



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
ETUDES DOCTORALES EN « SCIENCES DE LA VIE »



N° d'ordre :

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

Option : Nutrition et Sciences Alimentaires

Présentée par

Houédougbé Noël AKISSOE

INFLUENCE DE LA VARIETE ET DU PROCEDE SUR LA QUALITE DES COSSETTES D'IGNAME ET DES PRODUITS DERIVES

Soutenue le 11 Décembre 2003, devant le Jury d'examen

Président : Prof. Ambaliou SANNI, Université d'Abomey-Calavi, Bénin
Rapporteur : Prof. Odile Germaine NACOULMA, Université de
Ouagadougou, Burkina-Faso
Rapporteur : Prof. Joseph HOUNHOUIGAN, Université d'Abomey-Calavi,
Bénin
Examineur : Dr Christian MESTRES, CIRAD-CA, Montpellier
Examineur : Prof. Georges AGBO N'ZI, Université de Cocody, Abidjan,
Côte d'Ivoire
Directeur de thèse : Prof. Mathurin NAGO, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|------|
| REMERCIEMENTS | i |
| RESUME | iii |
| LISTE DES ABREVIATIONS | v |
| LISTE DES TABLEAUX | vi |
| LISTE DES FIGURES | viii |
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| | |
| I- SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE | 6 |
| 1.1 Origine et distribution de l'igname | 7 |
| 1.2 Production de l'igname | 7 |
| 1.3 Importance socio-économique et culturelle de l'igname | 10 |
| 1.4 Stockage de l'igname fraîche et pertes post-récolte | 13 |
| 1.4.1 Méthodes traditionnelles de stockage | 13 |
| 1.4.2 Techniques modernes de stockage | 14 |
| 1.5 Production traditionnelle des cossettes d'igname | 15 |
| 1.6 Utilisation de l'igname : Les principaux produits | 18 |
| 1.6.1 Igname pilée | 20 |
| 1.6.2 Amala et wassa-wassa | 21 |
| 1.7 Attributs de qualité des pâtes d'igname : igname pilée et amala | 23 |
| 1.8. Bases physico-chimiques et mesures instrumentales de la qualité des pâtes d'igname | 25 |
| 1.8.1 La couleur : substances et mécanismes responsables du brunissement | 25 |
| 1.8.2 Le goût | 34 |
| 1.8.3 La texture | 35 |
| | |
| II- MATERIEL ET METHODES | 39 |
| II.1- Matériel végétal | 39 |
| II.2- Méthodes | 40 |
| | |
| III- RESULTATS ET DISCUSSION | 43 |
| III.1 Evaluation des attributs de qualité des cossettes d'igname et des produits dérivés | 43 |
| ARTICLE 1. Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam (<i>Dioscorea rotundata</i>) tubers, flour and 'amala' a flour derived product | 46 |
| | |
| ARTICLE 2. Prediction of sensorial properties (colour and taste) of amala, a paste from yam chips flour of West Africa, through flour biochemical properties | 56 |
| ARTICLE 3. Analyse descriptive et prédictive des attributs de texture de l'amala de variétés d'igname | 81 |

| | |
|---|-----|
| III.2 Influence du procédé et de la variété sur la qualité des cossettes d'igname et des produits dérivés | 99 |
| ARTICLE 4. How blanching and drying affect the colour and functional characteristics of yam (<i>Dioscorea cayenensis-rotundata</i>) flour | 104 |
| ARTICLE 5. Effect of tuber storage and pre- and post-blanching treatments on the physicochemical and pasting properties of dry yam flour | 122 |
| ARTICLE 6. Biochemical origin of yam discoloration occurring during processing into dry yam flour and paste | 140 |
| III.3 Discussion générale | 165 |
| | |
| CONCLUSION | 169 |
| | |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 172 |

REMERCIEMENTS

A vrai dire, il est difficile de se rappeler et de remercier tous ceux qui ont aidé, de près ou de loin, directement ou indirectement, scientifiquement, matériellement ou moralement dans la réalisation de ce travail. Pour tous, je dis un grand merci

Je tiens à remercier particulièrement le Professeur Mathurin C. NAGO, Doyen de la Faculté des Sciences Agronomiques, pour tout le soutien qu'il m'apporte depuis plus de dix ans. Je le remercie également pour avoir accepté de diriger ce travail.

Je présente mes sincères remerciements au Professeur Joseph D. HOUNHOUIGAN pour m'avoir offert l'opportunité de faire ma thèse dans le cadre du Projet INCOYAM, qui a financé ce travail. Merci également pour avoir accepté de co-diriger cette thèse. Je le remercie aussi pour la confiance qu'il m'a témoignée.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Docteur Christian MESTRES pour le précieux encadrement scientifique dont j'ai bénéficié de sa part. Je le remercie pour son amitié, ses conseils et ses critiques.

Je remercie l'Union Européenne qui a financé ce travail de recherche à travers le projet INCO-DC, ERB IC18-CT98-0302.

Merci également à tous les partenaires (de la Côte d'Ivoire, du Nigeria, de la France, de la Suisse et de la Belgique) du Projet INCO-YAM pour cette collaboration scientifique inédite.

Merci à AIRE Développement pour sa contribution financière importante dans ce travail

Je remercie l'Institut International de l'Agriculture Tropicale (IITA) pour avoir assuré également mes voyages à l'Université d'Ibadan.

Merci également à Dansi Alexandre et Vernier Philippe, tous deux coopérants à l'IITA, qui m'ont fourni gratuitement les variétés d'igname utilisées dans ce travail.

Un grand merci à tous mes collègues et amis du Département de Nutrition et des Sciences

Alimentaires de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'UAC: Dossa Romain, Anihouvi Victor, Azokpota Paulin, Mme Dalode Générose, Mme Amoussou Balbine, Mitchikpè Evariste, Amoussa Waliou, Houndji Saturnin, Kayodé Polycarpe, Mestres Mitchodjèhoun Laetitia, Assou Alain, Soudo Christophe et Vimadjè-Megnansan Mireille...

Merci à Mme Gnonlonfoun Thérèse pour son assistance technique.

Résumé

Les caractéristiques sensorielles et physico-chimiques de deux produits (farine, amala) dérivés des cossettes d'igname ont été déterminées au moyen des méthodes instrumentales. Ces caractéristiques ont été, par ailleurs utilisées pour étudier l'influence des traitements pré- et post-blanchiment, du blanchiment, du séchage et du stockage des tubercules frais sur la couleur, la texture et le goût des produits préparés à partir de différents cultivars d'igname.

La couleur de ces produits, caractérisée par l'indice de brun, est liée aux phénols et aux activités des enzymes endogènes. En effet, il a été mis en évidence la participation de la peroxydase (POD) des tubercules frais et des phénols totaux de la farine à la formation de la couleur brune de l'amala. Ce brunissement résulte d'une oxydation enzymatique directe (POD) durant la première phase de transformation (épluchage, début précuisson) et d'une oxydation chimique et/ou enzymatique indirecte durant le séchage. Cette dernière réaction accroît significativement l'indice de brun de la farine et de la pâte ; mais elle peut être réduite en pratiquant le post-blanchiment qui contribue à baisser l'activité de la polyphénoloxidase (PPO) et la teneur en composés phénoliques.

Ces composés phénoliques, séparés par la haute performance liquide chromatographie (HPLC), sont constitués de flavanols et de composés cinnamiques. Deux composés ont été clairement identifiés : il s'agit de la catéchine (flavanol) et de l'acide ferulique (acide cinnamique). La variété d'igname Deba renferme 0,26 $\mu\text{M/g ms}$ de catéchine (14,6 % des phénols totaux) alors que Florido en contient 0,41 $\mu\text{M/g ms}$ (11,7 % des phénols totaux). Deba contient également 0,03 $\mu\text{M/g ms}$ d'acide férulique et Florido 0,037 $\mu\text{M/g ms}$. De plus, un composé cinnamique majeur observé à 32 mn est présent dans les huit variétés de *D. rotundata* étudiés mais absent dans le cultivar de *D. alata* (Florido). D'autres pics identifiés par leur temps de rétention ont été également observés. Certains des composés observés sont présents naturellement dans les tubercules frais, mais d'autres apparaissent seulement au cours du processus de fabrication des cossettes d'igname. Quelques uns des composés phénoliques présents dans les tubercules frais disparaissent au cours du processus technologiques. Par ailleurs, les résultats révèlent que les composés phénoliques détectés à 9,0, 11,3, et 17,1 mn jouent un rôle prépondérant dans le phénomène de brunissement de l'amala.

Quant à la texture de l'amala, elle est représentée par le collant et la fermeté qui sont tous deux liés aux propriétés fonctionnelles de l'amidon (gonflement, solubilité et viscosité). Le séchage accroît le recuit de l'amidon et réduit considérablement son pouvoir de gonflement et sa solubilité, entraînant ainsi la baisse de la viscosité et de la fermeté de l'amala et l'accroissement subséquent de son caractère collant. Les traitements pré- et post-blanchiment et le blanchiment n'affectent pas de façon significative l'enthalpie de gélatinisation, les propriétés fonctionnelles de l'amidon et les paramètres de viscosité de l'amala.

La teneur en glucose et fructose d'une part et celle en lactate et phénols d'autre part, permettent de prédire les caractéristiques gustatives des produits étudiés. Ces composés sont pour la plupart formés au cours du processus de fabrication des cossettes : le glucose est probablement produit par hydrolyse acide et/ou enzymatique de l'amidon au cours de la précuisson et du séchage; la farine des cossettes d'igname contient, en effet, trois fois plus de glucose que le tubercule frais. De même, le lactate (acide lactique) serait formé lors du trempage post-blanchiment et du séchage. Ce qui révèle un début de fermentation à ces étapes du procédé de fabrication.

LISTE DES ABREVIATIONS

CIRAD : Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement

DPP : Direction de la programmation et de la prospective

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FAST : Faculté des Sciences et Techniques

FSA : Faculté des Sciences Agronomiques

INCO-DC (INCOYAM) : International Cooperation with Developing Countries

IITA : Institut International de l'Agriculture Tropicale

MAEP : Ministère de l'Agriculture, l'Elevage et de la Pêche

MDR : Ministère du Développement Rural

ONASA: Office National de Sécurité Alimentaire

PPO : Polyphénoloxydase

POD : Peroxydase

UAC : Université d'Abomey-Calavi

LISTE DES TABLEAUX

| Titres | Page |
|---|------|
| Tableau 1. Principales variétés d'igname recensées sur les marchés urbains au Bénin | 8 |
| Tableau 2. Evolution de la production de l'igname et des autres principales cultures vivrières au Bénin durant la période 1993-2000 (x 1000 tonnes) | 12 |
| Tableau 3. Prix de différentes variétés d'igname sur le marché de Dantokpa - Cotonou | 12 |
| Tableau 4a: Indices pondérés de fréquence de consommation hebdomadaire des différents | 19 |
| Tableau 4b: Indices pondérés de fréquence de consommation hebdomadaire des différents | 19 |
| Tableau 5. Variétés les plus utilisées pour l'igname pilée | 21 |
| Tableau 6 : Critères de qualité recherchés pour les pâtes à base d'igname au Bénin et au Nigeria. | 24 |
| Tableau 7. Formes d'acides hydroxybenzoïques | 27 |
| Tableau 8 Dérivés d'acides hydroxycinnamiques | 27 |
| Tableau 9 Dérivés d'anthocyanidines | 28 |
| Tableau 10 Formes des flavonols | 29 |
| Tableau 11. Récapitulatif des principaux groupes d'acides-pnéols et de flavonoïdes | 31 |
| Tableau 12 Matériel végétal et traitements subits | 39 |
| Article 1 | |
| Table 1. Physical characteristics of dried yam tubers | 51 |
| Table 2. Proximate composition of dried yam tuber and flour (% Dry basis) | 51 |
| Table 3. Physico-chemical properties of yam flour | 52 |
| Table 4. Colour parameters | 53 |
| Article 2 | |
| Table 1. Physical and biochemical characteristics of the yam flours | 65 |
| Table 2. Colour and sensory results of amala | 69 |
| Table 3. Correlation matrix between sensorial quality of amala and physico-chemical properties of flours | 72 |
| Table 4. Multiple regression models of amala sensory quality based on chemical composition of yam flour | 73 |
| Article 3 | |
| Tableau 1. Définition et technique de mesure des attributs sensoriels de l'amala | 87 |
| Tableau 2. Corrélations entre paramètres instrumentaux | 92 |
| Tableau 3. Corrélations entre attributs sensoriels | 93 |
| Tableau 4. Corrélations entre mesures sensorielles et instrumentales des attributs de qualité de l'amala | 93 |
| Tableau 5. Matrix de corrélations entre texture de l'amala et caractéristiques physicochimiques de la farine | 94 |
| Tableau 6. Texture de l'amala de cultivars d'igname au Stevens | 95 |
| Tableau 7. Caractéristiques sensorielles de texture de l'amala de différents cultivars d'igname | 96 |
| Article 4 | |
| Table 1. Physicochemical characteristics of yam cultivars | 110 |
| Table 2. Effect of processing stage and yam cultivar on polyphenol oxidase activity ($\mu\text{M O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$) | 111 |
| Table 3. Effect of processing stage and yam cultivar on peroxidase activity ($\text{mDO s}^{-1} \text{ g}^{-1}$) | 111 |
| Table 4. Effect of processing stage and yam cultivar on total phenolic content ($\mu\text{M g}^{-1} \text{ db}$) | 112 |
| Table 5. Browning index of paste from yam cultivar at different processing stages | 113 |
| Table 6. Correlation between colour indexes of amala and some biochemical characteristics of yam flours | 114 |
| Table 7. Gelatinization properties of fresh freeze-dried and blanched freeze- and oven-dried yam slices | 115 |
| Table 8. Correlation between starch physicochemical properties and viscosity of amala | 116 |
| Table 9. End viscosity (V50, RVU) of paste from yam cultivars at different stages of processing | 117 |
| Table 10. Swelling power and solubility of yam flours at different processing stages | 119 |

LISTE DES FIGURES

| Titres | Page |
|---|------|
| Figure 1. Evolution de la production d'igname de 1994 à 2000 | 10 |
| Figure 2 Evolution des prix des cossettes d'igname et du tubercule frais à différentes périodes de l'année (1994-2001) | 11 |
| Figure 3. Procédés traditionnels de transformation de l'igname en cossettes | 18 |
| Figure 4. Fréquence de consommation moyenne des principales préparations à base d'igname au Bénin et au Nigéria | 19 |
| Figure 5. Principales formes de consommation de l'igname | 20 |
| Figure 6a et 6b. Procédés de préparation de l'amala | 22 |
| Figure 7. Mécanismes de réaction | 25 |
| Figure 8. Acide p-hydroxybenzoïque | 27 |
| Figure 9. Structure chimique des acides hydroxycinnamiques | 27 |
| Figure 10. Structure chimique des anthocyanidines | 28 |
| Figure 11. Structure chimique des flavonols | 29 |
| Figure 12. Structure chimique des flavan-3-ols monomères | 29 |
| Article 2 | |
| Figure 1 Hedonic scores of the seven amala | 71 |
| Figure 2. Plot of observed versus predicted values obtained by multiple regression analysis : a) sweetness, b) bitterness | 75 |
| Article 3 | |
| Figure 1 Relation entre les attributs sensoriels de texture de l'amala | 89 |
| Figure 2. Relation entre la note sensorielle et la note hédonique | 90 |
| Figure 3. Relation entre la fermeté à l'extrusion et la note hédonique | 91 |
| Figure 4 Relation entre le collant et le pouvoir de gonflement de la farine | 94 |
| Figure 5 Relation entre élasticité sensorielle et la viscosité au début du plateau | 95 |
| Article 4 | |
| Figure 1. Relation between viscosity at the start of the 95 °C plateau and swelling power | 120 |
| Figure 2. Relation between observed and calculated end viscosity | 120 |
| Article 5 | |
| Figure 1. Chromatograms for Deba flour extracts after blanching (upper curve) and 12H steeping (lower curve) | 131 |
| Figure 2. Effect of steeping time after blanching on peak areas measured at 320 nm by HPLC for Deba flour extracts | 132 |
| Figure 3. Effect of fresh tuber storage of Deba on PPO and POD activities | 132 |
| Figure 4. Effect of fresh tuber storage of Deba on amala paste viscosity (V50) | 134 |
| Figure 5. Relation between amala brown index and total phenol content of flours | 136 |
| Figure 6. Relation between apparent viscosities(η , V95b; η_{sp} , V50) and swelling power of yam flours | 137 |
| Article 6 | |
| Figure 1 Evolution of PPO activity at different temperatures for Deba (a) and Florido (b) | 148 |
| Figure 2 Thermoinaction curve of POD for Deba cultivar | 149 |
| Figure 3. Evolution of total phenol content of Deba (a) and Florido (b) | 150 |
| Figure 4 Chromatograms at 280 nm (upper) and 320 nm (lower) for phenolics compounds extracts from freeze dried fresh Deba (a) and Florido (b) | 151 |
| Figure 5a Effect of blanching time on cinnamic compound detected at 26 min (ferulic acid) | 153 |
| Figure 5b Effect of blanching time on cinnamic compound detected at 32 min | 153 |
| Figure 6. Relation between brown index and peak areas of compounds detected at 17.1 and 32 min | 160 |

INTRODUCTION GENERALE

L'igname, de par sa forte richesse en amidon (89 %, b.s), joue un rôle important dans l'alimentation des populations d'Afrique, des Caraïbes, d'Asie et du Pacifique. L'Afrique de l'Ouest en est de loin le plus grand producteur, avec plus de 92 % de la production mondiale d'igname (39,6 millions tonnes en 2002) (FAO, 2002). Cinq pays Ouest-Africains (Nigeria, Côte d'Ivoire, Ghana, Bénin, Togo) fournissent l'essentiel de cette production, soit environ 95% de la production du continent africain (FAO, 2002). Sur la période de 1996-2000, le Bénin a produit en moyenne 1,6 million de tonnes d'igname par an (FAO, 2001). Sa production est passée à 1,9 million de tonnes en 2002, ce qui place l'igname en deuxième position des cultures vivrières nationales après le manioc.

Du fait de leur forte teneur en eau (66 %, b.h), les tubercules d'igname subissent d'importantes pertes après-récolte allant jusqu'à 60 % en poids après 9 mois de stockage (Mozié, 1988). Les techniques traditionnelles et modernes de conservation de l'igname à l'état frais sont soit inappropriées (conservation de courte durée), soit inapplicables en raison de leur coût élevé. En conséquence, la transformation des tubercules après la récolte constitue une alternative souvent utilisée. A l'exception des cossettes séchées, tous les produits à base d'igname sont des formes directes de consommation avec une durée de vie d'un jour (Onayemi and Potter, 1974; Akingbala et al., 1995). Sous la forme de cossettes séchées, l'igname se conserve mieux que les tubercules frais et présente l'avantage d'être plus facile à transporter. La transformation en cossettes permet ainsi de limiter les pertes et de prolonger la disponibilité des produits à base d'igname durant les périodes de rareté.

La technologie de production des cossettes est bien développée au Bénin, Nigeria, Ghana et dans une moindre mesure au Cameroun ; elle a été décrite par plusieurs auteurs (Olorunda, 1979; Jakubczyk, 1982) et implique l'épluchage, la précuisson/blanchiment et le séchage au soleil. Dans ce cadre, les tubercules d'igname sont épluchés, lavés, éventuellement découpés en tranches et précuits à 63 ± 3 °C pendant 15 à 50 mn, puis séchés au soleil pendant 5 à 7 jours (Hounhouigan et Akissoe, 1997). Dans tous les cas, le produit sec obtenu, avec environ 15 % d'eau, peut être conservé pendant plusieurs mois. Il prend différentes appellations locales : elubo au Nigeria, telibo, elubo ou dundu kamilinku au Bénin, gulin au Cameroun et yam kokonte au Ghana. Les cossettes sont moulues en farine qui est utilisée pour préparer une

pâte, l'amala, qui se distingue de l'igname pilée par sa couleur brune, sa texture et parfois son amertume (Olorunda, 1979; Onayemi, 1982; Ngoddy and Onuoha, 1983).

Les attributs de qualité (goût, texture, couleur) de l'amala recherchés par les consommateurs ont été identifiés (Hounhouigan et Akissoe., 1997). Au Bénin, les consommateurs aiment une pâte brunâtre, élastique, collante, peu ferme. Elle peut, par ailleurs, être fade ou légèrement sucrée ou légèrement amère. En revanche, une pâte noire, amère et ferme est rejetée.

Des tentatives pour préparer des flocons d'igname dont la pâte serait similaire à l'igname pilée ont été entreprises au Nigeria et en Côte d'Ivoire mais la couleur brune est une caractéristique permanente de la pâte obtenue (Anosike and Ikediobi, 1983). Cependant, des études réalisées au Nigeria (Olorunda, 1979) ont montré que la pâte amala issue de la farine des cossettes d'igname peut être très appréciée dans les milieux urbains parce qu'elle est facile à préparer (Ajibola et al., 1988) et s'adapte bien au mode de vie dans les villes. La demande des populations urbaines du Bénin et du Nigeria en cossettes et produits dérivés s'est considérablement accrue ces dernières années (Dumont et Vernier, 1997) et la production s'est considérablement développée et est en passe de s'étendre à d'autres pays africains. En effet, les échantillons d'amala testés au Togo, au Cameroun et au Burkina Faso dans le cadre d'une étude régionale de diffusion du « système cossettes » ont été appréciés favorablement mais la couleur « noire à brune » de la pâte a été le principal reproche fait au produit et qui limiterait son acceptation complète (Anonyme, 2001). Le Bénin peut alors tirer de meilleurs avantages comparatifs par rapport aux autres pays si la qualité de ce produit était améliorée et maîtrisée.

D'autres contraintes majeures limitent l'utilisation efficace de la technologie de production des cossettes. En effet, toutes les variétés d'igname ne semblent pas se prêter à cette technologie ; au Bénin, les cultivars les plus utilisés sont ceux du groupe variétal « kokoro » (*D. rotundata*, cultivars tardifs à une récolte donnant de multiples tubercules) parce qu'ils sont supposés donner un « amala » de bonne qualité (Dansie et al., 1997), c'est-à-dire «élastique», peu ferme et de couleur marron. A l'opposé, d'autres cultivars tels que le gnidou, produits en quantité relativement importante au Bénin, mais non « appréciés » pour la production de cossettes d'igname restent moins valorisés. Cependant, une étude a montré que Florido (*D. alata*) fournit une farine et une pâte similaires à celles obtenues à partir du « kokoro » (Vernier et al., 1999).

| | |
|--|------------|
| Article 5 | |
| Table 1. Effect of air or water pretreatment on some physico-chemical characteristics of yam flours | 129 |
| Table 2. Effect of steeping time after blanching on some physico-chemical characteristics of yam flours | 130 |
| Table 3. Effect of air or water pretreatment on pasting behaviour of yam flours (mean values for Deba and Banioure cultivars) | 133 |
| Table 4. Effect of steeping time after blanching on pasting behaviour of yam flours (mean values for Deba and Banioure cultivars) | 133 |
| Article 6 | |
| Table 1. Peak areas of cinnamic compounds in fresh freeze dried and blanched and oven dried flours | 155 |

Par ailleurs, de grandes variabilités subsistent au niveau du procédé de transformation entraînant d'importantes variations de la qualité des produits dérivés (farine, pâte). En effet, au cours de l'épluchage, les tubercules sont soit laissés à même le sol soit trempés dans un bain d'eau (à température ambiante : 26-30 °C). De même, après la précuisson, les tubercules peuvent être mis à sécher immédiatement ou laissés dans le bain de précuisson pendant 6 à 18 heures avant d'être séchés. Ces variantes dans les traitements sont probablement des sources de variation de la qualité sensorielle du produit final. Une optimisation de la précuisson et des traitements ante et post précuisson pourrait contribuer à étendre l'acceptabilité du produit hors des zones traditionnelles de consommation et à valoriser les variétés rarement ou occasionnellement utilisées pour la fabrication des cossettes.

A cause du volume de travail durant la récolte (la récolte des ignames coïncide avec celles du sorgho, du coton et avec la préparation des terres pour les nouvelles cultures), les tubercules d'igname sont souvent stockés sous pailles à la ferme pendant une certaine période avant d'être transformés en cossettes. Ce stockage des tubercules frais avant leur transformation pourrait affecter la qualité sensorielle des produits dérivés des cossettes. Il a été, en effet, rapporté que les farines d'igname préparées juste après la récolte présentent une couleur moins brune que celle des farines obtenues à partir des tubercules stockés ; ceci a été attribué à l'activité des peroxydases qui est moins importante dans le premier cas que dans le deuxième cas (Izundu, 1995). D'autres changements biochimiques peuvent se produire durant le stockage avec une incidence sur la qualité des cossettes et des produits dérivés. En particulier, le taux des polyphénols et des glycoalcaloïdes (Onayemi and Idowu, 1988) et les activités de la peroxydase et de l'ortho-diphénolase (Asemota et al., 1992) augmentent durant le stockage de l'igname.

La chair de l'igname des cultivars destinés à la fabrication des cossettes est de couleur blanc-crème, rarement jaune, mais la farine et l'amala dérivés sont de couleur variant du brun clair au brun-noir. Cette coloration des produits est due à une réaction enzymatique qui se développe surtout après une blessure ou au cours de la transformation de l'igname (Afable, 1970; Martin and Ruberté, 1975; Martin and Ruberte, 1976; Steele and Sammy, 1976). Ce phénomène a été étudié au niveau des tubercules frais mais au niveau de la farine et de la pâte dérivée, le mécanisme de formation des substances colorées est encore mal connu.

Au niveau des tubercules frais, cette coloration est due à l'activité des enzymes telles que la polyphénoloxydase (Ozo et al. 1984; Almenteros and Del Rosario, 1985) et la

peroxydase (Izundu, 1995) ou au taux de phénols totaux (Osagie and Opoku, 1984) présents dans l'igname. D'autres travaux ont montré que le brunissement est dû à la conversion des proanthocyanes (incolores) en anthocyanes (colorés) (Mathew and Parpia, 1971), aux complexes formés par les phénols et les métaux ou aux réactions entre les aldoses et les acides aminés libres (réaction de Maillard) (Swain and Hillis, 1959). La teneur en polyphénols est en relation directe avec la coloration de l'igname fraîche, et en particulier, la teneur en catéchines, en oligomères de procyanidinés (Ozo et al. 1984), en glucosides cyanidines (Rasper and Coursey, 1967) et en pro-anthocyanes (Marlin and Ruberté, 1975).

Omidiji and Okzupor (1996) ont rapporté que 40 % seulement du brunissement des farines de cossettes d'igname sont dus à l'activité des enzymes et les 60 % restants sont liés à un processus non enzymatique. En conséquence, l'usage d'inhibiteurs d'enzymes (polyphénoloxydase et peroxydase) ne saurait à lui seul éliminer le brunissement observé au niveau de la farine d'igname et de la pâte amala. Le traitement aux températures supérieures à 60 °C au cours de la transformation de l'igname dénature de manière irréversible l'oxydase (Ozo and Caygill, 1986). Pourtant, la coloration de la farine au cours de la cuisson en amala devient de plus en plus intense.

Par ailleurs, la texture et le goût sont des caractéristiques de qualité très importantes qui ont été jusque-là peu étudiées au niveau de l'amala. Akingbala et al. (1995) ont rapporté que les opérations de fabrication des cossettes, en particulier la précuisson, influencent le caractère mou et collant de l'amala. Concernant la conservation des produits, des travaux réalisés sur l'igname crue ont montré que certaines substances natives en sont responsables : il s'agit des tannins (proanthocyanes) chez *D. cayenensis* (Martin and Ruberté, 1975), des alcaloïdes (dihydrodioscorine) chez *D. dumetorum*, des terpénoïdes chez *D. bulbifera* (Telck et al., 1974) et des saponines chez divers autres cultivars (Abc, 1973). La plupart de ces composés sont thermostables, apparaissant également dans les produits cuits (Telck et al., 1974).

L'objectif de cette étude est d'examiner :

- l'effet de la variété d'igname sur les attributs de qualité des produits dérivés ;
- l'influence de la durée de stockage du tubercule frais sur les attributs de qualité ;
- l'effet du trempage (avant et après la précuisson) sur les attributs de qualité ;
- les cinétiques d'inactivation des polyphénoloxydases et de dégradation des polyphénols à différentes températures.

Ce travail est structuré en trois principales parties. La première partie fait la synthèse des travaux antérieurs sur les différents aspects abordés dans cette étude. La deuxième partie est consacrée à la synthèse du matériel et méthodes utilisés. Enfin, la troisième partie présente les résultats obtenus et leur discussion.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I - SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Origine et distribution de l'igname

L'igname appartient au genre *Dioscorea* de la famille des Dioscoreacées (Ayensu & Coursey, 1979). La plupart des ignames ont été classées jusqu'au niveau de l'espèce avec approximativement 600 espèces (Knuth, 1924) dont seules dix sont actuellement cultivées (Degras, 1986). Les espèces les plus cultivées pour la consommation humaine regroupent l'igname blanche (*Dioscorea rotundata*), l'igname jaune (*D. cayenensis*), l'igname d'eau (*D. alata*), l'igname amère (*D. dumetorum*), l'igname aérienne (*D. bulbifera*) et l'igname chinoise (*D. esculenta*). À l'intérieur de chaque espèce, on retrouve plusieurs cultivars qui sont loin d'être suffisamment étudiés et caractérisés (Okonkwo, 1983; Dansi, Zoundjihékon, Mignouna & Quin, 1997). Ces espèces proviennent de trois régions : l'Afrique de l'Ouest (*D. rotundata*, *D. cayenensis* et *D. dumetorum*), l'Amérique latine et les Caraïbes (*D. bulbifera*) et l'Asie-Océanie (*D. alata* et *D. esculenta*) (Coursey, 1972; Alexander & Coursey, 1969; Ayensu *et al.*, 1979).

Au Bénin, on observe une diversité variétale liée aux conditions pédo-climatiques et aux habitudes alimentaires, le nombre de variétés augmentant suivant un gradient allant du Sud au Nord du pays (Okonkwo, 1983; Dansi *et al.*, 1997). L'espèce *Dioscorea rotundata*, la plus répandue au Bénin, possède un grand nombre de cultivars qui se sont mélangés au *Dioscorea cayenensis* au fil des années si bien qu'actuellement on parle du complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata*. Dansi *et al.* (1997), utilisant une méthode d'analyse morphologique basée sur l'observation des organes aériens et souterrains, ont identifié 90 cultivars au niveau du complexe *cayenensis-rotundata* au Bénin. Selon ces auteurs, trois espèces sauvages auraient été à l'origine du complexe *D. cayenensis-rotundata* ; il s'agit de : *Dioscorea abyssinica* (qui n'existe que dans les savanes du Nord et est connue sous le nom de Dika), *Dioscorea praehensilis* (dans les forêts et galeries forestières du Bénin et est connue sous le nom de Sonkoutanin ou Gbago), *Dioscorea burkilliana* (rencontrée aussi dans les forêts et connue sous le nom de Sôgôdo). Le cultivar Gnidou par exemple serait domestiqué à partir de *Dioscorea praehensilis*. D'autres cultivars auraient été introduits au Bénin à partir des pays voisins : Ahimon et Youbè proviendraient du Nigeria alors que Kratchi, Gnalabo et Hélé-abalo seraient introduits du Togo (Dansi *et al.* 1997). Les principales variétés préférées par les ménagères sont : laboko, kokoro, morokorou, gagni, ala etc (Tableau 1).

Tableau 1. Principales variétés d'igname recensées sur les marchés urbains au Bénin

| Groupe variétal (Appellation locale) | Variétés ou types rencontrés | Espèce | Nbre récoltes | Caractéristiques tubercules |
|---|---|--------------|------------------|---|
| AGOGO | Agogo, Gnanwoukoko, Soagona, Wossou | D. rotundata | 2 | |
| AHIMON | Ahimon, Feni, Kee | D. rotundata | 2 | Taille moyenne, fourchus |
| ALAKISSA | Agangan, Alakissa, Doundoua | D. rotundata | 1 ou 2 | Gros, longs, épineux |
| ANTAWOROROU | Antawororou, Djikipiri, Maretassou | D. rotundata | 2 | |
| BANIOURE | B. bagarou, B. oloukobi, B. montogue, Walassi | D. rotundata | 1 ou 2 | Long, de taille moyenne |
| BARIDJO | Baridjo, Ofegui, Ouwonpocotina | D. rotundata | 1 ou 2 | |
| DIKPIRI | Dikipiri | D. rotundata | 2 | |
| DOUMA YESSIROU | Ankpoloman, Douma yessirou | D. rotundata | 2 | |
| GNALABO | Assabone, Gnalabo, Terlounto | D. rotundata | 1 | Réguliers, non fourchus |
| GNIDOU | Gnidou | D. rotundata | 2 | Réguliers, longs, cylindriques |
| KOKOROGBARA | Akpazin, Brizi, Baniakpa, Bonakpo, Deba, Kinkerekou, Kpiroukpika, Kokone, Kologo, Omonya, Ossoukpana, Youeyouedota, Singou, Yakarango | D. rotundata | 1 | tubercules lisses, petits ou taille moyenne |
| KPANHOURA | Kpanhoura | D. rotundata | 2 | |
| KPONAN | Kponan, Laboco | D. rotundata | 2 | Gros, longs, cylindriques |
| KRATCHI | Kratchi, Kangnin | D. rotundata | 1 | Rarement fourchus, lisse |
| MAKPAWA | Makpawa, Sogodo | D. rotundata | 1 | fourchus, chair jaune |
| MONDJI | Ala n'kojehoue, Danwari, Djiladja, Effourou, Gnifokpado, Monji, Nindouin, Oroutanai, Piedje, Yoble, Youbé | D. rotundata | 2 | |
| MOROKOROU | Morokorou, Kokouma | D. rotundata | 2 | Gros, cylindriques, lisses |
| NONFORWOU | Boki, Djatouba, Nonforwou, Yoroutassou | D. rotundata | 2 | |
| NOUALAYE | Noualaye | D. rotundata | 2 | |
| OURTCHOUA | Gouroko, Ourtchoua, Sobasson | D. rotundata | 1 | |
| PORCHEKBIM | Porchekbim, Wolouchahabim | D. rotundata | 1 | petits, non fourchus |
| SAKATA | Aga, Kpète | D. alata | 1 | Gros, lisses |
| SOUSSOU | Androki, Gbera, Guiena, Guirissa, Issou agatou, Orougninsingue, Soussouka, Soussounin, Soussou souabou, Warnai, Yahou | D. rotundata | 2 | Longs, parfois fourchus |
| TABANE | Hounbonon, Ihdouou, Kagourou, Tabane, Yaka | D. rotundata | 1 | Gros, cylindriques, longs |
| TAM SAM | Tam sam | D. rotundata | 1 | Petits tubercules, lisses |
| TERKOKONOU | Terkokonou | D. rotundata | 2 | |
| TOGNIBO | Tognibo | D. rotundata | 2 | Cylindriques |

Source. Dansi et al. (1995), Rapport INCOYAM (2000)

Contrairement à ce qu'on observe en Côte d'Ivoire et au Nigéria, l'espèce *D. alata* est très marginale au Bénin; les cultivars reconnus au sein de cette espèce comprennent essentiellement Sakata et Florido. D'après Degras (1993), la Côte d'Ivoire serait le pays d'Afrique de l'Ouest où l'espèce *D. alata* (essentiellement Florido et Bêtê-bêtê) occuperait une place importante, avec à peu près 60 % des superficies d'igname occupées par cette espèce.

En ce qui concerne leur écologie, l'igname est cultivée dans les régions tropicales ou subtropicales (d'Afrique, d'Amérique, d'Asie et d'Océanie), comprises entre les latitudes 15°N et 15°S de l'équateur (Onayemi, 1982). Coursey (1976) a rapporté qu'en Afrique de l'Ouest, la zone de culture de l'igname (yam belt) s'étend des forêts denses à la zone Sud des savanes Ouest-africaines.

1.2 Production de l'igname

L'Afrique de l'Ouest est de loin le plus gros producteur, avec plus de 96% de la production mondiale d'igname (32,7 millions tonnes en 1996). Cinq pays Ouest-Africains (Nigeria, d'Ivoire-Côte, Ghana, Bénin, Togo) produisent l'essentiel du tonnage, avec 95% de la production du continent en 1994-1996 (Lev & Shriver, 1998).

Dans les régions tropicales ou subtropicales où la culture de l'igname est possible, la pluviométrie minimale requise est approximativement de 1000 mm, distribuée sur 5 à 6 mois (IITA, 1994). Généralement, l'igname est récoltée après 5 à 10 mois de végétation (IITA, 1993). Ainsi, le cycle végétatif n'autorise qu'une seule mise en culture par année. Le système de culture traditionnellement pratiqué en Afrique de l'Ouest exige la préparation de la terre, la formation des buttes, la plantation, le tuteurage et le désherbage. La séquence de ces tâches commence avec la préparation de la terre qui consiste à défricher et à brûler de grands espaces de forêt, suivie de la formation des buttes. Le tuteurage se fait plus tard après l'émergence des jeunes pousses mais quelquefois il est réalisé au moment de la formation des buttes en utilisant les vieilles tiges de sorgho.

Dans les zones de production au Bénin, l'igname est plantée de janvier à mars. La tendance est à l'utilisation de deux groupes variétaux de cycles différents : les variétés précoces qui permettent deux récoltes et les variétés tardives qui n'autorisent qu'une seule récolte. On assiste alors à deux périodes de récoltes. Au Bénin, la récolte de l'igname se déroule de Juillet à Septembre pour la première récolte des précoces et de Décembre à Janvier

pour la deuxième récolte des précoces. La récolte des variétés tardives s'étale de novembre à février. Au cours de l'année, on note une alternance de périodes de relatives abondances de tubercules frais (août à février) et de périodes de rareté (mai à juillet). En ce qui concerne les variétés précoces, la première récolte donne des ignames immatures et la deuxième récolte fournit généralement des tubercules utilisés comme semenceaux. Les variétés tardives (à une seule récolte) sont plus conservables et regroupent les ignames du groupe variétal Kokoro utilisées principalement pour la production des cossettes (Dansi, 1997).

La figure 1 présente l'évolution de la production d'igname au Bénin au cours de la période 1994 à 2000. Cette production s'est accrue régulièrement d'année en année au cours de cette période. Elle est ainsi passée de 1,3 millions de tonnes en 1994 à 1,7 millions de tonnes en 2000

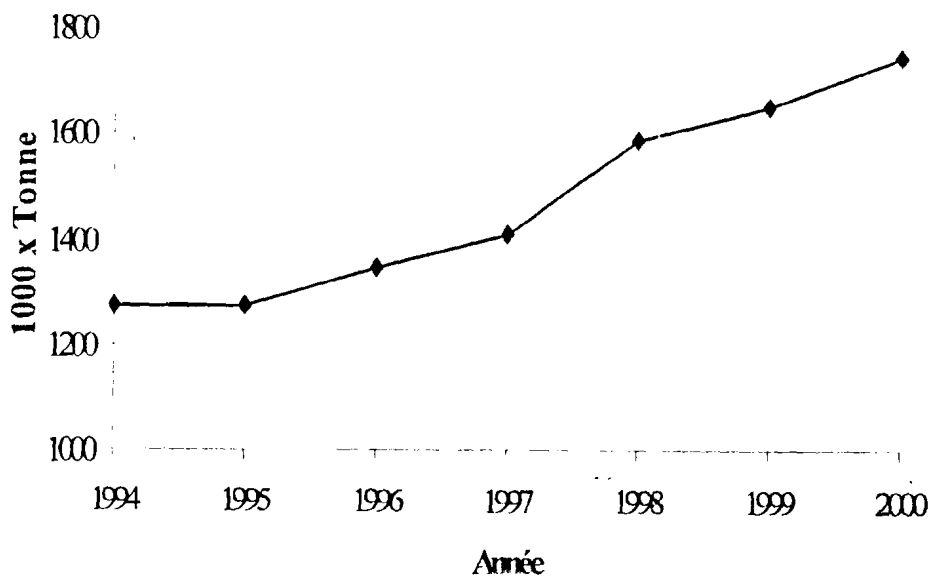


Figure 1. Evolution de la production d'igname de 1994 à 2000

Source : Annuaire Statistique DPPMAEP, Janvier 2002

1.3 Importance socio-économique et culturelle de l'igname

En terme de production, l'igname occupe le quatrième rang au plan mondial parmi les plantes à racines et tubercules, derrière la pomme de terre, le manioc et la patate douce (Lev

et al., 1998). Au Bénin, elle vient au second rang derrière le manioc (Tableau 2). Par rapport au tonnage, la production de l'igname de la campagne 1999-2000 a été largement supérieure à l'ensemble des autres cultures vivrières à l'exception du manioc. Au Bénin, à cause du caractère saisonnier de l'igname, on observe une fluctuation importante du prix d'achat au cours de l'année tant pour les tubercules frais que pour les cossettes ; ce prix pouvant être multiplié par six à certaines périodes de l'année (Bricas *et al.*, 1997). Cette fluctuation du prix au cours de l'année est beaucoup plus marquée pour les ignames fraîches bien appréciées que pour les cossettes. Le prix des cossettes peut varier du simple au double (disponibilité permanente sur les marchés) alors que celui des tubercules frais varie d'un facteur de 1 à 6 (figure 2) (Bricas *et al.*, 1997). De son côté, Houedjoklounon (2001) a observé une variation temporelle, spatiale et variétale du prix des tubercules d'igname. Les variations du prix les plus importantes sont observées au niveau des variétés de premier choix (Laboko, kpouna) au moment de la pénurie et des sources d'approvisionnement (marchés urbains, détaillants).

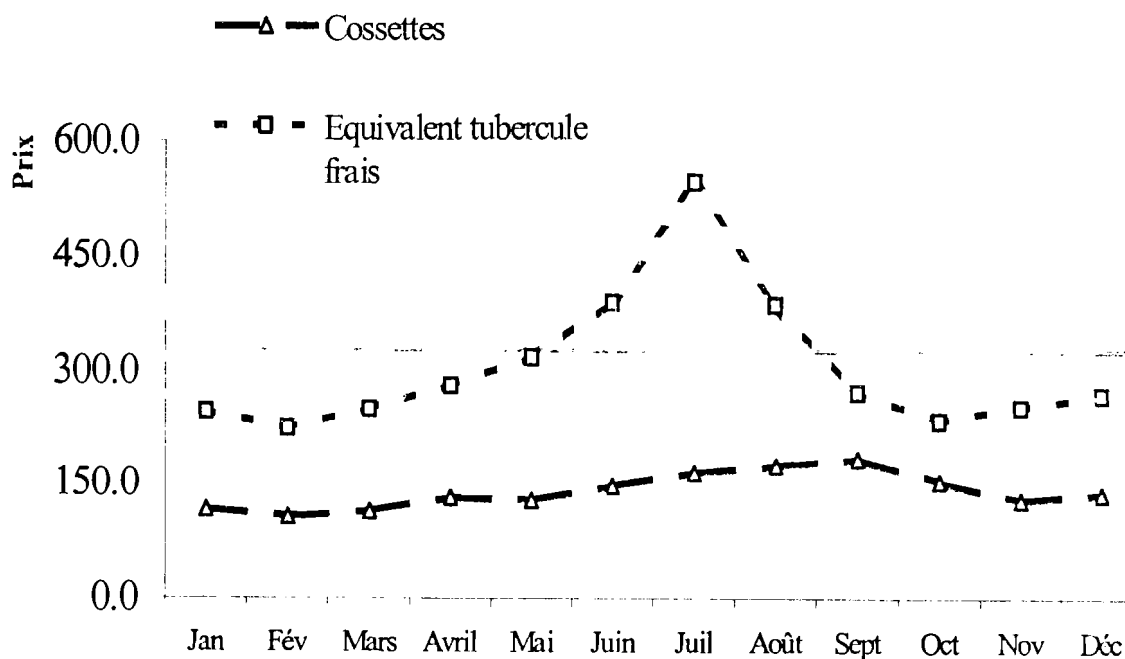


Figure 2 Evolution des prix des cossettes d'igname et du tubercule frais à différentes périodes de l'année (1994-2001)

Sources : l'ONASA (2002)

Tableau 2. Evolution de la production de l'igname et des autres principales cultures vivrières au Bénin durant la période 1993-2000 (x 1000 tonnes)

| Produits | Campagnes agricoles | | | | | | |
|------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1993-1994 | 1994-1995 | 1995-1996 | 1996-1997 | 1997-1998 | 1998-1999 | 1999-2000 |
| Manioc | 1289 | 1388 | 1457 | 1918 | 1989 | 2113 | 2350 |
| Igname | 1272 | 1272 | 1346 | 1408 | 1584 | 1647 | 1742 |
| Pâte douce | 47 | 48 | 62 | 57 | 41 | 69 | 66 |
| Taro | 2 | 1 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| Maïs | 593 | 523 | 556 | 701 | 662 | 783 | 750 |
| Sorgho | 117 | 117 | 110 | 120 | 138 | 126 | 155 |
| Mil | 25 | 25 | 24 | 27 | 29 | 30 | 36 |
| Riz | 14 | 17 | 22 | 27 | 36 | 34 | 49 |

Source : Annuaire Statistique DPP-MAEP, Janvier 2002

Au Bénin, l'igname est consommée par tous les groupes ethniques, tant dans les zones rurales que dans les zones urbaines. D'une culture d'autoconsommation rurale, l'igname est devenue avec l'urbanisation rapide des pays africains, une culture de rente pour l'approvisionnement des villes (Bricas et al., 1997). L'Afrique est la deuxième région exportatrice d'igname après l'Amérique latine et les Caraïbes, avec plus de 6,5 millions tonnes exportées en 1994-1996 ; ce qui a généré 3,4 millions dollars US (Lev et al., 1998). La qualité spécifique de l'igname intervient pour la fixation des prix sur le marché. Ainsi certaines variétés sont plus prisées que d'autres (Tableau 3).

Tableau 3. Prix de différentes variétés d'igname sur le marché de Dantokpa - Cotonou (moyenne de l'année 2000)

| Nom local | Prix (en FCFA/Kg équivalent cossettes) |
|------------------|---|
| Laboko | 817 |
| Kratchi | 471 |
| Moroko | 414 |
| Gnalabo | 407 |
| Gnidou | 376 |
| Kangni | 373 |
| Adani | 349 |
| Ala | 342 |
| Sakata | 285 |
| Boniouré | 230 |
| Kokoro | 230 |
| Cossettes Kokoro | 163 |

Source : Nazhia, 2002

Les tubercules d'igname jouissent d'un haut privilège social et culturel dans certaines

communautés africaines. Toutes les phases de la culture de l'igname (plantation, récolte et consommation) sont des occasions de festivité et de rituels. La récolte et la consommation d'igname fraîche par exemple sont accompagnées d'une grande fête dans certains pays de l'Afrique de l'Ouest (Onayemi, 1982). Au Bénin, la fête de nouvelles ignames marque l'ouverture d'une nouvelle année de consommation et elle donne l'autorisation aux producteurs et atteste le démarrage de la récolte. Elle est associée à des sacrifices d'animaux (volailles, chèvres), aux bains purificateurs de la collectivité et à l'utilisation des cultivars spécifiques pour ces rites. Onayemi (1982) a rapporté une sexualisation très poussée de la culture et des rites de consommation de l'igname. Seuls les hommes et les vieilles femmes sont admis à la préparation des billons. De même, il a été rapporté dans certaines régions du Bénin que les hommes qui font précuire l'igname au cours de la production des cossettes courent le risque d'enregistrer des pourritures de semences à la campagne suivante. C'est pourquoi la production des cossettes, et en particulier la précuisson, est une opération confiée aux femmes. Par ailleurs, l'igname intervient dans les cérémonies d'initiation (oro) et de baptême traditionnel du nouveau-né. Au regard de ces rituels et de ces cérémonies auxquels elle donne lieu, l'igname est considérée comme la culture royale ou « la reine des plantes » (Coursey, 1972). Malgré son importance économique et socioculturelle en Afrique de l'Ouest, l'igname n'entre pas de façon significative dans le commerce international comme le cacao, le café, l'arachide, le palmier à huile et le coton (Onayemi, 1982). Ceci est probablement dû à son caractère périssable.

