REPUBLIQUE DU BENIN
-=-=-=-=-=-=-=-
UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
-=-=-=-=-=-=-=-
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
-=-=-=-=-=-=-=-
DEPARTEMENT DE NUTRITION ET SCIENCES ALIMENTAIRES
-=-=-=-=-=-=-=-

IMPACT DU DEGERMAGE ET DE LA MOUTURE A SEC DU MAÏS SUR LA QUALITE DE LA FARINE ET SUR SON APTITUDE A LA CONSERVATION; COMPARAISON AVEC LE LIFIN

Par

Agbéwonu Kosi DAVO

THESE

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome

OPTION : Nutrition et Sciences Alimentaires

SUPERVISEUR

Dr. Christian MESTRES

Soutenue, le 17 décembre 2002

REPUBLIQUE DU BENIN
-=-=-=-=-=-
UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
-=-=-=-=-=-
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
-=-=-=-=-=-=-
DEPARTMENT OF NUTRITION AND FOOD SCIENCES
-=-=-=-=-=-=-

EFFECT OF DEGERMING AND DRY MILLING OF MAIZE ON FLOUR QUALITY AND STORAGE ABYLITY; COMPARISON WITH LIFIN

By

Agbéwonu Kosi DAVO

THESIS

Submitted to the acquirement of "Ingenieur Agronome" Degree

OPTION : Nutrition and Food Sciences

Supervisor

Dr. Christian MESTRES

Presented on december, 17th 2002

CERTIFICATION

Je certifie que le travail a été effectué par DAVO Kosi Agbéwonu, étudiant à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi.

OPTION : Nutrition et Sciences Alimentaires

Le Superviseur

Dr. Christian MESTRES

DEDICACE

Je dédie la présente thèse :

- A ma feu mère KLU Affua Vinolia

- A mon feu grand frère DAVO Yawo Mawulolo

Deux êtres chers qui n'ont pu attendre la réalisation de leurs vœux les plus chers avant de retourner vers l'éternel le créateur. Que ceci vous soit un hommage posthume.

REMERCIEMENTS

J'adresse mes plus vifs remerciements au Docteur Christian MESTRES, chercheur du CIRAD-CA au CERNA-UAC/FSA, qui malgré ses multiples occupations n'a ménagé aucun effort pour nous suivre jusqu'à la mise à jour de ce document.

Nous ne saurions lui exprimer assez notre reconnaissance pour avoir facilité notre tâche par ses conseils judicieux, par les enseignements scientifiques, par son expérience et par son admirable esprit d'organisation

- Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude à tous les Enseignants de la FSA qui nous ont prodigué de sérieux enseignements et conseils tout au long de notre formation.

- J'adresse également mes remerciements à tout le personnel du Laboratoire DNSA/FSA pour leur gentillesse et leurs conseils en particulier à Madame GNONLONFOUN Thérèse, à Monsieur AKISSOE Noël; à Monsieur SOUDO Christophe et à Monsieur AYASSE Toussaint pour leur disponibilité.

- De la même manière, je voudrais exprimer ma profonde gratitude à la 26ème promotion de la FSA pour la bonne ambiance qui a prévalu au cours de notre cursus.

- A mon père DAVO Yawovi Pierre, je voudrais dire merci pour les multiples sacrifices consentis pour faire de moi l'homme que je suis.

- Je m'en voudrais de ne pas remercier mes oncles DAVO Lani Bernard, Yêvi Robert et N'DEDJI Zacharie pour leurs conseils et soutiens.

- Aux familles DAVO, YEVI de Lokogba, KLU et KOFFIDE du TOGO, KEMONOU de Womey je voudrais dire merci pour la compréhension et le soutien qu'elles n'ont pas ménagé à mon endroit tout au long de ma formation.

- A ma chérie, KEMONOU Anick et a notre enfant DAVO O'Neil Heinrick, en témoignage de confiance, de fidélité et de profond amour. Soyez assurés de ma tendre et indéfectible affection.

Enfin, un très grand merci au CIRAD, au CBDD et à la FSA pour leur soutien matériel et financier.

RESUME

La présente étude a permis d'évaluer, pour deux variétés, l'effet des technologies (intensité du dégermage, type de moulin, intensité du broyage) sur la qualité des farines de maïs et pâte dérivée. L'évolution au cours du stockage des caractéristiques physiques, rhéologiques, chimiques et organoleptiques a été aussi suivie.

Deux variétés (gnonli et gbogboué) ont été utilisées pour produire le lifin "'farine de maïs entier". Les grains entiers ont été broyés au moulin à marteaux ou à disques avec 3 ou 4 passages. En plus de ces deux types de farine, le gbogboué a été aussi dégermé durant 8, 11 ou 14 minutes au dégermeur type 2 Maquina d'Andréa. Les produits obtenus (gritz) ont été broyés au moulin à marteaux à 3 ou 4 passages. Les différents types de lifin obtenus ont été conservés dans des seaux en plastique pendant trois mois. Les caractéristiques physico - chimiques, rhéologiques et sensorielles ont été déterminées pour chaque produit toutes les quatre semaines.

Les résultats d'analyse sensorielle des farines entières et pâtes dérivées montrent que les produits issus de gnonli sont préférés à ceux de gbogboué. Les farines de gnonli sont plus blanches (100 – L* = 13.4), plus fine (% passant au tamis de 250µm = 32,8) et leur pâte plus visqueuse (V95d =203 uRVA) que celles de gbogboué (15,2; 26,2; 121 respectivement). Les produits dégermés à 11 ou 14 mn et passés 3 fois au moulin à marteaux sont préférés par les consommateurs, le dégermage augmente la clarté (100 – L* = 11,5 et 11,2 pour des dégermages à 8 et 14 minutes), la finesse (% passant = 29,8 à 38,6 de 8 à 14 minutes de dégermage) et la viscosité (V95d = 171 à 188 uRVA de 8 à 14 minutes de dégermage) des farines et pâte de gbogboué. Ces caractéristiques (couleur, finesse et élasticité) semblent liées à la teneur en lipides (r = - 0,84; r = - 0,52; r = - 0,52 respectivement); plus la farine est délipidée, plus elle est blanche, fine et sa pâte élastique.

Dans tous les cas, on a observé une dépréciation des produits avec la durée du stockage. Mais les produits dégermés sont mieux notés que ceux de grains entiers. L'acidité grasse augmente dans tous les produits au cours du stockage, ceci remarquablement dans les produits issus de grains entiers (de 24 à 104 et de 14 à 33mg KOH/100g respectivement pour les grains entiers et les grains dégermés). L'acidité grasse des farines est fortement corrélée à l'élasticité (r = -0,61) et au goût (r = -0,77) ceci a permis de conclure que les farines des grains entiers peuvent être conservées pendant un mois et trois pour celles des grains dégermés.

ABSTRACT

This study aimed at evaluating the effect of technology (intensity of degerming, kind of mill, intensity of milling) on the quality of maize flour and maize pasta obtained from two cultivars. The modification of physical, chemical and sensorial properties was also flollowed during storage.

Two cultivars (gnonli and gbogboué) were used to produce "Lifin"(whole maize flour). The whole kernels were milled in a hammer or disk mill with three or four passes. Gbogboué was also degermed for 8, 11 and 14 min with the type 2 Maquina d'Andréa degermer. The obtained products were milled in a hammer mill. All the flours were stored in plastic bucket for three months. Their physical, chemical and sensorial properties were determined every four weeks.

The sensorial results showed that, the color, the fineness and the texture of the flour and the paste of gnonli were better than gbogboué. Degermed flours for 11 and 14 min were prefered by consumers, giving better color, fineness and paste texture. The characteristics (colour, fineness and elasticity) seemed linked to lipid content.

Sensorial quality of flour and paste decreased with storage and particularly for whole maize flours. Fat acidity increased from 24 to 104 mg KOH/100g in the case of whole maize flour and from 14 to 73 for degermed flours. Fat acidity was highly correlated with elasticity (r =-0,61) and taste (r =-0,77) of paste. Shelf life of whole maize flours could then be fixed to one mouth. It was of 3 mouths for degermed flours.

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques physiques et histologiques des principales variétés de maïs en usage au Bénin.....8

Tableau 2: Composition chimique des principales variétés de maïs en usage au Bénin.....11

Tableau 3: Type de dégermeur dans les industries.....16

Tableau 4: Caractéristiques agronomiques et physiques des variétés gbogboué et gnonli.....19

Tableau 5: Caractéristiques chimiques globales des farines (analyse au temps zéro des lipides, cendres et matière sèche).....31

Tableau 6: Effet de la variété, du dégermage, du type de broyeur et du nombre de passages sur les caractéristiques chimiques des farines.....33

Tableau 7: Granulométrie des farines.....36

Tableau 8: Couleur des farines produites.....37

Tableau 9: Effet des paramètres opératoires sur la solubilité et le gonflement en cours de cuisson.....39

Tableau 10: Effet des paramètres technologiques sur la couleur des pâtes.....40

Tableau 11: Effet des paramètres opératoires sur la température d'empesage et sur la viscosité début 95°C.....41

Tableau 12: Effet des paramètres opératoires sur les caractéristiques sensorielles des farines.....44

Tableau 13: Effet des paramètres opératoires sur les caractéristiques sensorielles des pâtes.....46

Tableau 14: Corrélation entre les paramètres sensoriels des pâtes et farines.....47

Liste des figures

Figure 1: Les principaux produits traditionnels à base de maïs utilisés pour l'alimentation humaine au Bénin.....5

Figure 2: Coupe longitudinale d'un grain de maïs.....7

Figure 3: Diagrammes de production des différents types de lifin.....22

Figure 4: Diagramme technologique de préparation de la pâte.....23

Figure 5: Evolution de l'acidité grasse au cours du stockage.....35

Figure 6: Relation entre indice de brun et granulométrie (a) ou teneur en lipides (b) des farines.....38

Figure 7: Relation entre la température d'empesage et l'acidité grasse des farines.....42

Figure 8: Evolution de la viscosité en début de plateau à 95°C au cours du stockage des farines.....43

Figure 9: Relation entre la note de finesse et la granulométrie de la farine.....45

Figure 10: Relation entre odeur et couleur des pâtes de maïs.....48

Figure 11: Relation élasticité et goût des pâtes.....48

Figure 12: Relation entre acidité grasse des farines et goût (a) ou élasticité (b) des pâtes.....49

Liste des annexes

Annexe 1: Questionnaire "test hédonique".....58

Annexe 2 : Corrélation entre les différentes caractéristiques de la farine et de la pâte du maïs.....60

Liste des abréviations

b.s base sèche

min minute

g gramme

ml millilitre

µm micromètre

°C degré celsius

s seconde

l litre

kg kilogramme

% pourcentage

CERNA: Centre Régional de Nutrition et d'Alimentation Appliquées

CBDD: Centre Béninois de développement Durable

CIRAD: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement

FAO: Food and Agricultural organisation

FSA: Faculté des Sciences Agronomiques

HPLC: High Perfomance Liquid Chromtography

KOH: Hydroxyde de potassium

RVA: Rapid Viscosity Analyser

TE: Température d'Empesage

UAC: Université d'Abomey - Calavi

URVA: unité RVA

TABLE DES MATIERES

CERTIFICATION I

DEDICACE II

REMERCIEMENTS III

RESUME IV

ABSTRAT V

Liste des tableaux.....VI

Liste des figures.....VIII

Liste des annexes.....IX

Liste des abréviations.....X

TABLE DES MATIERES XII

INTRODUCTION 1

ETUDES ANTERIEURES 3

1 - Importance socio-économique du maïs au Bénin 3

1.1 - Le maïs dans l'économie béninoise 3

1.2 - Le maïs dans l'alimentation au Bénin : formes, niveaux de consommation 4

2- Caractérisation du maïs 6

2.1 - Les principaux types de maïs au Bénin 6

2.2 - Structure des grains de maïs 6

2.3 - Caractéristiques physico-chimiques des grains de maïs 7

2.3.1 - Caractéristiques physiques 7

2.3.1.1 -Taille et forme des grains 9

2.3.1.2 - Texture des grains 9

2.3.2 - Caractéristiques chimiques 10

2.3.2.1 - L'amidon.....11
2.3.2.2 - Les protéines.....14
2.3.2.3 - Les lipides 14
2.3.2.4 - Les cendres.....15
3 - Le dégermage du maïs: procédé et équipement..... 15
3.1- Procédés de dégermage mécanique..... 15
3.2-Equipement de dégermage 16
3.2.1- Le dégermeur beall 17
3.2.2- L'entoleter.....17
3.2.3- Le granulator.....17
3.2.4- Le dégermeur Miag 17
3.2.5- Le dégermeur type 2 Maquina d'Andrea.....18
3.3- Les produits de dégermage.....18
MATERIELS ET METHODES.....19
1- Matériels.....19
1.1- Matériels vivants.....19
1.2- Matériels inertes..... 20
2- Méthodes..... 21
2.1- Production de lifin 21
2.1.1- Le dégermage.....21
2.1.2- La mouture..... 21
2.1.3- Diagramme de production.....22
2.2- Méthode de préparation de la pâte.....22
2.3- Analyses physico-chimiques.....23
2.3.1-Analyses physiques.....23
2.3.1.1- Détermination de la granulométrie..... 23
2.3.1.2-détermination de la couleur 24
2.3.1.3- Détermination des caractéristiques rhéologiques 24
2.3.1.4- Test de solubilité - gonflement 25
2.3.2- Analyses chimiques 26
2.3.2.1- Détermination de la teneur en eau 26

2.3.2.2- Détermination de la teneur en cendres brutes..... 26
2.3.2.3- Détermination du pH et de l'acidité titrable 26
2.3.2.4- Dosage des lipides 27
2.3.2.5- Détermination de l'acidité grasse.....27
2.3.2.6- Détermination de la teneur en sucres 27
2.4- Evaluation sensorielle..... 28
2.4.1- Méthodologie..... 29
2.4.2- Déroulement des tests hédoniques 29
2.5- Analyses statistiques..... 30
RESULTATS ET DISCUSSIONS..... 30
1- Caractéristiques chimiques des farines..... 30
1.1- Caractéristiques chimiques globale des farines.....30
1.2- Effet des paramètres technologiques..... 32
2- Caractéristiques physiques des farines.....35
2.1- La granulométrie.....35
2.2- La couleur des farines.....36
3- Caractéristiques des pâtes..... 38
3.1- Solubilité – gonflement..... 38
3.2- Couleur des pâtes..... 39
3.3- Paramètres de viscosité 40
4 - Analyse sensorielle des farines et pâtes.....43
4.1 - Analyse sensorielle des farines..... 43
4.2 - Analyse sensorielle des pâtes.....45
4.2.1 - Présentation des résultats.....45
4.2.2 - Interprétation et discussion des résultats 46
CONLUSION ET RECOMMANDATIONS..... 50
RE FERENCE BIBLIOGRAPHIQUES 52
ANNEXES.....58

INTRODUCTION

Le maïs est cultivé partout dans le monde et constitue une céréale de base surtout en Amérique latine et en Afrique (FAO, 1993). Sa culture s'est fortement développée au cours des vingt dernières années, s'étendant même hors de son aire traditionnelle (Cimmyt, 1991 ; Fusillier, 1994). En Afrique de l'Ouest en particulier, sa production a quadruplé en vingt ans quand celles du sorgho et du mil ont seulement doublé (Mestres *et al.*, 2002).

Au Bénin, le maïs est cultivé sur toute l'étendue du territoire national sur environ 550 000 ha (soit 75 % de la superficie totale consacrée à la culture des céréales) et la production globale s'élève à près de 500 000 tonnes (Anonyme, 1996). Il offre des aliments multiples et multiformes après transformation.
L'obtention de ces aliments passe par des produits intermédiaires comme la farine du maïs entier «lifin» et les pâtes fermentées, «mawè» et «ogui». Le premier est obtenu par mouture sèche des grains entiers de maïs (Latrille *et al.*, 1982, Agossou *et al*, 1986 ; Nago, 1989). Au Bénin, la pâte de farine de maïs entier (owo) occupe une place de choix. Le niveau de consommation de la pâte «owo» varie d'une région à l'autre : il est plus important au Sud qu'au Nord (Soulé, 1990). Les deux autres, produits intermédiaires, le mawè et le ogui, sont des pâtes fermentées de couleur blanche et de saveur acide (pH=3,5-4) Hounhouigan *et al.*, 1993a). Ils sont obtenus à partir de la farine de maïs fermentée. Globalement près de 50 % de maïs, dans le golfe du Bénin est broyé sous forme humide pour donner les pâtes fermentées «ogui» et «mawè» et plus de 35 % du maïs est transformé en lifin (Hounhouigan, 1994, Nago et Hounhouigan, 1990).

