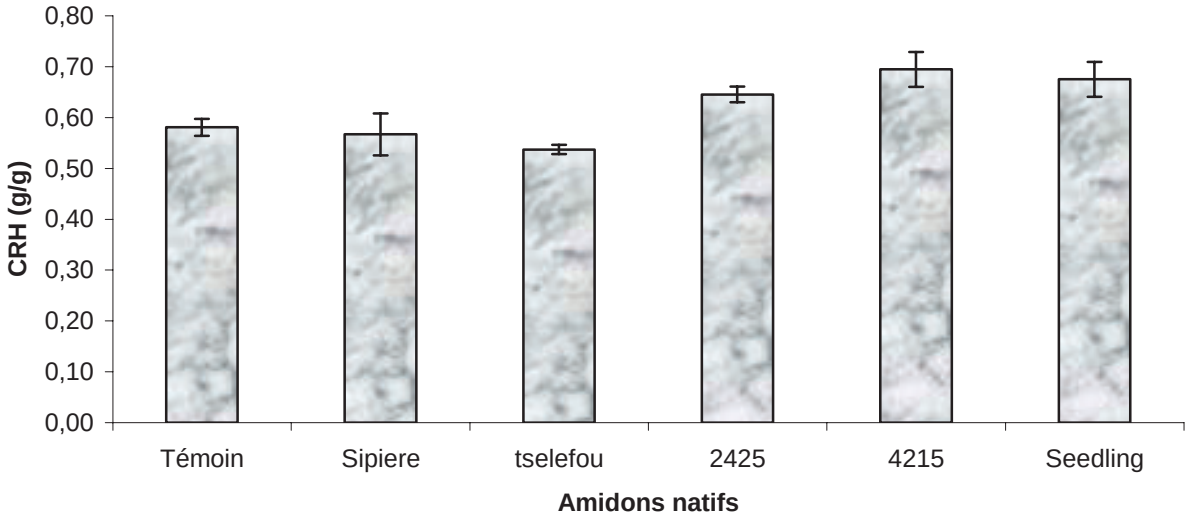


Figure 27 : Capacités de rétention d'huile des amidons natifs

mais ici, seule la CRH de l'amidon de manioc *2425* n'est pas significativement différent (P>0,05) du témoin.

La CRH des amidons de manioc est significativement supérieure (P>0,05) à celle des amidons de pomme de terre. En effet, les amidons de manioc ayant des granules de plus petites tailles, à masse égale, on a une surface spécifique plus grande pour les amidons de manioc que pour les amidons de pomme de terre. Ce qui implique que la taille des granules d'amidons serait à la base de cette différence. Les valeurs de la CRH enregistrées pour les amidons étudiés sont inférieures à celle trouvée par Abou *et al.* (2006) pour l'amidon des pois de terre (0,78g/g). Cette différence entre les valeurs de la CRE peut être liée à la différence de taille de leurs granules d'amidon et même de leurs structures.

III.1.3.4- Paramètres rhéologiques des gels d'amidon

Lors de la transformation ou de la formulation des produits alimentaires, les propriétés intrinsèques des ingrédients et leurs interactions modifient profondément et de façon irreversible leur texture. C'est le cas des amidons à travers les paramètres rhéologiques de leur gel (Scher, 2006).

Pour la détermination des paramètres rhéologiques des gels d'amidon, le modèle de Ostwald de Waele plus connu sous le nom "loi de puissance" a été utilisé. Ce modèle est couramment utilisé pour beaucoup de produits non newtoniens, y compris les gels d'amidon (Doublier, 1987; Holland et Bragg, 1995; Santoyo, 1997; Rao et Tattiyakul, 1999; Santoyo,

Santoyo- Gutiérrez, Garcıa, Espinosa, et Moya, 2001; Sopade et Kiaka, 2001). Des données issues de l'analyse rhéologique des différents amidons, ont été déduits l'indice d'écoulement (n), le coefficient de régression R et l'indice de consistance (K) (tableau 9).

Tableau 9 : Paramètres de viscosité des gels d'amidons

	Amidons de pomme de terre			**Amidons de manioc**		
	Témoin	***Sipiera***	***Tselefou***	***2425***	***4115***	***Seedling***
n	$0,58\pm0,01^{bc}$	$0,76\pm0,10^{d}$	$0,63\pm0,02^{cd}$	$0,46\pm0,00^{ab}$	$0,42\pm0,10^{a}$	$0,42\pm0,01^{a}$
K	$2,62\pm0,15^{ab}$	$1,56\pm0,30^{a}$	$3,62\pm0,82^{ab}$	$4,14\pm1,07^{b}$	$4,65\pm1,66^{b}$	$4,18\pm0,62^{b}$
R	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,99

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même ligne ne sont pas significativement différents (P > 0,05).

Les courbes d'écoulement laminaire reliant la contrainte de cisaillement (τ) et la vitesse de cisaillement (γ) montrent que tous les amidons ont un comportement rhéofluidifiant. Comme on peut l'observer sur la figure 28.

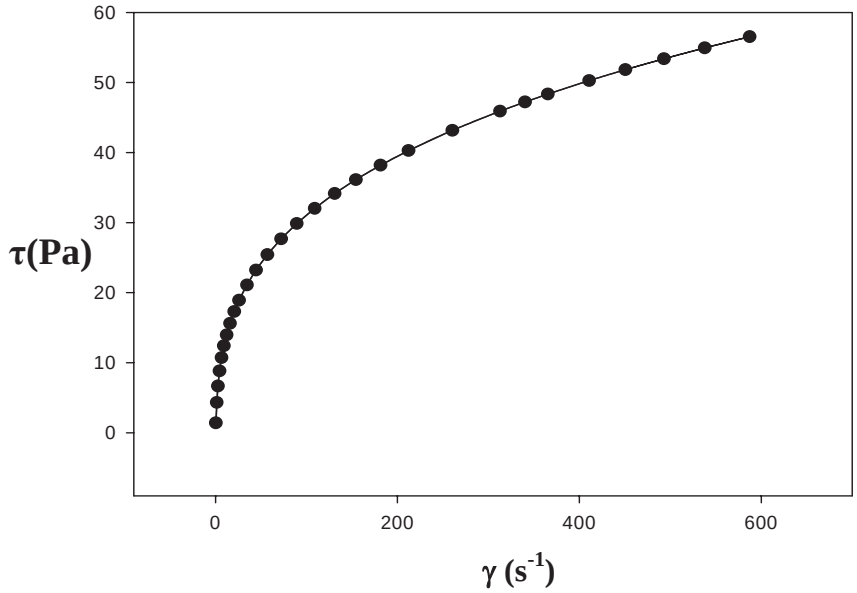


Figure 28 : Exemple de courbe d'écoulement laminaire des amidons natifs

Ce comportement se traduit par l'absence de relation linéaire entre τ et γ et une diminution de τ/γ lorsque γ augmente. Un tel comportement n'obéit pas au modèle newtonien

(Nunez-Santiago, Santoyo, Bello-Perez et Santoyo-Gutiérrez, 2003). Ces observations confirment le fait que les gels des amidons préparés dans cette étude sont des fluides non newtoniens ou pseudoplastiques. C'est le comportement d'un fluide pour lequel la viscosité diminue pour des vitesses de cisaillements croissantes (Nunez-Santiago *et al.*, 2003). Les indices d'écoulement (n) des différents gels préparés (5% chauffés à 70°C pendant 30min.) sont inférieurs à 1, ce qui confirme que ces gels sont rhéofluidifiants. Les valeurs de n varient de 0,42±0,01 (*Seedling*) à 0,76±0,10 (*Sipiera*) avec les valeurs les plus élevées appartenant aux amidons de pomme de terre. Le test de comparaison multiple de Duncan indique que les valeurs de n des amidons de manioc ne sont pas significativement diffèrent (P>0,05) les unes des autres. Il en est de même pour les amidons de pommes de terre locales. Seule l'indice d'écoulement de l'amidon de pomme de terre *Tselefou* et celui de l'amidon de manioc *2425* ne sont pas significativement distincte (P>0,05) de celle de l'amidon témoin. Les valeurs de n des amidons de pomme de terre sont proches de celles enregistrées par Nunez-Santiago *et al.* (2003) pour les amidons de maïs (0,668-0,725). Les dissemblances (P>0,05) entre les valeurs de l'indice d'écoulement des amidons de pomme de terre et de manioc peuvent être attribuées à la différence de leur CRE, leur teneur en amylose et dans une moindre mesure à la taille et à la répartition granulométrique des amidons. En effet, l'indice d'écoulement et la capacité de rétention d'eau des amidons sont fortement corrélés (R=0,93), il en est de même pour la teneur en amylose (R=0,81).

L'indice de consistance des amidons étudiés varie de 1,56±0,30 à 4,65±1,66 pour les amidons *Sipiera* et *4115* respectivement. Les amidons de manioc ont une consistance significativement plus élevée (P<0,05) que celles des amidons de pomme de terre. Sous réserve des interactions avec les autres constituants alimentaires, les amidons de manioc permettraient d'obtenir des aliments de viscosités plus élevées. L'indice de consistance des amidons de manioc ne diffèrent pas significativement (P>0,05) les uns des autres, il en est de même pour les amidons de pomme de terre. Ces deux types d'amidons ne sont pas significativement différents (P>0,05) de l'amidon témoin. L'indice de consistante serait également influencé par le taux d'endommagement de l'amidon (R=0,95). Il existe une corrélation hautement significative entre l'indice de consistance (K) et l'indice d'écoulement (n) de chacun des amidons (tableau 9).

III.1.3.5- Rétrogradation des amidons natifs

La rétrogradation des amidons natifs a été évaluée en mesurant leur synérèse (%) (figure 29). La synérèse est une séparation de phase de type polymère-eau aboutissant à l'écoulement de l'eau du gel d'amidon.

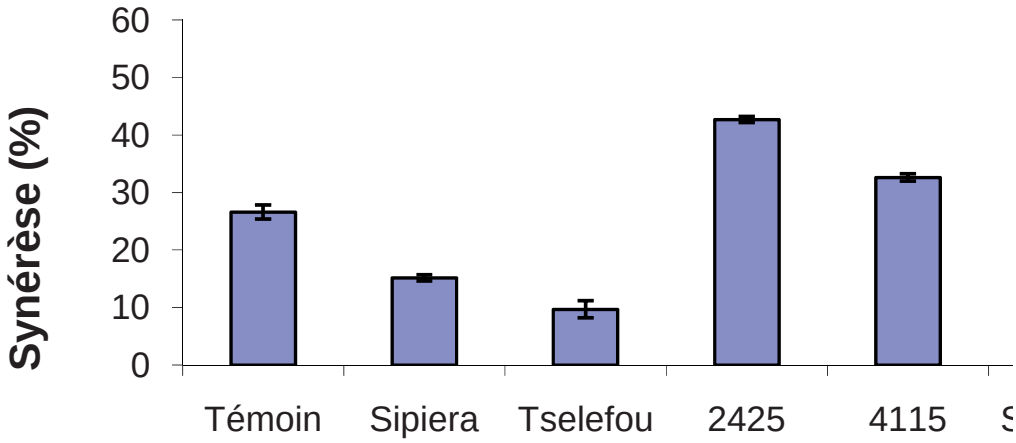


Figure 29 : Synérèse des amidons natifs

Les synérèses des amidons varient de 9,69±1,46% (*Tselefou*) à 53,51±0,08% (*Seedling*). Il ressort de la figure 29 que les pourcentages de synérèse des amidons de manioc sont les plus élevées ($P<0,05$). Les différences dans la structure semicristalline des amidons ainsi que leurs teneurs en lipides expliqueraient les différences ($P<0,05$) de synérèse des amidons étudiés (Singh *et al.*, 2002).

L'analyse en composantes principales (figure 30) des résultats de la rétrogradation et de toutes les autres analyses faites sur les amidons natifs et témoin, montre que l'amidon de pomme de terre *Sipiera* est celui qui se rapproche le plus du témoin. Les paramètres ayant contribués à ce regroupement sont l'humidité, le diamètre médian, le Span, les teneurs en cendres, en phosphore, en lipides et le pH (annexe 3).

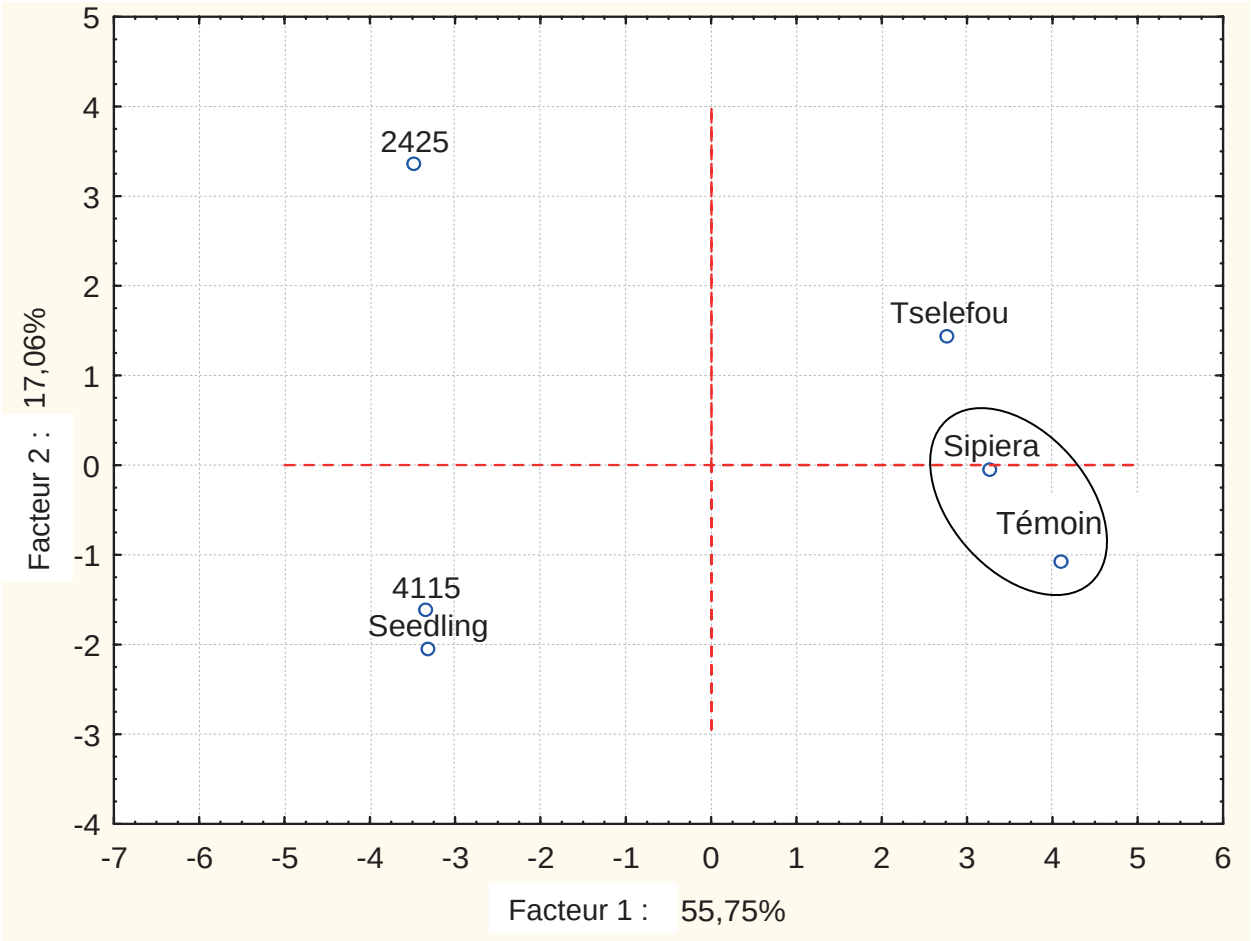


Figure 30 : Regroupement des amidons natifs suivant leurs affinités sur la base de leurs propriétés physicochimiques et fonctionnelles

III.1.4- Conclusion partielle

Les résultats obtenus dans cette partie permettent de noter que pour la composition globale, seule l'humidité des amidons diffèrent significativement les unes des autres. La teneur en phosphore des amidons de pomme de terre est significativement supérieure à celle des amidons de manioc. Les taux de lipides, protéines, sucres totaux et cendres par contre montrent des similitudes entre des amidons d'origines botaniques différentes. Les caractérisations physiques des amidons font ressortir un certain nombre de similitudes entre les amidons provenant de la même espèce botanique. C'est le cas de la microscopie électronique à balayage qui montre des similitudes morphologiques entre les amidons de pomme de terre d'une part et les amidons de manioc d'autre part. Par ailleurs, de l'évaluation de la répartition granulométrique, il ressort que même si les paramètres de la répartition granulométrique de l'amidon témoin sont significativement différents ($P<0,05$) de celles de tous les amidons locaux natifs, les amidons natifs de pomme de terre locales sont plus proches de l'amidon témoin. Les résultats sur les propriétés fonctionnelles montrent une influence significative de l'origine botanique de l'amidon sur ses propriétés. C'est le cas de la Capacité de Rétention d'Eau (CRE) à chaud qui est significativement plus élevée pour las amidons de pomme de terre. La Capacité de Rétention d'Huile (CRH) l'est plutôt pour les amidons de manioc. Les paramètres thermiques des amidons natifs ne répondent pas à cette logique, ceux-ci varient indépendamment de l'origine botanique.

En somme de cette partie de l'étude, il ressort de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) que de tous les amidons natifs, celui du cultivar de pomme de terre *Sipiera* se rapproche le plus du témoin suivi de l'amidon du cultivar de pomme de terre *Tselefou*.

III.2- PATE A BASE D'AMIDONS NATIFS : CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET TEXTURALES

III.2.1- Influence des types d'amidon et de leurs taux d'incorporation sur la composition globale des pâtés crus et cuits

Les amidons extraits ont été incorporés à différent taux dans les pâtés. Des analyses ont été effectuées afin de déterminer l'influence des types d'amidon et de leurs taux d'incorporation sur la composition globale des différents pâtés crus et cuits. Les résultats sur pâtés crus et cuits sont donnés dans les tableaux 10 et 11 respectivement.

La photographie 2 montre des images des pâtés cuits aux amidons natifs.

Vue latérale Vue de dessus

Photographie 2 : Photos des pâtés cuits aux amidons natifs

L'humidité des pâtés crus varie entre 65,54±0,61 et 67,88±1,22% de Matière Fraîche (MF) pour les pâtés PQ_{50} et PSi_{30} respectivement. Le test de comparaison multiple de Duncan montre une baisse significative ($P<0,05$) de l'humidité des pâtés crus avec l'augmentation du taux d'incorporation des amidons natifs dans les pâtés. Cette variation de l'humidité induite par l'augmentation du taux d'incorporation des amidons dans les pâtés crus est due à leur faible teneur en eau (8,58±0,12 à 10,85±0,04%). Seul à 20g/kg de mêlée, le type d'amidon n'influence pas significativement ($P>0,05$) la teneur en eau des pâtés crus. En effet, les teneurs en eau des amidons natifs diffèrent les unes des autres. Au taux d'incorporation de 50g/kg de mêlée, seuls les pâtés aux amidons natifs de pomme de terre et celui à l'amidon natif de manioc *2524* ne se distinguent pas significativement ($P<0,05$) du pâté témoin.

Tableau 10: Composition globale des pâtés crus en fonction du taux d'incorporation d'amidons natifs (%MF)

	Taux	$P_{Témoin}$	*PSi*	*PT*	*PV*	*PQ*	*PS*
Humidité	20	/	67,72±0,04^{kl}	67,55±0,07^{jkl}	67,42±0,48^{ijkl}	67,75±0,11^{kl}	67,30±0,08^{ijk}
	30		67,88±1,22^{l}	67,02±0,49^{ghi}	66,71±0,22^{fgh}	66,14±0,35^{bcde}	65,94±0,41^{abc}
	40		67,19±0,21^{hij}	66,75±0,46^{fgh}	66,59±0,15^{efg}	66,53±0,22^{defg}	65,68±0,19^{ab}
	50	66,03±0,60^{bc}	66,06±0,35^{bcd}	65,81±0,07^{ab}	66,43±0,29^{cdef}	65,54±0,61^{a}	66,62±0,37^{efg}
Protéines (N x 6,25)	20	/	23,90±1,14^{cd}	24,95±0,15^{gh}	25,39±0,14^{hi}	23,21±0,38^{b}	22,12±0,42^{a}
	30		23,80±0,04^{cd}	25,55±0,14^{i}	25,51±0,10^{i}	23,16±0,05^{b}	23,06±0,87^{b}
	40		24,02±0,04^{cd}	23,73±0,43^{c}	24,49±0,49^{efg}	23,04±0,18^{b}	23,84±0,06^{cd}
	50	23,53±0,71^{bc}	24,03±0,18^{cde}	24,28±0,01^{def}	23,55±0,75^{bc}	23,80±0,16^{cd}	24,68±0,01^{fg}
Lipides	20	/	5,77±0,09^{e}	6,42±0,07^{i}	6,16±0,30^{h}	6,18±0,11^{h}	5,93±0,03^{f}
	30		5,96±0,02^{fg}	5,97±0,00^{fg}	5,60±0,06^{cd}	6,04±0,11^{fg}	5,98±0,10^{fg}
	40		5,99±0,19^{fg}	5,92±0,00^{f}	5,46±0,02^{ab}	6,06±0,00^{gh}	5,63±0,04^{cd}
	50	5,69±0,01^{de}	5,55±0,01^{bc}	5,73±0,01^{de}	5,62±0,20^{cd}	5,38±0,16^{a}	5,67±0,02^{cde}
Cendres totales	20	/	3,56±0,12^{defg}	3,46±0,07^{bcde}	3,55±0,20^{cdef}	3,47±0,11^{bcde}	3,71±0,26^{g}
	30		3,63±0,11^{fg}	3,31±0,01^{a}	3,47±0,09^{bcde}	3,57±0,05^{defg}	3,59±0,16^{efg}
	40		3,41±0,18^{abc}	3,51±0,15^{cdef}	3,34±0,10^{ab}	3,44±0,01^{abcd}	3,61±0,11^{efg}
	50	3,43±0,01^{abcd}	3,49±0,01^{bcdef}	3,47±0,17^{bdce}	3,60±0,19^{efg}	3,40±0,14^{abc}	3,52±0,08^{cdef}

Les moyennes sur la même colonne affectées d'une même lettre en exposant pour le même paramètre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles et avec le témoin. De même, les moyennes sur la même ligne affectées d'une même lettre en exposant ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles.

Tableau 11: Composition globale des pâtés cruits en fonction du taux d'incorporation d'amidons natifs (%MF)

	Taux	$P_{Témoin}$	*PSi*	*PT*	*PV*	*PQ*	*PS*
Humidité	20	/	67,26±0,50^{hi}	67,15±0,21^{ghi}	66,43±0,30^{defgh}	67,56±0,21^{i}	66,01±1,82^{bcdef}
	30		66,83±0,16^{fghi}	66,86±0,60^{fghi}	66,42±0,26^{defgh}	66,48±0,41^{defgh}	65,97±0,67^{bcde}
	40		66,32±0,38^{cdef}	66,72±0,70^{efghi}	65,89±0,26^{abcde}	66,22±0,40^{bcdef}	65,79±0,61^{abcd}
	50	65,73±0,47^{abcd}	65,39±1,01^{ab}	65,84±0,25^{abcd}	65,65±0,36^{abcd}	65,53±0,45^{abc}	65,10±0,54^{a}
Protéines (N x 6,25)	20	/	24,16±0,90^{abc}	25,29±0,36^{def}	28,34±0,48^{g}	23,87±1,02^{ab}	25,05±0,43^{cdef}
	30		23,83±0,30^{ab}	27,74±0,71^{g}	25,57±0,44^{ef}	23,92±1,47^{ab}	27,32±2,33^{g}
	40		25,74±0,06^{f}	25,77±1,32^{f}	25,65±0,22^{ef}	23,14±0,10^{a}	23,97±1,37^{ab}
	50	23,80±0,16^{ab}	24,32±0,37^{bcd}	24,61±1,43^{bcde}	24,39±0,35^{bcd}	25,37±0,35^{def}	24,80±0,51^{bcdef}
Lipides	20	/	6,42±0,91^{a}	6,15±0,68^{a}	6,41±0,38^{a}	6,36±0,43^{a}	6,05±0,54^{a}
	30		6,30±0,97^{a}	6,43±0,69^{a}	5,61±1,08^{a}	6,16±0,69^{a}	6,26±0,75^{a}
	40		6,44±0,70^{a}	5,94±0,59^{a}	6,62±0,60^{a}	5,86±0,94^{a}	6,18±0,90^{a}
	50	6,07±0,81^{a}	6,11±1,10^{a}	6,09±0,76^{a}	6,37±0,67^{a}	6,56±1,03^{a}	6,23±0,68^{a}
Cendres totales	20	/	3,55±0,05^{bc}	3,51±0,15^{abc}	3,68±0,10^{c}	3,47±0,12^{abc}	3,54±0,38^{bc}
	30		3,54±0,07^{bc}	3,49±0,10^{abc}	3,50±0,23^{abc}	3,38±0,19^{ab}	3,54±0,26^{bc}
	40		3,43±0,05^{ab}	3,33±0,11^{ab}	3,47±0,20^{abc}	3,41±0,25^{ab}	3,42±0,17^{ab}
	50	3,42±0,06^{ab}	3,38±0,07^{ab}	3,31±0,16^{a}	3,47±0,20^{abc}	3,34±0,15^{ab}	3,41±0,13^{ab}

Les moyennes sur la même colonne affectées d'une même lettre en exposant pour le même paramètre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles et avec le témoin). De même, les moyennes sur la même ligne affectées d'une même lettre en exposant ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles.

Après cuisson, une baisse de l'humidité des pâtés est notée. Cette baisse est liée au drainage et à l'évaporation d'une partie d'eau libre contenue dans les pâtés. L'humidité dans les pâtés cuits varie de 65,10±0,54 (PS_{50}) à 67,56±0,21% MF (PQ_{10}). Tout comme pour les pâtés crus, la variation du taux d'incorporation des amidons natifs influence significativement (P<0,05) l'humidité des pâtés cuit à l'exception de l'amidon natif de manioc *2425*. Cette différence d'effet observé entre l'amidon natif de manioc *2425* et les autres amidons natifs serait liée à ses paramètres thermiques (T_0, T_p et T_c). En effet, les paramètres thermiques de cet amidon sont significativement supérieurs (P<0,05) à ceux des autres amidons, ce qui contribuerait à le rendre moins sensible aux traitements thermiques. Ces résultats étaient prévisibles dans la mesure où les analyses de capacité de rétention d'eau des amidons utilisés ont montré une différence significative (P<0,05) entre les amidons. Aux différents taux d'incorporation des amidons des cultivars de manioc *Seedling* et *2425,* les pâtés ne diffèrent pas significativement (P<0,05) du témoin ($P_{Témoin}$).

Les teneurs en protéines brutes des pâtés crus varient globalement de 22,12±0,42 (PS_{20}) à 25,55±0,14% MF (PT_{30}). Celles des pâtés cuits vont de 22,37±4,22 (PS_{20}) à 28,34±0,48%MF (PV_{20}). L'évaporation d'une partie de l'eau et substances volatiles contenues dans les pâtés ainsi que les pertes par écoulement de certains constituants (lipides, eau, minéraux soluble) des pâtés pourraientt expliquer l'augmentation des teneurs en protéines des pâtés après cuisson. La variation du taux d'incorporation des amidons influence significativement (P<0,05) la teneur en protéines des pâtés crus. Au même taux d'incorporation, le type d'amidon influence également les teneurs en protéines des pâtés crus. Le même constat est fait pour les pâtés cuits. En effet, les amidons diffèrent significativement les uns des autres par leur CRE (Voir partie II). Ces différences se traduisent par des pertes de poids à la cuisson, pertes différentes d'un amidon à l'autre, ce qui influence la concentration du pâté et par conséquence sa composition. Pour chacun des amidons natifs utilisés, on retrouve au moins un pâté semblable (P>0,05) au témoin pour ce qui est de la teneur en protéines.

Les teneurs en lipides varient de 5,38±0,16 à 6,42±0,07% MF, la plus faible étant celle du pâté PQ_{50} et la plus élevée celle du pâté PT_{20}. La variation du taux d'incorporation des amidons a un effet significatif (P<0,05) sur les teneurs en lipides des pâtés. Le type d'amidon laisse apparaître également une différence significative (P<0,05) des teneurs en lipides des pâtés qui varient indépendamment du type d'amidon. Les variations des teneurs en lipides des

pâtés seraient liées aux interactions hydrophile-hydrophobe que pourraient avoir les amidons avec les autres constituants (Protéines, eau) des pâtés (Godet, 1994).

Les teneurs en lipides des pâtés cuits résumées dans le tableau 11 sont comprises entre 5,61±1,08 et 6,62±0,60% MF. Les teneurs en lipides des pâtés cuits sont plus élevées que celles de leurs homologues crus. Dzudie et Okubanjo (1998) relèvent également une hausse des teneurs en matières grasses dans divers saucissons de chèvre. La fragilisation du collagène de la mamelle au cours de la cuisson, facilitant l'extraction des lipides et la concentration du produit suite à l'évaporation lors d'une cuisson sèche pourraient expliquer cette hausse des teneurs en lipides des pâtés cuits. Ni les types d'amidon ni leurs taux d'incorporation n'influencent significativement (P>0,05) les teneurs en lipides des pâtés cuits.