1.4 Stockage de l'igname fraîche et pertes post-récoltes

1.4.1 Méthodes traditionnelles de stockage

Dans les zones de production, les tubercules d'igname sont souvent entreposés traditionnellement en buttes, en fosses, en tas, sur claies, sur plates-formes et en grenier. Ces techniques consistent soit à échelonner la récolte, soit à regrouper les tubercules dans des fossés recouverts de terre, soit à les entasser à même le sol en les recouvrant de paille et de branchage, soit à les attacher les uns sur les autres par des ficelles à des claies verticales le long des pieux disposés en enclos (Onayemi, 1982; Coursey, 1976). Ces différentes techniques permettent une conservation de courte durée. Dansi et al (1997) ont, par ailleurs, signalé que l'aptitude à la conservation post-récolte était fonction de la précocité de

tubérisation et des variétés. Ainsi, les ignames tardives (à une récolte) du type kokoro seraient plus aptes à la conservation que les ignames à deux récoltes. A cause des insuffisances de ces méthodes de conservation, des travaux ont été réalisés pour tester et proposer des techniques plus améliorées.

1.4.2 Techniques modernes de stockage

L'irradiation directe du tubercule par des rayons gamma, le stockage sous atmosphère contrôlée, à froid et les techniques telles que l'usage d'inhibiteurs chimiques de germination (acide gibbérellique sous la forme GA₃), l'usage de cendres de bois sur les blessures ou des parties sectionnées des tubercules sont pratiquées (Adesuyi, 1971; Olorunda, Mckelvie & Macklon, 1974; Adesuyi, 1976; Passam, Wickham & Wilson, 1982). Une conservation à 15 °C, combinée à un traitement fongicide a permis d'inhiber la germination et de maintenir à moins de 10 %, les pertes de poids après 6 mois de conservation (Demeaux & Vivier, 1984). En d'autres termes, une ventilation forcée appliquée au système traditionnel de conservation peut contribuer à réduire les pertes post-récolte. Mais ces méthodes donnent peu d'espoir pour le stockage de l'igname fraîche car elles ne permettent que des conservations de deux à six mois seulement (Degras, 1986).

1.4.3 Pertes *post-récolte*

Durant le stockage, l'igname subit des pertes physiologiques (respiration, déshydratation, germination), des pertes physiques (blessure mécanique) et des pertes liées à l'action des divers pathogènes (insectes, nématodes et infections bactérienne, virale et fongique) (Ajayi & Madueke, 1990 ; Jakubczyk, 1982). Ces pertes peuvent se produire dès la maturité de l'igname, pendant la récolte, au cours du transport et au stockage.

Les pertes physiologiques peuvent atteindre 40 à 50 % en poids après 4 à 6 mois de stockage (Olorunda & Adesuyi, 1970), ou 60 % après 9 mois de stockage (Mozie, 1988). De même, avec une ventilation forcée continue ou intermittente, les pertes de matières fraîches sont de 15,7 à 18,5 %, alors qu'elles atteignent 90 % après une conservation de 44 semaines sur des claies ou en enclos ombragés (Mozie, 1982). Les pertes physiologiques suivent une diminution linéaire au taux constant de 1,43 g/Kg par semaine (Osuji & Umezurike, 1983). D'après Abe (1973), la vitesse de respiration des ignames est plus élevée que celle d'autres plantes à cause de la conversion rapide des polysaccharides des ignames en hexoses, en eau et en gaz. L'activité respiratoire est responsable, à elle seule, d'environ 10 % de la perte de poids

durant la phase de la dormance et d'environ 30 % de perte de poids au début de la germination (Coursey, 1972). Après la récolte, l'igname entre dans une phase de dormance au cours de laquelle l'activité métabolique du tubercule s'établit à un minimum; cet état permet une bonne conservation de l'igname et toute action de stockage doit viser sa prolongation. Malheureusement, il est rompu après quelques semaines, avec apparition de rejets ou jeunes pousses, entraînant du coup une augmentation de l'activité respiratoire avec perte subséquente d'humidité et de matière sèche (Jakubczyk, 1982). Au cours de la germination, l'activité respiratoire est importante et s'accompagne des réactions endogènes nuisibles telles que l'hydrolyse des protéines et de l'amidon et la désintégration des membranes cellulaires (Osuji *et al.*, 1983). Ces pertes physiologiques passent souvent inaperçues, puisque les tubercules peuvent rester pratiquement inchangés en apparence.

Les pertes pathologiques se manifestent par les pourritures, le développement de petites tâches jaunâtres et verdâtres, et par des lésions, etc. En réaction à ces attaques, la plupart des ignames synthétisent des métabolites (polyphénols) capables de limiter leur impact. Yubedee (1998) a ainsi rapporté que la teneur en phénols totaux et l'activité des peroxydases augmentent dès le début de l'infection par *Fusarium moniliforme*, mais chutent progressivement au cours du stockage après l'installation de l'infection. En Côte d'Ivoire, des pertes de poids dues aux insectes sont allées jusqu'à 25 % après quatre mois de conservation (Sauphanor & Ratnadass, 1985). Les pertes liées aux nématodes se manifestent essentiellement durant le stockage lorsque les tubercules ont été initialement infectés au champ.

A cause de l'importance de ces pertes en Afrique de l'Ouest et de l'absence de techniques adéquates pour le stockage des tubercules frais, un accent particulier doit être porté sur la transformation desdits produits. La transformation de tubercules d'igname en produits plus stables est donc une alternative au stockage d'igname fraîche.

1.5 Production traditionnelle des cossettes d'igname

C'est le procédé de transformation qui permet le passage de l'igname fraîche (66 % d'eau) au produit séché (15 % d'eau). Les cossettes et la farine dérivée sont des produits moins périssables (Onayemi, 1982; Jakubczyk, 1982). Cette technologie qui est bien développée au Bénin, au Nigeria et dans une moindre mesure au Cameroun, a été décrite par plusieurs auteurs (Jakubczyk, 1982, Olorunda, 1979). Elle implique l'épluchage, la précuisson/blanchiment et le séchage solaire. De façon détaillée, les tubercules d'igname sont

épluchés, lavés, éventuellement découpés en tranches, précuits à 63 ± 3 °C durant environ 15 à 50 mn, éventuellement laissés tremper dans le bain de précuisson pendant 6 à 12 h, puis séchés au soleil pendant 5 à 7 jours (Hounhouigan & Akissoe, 1997) (Photo 1). Certaines opérations technologiques sont obligatoires alors que d'autres sont facultatives (Figure 3). Au cours de l'épluchage, les tubercules sont souvent laissés à même le sol ou trempés dans un bain d'eau. De même, après la précuisson, les tubercules peuvent être mis à sécher immédiatement ou laissés dans le bain pendant 6 à 12 heures avant d'être séchés (Photo 1). Ces variantes de traitement sont probablement des sources de variation de la qualité sensorielle du produit final. Dans tous les cas, le produit sec obtenu, avec 15 % d'humidité environ, peut être entreposé pendant des mois et constitue une alternative au stockage des ignames fraîches. Les cossettes (ou la farine qui en est issue) représentent donc une forme stabilisée de l'igname et sont commercialisées tout au long de l'année. Elles peuvent être conservées durant plusieurs mois (7 à 12) voire plusieurs années (2 à 4 ans). Elles prennent différentes appellations locales : elubo au Nigeria, telibo, elubo ou dundu kamilinku au Bénin, gulin au Cameroun et yam kokontc au Ghana.

Au Bénin, les cossettes les plus prisées doivent être exemptes de trous d'insectes, l'intérieur restant blanc après la cassure. Les variétés du groupe kokoro sont les plus utilisées et les plus appréciées au Bénin (Hounhouigan *et al.*, 1997). En revanche, au Nigeria, toute variété d'igname sert à la production des cossettes. Depuis une quinzaine d'années, les cossettes gagnent de plus en plus les marchés urbains du Bénin et du Nigeria et tendent à remplacer les ignames fraîches sur ces marchés parce qu'elles y sont disponibles durant l'année entière (Bricas *et al.* 1997).

Photo 1. Séchage traditionnel des cossettes



Cossettes après 1 jour
de séchage

Cossettes fraîchement
étalées pour séchage



Brunissement des cossettes au cours du séchage

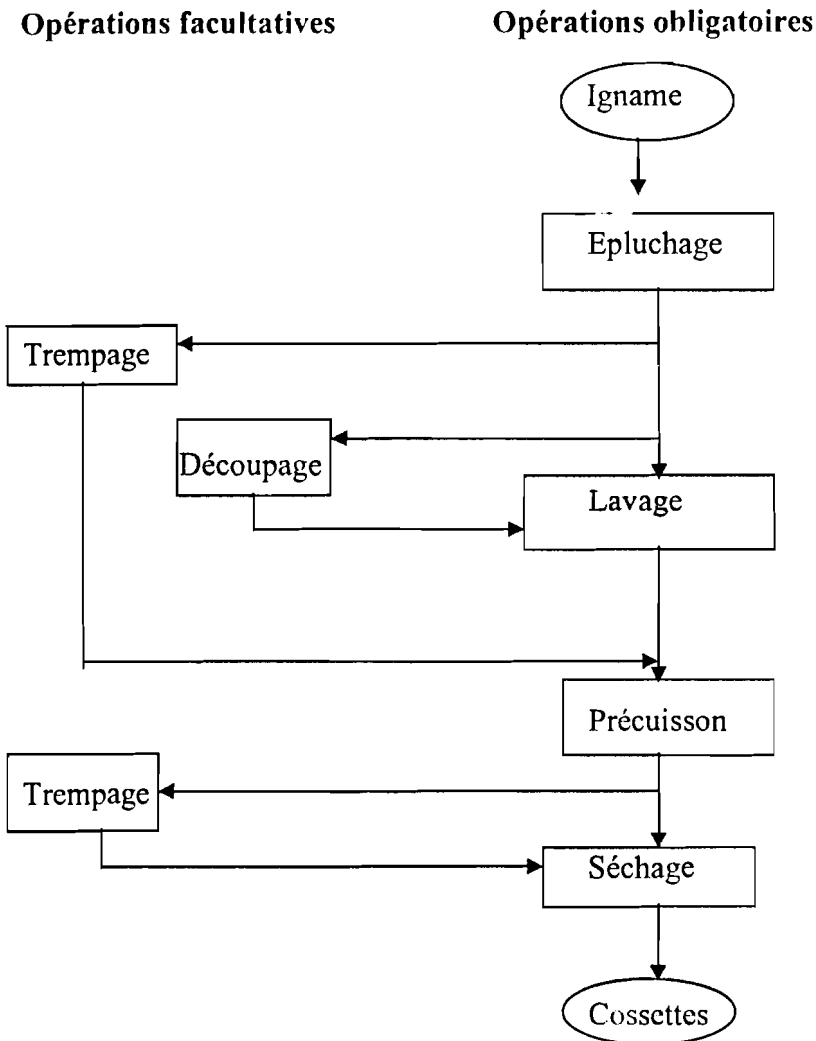


Figure 3. Procédés traditionnels de transformation de l'igname en cossettes

1.6 Utilisation de l'igname : Les principaux produits

En Afrique de l'Ouest, dans la plupart des pays producteurs d'igname, on note une certaine diversité dans les modes de préparation et de consommation de l'igname (Tableau 4a, Tableau 4b). Les figures 4 et 5 montrent les fréquences et les différentes formes de consommation les plus répandues au Bénin et au Nigéria. L'igname frite, l'igname bouillie, l'igname pilée et l'amala sont les plats les plus fréquemment consommés. Les tableaux 4a et 4b présentent l'importance relative de ces plats dans les villes du Bénin et du Nigéria (Rapport Incoyam, 2000). Le wassa-wassa est consommé uniquement au Bénin et l'igname

braisée y apparaît relativement marginale. Globalement, l'igname bouillie est la première forme de consommation, suivie de l'igname pilée (Figure 4). Une différence variétale de comportement culinaire et de qualité sensorielle de l'igname a été observée (Hounhouigan et al., 2002 ; Dansi et al., 1997) : certaines variétés sont bonnes pour l'igname pilée, pour les cossettes, pour l'igname frite ou pour l'igname bouillie. A l'exception des cossettes séchées, tous les produits traditionnels à base d'igname sont des formes directes de consommation avec une durée de vie d'un jour environ. (Figure 5)

Tableau 4a: Indices pondérés de fréquence de consommation hebdomadaire des différents plats à base d'igname au Bénin

| | Cotonou (N=140) | Parakou (N=60) |
|-----------------|--------------------|----------------|
| Igname pilée | 5,9 | 19,7 |
| Igname bouillie | 13,0 | 15,6 |
| Ragoût igname | 5,4 | 11,5 |
| Frites d'igname | 17,7 | 13,4 |
| Amala | 11,0 | 20,1 |
| Wassa wassa | 3,4 | 16,4 |
| Indice global | 5,9 | 11,4 |

Tableau 4b: Indices pondérés de fréquence de consommation hebdomadaire des différents plats à base d'igname au Nigeria

| | Ebonyi (N=35) | Benue (N=50) | Nasarawa (N=45) | Anambra (N=40) | Enugu (N=35) | Abuja (N=35) | Delta (N=30) | Ondo (N=35) |
|-----------------|------------------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Igname pilée | 14,7 | 30,8 | 21,8 | 23,8 | 14,7 | 19,7 | 24,1 | 34,8 |
| Amala | 0,5 | 3,7 | 8,0 | 6,4 | 3,3 | 10,7 | 1,2 | 12,9 |
| Igname bouillie | 24,4 | 31,2 | 19,4 | 25,8 | 20,8 | 19,2 | 33,2 | 24,6 |
| Ragoût igname | 25,4 | 14,5 | 12,7 | 19,1 | 15,8 | 13,5 | 15,7 | 11,0 |
| Igname frite | 5,7 | 14,0 | 15,9 | 13,1 | 6,8 | 17,1 | 11,0 | |
| Igname braisée | 7,5 | 6,0 | 12,8 | 6,4 | 9,8 | 17,4 | 9,5 | |
| Indice global | 10,0 | 13,3 | 10,1 | 11,1 | 9,4 | 11,3 | 13,3 | 10,8 |

Source: Rapport Incoyam (2000)

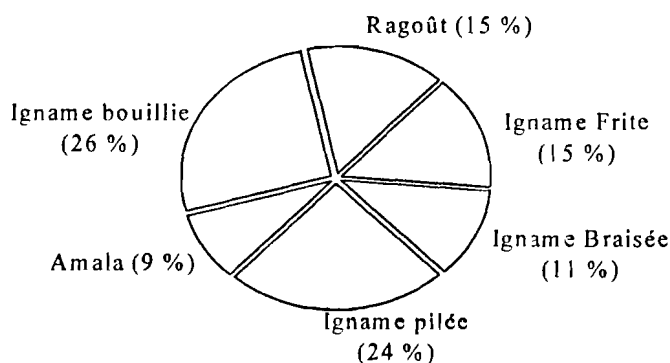


Figure 4. Fréquence de consommation moyenne des principales préparations à base d'igname au Bénin et au Nigeria

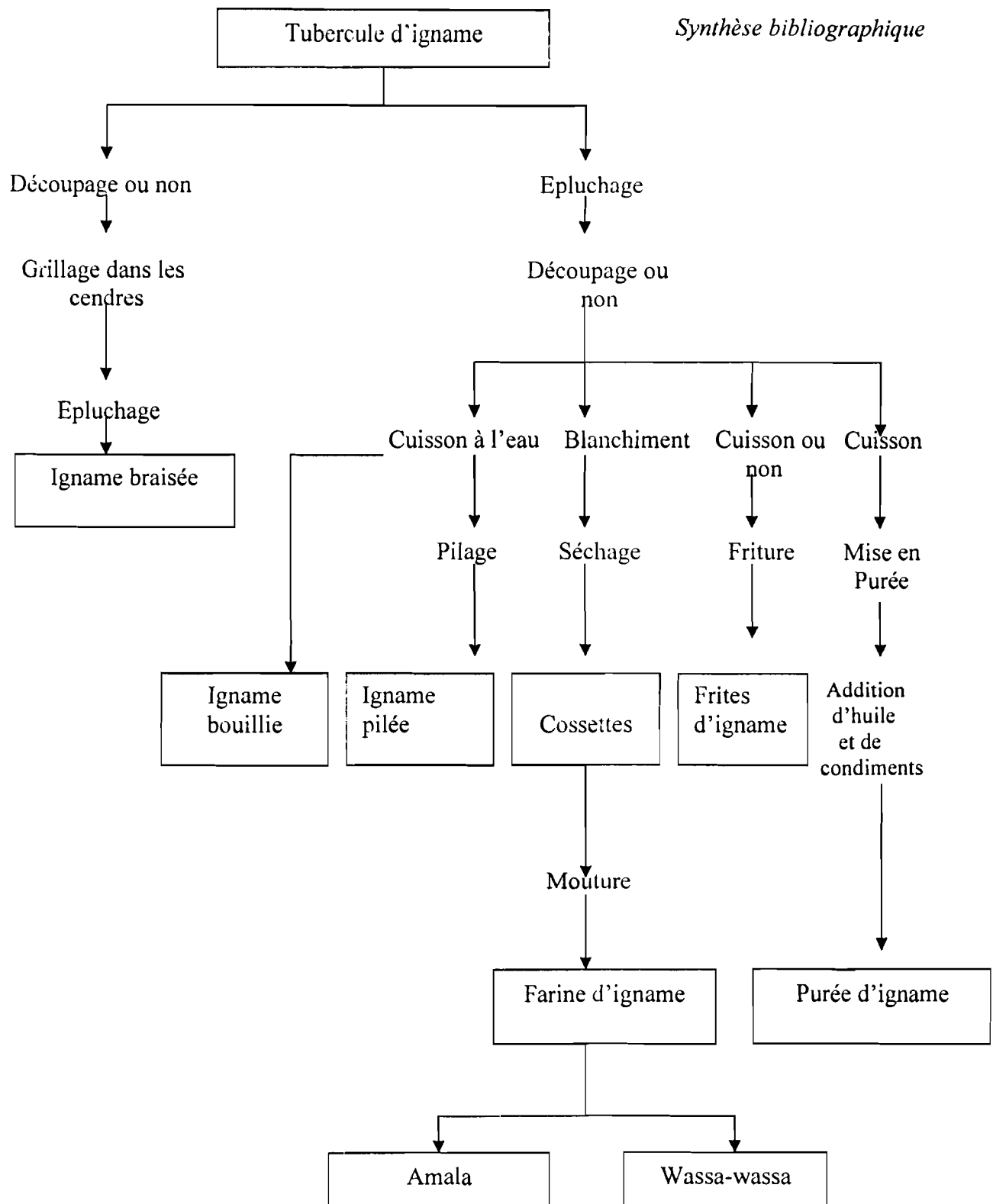


Figure 5. Principales formes de consommation de l'igname

I.6.1 Igname pilée

L'igname pilée (foutou en Côte d'Ivoire, fofou au Togo, agoun/schokuru au Bénin, pounded yam au Nigeria) est une pâte obtenue par pilage dans un mortier de morceaux

d'igname bouillie. C'est l'une des formes les plus prisées de consommation de l'igname en Afrique de l'Ouest. Le foutou occupe la deuxième place (17 %), parmi les aliments les plus consommés en Côte d'Ivoire, derrière le riz (22 %) (Nindjin, 2000). La qualité (goût, couleur, texture) de l'igname pilée varie en fonction des espèces et des variétés utilisées et détermine les choix de production et de consommation (Asiedu et al. 1981). Les variétés les plus utilisées en Côte-d'Ivoire et au Bénin pour cette préparation sont indiquées dans le tableau 5.

Tableau 5. Variétés les plus utilisées pour l'igname pilée

| | Variété 1er choix | Variété 2ème choix |
|---------------|-------------------|--------------------|
| Côte-d'Ivoire | Kpona, Lokpa | Bêtê-bêtê |
| Bénin | Laboko, Kokoro | Morokoro, Gangni |

Source : Nazhia, 2002

I.6.2 Amala et wassa-wassa

Les cossettes sont moulues en farine de granulométrie médiane de 75 μm (Okaka, Okorie & Ozo, 1991) qui est utilisée pour préparer la pâte amala. Cette pâte est considérée de qualité sensorielle distincte de celle de l'igname pilée de par sa couleur et de sa texture (Onayemi, 1982; Ngoddy & Onuoha, 1983). L'amala peut s'obtenir directement par malaxage vigoureux (I) de la farine de cossettes d'igname dans de l'eau bouillante (90-100°C) dans la proportion de 25-28 g de farine dans 100g d'eau ou par un procédé similaire à celui décrit pour le owo (II) (figure 6) (pâte de farine de maïs) (Nago, Akissoë, Matencio & Mestres, 1997). Outre l'amala, la farine de cossettes d'igname sert à préparer le wassa-wassa, une forme de couscous obtenue par roulage de la farine humidifiée en granules qui sont ensuite cuits à la vapeur.

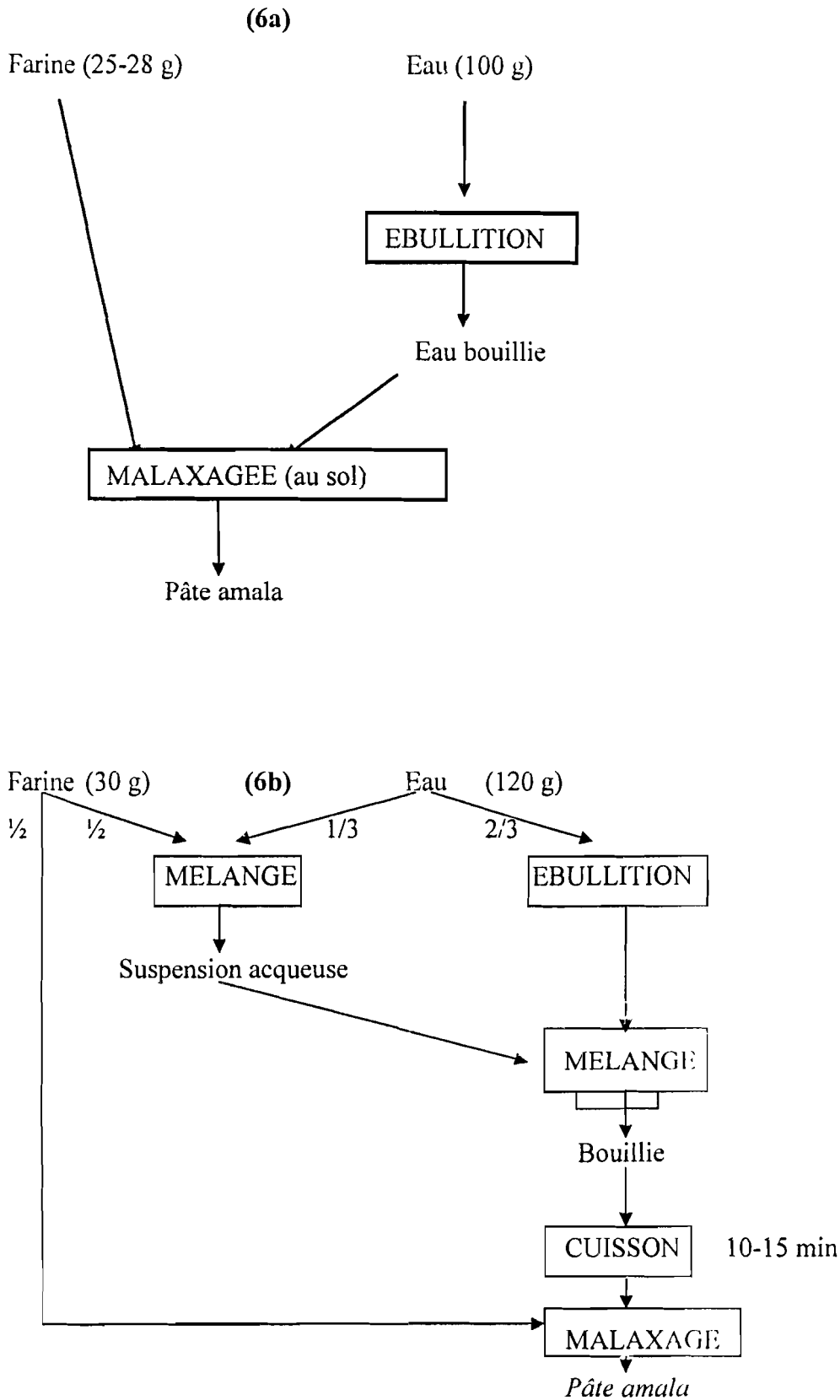


Figure 6a et 6b. Procédés de préparation de l'amala

Les problèmes posés par la préparation et l'utilisation des cossettes sont variées. La pâte dérivée des cossettes (amala) présente une couleur brune à brun-noire, une texture et un goût différents de ceux de l'igname pilée même si elles sont toutes deux préparées à partir des mêmes variétés. Des tentatives pour préparer des flocons d'igname ou de la farine dont la pâte serait similaire à l'igname pilée ont été entreprises au Nigeria, à Porto-Rico (Steele & Sammy, 1976) et en Côte d'Ivoire mais sans succès parce que cette pâte présente une couleur brune qui est différente de celle du produit pilé (Anosike & Ikediobi, 1983). Cependant, des études réalisées au Nigeria et au Bénin (Hounhouigan, Kayode, Bricas & Nago, 2002) ont montré que cette pâte pourrait gagner plus de popularité dans les milieux urbains parce qu'elle est plus facile à préparer et s'adapte mieux au mode de vie dans les villes.

1.7 Attributs de qualité des pâtes d'igname : igname pilée et amala

Les attributs de qualité sensoriels de l'igname pilée et leurs descripteurs reconnus comme les plus importants et pertinents concernent le goût sucré, la texture élastique et ferme, l'aspect lisse avec absence de points noirs et de grumeaux, et la couleur variant du blanc crème au marron clair en passant par le jaune (Hounhouigan *et al.* 2002; Nindjin, 2000).

Au niveau de l'amala, les caractères collant, lisse, élastique et ferme restent les caractéristiques sensorielles majeures de la texture. De même, la couleur brun-claire à brun-foncée était acceptée avec une certaine préférence pour la couleur brun-claire. Enfin le goût neutre, voire légèrement amer ou à peine sucré est également désiré (Hounhouigan *et al.*, 2002).

Il existe une grande variabilité de préférence au niveau de ces caractéristiques entre les zones de consommation traditionnelle et les centres urbains, mais aussi entre pays où ces pâtes d'igname sont connues. Au Bénin, l'absence de points noirs est un critère de qualité important (71 % personnes interrogées) alors qu'au Nigeria, l'absence de points noirs n'est importante que pour 4,5 % des personnes interrogées (Tableau 6). De même, au Bénin, le goût des pâtes d'igname apparaît en seconde position alors qu'au Nigeria, c'est plutôt la couleur et la consistance.

Dans tous les cas, on estime que seule l'igname du groupe variétal kokoro (*D. rotundata*) possède les aptitudes à la préparation de l'amala aux qualités sensorielles citées (Dansi *et al.*, 1997 ; Hounhouigan *et al.*, 2002). Néanmoins, une récente étude a montré que la variété Florido (*D. alata*) a donné une pâte ayant des qualités sensorielles similaires à celles

de la pâte issue de la variété kokoro (Verrier P., Dossou R. A. & Letourmy P., 1999). Ces attributs de qualité spécifiques de l'amala sont probablement liés au procédé de transformation et au type d'igname utilisé. Le mécanisme de brunissement au cours de la cuisson de la farine est mal connu. Il serait, en particulier, intéressant de déterminer si ce brunissement est dû à certaines enzymes qui resteraient actives malgré le blanchiment et le séchage ou s'il s'agit d'une réaction purement chimique. Par ailleurs, il est également important de comprendre et d'expliquer si le mécanisme de formation de la texture et du goût de l'amala est fonction des caractéristiques physicochimiques de la farine des cossettes d'igname.

Tableau 6 : Critères de qualité recherchés pour les pâtes à base d'igname au Bénin et au Nigeria.

| | Igname pilée | | Amala | |
|------------------------------------|--------------|---------|-------|---------|
| | Bénin | Nigeria | Bénin | Nigeria |
| Effectif interrogé | 135 | 900 | 116 | 900 |
| Consistance/Texture | | | | |
| <i>Effectif répondant</i> | 119 | 871 | 94 | 400 |
| Elastique | 95,8* | 68 | 91,5 | 50,5 |
| Tendre/mou | 79 | 30 | 62,8 | 46 |
| Dur/ferme | 1,1 | 1,7 | 33 | 0,5 |
| Caoutchouteux | 5 | 5,2 | 5,3 | 6,8 |
| Collant | 13,4 | 4,6 | 28,7 | 1 |
| Aqueux | 3,4 | 0,1 | 4,3 | 0 |
| Lisse sans grumeaux | 96,6 | 84,3 | 89,4 | 81,8 |
| Grumeleux | 0,8 | - | 2,1 | - |
| Friable | 13,4 | 2,4 | 10,6 | 0,5 |
| Sans points noirs | 75,6 | 49,8 | 71,3 | 4,5 |
| Maintien consistance après cuisson | 29,4 | 100 | 31,9 | 100 |
| Goût | | | | |
| <i>Effectif répondant</i> | 99 | 839 | 82 | 399 |
| Légèrement sucré | 82,8 | 39,3 | 36,6 | 16 |
| Sucré | 11,1 | | 2,5 | |
| Sans goût prononcé | 38,4 | 73,1 | 56,1 | 85,5 |
| Acide | 0 | 0,5 | 12,2 | 0,8 |
| Amer | 0 | 0 | 11 | 0,3 |
| Couleur | | | | |
| <i>Effectif répondant</i> | 70 | 839 | 37 | 399 |
| Très blanc | 78,1 | 58,3 | 7,3 | 12,1 |
| Assez blanc/crème | 65,8 | 13,1 | 5,8 | 1 |
| Jaune | 63 | 7,3 | 4,4 | 39,4 |
| Marron clair | 5,5 | 1,6 | 73,9 | 42,6 |
| Marron foncé | 2,7 | 0,7 | 42 | 11,3 |
| Noir | - | 0,7 | - | 16,48 |

* % des réponses par rapport à l'effectif répondant

Source. Rapport Incoyam, 2000

I.8. Bases physico-chimiques et mesures instrumentales de la qualité des pâtes d'igname

I.8.1 La couleur : substances et mécanismes responsables du brunissement

I.8.1.1 Mécanismes généraux

La plupart des tubercules d'igname, des fruits et légumes brunissent à la suite d'une blessure mécanique ou au cours de la transformation. Divers mécanismes généralement attribués aux phénols et à leur transformation en sont responsables :

- Des oxydases (polyphénoloxydases, peroxydases) agiraient sur les polyphénols, les oxydant en quinones qui peuvent à leur tour former des produits colorés par condensation/polymérisation ou par suite de la formation de complexes avec les composés aminés (Dela Rosa & Emiola, 1980) ;

Le brunissement prononcé de la farine d'igname et l'assombrissement de la pâte ont été associés à l'activité des polyphénoloxydases (Anosike *et al.*, 1983; Dela Rosa *et al.*, 1980). Mayer & Harel (1979) ont rapporté deux groupes principaux de polyphénoloxydases en fonction de leur spécificité aux substrats (Figure 7).

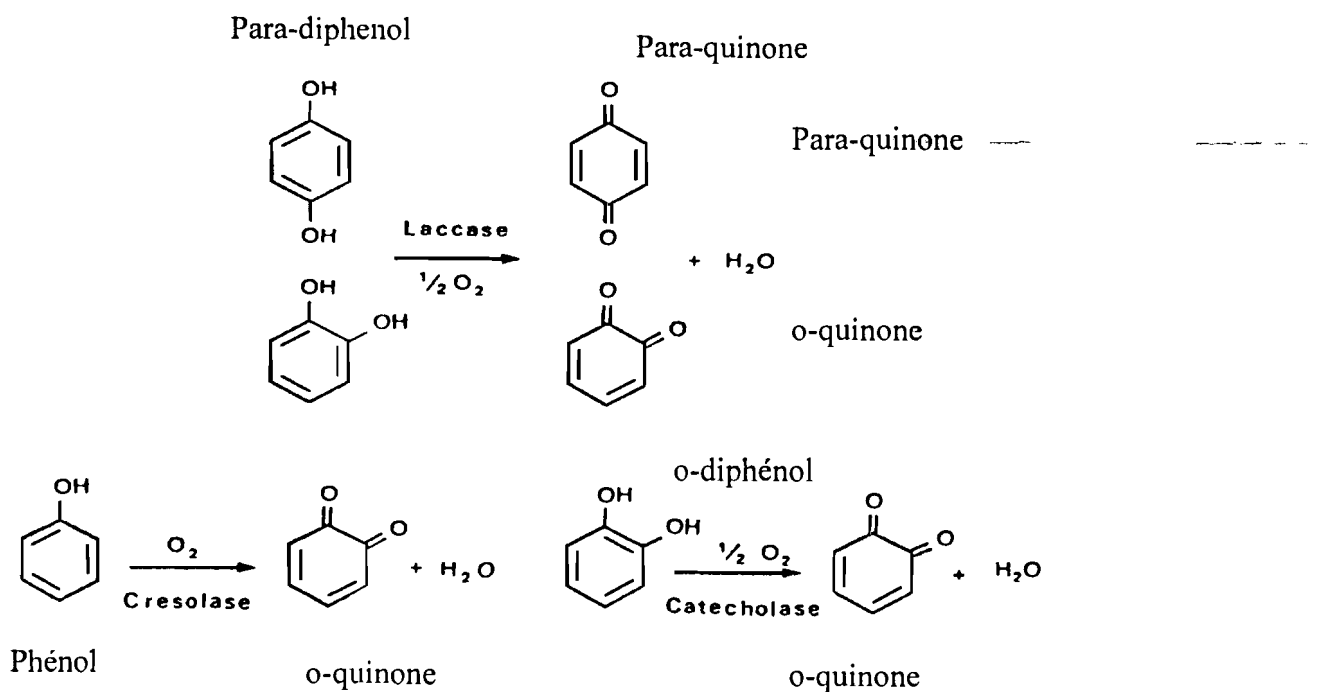


Figure 7. Mécanismes de réaction

Le premier groupe (laccase ou para-diphénolase), catalyse l'oxydation des para-diphénols.

Le deuxième groupe catécholoxydase ou o-diphénoloxydase (o-DPO) catalyse deux types de réaction: l'un, souvent connue comme activité "crésolase", est une hydroxylation de monophénol en diphénol; l'autre, connue comme activité catécholase, est une oxydation de l'o-diphénol en quinones. Les enzymes de ces deux groupes ont été isolées, purifiées et identifiées dans les tubercules d'igname (Almenteros-Alcantara & Del Rosario, 1989; Tono, Fujita & Ikeda, 1995)

Quel que soit le groupe considéré, la dernière étape dans les séries de réaction est la polymérisation des quinones ou la formation de complexes avec d'autres substances (métaux, protéines, glucides etc) conduisant à l'intensification du brunissement. Par exemple :

- Des proanthocyanidines (incolores) se convertiraient en anthocyanes plus colorés par dégradation thermique (Mathew & Parpia, 1971) ;
- Des polyphénols complexeraient les métaux (Fe^{++} , Cu^{++}) pour donner des corps plus colorés (Swain & Hillis, 1959).

D'autres réactions, impliquant les sucres réducteurs peuvent toutefois engendrer des pigments bruns. Il s'agit :

- des réactions de Maillard : condensation des sucres réducteurs avec le groupement amine (NH_2) libre des acides aminés ou des protéines conduisant à des pigments colorés bruns (mélanoidines).
- des réactions de caramélisation : dégradation thermique des sucres.

Ces réactions sont peu probables dans le cas de la cuisson de l'amala car les conditions de leur manifestation ne sont pas totalement réunies.

1.8.1.2 Les composés phénoliques

Les composés phénoliques regroupent une multitude de corps dont les structures ont en commun le noyau aromatique possédant un ou plusieurs groupements hydroxyles, méthoxyles etc.

• Les acides phénols

Les acides phénols comportent deux types de composés : les acides phénoliques comportant un groupement acide para-hydroxybenzoïque (figure 8) et les acides hydroxycinnamiques (figure 9). L'acide hydroxybenzoïque (C_6-C_1), dérive directement de l'acide benzoïque. Différentes formes ont été observées dues à l'hydroxylation ou à la méthylation du cycle aromatique (Tableau 7). Les acides hydroxycinnamiques dérivent de l'acide cinnamique et

possèdent une structure générale de type C₆-C₃. Leur longueur d'onde maximum (λ_{max}) d'absorption se situe autour de 320 nm. Ces acides phénols se retrouvent généralement sous forme combinée, estérifiée par divers groupements acide, acyl ou alcalin (Tableau 8)

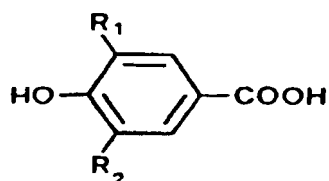


Figure 8. Acide p-hydroxybenzoïque

Tableau 7. Formes d'acides hydroxybenzoïques

| Acide hydroxybenzoïque | R ₁ | R ₂ |
|--------------------------|------------------|------------------|
| Acide p-hydroxybenzoïque | H | H |
| Acide protocatechique | OH | H |
| Acide vanillique | OCH ₃ | H |
| Acide syringique | OCH ₃ | OCH ₃ |
| Acide gallique | OH | OH |

Source : Macheix et al. (1990)

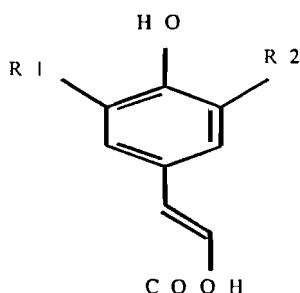


Figure 9. Structure chimique des acides hydroxycinnamiques

Tableau 8 Dérivés d'acides hydroxycinnamiques

| Acides cinnamiques | R ₁ | R ₂ |
|-----------------------|------------------|------------------|
| Acide para-coumarique | H | H |
| Acide caféïque | OH | H |
| Acide ferulique | OCH ₃ | H |
| Acide sinapique | OCH ₃ | OCH ₃ |

Source : Macheix et al. (1990)

- Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés ayant un squelette C₆-C₃-C₆ (phényl-2 benzopyrone). Les différentes classes observées se distinguent par le degré d'oxydation du cycle pyrane. Ils regroupent les anthocyanes, les flavonols et flavanols et d'autres structures telles que les flavones, les flavanones, les chalcones et dihydrochalcones.

Les anthocyanes sont des pigments responsables des couleurs rouge, bleue et violette retrouvées naturellement chez de nombreux fruits alors que les autres flavonoïdes sont peu colorés mais peuvent être impliqués dans la coloration en complexant le fer pour donner une couleur bleue ou verte. Les anthocyanes sont des glycosides naturels ; l'aglycone est une anthocyanidine (ou anthocyanidols), dérivée du phenyl-2-benzopyrylium (noyau flavylum), avec un proton O⁺ dans la chaîne à 3C. Ce noyau peut être hydroxylé, méthylé, acylé ou glycosylé (Mazza & Miniati, 1993) (Tableau 9). Les anthocyanidines (Figure 10) absorbent à 280 nm mais des substitutions dans le second noyau benzoïque peuvent déplacer l'absorbance vers 520 nm pour le pelargonidine et 543 nm pour le petunidine (Coultate, 1984).

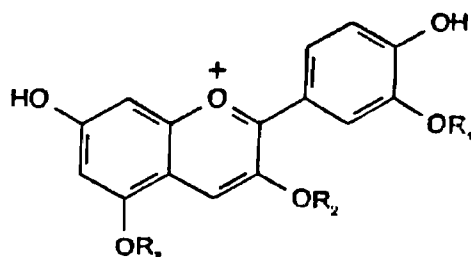


Figure 10. Structure chimique des anthocyanidines

Tableau 9 Dérivés d'anthocyanidines

| Anthocyanidines | R ₁ | R ₂ |
|-----------------|------------------|------------------|
| Pelargonidine | H | H |
| Cyanidine | OH | H |
| Delphinidine | OH | OH |
| Peonidine | OCH ₃ | H |
| Petunidine | OCH ₃ | OH |
| Malvidine | OCH ₃ | OCH ₃ |

Source : Coultate (1984)

Les flavonols contiennent une chaîne en C₃ non saturée avec une double liaison entre C-2 et C-3, un groupe hydroxyle en position 3 et une fonction cétone en position 4 (Figure 11). Les radicaux R₁ et R₂ possibles sont présentés dans le tableau 10. Ils présentent deux pics d'absorption, l'un à 350 nm et le second à 270 nm.

Les flavones présentent la même structure que les flavonols à la différence que le

carbone 3 de l'hétérocycle n'est pas hydroxylé.

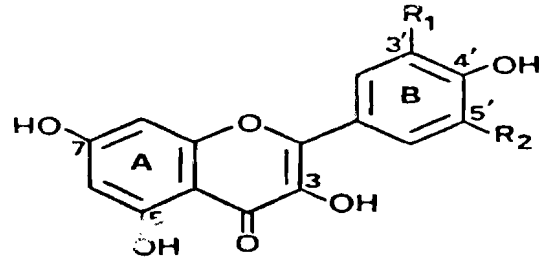


Figure 11. Structure chimique des flavonols

Tableau 10 Formes des flavonols

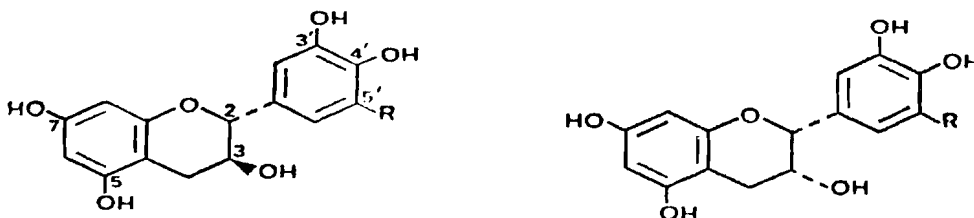
| Composés | R ₁ | R ₂ |
|----------------|------------------|----------------|
| Kaemferol | H | H |
| Quercetine | OH | H |
| Iso-Rhamnetine | OCH ₃ | H |
| Myricetine | OH | OH |

Source : Macheix et al. (1990)

Les flavanols se distinguent par une chaîne en 3C saturée avec un maximum d'absorption à 280 nm. On distingue les flavan-3,4-diols ou leucoanthocyanidols et les flavan-3-ols. Les monomères de flavanols (Figure 12) peuvent former des structures plus complexes de proanthocyanidols (tannins condensés) qui ont la propriété de libérer les anthocyanidols par chauffage en milieu acide fort (Bate-Smith, 1975).

Les flavanones présentent la même structure mais avec la présence d'une double liaison sur le carbone 4 de l'hétérocycle.

Les chalcones et les dihydrochalcones ont les mêmes structures que les composés précédents (anthocyanes, flavonols et flavanols, flavones, flavanones) à la différence que l'hétérocycle (à 3C) est ouvert.



Catéchine

Epicatechine

R= H :(+)- Catechine

R= H:(-)- Epicatechine

R= OH : Gallocatechine

Figure 12. Structure chimique des flavan-3-ols monomères

- **Autres composés phénoliques**

On recense divers autres composés phénoliques : on peut citer les monophénols (p-crésol, phénol, L-tyrosine etc) et diphenols (catéchol, méthylcatéchol etc). La plupart de ces composés ont été rapportés comme substrats de polyphénoloxidasés, donc impliqués dans les réactions de brunissement : ils peuvent s'oxyder, se polymériser ou complexer des métaux, des sucres et des protéines.

1.8.1.3 Les composés phénoliques identifiés dans les ignames

Dans les ignames, il a été observé des polyphénols sous forme libre et sous forme liée (essentiellement des esters et des hétérosides). Karnick (1971) utilisant la chromatographie sur papier, a identifié les formes libres telles que les acides caféique, coumarique, ferulique, sinapique, le keampferol, la quercétine et la cyanidine. La catecholamine a été également identifiée dans les variétés de *D. alata* et *D. rotundata* par chromatographie et détection en absorption ultra-violet (uv) (Martin & Ruberte, 1976 ; Tono *et al.*, 1995).

Les hétérosides (polyphénols glycosylés), essentiellement des dérivés d'anthocyanes, ont été identifiés dans les tubercules frais de *Dioscorea alata*. Les anthocyanidines retrouvés sous formes de monomères ou sous formes de dimères et parfois de polymères de procyanidines sont constitués de (+) catéchine et d'épicatéchine. Ozo *et al.* (1984) ont étudié en HPLC les composés phénoliques des ignames comestibles, en particulier ceux qui sont responsables du brunissement et ont observé que *Dioscorea alata* contient la (+)-catéchine, la cyanidine-3-glucose, les dimères de procyanidine B-1 et B-3 et deux autres procyanidines, plus probablement un trimère et un tétramère. Mais la forte polymérisation des anthocyanidines rend difficile la séparation et la quantification de ces polymères par l'HPLC (Guyot *et al.*, 1998). Le tableau 11 présente une synthèse des composés phénoliques fréquemment rencontrés dans les plantes.

Au cours du stockage, les polyphénols et les glucoalcaloïdes potentiellement responsables du brunissement chez l'igname ont significativement augmenté (Martin & Ruberté, 1975; Onayemi & Idowu, 1988).

optimale d'activité est de 37,5°C. D'après ces travaux, l'activité des PPO et le brunissement sont faibles à 0 °C et à 60°C. D'autres auteurs ont rapporté que les températures optimales d'activité des PPO varient de 27 à 40°C (Dela Rosa *et al.*, 1980). Ozo (1983) a observé que la dénaturation est irréversible à 60 °C pour les dihydroxyphénoloxydases de *Dioscorea alata* incubées pendant 2 min. Cette dénaturation est d'autant plus importante que la température est plus élevée, avec une complète inactivation à 90 °C en 2 min.

Pour les PPO, des pH optima sont compris entre 5,6 et 6,5 (Dela Rosa *et al.*, 1980) et entre 5,0 et 7,5 (Ozo & Caygill, 1985). La valeur optimale inabituellement appliquée au cours des essais enzymatiques est de 6,3

Les principaux substrats rapportés lors du brunissement enzymatique de l'igname sont la catécholamine (telle que la dopamine) et le catéchol (Tono *et al.*, 1995; Martin & Ruberte, 1976). De même, le brunissement de l'igname fraîche a été attribué à l'oxydation de composés phénoliques tels que l'o-dihydroxyphénol ou le vic-trihydroxyphénol (Adamson & Abigor, 1980; Anosike *et al.*, 1982; Dela Rosa *et al.*, 1980; Ikediobi *et al.*, 1982).

Des méthodes ont été développées pour inhiber le brunissement des produits. Les mécanismes d'action portent sur quatre principaux facteurs (Macheix *et al.* 1990) :

- l'enzyme : inhibition ou inactivation des enzymes (o-DPO);
- les substrats : action sur la concentration des substrats ;
- l'oxygène moléculaire : réduction de la teneur en oxygène ;
- la quinone : réduction ou piégeage des quinones formés pour empêcher leur polymérisation.

Des traitements physiques et chimiques ainsi que leur combinaison avaient été également proposés pour le contrôle du brunissement (Mullins, Olson & Treadway, 1953) : Ils consistent à utiliser pour ralentir ou détruire l'activité des enzymes impliquées :

- la chaleur, les acides, les solvants organiques.
- des substances compétitives, telles que l'acide benzoïque et l'ion d'hydrogène ;
- des substances telles que le diéthylthiocarbamate, la thiourée, les thiols et l'acide citrique qui complexent le cuivre lié aux enzymes ;
- des substances telles que l'acide ascorbique, le sulfite et d'autres agents réducteurs qui convertissent les quinones en composés originaux.