Ces produits présentent une grande importance socio-économique au Bénin. Cette importance est accrue par les facteurs comme : l'explosion démographique, l'accroissement de l'emploi féminin qui réduit le temps consacré à la cuisine, le développement de petites industries alimentaires, les contraintes de temps et les conditions d'habitation dans les villes, qui obligent non seulement à l'utilisation des produits prêts à cuire mais aussi des produits à longue durée de conservation.

Dès lors, il convient de se préoccuper des problèmes de qualité, et de conservation de ces produits. Ils sont liés en particulier dans le du lifin à la quantité importante de lipides présents. Ces lipides subissent au cours de la conservation du lifin une dégradation, c'est le rancissement. Il s'agit d'un phénomène spontané se produisant lorsque le lipide est au contact de l'air. Le rancissement est rapide et important au cours du stockage à température ambiante ou en réfrigération. La principale conséquence de cette dégradation est l'apparition d'une odeur et d'un goût rances qui peuvent rendre l'aliment inconsommable (Gerbouin, 1993). Il se produit aussi parfois une légère perte de valeur nutritionnelle. Ainsi la conservation du «lifin» passe par une limitation des réactions néfastes se produisant dans le produit et en particulier le rancissement. Pour cela une diminution du taux de lipides dans le produit et en particulier par un dégermage à sec semble une voie prometteuse (Mestres et *al.*2002) qu'il reste à valider au niveau technologique (tests des différents matériels) et organoleptiques (tests auprès des consommateurs).

En effet, une bonne compréhension des relations existant d'une part entre le type de moulin utilisé pour la mouture et la qualité du lifin et, d'autre part, entre les caractéristiques physico-chimiques et les propriétés organoleptiques des produits traditionnels et dégermés devra permettre d'élaborer les technologies les mieux adaptées et de préciser la durée de conservation des produits. C'est dans ce cadre que «l'impact du dégermage et de la mouture à sec du maïs sur la qualité et la conservation du lifin (farine de maïs entier)» est étudié.

Cette étude se fixe comme objectifs :

- D'évaluer l'effet des technologies (intensité du dégermage, type de moulin et intensité de broyage);
- d'évaluer l'évolution au cours du temps des caractéristiques physiques (couleur), rhéologiques (RVA, solubilité gonflement), chimiques (pH, acidité titrable, acidité grasse, matière sèche) et organoleptique des produits traditionnels et des produits obtenus par dégermage et mouture à sec.

ETUDES ANTERIEURES

1 - Importance socio-économique du maïs au Bénin

1.1 - Le maïs dans l'économie béninoise

Le maïs fut introduit au Bénin au XVIè siècle au travers du commerce triangulaire établi à cette époque entre l'Europe, l'Amérique et l'Afrique. Grâce à ses mérites, tant agronomiques que technologiques et culinaires, il a acquis très tôt un rôle de premier plan dans la vie économique et socio-culturelle des populations du pays au point que diverses légendes y situent à tort, l'origine de la plante et de sa culture (Adandé 1984).

Le maïs est ainsi devenu au Bénin la principale culture vivrière et le principal aliment de base des populations (Nago, 1986). Sa culture s'est d'abord développée dans la partie méridionale du pays avant de s'étendre progressivement depuis une vingtaine d'années aux régions centrale et septentrionale (Nago, 1997). Elle occupe de nos jours 550 000 ha (soit 75 % de la superficie consacrée aux céréales et 30 % de la superficie totale emblavée dans le pays) (Anonyme, 1995).

La production nationale est passée de 200 000 tonnes en 1961 à 375 000 tonnes en 1984, puis à 500 000 tonnes en 1995 (Nago, 1997; Anonyme, 1996).

Par cette production, le maïs à lui seul, apporte en valeur chaque année près de 40 milliards de FCFA à l'économie béninoise. Le maïs est devenu en effet depuis une vingtaine d'années dans le pays, un produit de rente par excellence (Nago, 1997). Sa distribution se fait principalement en grains selon trois canaux différents (Nago, 1986) :

- vente à l'intérieur de la zone de production, dans un espace géographique restreint ;
- approvisionnement des centres urbains (alimentation des populations, artisanat alimentaire) et
- exportation vers les pays voisins (Nigéria, Niger, Togo) parfois plus lointains (Gabon, Cap vert .....).

L'évolution des indices de prix annuels du produit révèle son importance économique et l'ampleur de son potentiel comme source de revenus au Bénin (Lutz, 1992).

1.2 - le maïs dans l'alimentation au Bénin : formes, niveaux de consommation

Le maïs constitue la céréale la plus utilisée dans l'alimentation humaine au Bénin. Le niveau moyen de consommation est élevé (85 kg de maïs par habitant et par an sur toute l'étendue du territoire). Ce fait porte le Bénin au premier rang des pays grands consommateurs du maïs en Afrique de l'Ouest (Nago et Hounhouigan, 1994). Le niveau de consommation varie toute fois suivant les régions. Dans le département de l'Atacora la consommation est estimée à 10 kg par habitant et par an alors qu'elle atteint 136 kg dans l'Ouémé et l'Atlantique (FAO, 1990).
Le maïs est utilisé dans l'alimentation depuis le début de la maturité (maïs frais). Il peut servir seul à la préparation des aliments ou il peut être combiné à d'autres produits (Figure 1). Adandé (1984) a rapporté que plus de 70% du maïs consommé proviennent du maïs fermenté ou germé. Il a aussi souligné que la consommation du maïs dépasse de loin celle du gari.

Au regard de ces données, il apparaît que le maïs autrefois consommé dans la partie méridionale du pays s'impose maintenant comme un aliment national. Il entre dans la ration du Béninois soit comme boisson, soit comme aliment de base pour un plat consistant, soit comme collation (Akissoé, 1992).

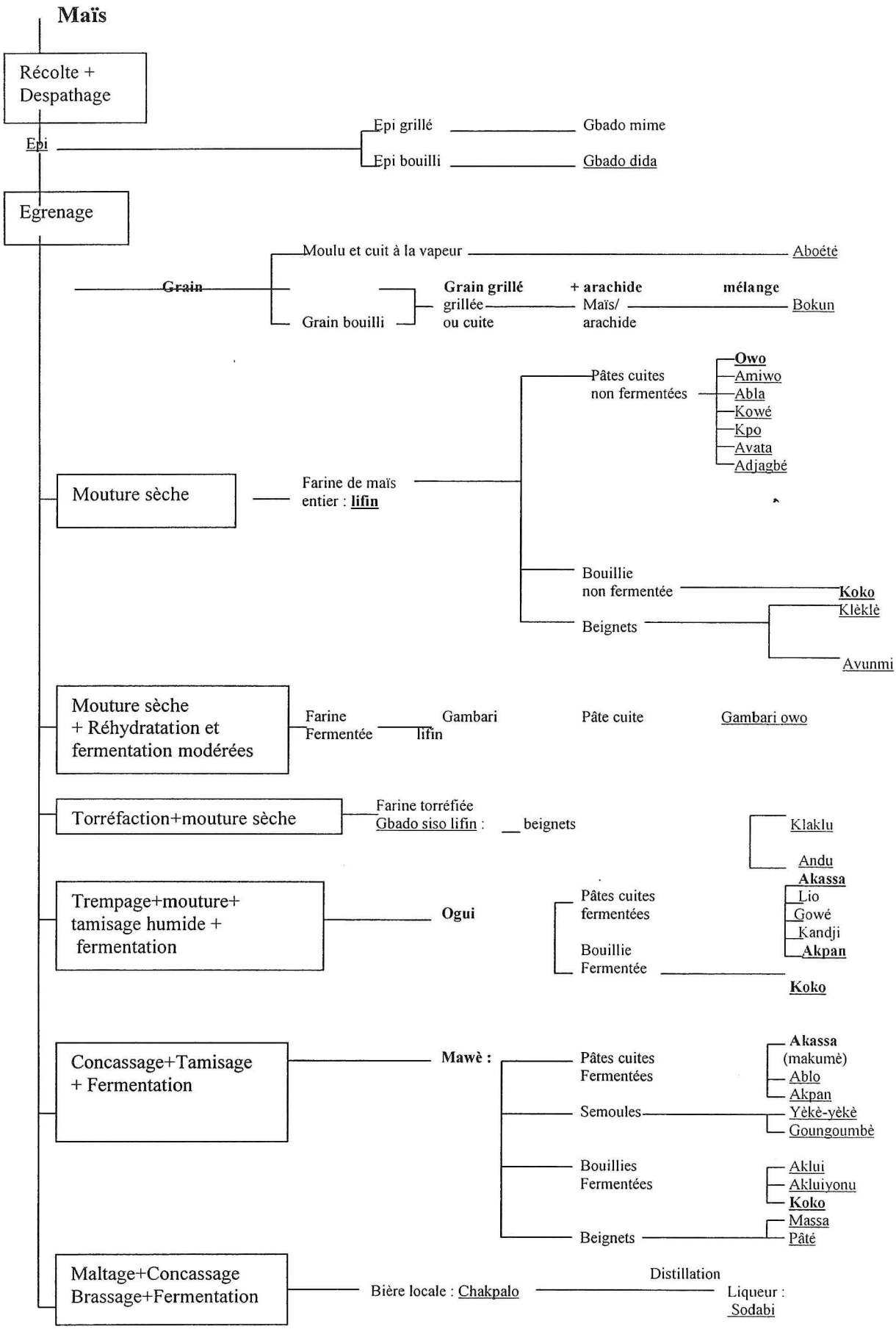


Figure 1. Les principaux produits traditionnels à base de maïs utilisés pour l'alimentation humaine au Bénin (Source : Nago, 1989)

1 - Caractérisation du maïs

Le maïs appartient à l'ordre des céréales et à la famille des poacées. C'est un fruit sec indéhiscent appelé caryopse qui se caractérise par une enveloppe protectrice ou péricarpe, un albumen et un embryon.

2.1 - Les principaux types de maïs au Bénin

Au Bénin, on distingue deux types de maïs :

- Les écotypes locaux, qui sont souvent nommés et classés en se référant à leur couleur à la forme et à la taille de leurs grains et à la durée de leur cycle végétatif (Nago, 1997). Ces écotypes locaux sont fort répandus et parmi eux, les variétés à grains blancs et à cycle court (70 – 90 jours) ou intermédiaire (90 – 100 jours) sont prédominantes (Nago, 1989, Dokoui, 1993). On y retrouve également quelques variétés à grains jaunes et plus rarement des variétés bigarrées (comportant des parties blanches, rouges, bleues et ou violettes) (Nago, 1997).
- Les variétés améliorées comprennent des cultivars à cycle long, intermédiaire ou court de maïs. Elles paraissent appartenir aux types indurata (maïs vitreux, corné, de forme ronde et à albumen épais et dur), indentata (maïs denté avec une combinaison d'albumen farineux et tendre et d'albumen vitreux), amylacea (maïs farineux et tendre avec très peu d'albumen vitreux) (Nago, 1997).

2.2 - Structure des grains de maïs

La structure anatomique du grain de maïs est comparable à celle des autres céréales. Le grain de maïs est composé de quatre parties essentielles : le pédoncule ou coiffe, le péricarpe, le germe et l'albumen (figure 2). Le grain est caractérisé par l'importance du germe (12 %) et la proportion de matières grasses qui s'y concentrent (environ 83 % de la matière sèche du germe) (Willm, 1991).

Le péricarpe constitue la couche protectrice de la graine. Il est riche en sels minéraux en fibres et en protéines. Les technologies de transformation entraînent l'élimination et la quasi totalité du péricarpe et par voie de conséquence des pertes non négligeables d'éléments nutritifs contenus dans les débris de son (Hounhouigan, 1997).

L'albumen renferme dans sa couche externe à aleurone des protéines et des vitamines et, dans sa couche interne des réserves amylacées et quelques vitamines (Aho et Kossou, 1993).

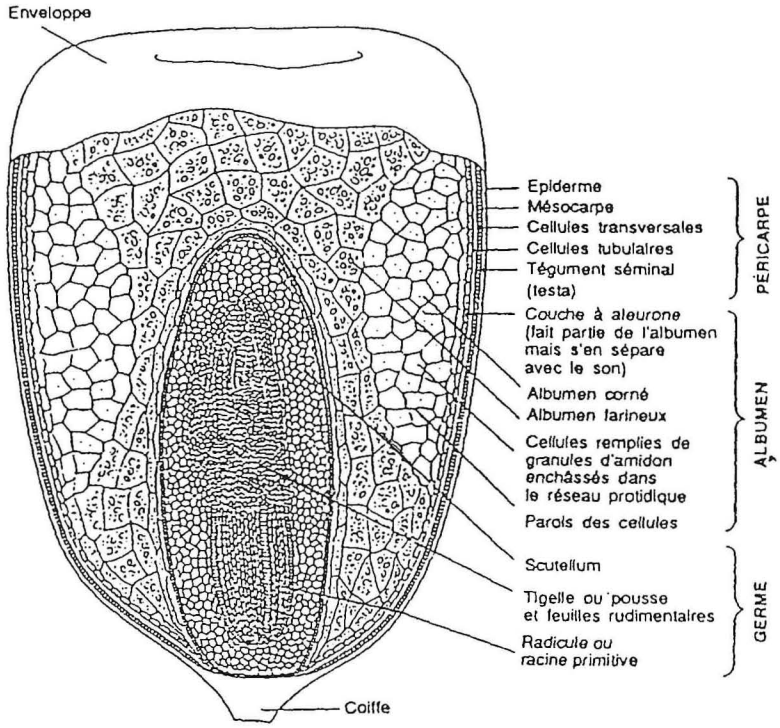


Figure 2 : Coupe longitudinale d'un grain de maïs (Source: Nago 1997)

2.3 - Caractéristiques physico-chimiques des grains de maïs

2.3.1 - Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques du grain de maïs déterminent le comportement du grain au dégermage. Parmi ces caractéristiques physiques on distingue : la taille, la forme et la texture des grains (Tableau 1). Ainsi par exemple, les grains farineux ont tendance à produire plus de farine et de gritz de petite taille alors que les grains à texture vitreuse fournissent moins de farine et plus de gros gritz (Kayode, 1999).