Les teneurs en cendres totales des échantillons des pâtés crus sont comprises entre 3,31±0,01 (PT_{30}) et 3,71±0,26% MF (PS_{50}) (tableau 10) tandis que celles des pâtés cuits sont dans l'intervalle 3,31±0,16 (PT_{50}) et 3,68±0,10% MF (PV_{50}) (tableau 11). Après cuisson, on note une baisse significative (p<0,05) des teneurs en cendres des pâtés aux taux d'incorporations de 50g/kg de mêlée. Cette observation est liée à la faible teneur en cendres des amidons (0,11±0,01 à 0,33±0,02% MS, tableau 5), mais aussi et surtout au drainage des minéraux solubles avec les pertes lors de la cuisson, les moules étant perforés à leur base. La variation du taux d'incorporation des amidons ainsi que le type d'amidon n'influencent pas significativement (P>0,05) la teneur en cendres des pâtés cruits au contraire des pâtés crus où le phénomène inverse est observé. A l'exception de l'amidon *2425,* tous les autres permettent d'obtenir un pâté cuit semblable au témoin à tous les taux d'incorporation.

III.2.2- Influence des types d'amidon et de leurs taux d'incorporation sur les propriétés physico-chimiques des pâtés crus et cuits

III.2.2.1- pH des pâtés crus et cuits

Le pH est un paramètre qui a une grande influence sur de nombreuses propriétés de la viande. On peut citer entre autres les pertes de poids à la cuisson et la capacité de rétention d'eau (Girard, 1988). Les résultats du tableau 12 montrent que le pH des pâtés crus est compris entre 5,72±0,09 et 5,81±0,08 ; valeurs appartenant respectivement à $P_{Témoin}$ et PV_{30}. Ceux des pâtés cuits varient de 6,28±0,06 (PSi_{50}) à 6,31±0,05 (PQ_{40}). Malgré les différences observées au niveau du pH des amidons (5,43±0,05 à 7,11±0,21) utilisés, les pH des pâtés crus et cuits ne sont influencés (P>0,05) ni par le type d'amidon ni par la variation de leurs

Tableau 12 : pH et Capacités de Rétention d'Eau (CRE) des pâtés aux amidons natifs

	Taux	$P_{Témoin}$	*PSi*	*PT*	*PV*	*PQ*	*PS*
pH crus	20	/	5,79±0,06^{a}	5,80±0,07^{a}	5,78±0,05^{a}	5,78±0,08^{a}	5,74±0,12^{a}
	30		5,79±0,10^{a}	5,80±0,07^{a}	5,81±0,08^{a}	5,76±0,12^{a}	5,79±0,10^{a}
	40		5,78±0,07^{a}	5,79±0,09^{a}	5,79±0,09^{a}	5,80±0,10^{a}	5,76±0,14^{a}
	50	5,72±0,09^{a}	5,80±0,08^{a}	5,76±0,12^{a}	5,74±0,15^{a}	5,79±0,08^{a}	5,77±0,08^{a}
pH cuits	20	/	6,31±0,04^{a}	6,27±0,05^{a}	6,29±0,04^{a}	6,28±0,05^{a}	6,29±0,04^{a}
	30		6,30±0,05^{a}	6,30±0,05^{a}	6,29±0,04^{a}	6,29±0,04^{a}	6,31±0,04^{a}
	40		6,30±0,02^{a}	6,31±0,05^{a}	6,30±0,04^{a}	6,31±0,05^{a}	6,29±0,05^{a}
	50	6,29±0,06^{a}	6,28±0,06^{a}	6,27±0,03^{a}	6,31±0,04^{a}	6,30±0,04^{a}	6,28±0,04^{a}
CRE	20	/	77,72±0,38^{bcd}	76,47±0,98^{ab}	78,96±1,91^{cd}	77,90±0,60^{bcd}	78,95±0,09^{de}
	30		78,80±0,65^{de}	76,86±0,38^{bc}	77,93±0,90^{bcd}	79,59±1,86^{e}	79,05±1,91^{de}
	40		80,03±1,25^{ef}	77,04±0,76^{bc}	76,77±1,19^{bc}	78,90±0,90^{de}	76,98±1,88^{bc}
	50	76,78±1,95^{bc}	81,50±0,92^{f}	77,96±1,85^{cd}	75,20±0,58^{a}	78,11±1,91^{cd}	76,83±0,42^{bc}

Les moyennes sur la même colonne affectées d'une même lettre en exposant pour le même paramètre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles et avec le témoin. De même, les moyennes sur la même ligne affectées d'une même lettre en exposant ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles.

taux d'incorporation. Sur la base des travaux de Van Oeckel (1999) qui suggèrent des limites de pH au tour de 5,8 pour une tendreté acceptable, des pertes de jus limitées et une couleur normale, le pH de la mêlée (pâtés crus) est propice à la fabrication des pâtés.

Après la cuisson, les pH des pâtés augmentent significativement (P<0,05). Van Laach et Frans (1990), Smith, Ockerman et Plimpton (1990), Dzudie et Okubanjo (1998) indiquent qu'au cours de la cuisson il y a généralement une élévation du pH de la viande et des produits carnés. Les phénomènes fondamentaux impliqués dans l'augmentation du pH sont mal élucidés. Cependant, Sherman (1961) pense qu'il y aurait rupture des liaisons faisant intervenir des groupes imidazoles et sulfhydriles des acides aminés de la viande ou hydroxyles des amidons. Hamm (1966) suggère un masquage de certains groupements ionisables suivant la conformation des protéines de la viande.

III.2.2.2- Capacité de rétention d'eau des pâtés

La qualité technologique et la qualité sensorielle des produits carnés sont fortement influencées notamment par leur CRE (Van Oeckel, 1999). Les valeurs des CRE des pâtés sont comprises entre 75,20±0,58 et 81,50±0,92% pour le PV_{50} et le PSi_{50} respectivement. La variation du taux d'incorporation des amidons influencent significativement (P<0,05) la CRE des pâtés crus. Aux mêmes taux d'incorporation, ce n'est qu'à 40 et à 50g/kg de mêlée que le type d'amidon affecte significativement (P<0,05) la CRE des pâtés. Ces différences peuvent être attribuées à différences observées entre les CRE des amidons et à leurs interactions avec les autres constituants du pâté tels que les lipides et les protéines. En effet les protéines peuvent influencer la CRE des pâtés à travers le principe donneur et capteur d'hydrogène (liaisons hydrogènes), par des interactions életrostatiques entre les résidus polaires des protéines et l'eau à la surface des protéines (Bouton, Harris et Carrol, 1972). Seuls les pâtés PSi_{40} et PSi_{50} diffèrent significativement (P>0,05) du pâté témoin.

III.2.2.3- Pertes de poids à la cuisson des pâtés

Les pertes de poids à la cuisson sont une conséquence de l'évaporation de l'eau et du drainage de la matière concernant d'une part les composants de la viande et d'autre part certains des ingrédients et additifs ajoutés lors de la formulation des pâtés (Gonzales-Mendez Gros et Poma, 1983). Cette analyse permet d'évaluer le rendement technologique de la production, ce dernier étant étroitement lié à la qualité du produit final.

Les pertes de poids enregistrées lors de la cuisson des différents pâtés sont représentées sur la figure 31.

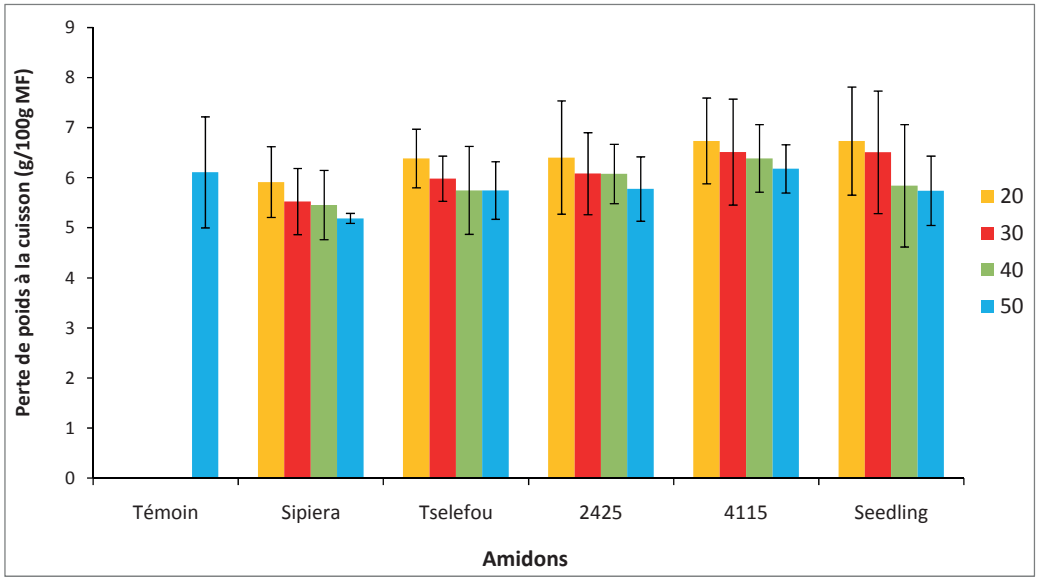


Figure 31 : Influence du taux d'incorporation des amidons natifs sur les pertes de poids à la cuisson des pâtés

Ces pertes de poids baissent faiblement mais pas de façon significative (P>0,05) avec l'augmentation du taux d'incorporation des amidons dans les pâtés. Le type d'amidon n'a pas non plus une influence significative (P>0,05) sur les pertes de poids à la cuisson des pâtés.

III.2.2.4- Indices de TBA des pâtés cuits

Les indices de TBA exprimés en mg de malonaldéhyde (MDA) par kg de pâté, déterminés dans le but d'évaluer l'influence des types d'amidons et de leurs taux d'incorporation sur le degré d'oxydation des lipides des pâtés sont représentés sur la figure 32.

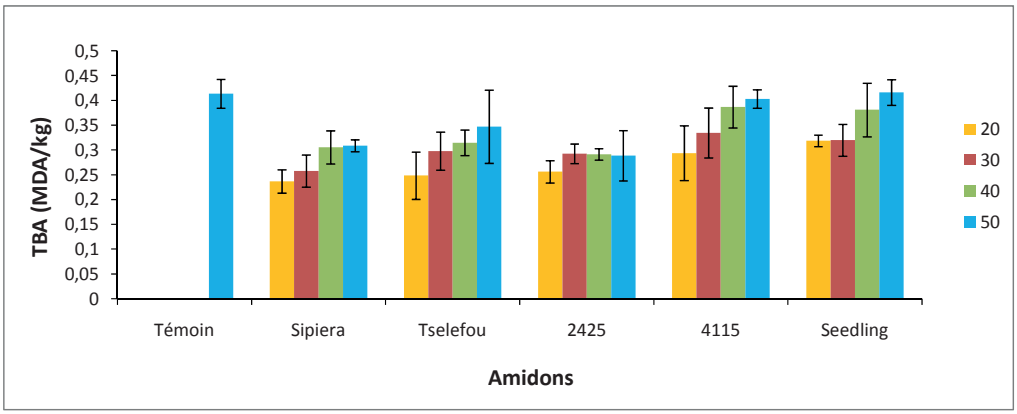


Figure 32 : Influence du taux d'incorporation des amidons natifs sur l'indice de TBA des pâtés cuits

Il ressort de cette figure que l'indice de TBA des pâtés augmente avec le taux d'incorporation de l'amidon à l'exception de l'amidon du cultivar de manioc *2425*. Il y a lieu de penser que ces amidons contiennent des facteurs pro-oxydants (fer libre par exemple) (Zanardi, Ghidini, Battaglia et Chizzolini, 2004), favorisant l'oxydation des lipides à hauteur de leurs taux d'incorporation dans les pâtés. La forte tendance des gels d'amidons à former des complexes avec les lipides (Hermansson et Svegmark, 1996), pourrait être à l'origine de la formation des radicaux libres, précurseurs de l'oxydation des lipides.

Le type d'amidon montre aussi une influence significative sur le taux d'oxydation des lipides des pâtés. Ces observations seraient liées aux différences de composition physico-chimique des amidons. L'indice de TBA du pâté témoin est le plus élevé (0,41±0,03) alors que l'amidon du cultivar de pomme de terre *Sipiera* est celui qui induit le plus faible taux d'oxydation (0,24±0,02) des lipides des pâtés. D'un amidon à l'autre, l'influence sur le taux d'oxydation des lipides des pâtés serait étroitement liée à sa composition physico-chimique.

III.2.3- Influence des types d'amidon et de leurs taux d'incorporation sur le profil textural des pâtés

La texture est la résultante d'un grand nombre de paramètres qui sont perçus individuellement par les sens humains et intégrés par le cerveau pour donner une impression globale de qualité. Elle peut être considérée comme une des trois propriétés sensorielles (avec l'aspect et la flaveur) primaires des aliments. Elle rend compte entièrement du sens du toucher et elle peut être mesurée objectivement par des moyens mécaniques (Scher, 2006).

L'influence du type d'amidon et de leurs taux d'incorporation sur le profil de texture des pâtés a été mesurée à l'aide de la machine universelle de marque Lloyd à travers le test à deux morsures. Ce test a permis de déterminer différents paramètres texturaux que sont la dureté, la cohésion, l'élasticité et la masticabilité. Les résultats sont présentés dans le tableau 13.

La dureté est la force nécessaire pour obtenir la déformation imposée lors de la première morsure. Elle varie de 7,62±0,17 à 22,76±0,88N pour les pâtés PSi_{20} et PSi_{50} respectivement. De façon globale, la dureté des pâtés augmente ($P<0,05$) avec le taux d'incorporation quel que soit le type d'amidon. Ce résultat est lié à la baisse de l'humidité des pâtés cuits avec l'augmentation du taux d'incorporation d'amidon (tableau 11). En effet, une correlation significative et négative R=-0,75) existe entre les teneurs en eau des pâtés et leurs duretés. Une explication au phénomène observé est la diminution de l'hydratation des pâtés qui a pour conséquence la baisse de la liberté de mouvement des constituants du pâté (Lorient, Colas et Le Mestre. 1988). De tous les échantillons, seuls les pâtés PSi_{30}, PT_{40}, PQ_{30}, PS_{30} et PS_{40} ne sont pas significativement différents ($P>0,05$) du témoin.

La cohésion est la propriété d'un ensemble de molécules dont toutes les parties sont intimement unies. Les valeurs des cohésions des pâtés vont de 0,67±0,02 (PS_{20}) à 0,79±0,05 (PV_{30}). Pour les pâtés contenant les amidons de pomme de terre locale, la cohésion augmente jusqu'à 40g/kg de mêlée avant de baisser. Le rapport amidon / eau qui augmente avec le taux d'amidon et les différentes interactions avec les autres constituant du pâté (lipides, protéines) pourrait expliquer ces fluctuations de la cohésion. Cependant, la variation du taux d'incorporation des amidons des cultivars de manioc local ne montre aucune différence significative ($P>0,05$) entre les pâtés à l'exception de l'amidon de manioc *2425*. A 20g/kg de mêlée, le type d'amidon n'a pas une influence significative ($P>0,05$) sur la cohésion des pâtés cuits, ce qui n'est pas le cas à 30, 40 et 50g/kg de mêlée. De ces résultats, il ressort que les propriétés liantes des amidons qui sont étroitement liées à leurs paramètres de viscosité (Lorient, Colas et Le Mestre, 1988) ne sont pas les seules qui influencent la cohésion des pâtés étudiés. En effet le test de Duncan montre que les indices d'écoulement (n) et de consistance (K) des amidons de pomme de terre locale ne diffèrent pas entre eux. Il en est de même pour les amidons de manioc local (tableau 9). La cohésion des pâtés à l'amidon du cultivar de pomme de terre *Sipiera* au taux d'incorporation de 20 et de 30g/kg de mêlée, de *Tselefou* à 20 et 50g/kg de mêlée, de *2425* à 20 et 40g/kg de mêlée, de *4115* à 20 et 30g/kg de mêlée et de l'amidon du cultivar de manioc *Seedling* à tous les taux d'incorporation ne se distinguent pas ($P>0,05$) de celui du pâté témoin.

Tableau 13 : Paramètres texturaux des pâtés cuits à base d'amidons natifs

	Taux	$P_{Témoin}$	*PSi*	*PT*	*PV*	*PQ*	*PS*
Dureté (N)	20	/	$7,62\pm0,17^{a}$	$9,89\pm0,25^{b}$	$11,92\pm0,20^{bcd}$	$10,94\pm0,02^{bc}$	$11,48\pm0,33^{bcd}$
	30		$14,90\pm0,06^{e}$	$11,30\pm0,40^{bc}$	$12,14\pm0,14^{cd}$	$15,78\pm0,51^{e}$	$13,62\pm0,74^{de}$
	40		$19,02\pm0,03^{fg}$	$15,44\pm0,79^{e}$	$19,19\pm1,12^{fg}$	$18,39\pm0,35^{f}$	$15,15\pm0,75^{e}$
	50	$15,54\pm0,88^{e}$	$22,76\pm0,88^{h}$	$18,19\pm0,11^{f}$	$21,45\pm0,16^{h}$	$20,71\pm0,39^{gh}$	$18,03\pm1,47^{f}$
Cohésion	20	/	$0,69\pm0,04^{ab}$	$0,70\pm0,02^{abcd}$	$0,68\pm0,01^{a}$	$0,74\pm0,03^{cdefh}$	$0,67\pm0,02^{a}$
	30		$0,71\pm0,02^{abcde}$	$0,77\pm0,01^{fghi}$	$0,79\pm0,05^{i}$	$0,74\pm0,02^{cdefg}$	$0,72\pm0,01^{abcde}$
	40		$0,78\pm0,03^{hi}$	$0,78\pm0,00^{hi}$	$0,75\pm0,01^{a}$	$0,77\pm0,01^{ghi}$	$0,69\pm0,06^{ab}$
	50	$0,71\pm0,03^{abcde}$	$0,77\pm0,04^{fghi}$	$0,73\pm0,01^{bcdef}$	$0,75\pm0,02^{efgh}$	$0,78\pm0,01^{ghi}$	$0,70\pm0,03^{abc}$
Elasticité	20	/	$0,65\pm0,00^{b}$	$0,84\pm0,02^{de}$	$0,57\pm0,00^{a}$	$0,94\pm0,00^{i}$	$0,97\pm0,02^{j}$
	30		$0,65\pm0,01^{b}$	$0,92\pm0,01^{h}$	$0,79\pm0,06^{c}$	$0,97\pm0,02^{j}$	$0,89\pm0,03^{g}$
	40		$0,92\pm0,00^{h}$	$0,97\pm0,00^{i}$	$0,84\pm0,01^{de}$	$0,88\pm0,01^{fg}$	$0,86\pm0,01^{ef}$
	50	$0,83\pm0,03^{d}$	$0,95\pm0,00^{ij}$	$0,96\pm0,00^{ij}$	$0,89\pm0,02^{g}$	$0,84\pm0,02^{d}$	$0,80\pm0,01^{c}$
Masticabilité (N)	20	/	$3,43\pm0,26^{a}$	$5,84\pm0,43^{c}$	$4,68\pm0,66^{b}$	$7,67\pm0,34^{e}$	$7,49\pm0,13^{de}$
	30		$6,83\pm0,12^{d}$	$7,97\pm0,33^{e}$	$7,64\pm0,14^{e}$	$11,35\pm0,89^{h}$	$8,68\pm0,87^{f}$
	40		$13,72\pm0,66^{kl}$	$11,73\pm0,47^{hi}$	$12,05\pm0,99^{ij}$	$12,52\pm0,49^{j}$	$9,03\pm0,23^{f}$
	50	$9,18\pm0,57^{f}$	$16,68\pm0,16^{m}$	$12,68\pm0,17^{j}$	$14,23\pm0,85^{l}$	$13,55\pm0,48^{k}$	$10,10\pm1,10^{g}$

Les moyennes sur la même colonne affectées d'une même lettre en exposant pour le même paramètre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles et avec le témoin. De même, les moyennes sur la même ligne affectées d'une même lettre en exposant ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles.

L'élasticité est une propriété que possèdent certains corps à reprendre leur forme ou volume quand la force qui les déformait a cessé d'agir. L'élasticité des pâtés contenant les amidons de pomme de terre augmentent avec leurs taux d'incorporation (tableau 13). Cette augmentation de la valeur de l'élasticité serait liée à celle de la dureté telle qu'observée précédemment. En effet, Selon Forni, Torreggiani, Battiston et Polesello (1986), plus la force d'appui à fournir pour une déformation est importante, plus le module d'élasticité est élevé. Pour les pâtés contenant les amidons de manioc *4115* et *Seedling*, on note par contre une baisse de l'élasticité à partir 40g/kg de mêlée. Ceci amène à penser qu'au-delà d'une certaine teneur en eau dans les pâtés et en fonction du type d'amidon, la viscosité et l'élasticité des pâtés augmentent. Des tous les amidons, seuls les amidons de pomme de terre *Tselefou* à 20g/kg de mêlée et de manioc *2425* à 40g/kg de mêlée et *4115* à 50g/kg de mêlée permettent d'obtenir une élasticité semblable ($P<0,05$) à celle du pâté témoin.

La masticabilité est une valeur qui simule l'énergie nécessaire pour mastiquer un produit mi solide vers un état de déglutition. Les valeurs de la masticabilité des pâtés produits varient de 3,43±0,26 (PSi_{20}) à 16,68±0,16 (PSi_{50}). Cette masticabilité augmente avec le taux d'incorporation d'amidon dans les pâtés, ceci indépendamment du type d'amidon. La masticabilité des pâtés est significativement influencée ($P<0,05$) à la fois par le type d'amidon et par le taux d'incorporation dans les pâtés. Il existe une corrélation significative ($P<0,05$) et positive ($R=0,92$) entre la masticabilité et la dureté des pâtés cuits. Il en est de même entre la masticabilité et la cohésion ($R=0,61$). Le test de comparaison multiple de Duncan (figure 33) laisse apparaître que seul le pâté à l'amidon de manioc *Seedling* à 40g/kg de mêlée ne diffère pas significativement ($P>0,05$) du pâté témoin.

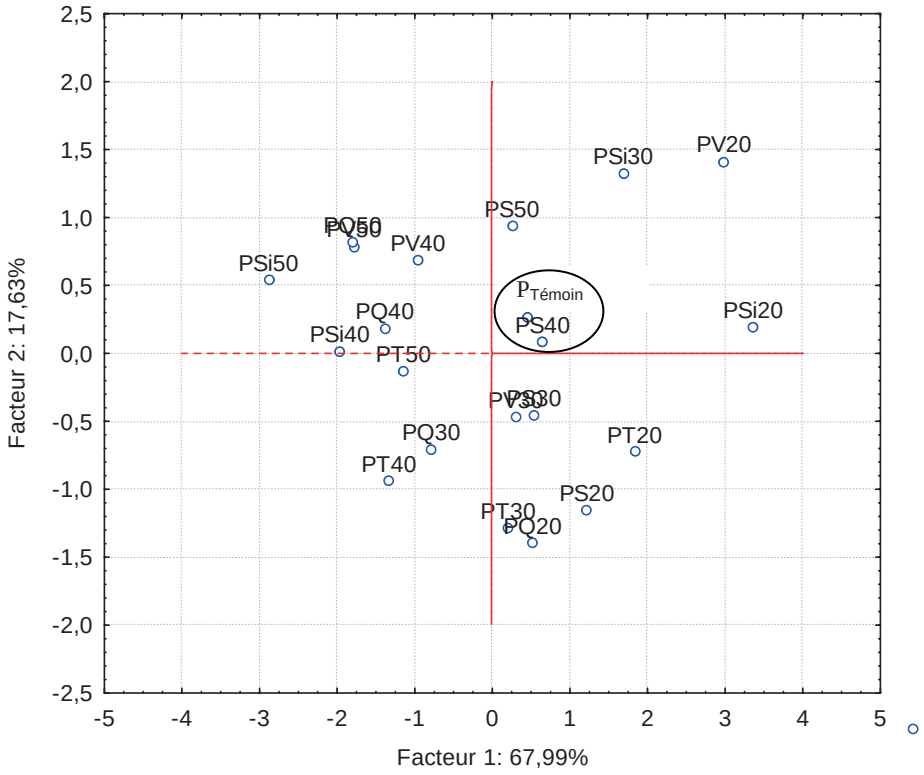


Figure 33 : Regroupement des pâtés suivant leurs affinités sur la base de leur profil de textural

III.2.4- Influence des types d'amidons et de leurs taux d'incorporation sur les paramètres de couleur des pâtés

La couleur est un attribut perceptif, subjectif, important en charcuterie car elle oriente les consommateurs dans leurs choix. L'espace chromatique CIE L*a*b*, défini par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE, 1976) a été exploité pour évaluer la couleur des pâtés cuits.

Les résultats rassemblés dans le taleau 14 montrent que la luminance (L*) des pâtés cuits varie de 48,23±0,39 à 53,30±0,61% pour les pâtés PSi_{50} et PT_{20} respectivement. Celle des pâtés aux amidons des cultivars de pomme de terre diminue avec l'augmentation de leurs taux d'incorporation alors que pour les pâtés aux amidons de manioc, la variation du taux d'amidon n'a pas une influence significative (P>0,05) sur la luminance. La luminance propre aux différents amidons peut influencer celle des pâtés les contenant. En effet les amidons de pomme de terre étant plus opaques que ceux du manioc (Atkin, 1999), l'augmentation de leur taux d'incorporation dans les pâtés expliquerait la baisse de leur luminance. Au même taux d'incorporation, le type d'amidon à une influence significative sur la luminance des pâtés. Cependant, à 20 et à 50g/kg de mêlée, les luminances des pâtés aux amidons de manioc local

Tableau 14 : Paramètres de couleur des pâtés cuits aux amidons natifs

	Taux	$P_{Témoin}$	*PSi*	*PT*	*PV*	*PQ*	*PS*
L*	20	/	51,40±1,12^{ghi}	53,30±0,61^{j}	50,60±1,52^{defgh}	49,65±1,26^{bcd}	49,57±0,34^{bcd}
	30		49,60±1,53^{bcd}	51,13±0,60^{fghi}	50,05±1,79^{bcdef}	49,14±0,15^{abc}	51,75±0,39^{i}
	40		49,94±0,37^{bcde}	50,68±0,48^{defghi}	50,35±0,43^{defg}	50,21±0,47^{cdef}	51,65±0,69^{hi}
	50	50,17±0,45^{cdef}	48,23±0,39^{a}	48,99±0,25^{ab}	50,86±0,37^{efghi}	51,36±1,87^{ghi}	50,44±0,17^{defg}
a*	20	/	13,24±0,56^{ij}	13,01±0,92^{fghi}	12,01±0,96^{bcde}	11,64±0,13^{abc}	11,55±0,50^{abc}
	30		13,15±0,19^{hi}	12,10±0,60^{cde}	11,89±0,54^{bcde}	12,18±0,02^{cde}	12,46±0,62^{defg}
	40		12,36±0,27^{def}	12,07±0,59^{cde}	11,40±0,24^{ab}	12,16±0,13^{cde}	12,51±0,03^{efgh}
	50	13,81±0,78^{j}	11,82±0,14^{bcd}	12,00±0,59^{bcde}	11,14±0,08^{a}	12,45±0,06^{defg}	13,05±0,09^{ghi}
b*	20	/	15,23±0,84^{b}	16,56±0,86^{cde}	17,32±0,38^{fgh}	16,89±0,45^{def}	16,07±0,25^{c}
	30		15,45±0,48^{b}	16,99±0,50^{efg}	16,32±0,16^{c}	17,29±0,11^{fgh}	15,47±0,31^{b}
	40		16,28±0,56^{c}	17,49±0,02^{gh}	16,59±0,07^{cde}	16,86±0,66^{def}	14,54±0,18^{a}
	50	15,40±0,29^{b}	17,67±0,14^{h}	17,47±0,03^{gh}	16,46±0,01^{cd}	16,93±0,32^{def}	14,35±0,06^{a}

Les moyennes sur la même colonne affectées d'une même lettre en exposant pour le même paramètre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles et avec le témoin. De même, les moyennes sur la même ligne affectées d'une même lettre en exposant ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles.

ne diffèrent pas significativement (P>0,05) les une des autres. Il en est de même pour les pâtes aux amidons de pomme de terre locale mais seulement à 30, 40 et 50g/kg de mêlée. L'amidon du cultivar de manioc *2425* à tous les taux d'incorporation permet d'obtenir un pâté ayant la même luminance que le pâté temoin.

Les paramètres chromatiques (a*, b*) des pâtés tendent d'après l'espace chromatique CIE au rouge jaune respectivement pour a* et b* car tous deux sont possitifs, ce qui correspondrait à la coloration rose caractéristique des produits de charcuterie. La valeur de a* la plus élevée est celle du pâté *témoin* (13,81±0,78) et la plus faible celle du pâté PV_{50} (11,14±0,08). Le test de comparaison multiple de Duncan indique que l'augmentation du tauxdes amidons *Sipiera, Tselefou* et 2425 provoque une baisse significative (p<0,05) de a*. Pour les amidons de manioc *4115* et *Seedling*, le phénomène inverse est observé. Cette diminution de la valeur de a* qui correspond à l'atténuation de la coloration rouge serait due à une interaction avec les pigments dérivant de la myoglobine (oxymyoglobine et nitrosohème) responsable de la coloration rose des produis carnés. A taux égal d'incorporation, le type d'amidon a une influence significative sur a*. Seul le pâté PSi_{20} ne se distingue pas significativement (P>0,05) du témoin.