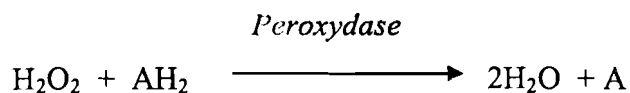
L'activité de la PPO est complètement inhibée par L-acide ascorbique, la cystéine, le

diéthylthiocarbamate de sodium ou le cyanure de potassium (Chang-Peng, Shuji Fujita, MD Ashrafuzzaman, Naoko Nakamura & Hayashi, 2000).

Le brunissement de la farine de cossettes d'igname au cours de la cuisson dans l'eau chaude reste encore mal connu. Ce travail aidera à mieux comprendre les mécanismes de formation de cette coloration brune de la pâte amala.

1.8.1.5 Peroxydases et mécanismes de brunissement

La peroxydase (POD) est aussi associée au brunissement des produits d'igname. En effet, Badiani *et al.* (1990) ont rapporté que le brunissement des tubercules d'igname fraîche est dû à l'activité de la peroxydase. La réaction enzymatique en cause dans ce cas implique le peroxyde d'hydrogène H₂O₂ comme accepteur et un composé de type AH₂ comme donneur d'atomes d'hydrogène. Les composés phénoliques tels que le pyrogallol et certains acides phénoliques sont des substrats de la peroxydase.



Les quinones formées lors de l'oxydation de ces polyphénols sont aussi des formes de peroxydes utilisables par la peroxydase. Ainsi, en présence de quantité croissante de polyphénoloxydases, ce processus peut amplifier la dégradation des quinones formés en accélérant la disparition des polyphénols.

Ferdinand *et al* (2002) ont montré que la peroxydase de l'igname est beaucoup plus stable que les PPO car ils ont observé une activité de POD mesurable après incubation à 80 °C pendant 60 min alors qu'aucune activité de PPO n'était plus détectable à 70 °C après 20 min d'incubation. Une inactivation thermique complète a été notée par les mêmes auteurs à 80 °C après 2h pour la POD et à 70°C après 30 min d'incubation pour la PPO. Mais ceux-ci ont observé que l'activité des peroxydases était régénérée 36 h de stockage après une inactivation. Ils ont donc déduit que les POD joueraient un rôle prépondérant dans le brunissement de l'igname transformée. Cette réactivation des POD a été expérimentée sur les extraits incubés puis stockés. En revanche, le comportement des POD dans la farine (matrice alimentaire) est encore mal connu et pourrait permettre de comprendre davantage les mécanismes de brunissement de cette farine et de l'amala.

1.8.2 Le goût

* Les principaux attributs du goût : substances responsables et perception

Les principaux attributs du goût (sucré, salé, acide et amer) sont perçus dans différentes zones sensorielles de la langue.

Fondamentalement, la pointe de la langue perçoit le sucré et le salé, les bords latéraux recueillent les sensations acides et la base de la langue perçoit le goût amer.

Les goûts sucré et salé sont facilement perçus par les dégustateurs alors que des difficultés de reconnaissance ont été mises en évidence pour les goûts amer et acide (Peryam, 1963).

Selon Teranishi (1971), la perception des principaux attributs de goût résulte d'une activité nerveuse (cérébrale) qui fait intervenir plusieurs sites cellulaires mais aucun récepteur spécifique ne peut, à lui seul, percevoir ni le sucré, ni l'amer, ni le salé, ni l'acide.

Le mécanisme d'interaction entre les substances responsables du goût et leur récepteur est mal connu. On suggère que ces substances agissent sur des protéines spécifiques des cellules du site récepteur. De plus, il est souvent difficile de savoir quels sont les facteurs responsables de la saveur des composés. Seule la saveur acide est très bien définie par rapport à la concentration en ions H^+ , définie par le pH ($-\log[H^+]$) : plus la concentration en ions H^+ est élevée plus le pH est bas et plus la saveur acide est forte.

La saveur sucrée n'a pas de règles générales car les sels de plomb, les solutions alcalines très diluées, certains sucres, des alcools, des aldéhydes (glycérine), des cétones et le chloroforme sont des substances sucrées.

On en sait encore moins sur la saveur amère. On l'associe à différents composés organiques (alcaloïdes, hétérosides cyanogénétiques, glucosinolates, polyphénols) et inorganiques (métaux lourds, sulfate de magnésie)

Les produits d'igname se distinguent particulièrement par leur goût. Ainsi, l'amala se distingue de l'igname pilée par une certaine amertume. L'amertume a été attribuée à de nombreux types de composés tels que les acides aminés, les peptides, les alcaloïdes, les composés phénoliques, les métaux lourds, les terpènes et les saponines. Dans le vin, les extraits de jus de fruits et le cidre, l'amertume est principalement due aux composés phénoliques, en particulier aux proanthocyanidines et à certains dérivés d'acides hydroxycinnamiques (Macheix *et al.*, 1990). Les proanthocyanidines sont à la fois amers et astringents. Certains acides cinnamiques tels que les acides p-coumarique, caféique et férulique et leurs dérivés sont aussi amers.

L'amertume chez l'igname et les produits dérivés

Certaines ignames, en particulier les parties supérieures (tête, queue) et les tubercules immatures présentent une forte amertume. Les substances responsables de l'amertume seraient des tannins condensés (proanthocyanes) chez *D. cayenensis* (Martin *et al.*, 1975), des calcoïdes (dihydrodioscorine) chez *D. dumetorum*, des terpénoïdes chez *D. bulbifera* (Telek, Martin & Ruberté, 1974) et des saponines chez certains autres cultivars (Abe, 1973). Les mélanines (polymères) résultant de l'oxydation des polyphénols donneraient également de l'amertume aux produits (Adamson *et al.*, 1980).

Ces composés amers ont été identifiés à la fois dans les ignames cuites et non cuites de certaines variétés de *D. bulbifera* (Telek *et al.*, 1974). Autrement dit, la chaleur ne les ségrade pas et le goût amer de l'amala en est probablement une preuve. Il est possible que leur présence dans l'amala résulte à la fois des substances natives et des composés formés au cours de la préparation. Il est donc nécessaire de déterminer la relation entre le goût amer de l'amala et les substances responsables afin de proposer les voies de réduction ou d'élimination de ces substances au cours du procédé de fabrication des cossettes.

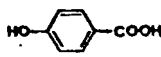
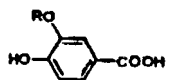
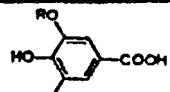
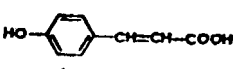
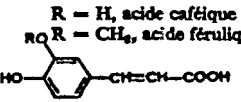
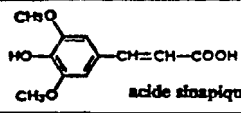
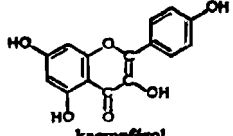
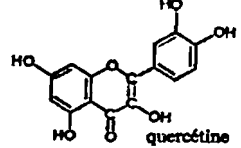
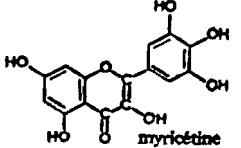
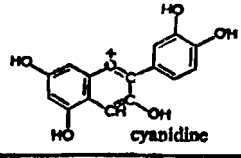
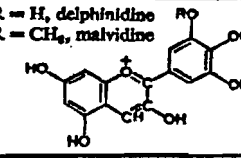
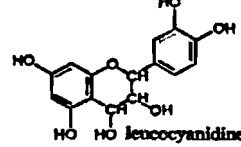
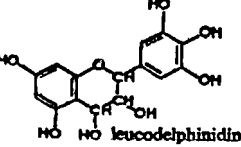
L'acidité chez les produits d'igname

Le goût acide est perçu particulièrement au niveau de certains produits à base d'igname tels que les cossettes et l'amala. Ce goût est le fait de certains acides organiques, alcools et cétones dont la synthèse peut être favorisée par la durée relativement longue de séchage (7 jours) des cossettes; Ceci entraîne une modification du profil sensoriel de l'amala qui acquiert parfois un goût acide marqué. En particulier, l'acide citrique (sous forme de citrate) augmente au cours du séchage passant de 3,6 g/Kg de matière sèche dans l'igname fraîche à 8,5 g/Kg dans les cossettes (Hounhouigan & Akissoe, 1997). Il est donc souhaitable de déterminer qualitativement et quantitativement les acides organiques présents dans les cossettes et farines d'igname et d'évaluer leur incidence sur le goût de l'amala qui en est issu.

1.8.3 La texture

Szczesniak *et al.* (1963) ont signalé que les caractéristiques texturales importantes pour les consommateurs se résument en trois types de propriétés: le premier concerne les caractéristiques mécaniques comme la dureté, la fragilité, la densité, l'adhésivité et la viscosité; le second regroupe les caractéristiques géométriques et celles en rapport avec

Tableau 11. Récapitulatif des principaux groupes d'acides-phenols et de flavonoïdes

| | MONOHYDROXYLÉS | DIIHYDROXYLÉS | TRIIHYDROXYLÉS |
|--|---|---|--|
| ACIDES BENZOÏQUES |  acide <i>p</i> -hydroxybenzoïque |  R = H, acide prot-catéchique R = CH ₃ , acide vanillique |  R = H, acide gallique R = CH ₃ , acide syringique |
| ACIDES CINNAMIQUES |  acide <i>p</i> -coumarique |  R = H, acide caféique R = CH ₃ , acide férulique |  acide sinapique |
| FLAVONOLS |  kaempférol |  quercétine |  myricétine |
| ANTHOCYANIDINES | |  cyanidine |  R = H, delphinidine R = CH ₃ , malvidine |
| LEUCOANTHOCYANIDINES (flavandiol-3,4) | |  leucocyanidine |  leucodelphinidine |

1.8.1.4 Les polyphénoloxydases identifiées dans les ignames et les facteurs de réaction

Le terme «polyphénoloxydase» (PPO) communément utilisé, fait référence à plusieurs enzymes dont les caractéristiques principales sont leurs capacités à utiliser l'oxygène moléculaire pendant l'oxydation de composés phénoliques (Macheix, Fleuriet & Billot, 1990). Ces enzymes ont été parfois caractérisées dans certaines ignames. Ce sont généralement de grosses molécules de poids moléculaire égal à $115\ 000 \pm 2\ 000$ daltons pour *Dioscorea bulbifera* (Anosike & Ayaebene, 1982) et à $107\ 000 \pm 5\ 400$ daltons pour *Dioscorea rotundata* (Ikediobi & Obasuyi, 1982). Mais, des PPO de plus faible poids moléculaire ont été également mises en évidence, notamment, chez deux cultivars de *Dioscorea alata* ; leur poids moléculaire varie de 25 000 à 27 000 daltons (Almenteros-Alcantara *et al.*, 1989).

Différents facteurs tels que la température, le temps, le pH et les substrats influencent le brunissement dû aux polyphénoloxydases. Omidiji & Okzupor (1996) ont rapporté que la température optimale d'activité des PPO est de 30°C pour *D. cayenensis*, *D. rotundata*, *D. esculenta* et *D. alata*, alors que pour les tubercules de *D. dumetorum*, la température

l'arrangement des composants physiques du produit tels que la taille des particules, la forme et la rugosité de la surface; le troisième intègre des caractéristiques chimiques telles que l'humidité, le caractère gras etc .

Dans le cas de l'amala et de l'igname pilée, les deux premières caractéristiques seront utilisées pour identifier les caractéristiques globales de texture de l'amala recherchées par les consommateurs. Les caractères lisses et absence de points noirs étant difficiles à appréhender par des mesures instrumentales, on s'intéressera seulement aux propriétés mécaniques de l'amala. Onayemi *et al.* (1987) ont rapporté que l'analyse du profil de texture sensorielle pourrait servir comme base pour sélectionner des ignames pour des spécialités culinaires telles que les frites et l'igname pilée.

I.8.3.1 Méthodes de mesure de la texture des pâtes

Méthodes instrumentales de mesure de la texture

Dans le cas du riz, des outils efficaces de prédiction de la texture du riz cuit ont été mis au point (Jean-François, Elaine T. Champagne, Karen L. Bett, Anna M. McClung & Kauffmann, 2000 ; Chanintorn & Meullenet, 2000 ; Szczesniak, 1988). Ce sont des tests de compression et d'extrusion utilisés en combinaison avec les mesures physico-chimiques et qui permettent de développer des modèles prédictifs efficaces de la texture du riz cuit (Chanintorn *et al.*, 2000 ; Brenda, Elaine T. Champagne, Bryan T. Vinyard & Windham, 2000). Pour le cas du tô (pâte de sorgho, de texture proche de Owo et de l'amala), Fliedel (1994) a développé des tests de compression pour appréhender la texture.

- *Méthodes indirectes de la mesure de la texture*

Fliedel (1994) a observé que la texture du Tô dépendait de la phase liquide (matières solubilisées) et de la phase solide (capacité de gonflement). Selon elle, 79 % de la variabilité due à la fermeté du tô pouvait être expliquée par la solubilité et le pouvoir de gonflement de l'amidon à 85 °C.

D'autres méthodes de prédiction fondées sur la composition chimique (teneur en amylose, en protéines) ont été développées pour évaluer et prédire les caractéristiques texturales des aliments. Un tô est d'autant plus ferme que la teneur en amylose est plus élevée et que la solubilité à 85 °C est plus élevée (Fliedel, 1994). Toutefois, les méthodes chimiques présentent des limites car des propriétés chimiques telles que la teneur en amidon, en sucres ne permettent pas toujours d'appréhender la préception sensorielle de la texture (Bourne, 1979)

1.8.3.2 Texture de l'amala

La texture de l'amala (collante, ferme, élastique, fine) est une caractéristique de qualité très importante mais jusqu'à présent, peu de données objectives ont été rapportées sur les propriétés texturales de cette pâte. Akingbala *et al.* (1995) ont rapporté que les caractères collant et mou sont les deux attributs de qualité les plus importants de la texture de l'amala. Ils ont montré que la précuisson joue un rôle majeur dans la formation de ces attributs. L'absence de données objectives constitue un frein à la prédiction de la qualité culinaire et au choix des différents types d'igname. Les tests instrumentaux qui permettraient de prédire ces descripteurs de texture n'ont pas encore été développés. En raison de l'importance de la texture pour les attributs de qualité de l'amala et de la préférence exprimée par des transformateurs vis à vis de certains types de cultivars, il serait intéressant de développer des outils de prédiction de cet attribut et de caractérisation culinaire chez les différents cultivars d'igname.

En gros, les traitements technologiques qui ont lieu au cours de la transformation, le type de variété et l'âge au stockage de l'igname sont des sources potentielles de variation de la qualité de cette pâte.



Photo 2. Cultivars d'igname étudiés

Echelle : 1/10

II- Matériel et méthodes

Le matériel et les méthodes d'analyse utilisés dans le présent travail ont été décrits dans les différents articles scientifiques publiés ou soumis pour publication. Cette partie présente une description synthétique de ces matériel et méthodes.

II.1- Matériel végétal

Les échantillons commerciaux de cossettes d'igname, de farine «Télubo» et de la variété d'igname kokoro 'tout venant' ont été collectés dans divers marchés du Bénin (Bohicon, Cotonou). Les échantillons de pâte «amala» ont été achetés chez des restauratrices de Cotonou. Ces différents échantillons commerciaux ont été utilisés pour l'évaluation des caractéristiques de référence des produits traditionnels et pour la mise au point des méthodes d'analyse.

Le matériel végétal utilisé (Photo 2) pour l'expérimentation proprement dite comprend 9 variétés qui sont présentées dans le tableau 12 ci-dessous. Les conditions de leur traitement et les facteurs de variation sont également indiqués dans ce tableau.

Tableau 12 Matériel végétal et traitements subits

| Facteurs | Variétés utilisées | Conditions de traitement |
|-----------------------------------|--|--|
| Effet «blanchiment – séchage» | <i>Deba, Baniouré, Kagourou, Tama-sam, Porchebim, Yakarango, Gnidou, Terlounto</i> | Blanchiment à 65 °C pendant 20 mn, puis séchage à l'étuve à 40°C pendant 5 jours |
| Effet traitement pré-blanchiment | <i>Deba, Banioure</i> | Exposition à l'air ou sous l'eau pendant 1H, puis blanchiment à 65°C pendant 20 mn |
| Effet traitement post-blanchiment | <i>Deba, Baniouré</i> | Blanchiment à 65°C pendant 20 mn, puis trempage dans l'eau de blanchiment jusqu'à 12 h |
| Effet stockage | <i>Deba,</i> | Stockage pendant 13 semaines |
| Cinétique de blanchiment | <i>Deba, Florido</i> | blanchiment à 60, 65, 70 et 75°C pendant une durée variant de 0 à 50 mn |

A l'exception de *Florido (Dioscorea alata)*, toutes les variétés utilisées appartiennent à l'espèce *Dioscorea rotundata*. Ces différentes variétés ont été obtenues à l'Institut International d'Agriculture Tropicale au Bénin (IITA-Station Bénin). Dans ce cas, les tubercules ont été récoltés en Décembre 1999, 2000 et 2001. Par contre, les deux variétés

(Deba, Florido) utilisées pour l'étude de la cinétique de blanchiment ont été achetées chez les producteurs en Décembre 2002.

Les tubercules ont été stockés dans une salle, sur un plancher à 1 mètre du sol, et, régulièrement prélevés pour les essais expérimentaux. La température et l'humidité relative dans la salle ont été respectivement de 26-29 °C et 55- 80 %, mesures effectuées à l'hygrothermographe (Sigma II, Model NSII-Q, Sato Keiryoki MFG Co, LTD, Japan).

Les protocoles expérimentaux suivis lors des essais sont décrits dans les différents articles (Cf. Chapitres III-1 et III-2)

Globalement, après traitement, cinq types de farines ont servi aux différentes analyses : la farine du tubercule frais lyophilisé, la farine du tubercule précuit lyophilisé, la farine du tubercule précuit et séché, la farine du marché et la farine préparée au laboratoire à partir des cossettes du marché.

II.2- Méthodes

II-2-1 Analyses sensorielles

Deux tests fondamentaux ont été réalisés à ce niveau : le premier, quantitatif, et axé sur le produit, a permis de déterminer le profil de qualité des produits dérivés des cossettes d'igname. Il a donc permis de décrire les attributs de qualité des produits, de les quantifier et de les calibrer sur des échelles de notation. Le second, hédonique, et axé sur le consommateur, a permis de déterminer l'amala idéal.

II-2-2 Analyses biochimiques et physico-chimiques

a) Déterminations biochimiques

Les activités des polyphénoloxydases et des peroxydases et la teneur en phénols totaux ont été respectivement déterminées par la mesure de la vitesse de consommation de l'oxygène dissous en présence du catéchol, la mesure de la cinétique de coloration à 460 nm en utilisant le pyrogallol comme substrat et la mesure de l'absorbance (densité optique) à 760 nm après réaction avec le réactif de Folin.

b) Mesure des paramètres de couleur

La couleur des farines et des pâtes a été mesurée par colorimétrie à réflectance tristimulus en système $L^*a^*b^*$ à l'aide du chromamètre Minolta CR-210 (illuminant D65 CIE 1976). L'indice de brun a été calculé à l'aide de la formule $(100-L^*)$.

**c) Déterminations des teneurs en sucres, acides organiques et composés
phénoliques**

Ces déterminations ont été réalisées par HPLC. Les sucres et les acides organiques ont été extraits à l'acide sulfurique 5 mM. Après centrifugation à 7000 g pendant 5 mn, 20 µL du surnageant ont été filtrés sur une membrane de 0,45 µm, puis injectés dans le système. La phase mobile est constituée de H₂SO₄ 5mM, circulant à un débit de 0,6 mL/mn. La détection est réalisée en UV à 210 nm sur une colonne Polymer H⁺ (Lab Hi-Plex 300 mm x 7,7 mm) pour les acides organiques et au réfractomètre différentiel (IOTA2 KONTRON Instrument) pour les sucres.

Par ailleurs, les composés phénoliques ont été extraits par la solution méthanol/HCl 1,5N (85/15 ; V/V) et purifiés comme précédemment. La phase mobile pour la chromatographie est constituée de deux solvants A (acétonitrile/acide acétique/eau : 3/2,5/95,5) et B (acétonitrile/acide acétique/eau : 95,5/2,5/3) ; celle-ci est pompée suivant un gradient dérivé de celui utilisé par Guyot et al. (1998). La séparation est faite sur une colonne C18 (Altima C₁₈ 5 U, 250 mm x 4,5 mm) à 270 nm (flavanol), à 320 nm (pour les acides cinnamiques) et à 520 nm (pour les anthocyanidines).

Dans les deux cas, l'identification des composés s'appuie sur l'introduction de standards externes.

d) Analyse du comportement thermique

L'enthalpie de gélatinisation, la température au début de la gélatinisation et la teneur en amylose ont été déterminées par calorimétrie différentielle, décrite par Mestres et al. (2000).

e) Analyse du comportement rhéologique

Les paramètres de cuisson (viscosités maximale, finale, au début et à la fin du plateau à 95 °C) ont été déterminés sur des suspensions à 8 % de matière sèche, à l'aide du Rapid Visco Analyser (RVA, Newport Scientific, Narrabeen, Australia). Ces suspensions ont été traitées selon un cycle thermique comportant un chauffage progressif de 35 à 95 °C, à une vitesse de 6°C/mn, puis un chauffage constant à 95 °C pendant 4 mn, suivi d'un refroidissement jusqu'à 50 °C à une vitesse de 6 °C/mn.

f) Détermination du pouvoir de gonflement et de la solubilité

Le pouvoir de gonflement et l'indice de solubilité ont été déterminés suivant la méthode de Mestres et al.(1997) légèrement modifiée : les suspensions analysées sont à 4 % de matière sèche arrêtée à une minute au début du plateau. Ces suspensions ont été traitées selon un cycle thermique comportant un chauffage progressif de 35 à 95 °C, à une vitesse de 6°C/mn, puis un chauffage constant à 95 °C pendant 1 mn.

g) Détermination de la force d'extrusion et de compression

Les forces d'extrusion et de compression ont été évaluées à l'aide du texturomètre Stevens (LFRA-Texture analyser). La mesure de la compression a été réalisée sur un pâton à l'aide d'un mobile circulaire plat de 5 cm de diamètre, descendant à une vitesse de 0,1 mm/s sur une distance de 5 mm après le contact.

La mesure de l'extrusion a été effectuée sur 2 pâtons de 20 g chacun déposés en quinconce dans une cellule en forme de parallélépipède rectangle de 3,5 cm de largeur et 10 cm de profondeur, avec un mobile de section carrée de 3 cm de côté. La vitesse du mobile est de 0,1 mm/s (sur une distance de 45 mm).

La force et la pente maximales au cours de l'extrusion et de la compression ont été déterminées sur les courbes enregistrées.

III- RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Evaluation des attributs de qualité des cossettes d'igname et des produits dérivés

Le procédé traditionnel de fabrication des cossettes d'igname pratiqué en Afrique de l'Ouest, en particulier au Nigeria et au Bénin, s'est développé et se diffuse au cours de ces dernières années, non seulement dans les pays d'origine, mais aussi d'autres pays africains. En effet, sous la forme de cossettes, l'igname se conserve mieux et peut être commercialisée tout au long de l'année, particulièrement sur les marchés urbains ; ce qui se traduit par de faibles variations de prix par rapport à celles notées au niveau des tubercules frais (Bricas et al., 1997).

Toutefois, malgré une certaine « maîtrise » de la technologie par les transformatrices, on note une variation de la qualité des cossettes et des produits dérivés offerts sur les marchés. L'optimisation du procédé de fabrication des cossettes fait donc aujourd'hui l'objet de recherches. Plusieurs problèmes ont été, en effet, identifiés et concernent en particulier la qualité organoleptique (couleur, texture et goût) et sanitaire des cossettes (présence de moisissures, d'insectes et de poussières). Ainsi, une pré-cuisson incomplète des tubercules engendre un noircissement de l'intérieur (pourriture interne) des cossettes séchées (Hounhouigan et Akissoë, 1997), ce qui déprécie leur valeur marchande. De même, certaines variétés d'igname ne semblent pas se prêter à la technologie des cossettes et seul le groupe variétal kokoro est fréquemment utilisé à cet effet (Dansi et al. 1997).

Par ailleurs, des études ont été réalisées depuis une vingtaine d'années (Ige and Akintunde, 1981; Ngoddy and Onuoha, 1983) en vue de la production de farines instantanées stabilisées et de flocons d'igname (poundo yam ; pounded yam flour) permettant de reconstituer une pâte similaire à l'igname pilée. Mais, ces produits ont été peu appréciés par les consommateurs, probablement à cause des qualités organoleptiques des produits dérivés qui se révèlent quelque peu différentes de celles du produit traditionnel.

Dans ce contexte, la connaissance des critères de qualité des cossettes d'igname et des produits dérivés (farine, amala) et le développement d'outils pour leur évaluation et leur contrôle sont nécessaires. En conséquence, différents travaux ont été entrepris pour évaluer les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des cossettes et des deux produits

dérivés cités plus haut par des méthodes instrumentales en vue de déterminer les caractéristiques physico-chimiques de la qualité desdits produits.

Dans une première étape, des échantillons de cossettes, de farine et de pâte « amala » ont été achetés sur différents marchés et dans diverses gargotes au Bénin afin d'évaluer les caractéristiques de référence des produits traditionnels. Ainsi, la résistance des cossettes aux dommages mécaniques a été déterminée par la mesure de la force de déformation, la taille des cossettes a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse et le degré de gélatinisation a été évalué par examen microscopique. La couleur des produits a été à la fois appréciée par un panel et mesurée au colorimètre Minolta.

Dans une deuxième étape, d'autres échantillons (cossettes, farine et amala) ont été préparés au laboratoire selon les variantes technologiques existantes pour disposer d'une gamme variée de produits. Les pâtes « amala » achetées ou préparées à partir des farines de cossettes produites ont été soumises à une analyse sensorielle et concomitamment aux mesures instrumentales de texture et de couleur et aux analyses physico-chimiques.

Au terme des travaux, différents résultats ont été obtenus. La taille des tubercules utilisés pour la production des cossettes d'igname varie considérablement de 10 à 500g en poids et de 4 à 27 cm en longueur ; ce qui indique la grande variabilité de la taille des tubercules transformés. Il a été noté qu'au cours de la transformation traditionnelle, une partie de l'amidon est gélatinisée (35,9 %) ; ce qui révèle que la température de précuisson utilisée est voisine de la température de gélatinisation de l'amidon d'igname. En effet, au cours des études préliminaires de diagnostic du système traditionnel de production des cossettes, des températures de précuisson variant entre 58 et 73 °C avaient été enregistrées (Hounhouigan et Akissoe, 1997). En conséquence, le contrôle de la température au cours de la précuisson est nécessaire afin d'éviter une cuisson complète du tubercule. Par ailleurs, une charge moyenne de 680 kg a été nécessaire pour la cassure d'une cossette ; ceci laisse penser à un changement notable de la structure de l'amidon au cours de la transformation.

Les farines issues des cossettes sont composées de particules de granulométrie médiane égale à 85 µm. Leur composition chimique est similaire à celle des cossettes, à l'exception du taux de fibres brutes qui reste très faible au niveau des farines.

Les caractères sucré, amer, acide, et neutre (fade) sont les caractéristiques gustatives tandis que le brun, le marron, le brun-noir et le blanchâtre sont les caractéristiques de couleur identifiées par les consommateurs au niveau de l'amala. Les attributs de texture de l'amala reconnus par les consommateurs comprennent le caractère lisse et lourd, le caractère élastique et collant, le caractère ferme et humide et l'absence de grumeaux.

L'indice de brun a augmenté au cours de la cuisson de la farine en pâte « amala » passant de 21 à 54. La couleur et le goût de l'amala ont été significativement corrélés avec les caractéristiques biochimiques de la farine. La couleur, en particulier l'indice de brun de la pâte, est positivement et significativement corrélée avec la teneur en phénols totaux de la farine. La teneur en glucose et fructose de la farine est le déterminant de la saveur sucrée de l'amala tandis que le goût légèrement acide et fermenté de la pâte apparaît lié à la teneur en acide lactique de la farine. L'amertume du produit est liée à la concentration en composés phénoliques de la farine.

Par ailleurs, les attributs de texture de l'amala sont significativement corrélés entre eux permettant ainsi leur regroupement en deux grands caractères : le collant et la fermeté, tous deux pouvant être bien prédits par les tests de compression et d'extrusion. Le pouvoir de gonflement et l'indice de solubilité de la farine sont les déterminants du caractère collant et de l'élasticité de l'amala.

Tous les résultats ainsi obtenus sur les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des cossettes d'igname et des deux principaux produits dérivés étudiés ont été analysés et exploités pour donner lieu à trois articles scientifiques. Le premier article décrit les caractéristiques générales des cossettes et des produits dérivés. Le second évalue le goût et la couleur des farines et de l'amala ainsi que leurs déterminants. Le troisième étudie la texture de l'amala et les paramètres appropriés pour l'évaluer. Ces travaux ont ainsi permis de développer des outils d'analyse pour l'étude du procédé de fabrication des cossettes et des produits dérivés et la caractérisation de ces aliments.

Article 1

Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam (*Dioscorea rotundata*) tubers, flour and 'amala' a flour derived product

Auteurs : N Akissoé, DJ Hounhouigan, N Bricas, P Vernier, CM Nago and OA Olorunda

Publié en 2001 dans "Tropical Science", 41, 151-155

Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam
(*Dioscorea rotundata*) tubers, flour and 'amala' a flour derived
product

HN Akissoé¹, DJ Hounhouigan^{1}, N Bricas², P Vernier³, CM Nago¹ and OA Olorunda⁴*

¹Faculté des Sciences Agronomiques, Université Nationale du Bénin, 01 BP 526 Cotonou-Bénin.

²Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier, France.

³CIRAD-IITA Yam research Co-ordination Unit, Cotonou, Bénin.

⁴Department of Food Technology, University of Ibadan, Nigéria

*To whom correspondence should be addressed (hounjos@syfed.bj.refer.org)

Abstract *Samples of dried yam and yam flour obtained from local markets were analysed. Market yam flour and dried tubers had similar proximate composition except that the crude fibre content of the flour was lower. The ratio of load of rupture of dried yam tubers was 180-1630 kg/kg indicating the resistance of the product to crushing. The yam flour was very fine. There was a significant difference in colour between yam flour and amala, a paste made from it. Amala is a whitish to dark brown, elastic, soft, non sticky, faintly bitter and faintly sweet paste.*

Key words: dried yam tuber, flour, *amala*, characteristics, Benin.

Introduction

Yams (*Dioscorea* spp) are an important food crop in many tropical countries, and in Benin they are the third staple food, with about 1.3 million tonnes produced yearly (FAO 1996). In Benin, the three main species grown are *D. rotundata*, *D. alata* and *D. cayenensis*, with about 90 cultivars (Dansi *et al.* 1997). With the high moisture content, yams are subject to physiological deterioration after harvesting, and due to the lack of appropriate methods of storage at farmers' level, there are serious losses, perhaps up to 40-50 % in 6 months storage (Adesuyi 1971). However, drying gives a stable, less perishable product. Pieces from the head and end of tuber used to be produced at household level, but drying of tuber is now commercially in both urban and rural areas. In Benin, processors use mainly a local cultivar of *D. rotundata*, named kokoro, which produces 5 to 7 small tubers per mound (Vernier and Dumont 1998) and grows on cropped lands, whereas many cultivars need more fertile soils. In Benin and western states of Nigeria, the dry yam tubers are milled and the flour is mixed with four parts of boiling water to give a paste named amala. Preliminary observations showed that tubers are generally peeled, parboiled in water at 63 ± 3 °C and sun-dried for 5 to 7 days. This

activity is done in the dry season (December to March) when the average relative humidity is less than 50 %. The end product is a hard, dried tuber, which is marketable throughout the year, although it is affected by insect infestation, colour and size.

The dried tubers are processed into flour by crushing in a traditional mortar or in a hammer crusher followed by milling once or twice in a disc attrition mill. There has been much interest in 'instant' reconstituting yam flake or powder which can be produced on a factory scale (Coursey and Ferber 1979; Steele and Sammy 1976), and some data are available on physico-chemical composition of yam flour and dry yam pieces (Ige and Akintunde 1981; Kamenan *et al.* 1987; Okaka *et al.* 1991). However, little is known of quality attributes of yam flour products, especially those of Benin.

Materials and methods

Thirty samples of yam flour, 197 parboiled and sun-dried yam tubers and 25 samples of *amala* were purchased from different markets in the southern and Central regions of Benin. The size of dried tuber was measured using Vernier caliper. Particle size of flour was determined using an Endecotts Octagon 200 shaker with standard sieves of increasing apertures - 45, 80, 160, 250, and 355 μm . Particle size index was calculated as the cumulative percentage of particles passing through any sieve. The load of rupture and force-deformation was obtained for 22 tubers using a AP170A Hoskin Marshall compression machine, using a method derived from that used for tomatoes by Olorunda and Tung (1985).

The extent of starch gelatinization in the tubers during parboiling was determined by microscopic examination. A drop of distilled water was added to a pinch of flour placed on the glass surface. The microscope used was a Carl Zeiss Jena with a P10x18 ocular. All the starch granules on the field view by refringency were counted. Then, a blue filter was put in and rotated until the disappearance of the light. Starch granules birefringenced on the field

view were counted. The gelatinized starch granules was recorded as percentage of granules damaged, measured by complete loss of birefringence. Colour of flour and *amala* was measured on Minolta CR-210 chromameter as described by Hounhouigan *et al.* (1993). pH and titratable acidity of flour were determined as described by Nout *et al.* (1989). Solubility index and swelling power were determined by the method of Leach *et al.* (1959), the concentration of solubilised material according to Mestres *et al.* (1997) and the bulk density according to Okaka *et al.* (1991).

Pasting properties were determined using a Rapid Visco Analyser on an 8% suspension heated from 35 to 95°C at the rate of 6 °C/min, maintained at 95°C for 8 min, and then cooled to 50 °C at the same rate. Duplicate determinations were done on nine samples of market flour. Protein, fat, ash and moisture content were determined using AOAC (1984) methods. Crude fibre was determined as described by Osborne and Voogt (1978). Total carbohydrates were determined with a Zeiss 93665 polarimeter. Reducing sugars were determined using the Luff Schoorl method (Lees, 1968). Seventy *amala* consumers were asked to identify on a questionnaire the dominant quality attributes (colour, texture, taste, odour) of Beninese *amala*.

RESULTS AND DISCUSSION

The physical characteristics of kokoro dried yam tubers (Table 1) showed wide variability, indicating that the material sold in the market is heterogeneous. According to Vernier and Dumont (1998) fresh kokoro tubers can reach 1.5kg, but ours were smaller. The mean load of rupture of the dried tubers was about 680 kg, indicating that the product is resistant to crushing during transportation. Traditional hand crushing of dried tubers using a mortar is arduous, while the mechanical crushing used nowadays in urban area requires a high power motor, before the fine milling using a disc attrition mill. The protein, fat, ash and carbohydrate

Our yam flour samples were very fine, with 98 % passing through 355 μm . The median particle size (the estimated sieve through which 50% of particles would pass) was about 85 μm . Okaka *et al.* (1991) reported a median particle size of 75 μm for Nigerian yam flour. Compared to Beninese maize flour with about 200 μm (Nago *et al.* 1997), our yam flour was very fine. The flour was faintly acid with pH of 5.5 - 6.2, in agreement with the 5.90 - 6.13 reported by Kamenan *et al.* (1987). The average bulk density was 0.73 kg/l, slightly higher than the value of 0.65kg/l reported by Okaka *et al.*(1991). The pasting temperature was about 80°C, whereas Ngoddy and Onuoha (1983) reported that raw yam flour had a pasting temperature of 72- 80 °C. The colour becomes darker during cooking and *amala* varies from whitish to dark brown with drastic changes in the colour parameters (Table 4). Most Beninese consumers considered that *amala* should be elastic (95%), soft (58%) and non sticky (78%). Of the panel, 39% thought *amala* should be faintly sweet, 45% faintly bitter and 16% tasteless; no one considered that it should be sweet, bitter, sour or faintly sour. Views on colour also varied: 25% favoured whitish, 33% brownish, 32% dark brown and 11%, any colour.

Table 3. Physico-chemical properties of yam flour

| Parameters | Range | Mean \pm sd |
|--|------------|----------------|
| Median particle size (μm) | 70 – 100 | 85 |
| Swelling power at 60°C (%) | 4,7 – 10,3 | 7,3 \pm 2,0 |
| Solubility index at 60° C (%) | 8,7 – 13,6 | 10,9 \pm 1,6 |
| pH | 5.5 - 6.2 | 5.9 \pm 0.2 |
| Titrateable acidity (ml 0.1N NaOH/g) | 0.7 - 1.0 | 0.8 \pm 0.1 |
| Reducing sugar (% glucose) | 0.7-1.0 | 0.9 \pm 0.1 |

| | | |
|--|-------------|--------------|
| Ratio of gelatinised starch (% starch granules) | 8.0-45.0 | 35.9 ± 13.8 |
| Pasting temperature (°C) | 79.2-81.5 | 80.3 ± 1.1 |
| Peak viscosity (RVU) | 98.42-126.3 | 109.2 ± 10.5 |
| Viscosity after cooling to 50°C (V50) | 88.2-150.8 | 117.7 ± 22.9 |
| Viscosity at the beginning of the plateau (V95b) | 42.5-93.3 | 65.9 ± 19.0 |
| Viscosity at the end of the plateau (V95e) | 86.7-113.7 | 96.4 ± 8.8 |

Table 4. Colour parameters

| | L* | a* | b* | ΔE |
|--------------|------------|-----------|------------|------------|
| Flour tubers | 79,0 ± 0,2 | 2,0 ± 0,4 | 11,1 ± 0,4 | 25,1 ± 1,3 |
| Amala | 46,1 ± 3,0 | 4,3 ± 0,6 | 6,6 ± 1,4 | 55,4 ± 2,9 |

Acknowledgements

We thank French Ministry of Foreign Affairs and the European Union for financial support

References

- AOAC (1984) Approved methods of AACC, 8th Edn. St Paul, MN : American Association of Cereal Chemists.
- Adesuyi SA (1971) Curing technique for reducing the incidence of rot in yams. Technical Report 9. Nigerian Stored Product Research Institute.
- Coursey DG and Ferber CEM (1979) The processing of yams. In: Small-scale processing and storage of tropical root crops (Plucknett DL, ed.), pp. 189-211. Boulder, CO : Westview Press.
- Dansi A, Zoundjihékpou J, Mignouna HD and Quin M (1997) Collecte des ignames cultivées du complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata* au Bénin. Plant Genetic Resources Newsletters 112, 81-5.
- FAO (1996) Production year book. Rome : FAO.

- Hounhouigan DJ, Nout MJR, Nago CM, Houben JH and Rombouts FM (1993) Composition and microbiological and physical attributes of mawè, a fermented maize dough from Benin. *International Journal of Food Science and Technology* 28, 513-17.
- Ige M and Akintunde F (1981) Studies on the local techniques of yam flour production. *Journal of food technology* 16, 303-11
- Kamenan A, Beuchat LR, Chinnan MS and Heaton EK (1987) Composition and physico-chemical properties of yam (*Dioscorea species*) flour prepared using different processes. *Journal of Food Processing and Preservation* 11, 299-308
- Leach HW, McCowen LD and Schoch TJ (1959) Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry* 36, 534-44.
- Lees R (1961) *Laboratory handbook of methods of food analysis.* London: Leonard Hills, pp.150-75
- Mestres C, Nago MC, Akissoe HN and Matencio F (1997) End use quality of some african corn kernels. 2. Cooking behaviour of whole dry-milled maize flour, incidence of storage. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 45, 565-71.
- Nago MC, Akissoe HN, Matencio F and Mestres C (1997) End use quality of some african corn kernels. 1. Physico-chemical characteristics of kernels and their relationship with the quality of lifin. a traditional whole dry-milled maize flour from Benin. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 45, 555-64.
- Ngoddy PO and Onuoha CC (1983) Selected problems in yam processing. Symposium on yam biochemistry, Anambra State, University of technology, Enugu.
- Nout MJR, Rombouts FM and Havelaar A (1989) Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganisms. *International Journal of Food Microbiology* 8, 351-61.
- Okaka JC, Okorie PA and Ozo ON (1991) Quality evaluation of sun-dried yam chips. *Tropical Science* 30, 265-75.
- Olorunda AO and Tung MA (1985) Simulated transit studies on tomatoes; effects of

compressive load, container, vibration and maturity on mechanical damage. *Journal of Food Technology* 20, 669-78.

Osborne DR and Voogt P (1978) *The analysis of nutrients in food*. London: Academic Press 151-3

Steele WJC and Sammy GM (1976) The processing potentials of yams (*Dioscorea spp.*) II. Pricked drum dried flakes-instant yams. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 60, 215-23.

Vernier P and Dumont R (1998) Production and utilisation of yam chips in Bénin. Current situation and outlook. In: *Proceedings 6th Symposium of the ISTRC-AB, Lilongwe Malawi* (Akoroda MO and Ekanayake IJ, eds) pp. 418-23 Ibadan, Nigeria: ISTRC-AB, IITA.

Article 2

Prediction of sensorial properties (colour and taste) of amala, a
paste from yam chips flour of West Africa, through flour
biochemical properties

Auteurs : Christian Mestres; Sandrine Dorthe; Noël Akissoé and Joseph D. Hounhouigan

Accepté pour publication dans «Plant Food for Human Nutrition»

Prediction of sensorial properties (colour and taste) of amala, a
paste from yam chips flour of West Africa, through flour
biochemical properties

Christian Mestres^{a, c}; Sandrine Dorthé^a; Noël Akissoé^b and Joseph D. Hounhouigan^b

^aCIRAD-CERNA/UNB, 01 BP 526 Cotonou, BENIN,

^bCERNA/UNB, 01 BP 526 Cotonou, BENIN

Accepté pour publication dans « Journal of Food and Human Nutrition »

^c To whom correspondence should be addressed: 01 BP 5667, Cotonou (Bénin), tel: (229) 94 00 95, fax : (229) 36 01 22, Email: christian.mestres@cirad.fr

contents of market flour and dried tubers (Table 2) were very similar but the flour had a lower crude fibre content, probably due to sieving after milling. The average starch gelatinization was 35.9 % (Table 3), which shows that during parboiling, some granules reached gelatinization temperature. This explains the ease of cooking of the flour during the preparation of *amala*. Yam processors considered parboiling necessary to increase the rate of drying, but overcooking leads to the formation of a crust on the surface which reduces the rate of drying. Ige and Akintunde (1981) reported that the pieces which were overcooked during parboiling were discarded.

Table 1. Physical characteristics of dried yam tubers

| Physical characteristics of dried yam tubers | Range | Mean \pm sd |
|--|------------|-----------------|
| Weight (g) | 10.5-526.5 | 107 \pm 83 |
| Length (cm) | 4.4-27.3 | 12.2 \pm 4.7 |
| Diameter (cm) | 1.5-11.9 | 4.5 \pm 1.8 |
| Force-deformation (kg/cm ²) | 3.1-45.0 | 20,9 \pm 10,7 |
| Ratio of load of rupture (kg/kg) | 180- 1630 | 680 \pm 390 |

Table 2. Proximate composition of dried yam tuber and flour (% Dry basis)

| | Dried yam tuber | Yam flour |
|--------------------------|-----------------|----------------|
| Carbohydrates | 87.8 \pm 0.5 | 88.9 \pm 0.3 |
| Protein | 4.8 \pm 0.7 | 4.7 \pm 0.4 |
| Fat | 0.5 \pm 0.1 | 0.5 \pm 0.2 |
| Ash | 2.3 \pm 0.4 | 2.2 \pm 0.3 |
| Crude fibre | 4.3 \pm 0.2 | 3.5 \pm 0.4 |
| Moisture (% , wet basis) | 15.8 \pm 0.7 | 14.7 \pm 0.5 |

the kokoro group, are generally used for this process [4]. They are thought to give the best amala, the paste obtained from dry yam flour. However, a recent study showed that dried Florido (*D. alata*) tubers can give an amala as appreciated as the one produced from kokoro tubers [5]. The market of this product has increased considerably in the recent 30 years in such a way that amala is more frequently consumed in urban areas of Nigeria and Benin (Cotonou in particular) than the very traditional pounded yam [6]. Indeed, amala is much more easy to prepare in urban way of life: the flour obtained after crushing and milling yam chips is just boiled in water to get a coloured gel-like paste. Apart from its texture that most of consumers like it elastic and non-sticky [3], the commercial amala has faintly sweet and bitter taste. In addition, amala darkens during cooking and its final colour varies from whitish to dark brown. The colour is thus a major attribute of amala and largely affects its acceptability by consumers [4]. The majority of consumers prefers brownish (milk chocolate colour) amala whereas a dark brown colour is thought to be linked to bad drying conditions [5].

The discoloration of fresh yams is clearly linked to polyphenol content of tubers [7, 8] and in particular to the presence of cyanidin glycosides [9, 10], catechin and procyanidin oligomers [11]. In addition, bitterness of *D. rotundata* and *D. alata* species seemed also linked to polyphenolic compounds [12] and particularly to pro-anthocyanins [13]. Several studies have been published on the role of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase on the browning phenomenon of fresh yam after wounding or cutting [14, 15, 16]. However, very little is known about the browning phenomenon of dried yam and amala even if an enzymatic phenomenon could be involved [17, 4].

This paper deals with the sensory (colour and taste) assessment of amala and the study of the biochemical origin of these quality attributes. In addition, the role of the enzymatic machinery on amala browning phenomenon will be investigated.

Experimental

Yams

Healthy yam tubers of *D. rotundata* cvs. Yakarango, Omoya, Gnidou and of *D. alata* cv. Florido were obtained from the International Institute of Tropical Agriculture, Cotonou, Benin. Yam tubers were harvested in the beginning of the main dry season (November-December) of 1999. They were then stored at 15°C until use. The maximum storage duration was of 6 months and no germination nor apparent mould development occurred in this condition.

In addition, one sprouted yam tuber sample (*D. rotundata* kokoro type cultivar) was bought at Cotonou's market.

Dried yam flours and amala preparation

General procedure for preparing dried yam flours was the following: fresh tubers were hand peeled and rapidly placed in an aluminium pot containing cold water. The pot was heated from ambient temperature to 63°C ± 2°C (about 25 min were necessary to get the desired temperature) and heating was stopped; yam tubers were let overnight in the heated water. They were then dried in an oven at 45°C ± 5°C for 3-5 days, crushed in a traditional mortar and finally ground into flour by passing through a centrifuge mill (Roetsch, Haan, Germany) with 250 µm outlet sieve. Variations in the procedure were used to get a large range in dried yam flour quality:

- three levels of peeling were used: no peeling, fair peeling (only the skin was removed) standard peeling (5 mm thick removed),
- use or no use of leaves of *Tectona grandis* in the steeping bath,
- use or no use of ogi (a fermented maize slurry) liquor during steeping (one third of total volume),
- steeping at 30°C (ambient temperature) or pre-cooking at 57°C, 63 or 75°C,

- use of sprouted or not sprouted tubers.

Twenty-two yam chips samples were thus processed at the laboratory level and one insect attacked sample was bought at Cotonou's market. Each cultivar was at least treated with 3 similar procedures thus allowing a two-way analysis of variance on these samples. In addition, two tubers of each cultivar were peeled crushed and freeze dried.