Tableau 1 : Caractéristiques physiques et histologiques des principales variétés de maïs en usage au Bénin

Variétés de maïs	Caractéristiques physiques					Composition histologique		
	Masse de 1000 desgrains (b,bs)	Pourcentage de grains dentés	Indice de vitrosité	Indice de friabilité (%)	Couleur grains (%, bs)	Albumen (%, bs)	Germe (%, bs)	Péricarpe (%, bs)
Ecotypes locaux								
	152	0	56	44	Jaune	85,6	10,8	3,6
GBAEVE	181	6	52	53	Blanche	84,3	12,4	3,3
GBOGBOUE	177	27	18	66	Blanche	84,8	11,9	3,3
GNO NLI	178	9	56	44	Blanche	84,5	11,8	3,7
GOUGBA	238	30	64	48	Blanche	81,0	12,7	6,3
DJAKPE								
Variétés améliorées								
DMR-ESR-W	227	14	71	40	Blanche	83,9	11,7	4,4
POZA RICA 7843-SR	266	61	89	37	Blanche	83,3	11,0	5,7
PIRSABACK 7930-SR	201	1	78	39	Blanche	82,9	12,3	4,8
SEKOU 85	247	45	82	39	Blanche	82,5	12,9	4,6
BML	237	14	66	41	Blanche	83,4	12,8	3,8
DMR-ESR-Wx28 Sybthetic 1	238	5	69	39	Blanche	80,7	13,5	5,8
GBOGBOUE x TZSR-W	219	56	72	41	Blanche	79,3	14,0	6,7
AB11	252	69	65	45	Blanche	81,7	11,3	7,0
AB12	215	74	53	47	Blanche	79,9	13,4	6,8
AB13	247	60	75	38	Blanche	77,7	15,3	7,4
NH2-SR	225	5	67	40	Blanche	81,9	11,7	6,4
TZSR-W	229	50	66	39	Blanche	79,6	11,9	8,5
TZB-SE-SR	238	48	22	51	Blanche	79,5	12,9	7,6
TZPB-SR	204	23	68	40	Blanche	82,6	10,6	6,8
SEKOU 85 X TZSR-W	250	57	75	41	Blanche	81,3	11,4	7,2
LA POSTA	278	74	86	39	Blanche	82,1	9,8	8,1
Moyenne	224	35	64	43		82,0	12,2	5,8
CVV (%)[a]	14	73	27	15		2	10	28

a = Coefficient de variation entre variétés
Source (Nago, 1997)

2.3.1.1 - Taille et forme des grains

La masse de mille grains est un paramètre caractéristique de la taille des grains et semble étroitement liée à leur densité (Chasseray, 1991 ; IITA, 1991). Elle dépend des facteurs génétiques, environnementaux et agronomiques et atteint sa valeur maximale au stade de maturité des grains lors du cycle cultural du maïs (Frey, 1981). La taille et la forme des grains a une influence sur l'obtention et la qualité des produits de mouture. La forme des grains est mesurée soit par l'indice de sphéricité, soit par l'indentation. Ainsi, on distingue les grains ronds et les grains plats. Un grain est d'autant plus rond que son indice de sphérité est proche de l'unité. Les grains plats (Sphéricité faible) fournissent plus de gritz que les grains ronds (Mestres *et al* ; 1991, Raju *et al.*, 1992). On distingue les grains dentés (présentant une dépression apicale) et les grains cornés (sans dépression apicale) (Nago, 1997).

2.3.1.2 - Texture des grains

La caractérisation de la texture des grains permet d'apprécier entre autres : l'aptitude du grain à donner des produits spécifiques, l'énergie nécessaire pour la mouture et la durée de broyage et le comportement du grain en mouture sèche ou humide (Hoseney et Faubion, 1992). Les principaux paramètres utilisés pour caractériser la texture des grains sont la vitrosité, la densité et la dureté.

Le grain farineux s'oppose au grain vitreux qui se caractérise par un albumen compact et translucide. On relie généralement la vitrosité du grain à sa dureté, c'est-à-dire que la partie farineuse est plus tendre et plus facile à réduire en farine que la partie vitreuse. Une étude conduite par Brokke *et al.* (1971) sur l'aptitude au dégermage de la variété de maïs opaque-2 a montré que le grain fournit un faible rendement en gritz et plus de farine à cause de la texture farineuse de l'albumen.

Diverses méthodes sont mises au point pour mesurer la vitrosité des grains. Parmi celles-ci on distingue :

- la méthode de l'examen visuel sur des coupes transversales des grains ;
- l'appréciation de l'opacité des grains entiers à travers l'analyse d'une image et
- la mesure et la composition des aires respectives de l'albumen vitreux et l'albumen farineux (Louis Alexandre *et al.*, 1991).

Certains auteurs (Mestres *et al.*, 1991 ; IITA, 1991) ont montré que la vitrosité et la densité du grain de maïs sont correlées : plus la vitrosité du grain est grande, plus sa densité est élevée. Ainsi, les grains cornés ont une densité plus grande que celle des variétés dentées (Waston, 1987 b). Parmi les méthodes utilisées pour déterminer la densité, les plus fiables étant actuellement la pycnomètrie à gaz et le test de flottaison dans une solution de nitrate de sodium ou de tétrachlorure de carbone (Thompson et Isaacs, 1967 ; Grustaffou et al, 1970 ; Chang, 1988 ; Mestres *et al.*, 1991 ; IITA, 1991). La dureté quant à elle exprime l'aptitude du grain à résister à la déformation induite par une force extérieure (écrasement, broyage ou mouture) (Kayodé, 1999).

La méthode PSI («Particle Size Index») est l'une des méthodes utilisées pour mesurer la dureté. Cette méthode est la plus utilisée et consiste en l'évaluation de la taille des particules, après broyage des grains à l'aide d'un tamis d'ouverture de maille précise.

2.3.2 - Caractéristiques chimiques

Le grain de maïs, comme d'autres semences est un organe de réserve qui renferme toutes les substances nécessaires à la reproduction et à la multiplication de la plante (Nago, 1997) (Tableau 2). Il est composé principalement d'amidon (64 – 78 %, base sèche), de protéines (7 – 12 %), de lipides (4 – 6 %) de sucres (1,0 – 3,0 %) de substances minérales (1,0 – 1,5 %) ; de fibres (2,0 – 2,5 %) et vitamines (Inglett, 1970b).

Tableau 2 : Composition chimique des principales variétés de maïs en usage au Bénin

Variétés de maïs	Teneur en eau (% MH)	Protéines brutes (% MS)	Amidon (% MS)	Amylose (% MS)	Lipides (% MS)	Cendres (% MS)
Ecotypes locaux						
GBAEVE	13,4	10,0	73	23,3	4,2	1,26
GBOGBOUE	13,8	10,8	73	23,0	4,8	1,50
GNO NLI	13,5	9,6	76	22,6	4,3	1,30
GOUGBA	13,6	10,9	74	24,2	4,0	1,18
DJAKPE	14,2	9,9	76	23,5	4,7	1,50
Variétés améliorées						
DMR-ESR-W	13,4	10,6	73	22,7	4,6	1,01
POZA RICA 7843-SR	13,9	11,2	72	22,3	4,6	1,24
PIRSABACK 7930-SR	13,5	11,6	73	23,4	4,5	1,18
SEKOU 85	12,0	12,0	72	22,6	4,7	1,36
BML	13,2	11,3	73	22,5	4,5	1,40
DMR-ESR-Wx28 Sybthetic 1	14,0	11,0	72	22,8	4,7	1,11
GBOGBOUE x TZSR-W	14,1	9,4	73	23,3	4,8	1,19
AB11	14,1	9,9	74	23,1	4,3	1,26
AB12	13,4	10,6	72	22,9	4,3	1,22
AB13	14,6	10,5	75	22,3	3,7	1,27
NH2-SR	13,9	10,9	70	23,0	5,2	1,17
TZSR-W	13,9	9,7	72	22,3	4,6	1,17
TZB-SE-SR	13,8	9,1	71	22,0	5,7	1,02
TZPB-SR	14,1	11,0	72	23,2	4,4	1,18
SEKOU 85 X TZSR-W	13,9	10,2	73	23,5	5,7	1,27
LA POSTA	13,9	9,9	73	22,6	5,4	1,22
Moyenne	13,7	10,5	73	22,9	4,7	1,24
CVV (%)[a]	4	7	2	2	10	10

a = Coefficient de variation entre variétés

Source : Nago, 1997

2.3.2.1 - L'amidon

L'amidon est le constituant le plus important du grain de maïs. Il représente en moyenne 72 % du grain (Base sèche), ce qui explique l'utilisation majeure du produit comme source d'énergie dans l'alimentation humaine et animale (Watson, 1987a). La plus grande partie de cet amidon (98 %) est localisée dans l'albumen sous forme de granules insolubles (Watson, 1987a). l'amidon de maïs est un mélange variable de deux macromolécules l'amylose et l'amylopectine (27 et 73 % respectivement).

* ***L'amylose***

L'amylose représente chez la plupart des plantes supérieures, 20 à 30% de l'amidon. C'est un polyholoside essentiellement linéaire composé de résidus D-anhydroglucopyranose associés entre eux par des liaisons de type α (1-4) qui représente 95 à 96% et dans une moindre mesure par des liaisons (1-6) représentant 4 à 5% (Mestres,1986; Brabet,1994). Une extrémité de la chaîne porte le groupement pseudo-aldéhyque réducteur. La masse molaire moyenne de l'amylose est de l'ordre de 10^5 à 10^6 g et son degré de polymérisation moyen de 200 à 6000 unités (Duprat, et al.,1980).

* ***amylopectine***

L'amylopectine est le composant majeur de la plupart des amidons ; sa masse molaire est très élevée : 10^7 à 10^8 g (Mestres,1986). Elle représente 65 à 85% des constituants glucidiques de l'amidon (Garcia,1996). C'est une macromolécule ramifiée, formée par l'association de résidus anhydroglucopyrannose reliés entre eux par des liaisons α (1-4) en des chaînes linéaires, greffés les uns aux autres par des liaisons α (1-6).

* ***Propriétés de l'amidon***

- Phénomène de sorption

L'amidon natif n'est pas soluble dans l'eau à température ambiante. Cela s'explique par la présence d'une organisation semi-cristalline dans le grain d'amidon (Brabet,1994) qui serait due à la présence de liaisons intermoléculaires. Cependant, selon Isola (1992) les groupements hydroxyles (OH) de surface permettent de lier l'eau, à température ordinaire,

grâce au phénomène de sorption. Le phénomène de sorption est donc une fixation des molécules d'eau sur les groupements OH de l'amidon, provoquant un gonflement réversible des grains lorsque :la température ne dépasse pas 50 à 60°C. Ainsi l'eau jouerait un rôle plastifiant, car elle sépare les chaînes et induit un gonflement réversible des grains par la rupture des liaisons hydrogènes inter-chaînes et la néoformation des liaisons entre les molécules d'eau et les résidus glucosyles.

- Phénomène d'empesage et gélatinisation

A l'opposé du phénomène de sorption, lorsque la température d'une dispersion de grains d'amidon dans un large excès d'eau augmente, il arrive un point où les molécules d'eau rompent les liaisons hydrogène inter-chaînes, pénètrent dans le grain d'amidon du fait de leur sorption sur les groupements hydroxyles et le grain d'amidon gonfle tandis qu'une fraction du contenu granulaire est solubilisé . Ces deux phénomènes irréversibles provoquent une augmentation de la viscosité apparente de la suspension d'amidon ; c'est l'empesage (Isola,1992).

La gélatinisation correspond à un changement d'état des granules d'amidon qui se traduit par la destruction de la structure semi-cristalline du grain d'amidon (Brabet,1994). La température de gélatinisation est fonction de l'origine botanique et de la dimension des grains d'amidon. La température de gélatinisation du manioc est de 58.5-70°C, celle de la pomme de terre 56 à 66°C, du maïs 62 à 72°C et du riz 61 à 77°C (Rasper,1991, cité par Brabet,1994). Au cours du traitement thermique de la plupart des amidons, le gonflement et la solubilité se déroulent en deux phases : pendant la première phase (dans le cas de céréales) entre 55 et 65-70°C, la solubilité et gonflement augmentent jusqu'à un palier qui s'achève vers 90°C. L'amylose est préférentiellement solubilisée et diffuse hors des grains d'amidon : c'est la lixiviation. Au delà de 90°C la solubilité et le gonflement croissent de nouveau. La solubilité totale de l'amidon n'a lieu qu'au delà de 100°C.

- Phénomène de gélification- retrogradation

L'empois d'amidon refroidit en formant un gel viscoélastique (gélification), puis au cours du stockage, à basse température les caractéristiques du gel évoluent (rétrogradation). Il y a formation d'un gel dans lequel les granules gonflés riche en amylopectine, consolide la matrice du gel riche en amylose solubilisée (Brabet, 1994). En effet à une température inférieure à 90°c, et en solution concentrée, on note une incompatibilité entre l'amylose et l'amylopectine ; il y a formation de deux phases, chacune d'elle composée à 90% d'un même

polymère. L'une d'elle constitue la matrice qui emprisonne la seconde. Souvent la matrice est constituée par l'amylose. Vers 60°c les associations intermoléculaires restent faibles et le milieu est isotrope et aux températures inférieures, le gel rétrograde et conduit à une recristallisation de l'amidon qui induit entre autres une diminution de la solubilité et du gonflement de l'amidon et une diminution de la sensibilité aux hydrolyses enzymatiques (Brabet,1994).

2.3.2.2 - Les protéines

Globalement, la teneur en protéines du maïs varie entre 7 et 12 %. Celle des variétés de maïs africains est de l'ordre de 9,8 % (Mestres *et al.* 1991). Cette teneur est de 10,5% pour les variétés en usage au Bénin (Nago, 1997). Cette teneur en protéines est influencée par les facteurs génétiques, environnementaux et agronomiques (Hamilton *et al.*, 1951; Schneider *et al.*, 1953 ; Pierre *et al.*, 1977). Elle est par ailleurs en étroite relation avec l'importance de l'albumen vitreux du grain (Nago, 1997).

La plus grande partie des protéines du grain est localisée dans l'albumen (74 %) dont la majorité est insoluble en milieu aqueux. Le germe renferme 12 % des protéines du grains (Wilson *et al.*, 1987). Les protéines du maïs ont une mauvaise qualité nutritionnelle en raison de leur faible teneur en deux acides aminés indispensables (Lysine et tryptophane).

Les procédés mécaniques de transformation des grains de maïs en gritz, notamment le dégermage et le décorticage, provoquent une réduction de la teneur en protéines du grain dans des proportions pouvant atteindre 8 % (Brekke, 1968).

2.3.2.3 - Les lipides

Le grain de maïs renferme 3 à 6 % de lipides qui sont concentrés à 83 % dans le germe (Mestres et *al*, 1947). Ces lipides sont essentiellement constitués de triglycérides d'acides gras (Weter, 1987). Les plus importants sont les acides linoléique, oléique, palmitique, stéarique et linolénique (Beadle *et al*, 1965, Weber, 1987).

Les opérations de dégermage du maïs conduisent à l'élimination d'une grande partie des lipides du grain. Après la mouture du maïs, ses lipides peuvent subir des réactions

hydrolytiques conduisant à la libération d'acides gras et des réactions oxydatives, engendrant des odeurs souvent désagréables. Ces dégradations provoquent ainsi le rancissement des farines entreposées dans des conditions inadéquates (Weber, 1987).

2.3.2.4 - Les cendres

Le germe est riche en éléments minéraux, il renferme 78 % des minéraux du grain (Watson, 1987). La teneur en cendres du grain de maïs varie entre 1 et 1,6 % en base sèche (Watson, 1987). Cette teneur est respectivement de 1,50 et 1,30 en base sèche pour les variétés gbogboué et gnonli (Nago, 1997). La dureté, la taille et la teneur en enveloppe des grains sont les facteurs dont la teneur en cendres dépend (Godon, 1984). Le grain de maïs est principalement riche en fer (Hounhouigan, 1997). Comme toutes les céréales, le maïs a une teneur en phosphore élevée, mais il est pauvre en calcium (Favier, 1989).

3 - Le dégermage du maïs : procédé et équipements

3.1 - Procédés de dégermage mécanique

La transformation industrielle du maïs se fait suivant trois (3) voies (Willm, 1991) :

- la voie sèche où le maïs est dégermé à une humidité n'excédant pas 17 – 17,5 %;
- la voie semi-humide où le grain est porté à une humidité préalable de 20 – 23 % avant dégermage. Dans ce cas le séchage des produits devient un impératif avant ou après la mouture ;
- la voie humide, rencontrée dans les industries de type amidonnerie dans laquelle le grain est porté à une teneur en eau de 45 %.

Le procédé technologique de transformation industrielle du maïs par voie sèche s'effectue suivant 5 grandes étapes (Richard et Alexander, 1984) il s'agit :

- de l'avant nettoyage et le stockage des grains ;
- du nettoyage soigné des grains ;
- du conditionnement des grains ;
- du dégermage-décorticage des grains, et
- de la mouture du produit dégermagé

L'objectif premier du dégermage du maïs est la séparation du germe de l'albumen. En outre, l'opération vise deux objectifs spécifiques à savoir (Willm, 1991):

- Obtenir un maximum de gros fragments d'albumen contenant un minimum de matière grasse et de cellulose,
- Obtenir un maximum de germes entiers et des fragments de germes aussi gros que possible exempt d'amande et de son.

3.2 - Equipements de dégermage

Au niveau industriel, les farines de maïs proviennent de plusieurs voies incluant quatre types de dégermeurs (Tableau 3) qui peuvent donner 45 à 70 % de gritz avec un taux de lipides inférieur à 1 % (Mestres *et al.*, 2002).