Les valeurs de b* sont comprises entre 14,35±0,06 et 17,67±0,14, pour les pâtés PS_{50} et Psi_{50} respectivement. La coloration jaune (b*) des pâtés varie significativement (P<0,05) avec l'augmentation du taux d'incorporation de tous les amidons étudiés. A taux d'incorporation égal, le type d'amidon a également une influence significative (P<0,05) sur la valeur de b*. Seuls les pâtés à l'amidon du cultivar de pomme de terre *Sipiera* au taux d'incorporation de 20, 30g/kg de mêlée ainsi que le pâté à l'amidon du cultivar de manioc *Seedling* à 30g/kg de mêlée ne diffèrent pas significativement (P>0,05) du pâté témoin.

III.2.5- Conclusion partielle

L'incorporation des amidons natifs à différents taux dans les pâtés a été effectuée dans le but de déterminer lequel ou lesquels et à quels taux d'incorporation permet d'obtenir un pâté de qualité technologique semblable à celui du pâté à l'amidon de pomme de terre témoin (*Leader price*^{TM}). L'influence des types d'amidon et de leurs taux d'incorporation dépend du paramètre analysé. La composition globale des pâtés crus est significativement dépendante du type d'amidon et de son taux d'incorporation. Après cuisson, on note une baisse de la teneur en eau des pâtés. Seules les teneurs en lipides et en cendres des pâtés cuits ne sont pas significativement influencées ($P>0,05$) par le type d'amidon et le taux. Pour ce qui est des propriétés physico-chimiques, le pH des pâtés crus et cuits ainsi que les pertes de poids à la cuisson des pâtés n'ont pas significativement été influencées par le type et la variation du taux d'incorporation des amidons natifs contrairement à la CRE. Le profil textural des pâtés cuits est la résultante de l'action combinée du type et du taux d'incorporation des amidons natifs sur la composition globale et les propriétés physico-chimiques des pâtés. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) des paramètres texturaux des pâtés montre que de tous les amidons natifs étudiés, seul l'amidon de manioc *Seedling* à 40g/kg de mêlée (PS_{40}) donne un pâté proche du témoin.

III.3- AMIDON ACETYLES : PRODUCTION, CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUES ET RHEOLOGIQUE

III.3.1- Pourcentages d'acétylation et Degrés de Substitution des amidons modifiés

Les pourcentages d'acétylation (%Ac) et les degrés de substitution (DS) de l'amidon de pomme de terre *Sipiera* et celui de l'amidon de manioc *2425* acétylés à l'anhydride acétique pendant 10 et 20 min. sont donnés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Pourcentages d'acétylation et degrés de substitution des amidons acétylés

Amidons		%Ac	DS
Pomme de terre	***Sipiera/10***	2,69±0,15[a]	0,10±0,01[a]
	Sipiera/20	6,56±0,15[c]	0,26±0,01[c]
Manioc	***2425/10***	2,53±0,08[a]	0,10±0,00[a]
	2425/20	4,46±0,08[b]	0,18±0,00[b]

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différents (P>0,05).

Il ressort du tableau 16 qu'au bout de 10min. de réaction, les pourcentages d'acétylation des deux types d'amidons (*Sipiera* et *2425*) ne diffèrent pas significativement (P>0,05) l'un de l'autre. Il en est de même pour le DS. Cependant au bout de 20min. de réaction, les valeurs du pourcentage d'acétylation (6,56±0,15) et du degré de substitution (0,10±0,01) de l'amidon modifié de pomme de terre (*Sipiera/20*) sont supérieurs (P<0,05) à celles de l'amidon modifié de manioc (*2425/20*). Les différences de pourcentage d'acétylation et de degré de substitution entre l'amidon de pomme de terre et l'amidon de manioc traités dans les mêmes conditions peuvent être attribuées à la dissemblance de leur granulométrie (Singh, Singh et Saxena, 2002 ; Sodhi et Singh, 2005 ; Huang, 2006). En effet, les résultats de l'analyse granulométrique des amidons montrent que l'amidon de pomme de terre possède des granules de tailles supérieures à celles de l'amidon de manioc. Cette différence peut également être liée à la structure semicristalline des amidons, car l'organisation des chaînes d'amylose dans les

zones amorphes et des chaînes d'amylopectine et d'amylose dans les zones cristallines peut affecter les réactions de substitution au niveau des molécules de glucose (Islam, Rutledge et James, 1974). En somme, les pourcentages d'acétylation et les degrés de substitution sont fortement influencés par les conditions de réaction et par l'origine botanique de l'amidon (Liu, Ramsden et Corke, 1997, Vasanthan, Sosulski et Hoover, 1995). Le temps d'acétylation de 20 min. à l'anhydride acétique n'est pas approprié pour l'amidon de pomme de terre *Sipiera* car il lui confer un degré de substitution de 0,26 alors que la norme exige un degré de substitution inférieur à 0,2 pour les amidons destinés à une utilisation alimentaire (Seib, 1997).

III.3.2- Composition physico-chimique des amidons

Les caractéristiques fonctionnelles de l'amidon, et notamment son comportement épaississant et gélifiant qui est à la base de son utilisation dans les industries alimentaires découlent de ses propriétés physico-chimiques. Parmi celles-ci, la composition des amidons natifs et acétylés, leur pureté, leur endommagement, leur teneur en amylose et leur pH ont été étudiés.

Le tableau 16 donne la composition globale des amidons étudiés. Les analyses effectuées permettent de déterminer l'influence du temps d'acétylation sur la composition des amidons étudiés. Les résultats sont exprimés en pourcentages de matière sèche (%MS).

Tableau 16 : Composition globale des amidons (en %MS)

Amidons		Humidité	Protéines (N x 6,25)	Lipides	Sucres totaux	Cendres	P*
Pomme de terre	***Témoin***	18,33±0,15^{g}	0,15±0,03^{a}	0,25±0,03^{b}	85,37±2,64^{c}	0,33±0,02^{e}	89,95±1,51^{e}
	Sipiera	10,85±0,04^{b}	0,17±0,02^{a}	0,91±0,05^{c}	85,77±3,31^{c}	0,17±0,03^{ab}	36,69±1,96^{c}
	Sipiera/10	15,00±0,03^{c}	0,16±0,02^{a}	0,91±0,04^{c}	84,86±0,41^{c}	0,25±0,04^{cd}	53,32±2,85^{d}
	Sipiera/20	17,59±0,02^{f}	0,16±0,00^{a}	0,90±0,02^{c}	84,11±1,00^{bc}	0,26±0,04^{d}	56,63±3,02^{d}
Manioc	***2425***	8,58±0,12^{a}	0,34±0,02^{b}	0,16±0,02^{a}	81,02±2,21^{ab}	0,11±0,01^{a}	8,71±0,03^{a}
	2425/10	15,21±0,07^{d}	0,32±0,02^{b}	0,13±0,01^{a}	78,89±2,03^{a}	0,18±0,03^{b}	14,22±0,05^{b}
	2425/20	17,05±0,07^{e}	0,30±0,01^{b}	0,13±0,00^{a}	77,95±0,47^{a}	0,20±0,01b^{c}	15,49±0,06^{b}

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différents (P > 0,05). * en mg/100g

L'humidité des amidons natifs et de leurs homologues acétylés est comprise entre 8,58±0,12 et 18,33±0,15% MS pour le cultivar *2425* et l'amidon témoin respectivement. L'humidité des amidons natifs et acétylés diffère significativement ($p<0,05$) d'un amidon à l'autre et du témoin. Il apparaît de l'analyse de ces résultats que l'acétylation et le temps d'acétylation induisent une augmentation significative ($P<0,05$) de l'humidité des amidons. On passe ainsi d'une humidité de 10,85±0,05% pour l'amidon natif *Sipiera à* 15,00±0,03% pour *Sipiera/10* (modifié pendant 10 min.) puis à 17,59±0,07 pour *Sipiara/20* (modifié pendant 20 min.). Les mêmes observations sont faites pour les amidons de manioc. Cette augmentation de la teneur en eau des amidons après modification peut être attribuée aux groupements acétyles (CH_3CO) hydrophiles incorporés par estérification dans la structure des amidons au moment de leur modification (Adebowale, Afolabi et Olu-Owolabi, 2006). Cependant les différences notées entre les amidons de pomme et de manioc modifiés traités dans les mêmes conditions seraient plutôt le fait de leur origine botanique qui influence leurs propriétés physiques et par là leurs propriétés fonctionnelles (Zurima et Elevina, 2002). Les résultats enregistrés sont supérieurs à ceux trouvés par Olayide et Lawal (2004) pour l'amidon acétylé de macabo (8,36%).

Les teneurs en protéines brutes (N x 6,25) des amidons natifs et de leurs homologues acétylés sont comprises entre 0,15±0,03 et 0,34±0,05% pour les amidons témoin et *2425* respectivement. Les teneurs en protéines brutes des amidons de pomme de terre aussi bien modifiés que natifs ne diffèrent pas significativement ($P>0,05$) les unes des autres. Il en est de même pour les amidons de manioc qui ne diffèrent pas non plus significativement ($P>0,05$) mais se distinguent ($P<0,05$) de l'amidon témoin. De ces observations, il ressort que l'acétylation n'a pas une influence significative sur la teneur en protéines des amidons.

Les teneurs en lipides des amidons natifs et acétylés étudiés, déterminées par extraction à l'hexane varient de 0,13±0,00 (*2425/10*) à 0,91±0,05% (*Sipiera*) (tableau 17). Les valeurs pour chacun des amidons natifs ne diffèrent pas signicativement ($P>0,05$) de celles de leurs homologues modifiés, mais tous se distinguent significativement ($P<0,05$) de l'amidon témoin. Il se dégage que les teneurs en lipides des amidons étudiés varient de façon significative ($P<0,05$) d'un cultivar à l'autre, indépendamment de l'origine botanique. Comme dans le cas des protéines, on note également ici une faible baisse ($P>0,05$) des taux de lipides dans les amidons avec le pourcentage d'acétylation. Cette baisse pourrait être attribuée à la diffusion des lipides dans la solution d'anhydride acétique en même temps que les protéines pendant la modification des amidons.

Les teneurs en sucres totaux représentent non seulement les sucres libres contenus dans l'amidon mais aussi les sucres issus de l'hydrolyse de l'amylose et de l'amylopectine. Elles varient de 77,95±0,47 (*2425/20*) à 85,77±3,31% (*Sipiera*) avec les valeurs les plus élevées pour les amidons de pomme de terre. Cette différence peut être attribuée à leur origine botanique (Craig *et al.*, 1989). L'acétylation des amidons montre une faible baisse du taux des sucres totaux pour tous les amidons. La perte des sucres libres solubilisés au moment de l'acétylation qui se fait sous agitation ainsi que les différents lavages expliqueraient cette baisse. Les teneurs en sucres totaux des amidons de pomme de terre ne diffèrent pas significativement (P>0,05) les unes des autres et de l'amidon témoin. Les amidons de manioc par contre ont des valeurs semblables (P>0,05) les unes des autres mais significativement différentes (P<0,05) de celle de amidon témoin.

Les teneurs en cendres des amidons natifs et de leurs équivalents modifiés ont été déterminées par leur minéralisation. Celles-ci varient de 0,11±0,01 (*2425*) à 0,33±0,02% (témoin). L'analyse statistique fait ressortir que la teneur en cendres des amidons augmente avec le pourcentage d'acétylation, mais cette augmentation n'est significative (P<0,05) que pour l'amidon de manioc. Cette augmentation de la teneur en cendres pourrait être une conséquence de l'abaissement de la teneur en d'autres constituants tels que les lipides. Les teneurs en cendres des amidons locaux natifs et acétylés sont significativement différentes (P<0,05) de celle du témoin. Cependant elles sont proches de celles trouvées par Elevina *et al.* (2005) soient 0,20±0,04 ; 0,31±0,01 et 0,12±0,02% pour *X. sagittifolium, C. esculanta* et *M. esculanta* respectivement.

Les teneurs en phosphore des amidons étudiés vont de 8,71±0,03 à 89,95±1,51mg/100g (MS) pour les amidons *2425* et témoin respectivement. Les teneurs en phosphore des amidons de pomme de terre sont de loin supérieures (P<0,05) à celles des amidons de manioc. La teneur en phosphore du témoin est la plus élevée (P<0,05) et représente environ dix fois celle de l'amidon du cultivar de manioc *2524* (8,71±0,03mg/100g MS). Ces observations laissent penser que l'amidon témoin aurait été modifié par phosphatation. Cette différence significative (P<0,05) observée entre les amidons de pomme de terre et de manioc pourrait être liée à leur origine botanique. Par ailleurs, pour les amidons natifs et de leurs homologues modifiés, l'acétylation induit une augmentation significative (P<0,05) du taux de phosphore. Ceci est vrai pour l'amidon de pomme de terre et de manioc. Cette augmentation ne varie pas significativement (P>0,05) avec le temps d'acétylation. Comme pour les teneurs en cendres, cette augmentation pourrait être une conséquence de la diminution de la teneur en d'autres constituants tels que les lipides.

La pureté des amidons represente ici les molécules de glucose entrant dans l'amylose et l'amylopectine qui constituent l'amidon sans prise en compte des autes constituants mineurs (protéines, lipides, minéraux…) qui pourraient être présents dans l'amidon brut natif et modifié. A l'exemple du phosphore qui influence la viscosité des amidons, les impuretés présentes tout comme les facteurs de type génétiques et culturaux influencent les aptitudes techno-fonctionnelles des amidons (Massaux *et al.*, 2006). Les résultats du tableau 17 indiquent que la pureté des amidons natifs et de leurs homologues acétylés varie de 70,15±0,42 (*2425/10*) à 77,19±2,37 (*Sipiera*). L'analyse statistique permet de noter que le temps d'acétylation n'influence pas la pureté des amidons étudiés. La pureté des amidons de manioc ne se distingue pas (P>0,05) de celle de l'amidon témoin, contrairement à celle des amidons de pomme de terre. Si la différence observée entre l'amidon témoin et les amidons de pomme de terre est le fait de la méthode d'extraction, celle entre les amidons de pomme de terre et de manioc locaux serait plutôt liée à leur origine botanique.

Tableau 17 : Pureté, teneurs en amidon endommagé, en amylose (%MS) et pH des amidons

Amidons		Pureté (%)	Amidon endommagé (%)	Amylose (%)	pH
Pomme de terre	***Témoin***	76,83±2,37^{a}	17,84±0,58^{ab}	23,49±3,02^{a}	6,96±0,04^{e}
	Sipiera	77,19±2,98^{b}	17,19±1,28^{a}	32,14±3,43^{b}	5,49±0,18^{d}
	Sipiera/10	76,38±0,90^{b}	20,43±0,71^{bc}	41,11±2,85^{c}	4,55±0,11^{a}
	Sipiera/20	75,70±0,37^{b}	22,09±1,30^{cd}	39,16±2,02^{c}	5,14±0,01^{c}
Manioc	***2425***	72,91±1,99^{a}	26,55±1,24^{e}	24,31±2,89^{a}	5,55±0,01^{d}
	2425/10	71,01±1,83^{a}	24,10±1,06^{de}	29,06±1,71^{b}	4,89±0,01^{b}
	2425/20	70,15±0,42^{a}	29,70±1,76^{f}	29,26±1,53^{b}	4,89±0,01^{b}

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différents (P>0,05).

La pureté des amidons analysés est inférieure à celles enregistrées par Elevina *et al.* (2005) soient, 99,06 ; 98,85 et 99,54% pour *X. sagittifolium, C. esculanta* et *M. esculanta* respectivement. Cette différence pourrait s'expliquer par l'histoire technologique de ces

différents amidons et dans une moindre mesure par leur origine botanique (Duprat *et al.*, 1980).

Les teneurs en amidons endommagés représentent le pourcentage de granule d'amidon ayant perdu leur intégrité structurale. Le taux d'endommagement d'un amidon a une influence sur ses propriétés fonctionnelles et rhéologiques à travers son influence sur sa capacité de rétention d'eau (Mariotti *et al.*, 2006). Les teneurs en amidons endommagés varient de 17,19±1,28 à 29,70±1,76% pour les amidons *Sipiera* et *2425/20* respectivement (tableau 18). Elle est significativement plus élevée ($P<0,05$) dans les amidons de manioc par comparaison aux amidons de pomme de terre. La différence au niveau de la taille et de la structure des granules d'amidon (Massaux *et al.*, 2006) et même de leur teneur en eau pourrait expliquer ces résultats. Quel que soit le type d'amidon, le taux d'endommagement des amidons croît de façon significative ($P<0,05$) avec le temps d'acétylation des amidons. Les travaux de Zurima et Alvina (2002) rapportent que l'acétylation contribue à l'altération de la structure moléculaire des granules d'amidon. Il resort également des analyses statistiques que seuls les amidons *Sipiera* et *Sipiera/10* ne sont pas significativement différents ($P>0,05$) de l'amidon témoin.

La teneur en amylose influence les propriétés chimiques et technologiques d'un amidon, à savoir sa susceptibilité à l'hydrolyse enzymatique, ses propriétés gélifiantes et épaississantes (Massaux e*t al.*, 2006). Du tableau 18, on note que les teneurs en amylose sont plus élevées dans les amidons modifiés de pomme de terre *Sipiera/10* (41,11±2,85%) et *Sipiera/20* (39,16±2,02%). Les valeurs les plus faibles sont celles de l'amidon témoin (23,49±3,02%) et de l'amidon natif de manioc *2425* (24,31±2,89%). Si l'acétylation a une influence significative ($P<0,05$) sur la teneur en amylose des amidons, le temps ne l'ai pas de façon significative ($P>0,05$). Cette augmentation de la teneur en amylose des amidons suite à leur acétylation a également été enregistrée par Betancur, Chel et Canizares (1997). Ces valeurs élevées obtenues pour les amidons acétylés n'impliquent pas une augmentation de la teneur en amylose dans les amidons mais plutôt la réaction des groupements acétyls avec l'iode tout comme l'amylose (Betancur *et al.*, 1997, Singh et Singh, 2005). Seule le taux d'amylose de l'amidon *2425* est comparable ($P>0,05$) à celle de l'amidon témoin. Les teneurs en amylose de l'amidon *2425* et de l'amidon témoin sont proches de celles enregistrées par Hoover et Hadziyev (1981) pour l'amidon de pomme de terre (25,24%) et par Delfloor *et al.* (1998) pour l'amidon de manioc (23,6%).

Le pH modifie les propriétés fonctionnelles des amidons, notamment leur CRE, leur capacité épaisissante et gélifiante. Le pH optimal pour une bonne gélatinisation est de l'ordre de 7 à 7,5 (Tabilo-Munizaga et Barbosa-Canovas, 2004). Les valeurs de pH les plus faibles sont enregistrées pour les amidons *Sipiera/10* (4,55±0,11), *2425/10* (4,89±0,01) et *2425/20* (4,89±0,01) qui sont tous des amidons modifiés. L'estérification contribue à acidifier les amidons. Seul le pH de l'amidon de manioc est significativement influencé (P<0,05) par le temps d'acétylation. L'influence du temps d'acétylation sur le pH des amidons est liée à leur origine botanique.

III.3.3- Caractérisations physiques des amidons

III.3.3.1- Répartition granulométrique

La granulométrie est une caractéristique fondamentale d'un produit pulvérulent. En fonction de la taille de la population des granules, les amidons sont susceptibles d'être utilisés dans des applications ciblées (Massaux *et al.*, 2006). Les courbes de la fréquence de distribution granulométrique des amidons étudiés sont données sur la figure 34.

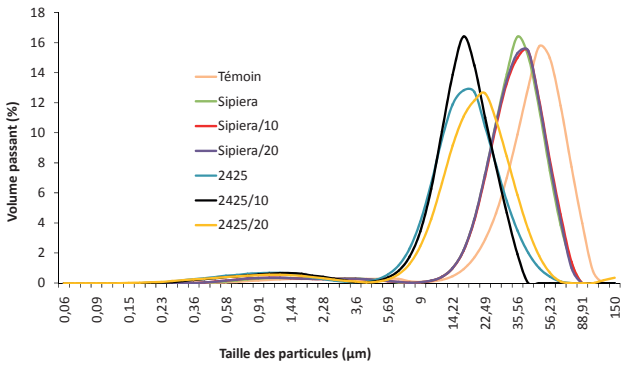
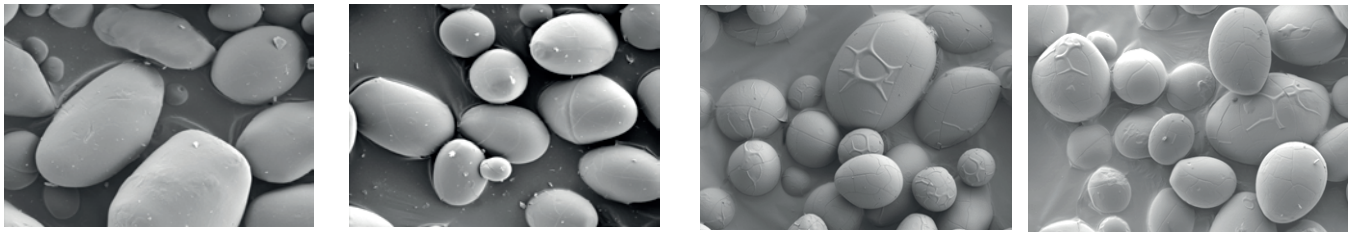


Figure 34 : Courbes de la fréquence de distribution granulométrique des amidons natifs et acétylés

Les courbes des distributions granulométriques des amidons natifs et modifiés sont bimodales (figure 34) traduisant ainsi une répartition des amidons étudiés en deux grandes classes de tailles. La granulométrie des amidons de pomme de terre varie de 0,36 à 76,32µm et celle des amidons de manioc de 0,17 et 65,51µm. Ces résultats montrent que les amidons de manioc ont une plus forte population de granules de petites tailles. La diversité de tailles des granules est un critère important pour l'industrie. Les petits granules sont par exemple plus résistantes aux influences externes et moins enclins aux transformations physico-chimiques. Ils semblent en outre moins facilement attaqués par les alpha-amylases que les gros granules qui présentent des pores à leur surface facilitant l'entrée des enzymes. Toutes les courbes de distribution granulométrique ont une forme en cloche symétrique, ce qui indique une répartition homogème des granules. Le diamètre médian qui correspond à la projection du sommet de la courbe de chacun des amidons étudiés montre que l'acétylation et le temps d'acétylation ont une influence significative sur la répartition granulométrique de l'amidon de manioc. Le temps d'acétylation par contre n'a pas significativement ($P>0,05$) affecté la répartition granulométrique de l'amidon de pomme local. Ceci se traduit au niveau du graphique par la superposition de la courbe de distribution de *Sipiera/10* et *Sipiera/20.* Ces valeurs de D(v; 0,10) et D(v; 0,50) confirment ces observations. La même observation a été faite pour le diamètre moyen (D[4 ; 3]). Le taux d'endommagement de l'amidon de manioc qui est plus élevé que celui de l'amidon de pomme de terre, le rendant plus « vulnérable » pourrait expliquer les différences observées entre les amidons de pomme de terre et de manioc. Ces résultats corroborent les observations de Melcion (2000) selon qui la granulométrie est en relation avec les phénomènes d'échange et de réactivité, qu'ils soient physiques (migration d'eau, séchage, solubilisation), chimiques (oxydation) ou enzymatiques. Il ressort également de l'analyse granulométrique des amidons étudiés (Annexe 2) que les amidons de pomme de terre ont une plus large distribution granulométrique (Span) que ceux de manioc.

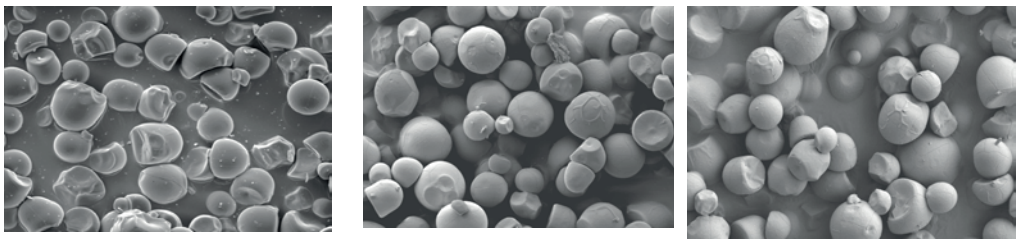
III.3.3.2- Morphologie des granules d'amidon

La microscopie électronique à balayage au grossissement x 1000 a été faite sur les amidons natifs et leurs homologues modifiés (Photographie 3) pour apprécier l'influence de l'acétylation et du temps d'acétylation sur la forme, la taille et l'intégrité des granules.



Témoin ***Sipiera*** ***Sipiera/10*** ***Sipiera/20***

Amidons de pomme de terre



2425 ***2425/10*** ***2425/20***

Amidons de manioc

Photograhie 3 : Photos des amidons réalisées en microscopie électronique à balayage au grossissement X 1000

Les images obtenues (photographie 3) pour les amidons *Sipiera, Sipiera/10, Sipiera/20* et témoin montrent une population de particules constituées de granules d'amidon de grandes et de petites tailles. On note également des impuretés qui pour la plupart seraient des fibres ou des particules d'amidons endommagés. La proportion de ces deux types de granules dans l'amidon influence sa composition chimique, et par conséquent ses propriétés techno-fonctionnelles (Massaux *et al.*, 2006). Ces granules d'amidon de pomme de terre ont pour la plupart une forme ellipsoïdale (Duprat *et al.*, 1980). La photographie de l'amidon natif de manioc (*2425*) laisse apparaître une population de particules plus hétérogènes en tailles et en formes. Les mêmes observations sont faites pour ses homologues modifiés *2425/10* et *2425/20*. La diversité de taille des granules d'amidon est un critère important pour l'industrie (Massaux *et al.*, 2006), ce qui laisse présager pour les amidons de manioc une certaine diversité d'applications industrielles. Les amidons de manioc ont des granules de plus petites tailles que celles des amidons de pomme de terre et ont des formes hémisphériques, sphériques et tronquées (Jarunee, 2006). L'acétylation n'a aucune influence sur la taille et la

forme des amidons étudiés. On note cependant une formation de sillons qui pourraient être assimilés à une fusion à la surface des granules des amidons modifiés, plus perceptible pour *Sipiera/10* et *Sipira/20*. Singh *et al.* (2004) ont obtenu des résultats semblables sur les amidons de maïs et de pomme de terre. Leurs travaux ont également démontré que les granules de grandes tailles sont plus susceptibles à la formation de sillons à leur surface (fusions) lors des réactions d'acétylation. Cette fusion des granules d'amidon peut être attribuée à l'introduction des groupements hydrophiles (groupements acétyles) aux molécules d'amidon, avec pour conséquence l'augmentation des liaisons hydrogènes (Singh *et al.,* 2004).

III.3.3.3- Analyse de la couleur des amidons

L'étude de la couleur des amidons a consisté en l'analyse d'un certain nombre de paramètres de couleur que sont la luminance et les paramètres de chromacité (a* et b*). Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 18.

La luminance (L*) des amidons étudiés varie de 92,39±0,09 à 98,51±0,13% pour les amidons *Sipiera/10* et *2425* respectivement. Le test de Duncan permet de noter que le temps d'acétylation influence significativement ($P<0,05$) la luminance de l'amidon de manioc (*2425*). Au bout de 10 min. d'acétylation, une valeur de L* semblable ($P>0,05$) à celle de l'amidon témoin est notée pour l'amidon de manioc. L'acétylation de l'amidon de pomme de terre par contre n'a pas une influence significative sur sa luminance. Cette différence d'effet de l'acétylation sur ces deux types d'amidon serait liée à leur compsition physico-chimique et des dissemblances de leurs granulométries respectives (Singh, *et al.*, 2002 ; Sodhi et Singh, 2005 ; Huang, 2006).

Pour les paramètres de chromacité, a* des amidons natifs de pomme de terre et de manioc ont des valeurs négatives contrairement à celles des amidons acétylés qui sont positives. Cette variation de la chromacité des amidons n'est pas significativement influencée ($P>0,05$) par le temps d'acétylation pour les deux types d'amidon. Ce phénomène serait dû à l'évacuation des résidus de pigments issus du brunissement enzymatique lors des différents lavages qui accompagnent l'acétylation. Après acétylation, on note plutôt une augmentation significative ($P>0,05$) de la valeur de a* des amidons acétylés par rapport à celle de l'amidon témoin qui passe d'une valeur négative à une valeur positive.

Tableau 18 : Paramètres trichromatiques des amidons natifs et acétylés

	Amidons de pomme				Amidons de manioc		
	Témoin	***Sipiera***	***Sipiera/10***	***Sipiera/20***	***2425***	***2425/10***	***2425/20***
L*	94,18±0,80^{bc}	93,31±0,19^{ab}	92,39±0,09^{a}	93,28±0,76^{ab}	98,51±0,13^{d}	94,45±0,17^{c}	92,82±0,29^{a}
a*	-0,15±0,02^{b}	-0,13±0,02^{b}	0,24±0,01^{d}	0,22±0,01^{d}	-0,65±0,02^{a}	0,10±0,01^{c}	0,09±0,01^{c}
b*	1,10±0,34^{b}	1,50±0,26^{c}	1,41±0,05^{bc}	1,20±0,05^{bc}	2,70±0,17^{d}	0,48±0,01^{a}	0,34±0,01^{a}

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même ligne ne sont pas significativement différents (P > 0,05).

Le paramètre b* est semblable (P>0,05) à celui de l'amidon témoin pour l'amidon de pomme de terre acétylé pendant 20min. (*Sipiera/20* : 1,20±0,05). Ceci est une conséquence de la baisse de la valeur de b* de l'amidon de pomme de terre, bien que non significative suite à l'acétylation. Au contraire des amidons de pomme de terre, l'acétylation a une influence significative sur la valeur de b* de l'amidon natif *2425*, mais cette valeur est significativement inférieure (P<0,05) à celle de l'amidon témoin.