For preparing amala, 30 g of dried yam flour was dispersed in water (100 mL) at ambient temperature then poured into 140 mL boiling water. The mixture was let to boil again for 45 sec then 30 g of yam flour was added and the mixture vigorously stirred without heating until getting an homogeneous paste. The paste was then heated for 2 min and finally stored in empty plastic icebox for a maximum of 30 min.

Sensorial analysis

Assessor training and descriptor selection were carried out according to Rousset et al. [18, 19]. Nineteen subjects were first trained during 14 sessions for flavour description by tasting the following references: salty (NaCl), sweet (sucrose), acid (citric acid), bitter (caffeine) and astringent ($KAl(SO_4)_2$) solutions, by smelling food products (milk, bread, wheat flour, rice). Subjects also tasted 6 amala, *a priori* chosen for having various flavours, and freely listed descriptive attributes. From the 25 listed attributes, 5 were selected by consensus being representative and sufficient to describe amala: sweet, bitter, astringent, fermented and roasted. The subjects were then trained to quantify these attributes on a semi-structured scale (0 to 5) by tasting 3 amala with 3 replications. At the end of training, 17 assessors were selected among whom 15 came regularly. The 20 remaining amala were finally assessed without replications under daylight, 3 to 4 at each session.

An hedonic test was also performed to know the trend for the ideal amala ([20]). For this, 35 naive subjects tested 7 amala *a priori* selected as the best ones. Each attribute of each amala was rated on a structured scale from -50 to +50 (much less or much more intense than I

cannot eat it, respectively) passing by 0 (ideal) and a global appreciation was given of each amala from 0 to 20.

Physico-chemical analyses

Colour of flour and amala was measured with Minolta CR-210 chromameter as described by Hounhouigan et al. [21].

Dry matter was determined after heating at 130°C for two hours. Soluble sugar and organic acid contents were determined by HPLC using an HPX87H column (Biorad, Hercules, USA) eluted at 60°C with 5mM sulphuric acid with refractometric and UV 210 nm detectors [22].

Total phenols and proanthocyanin compounds were assayed by a procedure derived from that of Swain and Hillis [23]. Total phenols were extracted from 350 mg yam flour with 1 mL Methanol/Water (85/15 v/v) for 1 hour at ambient temperature. After centrifugation at 7,000 g for 5 min, 100 µL of the supernatant was diluted with 6.9 mL water and 1 mL of Folin-Ciocalteu reagent (F9252, Sigma) was added. After 6 min, 2 mL of Na₂CO₃ 20 % (p/v) was added and the mixture placed in dark for 1 hour before reading the optical density at 760 nm.

Phenol content was then calculated by comparison with gallic acid standard solutions.

Proanthocyanins were extracted from 700 mg of yam flour with 3 mL Methanol/Hydrochloric acid solution (1.5 N) (85/15, v/v) for 90 min at ambient temperature. After centrifugation at

7,000 g for 5 min, the supernatant was diluted twice with water and 1 mL of the diluted extract was placed in each of two test tubes. 10 mL of n-butanol/concentrated hydrochloric acid (95/5 v/v) was added in each tube. One tube was then placed in a boiling water bath for 40 min then cooled under running water for five min whereas the other was placed in dark at ambient temperature. Optical density was then measured at 550 nm with the non-heated tube as blank. Proanthocyanin content was then calculated assuming a molar coefficient extinction of cyanidin of 47,000 cm⁻¹ M⁻¹.

Polyphenol oxidase (PPO) activity was determined with a procedure derived from that of

Abstract: Colour and taste are permanent features of amala, a traditional thick paste obtained from yam chips flour. In order to assess these attributes, twenty-three yam chips presenting various quality attributes were processed. The sensory attributes of their derived amala were determined and some biochemical characteristics of yam flours measured. A panel defined five main taste attributes for amala: sweetness, bitterness, acidity, fermented and roasted tastes. Amala colour that was measured instrumentally and sensory scores were highly correlated with flour biochemical analyses; amala sweetness was positively correlated with glucose and fructose content of the flour, whereas amala acidity and fermented taste were linked to organic acids and lactic acid contents of flour, respectively. In addition, darkness, bitterness and roasted tastes of amala could be tightly predicted by multiple regression analysis from phenolic compound and glucose-fructose contents. Phenolic content of yam flour plays thus a key role on sensorial quality of amala. However, polyphenol oxidase and peroxidase activities were almost null in yam flours and their specific role on yam flour phenolic content needs to be clarified.

Key words: *Yam, Dioscorea spp., flour, sensorial analysis, biochemical composition.*

Introduction

Yam tubers like other root and tuber crops are subject to physiological deterioration after harvest leading to fresh weight losses up to 60 % after 9 months storage [1], up to 70 % rotted tubers after 5 months and to 60-70 % losses of consumable dry matter after 10 months [2]. Drying can improve shelf life of watery tubers and a unique process has been developed for yam in Nigeria and Benin that includes hand peeling, blanching in water at $63 \pm 3^\circ\text{C}$ and sun drying for 5 to 7 days [3]. Tubers from *Dioscorea rotundata* cultivars, and particularly from

Table 1. Physical and biochemical characteristics of the yam flours

| | 100-L* | a* | b* | Metabolites (mg g ⁻¹ db) | | | Phenolic compounds (μM g ⁻¹ db) | | Polyphenol oxidase (μM O ₂ min ⁻¹ g ⁻¹ db) |
|---------------------------------|--------|-----|------|-------------------------------------|---------|---------|--|------------------|--|
| | | | | Glucose and Fructose | Citrate | Lactate | Phenols | Pro-anthocyanins | |
| Mean value ¹ | 19.8 | 1.7 | 10.1 | 24.4 | 6.1 | 1.8 | 1.2 | 0.07 | 1.3 |
| Standard deviation ¹ | 3.6 | 0.7 | 1.7 | 14.2 | 5.1 | 2.0 | 0.6 | 0.08 | 1.7 |
| Yakarango ² | 18.7 | 2.4 | 9.3 | 24.5 | 8.2 | 2.7 | 0.9 | 0.07 | 0.3 |
| Omoya ² | 19.6 | 1.8 | 12.2 | 7.4 | 6.8 | 2.8 | 1.4 | 0.04 | ND ⁴ |
| Gnidou ² | 20.9 | 1.6 | 9.8 | 24.3 | 3.5 | 1.5 | 1.3 | 0.09 | 2.3 |
| Florido ² | 18.6 | 2.1 | 9.1 | 47.7 | 5.6 | 2.2 | 1.8 | 0.22 | 3.2 |
| LSD ³ | 6.3 | 1.2 | 3.2 | 12.1 | 6.8 | 4.3 | 1.2 | 0.2 | 3.0 |

¹ 23 samples

² mean values for three treatments

³ Least Significant Difference ($P=0.05$) between cultivars

⁴ Not Detected

dimers B1 and B2, in fresh yams whose content was more important in *D alata* cultivars. The activity of polyphenol oxidase (PPO) was low (around $3 \mu\text{M O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ db}$ for ambient temperature steeped samples) or even null (for samples pre-cooked at 75°C) in yam flours. PPO activity was 10 to $50 \mu\text{M O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ (db)}$ for freeze dried fresh yams which corresponded to 250 to $1250 \mu\text{M O}_2 \text{ min}^{-1}$ per 100 g fresh yam and was of the same order than the values ($50\text{-}1,000 \mu\text{M O}_2 \text{ min}^{-1}$ per 100 g fresh *D alata* or *D rotundata* yams) obtained by Ozo and Caygill [29]. No residual peroxidase activity could be detected in yam flours whereas it ranged between 60 to 600 units/g (db) for freeze dried fresh yams. By comparison, Ikediobi et al. [15] reported a peroxidase activity close to 1,000 units/g fresh tissue in *D rotundata* yam. The lack of activity for high temperature (75°C) pre-cooked yam flours was in accordance with the results of Ikediobi and Obasuyi [30] who observed that purified yam PPO activity dropped sharply after few minutes beyond 60°C . In the case of flours obtained from yams steeped at 30°C before drying, the lack of PPO activity should indicate that an inactivation also proceed during drying at 45°C . Accordingly, Omidiji and Okzupor [16] observed a total inactivation of PPO for yam slices stored at or above 40°C for several hours.

Sensorial analysis and colour characteristics of amala

For each attribute, the sensory score range was large covering the whole scale for sweetness, bitterness and acidity (Table 2). Colour parameters of amala were in the range observed for commercial products [3] but with greater variability. This was expected as the processing conditions used in this study were designed to enhance sensorial and appearance differences between samples. The cultivar significantly influenced the red index (a^*), Yakarango giving the reddest amala. Proceeding conditions also influenced significantly amala colour: samples prepared with

Table 2. Colour and sensory results of amala

| | 100-L* | a* | b* | Sweetness | Bitterness | Acidity | Fermented taste | Roasted taste |
|---------------------------------|--------|-----|-----|-----------|------------|---------|-----------------|---------------|
| Mean value ¹ | 53.2 | 3.8 | 7.9 | 2.0 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.1 |
| Standard deviation ¹ | 4.8 | 1.2 | 2.2 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 0.9 | 1.0 |
| Yakarango ² | 51.1 | 5.4 | 9.4 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 0.6 |
| Omoya ² | 55.7 | 4.4 | 9.5 | 0.9 | 2.8 | 1.8 | 1.7 | 2.1 |
| Gnidou ² | 53.9 | 3.5 | 7.0 | 2.0 | 1.8 | 1.1 | 1.3 | 1.3 |
| Florido ² | 52.6 | 3.9 | 6.3 | 3.2 | 0.7 | 1.6 | 1.8 | 0.8 |
| LSD ³ | 7.9 | 1.0 | 3.0 | 1.3 | 2.0 | 1.1 | 0.9 | 1.7 |
| Ideal amala | 58.9 | 4.4 | 7.8 | 0.7 | 3.4 | 2.2 | 2.0 | 1.8 |

¹ 23 samples

² mean values for three treatments

³ Least Significant Difference ($P=0.05$) between cultivars

Adamson and Abigor [14]. Catechol was dissolved in 0.2 M pH 6.8 phosphate buffer to obtain a 125 mM catechol stock solution; this concentration was checked to be at least five times higher than the measured K_m of yam PPO. 50 mL of catechol stock solution was vigorously shaken just before use then equilibrated at 37°C for 3 minutes. It was then poured in a double wall beaker conditioned at 37°C with circulated water. The probe (CellOx325) of an WTW oxymeter (Weilheim, Germany) was immersed in the solution that was continuously stirred by a magnetic stirrer. 1 g of yam flour was rapidly poured into the solution and the evolution of the oxygen concentration in the dispersion was registered for 3 min. The maximum slope of the curve was determined. The chemical oxygen consumption rate obtained without addition of any sample was then subtracted and the PPO activity calculated in $\mu\text{M O}_2$ consumed per min and g (db).

Peroxidase activity was determined with a procedure adapted from that of Ikediobi et al. [15]. Peroxidase was extracted from 50 mg of yam flour with 1 mL of 0.2 M pH 7.0 phosphate buffer for 15 min at ambient temperature followed by centrifugation at 7,000 g for 5 min. The substrate was prepared just before use by mixing 0.5 mL of 1 % (p/v) aqueous pyrogallol with 6 mL of 0.3 % (v/v) aqueous H_2O_2 ; substrate concentrations were calculated to be 3 and 10 times higher than their respective affinity (K_m) for yam peroxidase. An inhibition by the substrate was observed for pyrogallol at a concentration higher than $3 \times K_m$. The reaction was run in 10 mm glass cuvette containing 0.1 mL of peroxidase extract and 2.9 mL of substrate; the blank was obtained by replacing the peroxidase extract by pure pH 7.0 buffer. The maximum increase in absorbance at 460 nm was determined; one unit of peroxidase activity was defined as an increase in absorbance of 0.001 min^{-1} .

Results and discussion

Chemical characterisation of yam flour

Mean values of colour parameters of laboratory prepared yam flours (Table 1) were similar to

those measured for market flours in Cotonou (Benin) whose mean brown index (100-L*) was about 21 [3]. No significant difference between cultivars was observed for the dried flour colour parameters. The main soluble sugar in yam flours was glucose with minor amounts of fructose: both were assayed as a whole as they were not completely separated in the used chromatographic conditions. Mean value of glucose and fructose content was twice higher than reducing sugar content of market yam flour [3]. Citric acid was the main organic acid followed by lactic acid (Table 1). The latter evidenced that a lactic fermentation occurred during steeping overnight and/or drying as already observed by Achi and Akubor [24]. Total organic acid content of laboratory prepared yam flours was similar to the calculated one (from the titratable acidity) of market yam flours [3]. Oxalate level was low (between 0 and 1.3 mg/g db). It was much lower than the value measured on fresh *D alata* yams (close to 4 mg/g db; [25]); this may be due to the procedure used to prepare yam flours as oxalate can be solubilized during parboiling [26]. Florido flours had significantly higher sugar content and Omoya the lowest one whereas no significant differences between cultivars were observed for organic acid content.

Total phenol content appeared relatively low but was in the range measured on fresh yams: from 0.2 [7] to 30 $\mu\text{M/g}$ (db) for *D. rotundata* and *D. alata* species [27, 28]. No significant difference was evidenced between the four cultivars. Proanthocyanin content was low representing roughly 10 % of total phenol content but seemed higher in the Florido cultivar (*D alata* specie). Indeed, Ozo et al.[11] identified catechin and procyanidin polymers, particularly

addition of ogi liquor during blanching gave clearest but more coloured amala (with higher a^* and b^* indexes). Florido gave the significantly sweetest amala whereas Omoya gave the least one. As expected, the use of fermented ogi liquor during blanching significantly increased acidity and fermented score of the amala. Indeed, ogi liquor which can be used traditionally for parboiling yams, is the liquid surrounding fermenting maize mash and has an average pH of 3.4 and a titratable acidity of 13.8 mg lactic acid g^{-1} , db [31].

Fermented and acid tastes were highly correlated ($R = 0.94$) as were bitter and roasted tastes ($R = 0.81$). Bitterness was negatively correlated with sweetness ($R = -0.68$) as expected as these two tastes are in competition for their perception. In addition, the brown index ($100-L^*$) was highly correlated with roasted and bitter tastes, with R of 0.83 and 0.74 respectively, indicating that the darker the amala the bitter and roasted taste it has.

Among the seven amala tested by the hedonic method, one had hedonic scores close to 0 for the five sensorial attributes (O sample on Figure 1) and a global note of 16.6 over 20. It can thus be considered as the ideal amala. This was a quite dark and reddish amala, moderately bitter but very slightly sugary and slightly acidic, fermented and roasted (Table 2). It should be noticed that the ideal product was obtained from a kokoro type yam with the standard procedure (intense peeling and parboiling at $65^{\circ}C$) but for yam chips stored for several months. The variation between the seven tested amala (Figure 1) was mainly due to three attributes (colour, bitterness and roasted taste) that were all inter-correlated as shown above. The colour hedonic score was in particular highly correlated with measured brown index ($r = 0.82$) but not with red and yellow indexes ($r = 0.16$ and 0.05 , respectively). This should mean that consumers were mainly influenced by the darkness of amala but not by its colour.

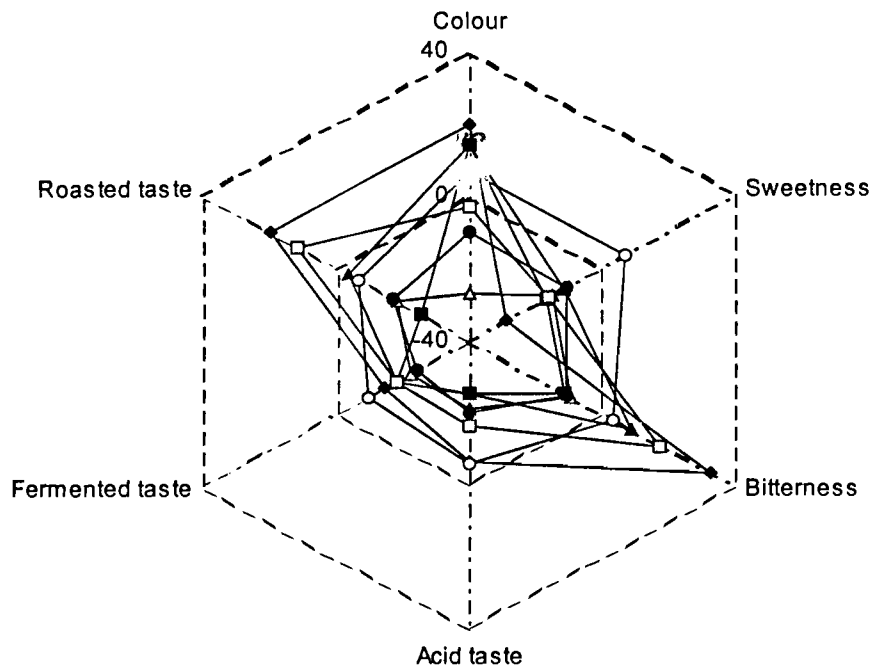


Figure 1 Hedonic scores of the seven amala

Relationship between sensory quality of amala and instrumental analysis of yam flour

The brown index of amala was highly correlated with the brown index of yam flour (Table 3) and both were highly correlated with total phenol content of yam flour. Indeed, fresh yam discoloration is generally attributed to polyphenols generated by enzymatic and/or chemical oxidation [32]. In the case of yam flour also, Almenteros and Del Rosario [8] found that phenolic rich yams gave darker flours whereas Izundu [17] evidenced the role of peroxidase on flour yam paste discoloration. The very low peroxidase and polyphenol oxidase activity recovered in flours in our experiments indicated that enzymatic discoloration of flour during

Table 3. Correlation matrix between sensorial quality of amala and physico-chemical properties of flours

| Amala quality | Flour characteristics | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|--------|--------|------------------|---------|---------|---------|
| | 100-L* | a* | b* | Glucose-fructose | Citrate | Lactate | Phenols |
| 100-L* | 0.80** | 0.35 | 0.59* | -0.13 | -0.22 | -0.17 | 0.72** |
| a* | 0.10 | 0.78** | 0.36 | -0.18 | 0.30 | 0.46 | -0.08 |
| b* | -0.09 | 0.28 | 0.43 | -0.38 | 0.52 | 0.36 | -0.34 |
| Sweetness | -0.39 | -0.30 | -0.63* | 0.80** | 0.18 | -0.19 | 0.02 |
| Bitterness | 0.62* | 0.45 | 0.81** | -0.49 | 0.14 | 0.18 | 0.34 |
| Acidity | -0.54 | -0.15 | -0.13 | -0.04 | 0.42 | 0.52 | -0.45 |
| Fermented taste | -0.57* | -0.13 | -0.21 | 0.05 | 0.33 | 0.58* | -0.44 |
| Roasted taste | 0.65* | 0.33 | 0.71** | -0.37 | -0.03 | -0.23 | 0.61* |

*Significant at 1 % level

** Significant at 1 p 1000 level

storage and cooking is very unlikely to appear; these enzymes may however be active in the beginning of the yam processing into flour. Non-enzymatic browning caused by Maillard reaction between free sugars and amino-acids could also play a role in paste darkening during cooking as proposed by Achi and Akubor [24]. Multiple regression models show however that glucose and fructose flour content was negatively correlated with amala brown index (Table 4) which means that flours with low sugar level gave darker amala. This indicated that sugars are not involved in amala darkening during pasting. The red indexes of yam paste and flour were highly correlated but no tight relationship was found with physico-chemical characteristics of flours (Table 3); amala red index was only slightly (5 % level) and positively correlated with lactic acid content. On the contrary, Achi and Akubor [24] recently evidenced that lactic fermented yam tubers gave lighter amala. This contradiction may be due to our experience design that mixed the effects of addition of ogi liquor and of *Tectona grandis* leaves the latter contributing to the reddish colour of the steeping water and of yam surface. There was no correlation between yellow index of amala and of yam flour, neither with any of measured biochemical characteristics.

Table 4. Multiple regression models of amala sensory quality based on chemical composition of yam flour

| Amala variable | Model ¹ | R ² |
|----------------|---|----------------|
| Brown index | 47.7 + 6.98 [Phenols] – 0.13 [Glucose-fructose] | 0.63 |
| Sweetness | 0.26 + 0.094 [Glucose-fructose] – 7.14 [Proanthocyanins] | 0.76 |
| Bitterness | 1.12 + 1.18 [Phenols] – 0.054 [Glucose-fructose] + 1.35 [oxalate] | 0.62 |
| Acidity | 0.49 + 0.30 [lactate] + 0.091 [Citrate] | 0.41 |
| Roasted taste | 0.43 + 1.41 [Phenols] – 0.048 [Glucose-Fructose] | 0.74 |

¹[Metabolite] (mg g⁻¹ db); [Phenolic compound] (μM g⁻¹ db)

Flour glucose and fructose content was highly positively correlated with amala sweetness and

negatively correlated (at 5 % level) with its bitterness. This confirmed the opposition of these two tastes. In addition, multiple regression models confirmed the antagonist role of sweet and bitter molecules as phenol and pro-anthocyanin contents were positively and negatively correlated with bitterness and sweetness, respectively. Indeed, the bitter impact of polyphenols and particularly of pro-anthocyanins, has been already demonstrated for fresh yams [12, 13]. In addition, Onayemi and Idowu [12] found that aroma and flavour of fresh yam was improved after storage for several months and they attributed this improvement to an increase of yam sugar content despite of a parallel polyphenol increase. Our results thus evidenced that the bitter taste of yam paste has the same origin as for fresh yam.

In addition, a positive partial correlation was found with flour oxalate content. Finally, models obtained by multiple regression gave a quite good representation of measured sweetness and bitterness (Figure 2a and 2b). Roasted taste gave a quite similar pattern as bitterness (Table 4): it increases with phenol content and decreases with sugar content. These two attributes were indeed highly correlated: they appeared complementary and might be, partly, linked to Maillard and/or quinone reaction with sugars during pre-cooking and/or drying.

The acidic taste was positively correlated with the main organic acid content of yam flours (citrate and lactate) that could explain 41 % of this taste. It should be noticed that panellists were able to distinguish acid and fermented tastes as the latter was only correlated with lactic acid content (Table 3).

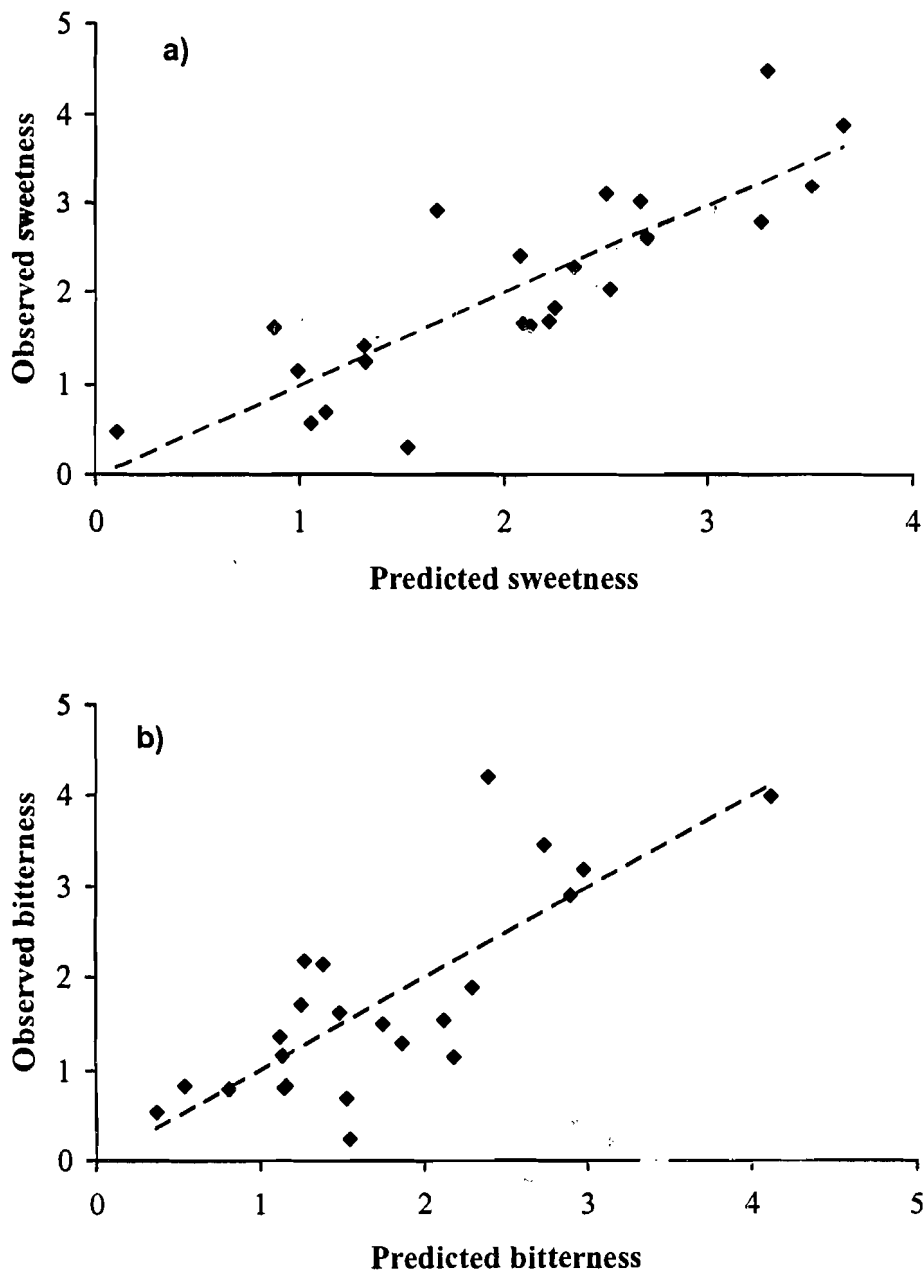


Figure 2. Plot of observed versus predicted values obtained by multiple regression analysis : a) sweetness, b) bitterness

Conclusion

Five main taste and aroma attributes were identified for amala. These attributes and colour parameters can be efficiently predicted from flour biochemical characteristics. Polyphenols appear in particular at the origin of three major attributes of amala: darkness, bitterness and

roasted taste. However, polyphenol oxidase and peroxidase that can be suspected to be involved in polyphenols synthesis were inhibited during yam processing into dried flours and their specific role on polyphenol content of yam flour needs to be investigated. This preliminary study also showed significant effects of variety and processing factors on, in particular, amala sweetness and darkness respectively. This will be more studied in following papers.

Acknowledgement

The authors thank the European Union for funding this study as part of INCOYAM project ERB IC18-CT98-0302 and the International Institute of Tropical Agriculture for providing yam tubers.

References

1. Mozie O (1988) Effect of storage temperature on storage weight losses in white yam (*Dioscorea rotundata* Poir) tubers. *Tropical Science* 28: 273-276.
2. Girardin O, Nindjin C, Farah Z, Escher F, Stamp P, Otokoré D (1998) Use of gibberellic acid to prolong dormancy and reduce losses during traditional storage of yams. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77: 172-178.
3. Akissoé N, Hounhouigan DJ, Bricas N, Vernier P, Nago CM, Olorunda A (2001) Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam (*Dioscorea rotundata*) tubers, flour, and "amala" a flour-derived product. *Tropical Science* 41: 151-155.
4. Chilaka FC, Eze S, Anyadiegwu C, Uvere P (2002) Browning in processed yams: peroxidase or polyphenol oxidase? *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82: 899-903.
5. Vernier P, Dossou RA, Letourmy P (1999) Processing yam chips from *Dioscorea alata*: effect of the variety and chip size on drying, storage ability and sensorial properties. *African Journal of Root and Tuber Crops* 3: 62-68.
6. Bricas N, Vernier P, Ategbro E, Hounhouig ... J, Mitchikpe E, N'kpenu KE, Orkwor G (1997) The expansion of yam chip food sub sector in West Africa. *Cahiers de la recherche Développement* 44: 100-114.
7. Osagie AU, Opoku AR (1984) Enzymatic browning of yams (*Dioscorea* species). *Nigerian Journal of Biochemistry*: 25-29.
8. Almenteros VP, Del Rosario RR (1985) Phenolic content and polyphenoloxidase activity related to browning in yam (*Dioscorea alata* Linn.). *The Philippine Agriculturist* 68: 449-452.
9. Rasper V, Coursey DG (1967) Anthocyanins of *Dioscorea alata* L. *Experientia* 23: 611-612.

10. Imbert MP, Seaforth C (1968) Anthocyanins in *Dioscorea alata* L. *Experientia* 24: 447-449.
11. Ozo ON, Caygill JC, Coursey DG (1984) Phenolics of five yam (*Dioscorea*) species. *Phytochemistry* 23: 329-331.
12. Onayemi O, Idowu A (1988) Physical and chemical changes in traditionally stored yam tubers (*Dioscorea rotundata* Poir and *Dioscorea cayenensis* Lam). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36: 588-591.
13. Martin FW, Ruberté R (1975) Bitterness of *Dioscorea Cayenensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 23: 1218-1219.
14. Adamson I, Abigor R (1980) Transformation associated with catecholase in *Dioscorea alata* during storage. *Phytochemistry* 19: 1593-1595.
15. Ikediobi CO, Chelvaran RL, Ukoha AI (1989) Biochemical aspects of wound healing in yams (*Dioscorea* spp). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 48: 131-139.
16. Omidiji O, Okzupor J (1996) Time course of PPO-related browning. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 70: 190-196.
17. Izundu AI (1995) Peroxidase activity and inhibition of browning reaction in *Dioscorea dumetorum* tubers. *Journal of root crops* 21: 12-16.
18. Rousset S, Pons B, Pilandon C (1995) Sensory texture profile, grain physico-chemical characteristics and instrumental measurements of cooked rice. *Journal of Texture Studies* 26: 119-135.
19. Rousset S, Pons B, Martin J-M (1999) Identifying objective characteristics that predict clusters produced by sensory attributes in cooked rice. *Journal of Texture Studies* 30: 50-532.
20. Issanchou S (1990) The profile of ideal product. In: Sztrygler F (ed), *Evaluation sensorielle : manuel méthodologique*. Paris: Lavoisier, pp. 195-205.

21. Hounhouigan DJ, Nout MJR, Nago CM, Houben JH, Rombouts FM (1993) Composition and microbiological attributes of mawè, a fermented maize dough from Benin. *International Journal of Food Science and Technology* 28: 513-517.
22. Nago M, Tétégan E, Matencio F, Mestres C (1998) Effects of maize type and fermentation conditions on the quality of Beninese traditional ogi, a fermented maize slurry. *Journal of Cereal Science* 28: 215-22.
23. Swain T, Hillis WE (1959) The phenolics constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 10: 63-68.
24. Achi OK, Akubor PI (2000) Microbiological characterization of yam fermentation for 'Elubo' (yam flour) production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 16: 3-7.
25. Wanasundera JPD, Ravindran G (1994) Nutritional assessment of yam (*Dioscorea alata*) tubers. *Plant Food for Human Nutrition* 46: 33-39.
26. Wanasundera JPD, Ravindran G (1992) Effects of cooking on the nutrient and antinutrient contents of yam tubers (*Dioscorea alata* and *Dioscorea esculenta*). *Food Chemistry* 45: 247-250.
27. Asemota HN, Wellington MA, Odutuga AA, Ahmad MH (1992) Effect of short-term storage on phenolic content, o-diphenolase and peroxidase activities of cut yam tubers (*Dioscorea* sp). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 60: 309-312.
28. Muzac-Tucker I, Asemota HN, Ahmad MH (1993) Biochemical composition and storage of Jamaican yams (*Dioscorea* sp). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 62: 219-224.
29. Ozo ON, Caygill JC (1985) Some characteristics and a comparison of the activities of o-dihydroxyphenoloxidase from five yam (*Dioscorea* spp.) species. *Journal of the*

Science of Food and Agriculture 36: 973-979.

30. Ikediobi CO, Obasuyi HN (1982) Purification and properties of o-diphenolase from white yam tubers. *Phytochemistry* 21: 2815-2820.
31. Nago M, Hounhouigan J, Akissoë N, Zanou E, Mestres C (1998) Characterization of the Beninese traditional ogi, a fermented maize slurry: physico-chemical and microbiological aspects. *International Journal of Food Science and Technology* 33: 307-315.
32. Martin FW, Ruberte R (1976) The polyphenol of dioscorea alata (Yam) tubers associated with oxidative browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 24: 67-70.

Article 3

Analyse descriptive et prédictive des attributs de texture de
l'amala de variétés d'igname

Auteurs : Akissoe Noël, Mestres Christian, Hounhouigan Josep, Nago Mathurin

Projet de publication

Analyse descriptive et prédictive des attributs de texture de l'amala de variétés d'igname

Akissoe Noël¹, Mestres Christian², Hounhouigan Joseph^{1}, Nago Mathurin¹*

¹Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi, 01BP 526 Cotonou, Bénin

²CIRAD-CA, Programme Cultures Alimentaires, T . 70/16, 73 Avenue JF Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

* Correspondence to : Hounhouigan Joseph, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Nutrition et Sciences Alimentaires, 01BP526 Cotonou . e-mail : hounjos@syfed.bj.refer.org

RÉSUMÉ

Le caractère collant, lisse, compact, élastique et ferme sont des caractéristiques sensorielles majeures de texture de la pâte de cossettes d'igname. Des mesures instrumentales de ces caractéristiques ont été faites sur 29 échantillons produits de différentes façons en utilisant des tests de compression et d'extrusion au Stevens LFRA et des mesures rhéologiques. Concomitamment, les mêmes caractéristiques ont été évaluées par une analyse sensorielle avec un panel entraîné ou naïfs et les relations entre mesures sensorielles, instrumentales et physicochimiques ont été établies. Du point de vue sensoriel, le caractère collant et l'élasticité de l'amala ont été significativement et positivement corrélés. Il en est de même pour le nombre de mâches et la fermeté ($P < 0,05$). Du point de vue instrumental, la force et la pente maximale de compression sont significativement corrélées avec la force et la pente maximale d'extrusion montrant ainsi que l'une ou l'autre peut exprimer le même comportement de la pâte. En outre, le caractère collant est significativement et négativement corrélé avec la pente d'extrusion ($r = -0,60$) ou la pente de compression ($r = -0,58$). Les propriétés fonctionnelles (gonflement, solubilités et solubilité) de la farine sont les déterminants du collant et de l'élasticité de l'amala.

Ces relations révèlent enfin l'étroit rapport entre les attributs sensoriels de texture, d'une part, et les paramètres instrumentaux utilisés, d'autre part. Les tests de mesures instrumentales ainsi mis au point ont permis d'évaluer la texture de l'amala issu de 8 cultivars d'igname. Le cultivar gnidou a donné une pâte plus collante, moins ferme avec une pente maximale de 28 g.mm^{-1} contre 66 g.mm^{-1} pour les autres cultivars du groupe kokoro.

INTRODUCTION

Les variétés les plus aptes pour la production des cossettes d'igname sont du groupe Kokoro qui représente environ 16 % des cultivars identifiés (Dansie et al., 1997). La valorisation des

autres cultivars exige une réelle connaissance et une maîtrise de leurs qualités organoleptiques et/ou culinaires. Ces qualités s'apprécient mieux par des consommateurs ou des jurys de dégustation, très coûteux en temps et en finances et difficiles à mettre en place. Mais de plus en plus, les méthodes d'analyses sensorielles et les tests instrumentaux sont deux approches simultanément utilisées pour évaluer les corrélations entre les attributs sensoriels de texture et les paramètres instrumentaux afin de se passer des jurys. Cette approche corrélative a été utilisée pour développer des méthodes de prédiction de la couleur et du goût de l'amala (Mestres et al., 2002). De même, elle a permis de développer des méthodes rapides et efficaces de prédiction de la texture du riz cuit (Jean-François et al., 2000 ; Chanintorn and Meullenet, 2000) ; Szczesniak, 1988). D'autres méthodes de prédiction fondées sur la composition chimique (teneur en amylose, en protéines) ou physicochimiques (viscosités, propriétés pastières) ont été développées pour évaluer et prédire les caractéristiques texturales des aliments ; mais ces dernières présentent des limites car des riz ayant des propriétés chimiques similaires n'avaient pas toujours des textures similaires (Del Mundo and Juliano, 1981). Les tests de compression et d'extrusion ont été utilisés en combinaison avec les mesures sensorielles pour développer des modèles prédictifs efficaces de la texture du riz cuit (Chanintorn and Meullenet, 2000 ; Jean-François et al., 2000 ; Brenda et al., 2000 ; Jean-François et al., 1998).

La couleur, la texture et le goût sont des attributs de qualité de l'amala ou de l'igname pilée révélés par des enquêtes de consommation. L'appréciation des variétés utilisées dans ces préparations est fondée sur ces attributs de qualité (Hounhouigan et al., 2002). L'amala est une pâte de couleur brune dérivée de la farine des cossettes d'igname. Bien que des données d'enquête existent sur les caractéristiques sensorielles de cette pâte, les méthodes objectives et efficaces qui permettraient de prédire les descripteurs de texture de l'amala n'ont pas été développées. Par ailleurs, à cause du nombre trop élevé de cultivars d'igname (Dansie et al.,

1997), de l'importance de la texture au sein des attributs de qualité de l'amala et la préférence des transformateurs à certains types de cultivars, il serait intéressant de développer des outils de prédiction ou de caractérisation culinaire des différents cultivars d'igname, simple à mettre à la disposition du sélectionneur ou du transformateur de petites et moyennes industries. Le but de cette étude est de décrire la texture de l'amala et de développer des méthodes instrumentales simples pour son appréciation. Elle vise spécifiquement à établir des relations entre les attributs sensoriels, les paramètres instrumentaux et les caractéristiques physicochimiques de la farine pour ainsi dégager des outils de prédiction de la texture de l'amala issu de différents cultivars d'igname.

1 METHODOLOGIE

Les tests ont été exécutés en 2000, 2002 et en 2003, parfois répétés avec des méthodes différentes et/ou complémentaires.

1.1 Description du profil de texture de l'amala

Le profil de texture de l'amala a été réalisé en 2000 suivant la méthode développée par Szczesniak et al. (1975) qui a été un peu modifiée. Il vise à identifier les attributs de texture de l'amala les plus pertinents. Ainsi, une liste complète des attributs de texture de la pâte a été établie. Les attributs de texture « molle, ferme, élastique, collante, sèche, lisse, humide, lourde, compacte, grumelée, aérée, cassante, dense, légère, pâteuse, humide à la surface » ont été retenus. La pâte amala a été fournie par deux productrices en trois essais de préparation à une semaine d'intervalle l'une de l'autre. Par ailleurs, l'igname pilée, achetée chez deux productrices à chaque séance de dégustation, a été introduite comme un faux témoin pour faciliter l'évaluation de l'intensité de certains attributs complexes. Certains attributs ont été introduits en redondance ou en antagonisme pour contrôler la fiabilité des réponses. Un panel

de dégustateurs bien entraînés a été invité à décrire la texture de l'amala en mettant une marque sur une échelle de notation à six points suivant sa perception de l'amala pour chaque attribut, une forte note indiquant une forte présence de cet attribut.

1.2 Evaluation sensorielle de la texture

Les échantillons d'amala (29) provenaient de gargotteries (3) ou étaient préparés au laboratoire (26). Ces derniers ont été préparés en faisant varier la concentration en matière sèche de la pâte (20,8 à 27,1 %, base humide) et/ou le type de farine utilisé (igname, manioc, ou mélange des deux) dans une suspension de 240 g. Les analyses sensorielles ont été réalisées en 2002 et en 2003 avec un panel de dégustateurs entraînés pour la mesure des caractéristiques sensorielles de texture dont la définition a été précisée en langue locale et/ou en français au cours de l'entraînement (Tableau 1). Les techniques d'évaluation ont été également précisées. Le nombre de mâches a été introduit comme témoin du caractère ferme à cause de sa facilité de mesure. A chaque séance, 4 échantillons ont été remis à chaque dégustateur qui a été invité à évaluer les attributs de texture sur une échelle d'intensité à 6 points. Par ailleurs, un test hédonique a été réalisé avec 35 dégustateurs naïfs pour déterminer les caractéristiques texturales idéales de l'amala.

Tableau 1. Définition et technique de mesure des attributs sensoriels de l'amala

| Attributs | | Définition | Techniques |
|------------------------------------|---|------------|---|
| Français/son | | | |
| Fermeté E siñin (si siñin) | Force nécessaire pour compresser | | Compresser 1cuillère de pâte entre l'ensemble des doigts |
| Nombre de mâches Témoin fermeté | Intensité de mastication | | Placer ½ cuillère de pâte entre les molaires et compter le nombre de coups de mâchoires avant déglutition |
| Collant « E tè (Ti-Tè) » | Degré/intensité avec laquelle la pâte colle, adhère à la main | | Presser ¼ de cuillère de pâte entre le pouce, l'index et le majeur ; évaluer l'intensité à l'adhérence aux doigts |
| Elasticité E Dè (Di-Dè) | Importance de la traînée de la pâte après étirement | | Presser ¼ de cuillère de pâte entre le pouce et l'index et étirer jusqu'à la coupure. Estimer la distance |

1.3 Evaluation instrumentale de la texture

Pour les mesures instrumentales de texture, des pâtons de 20 g ont été moulés dans des tubes de 3 cm de diamètre et 2,5 cm de profondeur et stockés à 40-50°C pendant 30 min. Les pâtons ont été démoulés juste avant mesure. La mesure de compression a été réalisée en 2002 et en 2003 avec un texturomètre Stevens (Stevens-LFRA texture Analyser) muni d'un mobile circulaire plat de 5 cm de diamètre, descendant à vitesse de 0,1 mm/s sur une distance de 5 mm après le contact. La mesure de la compression a été exécutée en trois répétitions pour chaque échantillon. L'extrusion a été réalisée sur 2 pâtons (40 g) de chaque échantillon

déposés en quinconce dans une cellule en forme de parallélépipède rectangle de 3,5 cm de largeur et 10 cm de profondeur, avec le texturomètre Stevens muni d'un mobile de section carrée de 3 cm de côté. La vitesse du mobile est de 0,1 mm/s (sur une distance de 45 mm) ; 3 mesures ont été réalisées pour chaque échantillon. La force et la pente maximales au cours de l'extrusion et de la compression ont été déterminées sur les courbes obtenues sur un enregistreur. En outre, le pouvoir de gonflement, l'indice de solubilité et les paramètres de viscosité ont été déterminés sur les farines selon Akissoé et al.(2002).

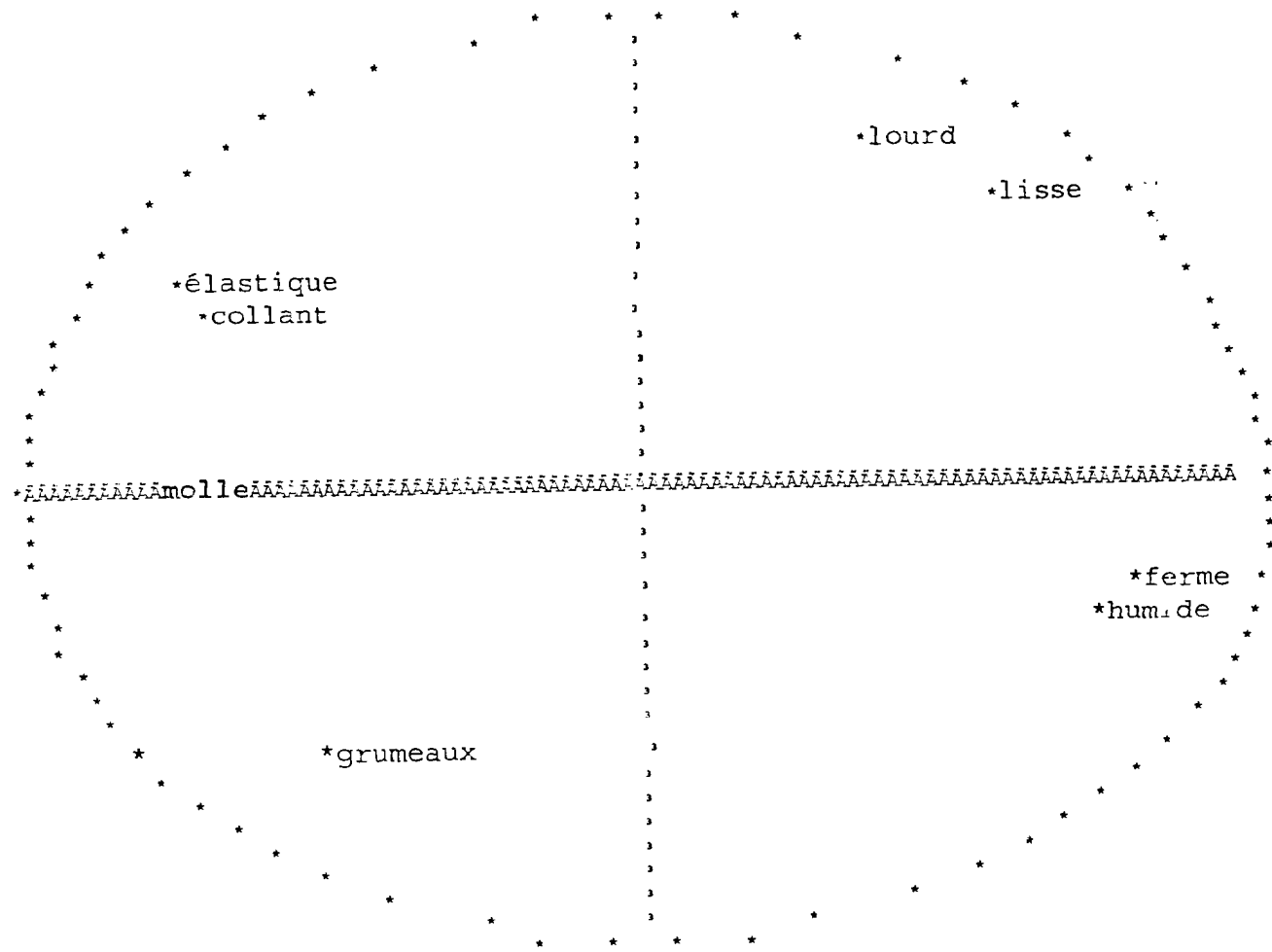
2.4 Analyses statistiques

L'analyse de variance et l'analyse en composantes principales, ont été réalisées. Les coefficients de corrélation et de régression ont été également calculés au moyen du logiciel Statitof (ITCF, Boigneville, France).

2 RESULTATS ET DISCUSSION

2.1 Profil de texture de l'amala

L'analyse de variance des attributs a révélé une faible répétabilité de l'appréciation donnée par un dégustateur pour le même attribut, d'une séance de mesure à l'autre : des coefficients de variation (CV) très forts ($18 \% < CV \% < 70 \%$) ont été obtenus indiquant ainsi la difficulté pour le dégustateur d'appréhender à tout instant les attributs sensoriels de texture de l'amala; ceci dénote probablement une mauvaise compréhension de ces attributs. L'analyse en composantes principales montre cependant que le plan formé par les axes principaux (axe1, axe2) explique et exhibe près de 70 % des attributs de texture de l'amala. Les attributs qui apparaissent sur ce plan sont le caractère lisse, collant, élastique, lourd, ferme, humide et grumeleux (figure 1). Tous ces attributs sont bien représentés sur le plan ($0,66 < R^2 < 0,85$) à l'exception du caractère humide qui l'est moyennement ($R^2 = 0,60$). Les attributs lisse et



Variation expliquée : axe horizontal 46 % ; axe vertical 23 %

Figure I Relation entre les attributs sensoriels de texture de l'amala

grumeleux, situés respectivement dans le premier et le troisième cadran sont dans la même direction mais opposés. Ainsi un amala lisse ne saurait contenir de grumeaux. En outre, l'attribut lisse a obtenu une plus forte note que le caractère grumeleux (3,7 contre 1,7), indiquant ainsi que l'amala est une pâte lisse. Le caractère collant et élastique, d'une part, fortement corrélés sont également opposés aux caractères ferme et humide, d'autre part.