Tableau 3 : Type de dégermeur dans les industries

Dégermeur	**Mode de dégermage**	**Teneur en eau des grains**	**Production de gritz (teneur en lipides inférieur à 1 %)**	**Références**
Beall	Attrition	21 – 24	51 – 67	Lapraik, 1986 Willm, 1991
Granulator	Rouleau	18	55 – 65	Rohd et Miecke, 1974 Feillet et Redon, 1975
Miag, Entoleter	Impact	14-17	30 - 45	Cinquetti, 1997 Olatundji et al., 1980 Wyss, 1973 Cinquetti, 1987
Maquina d'Andréa	Cisaillement	10	65	Mestres et *al.*2002

Source : Mestres *et al.*, 2002

Au nombre des équipements couramment utilisés pour dégermer le maïs à sec on distingue :

3.2.1 - Le dégermeur Beall

Il a été mis au point aux Etats-Unis en 1906. l'appareil a favorisé le développement de la transformation du maïs (Larsern, 1959). Le principe de fonctionnement de l'appareil est l'attrition. Il est constitué par un rotor conique tournant dans un stator de même forme. La surface de rotor conique et une partie de stator portent des protubérences ; l'autre partie (du stator) étant perforée. Par réglage approprié (déplacement longitudinal du rotor) on obtient une bonne séparation du germe ; l'amande étant fragmentée en 2 ou plusieurs morceaux. C'est cette particularité qui fait préférer le dégermeur Beall, dès lors qu'il s'agit de prévilégier la production de flaking gritz (gros gritz). La capacité journalière de l'appareil varie entre 500 et 1 750 tonnes.

3.2.2 - L'entoleter

Dans un tel appareil, le maïs est éclaté par une succession de chocs et une projection finale sur une paroi. Le plateau mobile de l'appareil comporte deux rangées concentriques de broches ; une rangée en position intermédiaire est fixe sur le bâti. L'entoleter limite la production de fines particules de germes, ce qui permet d'obtenir des farines à faibles taux de matières grasses. L'appareil enlève plus de germe du grain que le Beall (Anderson, 1982).

3.2.3 - Le granulator

Son système de dégermage consiste en un cylindre comportant huit couteaux montés sur un axe horizontal. Le cylindre est entouré d'un tamis couvrant les ¾ de sa surface. L'appareil peut être équipé de 2 couteaux stationnaires supplémentaires.

3.2.4 - Le dégermeur Miag

C'est un appareil à impact dégermant le maïs à une humidité comprise entre 12 et 16 %. Le dégermage des grains s'opère par un choc entre les grains et un cylindre à ressort en acier. L'appareil est muni d'un système de tamisage et d'aspiration permettant de séparer le son, le

germe et le gritz. Un essai conduit sur l'appareil et ayant porté sur six échantillons de maïs différents a permis d'obtenir des gritz dont la teneur en lipides est inférieur à 1 %.

3.2.5- Le dégermeur type2 Maquina d'Andrea

C'est un équipement composé de trois grandes parties : la trémie d'alimentation, l'enceinte cylindrique ou chambre de dégermage et la table de séparation; l'ensemble est supporté par un châssis. Le fonctionnement de l'appareil se fait par cisaillement. Les produits de dégermage sont: le refus (recyclable), le gritz dégermé et le sons (germe plus péricarpe réduit en farine).

3.3 - les produits de dégermage

Les produits de dégermage peuvent être classés en quatre catégories. Il s'agit des gritz, de la farine, du son et du germe. On en distingue 3 dans le cas du dégermeur type2 Maquina: gritz, sons (germe, farine, péricarpe) et refus.

MATERIELS ET METHODES

1 - Matériels

Les matériels sont composés de matériels vivants et de matériels inertes.

1.1 - Matériels vivants

Deux variétés de maïs ont été utilisées. La première est très tendre (gnonli), la seconde tendre (gbogboué). Elles ont été fournies par l'Institut International d'Agriculture Tropicale-Station Bénin à Agonkanmey. Les caractéristiques agronomiques des variétés étudiées sont fournies dans le tableau 4.

A l'atelier, les grains ont été vannés, triés manuellement puis conservés dans des bidons à la température ambiante.

Tableau 4 : Caractéristiques agronomiques et physiques des variétés gbogboué et gnonli

Variétés	Type de variété	Cycle végétal (jours)	Indice de friabilité (%, bs)	Indice de vitrosité (%)	Poids de mille grains(g, bs)	Pourcentage de grains dentés
Gbogboué	Ecotype local	90	53	52	181	6
Gnonli	Ecotype local	90	66	18	177	27

Source : Nago 1997

1-2- Matériels inertes

Ils sont les suivants :

* Le dégermeur utilisé fait partie des constructions mécano-soudées de la Société INDUSTRIA MAQUINA D'ANDREA installée à Sao Paulo (Brésil). C'est un équipement composé de trois grandes parties : la trémie d'alimentation, l'enceinte cylindrique ou la chambre de dégermage et la table de séparation; l'ensemble est supporté par un châssis.

La trémie d'alimentation à base rectangulaire a une capacité de 65,5 litres. Elle est munie d'une trappe d'entrée dont l'ouverture manuelle permet l'entrée des grains dans l'enceinte cylindrique ou chambre de dégermage.
Cette dernière est équipée d'un arbre moteur garni de 36 couteaux et d'une grille métallique perforée, fixée dans sa partie inférieure. Les germes du maïs sont arrachés par cisaillement lors du brassage des grains dans l'enceinte.
Après le dégermage, le produit dégermé chute sur un plateau oscillatoire incliné (10° environ), suite à l'ouverture manuelle de la trappe de vidange, comportant deux tamis:

- le premier est un plateau perforé de trous de 6 mm de diamètre retient les grains entiers;
- le deuxième est une grille de diamètre de maille de 4 mm laisse passer les sons réduit en farine;

on recueille ainsi 3 produits: le refus (grains entiers ou cassés), le gritz retenu sur la maille de 4mm et la farine
* Le Moulin à Marteaux (Songhai) : dans ce type de moulin les grains sont projetés sous le choc de marteaux fixes tournant à grande vitesse à travers une grille de maille de diamètre de 0,5 mm. La farine est recueillie dans un sac en toile.

- Le Moulin à Disques (AMUDA 1 A): Les grains sont écrasés entre 2 disques dont l'un est mobile. Les disques sont en métal et leur écartement de régler la granulométrie du produit).

2- Méthodes

2.1 - Production de lifin

2.1.1 -Le dégermage

Le dégermage du maïs est effectué avec le dégermeur type 2 Maquina. Des essais préalables ont été effectués pour déterminer la quantité de maïs à utiliser dans le dégermeur et les durées de dégermage. Ainsi, la charge du dégermeur, normalement 12 kg , a été revue à la baisse (11 kg) . Après analyses (teneur en lipides, teneur en cendres) les durées 8, 11 et 14 minutes ont été retenues pour notre étude.

Dès lors 11kg de maïs sont introduits dans la chambre de dégermage. Après 8, 11 et 14 minutes, la chambre de dégermage est vidangée sur le plateau oscillant. Après tamisage, on recueille trois fractions: le refus, le gritz et les sons (germe finement broyé plus farine). Les gritz sont collectés pour subir le processus de mouture.

2-1-2- La mouture

Les matière premières (gritz, grains entiers) sont moulus à l'aide des moulins à marteaux ou à disques par lot de 5 kg pour les grains entiers et par lot de 5 à 7 kg pour les gritz . Le nombre de passages (3ou4) a été choisi en comparant visuellement la finesse des produits de mouture à celle de la farine de maïs du marché.

2.1.3 - Diagramme de production

Les farines de maïs sont produites avec les diagrammes technologiques suivants :

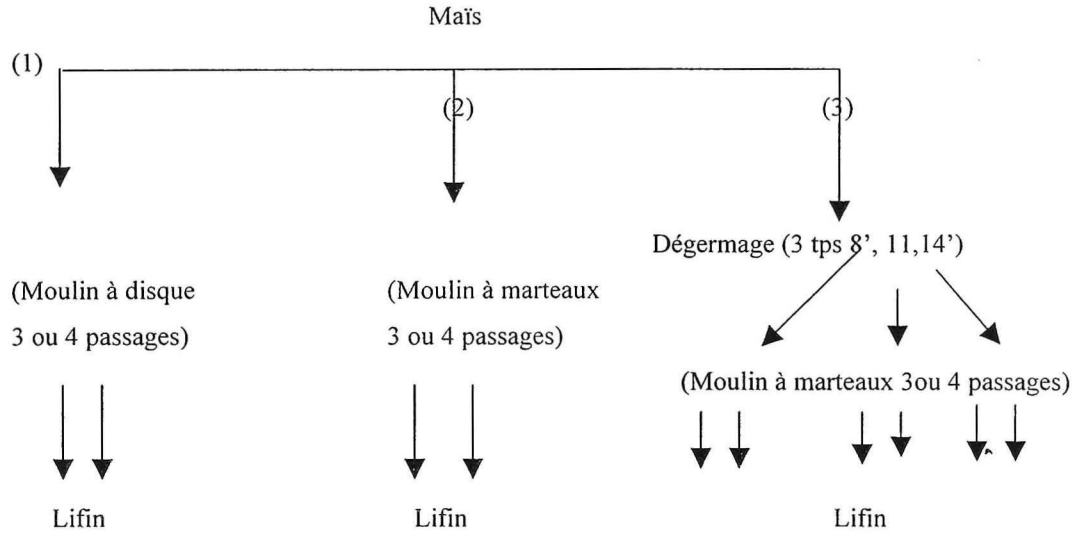


Figure 3 : Diagrammes de production des différents types de lifin

La production de lifin à base de gnonli suit les diagrammes (1) et (2) tandis que gbogboué a été traité selon les 3 diagrammes. Pour chaque type de moulin un lot est traité avec 3 passages et un lot avec 4 passages. On obtient ainsi 4 types de lifin pour gnonli. Le même processus est appliqué à gbogboué à la fois sur les grains entiers et sur gritz après dégermage durant 8, 11 ou 14 minutes. On obtient ainsi 10 types d'échantillons pour gbogboué.

2.2 - Méthode de préparation de la pâte

La méthode utilisée pour préparer la pâte «Owo» se rapproche à celle utilisée dans une préparation traditionnelle. Cette méthode est résumée par la figure 4.

La méthode utilise 300g de lifin pour 1300ml d'eau. 1000ml d'eau sont portés à ébullition. Par ailleurs 100 g de lifin sont mélangés à 300 ml d'eau à température ambiante. La suspension aqueuse obtenue est mélangée à l'eau bouillante. Après 5 minutes d'ébullition on obtient une

bouillie. A cette bouillie sont ajoutés 200g de "lifin". Le mélange est malaxé vigoureusement puis laissé à cuire pendant 11minutes pour obtenir le "owo".

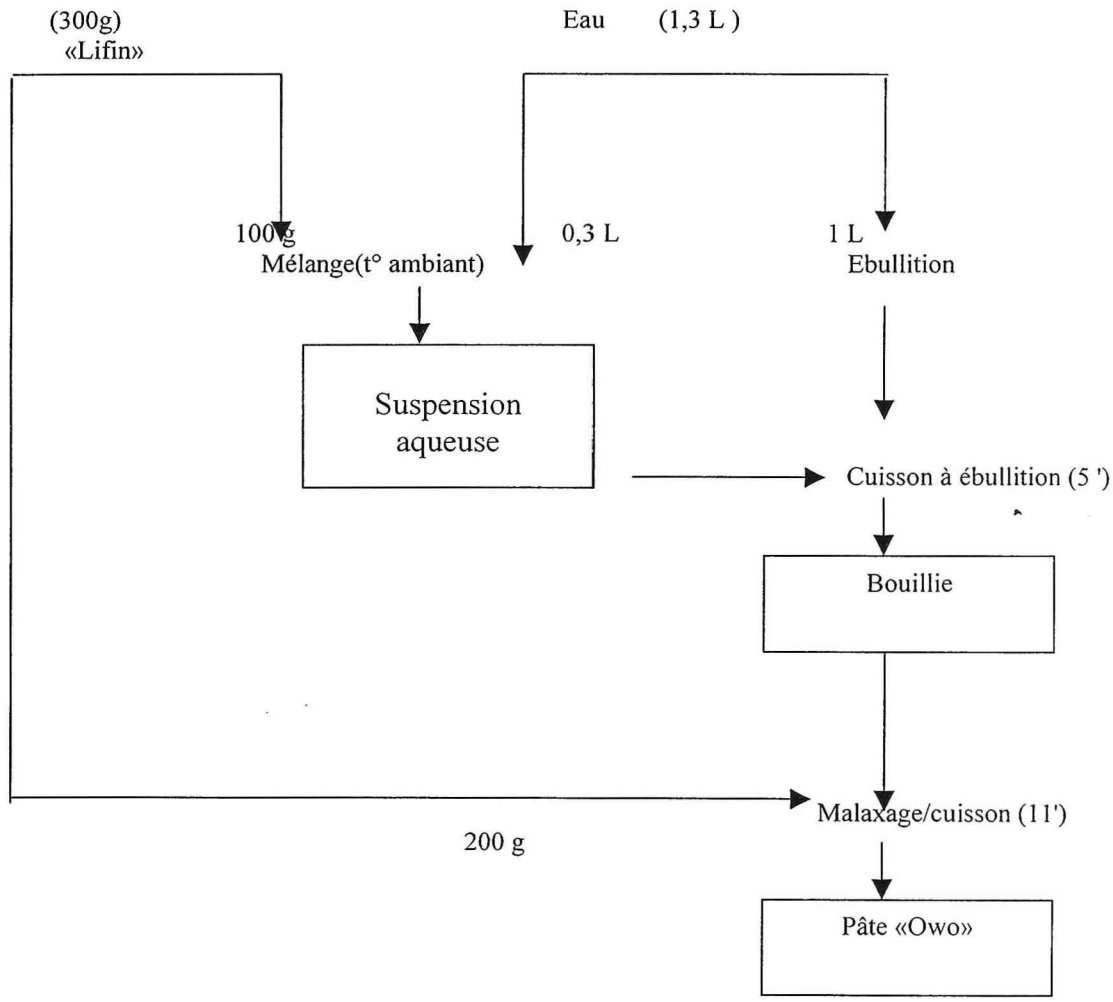


Figure 4 : Diagramme technologique de préparation de la pâte « Owo»

2.3 - Analyses physico-chimiques

2.3.1 - Analyses physiques

2.3.1.1 - Détermination de la granulométrie

Les mesures ont été sur des échantillons de 30 g avec un tamiseur à secousses muni des tamis d'ouverture 180 et 250 µm. On détermine ainsi le pourcentage de passants (pp) de l'échantillon analysé à travers chaque tamis (rapporté à la matière sèche de l'échantillon). Les mesures ont été réalisées en deux répétitions.

2.3.1.2 - Détermination de la couleur

La couleur des lifin et owo a été déterminée avec un chromamètre Minolta étalonné avec une céramique blanche de référence dont les coordonnées de couleur sont : Y = 94,8 X = 0,315 et Y = 0,332. Les coordonnées L*, a*, b* et ΔE ont été utilisés pour la détermination de la couleur. La couleur 100 - L* correspond à l'indice ce brun, a* correspond à la saturation en rouge et b* à la saturation en jaune. ΔE qui correspond à la différence totale de couleur par rapport à la céramique blanche de référence est calculée comme suit :

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)2]^{1/2}$$

Avec $\Delta L = L^* - L^\circ$ = Différence de luminance (clarté)

$\Delta a = a^* - a^\circ$ = Différence de saturation en rouge

$\Delta b = b^* - b^\circ$ = Différence de saturation en jaune

2.3.1.3 - Détermination des caractéristiques rhéologiques

La viscosité apparente a été mesurées à l'aide du RVA (Newport Scientific) sur des suspensions de lifin à 12,5 % de matières sèches (P/P), ce qui correspond à 3,5 g de matière sèche pour 28 g de suspension. Avant chaque série d'analyses, la teneur en matière sèche des produits étudiés est déterminée, ceci pour calculer les quantités respectives d'échantillon et d'eau à utiliser. Ainsi, dans le cas de notre étude, la quantité requise de farine est pesée dans une capsule cylindrique en aluminium et la masse est complétée à 28 g par de l'eau pure. La suspension est chauffée au RVA qui est relié à un ordinateur et permet de contrôler et de mesurer la température et la viscosité apparente, suivant un traitement thermique comprenant quatre phases :

- Equilibrage à 35°C pendant 1min ;
- chauffage de 35à 95°C, à raison de 6°C /min soit pendant une période de 10 min ;
- chauffage à 95°C pendant 5 min ;
- refroidissement de 95 à 50°C à raison de 6°C /min soit pendant une période de 10 min 20s.