III.3.4- Propriétés fonctionnelles et rhéologiques des amidons

Les travaux de Junrong, Henk, Zhengyu, Ellen et Alphons (2007) ont montré que la plus petite modification chimique des amidons a des conséquences importantes sur leurs propriétés fonctionnelles.

III.3.4.1- Propriétés thermiques des amidons

L'analyse des amidons natifs et acétylés permet d'évaluer l'influence de l'acétylation sur leurs propriétés thermiques. La détermination de ces propriétés thermiques oriente leur utilisation et même prédit leur comportement au cours des traitements thermiques. La température seuil (T_0), la température pic (T_p) et la température de fin de gélatinisation (T_c) ainsi que l'enthalpie de gélatinisation (ΔH) des amidons natifs sont résumées dans le tableau 19.

Tableau 19 : Paramètres thermiques des amidons natifs et acétylés

Amidon		T_0(°C)	T_p(°C)	T_c(°C)	ΔH(j/g)
Pomme de terre	***Témoin***	57,69±0,31^{a}	61,31±2,07^{a}	64,48±2,95^{a}	10,26±0,13^{c}
	Sipiera	55,22±0,97^{a}	62,54±4,72^{a}	65,01±2,89^{a}	11,49±0,01^{cd}
	Sipiera/10	57,3±0,59^{a}	59,59±0,00^{a}	61,70±0,08^{a}	2,44±0,05^{a}
	Sipiera/20	52,46±1,35^{a}	58,43±0,06^{a}	66,13±2,72^{a}	10,82±2,01^{c}
Manioc	***2425***	82,70±7,29^{b}	87,35±4,01^{b}	90,86±4,60^{b}	14,34±0,00^{d}
	2425/10	55,86±1,8^{a}	60,54±0,00^{a}	64,91±0,25^{a}	4,43±1,08^{ab}
	2425/20	53,97±1,98^{a}	58,90±0,18^{a}	64,00±1,46^{a}	5,45±2,35^{b}

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différents (P > 0,05).

Du tableau 19, il ressort que les différents paramètres thermiques varient de 52,46±1,35 à 82±7,29°C, de 58,43±0,06 à 87,35±4,01°C et de 61,70±0,08 à 90,86±4,60°C pour T_0, T_p et T_c respectivement. Une analyse globale des paramètres thermiques montre une variation de T_0, T_p et T_c avec l'acétylation. Mais cette variation n'est pas la même pour les deux types d'amidon (amidon de pomme de terre et amidon de manioc). L'acétylation provoque une variation non significative de T_0, T_p et T_c de l'amidon de pomme de terre tandis que dans le cas de l'amidon de manioc, on note une baisse significative ($P<0,05$) de ces trois paramètres thermiques avec l'acétylation mais pas avec le temps d'acétylation. La dissemblance au niveau de la composition physico-chimique de ces deux types d'amidon, qui elle-même dépend de leur origine botanique, pourrait justifier cette différence (Tester et Morrison, 1990). En effet la teneur en eau des amidons étudiés montre une corrélation significative avec la température pic de gélatinisation ($R=-0,79$). Les résultats obtenus pour les amidons de manioc corroborent ceux d'Eliasson, Finstand et Ljunger (1988) qui ont observé une baisse de la température de gélatinisation de l'amidon de maïs avec l'acétylation de 74,6 à 72,1°C. Une explication à cette baisse serait la déstabilisation de la structure granulaire des amidons avec pour conséquence, l'augmentation du gonflement (Wotton et Bamunuarachchi, 1979). Cette déstabilisation peut s'accompagner de l'exposition de certains groupements OH perturbant ainsi l'organisation spatiale de la molécule.

Avec l'acétylation des amidons de manioc les valeurs de T_0, T_p et T_c sont semblables ($P>0,05$) à celle de l'amidon témoin qui ne diffère pas de celle de l'amidon natif de pomme de terre local (*Sipiera*) et de ses homologues acétylés.

L'enthalpie de gélatinisation (ΔH) des amidons étudiés dans cette partie varie de 2,44±0,05 (*Sipiera/10*) à 14,34±0,00j/g (*2425*). L'influence de l'acétylation sur ΔH ne suit pas la même logique que les autres paramètres thermiques. On note cependant une baisse significative ($P<0,05$) de ΔH avec l'acétylation des deux amidons natifs (*Sipiera* et *2425*) après 10 min. d'acétylation puis une remontée après 20 min. Le temps d'acétylation n'a une influence significative ($P<0,05$) que sur ΔH de l'amidon de pomme de terre où on note plustôt une augmentation de ΔH avec le temps d'acétylation. Des travaux antérieurs ont suggéré que l'augmentation de ΔH pourrait être liée à un abaissement du taux d'amylose (Iouchi, Glover, Sugimoto et Fuwa 1984), ce qui a été observé lors de l'acétylation pendant 20 min. Des enthalpies semblables ($P>0,05$) à celle de l'amidon témoin sont obtenues avec les amidons *Sipiera* et *Sipiera/10*.

III.3.4.2- Capacité de rétention d'eau des amidons

La cuisson des aliments contenant l'amidon passe par différentes temprératures. La plage critique est celle comprise entre 60 et 90°C, car la température de gélatinisation de la plupart des amidons s'y retrouve. Du comportement de l'amidon à ces différentes températures dépend la texture du produit fini. La figure 35 donne la CRE des amidons pour des températures allant de 60 à 90°C.

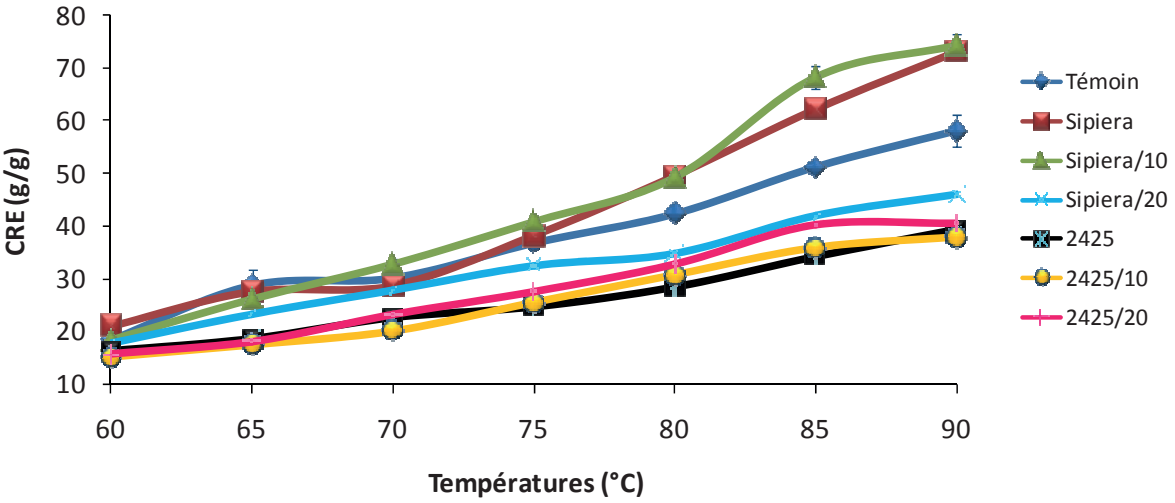


Figure 35 : Evolution de la CRE des amidons natifs et acétylés en fonction de la température

Les courbes de la figure 35 montrent que la CRE de tous les amidons étudiés augmente avec la température. Ces capacités de rétention d'eau varient de 15,04±0,11 à 60°C pour *2425/10* à 74,25±2,20g/g de MS à 90°C pour *Sipiera/10*. A toutes les températures, la CRE des amidons de pomme de terre est significativement supérieure ($P<0,05$) à celles des amidons de manioc. Cette différence serait liée à la taille des granules d'amidon de pomme de terre qui est significativement supérieure ($P<0,05$) à celle des amidons de manioc et qui par conséquent retiennent plus d'eau.

Aux faibles températures (60 et 65°C), la CRE de l'amidon *Sipiera* baisse avec le pourcentage d'acétylation. L'augmentation du pourcentage d'acétylation tend à donner à l'amidon un comportement hydrophobe. Aux températures élevées (70, 75, 80, 85 et 90°C), la CRE croît pour l'amidon *Sipiera/10* et baisse significativement ($P<0,05$) pour l'amidon *Sipiera/20*. Cette baisse dans ce cas pourrait être attribuée à la fragilisation de l'amidon suite à la déstabilisation de sa structure à ce pourcentage d'acétylation (Wootton et Manatsathit, 1983). Pour les amidons de manioc, on note par contre une augmentation de la CRE avec le

pourcentage d'acétylation à toutes les températures. Mais à 60 et 65°C, malgré l'augmentation de la CRE avec le pourcentage d'acétylation, la CRE des amidons de manioc acétylés reste inférieure à celle de l'amidon natif de manioc. L'acétylation de l'amidon de manioc ne permet pas d'atteindre des valeurs de CRE semblables (P>0,05) à celle de l'amidon témoin.

III.3.4.3- Capacité de rétention d'huile des amidons

La Capacité de Rétention d'Huile (CRH) des amidons natifs et modifiés est représentée sur la figure 36.

Figure 36 : Influence de l'acétylation sur la capacité de rétention d'huile des amidons

La CRH des amidons serait principalement due à l'emprisonnement des molécules d'huile dans leur structure (Abu, Duodu et Minnaar, 2006). La CRH des amidons natifs et de leurs homologues modifiés varie de 0,57±0,04 (*Sipiera*) à 0,82±0,01 (*2425/20*). Les amidons de manioc présentent de façon globale une CRH significativement supérieure (P<0,05) à celle des amidons de pomme de terre. Cette observation s'explique par la répartition granulométrique et à l'étendue de la distribution des granules de ces amidons (Span). En effet, il existe une corrélation négative et significative entre la CRH et les paramètres

granulométriques (Span : R=-0,76 ; D[4 ;3] : R=-0,76 ; D(v ;0,9) : R=-0,76 ; D(v ;0,5) : R=-0,77 et D(v ;0,1) : R=-0,81). L'acétylation favorise une augmentation de la CRH avec le temps d'acétylation. La modification de l'arrangement structurale des amidons suite à la fixation des groupements acétyles pourrait expliquer ce phénomène. Cette augmentation n'est significative que pour l'amidon de manioc. Les paramètres granulométriques de ces amidons une fois de plus pourraient justifier cette augmentation de la CRH. Des résultats similaires ont été obtenus par Kayode et Olayide (2003) sur les amidons natifs et modifiés de *Mucuna pruriens*. Ces résultats et ceux sur la CRE montrent que l'amidon acétylé se comporte comme un composé hydrophobe.

III.3.4.4- Paramètres rhéologiques des gels d'amidon

Les propriétés rhéologiques des gels d'amidon à travers leur viscosité influencent le profil textural du produit dans lequel ils sont incorporés. La viscosité est définie comme la résistance à l'écoulement d'un système soumis à une contrainte tangentielle. Les indices de consistance (K) et d'écoulement (n) des amidons ont été déterminés (figure 37). La mesure de ces paramètres permet de prévoir leur comportement mécanique au cours des différentes étapes de l'élaboration de l'aliment (Scher, 2006).

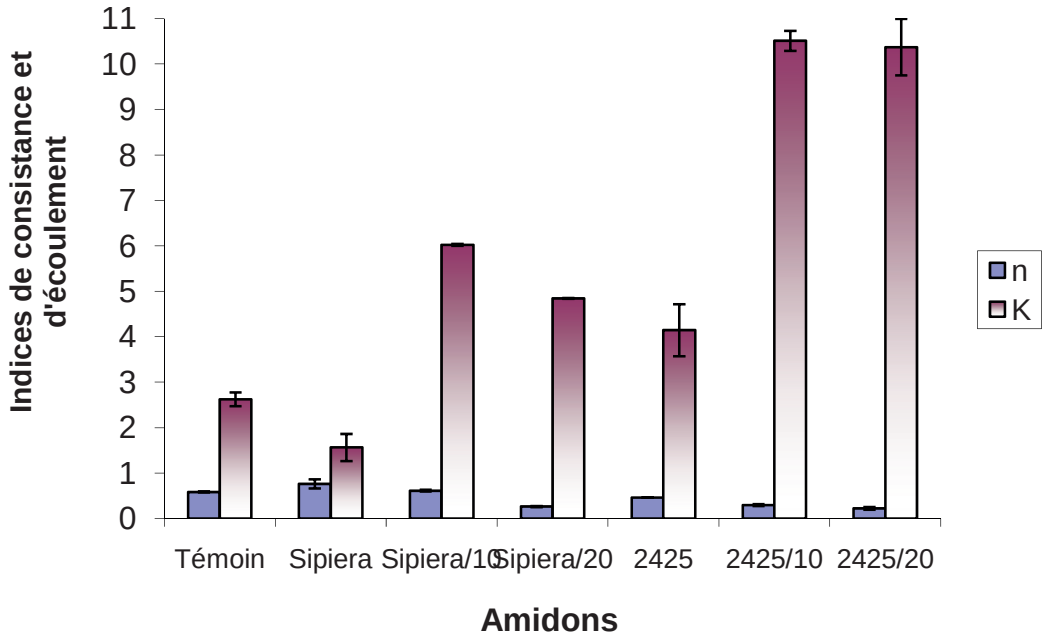


Figure 37 : Influence de l'acétylation sur l'indice de consistance et d'écoulement des amidons

Le modèle de Ostwald de Waele couramment utilisé pour des produits non newtoniens y compris les gels d'amidon a été utilisé pour exploiter les données rhéologiques des amidons étudiés (Doublier, 1987; Holland et Bragg, 1995; Santoyo, 1997; Rao et Tattiyakul, 1999; Santoyo *et al.,* 2001; Sopade et Kiaka, 2001). Les données de l'indice d'écoulement (n) et de consistance (K) sont représentées sur la figure 37.

Les valeurs de « n » trouvées pour les amidons de pomme de terre sont proches de celles enregistrées par Nunez-Santiago *et al.* (2003) pour des amidons de maïs (0,67-0,73). L'indice de consistance de l'amidon témoin est significativement supérieur ($P<0,05$) à celui de *Sipiera* mais inférieur ($P<0,05$) à celui de tous les autres amidons. Quant à l'indice de consistance de l'amidon témoin, il est semblable au seuil de 5% à celui de *Sipiera/10* et *2425.*

Les courbes d'écoulement laminaire reliant la contrainte de cisaillement (τ) et la vitesse de cisaillement (γ) des amidons natifs et de leurs homologues acétylés montrent que tous ont un comportement rhéofluidifiant. C'est le comportement d'un fluide pour lequel la viscosité diminue pour des vitesses de cisaillements croissantes. Les valeurs de l'indice d'écoulement varient de 0,22±0,03 (*2425/10*) à 0,76±0,10 (*Sipiera*), ces valeurs de n inférieures à 1 confirment que les gels des amidons étudiés sont rhéofluidifiants. Ces observations corroborent les travaux de Nunez-Santiago *et al.* (2003) qui ont montré que les gels des amidons de maïs sont des fluides non newtoniens ou pseudoplastiques. Pour les amidons de pomme de terre et de manioc, les indices d'écoulement baissent avec le pourcentage d'acétylation. Cette baisse serait indirectement liée à l'influence de l'acétylation sur la CRE des amidons. En effet une corrélation significative existe entre n et la CRE des amidons étudiés ($R=0,82$). Cette baisse de n devrait se traduire par une augmentation de l'indice de consistance des gels, c'est le cas. En effet, les valeurs des coefficients de régression ($R=0,9$) des amidons étudiés montrent qu'il existe une corrélation hautement significative entre l'indice de consistance (K) et l'indice d'écoulement (n) de chacun des amidons. L'augmentation de l'indice de consistance n'est effective pour l'amidon de pomme de terre et de manioc qu'à 10min. d'acétylation. Pour les amidons *Sipiera/20* et *2425/20,* on note plutôt une baisse de l'indice de consistance. Cette baisse de l'indice de consistance peut être attribuée à la fragilisation de l'amidon à ce temps d'acétylation (20min.) suite à la déstabilisation de sa structure causée par l'encombrement des groupements acétyls à ce pourcentage d'acétylation (4,46±0,08 et 6,56±0,15% pour *2425/20* et *Sipiera/20* respectivement). Des résultats semblables ont été signalés par Rutenberg et Solarek (1984). Par ailleurs des travaux d'Agboola, Akingbala et Oguntimein (1991), il ressort que la

variation de l'indice de consistance dépend non seulement des conditions d'estérification mais aussi de l'origine botanique de l'amidon.

III.3.4.5- Rétrogradation des amidons

La tendance à la rétrogradation des amidons étudiés a été évaluée en mesurant leur synérèse (%). Ce paramètre permet de prédire l'influence des amidons sur la texture des aliments lors de leur conservation aux températures basses. La synérèse de ces amidons est représentée sur la figue 38.

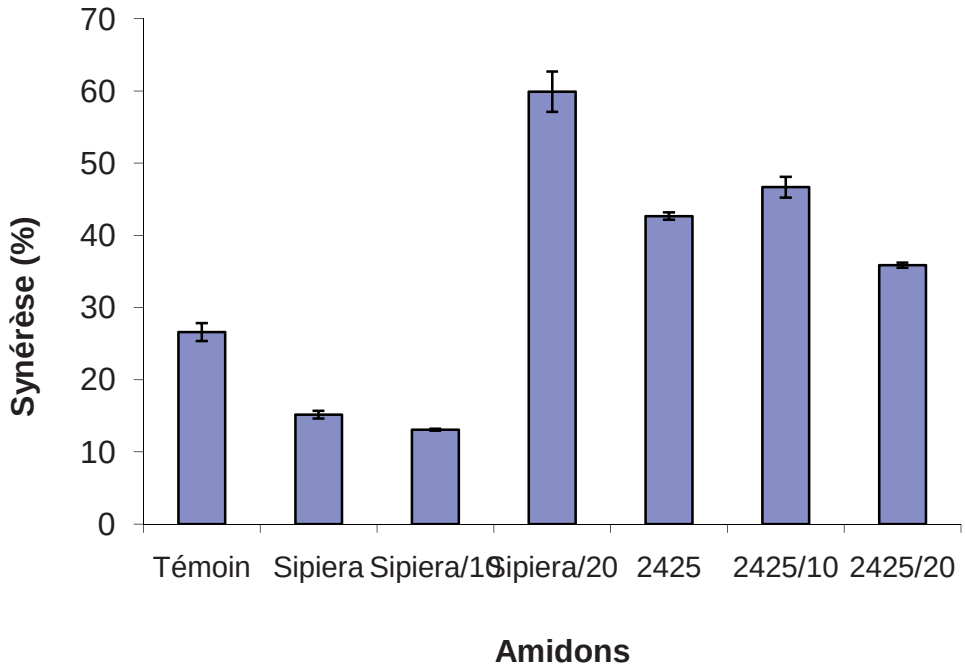


Figure 38 : Influence de l'acétylation sur la synérèse des amidons

La synérèse du témoin diffère significativement ($P<0,05$) de celle de tous les autres amidons. On note une baisse ($P>0,05$) pour l'amidon de pomme de terre *Sipiera* pour un temps d'acétylation de 10min. par contre une augmentation significative ($P<0,05$) après 20min. d'acétylation. Le résultat inverse est observé pour l'amidon de manioc. Ce phénomène est étroitement lié à l'influence du temps d'acétylation sur la CRE des amidons. En effet une corrélation significative existe entre la synérèse et la CRE ($R=-0,81$) de ces amidons. Un temps d'acétylation de 10min. permet de réduire le taux de rétrogradation de l'amidon de pomme de terre étudié alors que pour l'amidon de manioc, il faut 20 min. pour atteindre le

même résultat. En somme, l'influence de l'acétylation sur la synérèse est liée à l'origine botanique de l'amidon. Les travaux de Singh *et al.* (2002) ont montré que la différence de synérèse entre des amidons peut être attribuée à leur structure semi-cristalline ainsi qu'à leur teneur en lipides.

L'analyse en composantes principales (figure 39) des résultats de la synérèse des amidons natifs et acétylés ainsi que de toutes les autres analyses faites sur les amidons natifs et acétylés montre que l'amidon de pomme de terre *Sipiera* et ses homologues acétylés se rapprochent le plus de l'amidon témoin. Les paramètres ayant contribué à ce regroupement sont l'humidité, l'indice de chromacité a*, les teneurs en cendres, en phosphore, en lipides et en amylose, le diamètre médian, le Span, l'indice d'écoulement (n), le pH, la CRE et la pureté des amidons (annexe 5).

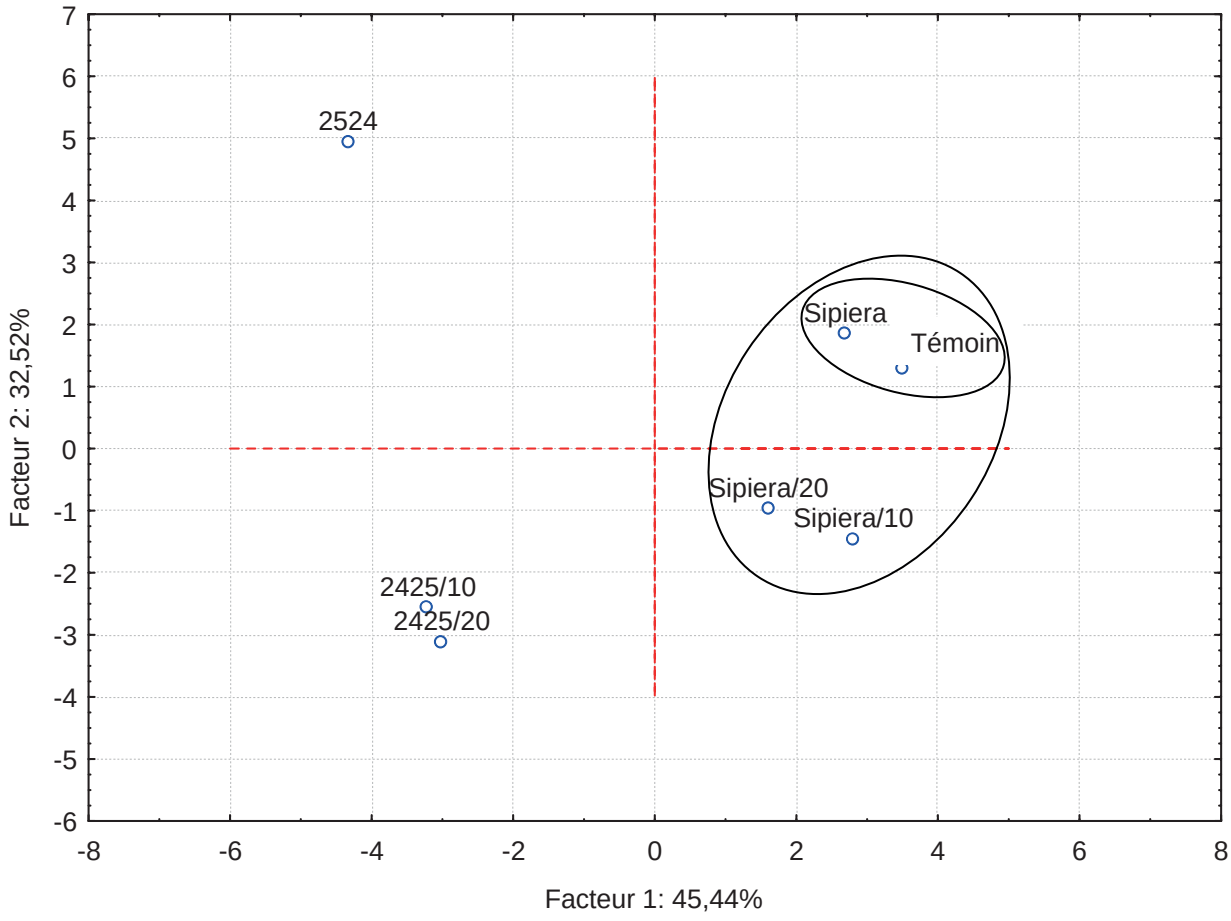


Figure 39 : Regroupement des amidons natifs et acétylés suivant leurs afinités sur la base de leurs propriétés physico-chimiques et fonctionnelles

III.3.5- Conclusion partielle

L'analyse de la composition globale des amidons natifs *sipiera et 2425* et de leurs homologues modifiés montre que l'acétylation a une influence significative ($P<0,05$) sur l'humidité, la teneur en cendres, en phosphore et en amylose des amidons. La répartition granulométrique des amidons natif est influencée par l'acétylation mais des valeurs proches ($P>0,05$) à celle de l'amidon témoin ne sont pas atteintes. Des paramètres de couleur (L*, a*, b*) proches ($P>0,05$) de ceux de l'amidon témoin ont été atteints par l'acétylation des amidons natifs. Pour les paramètres thermiques, les températures seuil (T_0), pic (T_p) et de fin de gélatinisation (T_c) de l'amidon natif de manioc sont influencées par l'acétylation et permet d'atteindre des valeurs identiques ($P>0,05$) à celle de l'amidon témoin. Quant aux propriétés fonctionnelles, les amidons de manioc et de pomme de terre montrent une augmentation de la CRE avec le pourcentage d'acétylation à toutes les températures. La rétrogradation tout comme l'indice de consistance et d'écoulement sont influencés par l'acétylation mais ne permettent pas d'obtenir des valeurs proches de celles de l'amidon témoin. Un temps d'acétylation de 10min permet de réduire la synérèse de l'amidon de pomme de terre *Sipiera* tandis que pour l'amidon de manioc *2425* il en faut 20min. L'ACP laisse apparaitre que l'amidon *Sipiera* et ses homologues modifiés se rapprochent plus de l'amidon témoin que les amidons de manioc.

III.4- PATE A BASE D'AMIDON ACETYLES : CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET TEXTURALES

III.4.1- Influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur la composition globale des pâtés crus et cuits

Une analyse de la composition globale des pâtés crus et cuits a été conduite afin d'évaluer l'influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur leur composition. Les résultats obtenus sont comparés à ceux du pâté témoin contenant l'amidon témoin à 50g/kg de mêlée. Sur le plan pondéral, l'eau représente pour les pâtés crus comme pour les pâtés cuits le constituant majeur. Les résultats obtenus pour les pâtés crus et cuits exprimés par rapport à 100g de matière fraîche (%MF) sont consignés dans les tableaux 20 et 21 respectivement.

L'humidité varie de 63,49±1,20 à 66,27±1,31% pour le pâté cru contenant 50g/kg de mêlée d'amidon de pomme de terre *Sipiera* acétylé pendant 10 min ($PSi10/_{50}$) et pour le pâté cru contenant 20g/kg de mêlée d'amidon de manioc *2425* acétylé pendant 20 min. ($PV20/_{20}$) respectivement (tableau 20). Celle des pâtés cuits varie de 62,81±0,36 à 65,19±0,67% MF (tableau 21) pour les pâtés $PSi10/_{50}$ et $PV20/_{20}$ respectivement. L'humidité des pâtés formulés avec 50g d'amidon acétylé pendant 10min par kg de mêlée diffère significativement des autres. La différence des teneurs en eau induites par ces amidons serait liée à leur afinité avec l'eau. Au même taux d'incorporation, l'humidité des pâtés crus ne diffère pas significativement ($P>0,05$) les unes des autres. Pour les pâtés cuits, on ne note une différence significative ($P<0,05$) de l'humidité entre les pâtés qu'à un taux d'incorporation de 50g d'amidon par kg de mêlée. De ces observations, il ressort qu'à ce taux d'incorporation, les répercutions sur l'humidité des pâtés cuits de l'effet du chauffage sur la dénaturation des amidons (AKtas et Gençcelep, 2006), associé aux interactions entre les amidons et les autres constituants (lipides, protéines) (Cayot *et al.*, 2000) seraient plus accentuées.

Les teneurs en protéines brutes (N x 6,25) des pâtés crus varient de 21,93±0,15 ($PV20/_{50}$) à 24,86±1,73% MF ($PSi10/_{10}$) et de 21,20±1,34 à 23,14±0,39% MF (tableau 22) pour les pâtés cuits $PV/10/_{40}$ et $P_{Témoin}$ respectivement. L'ANOVA montre que pour les pâtés crus, le taux d'incorporation des amidons n'influence pas significativement ($P>0,05$) la teneur en protéines. Cependant, au taux d'incorporation de 20g/kg de mêlée, le temps d'acétylation de l'amidon *Sipiera* influence significativement ($P>0,05$) la teneur en protéines. L'influence de cet amidon sur la solubilité des protéines pourrait être à l'origine du phénomène observé.