Par ailleurs, le test hédonique, réalisé sur cinq (5) échantillons, a permis de préciser la texture de l'amala idéal : l'amala idéal aurait une fermeté de 98 gF/mm (pente maximale d'extrusion), ce qui équivaut à une note des dégustateurs de 1. Une note d'élasticité égale à 5 et une note de collant de -1,1 ont été également observées (Figure 2 et Figure 3). Ainsi, l'amala idéal serait peu ferme, peu collant et élastique. Ces résultats confirment ceux précédemment obtenus lors des enquêtes car pour la plupart des consommateurs, l'amala est élastique (95 % des enquêtés), moyennement ferme (58 %) et non collant (78 %) (Akissoe et al., 2001).

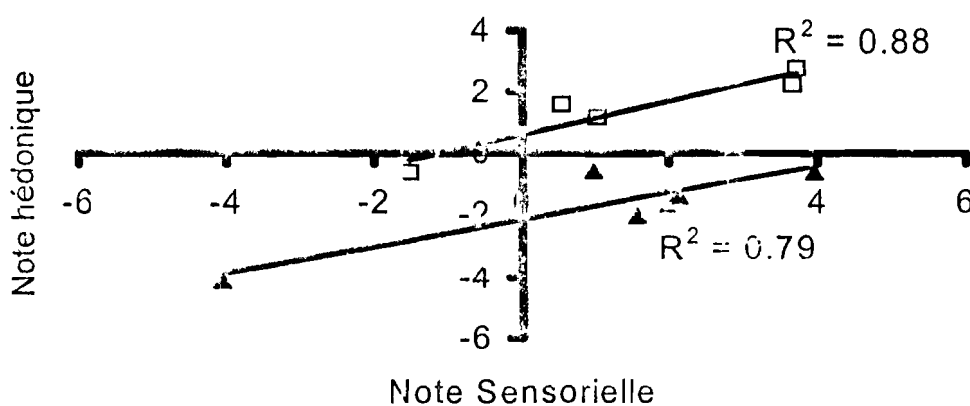


Figure 2. Relation entre la note sensorielle et la note hédonique

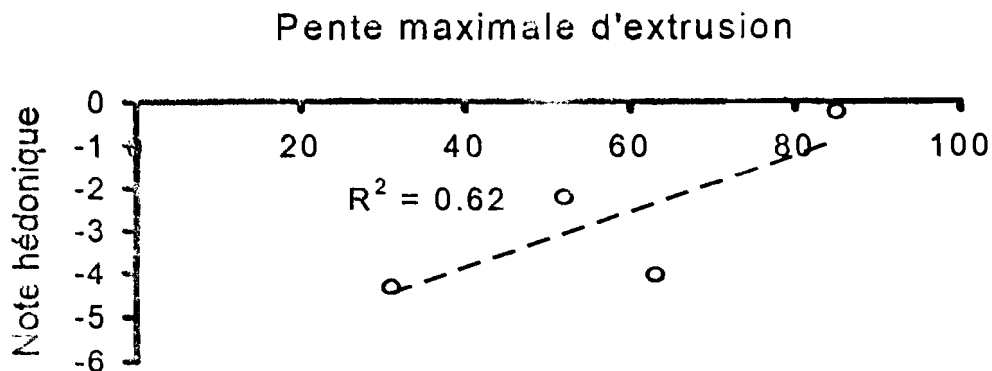


Figure 3. Relation entre la fermeté à l'extrusion et la note hédonique

2.2 Corrélations entre paramètres instrumentaux

La force et la pente maximales au cours de l'extrusion et de la compression ont été significativement et hautement corrélées ($P < 0,001$) ; les deux paramètres mesurés pour chacun des tests mesurent donc les mêmes grandeurs. Par ailleurs, les valeurs obtenues pour les tests de compression et d'extrusion sont corrélées entre elles (Tableau 2). Le test de compression développé demande un moulage de l'échantillon alors que le test d'extrusion se réalise sur des échantillons de formes diverses disposés en quinconce dans la cellule de mesure. Ceci nous a permis de choisir le test d'extrusion pour la mesure des caractéristiques texturales de l'amala, car plus facile à mettre en œuvre : il n'est pas nécessaire de mouler les pâtons pour cette mesure. Ces résultats sont bien en accord avec ceux obtenus par Juliano (1981) et (Chanintorn and Meullenet, 2000) qui ont rapporté que les tests d'extrusion étaient reproductibles avec des charges grosses, sans formes régulières alors que le test de compression nécessitait de petite quantité d'échantillons standardisés.

Tableau 3. Corrélations entre attributs sensoriels

| | Ferme | Collant | Elastique | Nombre de m ^â ches |
|-------------------------------|---------|---------|-----------|-------------------------------|
| Ferme | 1 | | | |
| Collant | 0,42* | 1 | | |
| Elastique | -0,27 | 0,75*** | 1 | |
| Nombre de m ^â ches | 0,68*** | -0,26 | -0,08 | 1 |

* Significatif à 5 % *** Significatif à 1 p 1000

2.4 Corrélations entre mesures sensorielles, instrumentales et caractéristiques physicochimiques de la farine

Le caractère collant est significativement et négativement corrélé avec la pente maximale d’extrusion (PME) ($r = -0,60$) et avec la force maximale au cours de la compression (FMC). Le nombre de m^âches (la fermeté) est positivement et significativement corrélé avec ces paramètres instrumentaux (FMC et PME) (Tableau 4).

Tableau 4. Corrélations entre mesures sensorielles et instrumentales des attributs de qualité de l’amala

| | Force maximale de compression | Pente maximale d’extrusion |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Collant | -0,58** | -0,60*** |
| Nombre de m ^â ches | 0,43** | 0,53** |

** Significatif à 1 % *** Significatif à 1 p 1000

Tous les attributs sensoriels de texture de l’amala ont été bien prédits à la fois par les tests de compression ou par ceux d’extrusion, représentés par la force maximale de compression et la pente maximale d’extrusion. Ces deux paramètres instrumentaux étaient hautement corrélés entre eux ; il est donc indiqué d'utiliser l'un des deux pour apprécier les caractéristiques texturales de l'amala. Nous avons préféré la PME parce que ce paramètre était le plus aisé à mesurer. Ce résultat est en accord avec ceux de (Chanintorn and Meullenet, 2000) qui avaient

utilisé les deux tests pour établir des modèles prédictifs de la texture du riz cuit. Par ailleurs, l'élasticité et le collant de l'amala apparaissent fortement liés aux propriétés fonctionnelles de l'amidon de la farine (Tableau 5). Ils sont significativement corrélés au pouvoir de gonflement, à l'indice de solubilité et aux paramètres de viscosité de la farine (Figure 4, Figure 5). En somme, les caractéristiques de texture de l'amala peuvent être déterminées par le test d'extrusion ou par les propriétés fonctionnelles de la farine.

Tableau 5. Matrix de corrélations entre texture de l'amala et caractéristiques physicochimiques de la farine

| Paramètres de texture | Température d'empesage | viscosité debut plateau 95°C | Viscosité fin plateau à 95°C | Viscosité finale à 50 °C | Pouvoir de Gonflement (g/g) | Indice de Solubilité (% bs) |
|-----------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Stevens (FME) | 0,23 | -0,31 | -0,15 | -0,10 | -0,26 | -0,30 |
| Fermeté | -0,10 | 0,0 | 0,17 | 0,20 | -0,15 | -0,19 |
| Elasticité | -0,81 | 0,86 | 0,77 | 0,79 | 0,76 | 0,52 |
| Collant | -0,67 | 0,66 | 0,53 | 0,50 | 0,74 | 0,62 |

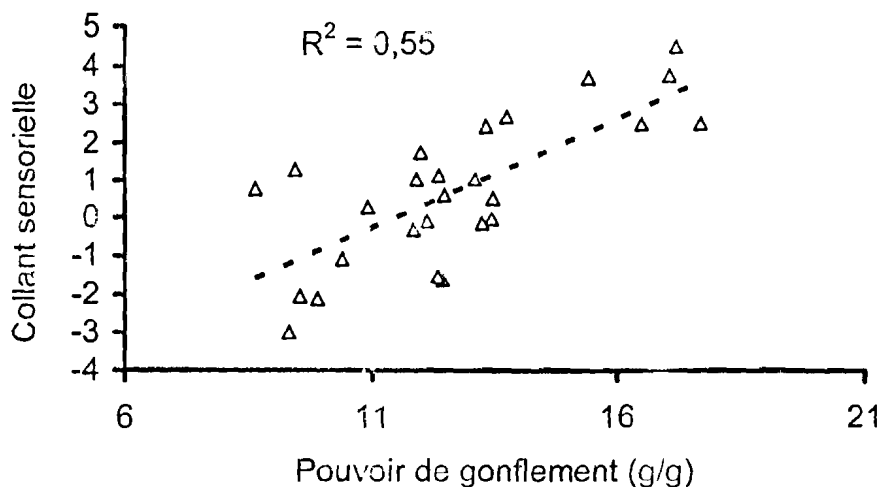


Figure 4 Relation entre le collant et le pouvoir de gonflement de la farine

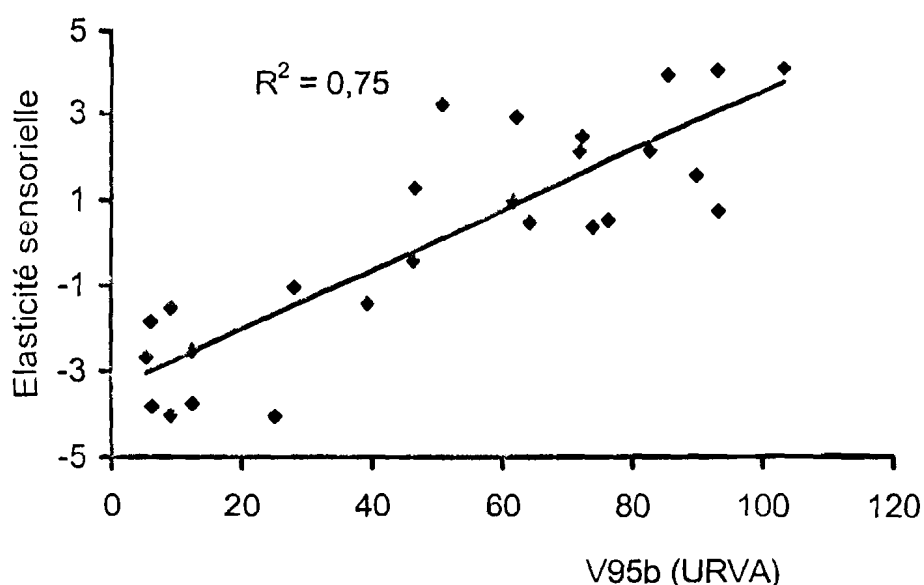


Figure 5 Relation entre élasticité sensorielle et la viscosité au début du plateau

2.5 Application des tests instrumentaux aux pâtes issus de différentes variétés d'igname

Les tests d'extrusion et de compression appliqués aux pâtes provenant de huit variétés d'igname en cours d'étude ont révélé que, dans les mêmes conditions de préparation, la force maximale de compression est de 48 gF pour Gnidou contre 141 gF en moyenne pour les autres cultivars tandis que la pente maximale d'extrusion est de 28 gF/mm pour Gnidou contre 67 gF/mm en moyenne pour les autres cultivars. Ainsi la pâte de cossettes de Gnidou apparaît moins ferme et plus collante que celles issues des autres cultivars (Tableau 6).

Tableau 6. Texture de l'amala de cultivars d'igname au Stevens

| Variétés | Pente maximale d'extrusion (gF/mm) | Force maximale de compression (gF) |
|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Banioure | 51 | 134 |
| Deba | 52 | 159 |
| Gnidou | 28 | 48 |
| Kagourou | 71 | 156 |
| Porchekbim | 95 | 133 |

| | | |
|-----------|----|-----|
| Tamsam | 71 | 139 |
| Terlounto | 69 | 140 |
| Yakarango | 60 | 132 |

Le test sensoriel, conduit en parallèle, confirme la même tendance (Tableau 7). Ces résultats confirment les observations préliminaires faites par Hounhouigan et al (2002) selon lesquelles les pâtes provenant des cossettes de Gnidou étaient de mauvaise qualité ; ce qui entraînerait le rejet des cossettes de gnidou. En somme, le test d'extrusion ainsi mis au point peut servir valablement à prédire la texture des pâtes de cossettes provenant de divers cultivars d'igname.

Tableau 7. Caractéristiques sensorielles de texture de l'amala de différents cultivars d'igname

| Variétés | Fermeté | Elasticité | Collant |
|------------|---------|------------|---------|
| Banioure | 4,3 b | 5,6 bc | 7,0 |
| Deba | 8,7 a | 6,0 bc | 5,2 |
| Gnidou | 3,8 b | 4,2 c | 7,2 |
| Porchekbim | 5,6 b | 3,9 c | 6,9 |
| Tamsam | 9,1 a | 8,8 a | 7,9 |
| Terlounto | 9,3 a | 8,3 a | 6,5 |
| Yakarango | 8,7 a | 4,6 c | 9,0 |
| SDR* | 2,7 | 3,1 | 3,2 |

*Standard de déviation résiduelle

Valeurs dans la même colonne avec différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5 %

3 CONCLUSION

Les critères sensoriels de qualité texturale de l'amala peuvent se réduire à la fermeté et au caractère collant qui sont, par ailleurs, inversement corrélés. Les tests d'extrusion ou de compression mis en œuvre dans cette étude, bien que limités, peuvent rendre valablement compte du comportement textural de la pâte amala. Plus particulièrement, la pente maximale déterminée au cours de l'extrusion est un indicateur fiable et facile à mesurer du caractère collant et de la fermeté de l'amala. Enfin, le pouvoir de gonflement et l'indice de solubilité de la farine sont des déterminants fiables du caractère collant et de l'élasticité de l'amala.

Tableau 2. Corrélations entre paramètres instrumentaux

| | Compression | | Extrusion | |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Pente maximale | Force maximale | Pente maximale | Force maximale |
| PMC | 1 | | | |
| FMC | 0,99 | 1 | | |
| PME | 0,71 | 0,67 | 1 | |
| FME | 0,87 | 0,86 | 0,92 | 1 |

PMC : Pente maximale de compression *PME : Pente maximale d'extrusion*
FMC : Force maximale de compression *FME : Force maximale d'extrusion*

2.3 Corrélations entre attributs sensoriels

L'élasticité et le caractère collant de l'amala ont été positivement et significativement corrélés alors que très généralement ces deux paramètres sont négativement corrélés. En effet, la définition de « l'élasticité » donnée par les dégustateurs comme "*l'importance de la traînée du pâton après étirement*" est en fait une définition du collant. Le terme « élastique » est donc inadéquat, et c'est bien une évaluation du collant qui est réalisée ; ce qui est confirmée par la forte corrélation entre ces deux paramètres (Tableau 3). Par ailleurs, le nombre de mâches avant déglutition et la fermeté ont été également corrélés positivement ($P < 0,001$). De ces observations, les attributs pertinents de texture de l'amala pourraient se réduire à deux paramètres : la fermeté/nombre de mâches et le caractère collant.

REFERENCES

- Akissoé N, Hounhouigan DJ, Bricas N, Vernier P, Nago CM, Olorunda A (2001) Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam (*Dioscorea rotundata*) tubers, flour, and "amala" a flour-derived product. *Tropical Science* 41: 151-155.
- Brenda, G. L.; Elaine T. Champagne; Bryan T. Vinyard; Windham, a. W. R. Sensory and Instrumental Relationships of Texture of Cooked Rice from Selected Cultivars and Postharvest Handling Practices. *Cereal Chem.* **2000**, 77, 64-69.
- Chanintorn, S.; Meullenet, a. J.-F. C. Prediction of cooked rice texture using extrusion and compression tests in conjunction with spectral stress strain analysis. *Cereal Chem.* **2000**, 77, 501-506.
- Dansi, A.; Zoundjihépon, J.; Mignouna, H. D.; Quin, M. Collecte des ignames cultivées du complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata* au Bénin. *Plant Genetic Resources Newsletter* **1997**, 81-85.
- Del Mundo, A. and Juliano, B. O. Consumer preference and properties of raw and cooked milled rice. *Journal of Texture Studies*, 1981, 2, 107-120.
- Hounhouigan, D. J.; Kayode, A. P.; Bricas, N.; Nago, C. M. Les caractéristiques culinaires des ignames recherchées en milieu urbain au Bénin. *Accepté pour publication dans les "Annales des Sciences Agronomiques du Bénin"*, 2002
- Jean-François, C. M.; Jason G.; Bradley P. M.; Daniels, A. M. Sensory Descriptive Texture Analyses of Cooked Rice and Its Correlation to Instrumental Parameters using an Extrusion Cell. *Cereal Chem* **1998**, 75, 714-720.
- Jean-François, M.; Elaine T. Champagne; Karen L. Bett; Anna M. McClung; Kauffmann, a. D. Instrumental Assessment of Cooked Rice Texture Characteristics : A Method for Breeders. *Cereal Chem.* **2000**, 77, 512-517.
- Mestres, C.; Dorthé, S.; Akissoe, N.; Hounhouigan, J. Prediction of sensorial properties

(colour and taste) of a mala, a paste from yam chips flour of West Africa, through flour biochemical properties. *Accepted for publication in Journal of " Plant Food for Human Nutrition 2003.*

Szczesniak, A. S. Applying rheology to dough and baked goods. *Cereal Foods World 1988,* 33, 841-843.

III.2 Influence du procédé et de la variété sur la qualité des cossettes d'igname et des produits dérivés

La qualité des cossettes d'igname et des produits dérivés est tributaire de la variété et des changements physico-chimiques résultant des traitements technologiques. Certains de ces changements tels que le brunissement et l'amertume de l'amala (pâte de farine de cossettes d'igname) induits au cours de la transformation de l'igname, constituent de véritables freins à la diffusion du « système cossettes ». Ainsi, la coloration brune qui se développe au cours de la préparation de l'amala a été peu appréciée au cours des tests d'acceptabilité réalisés dans certains pays africains (Burkina Faso, Cameroun et Togo). La compréhension des changements physico-chimiques qui interviennent au cours de cette transformation peut permettre de mieux contrôler et d'améliorer la qualité des cossettes et des produits dérivés.

Le procédé de transformation de l'igname en cossettes comporte principalement trois opérations : l'épluchage, le blanchiment et le séchage. D'autres traitements technologiques sont parfois appliqués aux tubercules avant ou après le blanchiment au cours de cette transformation. Ainsi, les tubercules sont épluchés, puis stockés soit à l'air libre soit sous l'eau pendant un certain temps avant d'être blanchis.

Après le blanchiment, les tubercules sont souvent laissés dans le bain de blanchiment pendant 6 à 12 heures avant d'être séchés. Ces différents traitements, jusque-là non étudiés, peuvent être des sources potentielles de modification et de variation de la qualité des cossettes et des produits dérivés. Il apparaît donc nécessaire de vérifier si les modes de stockage et de blanchiment du tubercule épluché ont une influence sur les paramètres de couleur et de texture des cossettes et des produits dérivés.

En effet, des études préliminaires ont révélé une forte variabilité des conditions de blanchiment des tubercules d'igname au Bénin (Hounhouigan et Akissoe, 1997). Dans le système traditionnel de production de cossettes, la température de blanchiment varie de 55 à 75 °C et la durée de blanchiment, de 15 à 50 min. Il est également nécessaire d'étudier la cinétique de blanchiment afin d'une part, de rechercher le couple température-temps permettant l'inactivation complète des polyphénoloxydases et des peroxydases et d'autre part, de déterminer les paramètres cinétiques d'évolution des composés (phénols, PPO, POD) potentiellement responsables du brunissement des produits au cours du blanchiment.

Ce travail vise principalement à étudier le procédé de fabrication des cossettes d'igname et à évaluer l'effet des principales opérations unitaires et du facteur variétal sur la qualité des produits obtenus. Pour y parvenir, différents essais technologiques ont été

entrepris. En particulier, l'effet des traitements pré et post blanchiment et de la variété a été étudié. De même, la cinétique de blanchiment a été suivie.

L'influence des traitements avant blanchiment a été évaluée sur deux variétés (Deba et Banioure de *Dioscorea rotundata*). A cet effet, les tubercules ont été épluchés sous l'eau et découpés en morceaux de 30 mm de longueur au moyen de l'onglet anglais. Un échantillon a été prélevé, broyé et lyophilisé (blanc). Le reste a été divisé en deux lots dont l'un a été immergé dans l'eau et l'autre exposé à l'air, pendant 1 heure. Une partie de chaque lot a été ensuite traitée comme le blanc pour servir à évaluer l'effet des conditions de traitement avant le blanchiment ; la seconde partie a été blanchie à 65°C pendant 20 minutes et traitée de la même façon que précédemment afin d'étudier l'influence du blanchiment.

L'effet du trempage post-blanchiment a été testé sur les deux variétés étudiées qui ont été traitées dans les mêmes conditions d'épluchage et de blanchiment que précédemment. Deux échantillons sont prélevés respectivement avant et après le blanchiment, puis lyophilisés pour représenter les témoins blanchi et non blanchi. Le reste est trempé dans le bain de blanchiment et les échantillons sont prélevés successivement après 2 h, 4h, 6h et 12 h de trempage, puis lyophilisés pour servir à évaluer l'influence du trempage post-blanchiment.

L'étude de la cinétique de blanchiment a été menée sur deux variétés Deba (*D. rotundata*) et Florido (*D. alata*). Pour ce faire, les tubercules ont été épluchés sous l'eau, puis découpés en lamelles de forme parallélepipedique (10 cm x 0,5 cm²) à l'aide d'un éminceur manuel (IITA, Ibadan). Un échantillon a été prélevé et immédiatement immergé dans l'azote liquide, puis lyophilisé pour représenter le blanc. Le reste a été précuit à différentes températures (60, 65, 70, 75 °C) et des échantillons ont été régulièrement prélevés après 5 ou 7,5 ; à 10 ou 15 ; à 20 ou 30 et à 50 mn selon les cas et traités comme précédemment.

L'effet du blanchiment et du séchage a été testé sur huit cultivars d'igname de l'espèce *Dioscorea rotundata* (Baniouré, Deba, Gnidou, Kagourou, Porchebim, Tam-sam, Terlunto, Yakarango). Chaque cultivar a été épluché, découpé en cossettes de 30 cm de longueur et divisé en deux lots. Le premier lot a été broyé, lyophilisé et réduit en farine, pour représenter le blanc. Le deuxième lot a été blanchi à 65 °C pendant 20 mn, puis divisé en deux portions. Une portion a été broyée et lyophilisée pour servir à évaluer l'effet du blanchiment et la seconde a été séchée à l'étuve à 40 °C pendant 5 jours, puis réduite en farine pour servir à étudier l'effet du séchage.

L'évolution des paramètres de couleur et de texture de la farine du tubercule frais au cours du stockage a été également suivie sur la variété Deba pendant 13 semaines en faisant des prélèvements à 1, 3, 5, 7, 9 et 13 semaines.

Ces différents essais expérimentaux ont permis de déterminer et d'expliquer les variations de la couleur et de la texture des produits en utilisant les différentes méthodes d'analyse précédemment mises au point.

- Evaluation de la couleur des produits et identification des composés responsables

Les activités de la polyphénoloxydase (PPO) et de la peroxydase (POD) et la teneur en phénols totaux varient en fonction de la variété, de la durée de stockage après récolte et des opérations unitaires. Les variétés Gnidou et Banioure présentent des tendances opposées en activités enzymatiques : Gnidou possède la plus forte activité de la polyphénoloxydase alors que Banioure donne la plus forte activité de la peroxydase et vice versa ; d'autres variétés (Porchekbim, Terlounto) présentent simultanément de fortes activités polyphénoloxidasique et peroxydasique.

Le stockage des tubercules frais entraîne une augmentation de l'indice de brun de la pâte dérivée, de 50 à 52, au cours de la troisième semaine, suivie d'une diminution progressive jusqu'à 47 après 13 semaines de stockage. Concomitamment, la PPO et la POD atteignent leurs activités optimales entre la septième et la neuvième semaines de stockage et décroissent au moment de la levée de la dormance (après 10 semaines).

Les deux types de traitement des tubercules épluchés (stockage sous l'eau ou à l'air pendant 1 h) ont réduit de moitié l'activité de la peroxydase (POD) mais n'ont pas affecté celle de la polyphénoloxydase (PPO). Ils n'ont par conséquent plus entraîné de modification significative de la teneur en phénols totaux et de l'indice de brun de l'amala.

Le blanchiment réduit de façon significative l'activité de la peroxydase (POD) à 20 % de sa valeur initiale et celle de la polyphénoloxydase (PPO) à environ 50 % de sa valeur initiale ; ceci révèle l'existence d'une activité résiduelle importante de la PPO après le blanchiment.

Le trempage après blanchiment contribue aussi à baisser l'activité de la PPO et permet d'inhiber complètement la POD. Par ailleurs, le séchage réduit considérablement l'activité résiduelle de la PPO et accroît par contre la teneur en phénols totaux et l'indice de brun de la pâte amala.

L'activité de la PPO décroît progressivement au fur et à mesure qu'augmente la température de blanchiment : l'activité résiduelle de l'enzyme est proche de 50 % après 50 mn à 60 °C ou à 65 °C alors qu'elle est inférieure à 20 % à 70 °C ou à 75 °C, quelle que soit la

variété traitée. Bien que la variété Florido possède une activité PPO initiale significativement plus élevée que Deba, l'énergie d'inactivation calculée suivant le modèle d'Arrhenius est similaire pour les deux variétés (environ 180 KJ Mol⁻¹); ce qui indique la possibilité d'adopter une même température de blanchiment pour tous les cultivars.

Par ailleurs, la POD est très rapidement inactivée au cours des 5 premières minutes de blanchiment, quelle que soit la température de traitement.

La teneur en phénols totaux diminue durant le blanchiment, jusqu'à 40 % du taux initial après 20 mn de traitement, quelle que soit la température appliquée. L'indice de brun de l'amala apparaît lié, d'une part, à la teneur en phénols totaux de la farine ($r=0,84$) et d'autre part, à l'activité initiale de la POD du tubercule frais ($r=0,75$).

Les extraits phénoliques issus des farines renferment essentiellement des flavanols et des composés cinnamiques. Aucun pic correspondant aux anthocyanidines n'a été détecté à 520 nm dans ces échantillons. Parmi la quinzaine de composés phénoliques identifiés à 320 nm par HPLC, trois (3) composés majeurs appartiennent à Deba et quatre (4) à Florido. Ceux-ci représentent plus de 70 % de l'aire des composés cinnamiques. De même, une dizaine et une vingtaine de flavanols ont été observés (280 nm) respectivement chez Deba et chez Florido. Parmi ces flavanols, quatre pics majeurs représentent près de 50 % de l'aire des flavanols pour chacune des deux variétés. La catéchine (flavanol) et l'acide férulique (acide cinnamique) ont été identifiés au niveau des deux variétés. Deba renferme 0,26 µM/g ms de catéchine (14,6 % des phénols totaux) alors que Florido en contient 0,41 µM/g ms (11,7 % des phénols totaux). De même, Deba contient 0,03 µM/g ms d'acide férulique et Florido 0,037 µM/g ms. Un autre composé cinnamique majeur observé à 32 mn est présent dans les huit variétés de *D. rotundata* mais absent dans le cultivar Florido de *D. alata*.

L'aire du pic détecté à 17,1 mn (à 320 nm) chez l'igname fraîche et les indices de brun de la farine de cossettes et de l'amala sont liés. Ce pic semble être l'un des précurseurs des corps bruns de l'amala. De même, les aires des pics observés à 9 mn et à 11,3 mn pour la farine des cossettes apparaissent liées à l'indice de brun de l'amala. Ces composés semblent également jouer un rôle dans le brunissement de l'amala.

- Evaluation des paramètres de texture des produits

La variété affecte significativement le pouvoir de gonflement et la solubilité des farines issues des cossettes d'igname au cours de la cuisson : la variété Kagourou possède le pouvoir de gonflement le plus élevé alors que Banioure présente la plus forte solubilité.

Article 4

HOW BLANCHING AND DRYING AFFECT THE COLOUR AND
FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF YAM (*Dioscorea cayenensis-
rotundata*) FLOUR¹

Auteurs : Akissoé Noël, Hounhouigan Joseph, Mestres Christian, Nago Mathurin

Publié dans «*FOOD CHEMISTRY*» 82 (2003), pp. 257-264

HOW BLANCHING AND DRYING AFFECT THE COLOUR AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF YAM (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) FLOUR²

Akissoé Noël^a, Hounhouigan Joseph^{a*}, Mestres Christian^b, Nago Mathurin^a

^aFaculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi, 01BP 526 Cotonou, Bénin

^bCIRAD-CA, Programme Cultures Alimentaires, TA 70/16, 73 Avenue JF Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

ABSTRACT

Colour and texture are important features of amala, a traditional thick paste obtained from dry yam flour. Tubers from eight yam cultivars were blanched at 65°C for 20 min and dried at 40°C for 5 days to test biochemical, thermal and pasting changes occurring during traditional yam flour processing. Blanching reduced peroxidase activity and drying reduced polyphenoloxidase activity, but total phenol content and the brown index of flour and of amala increased dramatically during the latter operations. The brown index of amala was significantly correlated with the total phenol content of the flour ($r = 0.84$) and the peroxidase activity of the fresh tubers ($r = 0.75$). Amylose content and starch gelatinization enthalpy remained stable. For all cultivars, drying significantly increased the onset gelatinization temperature, suggesting the occurrence of starch annealing. The latter leads to a reduction in swelling power and solubility during pasting, and hence to a lower paste viscosity.

Keywords : Yam; Phenols; Polyphenoloxidase; Peroxidase; Parboiling; Viscosity

² accepted 18 November 2002

* Corresponding author : Fax. +229-36-01-22.

e-mail adresse : hounjos@syfed.bj.refer.org (J. Hounhouigan)

1. INTRODUCTION

Yams (*Dioscorea* spp) are an important source of carbohydrate for many people of the Sub-Saharan region, especially in the yam zone of West Africa. To overcome the high perishability of fresh yam tubers due to their high moisture content and the seasonal nature of their production, in some West African countries (Benin and Nigeria) yams are processed into flour using a well established method. Tubers are peeled, sometimes sliced, blanched in hot water (around 65°C for 15 to 50 min) and sun-dried (Akissoé, Hounhouigan, Bricas, Vernier, Nago & Olorunda, 2001). The resulting dried tubers or chips are then milled into flour, which is used to make a thick paste known as "amala" with a different sensory quality from that of pounded yam (Ajibola, Abonyi & Onayemi, 1988). The main quality attributes of amala are texture and colour (Hounhouigan, Kayode, Bricas & Nago, 2002), which may be affected by yam cultivar characteristics and/or by processing conditions.

The flesh of the yam species used is white whereas the colour of the processed flour ranges from creamy white to dark brown. The discoloration phenomenon has long been studied on fresh tubers and has mainly been associated with enzymatic browning due to the action of polyphenoloxidase (Ozo, Caygill & Coursey, 1984; Almenteros & Del Rosatio, 1985) and peroxidase (Asemota, Wellington, Odutuga & Ahmad, 1992) and to the production of polyphenols and derived products (Osagie & Opoku, 1984). Various phenolic constituents have been reported to be responsible for the discoloration of edible yams: catecholamine was first suspected (Franklin & Ruth, 1972), then cyanidin-3-glucoside (Rasper & Coursey, 1967; Imbert & Seaforth, 1968), while Ozo *et al.* (1992) reported (+)catechol and procyanidin oligomers as contributing to the discoloration of *D. alata* (Ozo *et al.*, 1984). In the case of dried yam flour and amala, Mestres, Dorthe, Akissoé & Hounhouigan (2002) reported a close positive correlation between the amala brown index and the total phenol content of the flour. Izundu (1995), on the other hand, pointed out the role of peroxidase in amala browning. The actual contribution of polyphenoloxidase and peroxidase to amala discoloration is, however, still unknown: polyphenoloxidase activity can be partly inactivated during blanching at 65°C (Ozo & Caygill, 1985), and polyphenoloxidase and peroxidase activities are nearly nil in yam flour (Mestres *et al.*, 2002).

In addition, changes in pasting properties occurring during blanching and drying have not been fully investigated, although they have been identified as an essential and critical stage of yam chip processing (Ige & Akintunde, 1981; Akissoé *et al.*, 2001).

The aim of this work was to assess the changes in colour and pasting behaviour occurring during blanching and drying using various yam cultivars and to investigate the physicochemical bases for these changes.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Plant material

Eight cultivars of *Dioscorea cayenensis-rotundata* (*Baniouré*, *Deba*, *Gnidou*, *Kagourou*, *Porchekbim*, *Tam-sam*, *Terlunto*, *Yakarango*) were obtained from the International Institute of Tropical Agriculture (IITA-Benin). According to farmers, five of them (*Deba*, *Kagourou*, *Porchekbim*, *Tam-sam*, *Yakarango*) are very suitable for processing into dry yam chips, two are (*Baniouré*, *Gnidou*) very unsuitable and one (*Terlunto*) is moderately suitable (Dansi, 2001). The yam tubers were harvested in the first half of December 2000 and processed one week after harvesting.

2.2. Experimental design

The tubers (5-7 for each cultivar) were hand-peeled in a water bath (28-30°C) and sliced into 30 mm thick cylinders using a cutting box. One sample of slices (referred to as A) was freeze-dried and used as a control to assess the physicochemical characteristics of the raw material. The remainder (B) was blanched in a thermostat-controlled water bath set at 65°C for 20 min, then equilibrated in water at 28-30°C for 5 min. The blanched slices were divided into two groups (B1 and B2). Group B1 was freeze-dried and used to assess the effect of blanching. Group B2 was dried in a forced air oven at 40°C for 5 days to assess the effect of drying. Each group (A, B1, B2) was crushed in a mortar, then ground in a laboratory centrifuge mill (Retsch, Haan, Germany) fitted with a 0.2 mm screen. The flour was then stored at 4°C until analysis.

2.3. Methods

2.3.1. Physicochemical characterisation of fresh tubers

The fresh tubers were weighed, their dimensions were measured with a Vernier caliper and their volume was determined by millet displacement. In each case, a mean value was calculated for eight tubers of each cultivar. The dry matter content of the fresh tubers was measured after drying 10 g yam pieces at 105°C for 48 hours. The mean value of three tubers of each cultivar was calculated.

L'enthalpie de gélatinisation, la température au début de la gélatinisation et la viscosité finale à 50 °C sont similaires pour tous les cultivars, avec respectivement des moyennes de 12,1 J/g, 72 °C et 151 URV. Ainsi, l'enthalpie de gélatinisation et la température au début de la gélatinisation se sont révélées comme des paramètres non discriminants des cultivars d'igname.

Les paramètres de viscosité de l'amala décroissent au fur et à mesure qu'augmente la durée de stockage du tubercule frais; ce qui affecte la texture de ce produit. En outre, les deux types de traitements pré-blanchiment des tubercules épluchés (exposé à l'air ou trempé dans l'eau) n'affectent pas de façon significative le pouvoir de gonflement, la solubilité et les viscosités des farines. En revanche, le trempage post-blanchiment diminue significativement le pouvoir de gonflement des farines au cours des deux premières heures de traitement.

Le séchage réduit significativement les viscosités des bouillies, le pouvoir de gonflement et la solubilité des farines au cours de la cuisson, mais il entraîne un accroissement de leur température de gélatinisation ; ceci s'explique par l'importance du recuit de l'amidon au cours du séchage.

La capacité de gonflement à 95°C et la solubilité de la farine au cours de la cuisson expliquent plus de 70% de la variabilité de la viscosité des farines de cossettes d'igname.

Tous les résultats présentés ci-dessus ont été valorisés sous forme de trois articles scientifiques. Le premier article étudie l'influence du blanchiment et du séchage sur la couleur des produits de cossettes d'igname et les caractéristiques fonctionnelles de l'amidon (Article 4). Le second aborde l'effet des traitements pré et post-blanchiment sur la qualité des cossettes et des deux produits dérivés (Article 5). Enfin, le troisième article étudie la cinétique du blanchiment et les bases biochimiques de la coloration de ces produits (Article 6). Les travaux réalisés ont permis ainsi de cerner le mécanisme de brunissement des produits au cours du processus de transformation des tubercules d'igname, de déterminer les facteurs responsables de la couleur puis de la texture de l'amala et de suivre leur évolution au cours du processus technologique

2.3.2. Polyphenoloxidase (PPO), peroxidase (POD) activity and total phenols (TP) content.

PPO, POD and TP were determined using the methods described by Mestres *et al.* (2002) measuring the oxygen consumption kinetic at 460 nm with catechol as substrate and the discoloration kinetic with an optical density at 760 nm after reaction with Folin reactive reagent.

2.3.3. Hunter Lab colour coordinates

The colour of the flours and the pastes (obtained with a Rapid Visco Analyser as described below) was measured using a Minolta CR-210 portable chromameter (illuminant D65 CIE 1976). The Hunter Lab colour coordinate system L^* , a^* and b^* values were recorded and the brown index was calculated as $(100-L^*)$.

2.3.4. Pasting behaviour

Pasting properties were determined using a Rapid Visco Analyser (RVA, Newport Scientific, Narrabeen, Australia) on 8 % dry matter suspensions. The suspension was heated from 35°C to 95°C at a rate of 6°C min⁻¹, maintained at 95°C for 4 min then cooled to 50°C at the same rate. Peak viscosity, viscosity at the start of the 95°C plateau (V95b), viscosity at the end of the 95°C plateau (V95e) and end viscosity after cooling to 50°C (V50) were measured.

2.3.5. Swelling power and solubility

The swelling power and solubility procedures described by Mestres, Nago, Akissoë & Matencio (1997) were modified, with a dry matter concentration of 4% (wb; 1.2 g of dry matter dispersed in distilled water to give a total mass of 28 g) being used. The suspension was heated from 35°C to 95°C at a rate of 6°C min⁻¹ and held at 95°C for 1 min using an RVA. The heated suspension was then centrifuged at 3,000 g for 15 min at ambient temperature.

2.3.6. Thermal behaviour

Amylose content and starch gelatinization properties were determined by differential scanning calorimetry on a Perkin Elmer DSC7 device (Perkin Elmer, Norwalk, USA) as described by Mestres, Matencio, Pons, Yajid & Fliedel (1996) and Mestres, Boungou, Akissoë & Zakhia, (2000).

2.4. Statistical analysis

Analysis of variance and correlation and regression analyses were performed using Statistcf software (ITCF, Boigneville, France).

3. RESULTS

3.1. Physicochemical characterisation of fresh tubers

Dry matter content ranged from 24.9 to 32.1 % (wb, Table 1). There was great heterogeneity in the weight and size of the fresh tubers: volume ranged from 202 mL for Tamsam to 955 mL for Gnidou. It should be noted that the lowest-rated cultivars (Banioure and Gnidou) had the largest tubers, at least twice the size of the others.

3.2. Contrasting behaviour of polyphenoloxidase and peroxidase activities and total phenols, during yam chip processing

Polyphenoloxidase (PPO) and peroxidase (POD) activities and total phenol (TP) content varied to a large extent with cultivar and unit operation (Tables 2 and 3). Fresh Gnidou and Banioure cultivars (cvs) showed contrasting behaviour for PPO and POD activities: Gnidou gave the highest values of PPO activity and Banioure the lowest, and conversely for POD activity. However, other cultivars (Porchekbim and Terlounto) had simultaneous high values of PPO and POD activities. PPO and POD showed contrasting behaviour depending on the unit operation: POD activity was significantly reduced during blanching (78% reduction in POD activity) whereas PPO was mainly reduced during drying. After drying, residual PPO and POD activities were at least one tenth of initial activities. TP content, on the other hand, increased significantly during drying (twice the initial value, Table 4) but did not vary significantly with cultivar.

Table 1.

Physicochemical characteristics of yam cultivars

| Yam cultivars Local name | Dry matter (% wb) | Weight (g) | Volume (ml) | Length (cm) | Head-Diameter (cm) | Tail-diameter (cm) |
|-----------------------------|----------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Baniouré | 27.4 | 725 | 830 | 34.3 | 6.3 | 5.9 |
| Deba | 26.3 | 381 | 385 | 23.0 | 4.3 | 4.1 |
| Gnidou | 28.3 | 1150 | 955 | 31.7 | 6.3 | 6.2 |
| Kagourou | 32.1 | 468 | 464 | 24.3 | 4.8 | 4.1 |
| Porchekbim | 30.3 | 313 | 324 | 20.7 | 4.8 | 3.8 |
| Tam-sam | 24.9 | 182 | 202 | 19.7 | 2.9 | 3.3 |
| Terlounto | 29.6 | 454 | 439 | 22.0 | 5.5 | 5.0 |
| Yakarango | 26.5 | 338 | 366 | 17.5 | 5.2 | 4.8 |

Table 2.

Effect of processing stage and yam cultivar on polyphenol oxidase activity ($\mu\text{M O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$)

| Yam cultivars (local name) | Freeze dried | | Oven dried |
|-------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| | Fresh slices | blanched slices | blanched slices |
| Banioure | 10.4 | 10.2 | 1.2 |
| Deba | 32.2 | 19.8 | 0.6 |
| Gnidou | 72.6 | 51.4 | 3.7 |
| Kagourou | 35.7 | 24.7 | 2.5 |
| Porchebim | 59.5 | 42.5 | 4.5 |
| Tam-sam | 13.6 | 11.0 | 1.1 |
| Terlunto | 33.2 | 25.6 | 1.2 |
| Yakarango | 25 | 21.8 | 2.8 |
| Mean ^a | 35.2a | 25.9a | 2.2b |
| Cultivar effect | | ** | |
| Single unit operation effect | | ** | |
| Standard error of residual | | 10.0 | |

^a Mean values with same letter belong to same homogeneous group at 5 % level

** Significant at 1% level

Table 3.

Effect of processing stage and yam cultivar on peroxidase activity ($\text{mDO s}^{-1} \text{ g}^{-1}$)

| Yam cultivars (local name) | Freeze dried | | Oven dried |
|-------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| | Fresh slices | blanched slices | blanched slices |
| Banioure | 384 | 45 | 5 |
| Deba | 148 | 49 | 28 |
| Gnidou | 119 | 98 | 50 |
| Kagourou | 143 | 47 | 43 |
| Porchebim | 286 | 29 | 13 |
| Tam-sam | 269 | 25 | 12 |
| Terlunto | 276 | 47 | 20 |
| Yakarango | 187 | 48 | 6 |
| Mean ^a | 226 a | 49 b | 22 b |
| Cultivar effect | | ns | |
| Single unit operation effect | | ** | |
| Standard error of residual | | 61 | |

^a Mean values with same letter belong to same homogeneous group at 5 % level

** Significant at 1% level

ns, non
significant

Flour obtained after blanching and oven-drying had colour index mean values of 25, -0.8 and 17 for the brown, red and yellow indexes respectively. After cooking, pastes had colour index mean values of 54, 0.5 and 10. Amala is indeed a greyish paste, and the brown index is the most representative colour index (Mestres et al., 2002). There was a significant correlation between the brown index of flour and that of corresponding amala. Because of this, mainly the brown index of amala will be discussed. The brown index did not vary significantly with the yam cultivar used (Table 5). However, it increased significantly with drying (from 41.9 to 54.0 for the cultivar mean value) whereas blanching had no significant effect. A correlation was observed between the brown index of amala and the total phenol content of the oven-dried flour ($r = 0.84$, Table 6) and between the brown index of amala and the peroxidase

Table 4.

Effect of processing stage and yam cultivar on total phenolic content ($\mu\text{M g}^{-1}$ db)

| Yam cultivars (local name) | Freeze dried | | Oven dried |
|-------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| | Fresh slices | blanched slices | blanched slices |
| Banioure | 2.0 | 1.4 | 10.7 |
| Deba | 1.2 | 2.0 | 2.6 |
| Gnidou | 2.3 | 2.8 | 3.0 |
| Kagourou | 2.0 | 2.2 | 1.9 |
| Porchek'ou | 2.3 | 3.0 | 5.2 |
| Tam-sam | 2.9 | 3.1 | 9.1 |
| Terlunto | 2.3 | 2.6 | 3.5 |
| Yakarango | 2.3 | 2.6 | 2.4 |
| Mean ^a | 2.2 b | 2.5 b | 4.8 a |
| Cultivar effect | | ns | |
| Single unit operation effect | | * | |
| Standard error of residual | | 2 | |

^a Mean values with same letter belong to same homogeneous group at 5 % level

*Significant at 5% level ns : non significant

activity of the fresh freeze-dried flour ($r = 0.75$). In contrast, the yellow index of amala decreased when the total phenol content of oven-dried flour and the peroxydase activity of fresh freeze-dried yam increased. No significant correlation was found between PPO activity and the flour or amala colour indexes.

Table 5.

Browning index of paste from yam cultivar at different processing stages

| Yam cultivars (local name) | Freeze dried | | Oven dried |
|-------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| | Fresh slices | blanched slices | blanched slices |
| Banioure | 35.0 | 32.9 | 63.0 |
| Deba | 54.0 | 54.6 | 54.8 |
| Gnidou | 49.2 | 39.0 | 48.4 |
| Kagourou | 43.4 | 43.4 | 47.9 |
| Porchekbim | 44.7 | 40.7 | 60.9 |
| Tamsam | 40.5 | 44.1 | 61.6 |
| Terlunto | 38.4 | 39.0 | 52.2 |
| Yakarango | 47.7 | 41.3 | 43.0 |
| Mean ¹ | 44.1 a | 41.9 a | 54.0 b |
| Cultivar effect | | ns | |
| Single unit operation effect | | ** | |
| Standard error of residual | | 6.6 | |

¹ Mean values with same letter belong to same homogeneous group at 5 % level

** Significant at 1% level ns, non significant

Table 6

Correlation between colour indexes of amala and some biochemical characteristics of yam flours

| | Polyphenol oxidase activity of flour | | | Peroxidase activity of flour | | | Total phenol content of flour | | |
|---------|--------------------------------------|--------------|------------|------------------------------|--------------|------------|-------------------------------|--------------|------------|
| | Fresh | blanched | blanched | Fresh | blanched | blanched | Fresh | blanched | blanched |
| | freeze dried | freeze dried | oven dried | freeze dried | freeze dried | oven dried | freeze dried | freeze dried | oven dried |
| 100 - L | -0.29 | -0.32 | -0.25 | 0.75* | -0.53 | -0.45 | 0.11 | -0.12 | 0.84** |
| a | -0.16 | -0.28 | -0.47 | 0.05 | -0.21 | 0.15 | -0.41 | -0.27 | 0.33 |
| b | 0.45 | 0.41 | 0.03 | -0.86** | 0.70 | 0.77* | -0.31 | 0.09 | -0.85** |

*Significant at 5% level

** Significant at 1% level

Table 7.

Gelatinization properties of fresh freeze-dried and blanched freeze- and oven-dried yam slices

| Yam cultivars (local name) | Onset temperature (°C) | | | Enthalpy change (J g ⁻¹ db) | | |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|--|--------------------------|------------------------|
| | fresh freeze-dried | blanched freeze-dried | fresh oven-dried | fresh freeze-dried | blanched freeze-dried | blanched oven-dried |
| Banioure | 74.5 | 73.9 | 75.0 | 12.7 | 12.8 | 10.9 |
| Deba | 72.2 | 72.8 | 74.7 | 11.7 | 10.8 | 11.3 |
| Gnidou | 73.4 | 72.8 | 73.7 | 11.9 | 11.4 | 12.8 |
| Kagourou | 71.5 | 71.6 | 74.6 | 12.5 | 12.8 | 13.5 |
| Porchebim | 71.9 | 72.9 | 74.3 | 10.8 | 11.2 | 11.2 |
| Tam-sam | 71.5 | 73.2 | 74.3 | 12.2 | 11.9 | 9.6 |
| Terlunto | 71 | 72.7 | 73.7 | 12.9 | 13.3 | 12 |
| Yakarango | 71.6 | 72.9 | 75.4 | 11.8 | 13.5 | 14.4 |
| Mean ^a | 72.0 b | 72.8b | 74.5a | 12.1 | 12.2 | 12 |
| Cultivar effect | | ns | | | ns | |
| Single unit operation effect | | ** | | | ns | |
| Standard error of residual | | 0.7 | | | 0.9 | |

¹ Mean values with same letter belong to same homogeneous group at 5 % level

** Significant at 1% level ns: non significant

Table 8.