Au cours de cette opération, la suspension est régulièrement homogénéisée par agitation à vitesse constante de 160 rpm. Les paramètres déterminés sont :

- la température d'empesage (TE)

- la viscosité au début du plateau à 95°C (V95)

-la viscosité en fin de cycle (V_{fin})

2.3.1.4 - Test de solubilité - gonflement

La solubilité et le gonflement sont déterminés sur des suspensions aqueuses à 8 % de matière sèche. Le RVA est utilisé pour traiter thermiquement les suspensions; le diagramme thermique précédent est arrêté après 1minute de cuisson à 95°C. Le produit de cuisson obtenu est immédiatement transféré dans un tube de centrifugation pour être centrifugé pendant 5 mn à 5 000 g à 25 °C. Le surnageant et le culot sont alors récupérés puis pesés (PHS et PHC étant leurs poids humides respectifs). Ils sont ensuite séchés à 100 °C pendant 24 et 48 heures respectivement et leurs poids secs déterminés (PSS et PSC). Trois paramètres peuvent être ainsi calculés (Leach *et al.*, 1959 in Nago P57):

- le gonflement

$$G(g/g) = \frac{PHC-PSC}{PSC}$$

- la fraction volumique de la phase dispersée (ϕ).

$$\phi = \frac{[27{,}25-(PHS-PSS)]}{27{,}25}$$

-la solubilité

S (%) = (PSS X 27,25 X 100) / (PHS - PSS) X 2,24

Où 27,25 est le volume total calculé (en cm^3) du produit de cuisson en considération que la densité spécifique de la farine est égale à 1,5

2.3.2 - Analyses chimiques

2.3.2.1 - Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau est déterminée par la méthode American Association of Cereal Chemist, 44-14-15 A (AACC, 1984). Deux mesures sont réalisées par échantillon. 5 g d'échantillon sont mis à l'étuve 105 °C pendant 72 heures. Après refroidissement dans un dessicateur les échantillons sont à nouveau pesés. La teneur en eau (%bh) de chaque échantillon est obtenue par eau de chaque échantillon est obtenue par :

$$\frac{AH-AS}{AH} \times 100$$

AH = g de lifin avant passage à l'étuve

AS = g de lifin après passage à l'étuve

2.3.2.2 - Détermination de la teneur en cendres brutes

Les cendres brutes sont déterminées par la méthode AACC, 08 – 01 (AACC, 1984). Deux mesures sont effectuées par échantillon. Des creusets en porcelaine sont séchés à l'étuve (105 °C, 30 mn), puis refroidis avant d'être pesés. 5 g d'échantillon sont introduits dans chaque creuset. Après carbonisation des échantillons, ils sont incinérés à 550 °C pendant 24 heures. Après refroidissement au dessiccateur en verre, l'ensemble est pesé à nouveau. La teneur en cendres se calcule :

Teneur en cendres (%bs) = $\frac{M_3-M_1}{M_2-M_1} * 100$

M_1 = Masse (g) du creuset vide

M_2 = Masse (g) du creuset + 5 g d'échantillon avant incinération

M_3 = Masse (g) du creuset après incinération

2.3.2.3 - Détermination du pH de l'acidité titrable

La méthode utilisée est celle de Nout modifiée (Nout *et al.*, 1989). 10 g d'échantillon sont pesés. Après addition de 40 ml d'eau distillée et homogénéisation par agitation magnétique, le pH est mesuré au moyen d'un pHmètre. Ensuite, 50 ml d'eau distillée et

quelques gouttes de phénolyphtaléine sont ajoutées au mélange qui est (sous agitation) avec de la soude 0,1 N.

L'acidité est exprimée en pourcentage d'acide lactique. On considère que 1 ml de NaOH 0,1 N correspond à 9 mg d'acide lactique. Le pourcentage est exprimé dans la formule :

Acidité Titrable (% acide lactique bs) = (V x 0,9 (g) *100) / a x m

V = Volume de NaOH 0,1 en ml; m = Masse de l'échantillon humide en g et a = taux de matière sèche de l'échantillon humide (%)

2.3.2.4 - Dosage des lipides

La détermination est effectuée en 2 répétitions par échantillon suivant la méthode de Soxlhet (AACC, 1984) basée extraction à l'éther de pétrole et pesée différentielle. 5 g d'échantillon de farine sont introduits dans une cartouche refermée ensuite avec du coton dégraissé. On introduit 200 ml d'éther de pétrole dans des ballons préalablement séchés et pesés. Puis l'ensemble (cartouche et ballon) est monté dans un extracteur de type Soxhlet. Au bout de 4 heures d'extraction, les ballons sont retirés puis le solvant est évaporé au moyen d'un évaporateur rotatif. Les ballons sont alors séchés à l'étuve refroidis et pesés à nouveau. La teneur en lipides de l'échantillon est calculé suivant la formule :

Teneur en lipides = (B - A) / (C x a)

Avec A = Masse en g du ballon avec les pierres ponces avant l'extraction
B = Masse en g du ballon après l'extraction
C = Masse en g de l'échantillon
a = taux de matière sèche de l'échantillon humide (%)

2.3.2.5 - Détermination de l'acidité grasse

La méthode utilisée est celle décrite par la norme internationale (ISO 7305 – 1986 (F)). 5 g d'échantillons de farine ont été prélevés dans un tube à centrifuger de 50 mL. On y ajoute 30 ml d'éthanol à 95 %. Le tube est bouché hermétiquement et agité durant 1 heure à température

ambiante. On procède ensuite à une centrifugation durant 5 mn avec une accélération de 2 000 g. On prélève 20 ml du surnageant dans une fiole conique, on y ajoute 5 gouttes de phénolphaléine. On effectue la titration du surnageant avec une solution d'hydroxyde de sodium dans l'éthanol (95 %) à 0,05 N jusqu'au virage au rose pâle persistant quelques secondes. Un essai à blanc est aussi effectué.

Acidité grasse (mg KOH/ 100g) = (V1-Vo) X 40 X 30 X 100 / (M X a X 20)

V1: volume en ml de KOH utilisé pour le titrage de l'échantillon
Vo: volume en ml de KOH utilisé pour le titrage de l'essai à blanc
M: masse de l'échantillon pour essai
a: matière sèche de l'échantillon pour essai
40: masse molaire moléculaire de KOH

2.3.2.6 - Détermination de la teneur en sucres

Elle a été réalisée par HPLC High Performance Liquid Chromatography. Le système est constitué d'une pompe Kontron et de deux détecteurs en série : un Ultra- Violet (Kontron Detector 430 A) détectant à 210 nm et un réfractomètre (Refractive index Detector 475).
La colonne Aminex utilisée est maintenue à une température de 60°C. Elle est précédée d'une précolonne Aminex. L'ensemble est relié à un ordinateur muni d'un logiciel d'acquisition (KROMA 2000). L'éluant utilisé est l'acide sulfurique (5 mM) et le débit d'élution est de 0,6ml/minute. La boucle d'injection est de 20 µl.
250 mg de lifin sont pesés dans un tube d'Ependoff et agités pendant 30 minutes en présence de 1ml d'une solution d'acide sulfurique (5mM). Le mélange est ensuite centrifugé pendant 5 minutes à 7000 g à l'aide d'une centrifugeuse Fisher Scientific. Le surnageant est recueilli et filtré sur filtre Sartorius de 0,45 um pour analyse.

2.4 - Evaluation sensorielle

2.4.1 - Méthodologie

L'évaluation sensorielle est réalisée sur le lifin et sur sa pâte «Owo». Un test préliminaire a été effectué pour connaître les caractéristiques utilisées par le consommateur pour apprécier la

farine «Lifin» et la pâte «Owo». Au cours de ce test , 3 échantillons de chaque produit (lifin et owo) ont été présentés à 20 dégustateurs . Ces derniers ont fait ressortir les caractéristiques de chaque produit. A l'issu de ce test, la finesse, la couleur, l'odeur et le goût ont été retenus pour caractériser le lifin et la couleur, l'homogénéité, l'élasticité, l'odeur, le goût et la fermeté ont été retenus pour le owo.

Les séances de dégustation sont organisées toutes les 4 semaines, parallèlement aux analyses de laboratoire.

Au cours de chaque séance, il est présenté aux dégustateurs 5 échantillons de chaque produit. Les dégustateurs ont noté (1 à 5) pour chaque produit ses qualités organoleptiques telles que retenues au cours du test préliminaire; les notes correspondent à:

5-Aime beaucoup

4-Aime un peu

3-Indifférent

2-N'aime pas beaucoup

1-N'aime pas du tout

L'annexe 1 présente le questionnaire du test hédonique

2.4.2- Déroulement des tests hédoniques

Les pâtes sont préparées une heure avant la séance de dégustation et conservées dans des boîtes plastiques isothermes. La durée de préparation d'une pâte est évaluée à 26 minutes.

A chaque séance, 20 sujets utilisant régulièrement les 2 produits ont été mobilisés. Disposant de 14 produits à analyser (4 à partir de gnonli, 10 à partir de gbogboué), 3 séances sont nécessaires pour tester l'ensemble des produits. Une série de 3 séances a ainsi été réalisée toutes les 4 semaines.

2.5 - Analyses statistiques

Les caractéristiques des farines et pâtes sont soumises à l'analyse de variance dans un dispositif de randomisation totale. De plus les coefficients de corrélation et des régressions entre certains paramètres ont été déterminés à l'aide du logiciel STATITCF.

Apres collecte des données, deux types d'analyse de variance ont été faits. Une analyse de variance portant sur des caractéristiques (lipides, cendres et granulométrie) qui a priori ne

varieraient pas au cours du temps. Ensuite une double analyse de variance des caractéristiques évoluant au cours du temps a été faite. Dans un premier temps, l'analyse a concerné les variétés, le type de broyeur, le nombre de broyages et le stockage et dans un deuxième temps le degermage, le nombre de broyages et le stockage

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1- Caractéristiques chimiques des farines

1.1 - Caractéristiques chimiques globales des farines

Tableau 5 : Caractéristiques chimiques globales des farines (analyse au temps zéro des lipides, cendres et granulométrie)

Caractéristiques	Gnonli (GE)	Gbogboué			
		GE	8'	11'	14'
Matière sèche (%)	87,7	89,1	90,0	90,1	89,7
Lipides (%bs)	4,34	4,92	2,47	1,51	1,26
Cendres (%bs)	1,49	1,47	0,79	0,67	0,51

Le tableau regroupe les valeurs moyennes pour les différents modes de préparation (type de broyeur, nombre de broyages etc. .).

L'analyse de variance effectuée sur les caractéristiques chimiques des différentes farines mesurées juste après production (temps de conservation nul) montre qu'il n'existe pas d'effet significatif de la variété sur la teneur en cendres brutes des farines. Les farines issues de gbogboué sont en revanche significativement (6%) plus sèches (89,1 % bs) que celles de gnonli (87,7 % bs). Ceci peut être expliqué par les conditions de stockage de ces deux variétés avant leur acquisition : les grains de gbogboué étaient sains et en bon état tandis que ceux de gnonli étaient charançonnés.

Par ailleurs on note un effet variétal sur la teneur en lipides; gbogboué est plus riche en lipides (4,93 % bs) que gnonli (4,34 % bs). Ce résultat est conforme celui de Nago (1997) qui a trouvé que les teneurs en lipides des farines de gbogboué et gnonli respectivement 4,9 et 4.3 % bs.

Le dégermage n'a également pas d'effet sur la matière sèche. Par contre il possède un effet très significatif sur les teneurs en lipides et en cendres brutes. On observe une diminution progressive de ces teneurs avec l'augmentation du temps de dégermage. Ainsi la teneur en lipides passe de 2,47 % bs pour un dégermage de 8 minutes à 1,26 % bs pour un dégermage de 14 minutes. Ces résultats montrent que la teneur la teneur en lipides recherchée (<1 % bs) n'est pas atteinte. La teneur en cendres brutes quant à elle passe de 0,79 % bs à 0,51% bs pour les dégermages de 8 à 14 minutes. Ces résultats suggèrent que l'élimination des lipides par le dégermage du grain s'accompagne d'une réduction du taux de cendres. Waston (1987) a en effet montré que les minéraux du grain sont concentrés à près de 80% dans le germe. . Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Kayodé (1999) et Sékpé (2000) qui ont obtenu une diminution de la teneur en lipides avec l'augmentation de la durée de dégermage. De même Mestres *et al.,(*2002) montrent que 84% des lipides du grain sont contenus dans le germe. Par ailleurs les rendements au degermage a 11 et 14 minutes sont respectivement 53 et 56%.

1-2 Effet des paramètres technologiques sur les caractéristiques chimiques des farines

Tableau 6 : Effet de la variété, du dégermage, du type de broyeur et du nombres de passages sur les caractéristiques chimiques des farines

Caractéristiques	Var	Deg	Typ bro	Nb pas	Stockage	
					G entiers	G dégermés
Matière sèche (% bh)	1: 88,6 a 2: 87,5a	1: 89a 2: 89,9a	1: 88,4 a 2: 87,0 b	1: 8,1a 2: 7,9a	1: 88,4 a 2: 87,9 ab 3: 87,6 b 4: 88,2 a	1: 90,0 a 2: 88,7 c 3: 88,6 c 4: 89,2 a
Glucose (mg/g bs)	1: 13,6a 2: 12,8a	1: 9,5 a 2: 6,6 b 3: 5,9 b	1: 13,6a 2: 12,8a	1: 13,3a 2: 13,1a	1:13,1a 2: 13,1a 3:14,2a 4: 12,2a	1: 6,8 ab 2: 7,2 ab 3 : 7,9 a 4 : 6,3 b
Acidité titrable (mg d'acide lactique /g bs)	1: 0,8 b 2: 1,1 a	1: 0,51a 2: 0,41 b 3: 0,38 c	1: 0,90a 2: 0,87a	1: 0,88a 2: 0,90a	1: 0,82 b 2: 0,77 b 3: 1,04 a 4: 1,04 a	1: 0,48 a 2: 0,40 c 3: 0,41 c 4:0,44 c
Acidité grasse mg KOH/100g bs	1: 55 b 2: 76 a	1: 34 a 2: 21 b 3: 18 c	1: 66a 2: 65a	2: 66a 2: 66a	1: 24 d 2: 52 c 3: 82 b 4: 104 a	1: 14 a 2: 25 b 3:27 b 4: 33 c

Les valeurs de la même case ne portant pas les même lettres sont significativement différentes (P< 0,05)

Var : Variété Deg : Dégermage Typ bro : Type de broyeur Nb pas : Nombre de passages

1: gbogboué 1: 8 mn 1: moulin à marteaux 1 : 3

2: gnonli 2: 11 mn 2 : moulin à disques 2 : 4

3: 14 mn

G : Grains Stockage : 1 : debut stockage, 2 : un mois de stockage, 3 : deux mois de stockage, 4 : trois de stockage

La variété a un effet significatif sur la teneur en matière sèche, acidité titrable et l'acidité grasse les farines. En moyenne sur l'ensemble des conditions expérimentales, les farines de la variété gbogboué sont plus sèches (88,6%), plus pauvres en acide organiques (0,8mg/g bs) et en acide gras (76 mg KOH/100g) que celles de gnonli (respectivement 87,5%, 1,1mg/g et 55 mg KOH/100g bs). On n'observe pas d'effet sur les sucres; les teneurs des deux variétés tournent autour de 15mg/g bs. Les lipides du grain de maïs sont essentiellement des triglycérides susceptibles d'être hydrolysés et oxydés libérant des acides gras libres provoquant ainsi le phénomène de rancissement (Hounhouigan, 1997). Les farines issues de gnonli ont dès le début du stockage une teneurs en acidité grasse supérieure à celle de gbogboué, respectivement de 29,3 et de20,3 mg KOH/100g. Ceci est sans doute lié au condition de stockage des grains avant achat. L'effet variétal observé tout au long du stockage

montre toutefois que les lipides de gnonli sont plus rapidement dégradés que ceux de gbogboué, indépendamment de la teneur en lipides du grain (plus forte chez gbogboué). Ceci pourrait être lié à une activité lipolytique plus important chez gnonli. Mestres et al. (2002) ont en effet observé des vitesses de dégradation variables des lipides de maïs béninois qu'ils ont ainsi lié à l'activité lipolytique des cultivars.