Tableau 20 : Composition globale des pâtés crus aux amidons acétylés (%MF)

	Taux	$P_{Témoin}$	*PSi/10*	*PSi/20*	*PV/10*	*PV/20*
Humidité	20	/	65,67±0,82^{efg}	65,87±1,13^{fg}	66,27±1,79^{g}	66,27±1,31^{g}
	30		64,99±0,66^{cdef}	64,64±1,71^{bcde}	65,39±0,98^{defg}	64,94±0,42^{cdef}
	40		64,23±1,10^{abc}	64,59±1,04^{abcde}	65,04±0,26^{cdef}	64,29±1,46^{abcd}
	50	63,74±0,20^{ab}	63,49±1,20^{a}	63,94±0,73^{abc}	63,53±0,59^{ab}	64,38±0,49^{abcd}
Protéines brutes Nx6.25	20	/	24,86±1,73^{c}	22,82±1,82^{ab}	22,32±0,93^{ab}	22,48±1,43^{ab}
	30		23,92±1,94^{bc}	22,60±0,73^{ab}	22,17±0,93^{a}	21,94±1,04^{a}
	40		23,46±1,92^{abc}	22,74±1,27^{ab}	22,20±1,74^{a}	21,93±0,15^{a}
	50	22,40±0,71^{ab}	23,40±0,05^{abc}	22,15±0,68^{ab}	22,13±0,75^{a}	22,11±1,26^{a}
Lipides	20	/	7,89±0,15^{h}	7,52±0,07^{de}	7,73±0,12^{fg}	7,26±0,15^{b}
	30		7,53±0,06^{de}	7,60±0,08^{ef}	7,53±0,04^{de}	7,42±0,08^{d}
	40		7,42±0,19^{d}	7,66±0,11^{ef}	6,94±0,05^{a}	7,69±0,17^{fg}
	50	7,27±0,13^{bc}	7,41±0,12^{cd}	7,82±0,05^{gh}	6,84±0,22^{a}	7,46±0,09^{d}
Cendres	20	/	3,07±0,17^{a}	3,05±0,27^{a}	3,05±0,21^{a}	3,08±0,16^{a}
	30		3,03±0,18^{a}	2,92±0,20^{a}	2,99±0,05^{a}	3,07±0,22^{a}
	40		2,96±0,24^{a}	2,90±0,06^{a}	2,93±0,02^{a}	2,92±0,19^{a}
	50	2,91±0,14^{a}	2,91±0,20^{a}	2,88±0,08^{a}	2,91±0,13^{a}	2,91±0,14^{a}

Les moyennes dans la même colonne affectées d'une même lettre en exposant pour le même paramètre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles et avec le témoin ($P_{Témoin}$). Les moyennes sur la même ligne affectées d'une même lettre en exposant ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles.

Après la cuisson des pâtés, ni le type d'amidon, ni le temps d'acétylation, ni le taux d'incorporation des amidons n'influencent significativement (P>0,05) la teneur en protéines des pâtés. On note par contre une baisse de la teneur en protéines des pâtés cuits par rapport à celle de leur homologue crus qui est une conséquence de la perte en eau et en substances solubles (protéines solubles) suite à la cuisson.

Les teneurs en lipides des pâtés crus (tableau 20) vont de 6,84±0,22 à 7,89±0,15% MF pour les pâtés $PV10/_{50}$ et $PSi10/_{20}$ respectivement. La variation du taux d'incorporation des amidons influence significativement (P<0,05) la teneur en lipides des pâtés crus. Cette variation de la teneur en lipides avec l'augmentation du taux d'amidon dans les pâtés crus est liée au fait que l'amidon incorporé correspond au retrait d'une quantité équivalente de viande

(maigre et gras) qui est la principale source de lipides. Aux taux d'incorporation de 20, 40 et 50g/kg de mêlée, le temps d'acétylation influence significativement (P<0,05) la teneur en lipides des pâtés crus.

Tableau 21 : Composition globale des pâtés cuits aux amidons acétylés (%MF)

	Taux	$P_{Témoin}$	***PSi/10***	***PSi/20***	***PV/10***	***PV/20***
Humidité	20	/	$65,17\pm0,17^{h}$	$65,19\pm0,13^{h}$	$64,78\pm0,68^{gh}$	$65,19\pm0,67^{h}$
	30		$64,91\pm0,04^{gh}$	$64,90\pm0,53^{gh}$	$64,55\pm0,31^{fg}$	$64,64\pm0,19^{fgh}$
	40		$64,34\pm0,23^{defg}$	$63,95\pm1,26^{cde}$	$64,53\pm0,26^{efg}$	$64,54\pm0,65^{efg}$
	50	$63,83\pm0,27^{cd}$	$62,81\pm0,36^{a}$	$63,56\pm0,61^{bc}$	$63,10\pm0,44^{ab}$	$64,07\pm0,16^{cdef}$
Protéines	20	/	$22,61\pm1,77^{a}$	$22,96\pm1,13^{a}$	$22,35\pm1,79^{a}$	$21,89\pm1,62^{a}$
	30		$22,75\pm0,69^{a}$	$21,76\pm1,41^{a}$	$21,73\pm1,87^{a}$	$21,92\pm1,76^{a}$
	40		$22,70\pm0,95^{a}$	$21,60\pm1,06^{a}$	$21,20\pm1,34^{a}$	$21,59\pm0,96^{a}$
	50	$23,14\pm0,39^{a}$	$23,13\pm0,71^{a}$	$21,46\pm1,64^{a}$	$20,89\pm1,36^{a}$	$21,13\pm1,52^{a}$
Lipides	20	/	$8,09\pm0,10^{hi}$	$8,08\pm0,08^{hi}$	$8,05\pm0,12^{ghi}$	$7,93\pm0,01^{cdef}$
	30		$8,09\pm0,12^{hi}$	$7,83\pm0,04^{c}$	$8,02\pm0,17^{fgh}$	$8,14\pm0,17^{i}$
	40		$8,01\pm0,01^{efgh}$	$7,94\pm0,01^{defg}$	$7,90\pm0,16^{cde}$	$7,48\pm0,05^{ab}$
	50	$7,52\pm0,03^{b}$	$8,10\pm0,01^{hi}$	$8,04\pm0,01^{ghi}$	$7,89\pm0,01^{cd}$	$7,40\pm0,11^{a}$
Cendres	20	/	$3,17\pm0,20^{ab}$	$3,29\pm0,18^{b}$	$3,14\pm0,09^{ab}$	$3,24\pm0,12^{ab}$
	30		$3,23\pm0,23^{ab}$	$3,30\pm0,10^{b}$	$3,17\pm0,20^{ab}$	$3,31\pm0,11^{b}$
	40		$3,26\pm0,08^{ab}$	$3,26\pm0,13^{ab}$	$3,26\pm0,18^{ab}$	$3,15\pm0,04^{ab}$
	50	$3,05\pm0,07^{a}$	$3,56\pm0,12^{c}$	$3,12\pm0,25^{ab}$	$3,28\pm0,14^{b}$	$3,13\pm0,15^{ab}$

Les moyennes dans la même colonne affectées d'une même lettre en exposant pour le même paramètre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles et avec le témoin. Les moyennes sur la même ligne affectées d'une même lettre en exposant ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles.

Après la cuisson on observe une augmentation de la teneur en lipides des pâtés (tableau 22). Cette augmentation peut être liée aux pertes en eau et en substances solubles survenues lors de la cuisson des pâtés. La teneur en lipides la plus élevée est enregistrée pour le pâté *PSi/10* (8,10±0,01% MF) à 50g d'amidon par kg de mêlée et la plus faible, celle du pâté *PV/20* (7,40±0,11% MF) au même taux d'incorporation. La variation du taux d'incorporation de tous les amidons étudiés a une influence significative (P<0,05) sur la teneur en lipides des

pâtés cuits à l'exception de l'amidon *Sipiera/10*. Le temps d'acétylation influence la teneur en lipides des pâtés pour l'amidon *Sipiera* aux taux d'incorporation de 30g/kg de mêlée tandis que l'amidon *2425* l'influence significativement à tous les taux d'incorporation. De ce qui précède, il ressort que le type d'amidon influence significativement (P<0,05) la teneur en lipides des pâtés cuits. Pour les pâtés à l'amidon *2425/20,* on note une baisse (P<0,05) de la teneur en lipides avec l'augmentation du taux d'amidon dans les pâtés. Pour les pâtés à l'amidon *Sipiera/20* il y a d'abord une baisse puis une augnentation (P<0,05) de la teneur en lipides des pâtés cuits avec l'augmentation du taux d'amidon. La fluctuation de la teneur en lipides des pâtés pourrait s'expliquer par les différences d'affinités qu'ont les différents amidons vis-à-vis des lipides, ce qui aurrait des répercussions sur les pertes (lipides) lors de la cuisson des pâtés (Aktas et Gençcelep, 2006). En effet, la capacité de rétention d'huile des amidons acétylés varie significativement (P<0,05) d'un amidon à l'autre. De tous les pâtés cuits, seul $PV20/_{40}$ ne diffère pas significativement (P>0,05) du pâté témoin.

Les teneurs en cendres des pâtés crus (tableau 21) vont de 2,88±0,06 ($PSi20/_{50}$) à 3,08±0,16% MF ($PV20/_{20}$). A l'état cru, ni le type d'amidon, ni le temps d'acétylation, ni même les taux d'incorporation des différents amidons ne provoquent une différence significative (P>0,05) entre les teneurs en cendres des différents pâtés. Après cuisson, les teneurs en cendres des pâtés augmentent significative (P<0,05). Comme dans le cas des lipides, les pertes en eau et en substances solubles survenues au cours de la cuisson des pâtés seraient à l'origine de cette augmentation. Les teneurs en cendres des pâtés cuits varient de 3,12±0,25 ($PSi20/_{50}$) à 3,56±0,12% MF ($PSi10/_{50}$). Aux taux d'incorporation de 20, 30 et 40g/kg de mêlée le type et le temps d'acétylation des amidons n'influencent pas significativement (P>0,05) la teneur en cendres des pâtés cuits. A 50g/kg de mêlée, l'amidon *Sipiera/10* se démarque significativement (P<0,05) de tous les autres amidons. Ceci amène à penser que cet amidon aurait une forte affinité avec les minéraux, et favoriserait leur rétention lors des pertes au cours de la cuisson. Cette forte afinité de l'amidon *Sipiere/10* pour les minéraux pourrait être due à l'ionisation de certaine de ses fonctions OH lors de l'acétylation. En effet, pour l'amidon *Sipiera/10* on note une augmentation de la teneur en cendres des patés. Par contre, avec l'amidon *2425/20* on observe une baisse avec l'augmentation du taux d'incorporation de l'amidon en question. Dans le cas des pâtés à base de *2425/20,* cette baisse de la teneur en cendres serait due à sa faible teneur en cendres (0,26±0,04%). De tous les pâtés cuits produits seuls $PSi10/_{50}$, $PSi20/_{30}$, $PV10/_{50}$, et $PV20/_{30}$ diffèrent significativement (P<0,05) du pâté témoin.

III.4.2- Influence des amidons acétylés et du taux d'incorporation sur les propriétés physico-chimiques des pâtés crus et cuits

Le pH des pâtés crus et cuits (tablau 22), la Capacité de Rétention d'Eau (CRE) des patés crus (figure 40), les pertes de poids à la cuisson (figure 41), l'indice d'acide thiobarbiturique des pâtés cuits (figure 42), le profil de texture (tableau 23) et les paramètres de couleur des pâtés cuits sont des analyses qui ont permis d'évaluer l'influence des amidons modifiés ainsi que leurs taux d'incorporation sur les propriétés physico-chimiques des pâtés.

Tableau 22 : Influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur le pH des pâtés crus et cuits

	Taux	$P_{Témoin}$	*PSi/10*	*PSi/20*	*PV/10*	*PV/20*
pH crus	20	/	5,82±0,09[a]	5,91±0,12[a]	5,96±0,16[a]	5,90±0,13[a]
	30		5,83±0,09[a]	5,92±0,14[a]	5,87±0,12[a]	5,86±0,11[a]
	40		5,87±0,12[a]	5,91±0,13[a]	5,86±0,10[a]	5,88±0,15[a]
	50	5,79±0,07[a]	5,86±0,10[a]	5,89±0,09[a]	5,86±0,16[a]	5,86±0,09[a]
pH cuits	20	/	5,98±0,01[a]	5,95±0,04[a]	5,95±0,03[a]	5,95±0,05[a]
	30		5,97±0,03[a]	5,94±0,03[a]	5,93±0,03[a]	5,94±0,01[a]
	40		5,94±0,01[a]	5,94±0,05[a]	5,94±0,03[a]	5,94±0,02[a]
	50	5,97±0,03[a]	5,97±0,02[a]	5,94±0,04[a]	5,95±0,03[a]	5,95±0,03[a]

Les moyennes dans la même colonne affectées d'une même lettre en exposant pour le même paramètre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles et avec le témoin. Les moyennes sur la même ligne affectées d'une même lettre en exposant ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles.

III.4.2.1- pH des pâtés crus et cuits

Le pH renseigne sur la qualité technologique ou l'aptitude à la transformation et à la cuisson de la viande (Anderson, 2000). Lorsque le pH de la viande est inférieur à 5,6 (pH bas), on obtient des viandes pâles, molles et exsudatives, responsables de pertes élevées en nutriments au cours de la cuisson. Lorsque le pH final de la viande reste grand (pH>6,0), la viande est dite DFD (Dark, Firm and Dry), foncée, ferme et sèche, en raison des faibles réserves en glycogène du muscle. Cette viande est moins apte à la production de produits de charcuterie. De plus, le pH élevé est responsable d'une plus grande sensibilité aux infections

microbiennes et diminue la capacité de conservation de la viande. Sa couleur foncée n'est pas appréciée du consommateur (Van Oeckel, 1999).

Dans le tableau 23 les pH des pâtés crus sont compris entre 5,82±0,09 et 5,96±0,16 pour les pâtés *PSi10/$_{20}$* et *PV10/$_{20}$* respectivement. Ceux des pâtés cuits varient entre 5,93±0,03 pour le pâté *PV10/$_{30}$* et 5,98±0,01 pour le pâté *PSi10/$_{20}$*. Sur la base des travaux de Van Oeckel (1999) qui suggèrent des limites de pH de la viande au tour de 5,8 pour une tendreté acceptable, des pertes de jus de cuisson limitées et une couleur normale, il y a lieu de penser que le pH de la mêlée (pâtés crus) est propice à la fabrication des pâtés.

Tout comme pour les pâtés aux amidons natifs, on observe une augmentation du pH après cuisson. Sherman (1961) pense qu'il y aurait rupture des liaisons faisant intervenir des groupes imidazoles et sulfhydriles des acides aminés de la viande ou hydroxyles des amidons. Hamm (1966) suggère un masquage de certains groupements ionisables suivant la conformation des protéines de la viande.

Les résultats des analyses statistiques montrent que pour les pâtés crus tout comme pour les pâtés cuits, ni le type d'amidon (origine botanique), ni le temps d'acétylation, ni le taux d'incorporation des amidons n'influencent significativement (P>0,05) le pH des produits finis.

III.4.2.2- Capacité de rétention d'eau des pâtés

Les qualités technologique et sensorielle des produits carnés sont influencées par la CRE (Van Oeckel, 1999). Les CRE des pâtés crus sont comprises entre 66,21±1,98 et 77,28±0,72% MF pour les pâtés *PV20/$_{20}$* et *PSi10/$_{50}$* respectivement (figure 40).

La CRE augmente significative (P<0,05) avec le taux d'incorporation des amidons modifiés de pomme de terre et de manioc dans les pâtés. Des résultats semblables ont été obtenus par Khalil (2000) sur du pâté de bœuf aux amidons modifiés soient 63,21 à 83,09%. Cette augmentation de la CRE peut être attribuée à l'aptitude des amidons modifiés à fixer une partie de l'eau libérée par les protéines (Claus et Hunt, 1991 ; Troutt, Hunt, Johnson, Claus, Kastner et Kropf, 1992 ; Berry, 1997). A taux d'incorporation égal des amidons acétylés dans les pâtés, le temps d'acétylation a une influence significative (P<0,05) sur la CRE à 20, 40 et 50g/kg de mêlée. Des CRE semblables (P>0,05) à celle du témoin sont obtenues pour les amidons modifiés *Sipiera/10* et *2425/10* au taux d'incorporation de 40g/kg de mêlée.

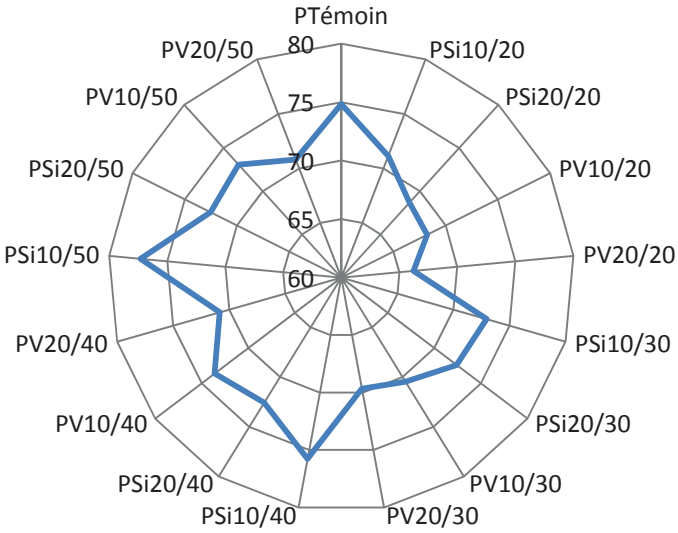


Figure 40 : Influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur la CRE des pâtés

III.4.2.3- Pertes de poids à la cuisson des pâtés

Les pertes de poids à la cuisson des pâtés renseignent sur la capacité de la mêlée à retenir certains de ses constituants pendant la cuisson (Luruena-Martinez, Vivar-Quintana et Revilla, 2004).

Les pertes de poids à la cuisson sont une conséquence de l'évaporation de l'eau et du drainage au chauffage de la matière concernant d'une part, les composants de la viande et d'autre part, les additifs tel que le sel (Gonzales-Mendez *et al.*, 1983). L'importance de ce phénomène est primordiale en raison de ses conséquences sur les qualités technologiques et organoleptiques du produit final. Les résultats des pertes de poids à la cuisson des pâtés produits sont présentés sur la figure 41.

Les pertes de poids enregistrées lors de la cuisson des différents pâtés varient de 3,85±0,35 à 4,93±0,36g/100g MF pour les pâtés *PSi20/$_{50}$* et *PV10/$_{20}$* respectivement. Il ressort de la figure 41 que ni le type d'amidon, ni le temps d'acétylation, ni même le taux d'incorporation des amidons n'ont une influence significative (P>0,05) sur les pertes de poids des pâtés. On observe néanmoins une baisse non significative (P>0,05) de ces pertes avec l'augmentation du taux d'incorporation des amidons dans les pâtés. Cette baisse quoique non significative serait liée à la CRE des pâtés qui croît avec le taux des amidons dans les pâtés. Les différents pâtés produits ne diffèrent pas significativement (P>0,05) du pâté témoin.

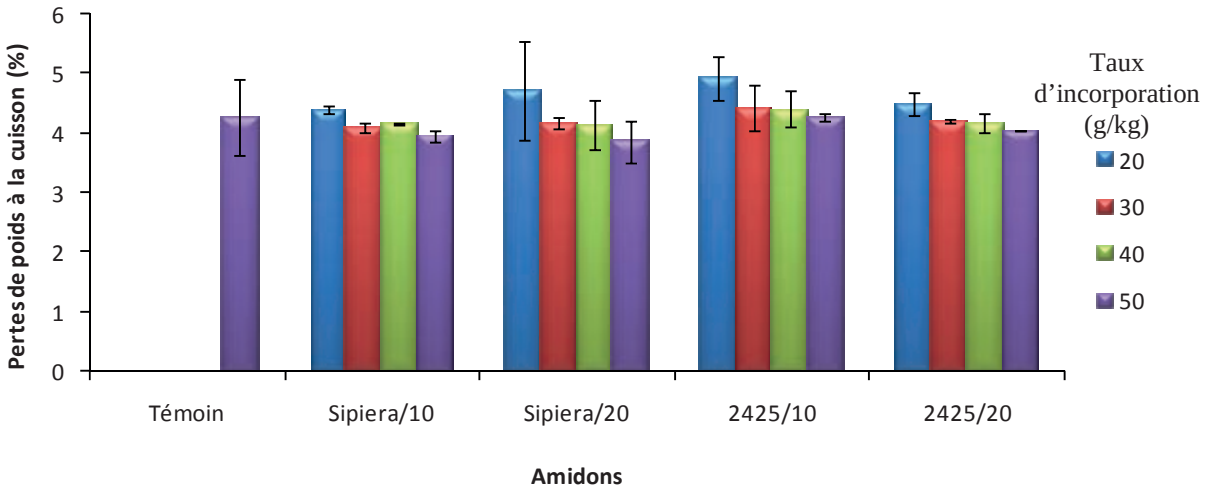


Figure 41 : Influence du taux d'incorporation des amidons acétylés sur les pertes de poids à la cuisson des pâtés

III.4.2.4- Indices d'acide thiobarbiturique des pâtés cuits

L'indice d'Acide Thiobarbiturique (TBA) exprimé en mg de malonaldéhyde par kg de pâté (MDA/kg) a été déterminé dans le but d'évaluer le degré d'oxydation des lipides en fonction du temps d'acétylation et du taux d'incorporation des amidons (figure 42).

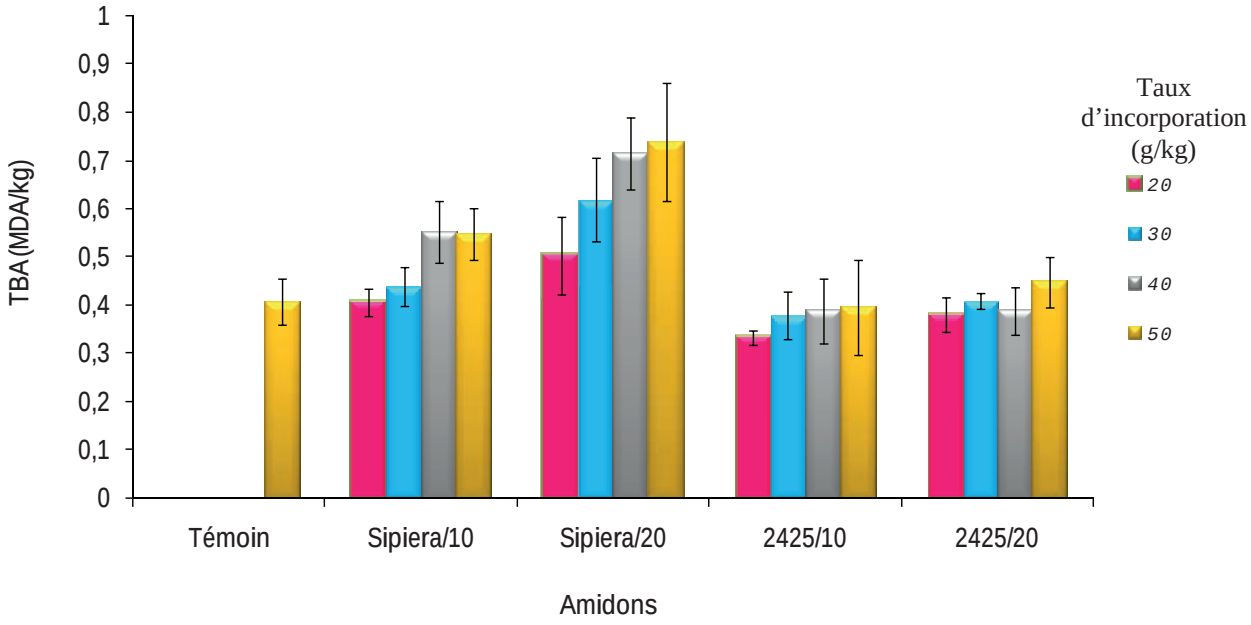


Figure 42 : Influence du taux d'incorporation des amidons acétylés sur l'indice de TBA des pâtés cuits

On note d'après cette figure, une augmentation significative (P<0,05) du degré d'oxydation des pâtés avec le taux d'incorporation et le temps d'acétylation de l'amidon de pomme de terre *sipiera*. Le taux d'oxydation des lipides le plus élevé est atteint avec l'amidon de pomme de terre *Sipiera/20* au taux d'incorporation de 50g/kg de mêlée. Contrairement aux amidons de pomme de terre *Sipiera,* ni le taux d'incorporation, ni le temps d'acétylation de l'amidon de manioc *2425* n'ont une influence significative (P>0,05) sur le taux d'oxydation des lipides des pâtés cuits. Les pâtés aux amidons de manioc *2425* s'oxydent moins que les pâtés aux amidons de pomme de terre *Sipiera.* Les différences au niveau de la composition physico-chimique de ces deux types d'amidon pourraient l'expliquer. En effet l'influence des amidons modifiés de pomme de terre sur l'augmentation du taux d'oxydation des lipides des pâtés pourrait être attribuée à la forte tendance des gels d'amidons à former des complexes avec les lipides et d'autres constituants alimentaires (Hermansson et Svegmark, 1996). De ce qui précède, il ressort que les complexes formés seraient à l'origine de la formation des radicaux libres précurseurs de l'oxydation des lipides.

III.4.3- Influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur le profil textural des pâtés cuits

Les paramètres texturaux sont des indicateurs de qualité pour l'acceptabilité du produit. Afin d'évaluer l'influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur le profil de texture des pâtés, la dureté, la cohésion, l'élasticité et la masticabilité ont été déterminées à travers un test à deux morsures. Les résultats sont présentés dans le tableau 23.

La dureté est la force nécessaire pour obtenir la déformation imposée lors de la première morsure. Elle varie de 24,33±0,74 à 34,41±0,20N pour les pâtés cuits *PV10/$_{20}$* et *PSi10/$_{50}$* respectivement (tableau 23). La dureté des pâtés augmente significativement (P<0,05) avec le taux d'incorporation des amidons, ces observations seraient liées à la baisse de l'humidité des pâtés cuits avec l'augmentation du taux d'incorporation des amidons. En effet les analyses statistiques révèlent une corrélation hautement significative et négative (R=-89) entre l'humidité des pâtés et leur dureté. Les résultats trouvés sont en accord avec ceux rapportés par Carballo, Barreto et Jiménez-Colmenero (1995) qui montrent que la présence d'amidon a une influence significative sur la dureté des saucissons. La tendance des résultats de la dureté des pâtés corrobore également les travaux de Khalil (2000) sur le pâté de bœuf formulé avec l'amidon modifié de maïs et de l'eau : cet auteur a montré que la réduction de la dureté des pâtés est liée à leur teneur élevée en eau. Le temps d'acétylation influence

Tableau 23 : Influence des amidons acétylés et de leurs taux d'incorporation sur les propriétés texturales des pâtés cuits

	Taux	$P_{Témoin}$	*PSi/10*	*PSi/20*	*PV/10*	*PV/20*
Dureté (N)	20	/	$25,53\pm0,62^{bc}$	$26,36\pm0,18^{cde}$	$24,33\pm0,74^{a}$	$24,97\pm0,22^{ab}$
	30		$27,30\pm1,15^{efg}$	$27,49\pm0,82^{fg}$	$25,88\pm0,44^{bcd}$	$26,81\pm0,57^{def}$
	40		$28,19\pm0,92^{ghi}$	$29,27\pm0,26^{jk}$	$26,91\pm0,13^{ef}$	$27,68\pm1,09^{fgh}$
	50	$28,89\pm1,00^{ij}$	$34,41\pm0,20^{m}$	$32,71\pm1,04^{l}$	$29,98\pm0,92^{k}$	$28,66\pm1,88^{hij}$
Cohésion	20	/	$0,74\pm0,00^{a}$	$0,74\pm0,00^{ab}$	$0,75\pm0,02^{abcd}$	$0,75\pm0,01^{abcde}$
	30		$0,76\pm0,01^{cdefg}$	$0,76\pm0,00^{bcdef}$	$0,75\pm0,00^{abcd}$	$0,76\pm0,01^{bcdef}$
	40		$0,77\pm0,02^{fgh}$	$0,78\pm0,03^{hi}$	$0,75\pm0,00^{abc}$	$0,76\pm0,00^{bcdef}$
	50	$0,76\pm0,01^{defgh}$	$0,77\pm0,03^{gh}$	$0,79\pm0,01^{i}$	$0,79\pm0,01^{i}$	$0,77\pm0,02^{efgh}$
Elasticité	20	/	$0,76\pm0,01^{bcd}$	$0,74\pm0,01^{ab}$	$0,72\pm0,04^{a}$	$0,76\pm0,04^{abcd}$
	30		$0,76\pm0,07^{bcd}$	$0,77\pm0,03^{bdc}$	$0,75\pm0,00^{abc}$	$0,77\pm0,05^{bcd}$
	40		$0,78\pm0,05^{cd}$	$0,85\pm0,01^{f}$	$0,79\pm0,00^{cd}$	$0,79\pm0,01^{de}$
	50	$0,85\pm0,07^{f}$	$0,83\pm0,05^{ef}$	$0,86\pm0,01^{f}$	$0,79\pm0,01^{de}$	$0,79\pm0,01^{de}$
Masticabilité (N)	20	/	$18,81\pm0,41^{ab}$	$19,56\pm0,07^{bcd}$	$18,27\pm0,04^{a}$	$18,79\pm0,53^{ab}$
	30		$20,75\pm1,08^{e}$	$20,78\pm0,67^{e}$	$19,40\pm0,30^{bc}$	$20,29\pm0,26^{de}$
	40		$21,67\pm1,19^{fg}$	$22,75\pm0,55^{h}$	$20,10\pm0,08^{cde}$	$21,95\pm0,85^{ef}$
	50	$22,05\pm0,97^{gh}$	$26,65\pm0,72^{j}$	$25,88\pm0,64^{j}$	$23,73\pm1,12^{i}$	$21,97\pm1,00^{gh}$

Les moyennes dans la même colonne affectées d'une même lettre en exposant pour le même paramètre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles et avec le témoin. Les moyennes sur la même ligne affectées d'une même lettre en exposant ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles.

significativement (P<0,05) la dureté des pâtés aux taux d'incorporation de 40 et 50g/kg de mêlée pour l'amidon *Supiera.* Pour l'amidon *2425* le même résultat est obtenu à 50/kg de mêlée. Ces résultats montrent que l'origine botanique de l'amidon affecte significativement la dureté des pâtés. Une dureté identique (P>0,05) à celle du pâté témoin est obtenue à un taux d'incorporation de 40g/kg de mêlée avec l'amidon *Sipiere/10* et *Sipiera/20* et à 50g/kg de mêlée avec l'amidon *2425/20.*

La cohésion exprime le degré de liaison entre les différents constituants du pâté. Celle des pâtés cuits varie de 0,74±0,00 pour $PSi10/_{20}$ à 0,79±0,01 pour $PV10/_{50}$ (tableau 23), la cohésion des pâtés augmente significativement (P<0,05) avec le taux d'amidon à l'exception des pâtés *PV/20* pour lequels l'augmentation n'est pas significative (P>0,05). Ces résultats

corroborent ceux de Khalil (2000) et viennent conforter le fait que les amidons sont considérés comme des liants en technologie alimentaire. Le gel formé par l'amidon contribue à maintenir l'ensemble des constituants du pâté pour former un tout. Le gel d'amidon forme un réseau moléculaire dans lequel les différents constituants du pâté sont enchevêtrés. En effet, il existe une corrélation significative et positive (R=0,79) entre le taux d'incorporation des amidons dans les pâtés et leur cohésion. Le temps d'acétylation des amidons *Sipiera* et *2425* n'affecte significativement (P<0,05) la cohésion des pâtés qu'aux taux d'incorporation de 40 et 50g/kg de mêlée. De ces résultats, il se dégage que la cohésion est d'autant plus importante que le taux d'incorporation d'amidon est élevé. Seuls les pâtés $PSi10/_{20}$, $PSi20/_{20}$, $PSi20/_{50}$, $PV10/_{40}$ et $PV10/_{50}$ se distinguent (P>0,05) du témoin.