Correlation between starch physicochemical properties and viscosity of amala

| | V95b | V95e | V50 | Amylose content | Enthalpy change | Onset | Swelling |
|-----------------|---------|---------|---------|-----------------|-----------------|-------|----------|
| V95b | 1 | | | | | | |
| V95e | 0.95*** | 1 | | | | | |
| V50 | 0.96*** | 0.99*** | 1 | | | | |
| Amylose content | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 1 | | | |
| Enthalpy change | 0.13 | 0.18 | 0.18 | 0.36 | 1 | | |
| Onset | 0.34 | 0.32 | 0.31 | -0.08 | 0.01 | 1 | |
| Swelling | 0.81*** | 0.78*** | 0.80*** | 0.05 | -0.05 | 0.03 | |
| Solubility | 0.01 | -0.11 | -0.10 | -0.16 | -0.50* | 0.03 | 0.21 |

*Significant at 5% level

*** Significant at 0.1% level

Table 9.

End viscosity (V50, RVU) of paste from yam cultivars at different stages of processing

| Yam cultivars (local name) | Freeze dried | | Oven dried |
|-------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| | Fresh slices | blanched slices | blanched slices |
| Banioure | 164 | 150 | 16 |
| Deba | 150 | 145 | 77 |
| Gnidou | 163 | 156 | 73 |
| Kagourou | 130 | 194 | 156 |
| Porchekbim | 140 | 89 | 20 |
| Tamsam | 149 | 145 | 27 |
| Terlunto | 161 | 200 | 106 |
| Yakarango | 152 | 150 | 142 |
| Mean ^a | 151 a | 154 a | 77 b |
| Cultivar effect | | ns | |
| Single unit operation effect | | ** | |
| Standard error of residual | | 33 | |

^a Mean values with same letter belong to same homogeneous group at 5 % level

*Significant at 5% level ns : non significant

3.3. Effect of parboiling and drying on yam starch characteristics

Amylose content was not affected by either unit operation but varied significantly with yam cultivar. Three groups were distinguished: Banioure, with the lowest amylose content (16.6% db); Gnidou, with the highest (22.5% db); and the other cultivars, with an amylose content of between 18.0 and 20.3% db. The starch gelatinization onset temperature was significantly affected by unit operations (Table 7). Oven-dried yam slices had a higher onset temperature than freeze-dried samples (mean values: 74.5°C and around 72°C respectively). The cultivar effect was significant only at the 10% level. Banioure cv had the highest value (74.5°C) and Terlunto the lowest (71.0°C). On the other hand, neither blanching at 65° C for 20 min nor drying at 40°C for 5 days significantly affected gelatinization enthalpy, which had a mean value of 12.1 J.g⁻¹ DM.

All viscosity parameters (Peak, V95b, V95e, V50) were closely correlated (Table 8) and results for paste viscosities at 50°C (V50) will be mainly discussed. Oven-drying lowered V50 significantly (from 154 RVU to 77 RVU, Table 9) whereas blanching had no significant effect. Some cultivars appeared more sensitive to this change than others (the oven dried Banioure end viscosity was one tenth of that of the freeze-dried sample, whereas that of Yakarango in particular did not vary greatly with processing).

Both cultivar and processing were observed to have a significant effect on the swelling power and solubility of yam flour during pasting (Table 10). Kagourou had the highest swelling power and Banioure and Tamsam the highest solubility. Oven-drying drastically reduced swelling power. Swelling power was significantly and positively correlated with the viscosity variables (Table 9): the correlation coefficient was for example of 0.80 between swelling power and V50 (Figure 1). Multiple regression analysis showed that swelling power and solubility could explain 71% of the variability in end viscosity, V50, (Figure 2) according to the model:

$$V50_{\text{calculated}} = 4.0 + 17.9 \times \text{swelling power} - 8.7 \times \text{solubility}.$$

Table 10.

Swelling power and solubility of yam flours at different processing stages

| Yam cultivars (local name) | Swelling power (g g ⁻¹) | | | Solubility (mg ml ⁻¹) | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|
| | Fresh freeze dried | blanched freeze dried | blanched oven dried | Fresh freeze dried | blanched freeze dried | blanched oven dried |
| Banioure | 13.4 | 12.8 | 8.7 | 13.1 | 14.0 | 12.9 |
| Deba | 13.1 | 12.1 | 7.6 | 11.2 | 12.1 | 11.2 |
| Gnidou | 13.3 | 14.2 | 9.8 | 11.0 | 10.7 | 7.3 |
| Kagourou | 15.5 | 14.8 | 11.5 | 12.9 | 9.8 | 8.9 |
| Porchekbim | 15.8 | 14.4 | 8.6 | 12.9 | 9.8 | 11.0 |
| Tam-sam | 13.5 | 13.3 | 8.8 | 13.1 | 13.8 | 12.9 |
| Teriunto | 13.3 | 15.2 | 10.4 | 12.2 | 12.9 | 11.2 |
| Yakarango | 13.5 | 14.5 | 11.4 | 11.5 | 13.1 | 8.9 |
| Mean ^a | 14.1 a | 13.9 a | 9.6 b | 12.3 | 12.1 | 10.0 |
| Cultivar effect | | * | | | * | |
| Single unit operation effect | | ** | | | * | |
| Standard error of residual | | 0.9 | | | 1.3 | |

^a Mean values with same letter belong to same homogeneous group at 5 % level

** Significant at 1% level

* Significant at 5% level

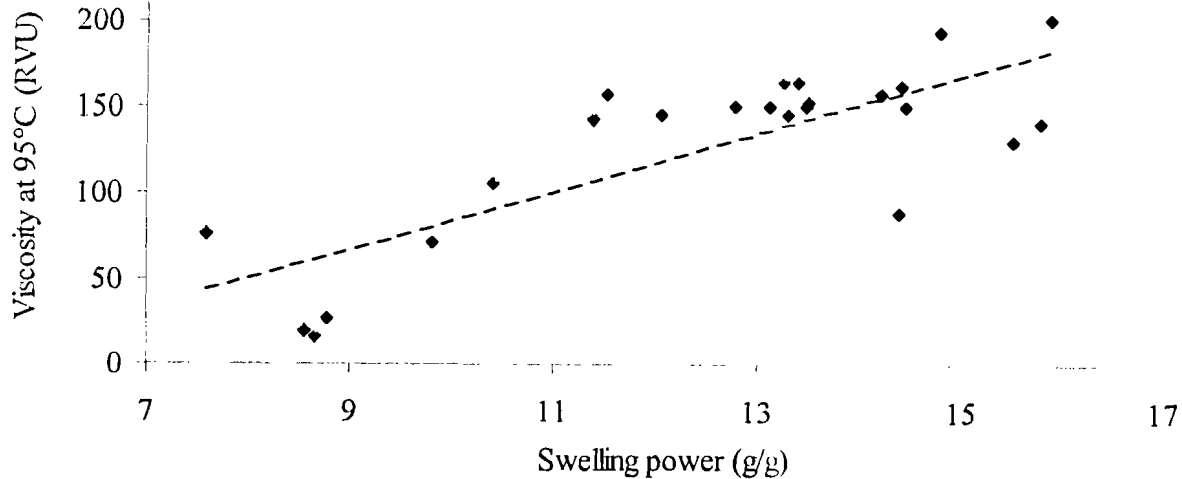


Figure 1. Relation between viscosity at the start of the 95 °C plateau and swelling power

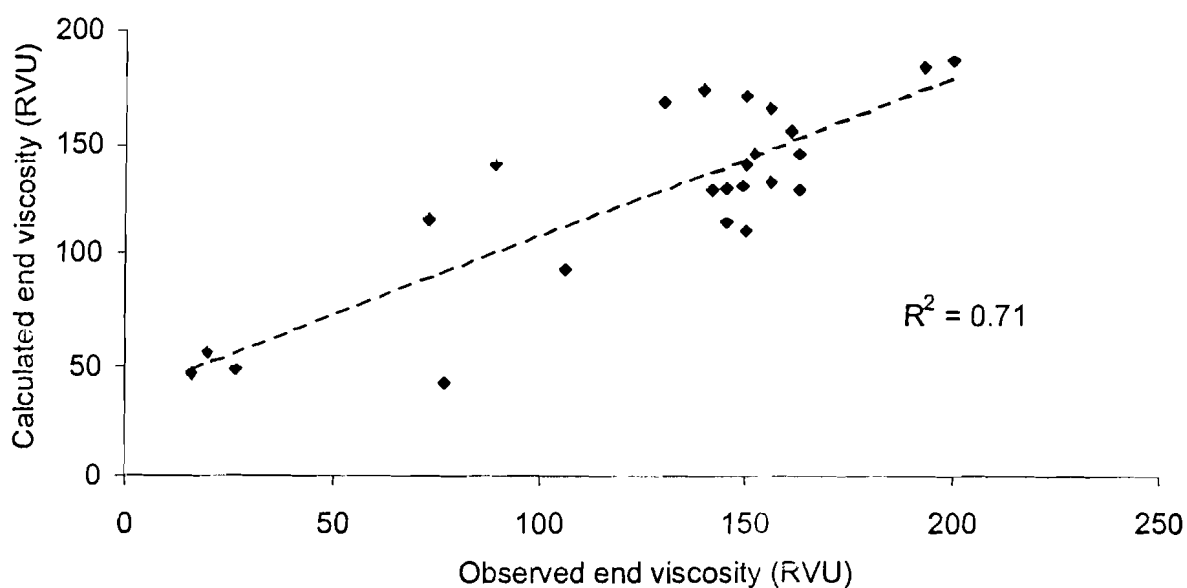


Figure 2. Relation between observed and calculated end viscosity

5. DISCUSSION

PPO and POD activities of the fresh freeze-dried samples were within the range reported by Mestres *et al.* (2002): 10-50 $\mu\text{M O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ and 60-600 $\text{mOD s}^{-1} \text{ g}^{-1}$. The lack of effect of blanching at 65°C for 20 min on PPO activity was consistent with results of Ikediobi & Obasuyi, (1982) and Yang, Fujita, Ashrafuzzaman, Nakamura & Hayashi (2001a,b) who showed that 80 % of PPO activity remained after 10 min at 70°C and that PPO was stable at

60°C for up to 30 min. On the other hand, the drop in PPO activity observed after oven-drying at 40°C for five days was in agreement with results of Omidiji & Okzupor (1996) and of Ikediobi and Obasuyi (1982), who revealed that PPO activity fell drastically after storage at 40°C for 4-12 hours or at room temperature for two weeks. This must be linked to a long-term PPO degradation mechanism. On the other hand, POD appeared sensitive to heat and was almost completely inactivated after 20 min at 65°C.

The total phenol content of the oven-dried samples was slightly higher than the values (0.5-2.5 $\mu\text{M g}^{-1}$ db) obtained by Mestres *et al.* (2002). Total phenol content increased during drying (Table 4). During this operation, peroxidase activity was low (between 49 mDO $\text{s}^{-1}\text{g}^{-1}$ at the start of drying and 22 mDO $\text{s}^{-1}\text{g}^{-1}$ at the end of drying, Table 3) while PPO activity decreased dramatically (from 25.9 $\mu\text{M O}_2 \text{min}^{-1}\text{g}^{-1}$ to 2.2 $\mu\text{M O}_2 \text{min}^{-1}\text{g}^{-1}$, Table 2). This tends to indicate that phenol production was not dependent on enzymatic activity. However, the phenol content of the oven-dried flour was highly and positively correlated with the POD activity of the fresh tubers (Table 6). This suggests a two-step reaction mechanism leading to an increase in the total phenol content of yam flour. The first step, occurring before blanching is completed, would be mainly POD-dependent and lead to phenol precursors, while the second, occurring during drying, would be a long-term non-enzymatic phenomenon. A similar scenario was observed with the brown index of flour and amala. This is partly consistent with the results of Omidiji & Okpuzor (1996), who showed that yam browning was partly enzymatic (40%) and partly non-enzyme-mediated. However, these authors worked on fresh tubers and PPO activity. In any event it appears clear that the browning of amala is linked to the total phenol content of the flour ($r = 0.84$), which is dependent on POD activity in the fresh tubers ($r = 0.75$), while PPO activity was not found to be significantly involved. In addition, the increase in discoloration when flour is being cooked to prepare amala should be linked to thermal degradation of originally colourless complex phenolics (proanthocyanidins and lignins) to coloured phenols (anthocyanidins, Swain & Hillis, 1959).

The stability of starch gelatinization enthalpy during processing is consistent with the low blanching temperature (65°C) in comparison to the high gelatinization temperature of yam starch (72°C). However, the lack of gelatinization during laboratory blanching at 65°C is in contradiction with the 35% gelatinized starch measured in yam flour sold in the markets (Akissoé *et al.*, 2001), which is normally processed at the same temperature. This shows the great variation in blanching temperature in the production of traditional yam flour for market. The stability of the amylose content during processing indicates that there is no significant leaching of amylose during blanching, probably due to lack of gelatinization. The increase in

the onset temperature during drying must be linked to starch annealing, which can be observed after starch has been steeped for several hours at 55°C or for several days at 35°C (Nakazawa, Noguchi, Takahashi & Takada, 1984; Mestres *et al.*, 2000). Annealing is a long-term water-dependent phenomenon that can occur during the first step of drying at 40°C for 5 days. At the same time, annealing can explain the low swelling power and solubility of the dried samples.

Amala viscosity depends first on swelling power and second on solubility (Table 8 and Figures 1 and 2). This confirmed previous results obtained by Mestres *et al.* (1997) on maize paste. Hence, amala viscosity decreases after oven drying at the same time as swelling power decreases due to starch annealing. Starch swelling power and solubility play also a determinant role in the firmness of tô (Fliedel, 1994), a sorghum thick paste with similar texture to amala. This suggests that processing, primarily drying, should have some effect on amala texture. The question will be investigated in further studies.

There is no direct relationship between cultivar ratings by farmers and objectively measured parameters such as the brown index and paste viscosity of amala. The lowest-rated cultivars (Banioure and Gnidou) had no particular behaviour associated with them for these parameters (Tables 5 and 8). They do, however, have the largest tubers (Table 1), and this may well make drying long and hard when traditional sun-drying is involved. The problem was not apparent in our study as the tubers were cut into 30 mm thick slices.

Finally, this study showed the effectiveness of blanching in reducing POD activity and hence the browning potential of the product, although product stabilization by long-term drying induces non-enzymatic browning. Long-term drying additionally leads to a lower pasting viscosity and probably also affects amala texture.

Acknowledgements

The authors thank the European Union for funding this research work, which is part of the INCOYAM Project ERB IC18-CT98-0302. They also thank Mr. G. Evans for his assistance with the English.

References

Ajibola, O. O., Abonyi, B. I., and Onayemi, O. (1988). The effect of some processing variables on the dehydration of pregelled yam pieces. *Journal of Food Science and*

Article 5

Effect of tuber storage and pre- and post-blanching treatments
on the physicochemical and pasting properties of dry yam flour

Auteurs : Noël Akissoe, Joseph Hounhouigan, Christian Mestres, Mathurin Nago

Accepté pour publication dans «FOOD CHEMISTRY»

Technology 25 (3), 117-120.

- Akissoé, N., *et al.* (2001). Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam (*Dioscorea rotundata*) tubers, flour, and "amala" a flour-derived product. *Tropical Science* 41 , 151-155.
- Almenteros, V. P., and Del Rosatio, R. R. (1985). Phenolic content and polyphenoloxidase activity related to browning in yam (*Dioscorea alata* Linn.). *The Philippine Agriculturist* 68 , 449-452.
- Asemota, H. N., Wellington, M. A., Odutuga, A. A., and Ahmad, M. H. (1992). Effect of short-term storage on phenolic content, o-diphenolase and peroxidase activities of cut yam tubers (*Dioscorea* sp). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 60 , 309-312.
- Dansi, A. (2001). Collecte et caractérisation des ignames cultivées du complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata* du Bénin, Université d'Abidjan, Abidjan (CI).
- Fliedel, G. (1994). Evaluation de la qualité du sorgho pour la fabrication du tô. *Agriculture et Développement* 4, 12-21.
- Franklin, W. M., and Ruth, R. (1972). Yams (*Dioscorea* spp.) for production of french fries and French fries. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 56 , 228-234.
- Hounhouigan, D. J., Kayode, A. P., Bricas, N., and Nago, M. C. (2002). Les caractéristiques culinaires des ignames recherchées en milieu urbain au Bénin. Accepted for publication in *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin* .
- Ige, M. T., and Akintunde, F. O. (1981). Studies on the local techniques of yam flour production. *Journal of Food Technology* 16 , 303-301.
- Ikediodi, C. O., and Obasuyi, H. N. (1982). Purification and properties of o-diphenolase from white yam tubers. *Phytochemistry* 21 (12), 2815-2820.
- Imbert, M. P., and Seaforth, C. (1968). Anthocyanins in *Dioscorea alata* L. *Experientia* 24 (5), 447-449.
- Izundu, A. I. (1995). Peroxidase activity and inhibition of browning reaction in *Dioscorea dumetorum* tubers. *Journal of root crops* 21 (1), 12-16.
- Mestres, C., Bounou, O., Akissoé, N., and Zakhia, N. (2000). Comparison of the expansion ability of fermented maize flour and cassava starch during baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80 , 665-672.
- Mestres, C., Dorthe, S., Akissoé, N., and Houhouigan, J. (2002). Prediction of sensorial properties (colour and taste) of amala, a paste from yam chip flour of West Africa, through flour biochemical properties. Submitted to *Plant Foods for Human Nutrition* .

Effect of tuber storage and pre- and post-blanching treatments on the physicochemical and pasting properties of dry yam flour

Noël Akissoe^a, Joseph Hounhouigan^{a*}, Christian Mestres^b, Mathurin Nago^a

^aFaculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01BP 526 Cotonou, Bénin

^bCIRAD-CA, Programme Cultures Alimentaires, TA 70/16, 73 Avenue JF Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

Accepté pour publication (in press) dans «FOOD CHEMISTRY»

* Corresponding author: Fax: +229-36-01-22. E-mail address: hounjos@syfed.bj.refer.org (J.

Hounhouigan)

- Mestres, C., Matencio, F., Pons, B., Yajid, M., and Fliedel, G. (1996). A rapid method for the determination of amylose content by using Differential Scanning Calorimetry. *Starch* 48 (1), 2-6.
- Mestres, C., Nago, M., Akissoë, N., and Matencio, F. (1997). End use quality of some African corn kernels. 2. Cooking behavior of whole dry-milled maize flours; incidence of storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45 (3), 565-571.
- Nakazawa, F., Noguchi, S., Takahashi, J., and Takada, M. (1984). Gelatinization and retrogradation of rice starch studied by differential scanning calorimetry. *Agricultural and Biological Chemistry* 48 (1), 201-203.
- Omidiji, O., and Okzupor, J. (1996). Time course of PPO-related browning. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 70 , 190-196.
- Osagie, A. U., and Opoku, A. R. (1984). Enzymatic browning of yams (*Dioscorea* species). *Nigerian Journal of Biochemistry* (1), 25-29.
- Ozo, O. N., and Caygill, J. C. (1985). Some characteristics and a comparison of the activities of o-dihydroxyphenoloxidase from five yam (*Dioscorea* spp.) species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36 , 973-979.
- Ozo, O. N., Caygill, J. C., and Coursey, D. G. (1984). Phenolics of five yam (*Dioscorea*) species. *Phytochemistry* 23 (2), 329-331.
- Rasper, V., and Coursey, D. G. (1967). Anthocyanins of *Dioscorea alata* L. *Experientia* 23 (8), 611-612.
- Swain, T., and Hillis, W. E. (1959). The phenolics constituents of *prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 10 (1), 63-68.
- Yang, C.-P., Fujita, S., Ashrafuzzaman, M. D., Nakamura, N., and Hayashi, N. (2001a). Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa sapientium* L.) pulp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 , 2732-2735.
- Yang, C.-P., Fujita, S., Ashrafuzzaman, M. D., Nakamura, N., and Hayashi, N. (2001b). Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa sapientium* L.) peel. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 , 1446-1449.

ABSTRACT

In West Africa, yams are often processed into dry flour that is consumed as a thick paste (amala), the main quality attributes of which are colour, texture and taste. The traditional process consists of peeling, blanching and drying fresh tubers. The fresh tubers may also be stored for several months before processing. This study was undertaken to test whether fresh tuber storage and pre- and post-blanching treatments (1-hour storage of sliced fresh yam pieces in air or water and steeping in the blanching water, respectively) affect the physicochemical characteristics and pasting behaviour of dry yam flour produced from *D. rotundata* cultivars. Both pre-blanching treatments significantly reduced only peroxidase activity, while the post-blanching treatment significantly reduced polyphenoloxidase activity. Despite the effects on enzymatic activities, neither pre- nor post-blanching treatments had any significant effect on the amala brown index or the flour total phenol content. However, peak areas of three major cinnamic acid compounds detected by HPLC decreased continuously with steeping time after blanching, while fresh tuber storage led to a dramatic reduction in amala paste viscosity.

Keywords: yam, brown index, phenols, polyphenoloxidase, peroxidase, blanching, viscosity.

1. Introduction

Yam (*Dioscorea* spp) is one of the major staple foods in the Gulf of Guinea countries. To overcome the high perishability of fresh yam, a large proportion is processed into dry flour, mainly in Nigeria and Benin (Bricas *et al.*, 1997; Onayemi & Potter, 1974). Dried yam is less perishable and can be consumed throughout the year, mainly as a thick paste called amala (Akingbala *et al.*, 1995; Akissoe *et al.*, 2001). The main quality attributes of amala are colour, texture and taste. Most consumers prefer a brownish, elastic, non-sticky amala with a slightly sweet taste, while a slightly bitter taste is also tolerated (Akissoe *et al.*, 2001; Hounhouigan *et al.*, 2002; Mestres *et al.*, 2002).

Traditionally, tubers are processed at farm level by peeling, sometimes followed by slicing, blanching in hot water (at around 63-65°C for 15 to 50 min) and sun-drying. Recent studies (Akissoe *et al.*, 2001) have pointed out that yam cultivar characteristics and blanching and drying operations directly influence amala quality. Amala colour appears to be linked in particular to the total phenol content of the flour and to the peroxidase activity of the fresh yam tubers (Izundu, 1995; Akissoe *et al.*, 2002). In addition, some variations occur in the dry yam process. Because of the time required to peel tubers by hand, they are often kept in water or left on the ground before blanching. This may affect the colour of the yam as polyphenoloxidase (PPO) and peroxidase (POD) are active during this step (Ikediobi, Chelvarajan & Agwu, 1989). Preliminary research also indicated that yam tubers are sometimes stored overnight in the blanching bath before drying. PPO inactivation and the starch annealing process that occur during blanching may therefore continue during steeping, thus affecting amala quality (Akissoe *et al.*, 2002).

Furthermore, because of the volume of farm work during yam harvesting (which coincides with the harvesting of sorghum and cotton and with land cleaning), tubers are often stored on the farm for some weeks before being dried. Martin & Ruberté (1975) and Onayemi & Idowu (1988) reported that the levels of polyphenolic and glycoalkanoid substances in stored tubers increased and became concentrated in the head regions, to which they attributed the tendency of the latter to discolouration. Asemota Wellington, Odutuga & Ahmad (1992) observed that peroxidase and o-diphenolase activity increased during the third week of storage. Izundu (1995) also noted that yam flour prepared soon after harvesting did not display any significant browning because of negligible peroxidase activity. In contrast, polyphenoloxidase activity and starch content decreased with long-term storage and

polyphenoloxidase activity was low in old tubers (Ikediobi & Oti, 1983; Ravindran & Wanasundera, 1992; Adamson & Abigor, 1980).

The present study was undertaken to determine the changes that occur when peeled yam tubers are stored in air or water before blanching and/or are left to steep in the blanching bath, and to evaluate the effect of storage for a varying number of weeks on the colour and pasting properties of dry yam flour and paste.

2. Material and methods

2.1 Plant material

Experiments were conducted in 2001 and 2002 using two *Dioscorea rotundata* cultivars (*Deba* and *Banioure*). The tubers came from two different sources: the *Deba* tubers used for the storage experiment were obtained from the experimental station of the International Institute of Tropical Agriculture (IITA) in Southern Benin in December 2000. The other experiments were performed in 2002 using *Deba* and *Banioure* tubers purchased from farmers in Northern Benin in December 2001. Only tubers with no sign of damage or insect attack were selected for the experiments. Just after harvesting, the fresh tubers were cleaned of dirt and packed in a well-ventilated room on a platform 1 m above the floor. The temperature range and the relative humidity range of the storage room were 26-29°C and 55-80% respectively (Hygrothermograph, Model NSII-Q, Sato Keiryoki MFG Co. Ltd., Japan).

2.2. Experimental design

2.2.1. Effect of fresh tuber storage

A randomly selected batch of *Deba cv* tubers (about 5-6) harvested in 2000 was removed from the storage room after 7, 21, 35, 49, 63 and 91 days of storage. The tubers began sprouting after 70 days and the emerging sprouts were not broken off. Immediately after removal, each batch was peeled under water (25-27 °C) and cut into 30 mm thick slices using a cylinder

cutting box. About a third of the slices was freeze-dried as a control and the other two-thirds was blanched using a thermostatically controlled water bath set at 65°C for 20 min. The blanched slices were then equilibrated in water at 28-30°C for 5 min and freeze-dried. Each batch was then crushed in a mortar and milled in a laboratory centrifuge mill (Retsch Haan, Germany) fitted with a 0.2 mm screen. The flour obtained from each batch was then packed in a polyethylene bag and stored at 4°C until analysis.

2.2.2. Effect of pre- and post-blanching treatments

Deba and *Banioure cv* tubers harvested in 2001 were used for these experiments, which were performed 15 days after harvesting. For the experiment to determine the effect of storing peeled tubers before blanching, 3-4 tubers of each cultivar were peeled and sliced as described above. Each batch was left for one hour either in water or in the open air at ambient temperature (28-30 °C) before being processed as above.

The experiment to determine the effect of steeping in the blanching bath was performed on 5-6 tubers of each of cultivar, which were peeled and sliced as previously. The slices were then blanched at 65°C for 20 min and a control sample was removed and immediately freeze-dried. The remainder were steeped in the blanching bath (with the heater switched off) and samples were removed after 2h, 4h, 6h, and 12h. Each sample was immediately freeze-dried.

2.3. Methods

2.3.1 Enzymatic activity and total phenol determination

Polyphenoloxidase (PPO), peroxidase (POD), and total phenol (PT) content were determined using the methods described by Mestres et al. (2002), measuring the oxygen consumption and discoloration kinetics at 460 nm with catechol as substrate and optical density at 760 nm after reaction with Folin reagent.

2.3.2. Determination of phenolytic compounds by HPLC

HPLC analyses were carried out on an Altima C18 5U column (250mm x 4.6mm). The solvent system used was derived from that of Guyot, Marnet, Laraba, Sanoner & Drilleau (1998) and consisted of two solvents, solvent A (acetonitrile/acetic acid/water; 3/2.5/95.5) and solvent B (acetonitrile/acetic acid/water; 95.5/2.5/3). The gradient applied was: 0 min, 100% A, isocratic; 0-40 min, 70% A, linear; 40-43 min, 0% A, linear; 43-45 min, 0% A, isocratic; 45-48 min, 100% A, isocratic; 48-55 min, 100% A, isocratic. The detection was performed at 280 and 320 nm and recorded using Kroma System 2000 software (Bio-Tek Instruments). For sample preparation, 250 mg of yam flour was vigorously suspended in 1 mL methanol/HCl 1.5N (85/15, v/v) and stirred at ambient temperature (27-30 °C) for 30 min. The suspension was then centrifuged at 7,000 g for 5 min. The supernatant was filtered through 0.45 µm pore size filters and 100 µL was then injected onto the HPLC system.

2.3.3 Hunter Lab colour coordinates

The colour of the pastes (obtained with a Rapid Visco Analyser as described below) was measured using a Minolta CR-210 portable chromameter (illuminant D65 CIE 1976). The Hunter Lab colour coordinates system L*, a* and b* values were recorded and the brown index was calculated as (100-L*).

2.3.4. Pasting behaviour

Pasting properties were determined using a Rapid Visco Analyser (RVA, Newport Scientific, Narrabeen, Australia) on an 8% dry matter suspension. The suspension was heated from 35 °C to 95 °C at a rate of 6 °C min⁻¹, maintained at 95 °C for 4 min then cooled to 50 °C at the same rate. Peak viscosity, viscosity at the start of the 95 °C plateau (V95b), viscosity at the end of the 95 °C plateau (V95e) and end viscosity after cooling to 50 °C (V50) were measured.

2.3.5. Swelling power and solubility

The swelling power and solubility procedures described by Mestres, Nago, Akissoë & Matencio (1997) were modified, with a dry matter concentration of 4% (wb; 1.2 g of dry matter dispersed in distilled water to give a total mass of 28 g). The suspension was heated from 35 °C to 95 °C at 6 °C min⁻¹ and held at 95 °C for 1 min using a RVA. The heated suspension was then centrifuged at 3,000 g for 15 min at ambient temperature.

2.4 Statistical analysis

Analysis of variance and correlation and regression analyses were performed using Statitcf software (ITCF, Boigneville, France).

3 Results

3.1 Colour parameters and related compounds

Fresh freeze-dried *Deba* gave a higher amala brown index than *Banioure* (46.5 versus 41.0). It presented both a concomitantly higher total phenol content and concomitantly higher PPO and POD activities: 1.41 $\mu\text{M g}^{-1}$ gallic acid equivalent 25.3 $\mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1} [\text{O}_2]$ and 85 $\text{mDO min}^{-1} \text{g}^{-1}$ versus 0.85, 17.9 and 61 for *Deba* and *Banioure* respectively. The brown index and total phenol content were not significantly affected either by pre-treatment (slices exposed to air or left in water for one hour) or by blanching at 65°C for 20 min (Table 1) for both cultivars. PPO activity was not significantly affected by either method of pre-treatment but decreased by 60% after blanching. POD activity was significantly reduced by pre-treatment, whatever the method used (air or water), and also by blanching.

Table 1. Effect of air or water pretreatment on some physico-chemical characteristics of yam flours

| Sample | (mean values for <i>Deba</i> and <i>Banioure</i> cultivars) | | | | | | | |
|---------------------------|---|-----|---------------------------------------|-----|---|--------|---|------|
| | Brown index 100-L | | Total phenols $\mu\text{M g}^{-1}$ | | PPO activity $\mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1}$ [O ₂] | | POD activity $\text{mDO min}^{-1} \text{g}^{-1}$ | |
| | Water | Air | Water | Air | Water | Air | Water | Air |
| Control (not pre-treated) | 44 | | 1.1 | | 22.8 ab | | 96 a | |
| Pre-treated | 45 | 45 | 1.2 | 1.2 | 21.9 ab | 25.4 a | 41 b | 49 b |
| Pre-treated and blanched | 42 | 42 | 1.2 | 1.1 | 10.0 b | 10.1 b | 6 c | 8 c |
| SDR* | 1.7 | | 0.2 | | 3.0 | | 17 | |

Values in the same column with different letters are significantly different ($P < 5\%$)

* Standard deviation of the residual

Steeping after blanching had no significant effect on either the amala brown index or the flour total phenol content (Table 2). However, the total phenol content of the steeping water increased slightly over the first four hours and decreased thereafter: 0.9 $\mu\text{M mL}^{-1}$ equivalent gallic acid just after blanching, 1.7 $\mu\text{M mL}^{-1}$ after 4 hours of steeping and 0.7 μM

mL⁻¹ after 12 hours of steeping. PPO activity decreased significantly during steeping, particularly over the first two hours. POD activity was very low just after blanching and ceased completely after 2 hours.

Table 2. Effect of steeping time after blanching on some physico-chemical characteristics of yam flours

| (mean values for Deba and Banioure cultivars) | | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Steeping duration (H) | Brown index (100-L) | Total phenols $\mu\text{M g}^{-1}$ | PPO activity [O ₂] $\mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1}$ | POD activity mDO $\text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ |
| 0 | 43.0 | 1.12 | 10.2 a | 4.6 |
| 2 | 41.2 | 1.05 | 8.5 ab | 0 |
| 4 | 41.5 | 0.98 | 8.7 ab | 0 |
| 6 | 41.9 | 1.08 | 8.4 ab | 0 |
| 12 | 40.3 | 0.90 | 8.0 b | 0 |
| SDR* | 1.3 | 0.1 | 0.5 | 1.6 |

Values in the same column with different letter are significantly different (P < 5 %)

* Standard deviation of the residual

Two groups of polyphenolic compounds were evidenced on HPLC chromatograms of yam extracts, based on their maximum absorption wavelengths (λ_{max}): flavanols with a λ_{max} of around 280 nm and cinnamic acid compounds with a λ_{max} of around 320 nm. Only the results for cinnamic acid compounds are presented. Four major peaks were observed for *Deba* extracts with retention times of 17.1, 25.9, 27.6 and 32.2 min (Figure 1). The last three peaks decreased continuously with steeping time (Figure 2). The amala brown index increased from 50 to 52 when fresh tubers were stored for 3 weeks. It then decreased steadily to 47 after 13 weeks. No clear trend was observed in the evolution of the total phenol content during fresh tuber storage, whereas PPO and POD activities (Figure 3) showed a plateau between the fifth and ninth weeks of storage, then decreased when sprouting began (after 10 weeks).

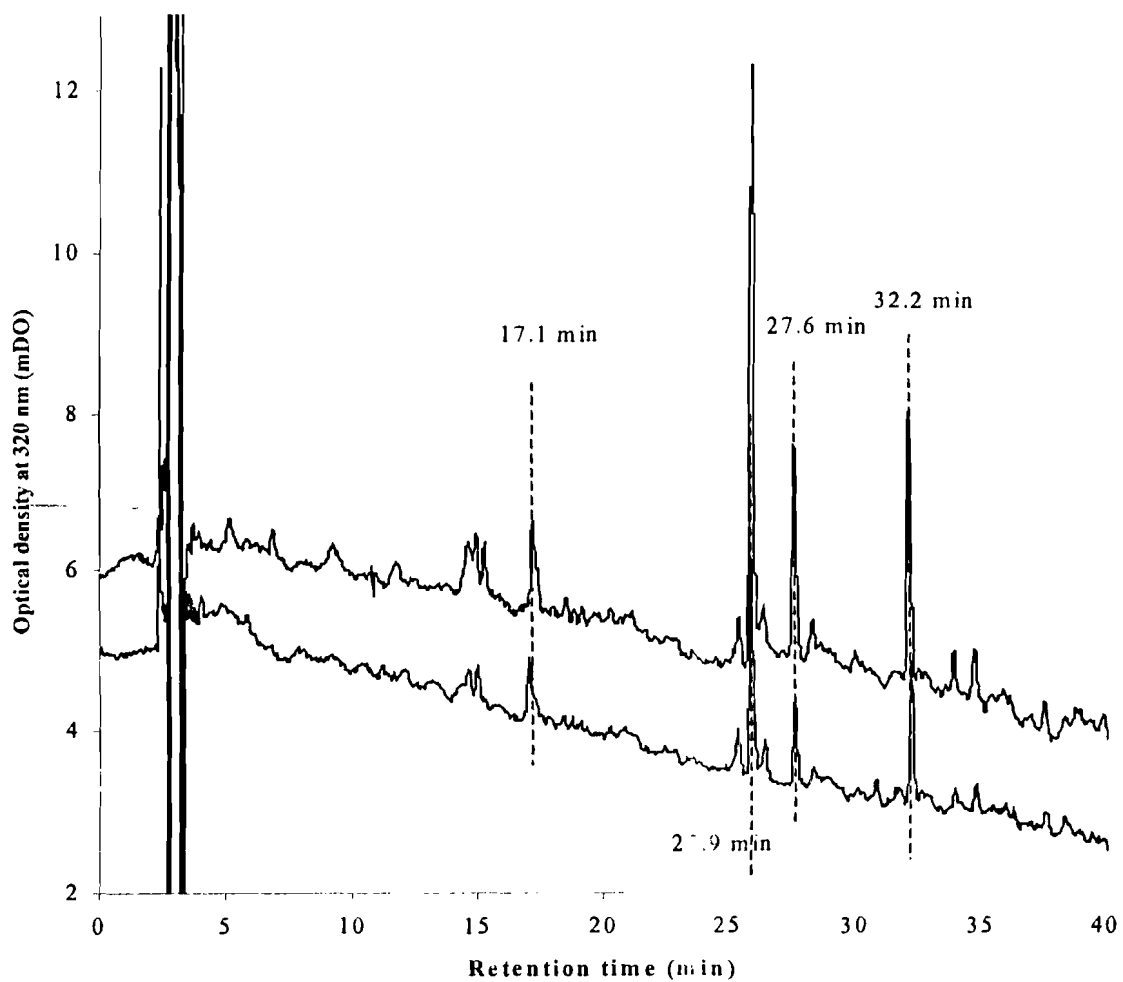


Figure 1. Chromatograms for Deba flour extracts after blanching (upper curve) and 12H steeping (lower curve)

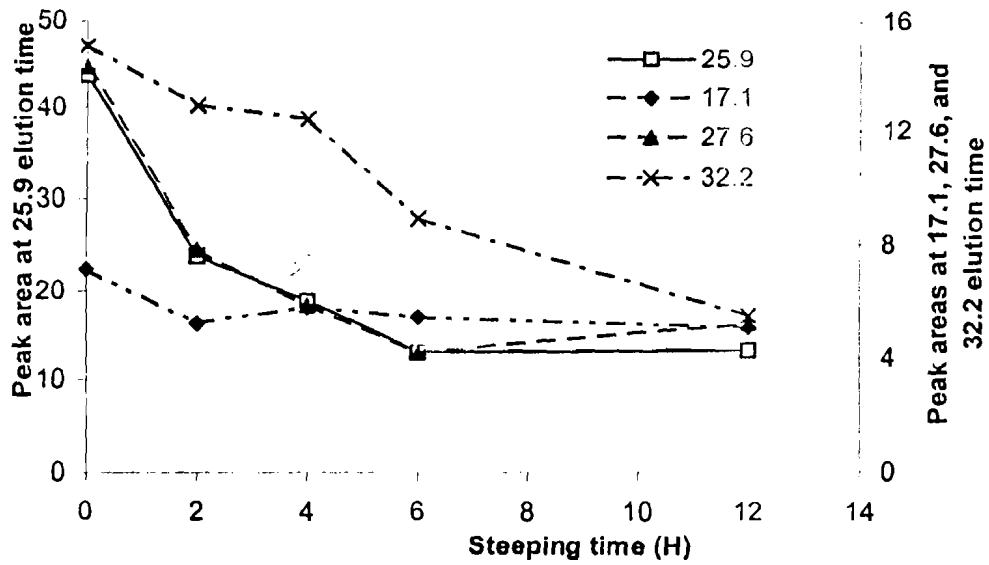


Figure 2. Effect of stepping time after blanching on peak areas measured at 320 nm by HPLC for Deba flour extracts

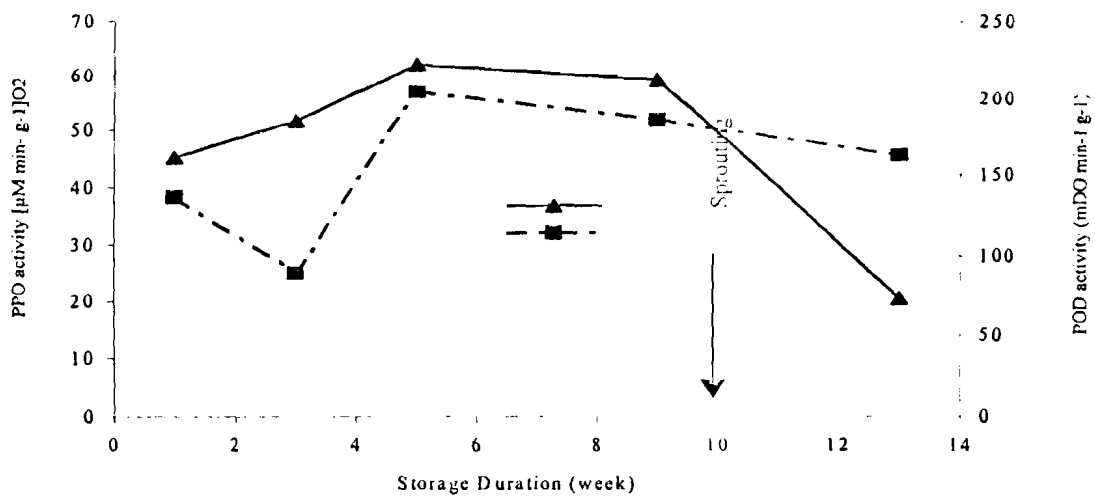


Figure 3. Effect of fresh tuber storage of Deba on PPO and POD activities

3.2 Pasting behaviour

Fresh freeze-dried *Deba* gave a paste with higher viscosities and a higher swelling power and solubility index than fresh freeze-dried *Banioure*: V50 and swelling power were 249 RVU and 20.0 g/g (db) for *Deba*, versus 221 RVU and 15.3 g/g (db) for *Banioure*. A significant pre-treatment effect was observed only on V50 for unblanched samples: yam exposed to air for 1 hour had a higher V50 value (Table 3). In addition, blanching significantly reduced the V95b and V50 values of the air-exposed samples. No significant difference was found between treatments as far as swelling power and solubility index were concerned.

Table 3. Effect of air or water pretreatment on pasting behaviour of yam flours (mean values for *Deba* and *Banioure* cultivars)

| | V _{peak} | | V _{95b} | | V ₅₀ | | Swelling power (g g ⁻¹) | | Solubility (mg ml ⁻¹) | |
|--------------------------|-------------------|-----|------------------|-------|-----------------|-------|-------------------------------------|------|-----------------------------------|-----|
| | Water | Air | Water | Air | Water | Air | Water | Air | Water | Air |
| Non pretreated (control) | 215 | | 205 a | | 235 b | | 17.7 | | 8.6 | |
| Pre-treated | 206 | 223 | 195 a | 210 a | 243 b | 263 a | 16.3 | 16.7 | 8.7 | 8.6 |
| Pre-treated and blanched | 204 | 171 | 174 ab | 149 b | 231 b | 220 b | 14.6 | 13.9 | 7.9 | 7.9 |
| SDR* | 12 | | 12 | | 6 | | 1.0 | | 0.7 | |

Values of any viscosity parameter with a different letter are significantly different (P < 5 %)

We could not evidence any significant effect on paste viscosities at the 5% level of steeping time. However, V_{95b} decreased with steeping time (from 180 to 149 RVU within 12 hours), the effect being significant only at the 7% level (Table 4). Swelling power decreased from 15.9 g g⁻¹ to 14.2 g g⁻¹ after 2 hours of steeping then remained virtually constant. In addition, it was observed that the steeping water became turbid and creamy as a result of matter loss. Paste viscosity parameters (V₅₀, V_{peak}, V_{95b}) decreased with length of tuber storage, as shown in Figure 4 for V₅₀.

Table 4. Effect of steeping time after blanching on pasting behaviour of yam flours (mean values for *Deba* and *Banioure* cultivars)

| Steeping time (H) | V _{peak} (RVU) | V _{95b} | V ₅₀ | Swelling power (g g ⁻¹) | Solubility index (mg ml ⁻¹) |
|-------------------|-------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------|---|
| 0 | 208 | 180 | 248 | 15.9 a | 7.5 |
| 2 | 203 | 161 | 240 | 14.2 b | 7.1 |
| 4 | 198 | 157 | 231 | 14.2 b | 6.7 |
| 6 | 196 | 150 | 231 | 14.1 b | 7.0 |
| 12 | 205 | 149 | 242 | 14.2 b | 6.4 |
| SDR* | 7 | | 7 | 0.4 | 0.3 |

Values in the same column with different letter are significantly different ($P < 5\%$)

* Standard deviation of the residual

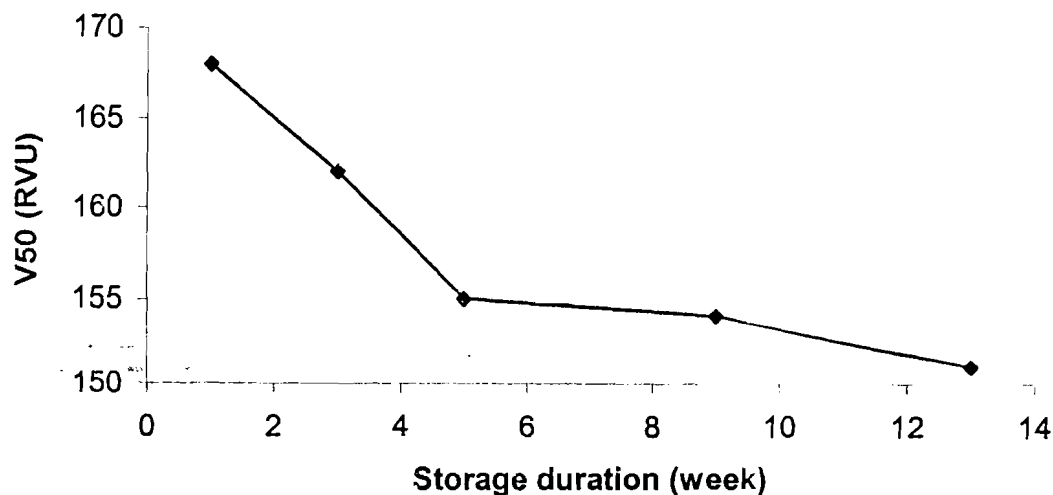


Figure 4. Effect of fresh tuber storage of Deba on amala paste viscosity (V50)

4. Discussion

Fresh tuber colour and related compound characteristics of *Deba* and *Banioure* were consistent with those previously observed (Akissoe et al., 2002), the former having higher PPO activity and giving amala with a higher brown index. However, the classification of the two cultivars was reversed as far as phenol content and POD activity were concerned. This may be due to intra-cultivar variability linked to agro-ecological conditions. Osagie & Opoku (1984) reported considerable variability in PPO activity, total phenol and intensity of browning in *Dioscorea* species cultivars, but were unable to identify the causative factors.

Pre-treatment affected only POD activity, reducing it by 60% after one hour either in water or in air whereas PPO activity remained unchanged over the same time. In contrast, Ikediobi et al. (1989) observed a slight increase in PPO activity and a dramatic increase in POD activity after tuber wounding. However, these increases were noticeable only after 3 to 4 days. In our case, peeling and cutting can be considered as wounding but the length of the experiment (one hour) was certainly not sufficient to promote PPO and POD synthesis.

POD activity ceased almost completely after blanching, as already observed by Akissoé et al. (2002), so subsequent steaming had no effect on this characteristic. PPO activity decreased after blanching but did not disappear completely, indicating its relative stability to

heat, in contrast to POD. Osagie & Opoku (1984) in fact reported a residual PPO activity of about 20% after incubation at 70°C for 35 min. PPO activity continued to decrease during steeping, particularly during the first two hours after heating. This suggests that blanching was not complete after 20 minutes at 65°C and could be improved by steeping. However, higher blanching temperatures would appear to be necessary to inactivate PPO completely: Ikediobi & Obasuyi, 1982 and Ozo & Caygill, 1985 in fact observed that PPO activity of purified yam disappeared only above 80°C.