Par ailleurs, le dégermage a un effet significatif sur la teneur en sucres, l'acidité titrable et l'acidité grasse qui diminuent avec l'intensité du dégermage passant respectivement de 9,5mg/g bs, 0,51mg/g et 34mg KOH/100g bs à 8 minutes de dégermage à 5,9mg/g, 0,38mg/g et 18mg KoH/100g à 14 minutes de dégermage.

En ce qui concerne le type de broyeur, on observe son effet significatif sur la matière sèche. Ainsi les farine broyées au moulin à marteaux sont plus sèche (88,4%) que celles obtenues à l'aide du moulin à disques (87,0%). Bien que les produits issus du moulin à disques soient plus chauds, dans le moulin à marteaux on assiste à une plus grande circulation de l'air ce qui favorise le séchage des produits au cours de la mouture.

La durée de stockage a un effet significatif sur la teneur en matière sèche, l'acidité titrable et l'acidité grasse des grains entiers et des grains dégermés. On observe dans les deux cas (grains entiers ou dégermés) une humidification des farines au cours des deux premiers mois de conservation. La matière sèche passe de 88,4 à 87,6 % et de 90,0 à 88,6% respectivement pour les grains entiers et les grains dégermés. Au troisième mois, on assiste à un séchage des farines des grains entiers. Ce phénomène peut être attribué au fait que cette période de stockage coïncidait à un temps relativement sec. En ce qui concerne la teneur en glucose, seules les farines des grains dégermés subissent un effet du stockage ($P<0,05$). La teneur en glucose augmente de 6,8 à 7,9 mg/g bs au cours des deux premiers mois de conservation puis diminue au cours du troisième mois (6,3 mg/g).

Les variations concernant l'acidité titrable sont faibles et contradictoires. L'acidité titrable des farines de grains entiers augmente légèrement au cours des deux derniers mois de stockage. En revanche dans les farines de grains dégermés l'acidité titrable semble diminuer au cours du premier mois de conservation passant de 0,48 mg/g à 0,40mg/g.

Par ailleurs la teneur en acides gras libres augmente de façon significative au cours des 3 mois de conservation. Ces teneurs atteignent en moyenne 104 et 33 mg KOH/100g bs respectivement pour les farines de grains entiers et de grains dégermés.

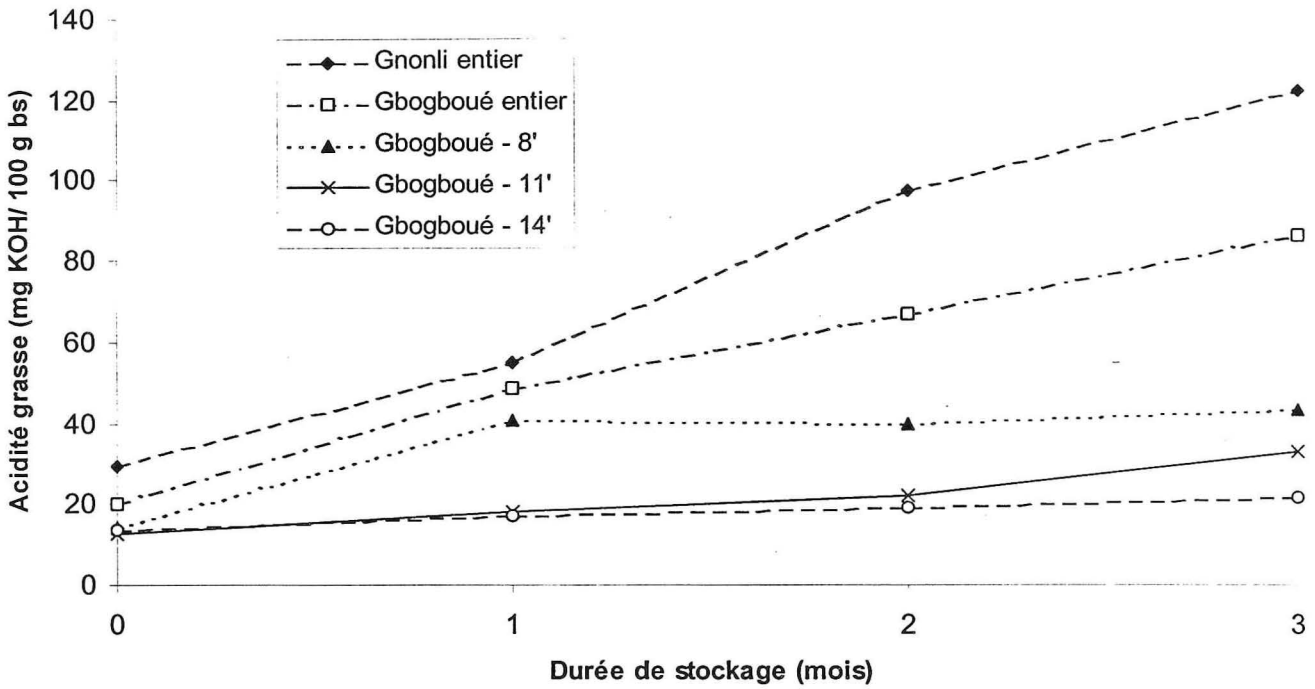


Figure 5. Evolution de l'acidité grasse au cours du stockage

Plus précisément, l'acidité grasse atteint respectivement 120 et 86 mg KOH/100g pour les farines de grains entiers de gnonli et gbogboué après 3 mois de stockage (Figure 5) contre 43, 33, et 22 mg KOH/100g pour gbogboué dégermé durant 8, 11 et 14 minutes. Andah (1976) a montré que le consommateur peut détecter la flaveur due à la rancidité quand le niveau de l'acidité grasse atteint 75 mg KOH/100g bs. Ceci indiquerait que les farines de grains entiers peuvent être conservées pendant 2 mois et celles dégermées pendant plus de 6 mois en extrapolant l'évolution de leur acidité grasse. Ce dernier résultat ceux de Mestres et al., 2002 et est directement lié à l'élimination d'une grande partie des germes qui contiennent les lipides précurseurs de l'acidité grasse.

2 - Caractéristiques physiques des farines

2.1 - La granulométrie

Tableau 7 : Granulométrie des farines «Lifin»

	Gnonli	Gbogboué			
		GE	8'	11'	14'
Pourcentage de passant à < 250 µm	32,8	26,2	29,8	38,4	38,6

Le tableau regroupe les valeurs moyennes de la granulométrie pour les différentes modes de préparation farines (type de broyeur, nombre de broyages).

L'analyse de variance montre que la variété a un effet significatif (à 5.4%) sur la granulométrie; les farines de gnonli sont significativement plus fines (32,8 % de passant au travers du tamis 250 µm) que celles de gbogboué (26,2 % de passant). En revanche on observe pas d'effet du type de broyeur, ni du nombres de passages même si le pourcentage de passant à 250µm croît de 28,2 à 30,8% de passant pour respectivement 3 et 4 passages au broyeur.

Ce résultat est en accord avec celui de Nago (1997) qui trouve que gnonli produit la farine la plus fine, car possédant un grain tendre et friable. Toutefois Les farines obtenues apparaissent grossières par rapport à celles de marché (72% de passant au travers du tamis 250 µm). Cette différence peut toutefois être liée au type de tamiseur utilisé qui, dans le cas de l'étude des farines de marché, permet de séparer plus efficacement les particules fines.

Par ailleurs, le dégermage de gbogboué exerce un effet significatif sur la granulométrie des farines obtenues. De 8 à 14 mn de dégermage le pourcentage de passant à travers la maille de 250 µm passe de 29,8 à 38,6 %. Le dégermage contribue en effet à fragmenter les grains permettant d'obtenir ainsi une farine fine.

2.2 - La couleur des farines

Tableau 8: Couleur des farines produites

Paramètre de couleur	Variété	Dégermage	Type de broyeur	Nombre de broyage	Stockage	
					GE	Gdeg
100 – L*	1: 15,2a 2: 13,4b	1: 12,2a 2: 11,5b 3: 11,2c	1: 14,4a 2: 14,1b	1: 14,1b 2: 14,4a	1: 14,6c 2: nd 3: 13,9a 4: 14,3	1: 13,2c 2: nd 3: 12,2a 4 : 12,4b

Les valeurs de la même colonne ne portant pas les même lettres sont significativement différentes (P< 0,05)
Var : Variété Deg : Dégermage Typ bro : Type de broyeur Nb pas : Nombre de passages
1: gbogboué 1: 8 mn 1: moulin à marteaux 1 : 3
2: gnonli 2: 11 mn 2 : moulin à disques 2 : 4
3: 14 mn
G : Grains nd : non déterminé Stockage : 1 : debut stockage, 2 : un mois de stockage, 3 : deux mois de stockage, 4 : trois de stockage

Après analyse de variance, on constate que tous les paramètres expérimentaux (la variété, le dégermage, le type de broyeur, le nombre de broyage et le stockage) ont un effet significatif sur l'indice de brun des farines. Seule la variété a un effet significatif sur la saturation en jaune (b^*) la blancheur (ΔE). Les farines produites à base de gnonli paraissent claires (100 -L^* =13,4) avec un indice de jaune (b^* =8,2) tandis que celles de gbogboué sont légèrement plus sombres (100 -L^* =15,2) et légèrement colorées en jaune (b^*= 11,7). Ceci rejoint les observation de Nago (1997). De même la clarté des farines augmente avec le dégermage. Ce dernier résultat est sans doute lié à la granulométrie des farines qui devient de plus en plus fine à mesure que la durée du dégermage augmente. Bure (1965) indiquait en effet, que la blancheur d'un produit est étroitement liée à la grosseur des particules : d'une part, la taille des ombres portées des particules dépend de la taille de ces dernières, d'autre part, l'indice de réfraction de la lumière à travers les particules dépend de leur grosseur. Ainsi une farine apparaîtra d'autant plus blanche qu'elle sera plus fine. On observe en effet une forte corrélation (r = 0,85) entre la granulométrie et l'indice de brun des farines fraîches (Figure 6a). On observe aussi une forte corrélation entre l'indice de brun des farines fraîches et leur teneur en lipides (r = 0,88, Figure 6b). Les deux caractères (granulométrie et teneur en lipides) étant fortement corrélés, on ne peut conclure quant au rôle réel de l'un ou de l'autre sur la couleur des farines.

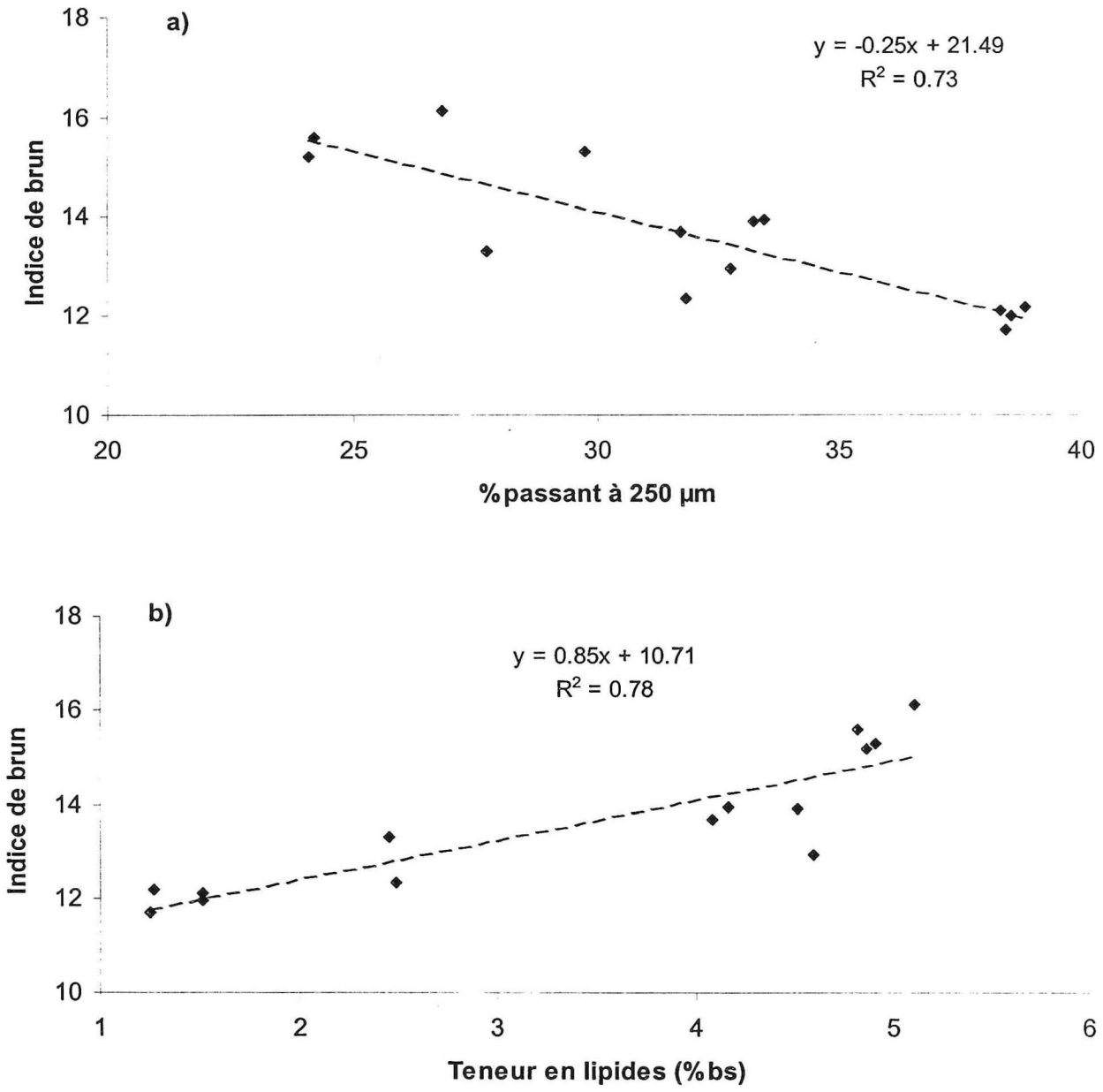


Figure 6. Relation entre indice de brun et granulométrie (a) ou teneur en lipides (b) des farines

Le stockage présente un effet significatif au seuil de 5 % sur la couleur des farines de grains entiers et sur celle des grains dégermés. Dans les deux cas on note une diminution de l'indice de brun au cours des deux premiers mois, puis une légère augmentation au troisième mois. Cette augmentation peut être due à l'apparition de points noirs; en particulier dans les farines de grains entiers liée à la dégradation du germe. Dans le cas des farines de grains dégermés

l'augmentation de l'indice de brun, bien qu'étant significative au seuil de 5 % est de faible amplitude et on n'observe aucun point noir.