L'élasticité est la propriété que possèdent certains corps à reprendre leur forme ou leur volume quand la force qui les déformait a cessé d'agir. L'élasticité des pâtés varie de 0,72±0,04 à 0,86±0,01 pour les pâtés $PV10/_{20}$ et $PSi20/_{50}$ respectivement (tableau 23). Elle croît avec le taux d'amidon probablement à cause de la baisse de l'humidité des pâtés cuits avec l'augmentation du taux d'amidon tel qu'observé dans le tableau 21. Cette réduction de la teneur en eau des pâtés se traduit au niveau des gels d'amidon par une augmentation de leur élasticité et par la même occasion de celle du pâté dont ils constituent la matrice. En effet, Selon Forni *et al.* (1986), plus la force d'appui à fournir pour une déformation est importante, plus le module d'élasticité apparent est élevé et plus la dureté du produit est importante. Ceci est confirmé par l'existence d'une corrélation significative et négative entre l'humidité des pâtés et leur élasticité (R=-0,73) et d'une corrélation significative et positive entre l'élasticité et la dureté des pâtés (R=0,80). L'effet des amidons modifiés de la même origine botanique sur l'élasticité des pâtés n'est pas significativement apparent (P>0,05) à 20, 30 et 50g d'incorporation par kg de mêlée. A ces taux d'incorporation, le temps d'acétylation également n'a pas une influence significative (P>0,05) sur l'élasticité des pâtés. A 40g/kg de mêlée, on note une différence significative (P<0,05) entre l'élasticité du pâté à l'amidon *Sipiera/10* et le pâté à l'amidon *Sipiera/20* alors que tous deux ne se distinguent pas (P<0,05) des pâtés aux amidons modifiés de manioc. De ce qui précède, il ressort que le temps d'acétylation des amidons de pomme de terre affecte significativement (P<0,05) l'élasticité des pâtés cuits à 40g/kg de mêlée. De tous les pâtés, seuls les pâtés $PSi10/_{50}$, $PSi20/_{40}$ et $PS20/_{50}$ ne diffèrent pas significativement (P<0,05) du pâté témoin.

La masticabilité est définie comme une valeur qui simule l'énergie nécessaire pour mastiquer un produit mi-solide vers un état de déglutition (Anonyme, 2008). Elle est étroitement liée à la dureté et à la cohésion du produit concerné. En effet la masticabilité des

pâtés cuits a été déduite de leur dureté et cohésion. Comme la dureté et la cohésion, la masticabilité des pâtés cuits augmente avec le taux d'amidon et ceci pour tous les amidons acétylés. Indépendamment de l'origine botanique de l'amidon, à 20g d'incorporation par kg de mêlée, le temps d'acétylation n'a pas une influence significative (P>0,05) sur la masticabilité des pâtés. Cependant aux autres taux d'incorporation (30, 40 et 50g/kg de mêlée), l'influence du temps d'acétylation dépend de l'origine botanique de l'amidon. La différence dans la composition physico-chimique des amidons suivant leur origine botanique serait à l'origine de cette observation. Une masticabilité semblable à celle du pâté témoin est obtenue avec les amidons *Sipiera/10* et *Sipiera/20* aux taux d'incorporation de 40g/kg de mêlée et pour l'amidon *2425/20* à 50g/kg de mêlée.

L'ACP des paramètres du profil de texture des pâtés (figure 43), laisse observer que de tous les pâtés aux amidons acétylés produits, celui à l'amidon *Sipiera/20* à 40g/kg de mêlée se rapproche plus du pâté témoin

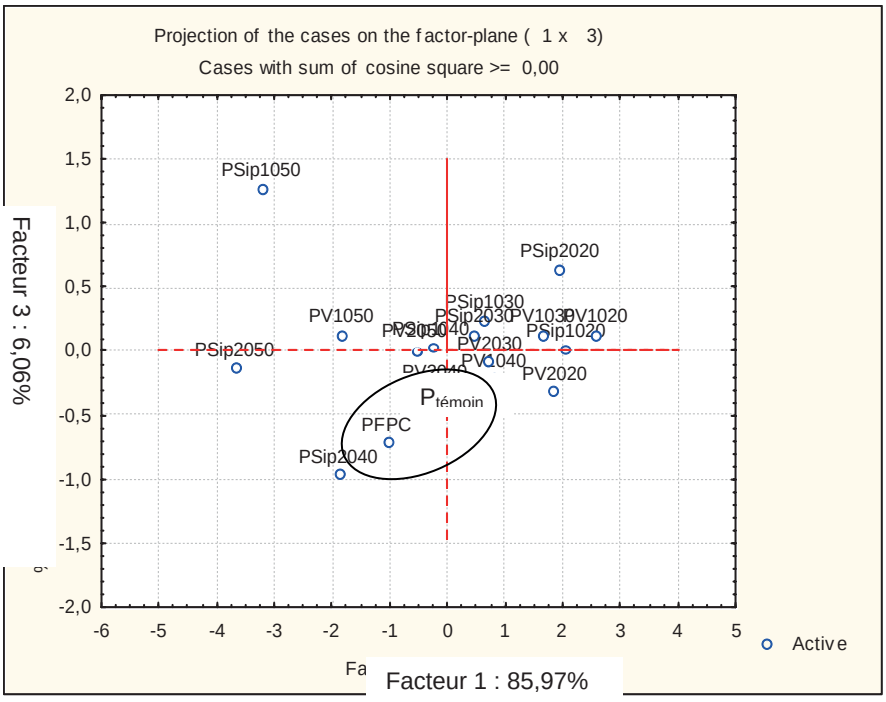


Figure 43 : Regroupement des pâtés suivant leurs affinités sur la base de leur profil textural

III.4.4- Paramètres de couleur des pâtés cuits

La couleur est un attribut perceptif, subjectif, important en charcuterie. C'est un argument commercial qui oriente les consommateurs dans leurs choix. Afin d'évaluer l'influence du temps d'acétylation des amidons et de leurs taux d'incorporation sur la couleur des pâtés cuits, les paramètres de couleur L*, a* et b* ont eté mesurés (tableau 24).

Tableau 24 : Paramètres de couleur des pâtés cuits aux amidons acétylés

	Taux	$P_{Témoin}$	*PSip/10*	*PSip/20*	*PV/10*	*PV/20*
L*	20	/	50,03±1,71^{ef}	48,88±1,59^{def}	50,73±0,83^{f}	49,90±0,50^{ef}
	30		49,78±1,87^{ef}	47,83±1,18^{bcde}	49,29±1,00^{def}	49,12±0,28^{def}
	40		47,50±0,83^{bcd}	45,19±1,72^{a}	49,51±1,73^{def}	48,78±1,86^{cdef}
	50	49,39±1,63^{def}	46,64±0,49^{abc}	46,14±1,73^{ab}	49,45±0,17^{def}	47,80±1,71^{bcde}
a*	20	/	9,56±1,88^{bc}	8,57±1,09^{abc}	8,88±0,66^{abc}	9,91±0,82^{c}
	30		9,37±1,59^{bc}	8,37±1,75^{abc}	8,95±0,34^{abc}	9,18±0,51^{abc}
	40		8,74±1,19^{abc}	8,07±0,61^{ab}	8,88±0,39^{abc}	9,18±0,05^{abc}
	50	8,76±1,48^{abc}	8,66±0,19^{abc}	7,77±1,00^{a}	8,58±0,61^{abc}	9,10±0,33^{abc}
b*	20	/	18,28±0,33^{cde}	17,92±0,08^{bcde}	18,88±1,04^{ef}	19,66±0,98^{f}
	30		17,79±1,19^{abcde}	17,66±0,97^{abcde}	17,54±0,34^{abcd}	18,43±1,25^{def}
	40		16,59±1,32^{a}	16,72±0,66^{ab}	17,09±0,42^{abc}	17,71±1,64^{abcde}
	50	17,91±0,58^{bcde}	17,20±0,12^{abcd}	16,97±0,16^{ab}	17,79±0,52^{abcde}	16,51±0,63^{a}

Les moyennes dans la même colonne affectées d'une même lettre en exposant pour le même paramètre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles et avec le témoin. Les moyennes sur la même ligne affectées d'une même lettre en exposant ne présentent pas de différence significative au seuil de 5% entre elles.

La luminance (L*) des pâtés cuits est comprise entre 45,19±1,72 (*Psi20/$_{40}$*) et 50,73±0,83 (*PV10/$_{20}$*). Celle des pâtés aux amidons acétylés de pomme de terre diminue significativement (P<0,05) avec l'augmentation du taux d'amidon. Les pâtés aux amidons acétylés de manioc par contre ne montrent aucune variation significative (P>0,05) de leur

luminance avec l'augmentation du taux d'amidon. Cette différence de luminance induite par ces deux types d'amidon peut être attribuée à la clarté de leur gel qui elle-même est étroitement associée à l'origine botanique de l'amidon (Vasanthan *et al.*, 1995). A taux égal d'incorporation dans les pâtés, le type d'amidon n'affecte la luminance des pâtés qu'à partir de 40g/kg de mêlée. Cependant, on peut constater que les pâtés contenant les amidons de la même origine botanique ne sont pas significativement différents (P<0,05) les uns des autres. Par ailleurs, on note qu'à 40 et à 50g/kg de mêlée, des similitudes (P<0,05) entre des patés aux amidons de pomme de terre et de manioc. Avec les amidons de manioc *2425/10* et *2425/20* et à tous les taux d'incorporation (20,30, 40 et 50g/kg de mêlée) on obtient une luminance identique (P>0,05) à celle du pâté témoin. La même luminance (P>0,05) n'est atteinte par les amidons de pomme de terre acétylés qu'à des taux d'incorporation de 20 et 30g/kg de mêlée. Ce qui montre que l'origine botanique de l'amidon a une influence significative (P<0,05) sur la luminance des pâtés cuits.

Les paramètres de chromacité sont reprensentés par a* et b*. Les valeurs de a* varient de 8,07±0,61 à 9,91±0,82 pour les pâtés $PSi20/_{40}$ et $PV20/_{20}$ respectivement. La variation du taux d'incorporation des différents amidons dans les pâtés n'a pas une influence significative (P>0,05) sur la valeur de a*. Au même taux d'incorporation, les différents amidons utilisés n'affectent pas significativement (P>0,05) les valeurs de a* des pâtés.

Au contraire de a*, l'autre paramètre de chromacité b* des pâtés est significativement influencé (P<0,05) par la variation du taux d'incorporation des amidons *Sipiera/10, 2425/10* et *2425/20* dans les pâtés. L'indice de chromacité b* varie de 16,51±0,63 ($PV20/_{50}$) à 19,66±0,98 ($PV20/_{20}$). De façon générale, on note une diminution de la valeur de b* avec l'augmentation du taux d'incorporation d'amidons dans les pâtés. Cette baisse de la valeur de b* qui correspond à l'atténuation par l'amidon de la coloration jaune serait due à une interaction avec les pigments dérivant de la myoglobine responsable de la coloration rose des produits carnés. Au même taux d'incorporation dans les pâtés, le type d'amidon n'a pas une influence significative sur b*. De tous les pâtés produits, seul le pâté à l'amidon *Sipiera/10* au taux d'incorporation de 40g/kg de mêlée et celui à l'amidon *2425/20* à 20g/kg de mêlée se distinguent significativement (P<0,05) du pâté témoin.

III.4.5- Conclusion partielle

Pour cette partie de l'étude portant sur l'incorporation des amidons locaux de pomme de terre et de manioc acétylés dans le pâté de bœuf, l'influence du temps d'acétylation et du taux d'incorporation de ces amidons ont été évalués sur les caractéristiques physico-chimiques et texturales des pâtés. Plusieurs cas de figures sont à considérer en fonction du paramètre analysé et de l'état du pâté (cru ou cuit). L'humidité et la teneur en lipides des pâtés crus et cuits sont affectées ($P<0,05$) par l'augmentation du taux d'amidon. La teneur en protéines brutes des pâtés crus et la teneur en cendres des pâtés cuits ne sont affectées ni par le temps d'acétylation des amidons ni par leur taux d'incorporation dans les pâtés.

Les propriétés physico-chimiques telles que le pH des pâtés crus et cuits ne sont influencées ($P>0,05$) ni par le temps d'acétylation des amidons ni par leur taux d'incorporation dans les pâtés. Le taux d'incorporation des amidons acétylés de pomme de terre et de manioc affectent significativement ($P<0,05$) la CRE des pâtés. Le taux d'oxydation des lipides (TBA) est influencé par le temps d'acétylation des amidons, leur origine botanique et leurs taux d'incorporation dans les pâtés au contraire de la perte de poids à la cuisson des pâtés. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) des paramètres du profil de texture montre que de tous les pâtés aux amidons acétylés produits, celui à l'amidon *Sipiera/20* à 40g/kg de mêlée ne se distingue pas significativement ($P>0,05$) du pâté témoin.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette étude a été de substituer dans le pâté de bœuf aux épices locales, l'amidon de pomme de terre importée (*Leader price*^{TM}) par des amidons locaux natifs ou acétylés. Au therme de celle-ci, la coclusion suivante est tirée.

La caractérisation physico-chimique et rhéologique des amidons natifs permettent de noter que pour la composition globale, seule 1'humidité diffère significativement d'un amidon à l'autre. La teneur en phosphore des amidons de pomme de terre est significativement supérieure à celle des amidons de manioc. Le taux de lipides, protéines, sucres totaux et cendres par contre montrent des similitudes entre les amidons d'origines botaniques différentes. Les caractérisations physiques des amidons ont permis de faire ressortir un certain nombre de similitudes entre les amidons provenant de la même espèce botanique. Par exemple, la microscopie électronique à balayage montre des affinités morphologiques entre les amidons de pomme de terre d'une part et les amidons de manioc d'autre part. Sur le plan de la répartition granulométrique, les amidons natifs des cultivars de pomme de terre locale sont plus proches de l'amidon témoin. Les résultats sur les propriétés fonctionnelles ont indiqué une influence significative de l'origine botanique de l'amidon. C'est le cas de la Capacité de Rétention d'Eau (CRE) qui est significativement plus élevée pour les amidons de pomme de terre tandis que la Capacité de Rétention d'Huile (CRH) l'est plutôt pour les amidons de manioc. Les paramètres thermiques des amidons natifs ne répondent pas à cette logique, ceux-ci varient indépendamment de l'origine botanique. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) fait ressortir que de tous les amidons natifs, celui du cultivar de pomme de terre *Sipiera* se rapproche le plus du témoin.

La composition globale des pâtés crus est significativement influencée par les types d'amidon et leurs taux d'incorporation. Après cuisson des pâtés, on note une baisse de la teneur en eau des pâtés. Les teneurs en lipides et en cendres des pâtés cuits ne sont pas significativement affectés par le type et le taux d'incorporation des amidons. Pour ce qui est de propriétés physico-chimiques, le pH des pâtés crus et cuits ainsi que les pertes à la cuisson des pâtés n'ont pas significativement été influencés par le type et la variation du taux d'incorporation des amidons natifs contrairement à la CRE. L'ACP des paramètres texturaux des pâtés laisse apparaître que de tous les amidons natifs étudiés, c'est l'amidon du cultivar de manioc *Seedling* au taux d'incorporation de 40g/kg de mêlée (*PS40*) qui permet d'obtenir un pâté proche du témoin.

L'analyse de la composition globale des amidons natifs de pomme de terre *Sipiera* et de manioc *2425* et de leurs homologues modifiés montre que l'acétylation influence significativement ($P<0,05$) l'humidité, la teneur en cendres, en phosphore et en amylose des amidons. Pour ce qui est des caractérisations physico-chimiques, la répartition granulométrique est significativement affectée par l'acétylation mais des valeurs semblables à celle de l'amidon témoin ne sont pas atteintes. Par ailleurs, des paramètres de couleur (L*, a*, b*) semblables ($P>0,05$) à celle de l'amidon témoin ont été obtenus en acétylant les amidons natifs. D'après les résultats des paramètres thermiques des amidons, l'acétylation modifie significativement ($P<0,05$) les températures seuil (T_0), pic (T_p) et de fin de gélatinisation (T_c) de l'amidon natif de manioc et permet d'obtenir des valeurs semblables ($P>0,05$) à celle de l'amidon témoin. Au niveau des propriétés fonctionnelles, la CRE des amidons de manioc croît avec le pourcentage d'acétylation quelle que soit la température. La rétrogradation tout comme l'indice de consistance et d'écoulement sont modifiés par l'acétylation mais des valeurs proches de celles de l'amidon témoin ne sont pas atteintes. Un faible pourcentage d'acétylation permet de réduire la rétrogradation de l'amidon de pomme de terre *Sipiera* au contraire de l'amidon de manioc *2425*. L'ACP montre que l'amidon *Sipiera* et ses homologues acétylés se rapprochent plus de l'amidon témoin que les amidons de manioc.

De l'incorporation des amidons acétylés dans les pâtés, il ressort que l'humidité et la teneur en lipides des pâtés crus et cuits sont affectées ($P<0,05$) par l'augmentation du taux d'amidon. Par contre seule l'humidité des pâtés crus n'est pas affectée ($P>0,05$) par le temps d'acétylation des amidons. Les teneurs en protéines des pâtés crus et en cendres des pâtés cuits ne sont affectées ($P>0,05$) ni par le temps d'acétylation des amidons ni par leurs taux d'incorporation dans les pâtés. Les propriétés physico-chimiques tels que le pH des pâtés crus et cuits ne sont influencées ($P>0,05$) ni par le temps d'acétylation des amidons ni par leurs taux d'incorporation dans les pâtés. On observe une augmentation significative ($P<0,05$) de la CRE des pâtés avec le taux d'amidons acétylés de pomme de terre et de manioc. Le taux d'oxydation des lipides (TBA) est également affecté par le temps d'acétylation et le taux d'incorporation des amidons dans les pâtés au contraire de la perte de poids à la cuisson. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) des paramètres du profil de texture des pâtés cuits montre que de tous les pâtés aux amidons acétylés produits, celui à l'amidon *Sipiera* au taux d'incorporation de 40g/kg de mêlée ne se distingue pas significativement ($P>0,05$) du pâté témoin.

Comme perspectives pour ce travail, il serait intéressant de faire une analyse de diffraction aux rayons des amidons pour apprécier l'effet de l'acétylation sur la structure

semi-cristalline des amidons acétylés. Le spectre infrarouge des amidons natifs et de leurs homologues acétylés permettrait de visualiser l'effet de l'acétylation et du temps d'acétylation au niveau de la structure des amidons. Il serait également intéressant de faire des essais d'incorporation d'autres sources d'amidon. Le calcul du coût de production des pâtés à base d'amidon locaux depuis les phases d'extraction et de modification, contribuerait également à valoriser cette étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AACC (American Association of Cereal Chemists), **(1992).** Official method of the AACC, 8th ed. Method 44-15A, approved October 1975, received October 1981; Method 76-30A, approved May 1969, revised October 1982, and October 1984, Method 76-31, approved September 1992; Method 8060, approved April 1961, revised October 1982. The association: St. Paul, MN, USA.

ABOU J. O., DUODU G. K. AND MINNAAR A. (2006). Effect of γ-irradiation on some physicochemical and thermal properties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) starch. *Food Chemistry* 95, 386-393.

ADEBOWALE, K. O., & LAWAL, O. S. (2003). Microstructure, functional properties and retrogradation behaviour of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) starch on heat moisture treatments. *Food Hydrocolloids*, 17, 265–272.

ADEBOWALE K. O., AFOLABI T. A. & OLU-OWOLABI B. I., (2006). Functional, physicochemical and retrogradation properties of sword bean (*Canavalia gladiata*) acetylated and oxidized starches. *Carbohydrate Polymers* 65, 93–101.

ADRIAN J., POTUS J. & FRANGNE R. (1995). La Science Alimentaire de A à Z. 2è edition. *Lavoisier, Technique et Documentation*. Paris France. 477p.

AFNOR, (1982). Recueil des normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes, jus de fruits, 1ere édition. Edité par Afnor, Paris (France).

AFNOR, (1984). Recueil des normes françaises. Produits agricoles alimentaires : directives générales pour le dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl cité par Gordon B. et Popineau dans *Guide pratique des céréales, APRIA,* Paris (France). PP 263-266.

AFNOR (Association Française de Normalisation) (**1986**). Eaux - Méthode d'essai. Recueil de norme française. Paris (France).

AFNOR, 1993. Recueil des normes françaises. Paris, édit. 1993.

AGBOOLA, S. O.; AKINGBALA, J. O. & OGUNTIMEIN, G. B. (1991). Physicochemical and Functional Properties of Low DS Cassava Starch Acetates and Citrates. *Starch*/*Staerke*, 43 : 62-66.

AGRI-STAT, (2000). Annuaire des statistiques du secteur agricole exercice 1999/2000 n°006. *Division des études et projets agricoles, Cellule des enquêtes et statistiques.* Ministère de l'agriculture. Yaoundé, Cameroun, 114p.

AGUILERA, J. M. & STANLEY, D. W. (1999). Microstructural principles of food processing and engineering (pp. 373–411). Maryland (US of America) : *Aspen Publication*.

AKHILA R., PRASAD V.S. & EMILIA A. T. (2006). Enzymatic esterification of starch using recovered coconut oil. *International Journal of Biological Macromolecules* 39: 265–272.

AKORADA M.O., (1992). State of the art Cassava production in adamawa Cameroon and implication for improvement promotion of root crop-based industries: An initiative for research and development. *Proceeding of the fourth trienal symposium of the International Society for tropical Crops-Africa*, branch held in Kinshasa, Zaire 5-8 December 1989.

AKTAS N. & GENÇCELEP H., (2006). Effect of starch type and its modifications on physicochemical properties of bologna-type sausage produced with sheep tail fat. *Meat Science* 74: 404–408

AL-MUHTASEB A.H., MCMINN W.A.M. & MAGEE T.R.A. (2004). Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. *Journal of Food Engineering* 61: 297–307.

ALVES R.M.L., GROSSMANN M.V.E. & SILVA R.S.S.F., (1999). Gelling properties of extruded yam (*Dioscorea alata*) starch. *Food Chemistry*, 67: 123-127.

AMANI G. N., DUFOUR D., MESTRE C. & KAMENAN A., (2003). Resistance to technological stress of yam starch gels. *Food Africa*, Internet Forum 31 March – 11 April. *Internet paper for Safety and Quality Management*. http://foodafrica.nri.org/safety/safetypapers/GeorgesGuessanAmani.pdf, 24/10/2007.

AMANI G. N. & KAMENAN A. (2003). Potentialités nutritionnelles et technologie traditionnelle de transformation des denrées amylacées en Côte d'Ivoire. 2ème Atelier international / *2nd International Workshop.* Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles *Food-based approaches for a healthy nutrition* Ouagadougou, 23-28 / 11/2003. ; Pp. 383-392.

ANDERSON H.J. (2000). What is pork quality ? Quality of meat and fat in pigs as affected by genetics and nutrition. *EAAP publication* N°100, Zurich, Switzerland. 25 August 1999. Pp. 15-26.

ANGELLIER H. (2005). Nanocristaux d'amidon de maïs cireux pour applications composites. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier – Grenoble 1 (France). 298p.

ANONYME (2005a). Programme Pan-Africain de contrôle des épizooties (PACE). 1er février 2003-31 janvier 2004. Direction des services vétérinaires.

ANONYME (2005b). Règlement de la Communauté Européenne (CE) No 2073/2005 de la commission du 15 novembre 2005, concernant les critères microbiologiques applicables aus denrées alimentaires. *Journal Officiel de l'Union Européenne.* 26P.

ANONYME (2006). Ministère de l'économie et des finances, de la programmation et de l'aménagement du territoire. Institut national de statistique, annuaire statistique du Cameroun 2006, 196p.

ANONYME (2008). AMETEK SAS : Accessoires et applications pour le texturomètre Lloyd instruments TA Plus France. 23P. (www.lloyd-instruments.fr, 2008).

ANSART M., (1990). Le poids et la diversité des débouchés industriels des amidons. *I.A.A.*, 6: 541-545.

AOAC, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, (1990), 15th (Ed. W. Horwitz) AOAC, Washington D.C.

ATKIN N.J., (1990). Physical-chemistry. 5ème edition, *Oxford University Press, United Kingdom*.

ATKIN N.J., CHENG S.L., ABEYSEKERA R.M. & ROBARDS A.W., (1999). Localisation of amylose and amylopectin in starch granules using enzyme-gold labelling. *Starch/Stärke*, 51: 163-172.

AUDIGIE C., DUPONT G. & ZONSAIN F. (1983). Principes des méthodes d'analyse biochimique ; tome 2 ; *Doin Editeurs*, Paris – France, pp 27-33.

AUDIGIÉ C., FIGARELLA J. & ZONZAIN. **1980.** *Manipulations d'analyses biochimiques,* Doin éditeur Paris - France. 274 p.

BALDET P. (2004). La mesure de l'activité de l'eau appliquée au contrôle de l'état hydrique du pollen et des graines d'arbres forestier. *Les 2ème rencontres du végétal, Cemagref, INRA.* Nogent sur Vernisson (France). 23P.

BANKS W. & GREENWOOD C.T. (1975). Starch and its components. Ed. W. Banks et C.T. Greenwood, *Edinburgh University Press.*

BANKS W., GREENWOOD C. T. & KHAN, K. M. (1971). The interaction of linear, amylose oligomers with iodine. *Carbohydrate Research*, 17: 25–33.

BARACCO P., BERGER. Y, DURAND P., FRENTZ J.P., GIRON J., GUERIN J., JACQUET B. JUILLARD A., PINEL M., POTERRE P. & SIRAMI J., (1982). *Dictionnaire encyclopédique de la charcuterie, Ed.* Mercel Bon 70000 Vesoul - France. 790p.

BARTON T.J. (1999). Tailored porous materials. *Chem. Mater*, 11: 2633-2656

BELL A, MÜCK O & SCHULER B., (2000). Les richesses du sol. Les plantes à racines et tubercules en Afrique: une contribution au développement des technologies de récolte et d'après récolte. Germany : DES, GTZ.

BELLO-PEREZ, L. A., AGAMA-ACEVEDO, E., SANCHEZ-HERNANDEZ, L., & PAREDES-LOPEZ, O. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 854–857

BELLO-PEREZ, L. A., CONTRERAS-RAMOS, S. M., JIMENEZ-APARICIO, A., & PAREDES-LOPEZ, O. (2000a). Acetylation and characterization of banana (Musa paradisiaca) starch. *Acta Cientifica Venezolana*, 51: 143–149.

BELLO-PEREZ, L. A., ROMERO-MANILAL, R., & PAREDES-LOPEZ, O. (2000b). Preparation and properties of physically modified banana starch prepared by alcoholic-alcaline treatment. *Starch*, 52: 154–159.

BEMILLER J.N. (1965). Acid hydrolysis and other lytic reactions of starch. In: *Starch:Chemistry and Technology*, R. L. Whistler, New York, Academic Press, 1: 495-516.

BERTON B. (2002). Hydratation par adsorption de vapeur d'eau ou par immersion des farines de blé et de leurs constituants. Thèse de doctorat de l'ENSAIA-INPL de Nancy-France. 215P.

BERTON B., SCHER J. & HARDY J. (2002). Evolution physicochimique des farines de blé au cours de son procédé technologique de fabrication, *Récents Progrès en Génie de Procédés*, 77 : 539-544.

BERRY, B. W. (1997). Sodium alginate plus modified tapioca starch improves properties of low-fat beef patties. *Journal of Food Science*, 62: 1245-1249.

BETANCUR, A. D., CHEL, G. L., & CANIZARES, H. E. (1997). Acetylation and characterization of Canavalia ensiformis starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 378–382.

BEUCHAT, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *J. Agric. Food Chem.*, 25: 258–261.

BILIADERIS C., PAGE C., MAURICE T., JULIANO B. (1986) "Thermal characterization of rices starches: a polymeric approach to phase transitions of granular starch.", *J. Agricultural Food Chem.*, 34: 6-14.

BILIADERIS C.G. ET PROKOPOWICH D.J., (1994). Effect of polyhydroxy compounds on structure formation in waxy maize starch gels: a calorimetric study. *Carbohydr. Polym.*, 23 : 193-202.