The plateau of PPO and POD activities between the fifth and the ninth weeks of storage is in global agreement with the results of Asemota et al. (1992) and Ikediobi and Oti (1983), who observed an increase in both enzyme activities during the first three weeks of storage, then a decrease after the fifth week, for *D. rotundata*, *cayenensis* and *alata* tubers. In the case of *D. dumetorum* however, Izundu (1995) reported a continuous increase in peroxidase activity up to the twenty-fifth week of storage. In agreement with Ikediobi and Oti (1983), PPO activity was lower in old tubers than in freshly harvested ones, as a result of a fall in PPO activity after the start of sprouting (Figure 3). Ikediobi *et al.* (1983) accordingly inferred that the sprouting mechanism was associated with a reduction in PPO activity.

Unlike enzyme activities, the flour total phenol content and amala brown index that may result, at least in part, from such activities (Izundu, 1995, Akissoe et al., 2002) are not significantly affected by any treatment. This may be explained considering two adverse phenomena: the first being an increase in phenol content due to enzyme or chemical oxidation and the second resulting from their solubilization in the steeping water, which was measured. As had already been observed (Osagie & Opoku, 1984; Mestres et al., 2002; Akissoe et al., 2002), the brown index of amala was closely correlated ($r = 0.88$) with the phenol content of the flour (Figure 5). This confirmed the high contribution of polyphenols to the browning of the amala paste.

The detection of flavanol compounds by HPLC in *Deba* and *Banioure* extracts is in agreement with Ozo et al. (1984), who identified catechin in extracts of various *Dioscorea* species. We also detected cinnamic compounds, four of which could be quantified. By

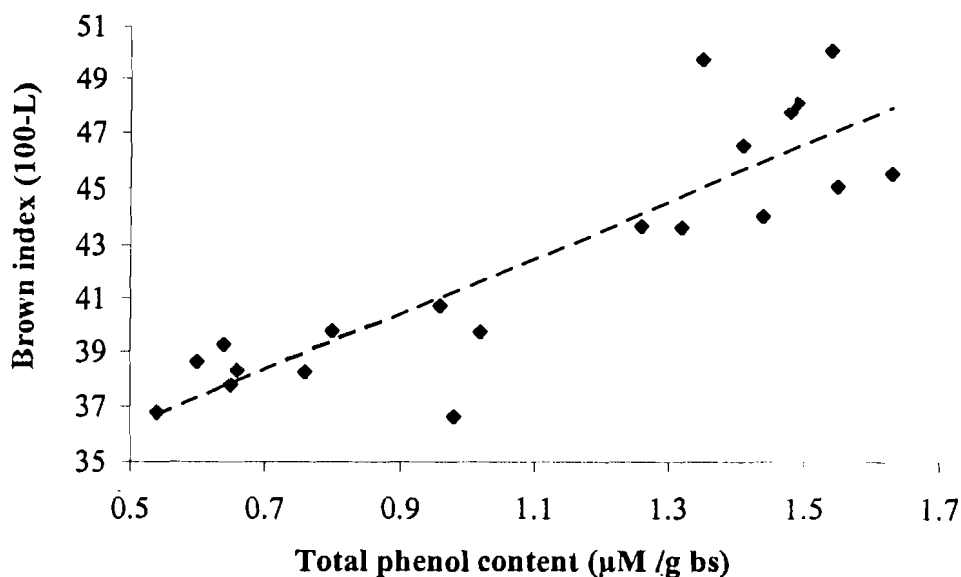


Figure 5. Relation between amala brown index and total phenol content of flours

comparison, Martin & Ruberte (1976) evidenced only one cinnamic compound among the thirteen phenolic compounds extracted from *D. alata*. The decrease in cinnamic compounds during steeping may be due to their solubilization in the steeping water. It can also be hypothesized that part of the cinnamic compounds may be involved in a polymerization process during steeping, thus explaining their decrease, whereas the total phenol content remains constant.

The pasting behaviour of the fresh *Deba* and *Banioure* tubers was very different from that observed by Akissoe et al. (2002): V50 and swelling power mean values were higher in the present study (235 RVU and 17.7 g g⁻¹ respectively, versus 157 RVU and 13.3 g g⁻¹) whereas solubility was lower (8.6 mg ml⁻¹ versus 12.1 mg ml⁻¹). This could be linked to the agro-ecological conditions in which the tubers were grown: both cultivars used to measure pasting behaviour in the present study were in fact collected from farmers in Northern Benin, whereas for the previous study they had been obtained from an experimental station in Southern Benin. The end viscosity values measured during the storage experiment (Figure 4) appear to support this hypothesis, as they were close to those obtained in the previous study and in this case the *Deba* tubers came from the same experimental station.

A slight decrease in pasting viscosity (particularly V95b) was observed after blanching and steeping. Swelling power showed a similar pattern. These observations suggest that an

annealing process occurs during both unit operations, as already indicated by the increase in the gelatinization temperature after steeping in a previous experiment (Akisoe et al., 2002). As already reported in this previous study, there was a highly positive significant correlation between paste viscosity and swelling power: the correlation coefficient was 0.92 and 0.76 for V95b and V50 respectively (Figure 6). It should be noted that the viscosity calculated according to the formula of Akisoe et al. (2002), using the swelling power and solubility data, was close to the observed values: e.g. for fresh freeze-dried tubers, the calculated V50 was 246 RVU (swelling power: 17.7, solubility index: 8.6) versus an observed mean value of 235 RVU. This indicates that the higher viscosities observed for yam obtained from Northern Benin were linked to intrinsic properties of starch which depend on agro-ecological conditions. It also suggests that swelling power and to a lesser extent solubility are sufficient to describe the pasting behaviour of yam flour.

Pasting viscosity fell during tuber storage (Figure 4). The use of stored yam tubers may therefore result in an amala with a lower-quality texture. The fall in pasting viscosity may be linked to a decrease in starch content due to hydrolysis, as has already been observed

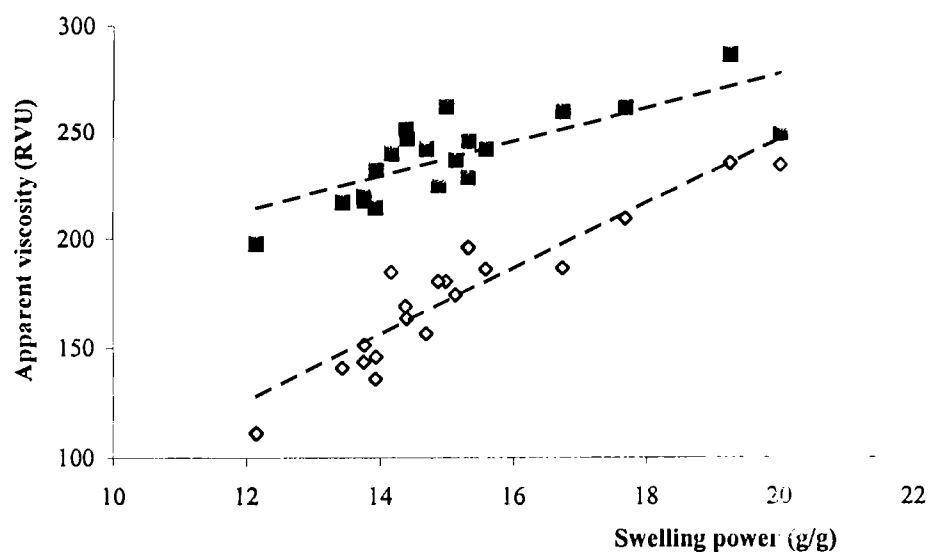


Figure 6. Relation between apparent viscosities (◇, V95b; ■, V50) and swelling power of yam flours

(Ikediobi et al., 1983; Onayemi et al., 1988). It may also be due to the annealing process.

Acknowledgements

The authors thank the European Union for funding this research work, which is part of the INCOYAM Project ERB IC18-CT98-0302. They also thank Garth Evans for his assistance with the English.

References

- Adamson, I., and Abigor, R. (1980). Transformation associated with catecholase in *Dioscorea alata* during storage. *Phytochemistry* 19, 1593-1595.
- Akingbala, J. O., Oguntimein, T. B., and Sobande, A. O. (1995). Physico-chemical properties and acceptability of yam flour substituted with soy flour. *Plant Foods for Human Nutrition* 48, 73-80.
- Akissoe, N., Hounhouigan J., Mestres C., Nago M. (2002). How parboiling and drying affect the colour and functional characteristics of yam (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) flours. *Accepted for publication by Food Chemistry*.
- Akissoe, N. H., Hounhouigan, J. D., Bricas, N., Vernier, P., Nago, M. C., and Olorunda, O. A. (2001). Evaluation of Benin dried yam (*Dioscorea rotundata*) tubers, flour and *amala*' a flour derived product. *Tropical Science (4th)*, 151-156.
- Asemota, H. N., Wellington, M. A., Odutuga, A. A., and Ahmad, M. H. (1992). Effect of short-term storage on phenolic content, o-diphenolase and peroxidase activities of cut yam tubers (*Dioscorea* sp). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 60, 309-312.
- Bricas, N., Vernier, P., Ategbo, E., Hounhouigan, J., Mitchikpe, E., N'kpenu, K. E., and Orkwor, G. (1997). Le développement de la filière cossettes d'igname en Afrique de l'Ouest. *Cahiers de la recherche Développement* 44 (2), 100-114.
- Guyot, S., Marnet, N., Laraba, D., Sanoner, P., and Drilleau, J.-F. (1998). Reversed-Phase following Thiolyis for Quantitative Estimation and Characterization of the Four Main Classes of Phenolic compounds in Different Tissue Zones of a French Cider Apple Variety (*Malus domestica* Var. Kermerrien). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* (46), 1698-1705.
- Hounhouigan, D. J., Kayode, A. P., Bricas, N., and Nago, C. M. (2002). Les caractéristiques culinaires et organoleptiques des ignames recherchées en milieu urbain au Bénin. *accepted for publication by "Les Annales des Sciences Agronomiques du Bénin"*.
- Ikediobi, C. O., and Obasuyi, H. N. (1982). Purification and some properties of o-diphenolase

Article 6

Biochemical origin of discoloration during the processing of
fresh yam into dried product

Auteurs : Noël Akissoe, Christian Mestres , Joseph Hounhouigan, Mathurin Nago

Submitted to "J. Agric. Food Chem."

Biochemical origin of discoloration during the processing of fresh yam into dried product

Noël Akissoe^{a*}, Christian Mestres^b, Joseph Hounhouigan^a, Mathurin Nago^a

^aFaculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01BP 526 Cotonou, Bénin

^bCIRAD-CA, Programme Cultures Alimentaires, TA 70/16, 73 Avenue JF Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

* Corresponding author: Fax: +229-36-01-22. E-mail address: aknoh@syfed.bj.refer.org

Abstract

This study was undertaken to better follow the kinetics of polyphenoloxidase (PPO), peroxidase (POD) and phenolics during yam blanching at different temperatures and during drying, and to identify by HPLC the main phenolics present in yam products. PPO activity was 50% higher in fresh freeze-dried Florido (*D. alata*) than in fresh freeze-dried Deba (*D. rotundata*). It decreased progressively during blanching. 45% of PPO activity remained after 50 min of blanching at 60 or 65 °C, whereas POD activity dropped sharply to less than 20% of initial activity after 10 minutes of blanching, whatever the blanching temperature. No anthocyanidins could be detected by HPLC at 520 nm in fresh freeze-dried yam. Flavanols with a maximum absorption wavelength (λ_{\max}) around 280 nm and cinnamic acid compounds with a λ_{\max} around 320 nm were detected. The only flavanol to be identified was catechin, at concentrations ranging from 0.26 to 0.41 $\mu\text{M g}^{-1}$ according to cultivar. One cinnamic compound, ferulic acid, was identified and assessed in both cultivars (0.03-0.04 $\mu\text{M g}^{-1}$). Total phenol, flavanol and cinnamic contents decreased during blanching independently of temperature whereas some unresolved bands appeared after drying. The latter was probably due to the consumption of coloring precursors and the appearance of colored products.

Keywords: brown index, phenols, polyphenoloxidase, peroxidase, *Dioscorea rotundata*, *Dioscorea alata*.

Introduction

Drying is a traditional process widely used in West Africa, mainly in Benin and Nigeria, to extend the shelf life of yam tubers. The flesh of the yam generally used (*Dioscorea rotundata*) is white or sometimes yellowish, but the flour made from the dried yam and the paste (amala) obtained from the flour turn brown or dark-brown during processing (1-4). Browning is thus a serious problem in yam processing (5). It makes products obtained from dried yam less appealing visually and, if pronounced, detracts from the quality of the final product (1, 6-7).

The discoloration of fresh yam is usually attributed to phenolic compounds (8), the reaction of which is catalyzed by polyphenoloxidase (PPO) (2, 9) and/or peroxidase (POD) (10-11). In addition, non-enzymic reactions such as polymerization and complexation with metals, polysaccharides or proteins (6, 12) are also suspected. Many polyphenols have been identified in various yam species, such as (+)-catechin, which may be a substrate of O-diphenoloxidase (13), anthocyanins (cyanidin-3,5-diglucoside, cyanidin-3-monoglucoside, cyanidin-3-rhamnoglucoside) (14), catecholamine, a leucoanthocyanidin (2) and cinnamic compounds (15).

As far as products obtained from dried yam are concerned, previous works have pointed out the relationship between amala browning and the total phenol content of the flour (6, 16-17): the higher the phenol content, the darker the product. In West Africa, yams are traditionally blanched at intermediate temperature (60-75 °C) (18) before drying. In previous experiments, no significant variation in phenol content was observed during blanching whereas it increased dramatically during drying. At the same time, blanching reduces the activity of polyphenol acting enzymes. Two recent studies reported that POD activity almost disappeared after blanching at 65 °C for 20 min whereas about 50% of PPO activity was retained in the blanched yam tubers (17, 19). This is, however, in contradiction with the

from white yam tubers. *Phytochemistry* 21 (12), 2815-2820.

- Ikediobi, C. O., Chelvarajan, R. L., and Agwu, I. U. (1989). Biochemical aspects of wound healing in yams (*Dioscorea* spp). *J Sci Food Agric* 48 (2), 131-139.
- Ikediobi, C. O., and Oti, E. (1983). Some biochemical changes associated with *post*-harvest storage of white yam (*Dioscorea rotundata*) tubers. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 34, 1123-1129.
- Izundu, A. I. (1995). Peroxidase activity and inhibition of browning reaction in *Dioscorea dumetorum* tubers. *Journal of root crops* 21 (1), 12-16.
- Martin, F. W., and Ruberte, R. (1976). The polyphenol of *dioscorea alata* (Yam) tubers associated with oxidative browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 24 (1), 67-70.
- Martin, F. W., and Ruberté, R. (1975). Bitterness of *Dioscorea Cayenensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 23 (6), 1218-1219.
- Mestres, C., Dorthe, S., Akissoe, N., and Hounhouigan, J. (2002). Prediction of sensorial properties (colour and taste) of amala, a paste from yam chips flour of West Africa, through flour biochemical properties. *Submitted to J. Sci. Food. Agric.*
- Mestres, C., Nago, M., Akissoë, N., and Matencio, F. (1997). End use quality of some African corn kernels. 2. Cooking behavior of whole dry-milled maize flours; incidence of storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45 (3), 565-571.
- Onayemi, O., and Idowu, A. (1988). Physical and chemical changes in traditionally stored yam tubers (*Dioscorea rotundata* Poir and *Dioscorea cayenensis* Lam). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36, 588-591.
- Onayemi, O., and Potter, N. N. (1974). Preparation and storage properties of drum-dried white yam (*Dioscorea rotundata* Poir) flakes. *Journal of Food Science* 39, 559-562.
- Osagie, A. U., and Opoku, A. R. (1984). Enzymatic browning of yams (*Dioscorea* species). *Nigerian Journal of Biochemistry* (1), 25-29.
- Ozo, O. N., and Caygill, J. C. (1985). Some characteristics and a comparison of the activities of o-dihydroxyphenoloxidase from five yam (*Dioscorea* spp.) species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36, 973-979.
- Ravindran, G., and Wanasundera, J. P. D. (1992). Chemical changes in yam tubers (*Dioscorea alata* and *D. esculenta*) during storage. *Tropical Science* 35, 57-62.

findings of Chilaka et al. (10), who reported that purified yam POD had higher heat stability than purified yam PPO: incubation at 80 °C for 2 h was required to inactivate the POD completely whereas 30 min at 70 °C was sufficient to inactivate the PPO. It was also reported that the residual PPO and POD activity remaining after blanching disappeared completely after drying at 40-50 °C for 5 days (17). There is thus a discrepancy between phenol content and phenol acting enzymes: the former increased when the latter exhibited low or no activity, i.e. during drying. On the other hand, some studies indicate that the browning of products obtained from dried yam may be linked to POD activity in the fresh yam (17, 16, 20). The behavior of polyphenol acting enzymes during yam processing, particularly during blanching, and their role in the browning of dried yam thus still remains unclear.

This study was undertaken to identify the phenolic compounds responsible for the discoloration during the processing of fresh yam into dried yam, flour and paste, and to investigate the kinetic changes in phenolic compounds and PPO and POD activities associated with blanching and drying.

Material and Methods

Experimental design

Kinetic changes in phenolics and PPO and POD activities during blanching

Yam tubers from cultivars of *D. rotundata* (Deba) and *D. alata* (Florida) were harvested at maturity on farms in the Northern region of Benin in December 2001. Only apparently sound tubers with no sign of insect attack were used. They were stored at ambient temperature (26-28 °C) until processed or analyzed.

The tubers were blanched at four temperatures (60, 65, 70 and 75 °C), with five blanching times (0, 7.5, 15, 30 and 50 min at 60 °C, and 0, 5, 10, 20 and 50 min at 65°C, 70 °C and 75 °C). Each experiment (one cultivar, one blanching temperature, five blanching

times) was duplicated. For each experiment, 3 to 5 tubers were peeled in a water bath (28 °C), then sliced into 1cm² x 10 cm parallelepipeds using a manual rotative slicer (IITA, Ibadan, Nigeria). After homogenization, three samples of about 50 g were taken and immediately immersed in liquid nitrogen to serve as a blank (i.e. unblanched) sample. The remainder was blanched in a water bath thermostatically controlled at one of the required temperatures. Three samples were taken at each blanching time and treated as above. All samples were then stored at -20 °C, freeze-dried and ground in a laboratory mill (Janke & Kunkel, IKA-Labortechnik, Germany). The flour was then stored at 4 °C until analysis. The three samples for each experimental point were analyzed separately and mean values calculated.

Changes in phenolic compounds after blanching and drying

An 8 x 3 factorial experiment was used, with variety and processing stages as the main factors. Eight cultivars of *D. cayenensis* (*Baniouré*, *Deba*, *Gnidou*, *Kagourou*, *Porchebim*, *Tam-sam*, *Terlunto*, *Yakarango*) were used. They were harvested at maturity at the International Institute of Tropical Agriculture (IITA-Benin) experimental farm in December 2000. Samples were blanched at 65 °C for 20 min and dried at 40-50 °C for 5 days, as described in previous papers (17, 19): fresh freeze-dried, blanched freeze-dried and blanched oven-dried. For this experiment, the tubers were cut into slices (30 mm thick), then frozen at -20 °C before freeze-drying instead of being immersed in liquid nitrogen as above.

Methods

Polyphenoloxidase (PPO), peroxidase (POD) activities and total phenol (TP) content were measured using the oxygen consumption kinetic with catechol as substrate, the discoloration kinetic at 460 nm with pyrogallol as substrate and optical density at 760 nm after reaction with Folin reagent (16).

Phenolics determination by high-performance liquid chromatography (HPLC)

HPLC analyses were carried out on an Altima C 18 5U column (250 mm x 4.6 mm). The solvent system used was derived from that of Guyot et al. (21) and consisted of two solvents: solvent A (acetonitrile/acetic acid/water; 3/2.5/95.5) and solvent B (acetonitrile/acetic acid/water; 95.5/2.5/3). The gradient applied was: 0 min, 100% A, isocratic; 0-40 min, 70% A, linear; 40-43 min, 0% A, linear; 43-45 min, 0% A, isocratic; 45-48 min, 100% A, isocratic; 48-55 min, 100% A, isocratic. Absorption was measured at 280 nm, 320 nm and 520 nm and recorded using Kroma System 2000 software (Bio-Tek Instruments). The samples were prepared by vigorously suspending 250 mg of yam flour in 1 mL methanol/HCl 1.5N (85/15, v/v) and stirring at ambient temperature (27-30 °C) for 30 min. The suspension was then centrifuged at 7,000 g for 5 min. The supernatant was filtered through 0.45 µm pore-size filters and 100 µL injected onto the HPLC system. Commercial phenolic standards (p-coumaric acid, caffeic acid, ferulic acid, (+)-catechin, epicatechin, gallic acid, chlorogenic acid, catechol, 4-methyl catechol and pyrogallol) from Sigma (St Quentin, France) were injected separately and identified by their retention times. Some standards tentatively identified in samples were co-injected with yam extracts to confirm the identity of the peaks.

Statistical analysis

Analysis of variance and correlation and regression analyses were performed using Statitcf software (ITCF, Boigneville, France).

RESULTS

The mean value of the PPO activity of the fresh freeze-dried yam (blank sample) was significantly higher for Florido than for Deba ($33.0 \mu\text{M} [\text{O}_2] \text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ and $21.4 \mu\text{M} [\text{O}_2] \text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ respectively) in the 8 blanching kinetic experiments. There was, however, great within-

cultivar variability, with a coefficient of variation of 22-23% for both cultivars. PPO activity in each blanching kinetic experiment was therefore calculated as a percentage of the initial rate. Even after correction for this, the coefficient of variation of the residual calculated after analysis of variance (with variety, blanching temperature and blanching time as the main factors) remained high (26.5%). No significant cultivar effect was observed, but both blanching temperature and blanching time significantly affected PPO activity. It decreased progressively during blanching (Figure 1): about 45% of the initial activity remained after blanching for 50 min at 60 or 65 °C whereas only very low activity (7.9% and 0.6% respectively) remained after 50 min at 70 or 75 °C. The heat of inactivation (ΔH) of PPO was calculated from Arrhenius plotting of these data. It was similar for both cultivars: 189 KJ Mol⁻¹ (standard error of estimate (SEE) = 11) for Deba and 194 KJ Mol⁻¹ (SEE = 6) for Florido.

The evolution of POD with blanching was followed only for Deba. It decreased abruptly whatever the blanching temperature (Figure 2), and then stabilized after less than 10 min. About 20% of the initial activity remained after 7.5 to 50 min at 60 or 65 °C, whereas no activity was observed after 10 min at 70 °C or 5 min at 75 °C.

As with PPO activity, there was great within-cultivar variability in the total phenol content of the blank samples. The coefficient of variation was 17% for Deba and 33% for Florido. The mean value calculated from 8 experiments was nevertheless significantly higher for Florido than for Deba (5.8 $\mu\text{M g}^{-1}$ and 2.0 $\mu\text{M g}^{-1}$ gallic acid db respectively).

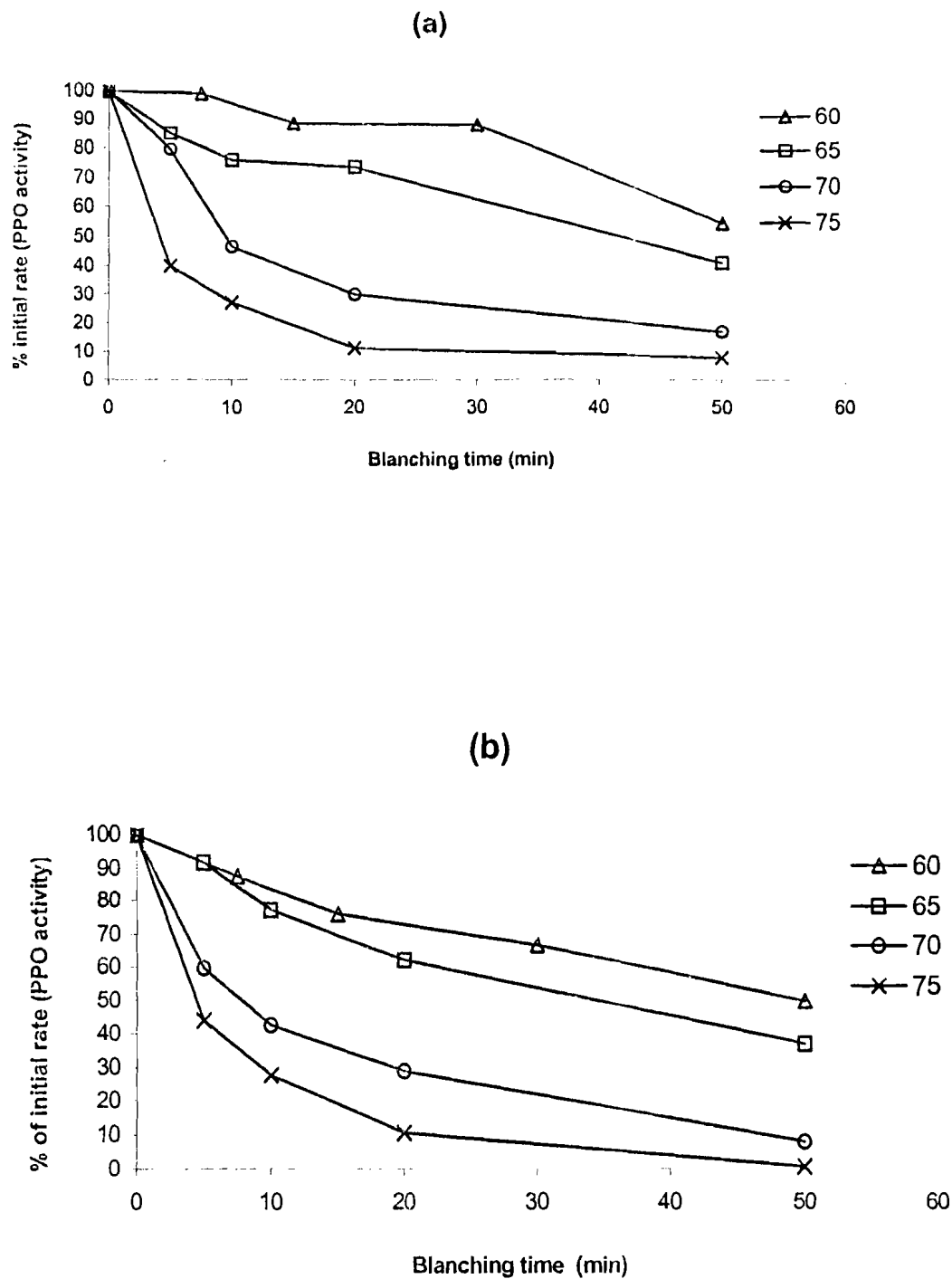


Figure 1 Evolution of PPO activity at different temperatures for Deba (a) and Florido (b)

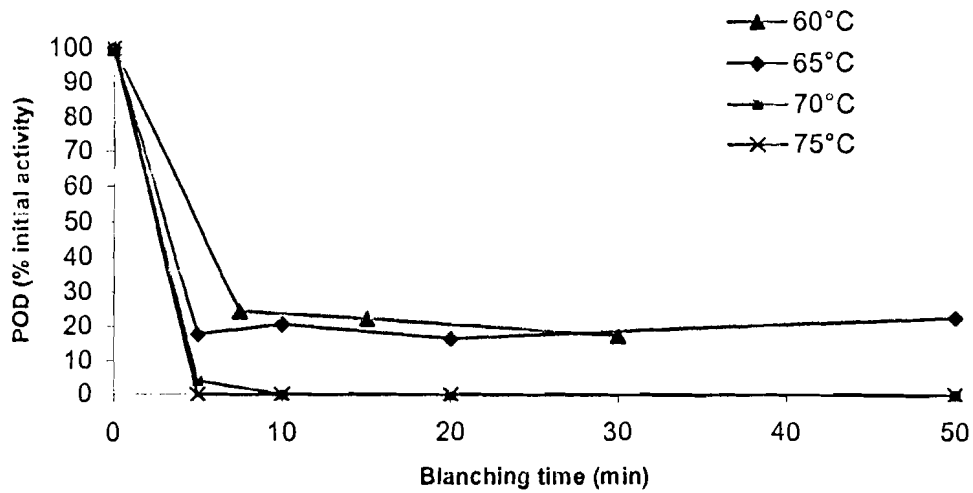
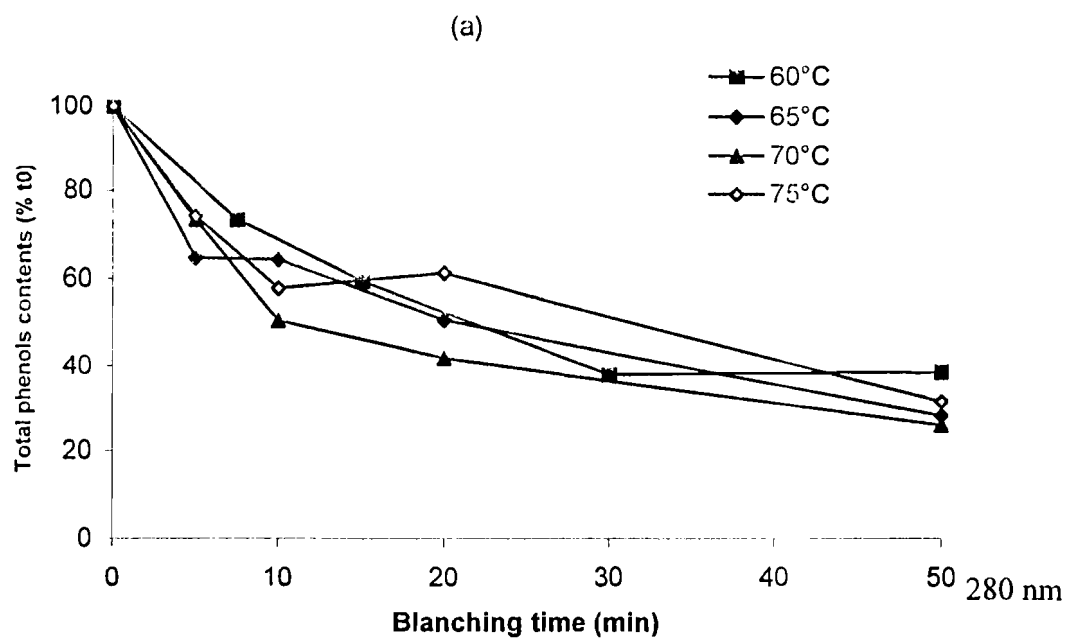


Figure 2 Thermoinactivation curve of POD for Deba cultivar

Total phenols were therefore calculated as a percentage of the initial content for each blanching experiment. Phenol content decreased progressively to about 40% of the initial rate (Figure 3) by the end of blanching time for Deba (a) and Florido (b), whatever the temperature. No general trend could be identified for the temperature effect. The remaining total phenols were significantly higher at the start of blanching at 60°C for Florido but not for Deba.

No anthocyanidins could be detected by HPLC at 520 nm. Only flavanols with maximum absorption wavelength (λ_{max}) around 280 nm and cinnamic acid compounds with λ_{max} around 320 nm were detected



320 nm

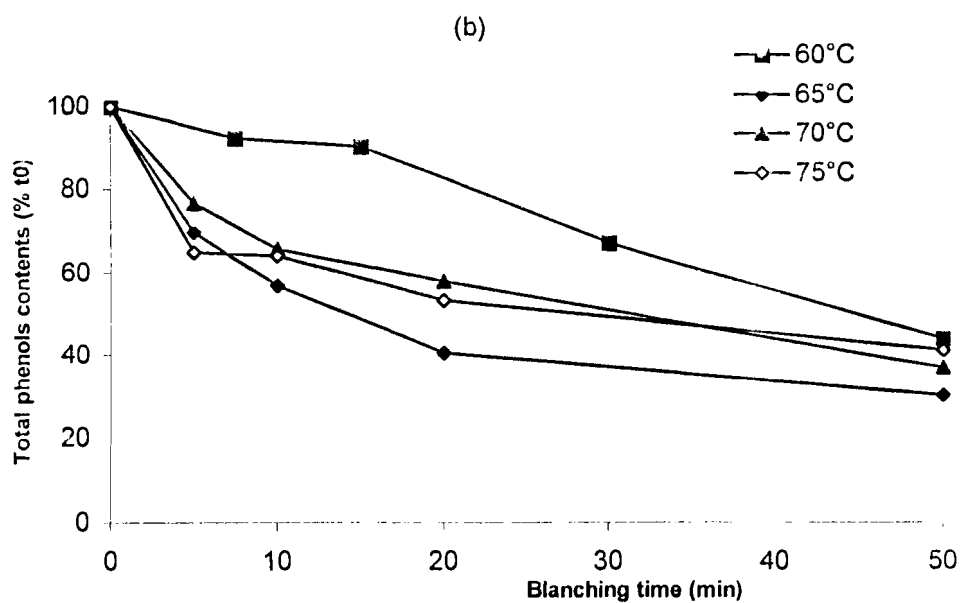


Figure 3. Evolution of total phenol content of Deba (a) and Florido (b)

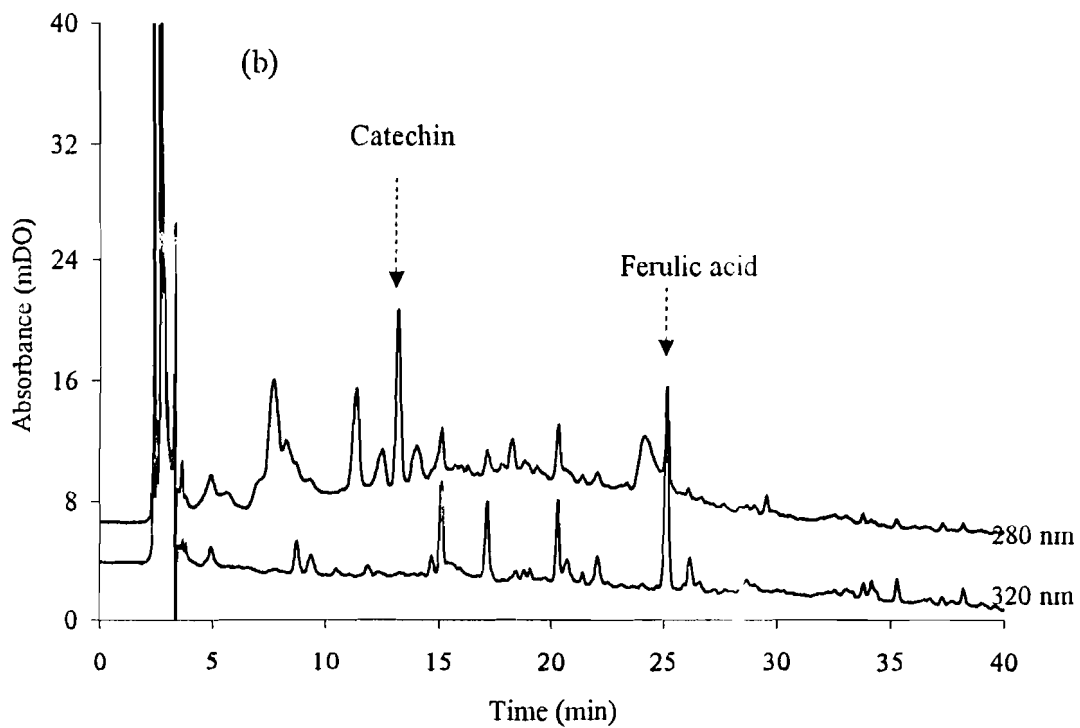
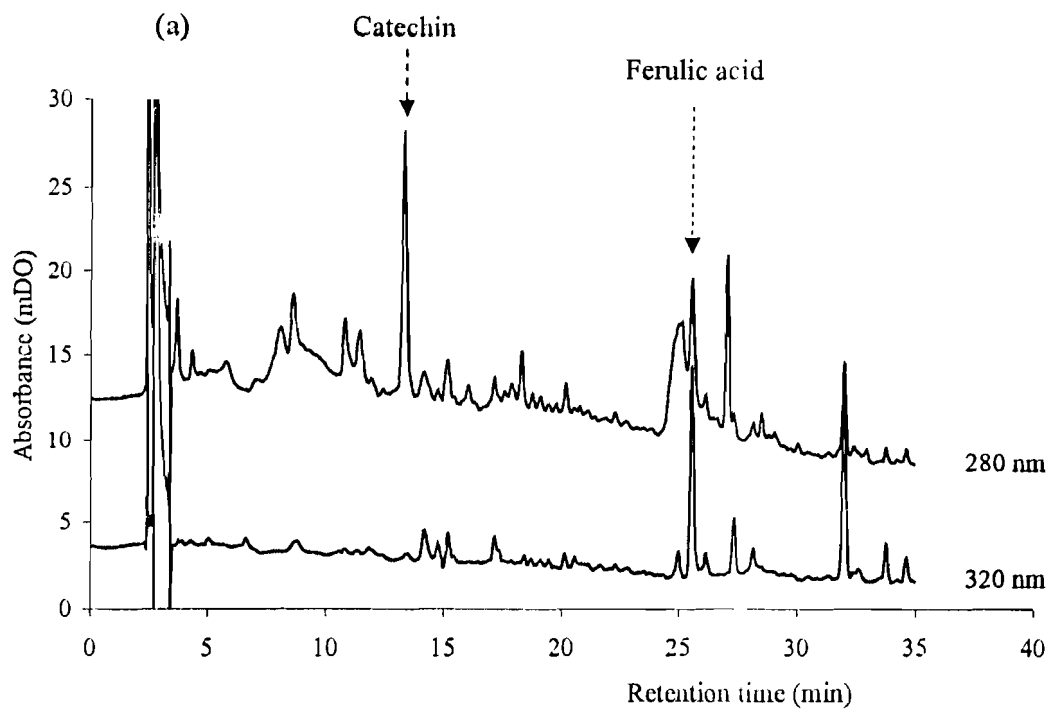


Figure 3. Chromatograms at 280 nm (upper) and 320 nm (lower) for phenolics compounds extracts from freeze-dried fresh Deba (a) and Florido (b)

each representing more than 10% of the total flavanol peak areas.

Some standards suspected of being present in the yam samples, on the basis of their retention times, were co-eluted with yam extracts. A single but greater peak observed at the same retention time with the mixed injection confirmed the identity of the peak. The only flavanol to be identified was catechin. It was the major peak, with a retention time of 13.1 min and represented about 16% of the total flavanol peak areas for Deba (*D. rotundata*) and 10% for Florido (*D. alata*). Fresh freeze-dried Deba thus contained $0.26 \mu\text{M g}^{-1}$ db of (+)-catechin (14.6% of total phenol content) versus $0.41 \mu\text{M g}^{-1}$ db for Florido (11.7% of total phenol content). The only cinnamic compound to be identified was ferulic acid, with a retention time of 26 min. It represented about 34% ($0.03 \mu\text{M g}^{-1}$ db) of the peak cinnamic areas for Deba and 17% for Florido ($0.037 \mu\text{M g}^{-1}$ db). The other major peaks were characterized by their retention times and quantitated on the basis of their peak areas. Except for the peak observed at 17.1 min, they were all cultivar-specific: the peak eluted at 32 min was specific for Deba and those at 15.3 min, 20.3 and 25.3 min specific for Florido.

Peak areas on both detection wavelengths decreased during blanching and some disappeared completely. Only 3 of the cinnamic compounds detected in the fresh freeze-dried yam remained assessable after blanching for 50 min. No clear effect of blanching temperature on either flavanols or cinnamic compounds was observed. For Deba, cinnamic compounds decreased markedly during the first 20 min of blanching, followed by a plateau at the end of blanching (Figure 5 a and b). For Florido, the cinnamic peak eluted at 25.3 min disappeared more rapidly when blanching was performed at 75 °C than at the other temperatures (60, 65 and 70 °C) whereas the peak at 20.3 min was not affected by blanching temperature.

Phenolic compounds were also extracted and assessed by HPLC for the 8 cultivars traditionally blanched. Only the results for cinnamic acid compounds (detected at 320 nm) are presented (Table 1).

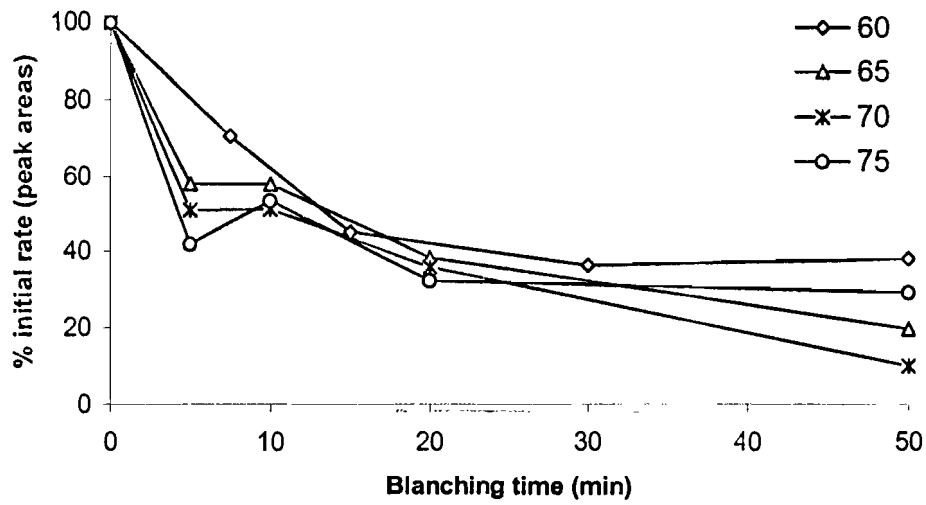


Figure 5a Effect of blanching time on cinnamic compound detected at 26 min (ferulic acid)

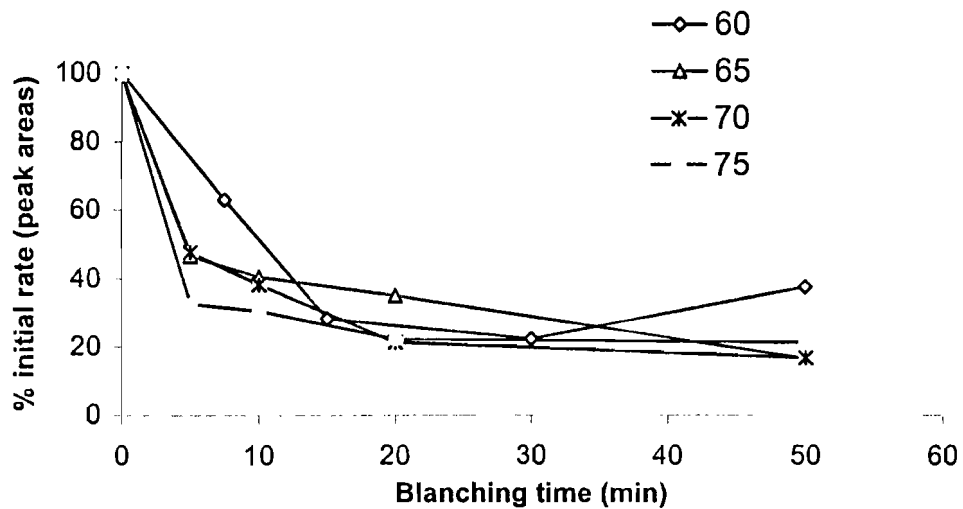


Figure 5b Effect of blanching time on cinnamic compound detected at 32 min

The eight fresh freeze-dried *D. rotundata* cultivars contained the cinnamic compound eluted at 32 min. Ferulic acid (elution peak at 26 min) was detected in all cultivars except Gnidou. In most cases, the area of these peaks was less after drying. However, two complex elution bands appeared around 9 and 11.3 min for 5 of the 8 cultivars.

Table 1. Peak areas of cinnamic compounds in fresh freeze dried and blanched and oven dried flours

| Yam cultivar | Peak area at 9 and 11.3 min (cm ²) | | Peak area at 17,1 min (cm ²) | | Peak area at 26 min (cm ²) | | Peak area at 32 min (cm ²) | |
|-------------------|--|-------|--|------|--|------|--|------|
| | FFD* | OD** | FFD* | OD** | FFD* | OD** | FFD* | OD** |
| Banioure | 0.0 | 107.1 | 6.5 | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 31.9 | 12.3 |
| Deba | 0.0 | 0.0 | 4.6 | 11.7 | 2.3 | 8.7 | 16.5 | 23.8 |
| Gnidou | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.0 | 8.3 |
| Kagourou | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.4 | 0.0 | 23.6 | 10.5 |
| Porchekbim | 0.0 | 30.5 | 7.3 | 16.2 | 15.0 | 0.0 | 22.8 | 11.1 |
| Tamsam | 5.3 | 90.7 | 6.2 | 5.0 | 16.7 | 0.0 | 20.2 | 11.9 |
| Teriounto | 0.0 | 12.8 | 0.0 | 0.0 | 7.4 | 0.0 | 18.3 | 8.9 |
| Yakarango | 0.0 | 9.3 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 0.0 | 12.5 | 4.9 |

* Fresh frieze-dried

** Oven Dried

DISCUSSION

The PPO activity of the fresh freeze-dried yams (blank sample) was within the range previously reported (16-17, 22). Florido (*D. alata*) had a significantly ($P < 0.05$) higher PPO activity than Deba (*D. rotundata*). However, no general conclusions can be drawn as PPO activity varies considerably with season. Ozo and Caygili (22) noted a 50% variation in the PPO activity of *D. alata* and *D. rotundata* cultivars between seasons. In addition, there was great within-cultivar variability in PPO activity, despite the precautions taken to obtain a representative sample of each cultivar (3-5 tubers randomized by fine slicing and homogenization before sub-sampling). The variability was, however, within the range previously reported by Isamah et al. (23). To minimize its effect, PPO activity was expressed as a percentage of the initial rate.

Previous studies realized on purified enzymes reported that yam PPO was largely inactivated after 2 to 30 min at 60-65 °C, with activity reduced to less than 20% of the initial rate (22, 24). In our experiments, PPO activity was measured in situ and around 50% of PPO activity remained after 50 min at 60-65 °C. It can be hypothesized that the yam structure and/or components stabilized the PPO during blanching, preventing its inactivation. Yam PPO was, however, less heat stable than PPO from other food plants such as banana, the PPO of which was stable at 70 °C for 30 min (25). As the PPO is not completely inactivated, it might nevertheless contribute to browning during the drying stage.

The abrupt decrease in POD activity after 10 minutes at 60-65 °C reveals that yam POD is less stable than yam PPO. This finding is in contradiction with Chilaka et al. (10), who reported that purified yam PPO was completely inactivated after 30 min at 70 °C whereas 2 hours at 80 °C were necessary to inactivate purified yam POD. The same study also reported that purified yam POD could partially recover its activity after storage at 25 °C for 48 h,

whereas this was never observed in our experiments. As far as POD is concerned, the discrepancy between our results and those of Chilaka et al. (10) may be explained by the differences in experimental conditions: our inactivation experiments were performed *in situ*, i.e. in a water bath, in the presence of the natural biochemical and structural environment of the enzymes, whereas those of Chilaka et al. (10) were performed *in vitro*, using purified enzymes incubated in 0.1 M sodium phosphate buffer (pH 7.0) for PPO and in 0.05 M sodium acetate buffer (pH 5.4) for POD (10). It can be inferred that interactions with components of the yam tissue favoured irreversible POD degradation whereas the yam tissue offered some protection against PPO degradation. It should be noted in particular that low pH (4.0) prevents yam PPO from the heat denaturation (26) that would normally occur in the cytoplasm where the PPO is located (9). This incidentally implies that the addition of plant leaves to the blanching bath traditionally used in processing (18) might also modify the kinetics of enzymic thermoinactivation.