3 - Caractéristiques des pâtes

3.1 - Solubilité - gonflement

Tableau 9 : Effet des paramètres opératoires sur la solubilité et le gonflement en cours de cuisson

Paramètre de solubilité-gonflement	Variété	Dégermage	Type de broyeur	Nombre de broyage	Stockage	
					G entiers	G deg
G (g/g)	1: 8,3b 2: 9,7a	1: 9,1a 2: 9,4a 3: 9,4a	1: 9,0a 2: 9,0a	1: 9,0a 2: 9,1a	1: 9,9a 2: 8,7b 3: 8,7b 4: 8,7b	1: 9,3a 2: 9,2a 3: 9,3a 4: 9,4a
ϕ	1: 0,68b 2: 0,79a	1: 0,76a 2: 0,77a 3: 0,76a	1: 0,74a 2: 0,73a	1: 0,74a 2: 0,73a	1: 0,77a 2: 0,73b 3: 0,72b 4: 0,71b	1: 0,76a 2: 0,77a 3: 0,75a 4: 0,77
S (%)	1: 30,8a 2: 30,0a	1: 36,3b 2: 38,7b 3: 41,8a	1 : 28,7a 2 : 32,0a	1 : 30,3a 2 : 30,4a	1 : 28,2a 2 : 30,1a 3 : 33,3a 4 : 32,0a	1 : 39,4a 2 : 40,1a 3 : 39,4a 4 : 36,7a

Les valeurs de la même case ne portant pas les même lettres sont significativement différentes (P< 0,05)

Var : Variété Deg : Dégermage Typ bro : Type de broyeur Nb pas : Nombre de passages

1: gbogboué 1: 8 mn 1: moulin à marteaux 1 : 3

2: gnonli 2: 11 mn 2 : moulin à disques 2 : 4

3: 14 mn

G : Grains Stockage : 1 : début stockage, 2 : un mois de stockage, 3 : deux mois de stockage, 4 : trois de stockage

L'analyse de variance effectuée au niveau des paramètres de solubilité gonflement (Tableau 9) montre un effet significatif (P<0,05) de la variété des farines de grains entiers sur l'indice de gonflement et la fraction volumique de la phase dispersée (ϕ). Les pâtes de gnonli gonflent plus que celle de gbogboué, la phase dispersée occupant ainsi une fraction plus importante. Ceci est sans doute lié à la finesse des farines. Les farines de gnonli étant plus fines, ce fait facilite le gonflement des particules (Nago *et al.*, 1997).

Le pouvoir de gonflement et de la fraction volumique de la phase dispersée diminuent significativement au cours du stockage des farines de grains entiers. En revanche aucun effet du stockage sur le gonflement et la fraction volumique de la phase dispersée n'est observé pour les farines issues des grains dégermés. Une régression multiple montre que ϕ est corrélé en premier lieu à la granulométrie (P) et en second lieu à l'acidité titrable (AT) et à l'acidité grasse (AG) des farines :

$$\phi = 0{,}47 + 0{,}0072 \times \% P + 0{,}11 \times AT - 0{,}0008 \times AG \quad (r = 0{,}67)$$

L'indice de solubilité augmente avec le dégermage. Il passe de 36 % à 42 % bs quand la durée de dégermage augmente de 8 et 14 mn. Ce résultat est sans doute lié à la granulométrie et à la teneur en lipides des farines car ces caractéristiques sont corrélées à l'indice de solubilité (annexe 2); plus la farine est fine ou délipidée, plus la solubilité est élevée.

3.2 - Couleur des pâtes

Tableau 10 : Effet des paramètres technologies sur la couleur des pâtes

Paramètre de couleur	Variété	Dégermage	Type de broyeur	Nombre de broyage	Stockage	
					G entiers	G. dégerm
100-L*	1: 24,2a 2: 25,7b	1: 12,3b 2: 11,6ab 3: 11,0a	1: 25,0a 2: 25,0a	1: 24,8a 2: 25,3a	1: nd 2: 24,8a 3: 24,7a 4: 25,3a	1: nd 2: 22,2a 3: 22,5a 4: 21,1a

Les valeurs de la même colonne ne portant pas les même lettres sont significativement différentes (P< 0,05)

Var : Variété
1: gbogboué
2: gnonli

Deg : Dégermage
1: 8 mn
2: 11 mn
3: 14 mn

Typ bro : Type de broyeur
1: moulin à marteaux
2 : moulin à disques

Nb pas : Nombre de passages
1 : 3
2 : 4

G : Grains Stockage : 1 : début stockage, 2 : un mois de stockage, 3 : deux mois de stockage, 4 : trois de stockage

L'analyse de variance globale effectuée sur les pâtes montre un effet de la variété et de la durée de dégermage sur l'indice de brun des farines. Les pâtes issues de la variété gbogboué paraissent plus claires (100 - $L^* = 24{,}2$) que celles de gnonli est (25,7). Ce résultat est contraire à celui attendu car les farines de gnonli sont plus claires (moins jaune en particulier) que celles de gboboué.

En ce qui concerne le dégermage, on note que plus les grains sont dégermés plus leur farine donne une pâte claire. Ce résultat est attendu dans la mesure ou les grains dégermés donnent des farines claires suite à l'élimination du germe qui est légèrement jaune. De même on observe une diminution significative de la saturation en rouge des pâtes avec le dégermage. On remarque par ailleurs que les pâtes issues de grains dégermés ont un indice de brun 2 fois plus faible que celui des pâtes de grains entiers.

Le type de broyeur, le nombre de broyages et le stockage n'influencent pas significativement l'indice de brun des pâtes conformément au résultat observé sur les farines.

3.3 - Paramètres de viscosité

Tableau 11 : Effet des paramètres opératoires sur la température d'empesage et sur la viscosité début 95 °C

Paramètres de viscosité	**Variété**	**Dégermage**	**Type de broyeur**	**Nombre de broyage**	**Stockage**	
					Grains entiers	Grains dégermés
Température d'empesage (°C)	1: 83,3a 2: 79,0b	1: 79,3a 2: 77,6b 3; 77,2b	1: 81a 2: 81,3a	1: 80,7b 2: 81,1a	1: 79,1c 2: 80,9b 3: 81,9ab 4: 82,8a	1: 76,6d 2: 77,9c 3: 78,5b 4: 79,3a
V_{95b} (uRVA)	1: 121b 2: 203a	1: 171b 2: 184a 3: 188a	1: 180a 2: 144b	1: 167,2a 2: 156,7a	1: 174,5a 2: 167,8a 3: 163,2a 4: 142,6a	1: 161b 2: 189a 3: 193a 4: 181a

Les valeurs de la même case ne portant pas les même lettres sont significativement différentes (P< 0,05)

Var : Variété	Deg : Dégermage	Typ bro : Type de broyeur	Nb pas : Nombre de passages
1: gbogboué	1: 8 mn	1: moulin à marteaux	1 : 3
2: gnonli	2: 11 mn	2 : moulin à disques	2 : 4
	3: 14 mn		

Stockage : 1 : début stockage, 2 : un mois de stockage, 3 : deux mois de stockage, 4 : trois de stockage

Les différentes mesures de viscosité des pâtes sont fortement corrélées entre elles ($r \geq 0,59$). Ainsi seules les données de V_{95b} seront discutées.

Le tableau 11 présente l'analyse de variance effectuée sur le comportement rhéologique des pâtes. On note un effet de la variété sur la température d'empesage et la viscosité en début de plateau à 95 °C. La température d'empesage des farines de gbogboué (83,3 °C) est supérieure à celle des farines de gnonli. De même gnonli donne une pâte plus visqueuse (203 uRVA) que celle de gbogboué (121 uRVA). Conformément aux résultats de Nago (1997) ces résultats sont sans doute liés à la granulométrie puisque le pourcentage de passant à 250µm est

fortement corrélé à la température d'empesage (r =0,74) et à la viscosité début 95°C (r =0,58). Ainsi, plus une farine est fine, plus rapide est l'empesage et plus forte est la viscosité.

Le dégermage exerce aussi un effet significatif sur la température d'empesage et la viscosité début 95 °C. Plus la durée de dégermage augmente plus faible est la température d'empesage (79,3 °C à 77,2 pour 8 à 14 mn de dégermage) et plus élevée est la viscosité début 95 °C qui passe de 171 à 188 u RVA.

Les farines issues de moulin à marteaux donnent des pâtes significativement plus visqueuses (V_{95b} = 180 uRVA) que celle issues du moulin à disques (V_{95b} = 144 uRVA). Mais, plus la farine est broyée, plus la température d'empesage est élevée. Ces résultats sont liés à l'endommagement de l'amidon qui est poussé dans le moulin à marteaux que dans celui à disques vue leur fonctionnement respectif.

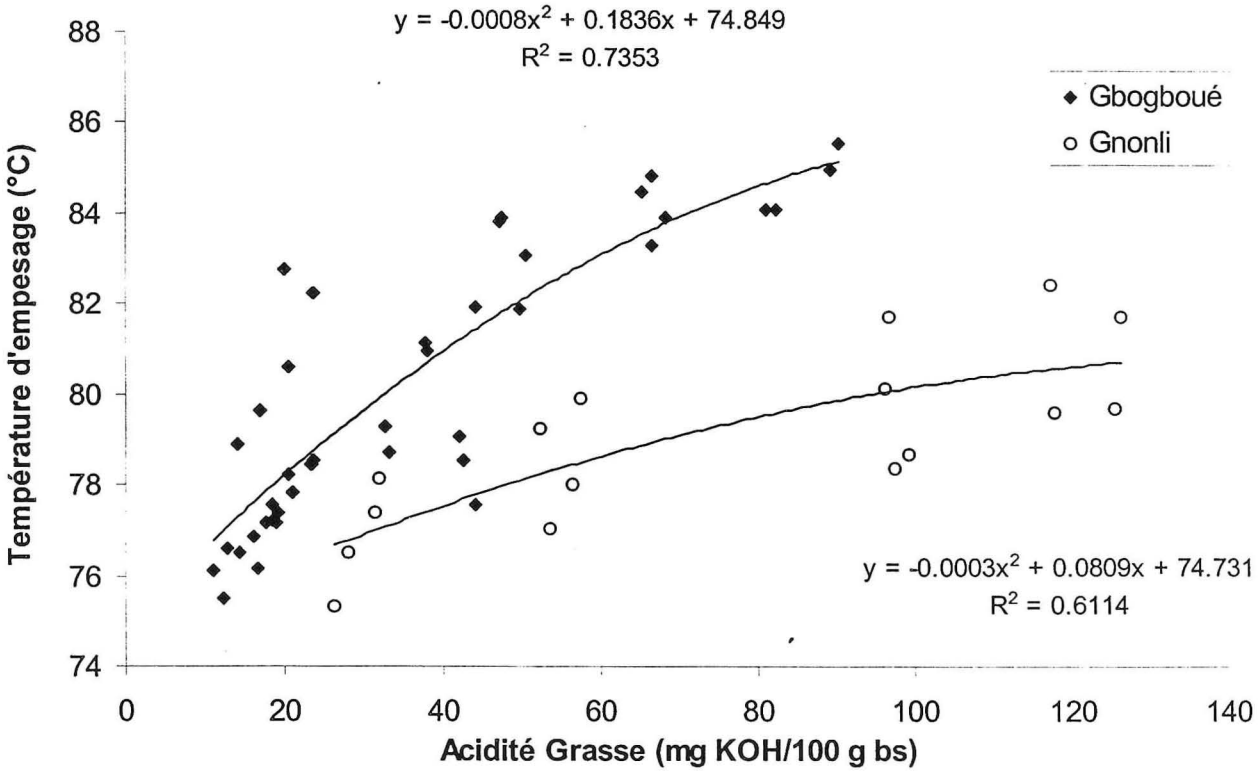


Figure 7. Relation entre la température d'empesage et l'acidité grasse des farines

S'agissant du stockage, on note son effet sur la température d'empesage des deux types de pâtes et son effet uniquement sur la viscosité des pâtes des farines de grains dégermés. Ainsi, on observe une augmentation de la température d'empesage avec la durée de stockage (79,1 à

82,8 pour les pâtes de grains entiers et 76,6 à 79,3 pour les pâtes de grains dégermés). Ceci paraît lié à l'hydrolyse des lipides dans les substrats. La figure 7 montre en effet l'augmentation de la température d'empesage avec la teneur en acides gras libre. L'acidité grasse augmentant avec le stockage, on observe une augmentation de la température d'empesage au cours du stockage.

Globalement, la granulométrie (%P) et l'acidité grasse (%AG) sont les deux premiers facteurs qui déterminent la température d'empesage. La régression multiple donne la formule suivante:

$$TE = 90{,}0 - 036 \times \%P + 0{,}027 \times AG \quad (r = 0{,}80)$$

En ce qui concerne la viscosité début 95 °C la figure 8 montre son augmentation pour les grains dégermés au cours du premier mois. Cette viscosité tend ensuite à se stabiliser après un mois. Tout au long du stockage, la viscosité des pâtes de grains dégermés est plus élevée que celle des pâtes issues de grains entiers. Ceci s'explique par la pauvreté en lipides des farines des grains dégermés, qui limitent la solubilisation de l'amidon (cf 3.2).

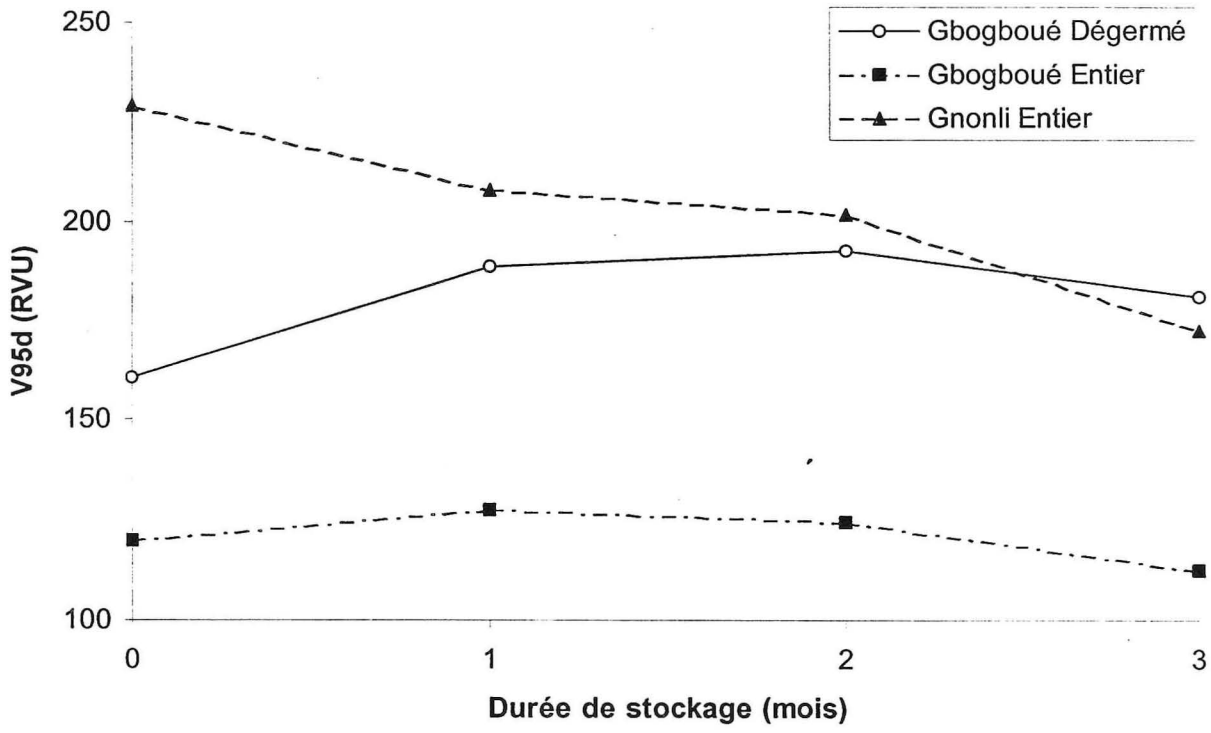


Figure 8. Evolution de la viscosité en début de plateau à 95°C au cours du stockage des farines

4 - Analyse sensorielle des farines et pâtes

4.1 - Analyse sensorielle des farines

Tableau 12 : Effet des paramètres opératoires sur les caractéristiques sensorielles des farines

Caractéristique sensorielle des farines	Variété	Dégermage	Type broyeur	Nombre de broyage	Stockage	
					Grains entiers	Grains dégermés
Finesse	1: 3,0b 2: 3,5a	1: 3,9ab 2: 4,0a 3: 3,8a	1: 3,9a 2: 2,7b	1: 3,3a 2: 3,2a	1: 3,3a 2: 3,2a 3: 3,2a 4: 3,3a	1: 3,9a 2: 4,1a 3: 3,9a 4:3,6b
Couleur	1: 2,7b 2: 3,3a	1: 4,1b 2: 4,4a 3: 4,1b	1: 3,0a 1: 3,0a	1: 3,2a 2: 2,8b	1: 3,1a 2: 3,1a 3: 2,7b 4: 3,1a	1: 4,4a 2: 4,4a 3: 4,2a 4: 3,9b
Odeur	1: 2,7b 2: 3,1a	1: 3,5a 2: 3,5a 3: 3,5a	1: 2,9a 2: 3,0a	1: 3,0a 2: 2,8b	1: 3,0ab 2: 3,2a 3: 2,5c 4: 2,8b	1: 3,6ab 2: 3,8a 3: 3,4bc 4: 3,2c
Goût	1: 3,0a 2: 2,9a	1: 3,5a 2: 3,4a 3: 3,5a	1: 3,0a 2: 2,9a	1: 3,0a 2: 2,9a	1: 3,0a 2: 2,9a 3: 2,9a 4: 3,0a	1: 3,5a 2: 3,4a 3: 3,5a 4: 3,4a

Les valeurs de la même case ne portant pas les même lettres sont significativement différentes (P< 0,05)

Var : Variété
1: gbogboué
2: gnonli

Deg : Dégermage
1: 8 mn
2: 11 mn
3: 14 mn

Typ bro : Type de broyeur
1: moulin à marteaux
2 : moulin à disques

Nb pas : Nombre de passages
1 : 3
2 : 4

Stockage : 1 : début stockage, 2 : un mois de stockage, 3 : deux mois de stockage, 4 : trois de stockage

L'écart type de la moyenne des 20 dégustateurs est voisin de 0,2 pour l'ensemble des paramètres sensoriels évalués. On note un effet significatif de la plupart des facteurs excepté le nombre de broyages et le stockage des farines de grains entiers sur la finesse. Les dégustateurs préfèrent pour les farines de grains entiers la finesse de gnonli (3,5) à celle de gbogboué (3,0) et mieux encore celle du grain dégermé (note voisine de 4,0). Mais contrairement à notre attente, un nombre de broyages élevé déprécie la finesse. Globalement la granulométrie mesurée et la finesse sont liées (r =0,36) (Figure 9). Plus la farine est fine plus le pourcentage de passant est élevé. Quant au stockage, il semble affecté la finesse des farines des grains dégermés.