BLENNOW A., BAY-SMIDT A. M., OLSEN C. E., MOLLER B. L. (2000). The distribution of covalently bound phosphate in the starch granule in relation to starch crystallinity. *International Journal of Biological Macromolecules* 27: 211–218

BLICKSTAD E. ENFORS S.O. ET MOLIN G., (1981). Effect of hyperbaric carbon dioxide pressure on the microbial flora of pork at 4 or 14°C. *J. Appl. Bacteriol.* 50 : 45-56.

BLICKSTAD E. ET MOLIN G., (1983). The microbial flora of smoked pork loin and frankfurter sausage stored in differents atmospheres at 4°C. *J. Appl. Bacteriol.* 54 : 493-504.

BOURSIER B. (1994). Applications alimentaires des amidons modifiés. *Actualités technique et industrielles IAA, Septembre 1994.* Pp. 583-592.

BOURSIER B. (2005). Amidons natifs et amidons modifiés alimentaires. *Technique de l'ingénieur* Dossier F4690, 22P.

BOUTBOUL, A., GIAMPAOLI, P., FEIGENBAUM, A., ET DUCRUET, V. (2002). Influence of the nature and treatment of starch on aroma retention. *Carbohydrate Polymers*, 47: 73–82.

BOUTON P.E., HARRIS P.V. & CARROL F.D., (1972). The effect of cooking temperature and time on some mechanical properties of meat. *J. Food Sci.*, 37 : 140-144.

BRETON-DOLLET V., (1996). Influence du couple température/cisaillement sur les propriétés rhéologiques de préparations à base d'amidon. Thèse Génie des procédés industriels, université de technologie de Compiègne.

BROW, J. E. (1995). Nutrition now (pp. A-30, A-40). West Pub Co. University of Minnesota, St. Paul, MN, USA (Table A1-99).

BRUNAUER S., EMMET P.H. & TELLER E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of American Chemical Society*. 60: 309-319

BULEON A. BIZOT H., DELAGE M.M. & MULTON J.L. (1982). Evolution of crystallinity and specific gravity of potato starch versus water Ad-and De-sorption. *Starke*. 34 : 361-366.

BULEON A., (2001). *Caractéristiques structurales des amidons*. Formation Adria des 21 et 22 mars 2001 à Nantes (France).

BULEON A., COLONNA P. & LELOUP V., (1990). Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. *Actualités des industries alimentaires et agro-industrielles*; Institut National de la Recherche Agronomique, Nante - France, 6 : 515-532.

BULEON A., COLONNA P., PLANCHOT V. & BALL S. (1998) Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules* 23: 85–112.

BURROS B.C., YOUNG L.A. & CARROAD P.A., (1987). Kinetic of corn meal gelatinization at high temperature and low moisture. *Journal of Food Science,* 52: 1372-1376.

C.I.E. (Commission Internationale de l'Eclairage), (1976). Official recommendations on uniform colour spaces, colour differences equations and metric colour terms. Supplement n°2 to C.I.E. publication n°15, Paris, France.

CAYOT N., LAFARGE C., ARVISENET G. &TAISANT C., (2000). Influence of aroma compounds on the mechanical properties of starch-based food systems. *Journal of Texture Studies*, 31: 297-313.

CARBALLO, J., BARRETO, G., & JIMÉNEZ COLMENERO, F. (1995). Starch and egg white influence on properties of bologna sausage as related to fat content. *Journal of Food Science*, 60: 673 - 677.

CHEETHAM, N. W. H., & TAO, L. P. (1998). Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. *Carbohydrate Polymers*, 36 : 277–284.

CHEFTEL J-C. & CHEFTEL H. (1976). Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments Volume 1. *Tech & Doc Lavoisier*, Paris - France. 381p.

CHEFTEL J-C., CHEFTEL H. & BESANÇON P., (1977). Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Volume 2. *Technique et documentation-Lavoisier*, Paris, France. 419p.

CHENE C., (2004). Les amidons 2ème partie. *Journal de l'adrianor, Agro-Jonction N°35 Aout/Septembre* 2004.

CHRASTYL J., (1986). Amélioration technique et économique du procédé de fabrication de l'amidon aigre de manioc. Rapport final du contrat CEE/STD2 TS2A-0225, CIRAD, Monpellier – France. 49p.

CHRASTYL J., (1987). Improved colorimetric determination of amylose in starch or flour. *Carbohydrate research.* 159: 154-158.

CHRISTENSEN C.M., (1984). Food texture perception. *In* : *Advances in Food Research*, 29: 159 – 195.

CIAT (1994). Annual Report Cassava Program. Centro *International de Agricultura Tropical* (CIAT). Cali, Colombie, pp. 71-73.

CLAUS, J. R., & HUNT, M. C. (1991). Low-fat, high added water bologna formulated with texture-modifying ingredients. *Journal of Food Science*, 56: 643-647.

CLAVEN R., VAN DEN DERG C. & VAN DER PLAS L. (1978). Crystals structure of hydrated starch. *Stärke*. 31 : 222-224.

COLONNA P. et BULEON A., (1994). Transformations structurales de l'amidon, dans « La cuisson-extrusion », *Tec&Doc Lavoisier*. Pp. 18-40

COLONNA P., (1998). Propriétés fonctionnelles des amidons. *Formation Adria* des 3 et 4 juin 1998 à Paris (France).

COLONNA P., (2001). Amidons modifiés physiquement. *Formation Adria* des 21 et 22 mars 2001 à Nantes (France).

COLONNA P. & MERCIER C., (1984). Macromolecular structure of wrinkled –and smooth-pea starch components. *Carbohydrate Res.*, 126: 233-247.

COUSIDINE, D. M. (1982). Foods and food production encyclopedia. NY: John Wiley Inc. p. 142.

CRAIG S.A.S., MANIGAT C.C., SEIB P.A. & HOSENEY R.C., (1989). Starch paste clarity. *Cereal Chem*. 66: 173-182.

CULIOLI J., BERRI C. & MOUROT J., (2002). La viande, consommation, composition, qualité, en nutrition préventive. Edition INRA. Demigné et Rémery éditeur, 162p.

DE COCK, P. (1996). Functional properties of starch/Methods and applications. *Agro-Food-Industry Hi-Tech. 7,* (4), 18-22.

DEFLOOR, I., DEHING, I., & DELCOUR, J. (1998). Physicochemical properties of cassava starch. *Starch*, 50 : 58–64.

DELPEUH F., FAVIER J.C. & CHARBONNIERE R., (1978). Caractérisation des amidons des plantes alimentaires tropicales. *Ann. Technol. Agric*. 27 : 809-826.

DIAGNE D. & DE OLIVIERA P., (2007). Le marché des produits agroalimentaires au Cameroun. *Mission économique, fiche de syntèse*. Version originale du 06/02/2007. © MINEFI – DGTPE, Ambassade de France au Cameroun. 4p.

DJOULDE D. R., ETOA F.-X., ESSIA NGANG J.-J. & MBOFUNG C.M.F. (2004). Fermentation du Manioc par une culture mixte de *Lactobacillus plantarum* et *Rhizopus oryzae* (2003), *Microbiologie et Hygiène Alimentaires* 4:11-18.

DJOULDE D. R., ETOA F.-X., ESSIA NGANG J.-J. & MBOFUNG C.M.F. (2005). Screening des Microorganismes à Potentialités fermentaires pour le Manioc. *Tropicultura* 23 : 11-18

DONOVAN J.W. (1979) Phase transitions of the starch-water system. *Biopolymers*, 18 (2), 263-275.

DOUBLIER, J. L. (1987). A rheological comparison of wheat, maize, faba bean and smooth pea starches. *Journal of Cereal Science*, 5: 247– 262.

DOUBLIER J.L. (2001). Caractérisation des empois, gels d'amidon et milieux complexes. *Formation Adria* des 21 et 22 mars 2001 à Nantes (France).

DUPIN H., CUP J.-L. & MALEWIAK M.-I. , (1992). Amidon. Alimentation et nutrition humaine. Paris-France : *ESF éditeur*, Pp.127-135.

DUPRAT F., GALLANT D., GUILBOT A., MERCUER C. & ROBIN J.P., (1980). L'amidon dans **l**es polymères végétaux. *Ed. B. Monties*, Gauthier-Villars. Pp. 176-231.

DURAND P., (1999). Technologie des produits de charcuterie et des salaisons. *Collection Sciences et techniques Agroalimentaires*, Londre, Paris, New York. 530p.

DZUDIE T. & OKUBANJO A., (1998). Effect of rigor state on quality and stability of goat sausages. *Irich Journal of Agricultural and Food Research* 37 : 69-77.

ELEVINA P. A., FORREST S. SCHULTZ & EMPERATRI´Z PACHECO DE DELAHAYEC (2005). Characterization of some properties of starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocassia esculenta*. *Carbohydrate polymers* 69: 139-145.

ELIASSON, A. C., FINSTAND, H. & LJUNGER, G. (1988). A study of starch lipid interactions of some native and modified maize starches. *Starch*, 40: 95–100.

ELLIS, H. S., & RING, S. G. (1985). A study of some factors influencing amylose gelation. *Carbohydrate Polymers*, 5: 201–213.

ELOMAA M., ASPLUND T., SOININEN P., LAATIKAINEN R., PELTONEN S., HYVÄRINEND SARI & URTTI A. (2004). Determination of the degree of substitution of acetylated starch by hydrolysis, 1H NMR and TGA/IR. *Carbohydrate Polymers* 57: 261–267.

ELSENHABER, F., & SCHULZ, W. (1992). Monte Carlo simulation of the hydration shell of double-helical amylase: a left-handed antiparallel double helix fits best into liquid water structure. *Biopolymers*, 32 : 1643–1664.

FAO. **(1984).** Annuaire FAO de la production. Collection FAO: Statistiques, n° 61. Rome.

FAO (1986). Le rôle des racines, tubercules et bananes plantains dans la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Onzième session du comité de la sécurité alimentaire mondiale. Rome, 9-16 avril 1986.

FAO. (1994). Abattage, découpage de la viande et traitement ultérieur. Etude FAO production et santé animales 90. Rome 186P.

FAUCITANO L. & LEVESQUE J. (2003). Le gras dans la longe de porc : Répartition et site de mesure de sa teneur. *Porc Québec.* Fédération des producteurs de porc au Québec. 5P.

FISHER E. H. & STEIN E. A. (1961). DNS colorimetric Determination of Available Carbohydrates in foods. *Biochemical Preparations;* 8 : 30 – 37.

FORNI E., TORREGGIANI D., BATTISTON P. & POLESELLO A. (1986). Research into changes of pectic substances in apricots and peaches processed by osmotic dehydration. *Carbohydrate Polymers*, 6: 379 – 393.

FOURNAUD, J. (1987). Rôle des lactobacilles dans les écosystèmes microbiens des viandes. Thèse de Doctorat d'état ès Sciences. Université de Bordeaux I, France. 244p.

FREITAS R.A., PAULA R.C., FEITOSA J.P.A., ROCHA S. & SIERAKOWSKI M.-R., (2004). Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches. *Carbohydrate polymers*, 55: 3-8.

FRENCH A.D. (1981). Trend in the biology of fermentation for fuels and chemicals. Ed. A. Hollaender, R. Rabon, P. Rogers, A., San Pietro, R. Valentine, R. Wolfe, *Pub*. *Plenum Press*, New York.

FRENCH A.D. (1984) "Organisation of the starch granules", in *Starch: Chemistry and Technology*, R. L. Whistler, J. N. Bemiller and E. F. Paschall. Pp. 183-247.

FRINGANT C., DESBRIERE J. & RINAUDO S., (1996). Physical properties of acetylated starch-based materials : relation with their molecular characteristics. *Polymers* ; 37 : 63-73.

FUERTES P., (1998). Les amidons modifiés chimiquement. *Formation ADRIA* des 3 et 4 juin 1998 à Paris (France).

GALLANT D.J. & BOUCHET B., (1986). Ultrastructure of maize starche granule. A reviw. *Food microstructure*. 5 : 141-155.

GALLANT D.J., BOUCHET B. & BALDWIN P.M., (1997). Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. *Carbohydrate Polymers*. 32 : 177-191.

GALLANT, D. J., BEWA, M., BUY, Q. H., BOUCHET, B., SZYLIT, O. & SEALY, L. (1982). Ultrastructural nutritional aspects of some tropical tuber starches. *Starch*. 34 : 255-261.

GAUDIN S., LOURDIN D., ILARI J.L. & COLONNA P., (1998). Influence de l'humidité relative de conservation sur les propriétés texturales de films d'amidon plastifiés par du sorbitol. *Agoral*, Massy 1 et 2 avril, 1998.

GIDLEY M.J. & BOCIEK S.M. (1988). ^{13}C CP/MAS NMR studies of amylase inclusion complexes, cyclodextrines, and amorphous phase of starch granules: relationships between glycosidic linkage conformation and solid-state ^{13}C chemical shif. *J. Am. Chem. Soc*. 110: 3820-3829.

GIRARD J.P., (1988). Technologie de la viande et des produits carnés. *Tech & Doc Lavoisier*. Paris (France) 280p.

GODET M.C., (1994). Mécanismes de formation des complexes amylose-acide gras. Thèse de Doctorat, Chimie Biologie, Faculté des Sciences et Techniques de Nantes (France). 255p.

GONZALES-MENDEZ N., GROS J.B. & POMA J.P., (**1983)**. Mesure et modélisation des phénomènes de diffusion lors du salage de la viande. *V.P.C*., 4: 35-41.

GOOD, H. (2002). Measurement of colour in cereal products. *Cereal Foods World*. 4: 5–6.

GUNARATNE A. & HOOVER R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, 49: 425-437.

HAKKI I. B., WILLIAMS P.C. & KÖKSEL H., (2004). A rapid method for the estimation of damaged starch in wheat flours. *Journal of Cereal Science.* 39: 139-145.

HAMM, R. (1960). Biochemistry and meat hydration. In *Advances in food research*. New York: *Academic Press*, 10: 355-363.

HAMM, R., (1966). Heating of muscle systeme. In « the physiology and biochemestry of muscle as a food ». *Univ. Wisconsin press*, Madison. Pp 363-385.

HAMM R. & DEATHERAGE F.E., (1960). Change in hydratation, solubility and charges of muscle proteins during heating of meat. *Food Res.*, 25: 587-610.

HENNIG, V. H. J., LECHET, H. & GOEMANN, W. (1976). Examination of swelling mechanism of starch by pulsed NMR method. *Starch*. 28: 10–14.

HERMANSSON, A. M. & SVEGMARK, K. (1996). Developments in the understanding of starch functionality. *Trends in Food Science and Technology*, 7: 345–353.

HILLOCKS R.J., (2002). Cassava in Africa, production and utilisation. *CABI Publishing*, Wallington (United kingdom), PP. 41-54.

HIZUKURI, S., (1985). Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. *Carbohydrate Polymers*, 141: 295–306.

HIZUKURI S., TABATA S. & NIKUNI Z., (1970). Studies on starch phosphate: Part 1. Estimation of glucose 6-phosphate residues in starch and the presence of tuber bound phosphate. *Starch/ Stärke*. 22: 338 –343.

HOLLAND, F. A. & BRAGG, R., (1995). Fluid flow for chemical engineers. London, UK, p. 358.

HOOVER R., (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 45, 253–267.

HOOVER R., (2000). Acid-treated starches. *Food Rev. Int.* 16: 369-392.

HOOVER, R. & HADZIYEV, D., (1981). Characterisation of potato starch and its monoglyceride complexes. *Starch*, 33: 290–300.

HORII F., YAMAMOTO H., HIRAI A. & KITAMARU R., (1987). Structural study of amylase polymorphus by cross-polarization-magic angle spinning, ^{13}C-NMR spectroscopy. *Carbohydrate Research.* 160: 29-40.

HORSENEY R.C., (1994). Dry milling of cereal, principle of cereal science and technology, *American Association of Cereal Chemists*, St. Paul, MN, USA, PP. 125-145.

HUANG J. (2006). Function-structure relationships of acetylated pea starches. Ph.D. thesis Wageningen University, Netherlands 152p.

IAA (Industrie Agro-Alimentaire), (1990). 107^{e} année N°6 Spécial: Industries céréalières. 2, rue de l'Oratoire 75001 Paris - France.

INSTITUT PASTEUR PRODUCTION, (1980). Milieux de culture et réactifs du laboratoire Pasteur. Edition Publifab, Paris - France. 573p.

IOUCHI, N., GLOVER, D. V., SUGIMOTO, Y., & FUWA, H., (1984). Developmental changes in starch properties in several endosperm mutants of maize. *Starch/Staärke*, 36: 8–12.

ISLAM, M. N., RUTLEDGE, J. E., & JAMES, W. H., (1974). Influence of rice crystallinity on cross-linking. *Cereal Chemistry*, 51, 51–56.

IUPAC (International Union of Applied Chemistry), (1979). Standard Methods for Analysis of oils, Fats and derivatives. 6th Edition, *Pergamon Press*. Paris, France. 170p.

JACKSON T.C., ACUFF G.R., SHARP T.R. & SAVELL J.W., (1992). Identification and evaluation of volatile compunds of vacuum and modified atmosphere packaged beef strip moins. *Meat Sci.* 31 : 175-190.

JARUNEE L., (2006). Characteristics of microencapsulated b-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloïds*.

JEANTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P. & BRULE G., (2007). Technologie des produits alimentaires. *Tec & Doc Lavoisier*. Vol. 2. Paris (France). 456p.

JENKINS P.J. & DONALD A.M., (1998) Gelation of starch: a combined SAXS/WAXS/DSC and SANS study. *Carbohydrate Research*, 308: 133-147.

JOHN M., SCHMIDT J. & KNEIFEL H., (1983). Iodine maltosaccharine complexes: relation between chain length and colour. *Carbohydrate Ressearch*, 119: 254-257.

JUNRONG H., HENK A. S., ZHENGYU J., ELLEN S. & ALPHONS G.J. V., (2007). Characterization of differently sized granule fractions of yellow pea, cowpea and chickpea starches after modification with acetic anhydride and vinyl acetate. *Carbohydrate Polymers* 67: 11–20.

KAYODE O. A. & OLAYIDE S. L., (2003). Functional properties and retrogradation behaviour of native and chemically modified starch of mucuna bean (*Mucuna pruriens*). *J. Sci. Food Agric.* 83: 1541–1546.

KHALIL, A. H., (2000). Quality characteristics of low-fat beef patties formulated with modified corn starch and water. *Food Chemistry*, 68: 61–68.

KIM Y. & WANG S.S., (1999). Starch cooking with limited water as affected by zein and guar gum. *Journal of Food Sciences*, 64 : 133-135.

KLANG M.J., (2002). Caractérisation et potentielle de valorisation de l´amidon de sept variétés de manioc améliorées de la province de l´Adamaoua. Mémoire de DEA en Sciences Alimentaires et Nutrition, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles (ENSAI), Université de Ngaoundéré-Cameroun. 57p.

KNUTSON C.A., (1999). Evaluation of variations in amylose–iodine absorbance spectra. *Carbohydrate Polymers.* 42: 65–72.

KREGEL K.K., PRUSA K.J. & HUGHES K.V., (1986). Cholesterol content and sensory analysis of ground beef as influenced by fat level, heating and storage. *J. Food Sci.* 51: 1161-1162.

KRUEGER, B. R., KNUTSON, C. A., INGLETT, G. E. & WALKER, C. E. (1987). A differential scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behaviour of corn starch. *Journal of Food Science*, 52: 715–718.

KUHN K. & SCHLAUCH S., (1994). Comparative study about commercially available starches for high shear and high temperature application in foods. *Starch/Stärke*, 46: 208-218.

LAGARRIGUE S. & Alvarez G., (2001). The rheology of starch dispersions at high temperature and high sher rate : a review. *Journal of Food Engineering.* 50: 189-202.

LAMBERTI M., GEISELMANN A., CONDE-PETIT B. & ESCHER F., (2004). Starch transformation and structure, development in production and reconstitution of potato flakes. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*. 37 : 417–427.

LAROCHE M. & NICOLAS N., (1983). Influence des conditions de chauffage sur les teneurs en matière sèche et en cendre des échantillons de viande hachée. Réunion des chercheurs en viande, Texte de la conférence : *viande et produits Carnés*. Paris (France) 2-4 mars 1983. Pp. 37-41.

LARSONNEUR S., (1993). Influence du séchage solaire sur la qualité de l'amidon aigre de manioc. *Mémoire d'ingénieur UIC,* Colombie, 88p.

LEACH H.W. & SCHOCH I.J., (1959). Structure of the starch granule. II. Action of various amylases on granular starches. *Cereal Chem.* 38: 34-46.

LELOUP V., COLONNA V. & BULEON A., (1990). Studies on probe diffusion and accessibility in amylase gels. *Macromolecules.* 23: 862-866.

LELOUP V., COLONNA P. & BULEON A., (1991). Influence of amylose-amylopectin ratio on gel properties. *J. Cereal Sci.* 13: 1-13.

LEVEQUE E., HAYE B. & BELARBI A., (2000). L'amidon et ses dérivés, applications industrielles, *Collection Bio Campus, Editions scientifiques et médicales Elsevier* SAS, P 14.

LHOSTE, P.H., (1969). Les races bovines de l'Adamaoua (Cameroun). *Colloque sur l'élevage*. Fort-Lamy, F1, n°36 sect. 5.1; 519-533.

LII, C.-Y., CHANG, S.-M. & YOUNG, Y.-L., (1982). Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. *Journal of Food Science*, 47: 1493–1497.

LIU, H., RAMSDEN, L. & CORKE, H., (1997). Physical properties and enzymatic digestibility of acetylated ae, wx, and normal maize starch. *Carbohydrate Polymers*, 34: 283–289.

LOH H., (1992). The effect of shear rate and strain on the pasting behaviour of food starch. *Journal of Food Engineering*, 16 : 75-89.

LORIENT D., COLAS B. & LE MESTRE M., (1988). Propriétés fonctionnelles des macromolécules alimentaires. *Tec & Doc* Lavoisier Paris. 268p.

LURUENA-MARTINEZ, M. A., VIVAR-QUINTANA, A. M. & REVILLA, (2004). Effect of locust bean/xanthan gum addition and replacement of pork fat with olive oil on the quality characteristics of low-fat frankfurters. *Meat Science*, 68 : 383–389.

MARIOTTI M., ALAMPRESE C., PAGANI M.A. &LUCISANO M., (2006). Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. *Journal of Cereal Science*, 43: 47–56.

MARTINEZ-BUSTOS F., LOPEZ-SOTO M., SAN MARTIN-MARTINEZ E., ZAZUETA-MORALES J.J. & VELEZ-MEDINA J.J., (2006). Effects of high energy milling on some functional properties of jicama starch (*Pachyrrhizus erosus* L. Urban) and cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Food Engineering*, 78: 1212–1220.

MASSAUX C., BODSON B., LENARTZ J., SINDIC M., SINNAEVE G., DARDENNE P., FALISSE A. & DAROANNE C., (2006). L'amidon natif du grain de blé : un composé naturel à valoriser par la connaissance de ses propriétés techno-fonctionnelles. *Livre blanc « Céréales » F.U.S.A. et CRA-W Gembloux*. 7P.

MAYNARD A. J., (1970). Method in food analysis. Physical, chemical and instrumental method of analysis 2nd edition. *Academic press N-Y.* San Francisco, Codon. 845p.

MBOUGUENG P.D., D. TENIN, C. TCHIEGANG & J. SCHER, (2006). Effects of local spices on physico-chemical, microbiological and consumer acceptability of beef patties. *Journal of Food Technology*, 4 : 16-21.

MELCION J-P., (2000). La granulométrie de l'aliment: principe, mesure et obtention. INRA *Prod. Anim.*, 13: 81-97.

MERRITT P.P. & STAMBERG O.E., (1941). Some studies of flour absorption. *Cereal Chemistry*. 18: 632-639.

MILES M.J., MORRIS C.F. & RING S.G., (1984). Some recent observations on the retrogradation of amylose. *Carbohydrate Polymers*, 4 : 73-77.

MINAGRI (Ministère de l'Agriculture, Direction nationale du recensement agricole), **(1987).** Recensement Agricole 1984. Secteur Traditionnel. Vol. 2 E, F, G, H., Yaoundé (Cameroun).

MOHAMMADOU, TANYA A.K.N & MBOFUNG C.M.F., (1999). Etude de quelques paramètres physico-chimiques de trois variétés améliorées de manioc (*Manihot esculanta* Crutz) produites dans la province de l'Adamaoua Cameroun. *Biosciences Proceedings* (Cameroun). 6: 345-327.

MOHSENIN N.N. & MITTAL J.P., (1977). Use of rheological terms and correlation of compatible measurements in food texture research. *J. Texture Studies*; 8: 395 – 408.

MULTON J.L., (1992). Le sucre, les sucres, les édulcorants et les glucides de charge dans les IAA, Collection sciences et techniques agro-alimentaires, Edition *Tec&doc Lavoisier* Paris (France). Pp 286-287.

MULTON J.L., (2002). Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires, à l'exclusion des produits utilisés au niveau de l'agriculture et de l'élevage : pesticides, hormones, etc. 3ième édition, *Collection Sciences et techniques agroalimentaires*, Edition *Tec&doc Lavoisier* Paris (France). p 44.

MULTON J.L. & GITHMANN J.F., (1991). Analyse des constituants alimentaires. 2e édition Tec&doc. Lavoisier. *APRIA*, Paris (France). Pp. 202-203.

MUTSAERS H.J.W., MBOUÉMBOUÉ P & MOUZONG B., (1981). Traditional food crop growing in the Yaoundé area (Cameroon). Synopsis of the system. *Agro-Ecosystems*; 6 : 273-87.

NGEVE J.M., (2003). Cassava root yields and culinary qualities as affected by harvest ages and test environment. *J. Sci. Food Agri*. 83 : 249-57.

NUNEZ-SANTIAGO M.C., SANTOYO E., BELLO-PEREZ L.A. & SANTOYO-GUTIERREZ S., (2003). Rheological evaluation of non-Newtonian Mexican nixtamalised maize and dry processed masa flours. *Journal of Food Engineering* 60: 55–66.

OLAYIDE S. & LAWAL. (2004). Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. *Food Chemistry*, 87: 205-218.

OSSWALD P., (1995). Economie des racines et tubercules. Solagral, Paris, France, 66.

PELLETIER M., **(1999).** Application de la spectroscopie infrarouge à l'étude de l'organisation de l'eau aux l'interfaces : Le cas des phyllosilicates. Thèse ENSAIA-INPL, Nancy, 375P.

PHILIPPEAU, A., (1986). Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ? *Service des études statistiques, Institut technique des céréales et des fourages*, Paris - France. 63P.

PHILLIPS, D. L., HUIJUM, L., DUOHAI, P. & HAROLD, C., (1999). General application of Raman spectroscopy for the determination of level of acetylation in modified starches. *Cereal Chemistry*. 76: 439–443.

PIELICHOWSKI K, TOMASIK P. & SIKORA M., (1998). Kinetics of gelatinization of potato starch studied by non-isothermal DSC. *Carbohydrate Polymer.,* 35: 49-54.

PNDRT (Programme national de développement des racines et tubercules), (2003). Rapport de formulation. Analyse de la demande et des marchés et propositions pour améliorer l'efficacité de la commercialisation des racines et tubercules et augmenter les revenus des producteurs. Yaoundé : Ministère de l'Agriculture. 150p.

PRENTICE J.H., (1984). Measurement in rheology of foodstuffs. *Elsevier applied science publisher*, London.

PUTAUX J.L., BULEON A. & CHANZY H. (2000). Network formation in dilute amylase and amylopectin studied by TEM.. *Macromolecules*. 33: 6416-6422.

RANHOTRA G.S., GELROTH J.A. & EISENBRAUN G.R., (1993). Correlation between chopin and AACC method of determining damaged starch. *Cereal Chemistry* 70: 235-236.

RAO M. A., & TATTIYAKUL, J., (1999). Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. *Carbohydrate Polymers*. 38: 123–132.

REDDY I. & SEIB P.A. (2000). Modified waxy wheat starch compared to modified waxy corn starch. *Journal of Cereal Science.* 31 : 25-39.

ROBUCHON J., PATRICK P. & SABATIER, (1994). Le meilleur & le plus simple de la pomme de terre, *éditions Robert Laffont,* Paris (France), 250p.

RODIER J., (1978). L'analyse de l'eau : chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie. 6ème Edition, *Dunod Technique*, Paris (France). 1136p.

ROLLER S., (1996). Starch – derived fat mimetics: Maltodextrines. In S. Roller, & S.A. Jones Eds. *Hand boock of fat replacers*. PP 99-118.

RUTENBERG M. & SOLAREK D., (1984). Starch Derivatives: Production and Uses. In *Starch: Chemistry and Technology* Chapter 10; Academic Press: New York.

SANGEETHA M. & RAI T., (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids.* 20: 557-566.

SANTOYO, E., (1997). Transient numerical simulation of heat transfer processes during drilling of geothermal well. Ph.D. Thesis. University of Salford. UK., Pp 136–138.

SANTOYO, E., SANTOYO-GUTIERREZ, S., GARCIA, A., ESPINOSA, G. & MOYA, S. L., (2001). Rheological property measurement of drilling fluids used in geothermal wells. *Applied Thermal Engineering,* 21: 283– 302.

SASAKI, T., & MATSUKI, J., (1998). Effect of wheat starch structure on swelling power. *Cereal Chemistry,* 75(4), 525–529.

SAVOURE J.C., (1980). Manipulation en physiologie végétale. *Masson,* Paris; 258 p.

SEIB P.A. (1997). Principle of preparing food-grade modified starches. *In Proceeding of 3rd CAFST international symposium on granular and molecular structure of starch.* Seoul, Korea. pp. 117-163.