This is the first report of inactivation energy relating to yam PPO. It was at least twice as high as the activation energy measured for *D. bulbifera* (26). Although there were significant differences in their PPO activities, the heat of inactivation of *D. alata* (Florido) and *D. rotundata* (Deba) was very similar. A set temperature can therefore be used for blanching yam, whatever the cultivar. Ige and Akintunde (27) recommended a blanching temperature of 60 °C. If blanched at a lower temperature, the yam pieces darkened within a short time because of residual PPO activity, which we measured at 45%. When blanched at 65 °C or above, the yam pieces were almost cooked and did not present the desired flabby texture, because of starch gelatinization. In fact traditional Benin yam flours, normally blanched at between 60 and 65 °C, contain a partly gelatinized starch (28). However, the gelatinization onset temperature varies between 70 and 75 °C for *D. cayenensis-rotundata* and *D. alata* cultivars (29). A blanching temperature of between 65 and 70 °C (at or just below the

gelatinization onset temperature) might therefore be a good compromise between complete PPO and POD inactivation and starch gelatinization.

Total phenol (TP) content decreased during blanching, whereas no significant trends were shown in previous experiments with yam slices blanched at 65 °C for 20 min (17, 19). Total phenol decrease should have been related to phenolic oxidation catalyzed by PPO or POD. As PPO and POD inactivation increased with blanching temperature, the decrease ought to have been less intense and slower at high temperature, but this was not observed. Another explanation for the decrease in total phenols is their solubilization in the blanching bath, as already noted in steeping experiments (19). The high decrease in TP measured during this experiment (60% loss) may therefore be linked to the fineness of the sample size (parallelepipeds with a 1 cm² cross-section) compared to the 3 cm thick slices used in previous experiments (17), which favoured phenol leaching. However, if phenol loss was due only to diffusion and solubilization in the blanching bath, it would be more pronounced at higher temperatures. As this was not observed in our experiment, it can be hypothesized that two antiparallel phenomena are acting: enzymic oxidative degradation of the phenols, which is greater at lower temperature before PPO and POD inactivation, and diffusion-solubilization, which increases with blanching temperature.

The absence of anthocyanidins was unexpected, as previous studies (2, 14, 30-31) reported their presence. It is likely that they are in fact present, but in a complexed form. Anthocyanidins can present substitutions (such as methyl, hydroxyl, glycosyl and acyl) on the aromatic skeleton which move their absorption wavelength from 520 nm (32-33). We found a higher (+)-catechin content for the *D. rotundata* cultivar (Deba) than reported by Ozo et al. (31) but a lower one for *D. alata* (Florida). In any case, this component was the main polyphenol in fresh yam. It is a good substrate for PPO and can undergo oxidative polymerization to form tannins, so it is a good candidate for explaining yam discoloration (31,

22).

Various cinnamic compounds were evidenced in fresh *D. rotundata* and *D. alata* cultivars, most of them being specific for a particular species: ferulic acid was the most widely distributed and one of the main cinnamic compounds. This confirmed the large distribution and variability of these compounds in yam species (14-15, 34). Fewer cinnamic peaks were evidenced after drying though total phenol content increased (17). This discrepancy may be due to the polymerization and/or complexation of oxidized polyphenols (35-36), leading to peaks that are unresolved even though they are present. This is consistent with the results of Guyot et al. (21) and Ozo et al. (31), who observed chromatograms showing alterations of peaks (particularly in the case of catechin and chlorogenic acid), which were partly converted into secondary peaks detectable after thiolysis. We did in fact observe the appearance of complex elution bands (at 9 and 11.3 min) in most cultivars after drying. The areas of these bands could be positively correlated ($r = 0.8$) with the previously determined amala brown index (17). A positive correlation was also evidenced between the amala brown index and the areas of some peaks detected at 320 nm in fresh freeze-dried yam. Both, particularly those detected at 17.1 and 32 min, could explain 73% of the amala brown index (Figure 6). They might therefore be precursors of the brown compounds formed during processing and particularly during drying.

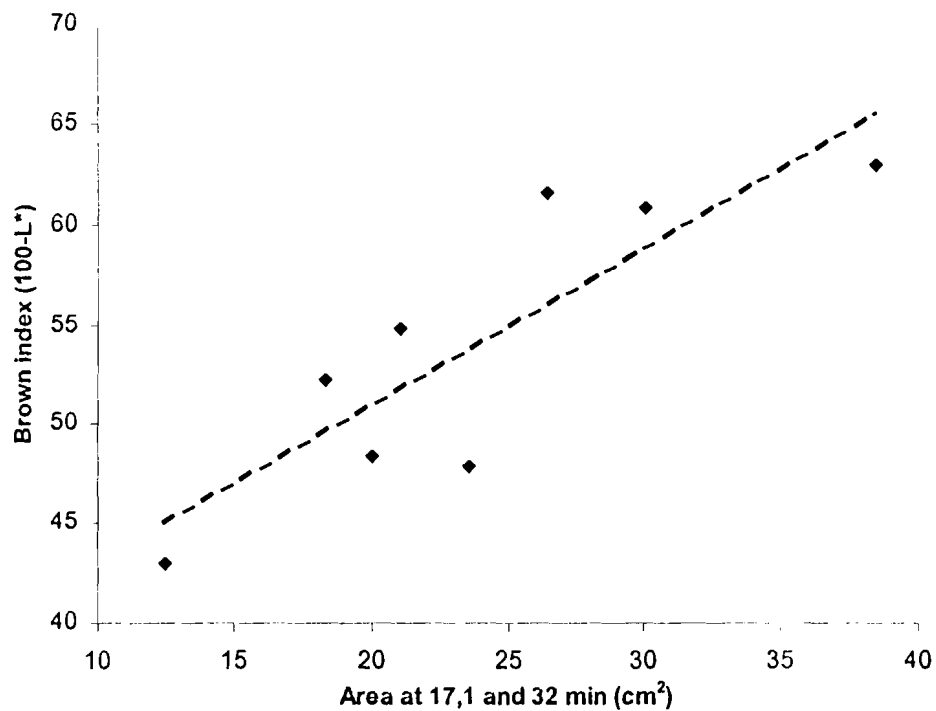


Figure 6. Relation between brown index and peak areas of compounds detected at 17.1 and 32 min.

Acknowledgement

The authors thank the European Union for funding this research work, which is part of the INCOYAM Project ERB IC18-CT98-0302.

Literature cited

- (1) Afable, L. A. The preparation of ubi powder. *The Philippine Journal of Plant Industry* 1970, 35, 19-25.
- (2) Martin, F. W.; Ruberte, R. The polyphenol of dioscorea alata (Yam) tubers associated with oxidative browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1976, 24, 67-70.
- (3) Martin, F. W.; Ruberté, R. Bitterness of *Dioscorea Cayenensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1975, 23, 1218-1219.
- (4) Steele, W. J. C.; Sammy, G. M. The processing potentials of yams (*Dioscorea* spp.) II. Precooked drum dried flakes-instant yams. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 1976, 60, 215-223.
- (5) Goodin, J. R.; Northington, D. K. *Plant resources of arid and semiarid lands*; Academic Press: London (GBR), 1985.
- (6) Almenteros, V. P.; Del Rosario, R. R. Phenolic content and polyphenoloxidase activity related to browning in yam (*Dioscorea alata* Linn.). *The Philippine Agriculturist* 1985, 68, 449-452.
- (7) Onayemi, O.; Potter, N. N. Preparation and storage properties of drum-dried white yam (*Dioscorea rotundata* Poir) flakes. *Journal of Food Science* 1974, 39, 559-562.
- (8) Mathew, P. A.; and Parpia, H. A. B. Food browning as a polyphenol reaction. *Adv. Food Res* 1971, 19, 75.
- (9) Mayer, A. M.; Harel, E. Polyphenol oxidase in plants. *Phytochem* 1979, 18, 193-215.
- (10) Chilaka, C. F.; Eze S. C.. Browning in processed yams: peroxidase or polyphenol oxidase? *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2002, 899-903.
- (11) Badiani, M.; Debiasi, M. G.; Felici, M. Soluble peroxidase from winter wheat

- seedling with phenoloxidase-like activity. *Plant Physiol* 1990, 92, 489-494.
- (12) Omidiji, O.; Okzupor, J. Time course of PPO-related browning. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1996, 70, 190-196.
- (13) Ozo, O. N.; Caygill, J. C. O-dihydroxyphenoloxidase action on natural polyhydric phenolics and enzymic browning of edible yams. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1986, 37, 283-288.
- (14) Rasper, V.; Coursey, D. G. Anthocyanins of *Dioscorea alata* L. *Experientia* 1967, 23, 611-612.
- (15) Karnick, C. R. Phytochemical investigations of some *Dioscorea* species and varieties found in India. *Quarterly Journal of Crude drug Research* 1971, 11, 1763-1773.
- (16) Mestres, C.; Dorthe, S.; Akissoe, N.; Hounhouigan, J. Prediction of sensorial properties (colour and taste) of amala, a paste from yam chips flour of West Africa, through flour biochemical properties. *Accepted for publication in Plant Food for Human Nutrition* 2003.
- (17) Akissoe, N., Hounhouigan J., Mestres C., Nago M. How parboiling and drying affect the colour and functional characteristics of yam (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) flours. *Food Chemistry* 2003, 82, 257-264.
- (18) Hounhouigan; Akissoe, . *L'igname, plante séculaire et culture d'avenir. Actes du séminaire international, Cirad-Inra-Orstom-Coraf, Montpellier Cirad, Montpellier;* Berthaud, J. Bricas, N.: Marchand, J.-L, p 349-351.
- (19) Akissoe, N., Hounhouigan J., Mestres C., Nago M. Effect of tuber storage and pre- and post-blanching treatments on the physicochemical and pasting properties of dry yam flour. *Food Chemistry* 2004, 85, 141-149.
- (20) Izundu, A. I. Peroxidase activity and inhibition of browning reaction in *Dioscorea*

- dumetorum* tubers. *Journal of root crops* **1995**, *21*, 12-16.
- (21) Guyot, S.; Marnet, N.; Laraba, D.; Sanoner, P.; Drilleau, J.-F. Reversed-Phase following Thiolyis for Quantitative Estimation and Characterization of the Four Main Classes of Phenolic compounds in Different Tissue Zones of a French Cider Apple Variety (*Malus domestica* Var. Kermerrien). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **1998**, 1698-1705
- (22) Ozo, O. N.; Caygill, J. C. Some characteristics and a comparison of the activities of o-dihydroxyphenoloxidase from five yam (*Dioscorea* spp.) species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **1985**, *36*, 973-979.
- (23) Isamah, G. H.; Asagba, S. O. Lipid peroxidation, o-diphenolase, superoxide dismutase and catalase profile along the three physiological regions of *Dioscorea rotundata* Poir cv Omi. *Food Chemistry* **2000**, *69*, 1-4.
- (24) Dela Rosa, L.; Emiola, L. Characteristics of *Dioscorea rotundata* polyphenol oxidase. *Journal of Applied Biochemistry* **1980**, *2*, 100-110.
- (25) Chang-Peng, Y.; Shuji Fujita; MD Ashrafuzzaman; Naoko Nakamura; Hayashi, a. N. Purification and Characterization of Polyphenol oxidase from Banana (*Musa sapientum* L.) Peel. *J. Agric. Food Chem.* **2000**, 2732-2735.
- (26) Anosike, E. O.; Ayaebene, A. O. Properties of polyphenol oxidase from tubers of the yam *dioscorea bulbifera*. *Phytochemistry* **1982**, *21*, 1889-1893.
- (27) Ige, M. T.; Akintunde, F. O. Studies on the local techniques of yam flour production. *Journal of Food Technology* **1981**, *16*, 303-301.
- (28) Akissoe, N. H.; Hounhouigan, J. D.; Bricas, N.; Vernier, P.; Nago, M. C.; Olorunda, O. A. Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam (*Dioscorea rotundata*) tubers, flour, and "amala" a flour-derived product. *Tropical Science* **2001**, 151-156.
- (29) Amani, N. G.; Dufour, D. D.; Mestres, C.; Kamenan, A. *12th Symposium of the*

- International Society for Tropical Root Crops (ISTRIC), Ibaraki, Japan; Cultio Corp.*, p 398-400.
- (30) Imbert, M. P.; Seaforth, C. Anthocyanins in *Dioscorea alata* L. *Experientia* **1968**, *24*, 447-449.
- (31) Ozo, O. N.; Caygill, J. C.; Coursey, D. G. Phenolics of five yam (*Dioscorea*) species. *Phytochemistry* **1984**, *23*, 329-331.
- (32) Mazza, G.; Miniati, E. *Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains*: Boca Raton, 1993.
- (33) Coultate, T. P. *Food. The chemistry of its components, the Royal Society of Chemistry*: London, 1984.
- (34) Adamson, I.; Abigor, R. Transformation associated with catecholase in *Dioscorea alata* during storage. *Phytochemistry* **1980**, *19*, 1593-1595.
- (35) Glories, Y. Oxygène et élevage en barriques. *Rev. Fr. Oenol.* **1990**, 91-96.
- (36) Peyron, D.; Boukharta, M.; Feuillat, M. Evolution de la composition phénolique des vins rouges en relation avec la qualité des bois de chêne de tonnellerie. *Rev. Fr. Oenol.* **1994**, 5-10.

III-3- DISCUSSION GENERALE

La multiplicité, la variabilité ethno-régionale et parfois la redondance des attributs de qualité des produits de cossettes d'igname, en particulier de l'amala, ne constituent pas des freins à leur diffusion mais elles rendent nécessaire la connaissance de la qualité idéale des produits. L'amala idéal serait, par exemple, de texture peu ferme, peu élastique, de goût à peine sucré, modérément amer, d'arôme légèrement de fermenté et de grillé et de couleur brun-foncé. Ces attributs de l'amala idéal ne sont pas totalement partagés par les consommateurs, en particulier, ceux des pays africains hors de l'aire traditionnelle de consommation. La couleur, par exemple, affecte considérablement l'acceptabilité de ce produit (Chilaka *et al.*, 2002). De ce fait, et, pour une meilleure valorisation des produits issus des cossettes d'igname, le présent travail a étudié les mécanismes de formation des attributs de qualité et déterminé les facteurs de variation. Ces attributs sensoriels ont été par ailleurs prédits à partir des propriétés physico-chimiques et biochimiques des farines.

Ainsi, la teneur en phénols totaux des farines et l'activité de la peroxydase du tubercule frais sont apparus comme les principaux déterminants de l'indice de brun de l'amala. Ceci est en accord avec les résultats de Almenteros and Del Rosario (1985) et de Izundu (1995) ; les premiers ont observé que les farines d'igname riches en phénols sont plus brunes tandis que le second, de son côté, a mis en évidence le rôle de la peroxydase dans le brunissement de la farine d'igname. En outre, la concentration en composé cinnamique identifié à 17,1 mn dans le tubercule frais est significativement corrélée à l'indice de brun de la farine ($r= 0,90$) et de la pâte ($r= 0,92$). Ce composé semble être l'un des précurseurs des corps bruns formés. Deux autres composés cinnamiques détectés à 9 et 11,3 mn semblent également jouer un rôle dans le brunissement de l'amala. En revanche, la catéchine ne semble pas directement impliquée dans le brunissement de l'amala, contrairement aux observations de Ozo and Caygill (1986) sur les tubercules frais.

D'autres études ont également montré que le brunissement de l'igname est lié à la présence des anthocyanines (glucosides des anthocyanidines), en particulier, le glucoside cyanidine (Rasper and Coursey, 1967; Imbert and Seaforth, 1968) et les oligomères de catéchine et de procyanidines (Ozo et al., 1984). L'absence des anthocyanidines dans nos échantillons est de ce fait surprenante mais elle peut être due à une modification de leur structure au cours de la lyophilisation ou du séchage. En effet, les anthocyanidines peuvent être glycosylés, hydroxylés, méthylés ou acylés (Mazza and Miniati, 1993) ou présenter des

substitutions sur le second noyau benzoïque faisant ainsi déplacer la longueur d'onde d'absorption maximale (λ_{\max}) au-delà de la valeur 520 nm (Coulata, 1984) utilisée au cours de nos essais. Globalement, le faible nombre de pics identifiés dans les farines séchées qui, pourtant, possèdent une forte teneur en phénols totaux est probablement lié à un déplacement de λ_{\max} ; ceci rend difficile la détection des composés parce qu'ils ne sont pas sous forme libre. Contrairement aux observations de Guyot et al. (1998), la thiololyse, ou la dégradation acide ou basique n'ont pas permis leur identification. De ce fait, des méthodes plus performantes sont nécessaires pour l'identification de tous les composés formés au cours du processus de fabrication.

La teneur en glucose et fructose d'une part celle en lactate et phénols d'autre part, permettent de prédire les caractéristiques gustatives des produits étudiés. Ces composés sont pour la plupart synthétisés au cours du processus de fabrication des cossettes : le glucose est probablement produit par hydrolyse acide et/ou enzymatique de l'amidon au cours de la précuisson et du séchage; la farine des cossettes d'igname contient, en effet, trois fois plus de glucose que le tubercule frais. De même, le lactate (acide lactique) est probablement formé lors du trempage post-blanchiment et du séchage. Ce qui révèle un début de fermentation à ces étapes du procédé de fabrication.

L'élasticité et le collant de l'amala apparaissent fortement liés aux propriétés fonctionnelles de l'amidon de la farine. Ils sont, en effet, significativement corrélés au pouvoir de gonflement, à l'indice de solubilité et aux paramètres de viscosité de la farine. Ce résultat est en accord avec ceux de Fliedel (1994) qui a rapporté que la texture du tô (pâte de farine de sorgho, proche de l'amala) est liée à la matière solubilisée et à la capacité de gonflement des suspensions de farine.

Par ailleurs, la variété et les opérations technologiques constituent les facteurs d'influence de ces caractéristiques des produits issus des cossettes d'igname. Malgré une forte variabilité inter et intra-cultivar en composés enzymatiques (PPO et POD) et phénoliques, conforme aux résultats antérieurs (Ozo and Caygill, 1985 ;Osagie and Opoku, 1984), on note un effet cultivar significatif. Ceci rend difficile le choix du même matériel végétal pour la fabrication des cossettes de qualité standard déduite des relations précédemment établies entre ces composés et l'indice de brun des produits.

La réduction significative de l'activité de la peroxydase, notamment dès l'épluchage de l'igname et au début de la précuisson, contrairement au comportement de la polyphénoloxydase, révèle la rapidité de l'action de la POD. En revanche, l'absence d'un effet significatif à cette étape sur l'indice de brun des produits dérivés indique que l'action de la

En ce qui concerne la viscosité de l'amala, elle est fonction du pouvoir de gonflement de la solubilité de la farine. En outre, on note un effet variétal significatif sur le pouvoir de gonflement et la solubilité. Par contre, un tel effet n'est pas observé sur la viscosité ; ceci peut être dû à la forte variabilité observée au niveau de cette variable ($Sd=33$) ou à l'existence d'autres variables sous-jacentes telles que la teneur en amylose soluble.

La stabilité de l'enthalpie et de la température de gélatinisation des cultivars d'igname, observée dans la présente étude, peut être due à la similarité de la structure des grains d'amidons (proximité génotypique). En effet, les cultivars utilisés dans l'étude sont du même groupe variétal kokoro, à l'exception de Gnidou.

Le stockage après-récolte du tubercule frais conduit à une baisse progressive des paramètres de viscosité. Cette perte de viscosité des suspensions de farines est probablement due à l'hydrolyse de l'amidon déjà signalée par différents auteurs (Ikediobi and Oti, 1983 ; Onayemi and Idowu, 1988).

La chute de la viscosité (gonflement) au cours du trempage post-blanchiment est liée à un début de recuit de l'amidon. Ce phénomène de recuit est plus marqué, au cours du séchage et entraîne une baisse importante de la viscosité. En effet, le phénomène de recuit apparaît lorsque l'amidon est soumis à un traitement hydrothermique de longue durée. Des auteurs ont observé après plusieurs heures de trempage à 55 °C ou plusieurs jours à 35 °C (Nakazawa et al., 1984 ; Mestres et al., 2000). Dans la présente étude, le séchage est réalisé à 60 °C pendant 5 jours ; il est donc possible que le recuit apparaisse. De ce fait, le séchage des cossettes affecte la texture des produits dérivés, en particulier celle de l'amala.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la réduction des pertes post-récolte et de l'amélioration de la qualité des cossettes d'igname et de deux produits dérivés (farine et amala) pour les marchés urbains. Elle vise à comprendre les mécanismes de formation de cette qualité (couleur, texture et goût) et à déterminer les facteurs de variation en vue de proposer des alternatives technologiques performantes permettant d'améliorer la qualité des cossettes et des produits dérivés.

A cet effet, les caractéristiques sensorielles de la farine et de l'amala ont été, dans une première phase, évaluées au moyen des méthodes instrumentales mises au point qui permettent de se passer des appréciations subjectives d'un panel. Parallèlement, les caractéristiques physicochimiques des farines ont été déterminées et ont permis d'identifier et de mieux saisir les variables explicatives de la qualité. Globalement, la couleur, déterminée par l'indice de brun, est liée aux polyphénols de la farine issue des cossettes et aux activités enzymatiques endogènes. La texture de l'amala, représentée par le collant et la fermeté, peut être évaluée par les propriétés fonctionnelles de l'amidon (gonflement, solubilité, viscosités, amylose soluble). Enfin, le goût est induit par une interaction des acides, des sucres et des phénols.

L'instrumentalisation de la détermination des caractéristiques sensorielles de l'amala et la compréhension des mécanismes responsables constituent des moyens importants pour les industriels alimentaires et les sélectionneurs de variétés d'igname pour la mise au point des produits qui répondent à un standard de qualité désiré.

La seconde phase de ce travail a été consacrée à l'étude de l'influence de divers facteurs (opérations technologiques, variétés) sur les attributs de qualité des différents produits.

Cette étude a permis de noter une réduction significative des activités des polyphénoloxydases (PPO) et les peroxydases (POD) au cours du processus de transformation de l'igname, particulièrement durant le séchage. En revanche, on enregistre une augmentation importante de la teneur en phénols totaux des farines et de l'indice de brun de la pâte.

On note, par ailleurs, une forte corrélation entre la peroxydase du tubercule frais et l'indice de brun de la pâte. Ainsi, l'implication directe de la POD du tubercule frais dans le brunissement de l'amala est clairement établie ; la rapidité de son

action, notamment dès l'épluchage de l'igname a été également mise en évidence. La POD pourrait donc constituer un des facteurs objectifs de choix des variétés à transformer. En effet, une variété à faible teneur en POD, favorise la clarté de la pâte ; a contrario, une variété à forte teneur contribue au brunissement de l'amala. Toutefois, l'accroissement de la teneur en phénols totaux de la farine des cossettes d'igname au cours du processus technologique et la relation positive entre cette variable et l'indice de brun de l'amala indiquent que d'autres modifications et actions s'avèrent nécessaires au niveau du procédé de fabrication pour réduire substantiellement le brunissement des produits issus des cossettes d'igname. Entre autres actions, on peut suggérer le trempage après le blanchiment car il contribue à diminuer la teneur en certains phénols et à réduire l'activité des enzymes. Ainsi, une combinaison des trempages avant et après blanchiment, devrait permettre de diminuer la teneur en phénols et de réduire le brunissement de la farine des cossettes d'igname et de l'amala.

Par ailleurs, on observe une diminution de la teneur en phénols totaux au cours du blanchiment, indépendamment de la température de traitement. De plus, l'énergie d'inactivation enzymatique est indépendante de la variété d'igname utilisée. Ces résultats indiquent la possibilité de choisir une même température de blanchiment pour la transformation de l'igname en cossettes quelle que soit la variété. Toutefois, la température choisie doit permettre une inactivation complète des enzymes sans provoquer la gélatinisation de l'amidon. Au vu des résultats obtenus, les températures optimales de blanchiment varient de 65 à 70 °C.

Le séchage lent et long provoque la baisse du pouvoir de gonflement et de la viscosité et favorise un accroissement du caractère collant et une réduction de la fermeté de l'amala. Par conséquent, toutes les actions (réduction de la taille, séchoir approprié) permettant d'accélérer le séchage peuvent contribuer à inverser ces tendances

Globalement, la présente étude a permis d'identifier les déterminants de la qualité des produits de cossettes d'igname et de cerner les mécanismes de formation de cette qualité et les facteurs responsables. Toutefois, quelques travaux complémentaires doivent être réalisés, en particulier, la caractérisation des produits bruns formés dont l'identification, même après dégradation acide ou basique ou après thiolysse, n'a pas été possible. Il est donc nécessaire de développer d'autres méthodes permettant l'extraction complète et la caractérisation de ces composés.

Par ailleurs, compte tenu des problèmes de qualité sanitaire que pose le séchage des cossettes, il serait indiqué de proposer des structures adéquates de séchage permettant de fabriquer des produits de bonne qualité.

POD est de surface ; ce qui laisse penser à une localisation superficielle (proche de la peau) de la POD de l'igname favorisant ainsi son inactivation rapide au cours du blanchiment, quelle que soit la température.

L'existence d'une activité résiduelle de la polyphénoloxydase après le blanchiment favorise l'oxydation des phénols résiduels au cours du séchage, occasionnant ainsi l'accroissement de l'indice brun de la farine durant cette opération. Osagie and Opoku (1984) ont signalé la présence d'une activité résiduelle de la PPO après incubation à 70 °C pendant 35 minutes. La présence d'une activité résiduelle de la PPO dans les conditions de blanchiment mises en œuvre dans la présente étude (65 °C pendant 20 mn) parce que proches des conditions traditionnelles de blanchiment de l'igname, n'est donc pas surprenant. Au regard des résultats antérieurs, ces conditions ne peuvent, effet, permettre une inactivation complète de la polyphénoloxydase. En conséquence, des températures plus élevées seraient indiquées. Cette observation est en accord avec celle déjà faite par différents auteurs (Ikediobi and Obasuyi, 1982 ; Ozo and Caygill, 1985) selon laquelle la polyphénoloxydase purifiée est complètement inactivée aux températures au-dessus de 80 °C. Toutefois, ces températures ne sont pas applicables au blanchiment de l'igname à cause de la proximité de la température de gélatinisation (71-75 °C) des cultivars étudiés. La similarité de l'énergie d'inactivation de la polyphénoloxydase pour les cultivars permet le choix d'une même température de blanchiment entre 65 et 70 °C.

Au cours du trempage post-blanchiment, le processus d'inactivation enzymatique et de réduction des phénols (solubilisation) se poursuit. Ce résultat était attendu parce que la température du bain demeure encore élevée au cours des deux premières heures après blanchiment.

Par ailleurs, le séchage réduit significativement et considérablement les activités enzymatiques ; il accroît, en revanche, la teneur en phénols totaux. Ceci révèle que la production des phénols, à ce niveau, n'est pas liée à l'activité enzymatique.

Toutefois, la forte corrélation observée entre les phénols totaux des farines et l'activité de la peroxydase suggère l'existence d'un mécanisme réactionnel en deux étapes : la première étape, purement enzymatique, a lieu dès l'épluchage de l'igname jusqu'au début de la précuisson et engendre des précurseurs des phénols ; la seconde étape qui consiste en une oxydation chimique, se déroule au cours du séchage et au moment de la préparation de l'amala et donne naissance aux corps bruns. Ceci est en accord avec les résultats de Omidin and Okzupor (1996) qui ont observé que 60 % du brunissement de la farine d'igname sont de nature enzymatique et 40 % de nature non enzymatique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AOAC (1984). Approved methods of AACC, 8th Edn. St Paul, MN : American Association of Cereal Chemists.
- Abe, M. O. (1973). Adaptability of potato drying to yam processing. *Journal of Milk Food Technology* 36 (9), 456-462.
- Adamson, I., and Abigor, R. (1980). Transformation associated with catecholase in *Dioscorea alata* during storage. *Phytochemistry* 19 , 1593-1595.
- Adesuyi, S. A. (1971). "Curing technique for reducing the incidence of rot in yams,". Nigerian Stored Product Research Institute,, Ibadan, Nigeria.
- Adesuyi, S. A. (1976). The use of gamma radiation for control of sporouting in yam (*D. rotundata*) during storage. *Nigerian J. Prot* 2 , 34.
- Afable, L. A. (1970). The preparation of ubi powder. *The Philippine Journal of Plant Industry* 35 (1-2), 19-25.
- Ajayi, O. A., and Madueke, L. U. (1990). Study of weight loss of stored yam (*Dioscorea cayenensis*) as affected by ventilation of the storage locations. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 50 , 257-260.
- Ajibola, O. O., Abonyi, B. I., and Onayemi, O. (1988). The effect of some processing variables on the dehydration of pregelled yam pieces. *Journal of Food Science and Technology* 25 (3), 117-120.
- Akingbala, J. O., Oguntimein, T. B., and Sobande, A. O. (1995). Physico-chemical properties and acceptability of yam flour substituted with soy flour. *Plant Foods for Human Nutrition* 48 , 73-80.
- Akissoe, N. H., Hounhouigan, J. D., Bricas, N., Vernier, P., Nago, M. C., and Olorunda, O. A. (2001). Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam (*Dioscorea rotundata*) tubers, flour, and "amala" a flour-derived product. *Tropical Science* (41), 151-156.
- Alexander, J., and Coursey, D. G., eds. (1969). "The Origins of yam cultivation," pp.. 1-405-425, Duckworth, London.
- Almenteros-Alcantara, V. P., and Del Rosario, R. R. (1989). Purification and properties of polyphenoloxidase in yam (*Dioscorea alata* Linn.). *The Philippine Agriculturist* 72 (4), 496-506.
- Almenteros, V. P., and Del Rosario, R. R. (1985). Phenolic content and polyphenoloxidase

- activity related to browning in yam (*Dioscorea alata* Linn.). *The Philippine Agriculturist* 68 , 449-452.
- Anosike, E. O., and Ikediobi, a. (1983). The biochemistry of the browning of yam tubers. In "National Symposium on the yam tuber", Enugu.
- Anosike, E. O., and Ayaebene, A. O. (1982). Properties of polyphenol oxidase from tubers of the yam *dioscorea bulbifera*. *Phytochemistry* 21 (8), 1889-1893.
- Asemota, H. N., Wellington, M. A., O dutuga, A. A., and Ahmad, M. H. (1992). Effect of short-term storage on phenoloic content, o-diphenolase and peroxidase activities of cut yam tubers (*Dioscorea* sp). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 60 , 309-312.
- Ayensu, E. S., and Coursey, D. G. (1979). Guinea yams : the botanty, ethnobotany, use and possible future of yams in West Africa. *Econ. Bot* 26 , 301.
- Badiani, M., Debiassi, M. G., and Felici, M. (1990). Soluble peroxidase from winter wheat seedling with phenoloxidase-like activity. *Plant Physiol* 92 , 489-494.
- Bate-Smith, E. C. (1975). Phytochemistry of proanthocyanidins. *Phytochemistry* (14), 1107-1113.
- Bourne, M. C. (1979). Rupture tests v. Small-strain tests in predicting consumer response to texture. *Food Tech.* 10 , 67-70.
- Brenda, G. L., Elaine T. Champagne, Bryan T. Vinyard, and Windham, a. W. R. (2000). Sensory and Instrumental Relationships of Texture of Cooked Rice from Selected Cultivars and Postharvest Handling Practices. *Cereal Chem.* 77 (1), 64-69.
- Bricas, N., Vernier, P., Ategbo, E., Hounhouigan, J., Mitchikpe, E., N'kpenu, K. E., and Orkwor, G. (1997). Le développement de la filière cossettes d'igname en Afrique de l'Ouest. *Cahiers de la recherche Développement* 44 (2), 100-114.
- Chang-Peng, Y., Shuji Fujita, MD Ashrafuzzaman, Naoko Nakamura, and Hayashi, a. N. (2000). Purification and Characterization of Polyphenol oxidase from Banana (*Musa sapientum* L.) Peel. *J. Agric. Food Chem.* (48), 2732-2735.
- Chanintorn, S., and Meullenet, a. J.-F. C. (2000). Prediction of cooked rice texture using extrusion and compression tests in conjunction with spectral stress strain analysis. *Cereal Chem.* 77 (4), 501-506.
- Chilaka, C. F., Eze Sabinus, Anyadiegwu Clement, and Peter, a. U. O. (2002). Browning in processed yams : peroxidase or polyphenol oxidase ? *Journal of the Science of Food and Agriculture* (82), 899-903.
- Coultrate, T. P. (1984). Food. The chemistry of its components, the royal society of chemistry.,

London.

Coursey, D. G., ed. (1972). "The origins and domestication of yams in West Africa," pp. 1-385-408, Mouton, the Hague.

Coursey DG and Ferber CEM (1979) The processing of yams. In : Small-scale processing and storage of tropical root crops (Plucknett DL, ed.), pp. 189-211. Boulder, CO : Westview Press.

Coursey, D. G. (1976). The Origins and domestication of yams in West Africa., Mouton, the Hague.

Dansi, A., Zoundjihékon, J., Mignouna, H. D., and Quin, M. (1997). Collecte des ignames cultivées du complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata* au Bénin. *Plant Genetic Resources Newsletter* (112), 81-85.

Dansi, A. (1995). Caractérisation des principaux cultivars d'igname du complexe *Dioscorea cayenensis- rotundata* du Nord-Est du Bénin. DEA , Université d'Abidjan, Biotechnologie et amélioration des productions végétales, Abidjan, Côte-d'Ivoire, 41 p.

Degras, L. (1986). L'igname, plante a tubercule tropicale. Maisonneuve et Larose - ACCT, Paris (FRA).

Dela Rosa, L., and Emiola, L. (1980). Characteristics of *Dioscorea rotundata* polyphenol oxidase. *Journal of Applied Biochemistry* 2 , 100-110.

Del Mundo, A. and Juliano, B. O. (1981) Consumer preference and properties of raw and cooked milled rice. *Journal of Texture Studies*, 12, 107-120.

Demeaux, M., and Vivier, P. (1984). Méthodes modernes de conservation des ignames. *Agronomie Tropicale* 39 , 186-191.

FAO (2002) Production year book. Rome : FAO.

Fliedel, G. (1994). Evaluation de la qualité du sorgho pour la fabrication du tô. *Agriculture et Développement* 4, 12-21.

Franklin, W. M., and Ruth, R. (1972). Yams (*Dioscorea* spp.) for production of chips and French fries. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 56 , 228-234.

Girardin, O., Nindjin, C., Farah, Z., Escher, F., Stamp, P., and Otokoré, D. (1998). Use of gibberellic acid to prolong dormancy and reduce losses during traditional storage of yams. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77 , 172-178.

Glories, Y. (1990). Oxygène et élevage en barriques. *Rev. Fr. Oenol.* (124), 91-96.

Gooding, E. G. B. (1972). The production of instant yam in Barbados. *Trop. Sci.* 14 , 323.

Guyot, S., Marnet, N., Laraba, D., Sanoner, P., and Drilleau, J.-F. (1998). Reversed-Phase following Thiolysis for Quantitative Estimation and Characterization of the Four Main Classes of Phenolic compounds in Different Tissue Zones of a French Cider Apple

- Variety (*Malus domestica* Var. Kermerrien). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* (46), 1698-1705.
- Hounhouigan, D. J., Kayode, A. P., Bricas, N., and Nago, C. M. (2002). Les caractéristiques culinaires des ignames recherchées en milieu urbain au Bénin. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin*, 4 (2)143-160 .
- Hounhouigan, and Akissoe. (1997). "Diagnostic et amélioration des systèmes techniques de transformation de l'igname en cossettes et en produits dérivés au Bénin,". FSA/UNB/Bénin-CIRAD/France.
- Hounhouigan DJ, Nout MJR, Nago CM, Houben JH and Rombouts FM (1993) Composition and microbiological and physical attributes of mawè, a fermented maize dough from Benin. *International Journal of Food Science and Technology* 28, 513-17.
- Ige M and Akintunde F (1981) Studies on the local techniques of yam flour production. *Journal of food technology* 16, 303-11.
- Ikediobi, C. O., Chelvarajan, R. L., and Agwu, I. U. (1989). Biochemical aspects of wound healing in yams (*Dioscorea* spp). *J Sci Food Agric* 48 (2), 131-139.
- Ikediobi, C. O., and Obasuyi, H. N. (1982). Purification and some properties of o-diphenolase from white yam tubers. *Phytochemistry* 21 (12), 2815-2820.
- Imbert, M. P., and Seaforth, C. (1968). Anthocyanins in *Dioscorea alata* L. *Experientia* 24 (5), 447-449.
- Izundu, A. I. (1995). Peroxidase activity and inhibition of browning reaction in *Dioscorea dumetorum* tubers. *Journal of root crops* 21 (1), 12-16.
- Jakubczyk, T. E. (1982). Root and tubers processing in some West African countries. In "Root and tubers production, storage, processing and Marketing in Africa", Dakar Senegal.
- Jean-François, M., Elaine T. Champagne, Karen L. Bett, Anna M. McClung, and Kauffmann, a. D. (2000). Instrumental Assessment of Cooked Rice Texture Characteristics : A Method for Breeders. *Cereal Chem.* 77 (4), 512-517.
- Jean-François, C. M.; Jason Gross; Bradley P. Marks; Daniels, a. M. Sensory Descriptive Texture Analyses of Cooked Rice and Its Correlation to Instrumental Parameters using an Extrusion Cell. *Cereal Chem* 1998, 75, 714-720.
- Kamenan A, Beuchat LR, Chinnan MS and Heaton EK (1987) Composition and physico-chemical properties of yam (*Dioscorea species*) flour prepared using different processes. *Journal of Food Processing and Preservation* 11, 299-308
- Karnick, C. R. (1971). Phytochemical investigations of some *Dioscorea* species and varieties found in India. *Quarterly Journal of Crude drug Research* 11 , 1763-1773.

- Knuth, J. (1924). Dioscoreaceae. (ed.) eds. *Engler*, (pp. 1-387) Das Pflanzenreich.
- Leach HW, McCowen LD and Schoch TJ (1959) Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry* 36, 534-44.
- Lees R (1961) Laboratory handbook of methods of food analysis.. London: Leonard Hills, pp.150-75
- Lev, L. S., and Shriver, a. (1998). A trend analysis of yam production, area, yield and trade (1961-1996). In "L'igname, plante séculaire et culture d'avenir", Montpellier, France.
- Macheix, J. J., Fleuriet, A., and Billoët, J. (1990). Fruits phenolics., Boca Raton Florida.
- Martin, F. W., and Ruberte, R. (1976). The polyphenol of dioscorea alata (Yam) tubers associated with oxidative browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 24 (1), 67-70.
- Martin, F. W., and Ruberté, R. (1975). Bitterness of *Dioscorea Cayenensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 23 (6), 1218-1219.
- Mathew, P. A., and and Parpia, H. A. B. (1971). Food browning as a polyphenol reaction. *Adv. Food Res* 19 , 75.
- Mayer, A. M., and Harel, E. (1979). Polyphenol oxidase in plants. *Phytochem* 18 , 193-215.
- Mazza, G., and Miniati, E. (1993). Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains., Boca Raton.
- Mestres, C., Bounou, O., Akissoë, N., and Zakhia, N. (2000). Comparison of the expansion ability of fermented maize flour and cassava starch during baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80 , 665-672.
- Mestres C, Nago MC, Akissoe HN and Matencio F (1997) End use quality of some african corn kernels. 2. Cooking behaviour of whole dry-milled maize flour, incidence of storage. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 45, 565-71.
- Mestres, C., Matencio, F., Pons, B., Yajid, M., and Fliedel, G. (1996). A rapid method for the determination of amylose content by using Differential Scanning Calorimetry. *Starch* 48 (1), 2-6.
- Mozie, O. (1982). Effect of air flow on weight losses and sprouting of white yam tubers (*Dioscorea rotundata* Poir) stored in the conventionnal barn. *Tropical Root and Tuber Crops Newsletter* , 32-37.
- Mullins, W. R., Olson, R. L., and Treadway, R. H. (1953). Control of discolouration of potato. review. *U.S Dept. Agr., Bur. Agr. And Ind. Chem. Mimeo.Circ.Ser. AIC-303*.
- Mozie, O. (1988). Effect of storage temperature on storage weight losses in white yam (*Dioscorea rotundata* Poir) tubers. *Tropical Science* 28 (4), 273-276.

- Muzac-Tucker, I., Asemota, H. N., and Ahmad, M. H. (1993). Biochemical composition and storage of Jamaican yams (*Dioscorea* sp). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 62 , 219-224.
- Nago, M., Hounhouigan, J., Akissoë, N., Zanou, E., and Mestres, C. (1998a). Characterization of the Beninese traditional ogi, a fermented maize slurry: physico-chemical and microbiological aspects. *International Journal of Food Science and Technology* 33 , 307-315.
- Nago, M., Tétégan, E., Matencio, F., and Mestres, C. (1998b). Effects of maize type and fermentation conditions on the quality of Beninese traditional ogi, a fermented maize slurry. *Journal of Cereal Science* 28 , 215-22.
- Nago, M., Akissoë, N., Matencio, F., and Mestres, C. (1997). End use quality of some African corn kernels. 1. Physico-chemical characteristics of kernels and their relationship with the quality of "lifin", a traditional whole dry-milled maize flour from Benin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45 (3), 555-564.
- Nakazawa, F., Noguchi, S., Takahashi, J., and Takada, M. (1984). Gelatinization and retrogradation of rice starch studied by differential scanning calorimetry. *Agricultural and Biological Chemistry* 48 (1), 201-203.
- Ngoddy, P. O., and Onuoha, C. C. (1983). Selected problems in yam processing. In "Symposium on yam biochemistry", pp. 295-317. Anambra State University (Nigeria), Anambra (Nigeria).
- Nout MJR, Rombouts FM and Havelaar A (1989) Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganisms. *International Journal of Food Microbiology* 8, 351-61.
- Okaka, J. C., Okorie, P. A., and Ozo, O. N. (1991). Quality evaluation of sun-dried yam chips. *Tropical Science* 30 , 265-275.
- Olorunda AO and Tung MA (1985) Simulated transit studies on tomatoes ; effects of compressive load, container, vibration and maturity on mechanical damage. *Journal of Food Technology* 20, 669-78.
- Okonkwo, S. N. C. (1983). The botany of yam plant. In "National Symposium on the yam tuber", Enugu.
- Olorunda, A. O., Mckelvie, A. D., and Macklon, A. E. S. (1974). Effect of temperature and chloroprotham on the storage of the yam. *J. Sci. Fd. Agric* 25 , 1233.
- Olorunda, A. O., and Adesuyi, S. A. (1970). "A comparison between the barn and clamps methods of storing yams," Nigerian stored product Institute.

- Omidiji, O., and Okzupor, J. (1996). Time course of PPO-related browning. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 70 , 190-196.
- Onayemi, O. (1982). Roots and tubers in Africa. Their economic importance and technological problems. In “ Proceedings of the Regional workshop”, pp. 1-14. chinsman, B, Dakar, Senegal.
- Onayemi, O., and Idowu, A. (1988). Physical and chemical changes in traditionally stored yam tubers (*Dioscorea rotundata* Poir and *Dioscorea cayenensis* Lam). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36 , 588-591.
- Onayemi, O., and Potter, N. N. (1974). Preparation and storage properties of drum-dried white yam (*Dioscorea rotundata* Poir) flakes. *Journal of Food Science* 39 , 559-562.
- Osagie, A. U., and Opoku, A. R. (1984). Enzymatic browning of yams (*Dioscorea* species). *Nigerian Journal of Biochemistry* (1), 25-29.
- Osborne DR and Voogt P (1978) The analysis of nutrients in food. London: Academic Press 151-3
- Osuji, G. O., and Umezurike, G. M. (1983). The biochemistry of the deterioration of yam tuber. In “National Symposium on the yam tuber”, Enugu.
- Ozo, O. N., and Caygill, J. C. (1986). O-dihydroxyphenoloxidase action on natural polyhydric phenolics and enzymic browning of edible yams. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 37 , 283-288.
- Ozo, O. N., and Caygill, J. C. (1985). Some characteristics and a comparison of the activities of o-dihydroxyphenoloxidase from five yam (*Dioscorea* spp.) species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36 , 973-979.
- Ozo, O. N., Caygill, J. C., and Coursey, D. G. (1984). Phenolics of five yam (*Dioscorea*) species. *Phytochemistry* 23 (2), 329-331.
- Passam, H. C., Wickham, L. D., and Wilson, L. A. (1982). The long-term storage of yam tubers (*Dioscorea alata* L.) with reference to early-season production. *Tropical Science*, 24 , 99-110.
- Rasper, V., and Coursey, D. G. (1967). Anthocyanins of *Dioscorea alata* L. *Experientia* 23 (8), 611-612.
- Ravindran, G., and Wanasundera, J. P. D. (1992). Chemical changes in yam tubers (*Dioscorea alata* and *D. esculenta*) during storage. *Tropical Science* 35, 57-62.
- Peryam, D. R. (1963). Variability of taste perception. *J. Food Sci.*, 28, 734-740.
- Peyron, D., Boukharta, M., and Feuillat, M. (1994). Evolution de la composition phénoliques des vins rouges en relation avec la qualité des bois de chêne de tonnellerie. *Rev. Fr.*

- Oenol.* (146), 5-10.
- Sauphanor, B., and Ratnadass, A. (1985). Problèmes entomologiques liés à la conservation de l'igname en Côte d'Ivoire. *Agronomie Tropicale* 40 , 261-270.
- Steele, W. J. C., and Sammy, G. M. (1976). The processing potentials of yams (*Dioscorea* spp.) II. Precooked drum dried flakes-instant yams. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 60 , 215-223.
- Swain, T., and Hillis, W. E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 10 , 63-68.
- Telek, L., Martin, F. W., and Ruberté, R. M. (1974). Bitter compounds in tubers of *Dioscorea bulbifera* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 22 (2), 332-334.
- Teranishi, R. (197). Odor and molecular structure. In *Gustation and Olfaction*, G. Ohloff, and A. F. Thomas. Academic Press, New York
- Tono, T., Fujita, S., and Ikeda, T. (1995). Difference spectrophotometric measurement of catecholamine oxidative activity of edible yam (*Dioscorea*) polyphenol oxidase. *Food Science and Technology INTERNATIONAL* 1 (2), 89-93.
- Vernier P., Dossou R. A., and Letourmy P. (1999). La fabrication des cossettes d'igname *Dioscorea alata* : influence de la variété et du type de cossettes sur le séchage, la conservation et la qualité organoleptique. *African Journal of Root and Tuber Crops* (3), 62-68.
- Vernier P and Dumont R (1998) Production and utilisation of yam chips in Bénin. Current situation and outlook. In: Proceedings 6th Symposium of the ISTRC-AB, Lilongwe Malawi (Akoroda MO and Ekanayake IJ, eds) pp. 418-23 Ibadan, Nigeria: ISTRC-AB,
- Wanasundera, J. P. D., and Ravindran, G. (1992). Effects of cooking on the nutrient and antinutrient contents of yam tubers (*Dioscorea alata* and *Dioscorea esculenta*). *Food Chemistry* 45 , 247-250.
- Wanasundera, J. P. D., and Ravindran, G. (1994). Nutritional assessment of yam (*Dioscorea alata*) tubers. *Plant Food for Human Nutrition* 46 , 33-39.
- Yang, C.-P., Fujita, S., Ashrafuzzaman, M. D., Nakamura, N., and Hayashi, N. (2001a). Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa sapientium* L.) pulp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 , 2732-2735.
- Yang, C.-P., Fujita, S., Ashrafuzzaman, M. D., Nakamura, N., and Hayashi, N. (2001b). Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa sapientium* L.) peel. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 , 1446-1449
- Yubedee, A. G. (1998). Role of polyphenol oxidase, peroxidase and total phenol content in

differential resistance of *Diocorea* species to *Fusarium moniliforme*. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 68 (10), 644-646.

Szczesniak, A. S. (1988). Applying rheology to dough and baked goods. *CEREAL Foods World* 33 (10), 841-843.

IITA.