SEOW, C. C., & THEVAMALAR, K. (1993). Internal plasticization of granular rice starch by hydroxypropylation: Effects on phase transitions associated with gelatinization. *Starch,* 45 : 85–88.

SCHER J. (2006). Réologie, texture et texturation des produits alimentaires. Dossier d'actualisation, *Techniques de l'ingénieur F3 300v2.* 16P.

SHERMAN P. (1979). Food texture and rheology; *Academic press,* London.

SHERMAN P., (1961). The water binding capacity of fresh pork. 3. The influence of cooking temperature on the water binding capacity of lean pork. *Food Technol.*, 15 (2), 90-94.

SHIELDNECK, P., & SMITH, C. E. (1971). Production and uses of acid modified starch. In R. L. Whistler & E. F. Paschall (Eds.), Starch:Chemistry and technology (pp. 173–215). *New York: Academic*

SINGH N., CHAWLA D. & SINGH J. (2004). Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch. *Food Chemistry* 86**:** 601–608.

SINGH J., KAUR L. & MCCARTHY O.J. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food application-A review. *Food Hydrocolloids*. 21: 1-22.

SINGH N. S., SINGH N. (2005). Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. *Journal of Food Engineering,* 70: 117–127.

SINGH N., SINGH J., KAUR L., SINGH S. N. & SINGH G. B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81: 219–231.

SINGH, J., SINGH, N., & SAXENA, S. K. (2002). Effect of fatty acids on the rheological properties of corn and potato starch. *Journal of Food Engineering*, 52: 9–16.

SKREDE G., (1989). Comparison of various type of starch when used in meat sausages. *Meat Science.* 25: 21-36

SMITH J.J., OCKERMAN H.W. & PLIMPTON R.F., (1990). The effect of cooking temperature, holding temperature and holding time on proximate analysis, aérobic plate count and coliform count on restructured beef roasts. *Journal of Food Protection;* 53 (**5**) 396-399.

SODHI N. S. & SINGH N. (2005). Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. *Journal of Food Engineering*, 70: 117–127.

SOPADE, P. A., &KIAKA, K. (2001). Rheology and microstructure of sago starch from Papua New Guinea. *Journal of Food Engineering*, 50: 47–57.

SRIROTH, K., PIYACHOMKWAN, K., WANLAPATIT, S., & OASTES, C. G. (2000). Cassava starch technology: The Thai experience. *Starch/Stärke*. 5 : 439–449.

STUTE R., (1992). Hydrothermal modification of starches : the difference between annealing and heat/moisture-treatment. *Stärke*, 44: 205-214.

SUN L., ZHOU G., ZHI G. & LI Z. (2007). Effects of different milling methods on flour quality and performance in steamed breadmaking. *Journal of Cereal Science* 45: 18–23.

TABILO-MUNIZAGA G. & BARBOSA-CANOVAS G. V., (2004) Color and textural parameters of pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white. *Food Research International.* 37: 767-775

TAKAHIRO N., SHOGO T., MOTOYOUKI M., SHIGENOBU T., CHIE M.E., KATSUICHI S., WICKRAMASINGHE H.A.M., AKIHIRO H., YASUYUKI S. & HIROAKI Y. (2004). The effect of harvest dates on the starch properties of various potato cultivars. *Food Chemistry*, 86: 119-125.

TAKAHIRO N., SHOGO T., MOTOYUKI M., SHIGENOBU T., CHIE M-E, SUN-JU K., NAOTO H. & HIROAKI Y., (2006). Determination of the phosphorus content in potato starch using an energy-dispersive X-ray. fluorescence method. *Food Chemistry.* 95: 632 –637.

TAKEDA, C., TAKEDA, Y. & HIZUKURI, S. (1983). Physicochemical properties of lily starch. *Cereal Chemistry*, 60: 212–216.

TAN C.P. & CHE MAN Y.B. (2002). Differential scanning calorimetric analysis of palm oil, palm oil based products and coconut oil: effect of scanning rate variation; *Food Chemistry*, 76: 89-102.

TAN C.P., CHE MAN Y.B., JINAP S. & YUSOFF M.S.A. (2002). Effects of microwave heating on the quality characteristics and thermal properties of RBD palm olein. *Innovative Food Sci. Technol.* 3 : 157 – 163.

TCHAPDA D., (1999). Cameroun : des cartonneries à court d'amidon de manioc. *Bulletin du Réseau TPA SYFIA*; 16 : 38-9.

TCHIEGANG C. & MBOUGUENG P.D. (2005). Composition chimique des épices utilisées dans la préparation du *Nah-poh* et du *Nkui* de l'ouest Cameroun, *Tropicultura,* 23 : 193-200.

TENIN D., SCHER J. & HARDY J. (2002). Common Bean flour as an extender in beef sausage. *Journal of Food Engineering,* 52 : 143-147.

TERLOUW E.M.C. (2002). Stress des animaux et qualités de leurs viandes. Rôles du patrimoine génétique et de l'expérience antérieure. *INRA Prod. Anim.* (France), 15: 125-133.

TESTER, R. F., & KARKALAS, J. (1996). Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry*, 73: 271–273.

TESTER, R. F., & MORRISON, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chemistry*, 67: 551–557.

THOMAS, D. S., & ATWELL, W.A. (1999). Starch structure. In: Starches. Critical guides for the food industry. (Ed. Eagan Press Handbook series) St. Paul, Minnesota, USA.

THURN A. & BURCHARD W. (1985). Heterogeneity in branching of amylopectine, C*arbohydrate Polymer*. *5*: 441-460.

TROUTT, E. S., HUNT, M. C., JOHNSON, D. E., CLAUS, J. R., KASTNER, C. L., & KROPF, D. H. (1992). Characteristics of low-fat ground beef containing texture-modifying ingredients. *Journal of Food Science*, 57: 19-24.

TUSCHHOFF, J.V. (1986). Hydroxypropylated starches. In "Modified Starches: Properties and uses", (O.B. Wurzburg, ed.), CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 89-96.

URQUHART, A. R. (1959). Sorption of water by cellulose and starch. In *J. Honeyman* (Ed.), Recent advances in the chemistry of cellulose and starch (pp. 240–264). London: Heywood & Company.

VAN BEYNUM G.M.A. & ROEL J.A. (1985). Starch conversion technology. Gist-brocades, Deft, The Netherlands, New York. 361p.

VAN LAACH R.J.M. & FRANS J.M.S. (1990). Physical, chemical properties and cooking yield of hamburger prepared from accelerated proceeded beef. *Journal of Food Sci.* 55 : 1268-1269.

VAN OECKEL (1999). The quality of pork. Thesis, University of Gent, Belgium, 163 p.

VASANTHAN T., **BERGTHALLER W., DRIEDGER D., YEUNG J. & SPORNS P. (1999).** Starch from Alberta potatoes: wet-isolation and some physicochemical properties. *Food Research International*. 32**:** 355-365.

VASANTHAN, T., SOSULSKI, F. W., & HOOVER, R. (1995). The reactivity of native and autoclaved starches from different origins towards acetylation and cationization. *Starch*, 4, 135–143.

VEIGA-SANTOS P., SUZUKI C.K., CEREDA M.P. & SCAMPARINI A.R.P. (2005). Microstructure and color of starch–gum films: Effect of gum deacetylation and additives. Part 2. *Food Hydrocolloids*. 19: 1064–1073.

VERON C., WITTE, GRAY F., KRAUSE, MILTONE & BAILEY (1970). A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid value of pork and beef during storage. *J. Food Science* 35 *: 582-585.*

WAIGH T.A., GIDLEY M.J., KOMANSHEK B.U. & DONALD A.M. (2000). The phase transformations in starch during gelatinisation: a liquid crystalline approach. *Carbohydr. Res.,* 328: 165-176.

WALISZEWSKI K. N., APARICIO M. A., BELLO L. A. & MONROY J. A., (2003). Changes of banana starch by chemical and physical modification. *Carbohydrate Polymers* 52: 237–242.

WATTS B.M., YLIMAKI.G.L & JEFERY .L.E., (1991). Méthode de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. Ottawa, Ont., CRDI, 145p.

WHISTLER R. L. (1964). Methods in carbohydrates chemistry. IV Starch. New York: *Academic Press.*

WHISTLER R.L., BEMILLER J.N. & PASCHALL E.F. (1984). Starch, chemistry and technology. 2^{e} édition, 1984, *Academic Press, Inc*.

WHISTLER R.L. & BEMILLER J.N., (1997). Carbohydrate chemistry for food scientists, Egan Press, St. Paul.

WILLINGER A.H.A., (1964). Potato starch. In R.L. Wistler (ed.), *Methods in carbohydrate chemistry (Vol.4, pp. 9-13) New York: Academic Press.*

WOLFF I.A., OLD D.W. & HILBERT G.E. (1978). Triesters of corn starch, amylose, and amylopectine. *In. Eng. Chem.,* 43: 4-11.

WOLFF, J.P. (1968). Manuel d'analyses des corps gras; Azoulay, éditeur ; Paris, France 519p.

WOOLFE J.A., (1987). The potato in the human diet. Cambridge, Royaumes Uni. Cambridge *Univ. Press.*

WOOSELEY A.P. & PAUL P.C. (1969). External fat cover influence on raw and cooked beef1. Fat and moisture content. 2- cooking time, losses, press fluid an shear force values. *J. Food Sci.,* 34: 554-556, 568-569.

WOTTON, M., & BAMUNUARACHCHI, A. (1979). Application of DSC to starch gelatinization. *Starch/Stärk,* 31: 201–204.

WOOTTON, M., & MANATSATHIT, A. (1983). The influence of molar substitution on the water binding capacity of hydroxypropyl maize starches. *Starch/Stärk,* 35: 92–94.

WURZBURG, O. B. (1978). Starch, modified starch and dextrin. Products of the corn refining industry: Seminar proceedings. Washington, DC: Corn Refiners Association, Inc, Pp 23–32.

WURZBURG O. B. (1986). Modified starches: properties and uses. *CRC Press*, Inc.

YADANG G., (2002). Caractérisation physico-chimique et fonctionnelle de la pulpe du melon. Mémoire de DEA en Science Alimentaire et nutrition, ENSAI, Université de Ngaoundéré-Cameroun. 80p.

ZANARDI E., GHIDINI S., BATTAGLIA A. & CHIZZOLINI R. (2004). Lipolysis and lipid oxidation in fermented sausages depending on different processing conditions and different antioxidants. *Meat Science.* 66: 415-423.

ZAYAS, J.F. & LIN, C.S. (1988). Quality and characteristics of frankfurters containing corn germ protein. *J. Food Sci*., 35: 582-585.

ZHENG G.H. & SOSULSKI F.W., (1998). Determination of water separation from cooked starch and flour pastes after refrigeration and freeze-thaw. *Journal of Food Science*, 63, (1), 134-139.

ZOBEL H.F. (1984) Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes, in *Starch: Chemistry and Technology*, R.L. Whistler, E.F. Paschall, and J.N. Bemiller Editors, Academic Press: London, 285-307.

ZOBEL H.F. (1988) Starch crystal transformations and their industrial importance. *Starch/Stärke*, 40(1), 1-7.

ZOBEL, H. F., YOUNG, S. N., & ROCCA, L. A. (1988). Starch gelatinization: An X-ray diffraction study. *Cereal Chemistry*, 65 : 443–446.

ZOULALIAN A. (2006). Particules poreuses interactives, morphologie et caractérisation. *Techniques de l'ingénieur F3 300v2*. 10P.

ZU-QIANG H., JIAN-PING L., XUAN-HAI L. & ZHANG-FA T. (2006). Effect of mechanical activation on physico-chemical properties and structure of cassava starch. *Carbohydrate Polymers.*

ZURIMA G. & ELEVINA P. (2002). Effect of Acetylation on Some Properties of Rice Starch. *Starch/Stärke* 54 : 148–154.

http://www.bienmanger.com/1f11_poivre_oiseaux_Penja_Cameroun, (2008).

http://admi.net/eur/loi/leg_euro/fr_387R4154.html, (1999)

http//www.synpa.org/scripts/fr/02information/02a1_humaine.asp, (2005)

http://www.admi.net/eur/loi/leg_euro/fr_387R4154.html, (1999). Règlement (CEE) n° 4154/87 de la Commission du 22 décembre 1987 définissant les méthodes d'analyse et autres dispositions de caractère technique nécessaires pour l'application du règlement (CEE) n° 3033/80 du Conseil relatif au régime d'échanges applicable à certaines marchandises résultant de la transformation de produits agricoles**.** *Journal officiel* n° L 392 du 31/12/1987 p. 0019 - 0028 Edition spéciale finnoise. Chapitre 3, 25 p.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Province_de_l'Adamaoua_(Cameroun), (2006).

http://www.brancher.com/fr/info_tech/tech/couleur.htm, (2008)

ANNEXES

Annexe 1 :

Granulométrie : granulométrie laser

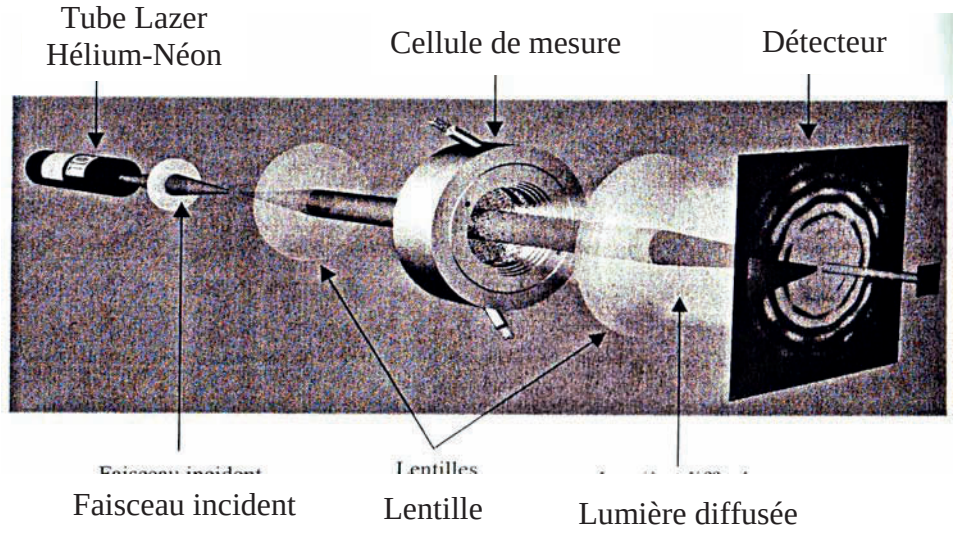


Figure 1A: Chemin optique d'un granulomètre laser Mastersizer S (*Malvern Instruments, Orsay, France*)

Annexe 2

Répartition granulométrique des granules d'amidon

Tableau 1A : Répartition granulométrique des amidons natifs

Amidon		D(v ;0,10)µm	D(v ;0,50)µm	D(v ;0,90)µm	D[4 ;3]µm	D[3 ;2]µm	Span
Pomme de	***Témoin***	22,11±0,04^{f}	43,58±0,08^{f}	68,47±0,32^{e}	44,16±0,13^{f}	21,29±0,04^{e}	67,96±0,32^{e}
	Sipiera	17,92±0,02^{e}	32,26±0,02^{e}	50,68±0,36^{d}	32,99±0,15^{e}	15,76±1,19^{d}	50,12±0,36^{d}
	Tselefou	17,13±0,03^{d}	32,05±0,03^{d}	50,91±0,02^{d}	32,75±0,02^{d}	14,13±0,03^{c}	50,38±0,02^{d}
Manioc	***2425***	7,10±0,02^{a}	15,35±0,02^{b}	27,91±0,18^{b}	16,53±0,08^{b}	6,21±0,03^{a}	27,44±0,18^{b}
	4115	8,12±0,08^{c}	16,54±0,02^{c}	28,59±0,13^{c}	17,41±0,09^{c}	6,98±0,09^{b}	28,10±0,13^{c}
	Seedling	7,67±0,01^{b}	14,92±0,00^{a}	23,98±0,01^{a}	15,27±0,00^{a}	6,26±0,01^{a}	23,46±0,01^{a}

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différents (seuil de probabilité P > 0,05).

Tableau 2A : Répartition granulométrique des amidons

	Amidon	D(v ;0,10)µm	D(v ;0,50)µm	D(v ;0,90)µm	D[4 ;3]µm	D[3 ;2]µm	Span
Pomme de terre	***Témoin***	22,11±0,04^{e}	43,58±0,08^{d}	68,47±0,32^{f}	44,16±0,13^{d}	21,29±0,04^{c}	67,96±0,32^{f}
	Sipiera	17,92±0,02^{d}	32,26±0,02^{c}	50,68±0,36^{d}	32,99±0,15^{c}	15,76±1,19^{b}	50,12±0,36^{d}
	Sipiera/10	17,76±0,18^{d}	32,65±0,20^{c}	51,67±0,12^{e}	33,39±0,16^{c}	14,63±0,16^{b}	51,12±0,12^{e}
	Sipiera/20	17,89±0,16^{d}	32,62±0,19^{c}	51,25±0,33^{de}	33,25±0,23^{c}	14,93±0,12^{b}	50,70±0,33^{de}
Manioc	***2425***	7,10±0,02^{a}	15,35±0,02^{a}	27,91±0,18^{b}	16,53±0,08^{a}	6,21±0,03^{a}	27,44±0,18^{b}
	2425/10	7,63±0,08^{b}	15,29±0,28^{a}	24,73±0,59^{a}	15,61±0,31^{a}	6,51±0,31^{a}	24,23±0,60^{a}
	2425/20	8,11±0,46^{c}	17,75±0,73^{b}	32,35±1,24^{c}	19,88±2,00^{b}	6,69±0,08^{a}	31,89±1,24^{c}

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différents (seuil de probabilité P > 0,05).

Annexe 3 :

Analydes en Composantes principales des amidons natifs

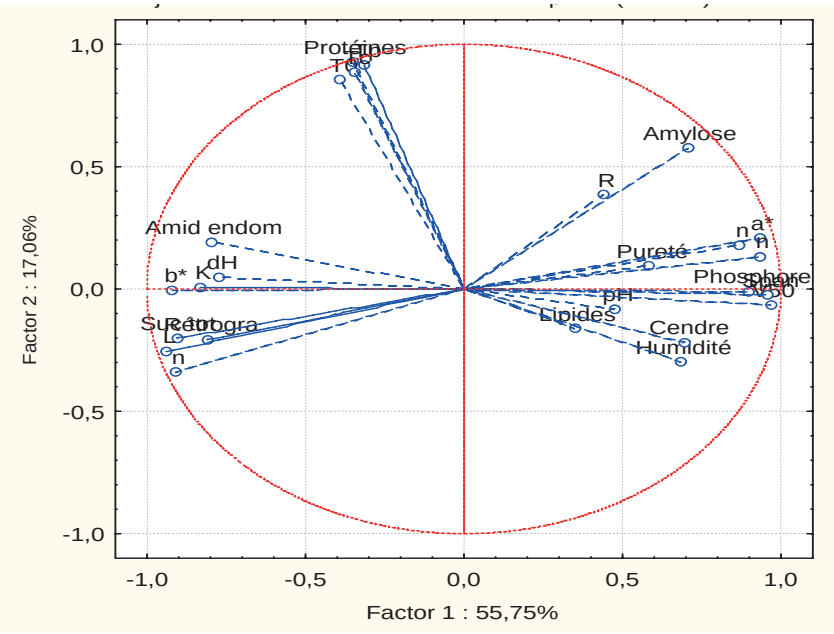


Figure 2A : Influence de différents paramètres sur le regroupement des amidons natifs

Annexe 4:

Analyse par ACP du profil de texture des pâtés aux amidons natifs

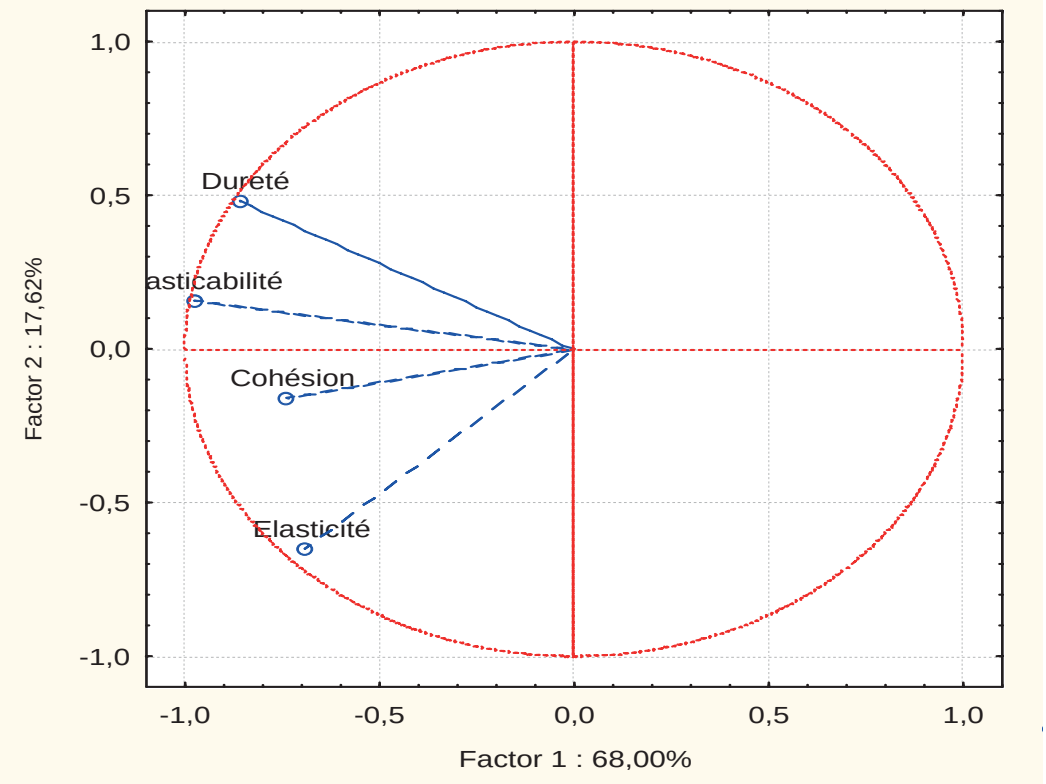


Figure 3A : Influence des différents paramètres de texture sur le regroupement des pâtés des pâtés aux amidons natifs

Annexe 5 :

Analyse par ACP des paramètres physico-chimiques et fonctionnels des amidons natifs et acétylés

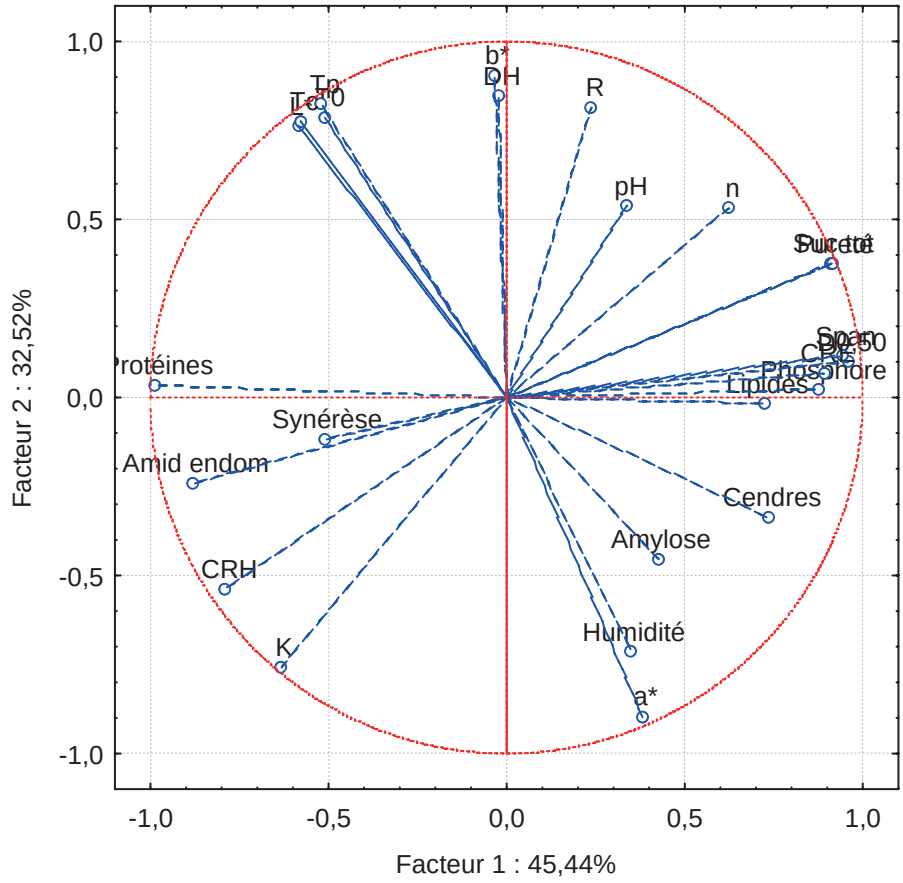


Figure 4A : Influence de différents paramètres sur l'afinité des amidons natifs et acétylés

INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE
DE LORRAINE

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :
Monsieur Didier MONTET, Ingénieur de Recherche, CIRAD, Montpellier

Monsieur Joseph Antoine NGALANI, Directeur de Recherche, IRAD, Yaoundé, Cameroun

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Monsieur MBOUGENG Pierre Désiré

NANCY BRABOIS
2, AVENUE DE LA
FORET-DE-HAYE
BOITE POSTALE 3
F - 54501
VANDŒUVRE CEDEX

à soutenir devant un jury de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE, une thèse intitulée :

"Influence des amidons natifs ou acétylés de manioc et de pomme de terre sur les propriétés physico-chimiques et texturales du pâté de Bœuf (*Bos indicus*) à base d'épices locales"

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : **« Procédés biotechnologiques et alimentaires »**

Fait à Vandoeuvre, le 07 janvier 2009

Le Président de l'I.N.P.L.,

F. LAURENT

TEL. 33/03.83.59.59.59
FAX. 33/03.83.59.59.55

INFLUENCE DES AMIDONS NATIFS OU ACETYLES DE MANIOC ET DE POMME DE TERRE SUR LES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET TEXTURALES DU PATE DE BŒUF (*Bos indicus*)

RESUME

Pour cette étude, dans un premier temps, une caractérisation physico-chimique et rhéologique des amidons natifs de deux cultivars locaux de pomme de terre (*Sipiera* et *Tselefou*) et de trois de manioc (*2425, 4115* et *Seedling*) a été faite avant leur incorporation dans du pâté de bœuf à 20, 30, 40 et 50g/kg de mêlée. L'influence du type d'amidon et de leur taux d'incorporation sur les propriétés physico-chimiques et texturales des pâtés a été évaluée. Les résultats ont montré que les propriétés physiques, fonctionnelles et rhéologiques des amidons sont étroitement liées à leur origine botanique. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) laisse paraître que de tous les amidons natifs, celui du cultivar de pomme de terre *Sipiera* se rapproche le plus du témoin. Une fois incorporé dans les pâtés ; l'ACP de tous les paramètres texturaux des pâtés aux amidons natifs indique que le pâté à l'amidon du cultivar de manioc *Seedling* à de 40g/kg de mêlée (PS_{40}), est celui qui se rapproche le plus du pâté témoin. Dans un deuxième temps, les amidons de pomme de terre (*Sipiera*) et de manioc (*2425*) ont été sélectionnés pour la modification (acétylation). Ces amidons acétylés ont par la suite fait l'objet des mêmes analyses que les amidons natifs et incorporés dans les pâtés aux mêmes taux que les amidons natifs. Des résultats, il ressort que les propriétés fonctionnelles des amidons natifs sont fortement influencées par l'acétylation et le temps d'acétylation. Les essais d'incorporation des amidons acétylés dans les pâtés montrent que l'amidon *Sipiera/20* à un taux d'incorporation de 40g/kg de mêlée ne se distingue pas significativement ($p>0,05$) du pâté témoin.

Mots clés : *Manihot esculanta* C.*, Solanum tuberosum* L.*,* amidons natifs, amidons acétylés, propriétés physico-chimiques, pâtés aux amidons natifs, pâtés aux amidons acétylés.

EFFECT OF NATIVE OR ACETYLETED CASSAVA AND POTATOES STARCHES ON PHYSICO-CHEMICAL AND TEXTURAL PROPERTIES OF BEEF PATTIES

ABSTRACT

The first part of this work deals with the physico-chemical and rheological characterisation of native starches of two local cultivars of Irish potatoes (*Sipiera* and *Tselefou*) and three cultivars of cassava (*2425, 4115* and *Seedling*) before they are incorporated into beef patty at 20, 30, 40 and 50g/kg ground meat. The influence of the type of starch and the amount of incorporation on the physico-chemical and textural properties of patties was evaluated. Results show that the physical, functional and rheological properties of starches are closely related to their botanical origin. Principal Component Analysis (PCA) showed that Irish potato cultivar *Sipiera* had properties that were close to reference. The PCA of all the textural properties of patties with native starches show that patty from starch of cassava cultivar *Seedling at 40g/kg* (*PS40*) was closest to the reference. In the second part of the work, the starch *Sipiera* and *2425* were selected for modification. These two starches were then acetylated for 10 and 20min. and this permitted us to have *Sipiera/10, Sipiera/20, 2425/10* and *2425/20*. The functional properties of the native starches were however strongly influenced by acetylation and the time of acetylation. Incorporation trials of this acetylated starches at different amounts in patty showed that *Sipiera/20* starch at an incorporation rate of 40g/kg ground meat is not significantly different from the reference patty.

Key words: *Manihot esculanta* C.*, Solanum tuberosum* L.*,* native starches, acetylated starches, physico-chemical, rheological, native starch patties, acetylated starch patties.