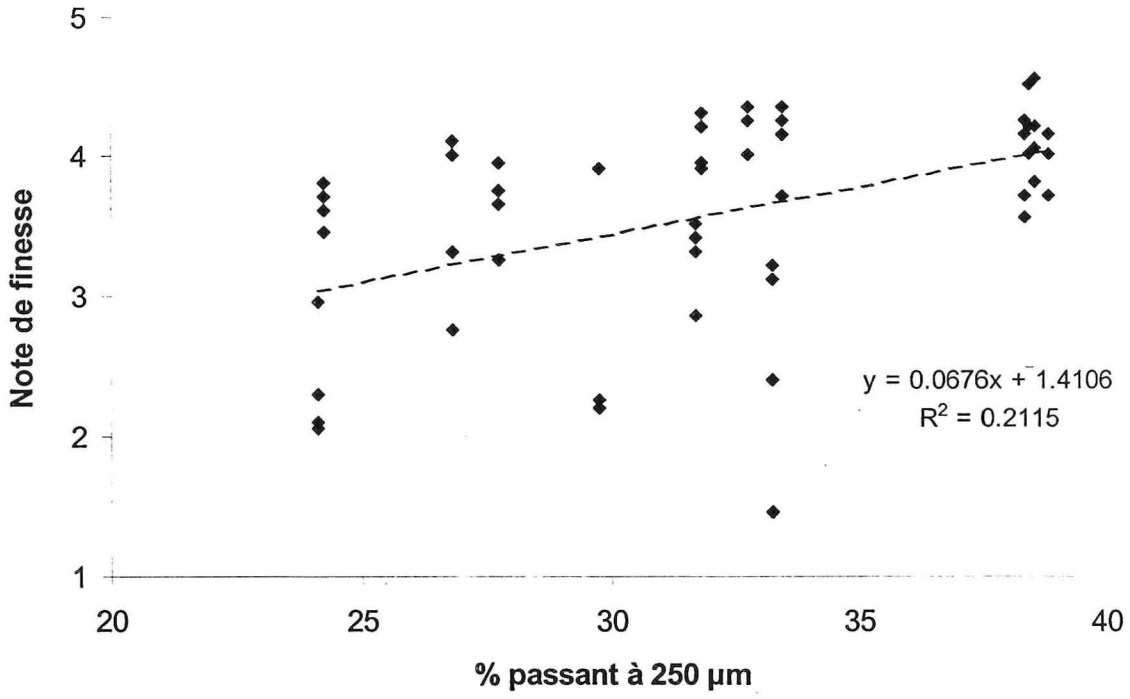


Figure 9. Relation entre la note de finesse et la granulométrie de la farine

La couleur subit un effet de tous les facteurs sauf du type de broyeur. Ainsi les farines de grains entiers de gnonli (note 3,3) ou mieux celle des grains dégermés (note supérieure à 4,1) sont les plus appréciées. Quant au stockage, on observe une dépréciation de la couleur des farines de grains dégermés alors que celle de la farine des grains entiers ne montre pas de tendance nette. Ces résultats vont globalement dans le même sens que ceux observés sur l'indice de brun des farines et sont corrélés (r = 0,73) à la teneur en lipides.

L'odeur des farines varie parallèlement à leur couleur, mais aucun effet n'est observé sur le goût des farines.

4.2 - Analyse sensorielle des pâtes

4.2.1-Présentation des résultats

Tableau 13 : Effet des paramètres opératoires sur les caractéristiques sensorielles des farines

Caractéristiques sensorielles des pâtes	Variété	Dégermage	Type de broyeur	Nombre de broyage	Stockage	
					G Entiers	G dég.
Couleur	1: 2,8b 2: 3,1a	1: 4,2a 2: 4,3a 3: 4,4a	1: 3,1a 2: 2,9b	1: 3,1a 2: 2,9a	1: 2,8a 2: 3,1a 3: 3,1a 4: 3,0a	1: 4,6a 2: 4,4ab 3: 4,3ab 4: 4,1b
Odeur	1: 2,9b 2: 3,2a	1: 3,9a 2: 3,8a 3: 4,0a	1: 3,3a 2: 2,7b	1: 3,1a 2: 2,9b	1: 2,7c 2: 3,1ab 3: 3,3a 4: 3,0b	1: 4,4a 2: 4,3a 3: 3,9b 4: 3,3c
Goût	1: 2,9a 2: 2,8a	1: 3,6a 2: 3,4a 3: 3,7a	1: 2,9a 2: 2,8a	1: 2,9a 2: 2,8a	1: 3,3a 2: 3,3a 3: 2,7b 4: 2,3c	1: 3,9a 2: 3,8a 3: 3,7a 4: 2,9b
Elasticité	1: 2,6a 2: 2,6a	1: 3,3a 2: 3,2a 3: 3,4a	1: 2,7a 2: 2,5a	1: 2,8a 2: 2,5b	1: 2,8a 2: 2,9a 3: 2,7a 4: 2,0b	1: 3,8a 2: 3,8a 3: 3,0b 4:2,6c
Fermeté	1: 2,7a 2: 2,8a	1: 3,1a 2: 3,0a 3: 3,3a	1:2,9a 2:2,7b	1: 2,8a 2: 2,6a	1: 3,0a 2: 2,7b 3: 3,1a 4: 2,3c	1: 3,2a 2: 3,5a 3: 3,2a 4: 2,7b
Lisse	1: 2,7a 2: 2,9a	1: 3,7ab 2: 3,6b 3: 4,0a	1: 3,0a 2: 2,7b	1: 2,9a 2: 2,7b	1: 3,0a 2: 3,0a 3: 2,8ab 4: 2,5b	1: 3,7b 2: 3,6b 3: 4,0a 4: 3,8ab

Les valeurs de la même case portant les même lettres ne sont significativement différentes (p<0,05)

Var : Variété
1: gbogboué
2: gnonli

Deg : Dégermage
1: 8 mn
2: 11 mn
3: 14 mn

Typ bro : Type de broyeur
1: moulin à marteaux
2 : moulin à disques

Nb pas : Nombre de passages
1 : 3
2 : 4

G : Grains Stockage : 1 : début stockage, 2 : un mois de stockage, 3 : deux mois de stockage, 4 : trois de stockage

Un effet variétal significatif (P<0,05) est mis en évidence sur la couleur et l'odeur des pâtes. Les pâtes obtenues à partir de la variété gnonli sont plus appréciées des consommateurs. Aucun effet variétal n'est observé au niveau du goût, de l'élasticité, de la fermeté et du caractère lisse des pâtes.

Les dégustateurs préfèrent les pâtes issues de grains dégermés: note supérieure de 0,5 à 1,5 points par rapport à celles des grains entiers pour la couleur, le goût et l'odeur. Mais ils sont indifférents à l'intensité du dégermage

On note un effet significatif (P<0,05) du type de broyeur sur la couleur, l'odeur, la fermeté et le caractère lisse des pâtes. Les farines obtenues à l'aide du moulin à marteaux sont préférées pour tous ces caractères.

En ce qui concerne le nombre de broyage, on observe un effet sur la couleur, l'odeur, l'élasticité et le caractère lisse des pâtes. Dans tous les cas, les pâtes issues des farines broyées 3 fois sont mieux notées que celles broyées 4 fois. Ce résultat est analogue à celui obtenu au niveau des farines et est contraire aux résultats attendus.

En ce qui concerne le stockage, on note son effet significatif après analyse de variance sur la couleur des pâtes de grains dégermés et sur tous les autres paramètres des deux types de pâtes. Les pâtes de grains dégermés subissent une dépréciation de leur couleur (4,6 à 4,1) au cours du stockage. Mais elles restent toujours plus appréciées que les pâtes de grains entiers (3,0). Pour la plupart des caractères (odeur, goût, élasticité et fermenté), les notes diminuent pour les deux types de pâtes au cours du stockage. Par contre, on observe une dépréciation du caractère lisse des pâtes pour les grains entiers et aucune tendance nette pour celles des grains dégermés.

4.2.2- Interprétation et discussion des résultats

Tableau 14. Corrélation entre paramètres sensoriels des pâtes et farines

		Caractéristiques des farines			Caractéristiques des pâtes				
		Finesse	*Couleur*	*Odeur*	*Couleur*	*Odeur*	*Goût*	*Elasticité*	*Fermeté*
Caractéristiques des farines	Finesse	1							
	Couleur	0.64	1						
	Odeur	0.65	0.76	1					
Caractéristiques des pâtes	Couleur	0.55	0.75	0.61	1				
	Odeur	0.59	0.57	0.47	0.79	1			
	Goût	0.28	0.42	0.48	0.65	0.54	1		
	Elasticité	0.40	0.43	0.54	0.64	0.66	0.81	1	
	Fermeté	0.30	0.24	0.31	0.56	0.61	0.65	0.74	1
	Lisse	0.46	0.51	0.52	0.77	0.59	0.71	0.62	0.69

Le tableau 14 présente les corrélations entre les diverses caractéristiques des pâtes et des farines. Ainsi la couleur de la pâte est corrélée positivement à celle de la farine (r =0,75). Cela suggère que les farines claires donnent des pâtes claires. De même comme pour les farines, l'odeur et la couleur de la pâte sont positivement corrélées (r =0,62) (Figure 10). L'odeur de la pâte n'est sans doute pas directement liée à la couleur du grain mais plutôt à sa teneur en lipides car ces deux paramètres sont fortement corrélés aux lipides: l'odeur et la

couleur de la pâte sont appréciées lorsque la farine est pauvre en lipides (r = -0,61) et (r = -0,85).

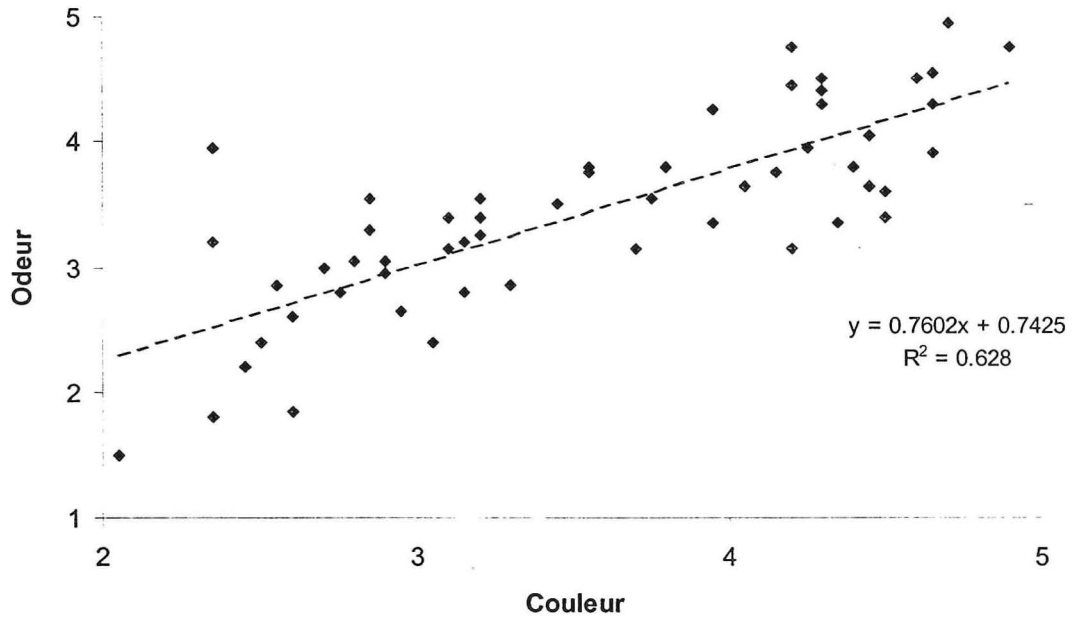


Figure 10. Relation entre odeur et couleur des pâtes de maïs

L'élasticité et le goût de la pâte sont fortement corrélés (r = 0,65). Plus les pâtes sont élastiques meilleur est leur goût (Figure 11).

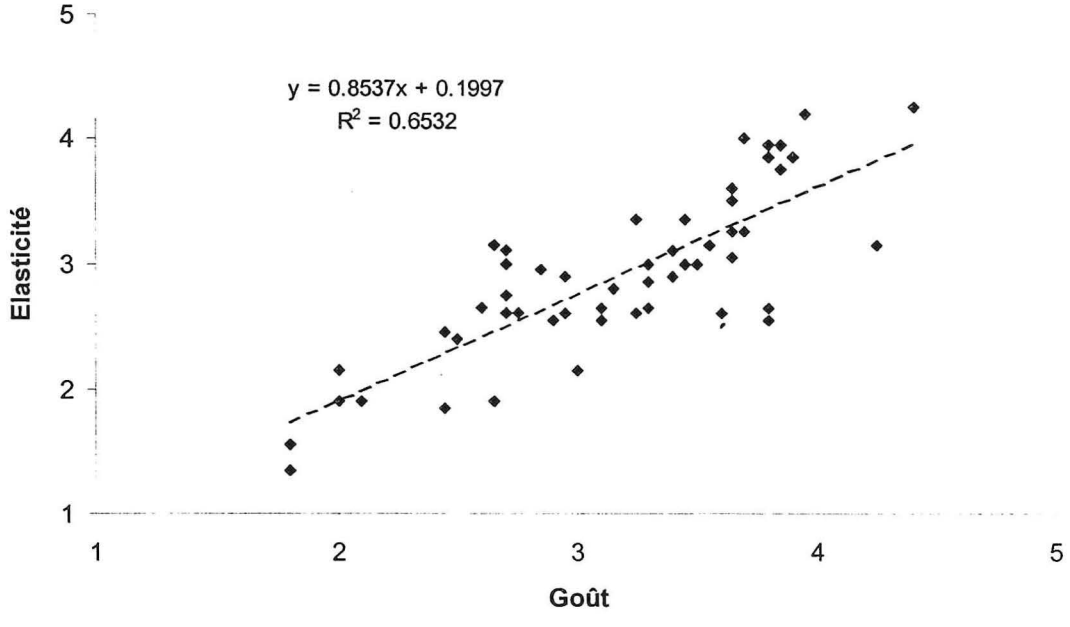
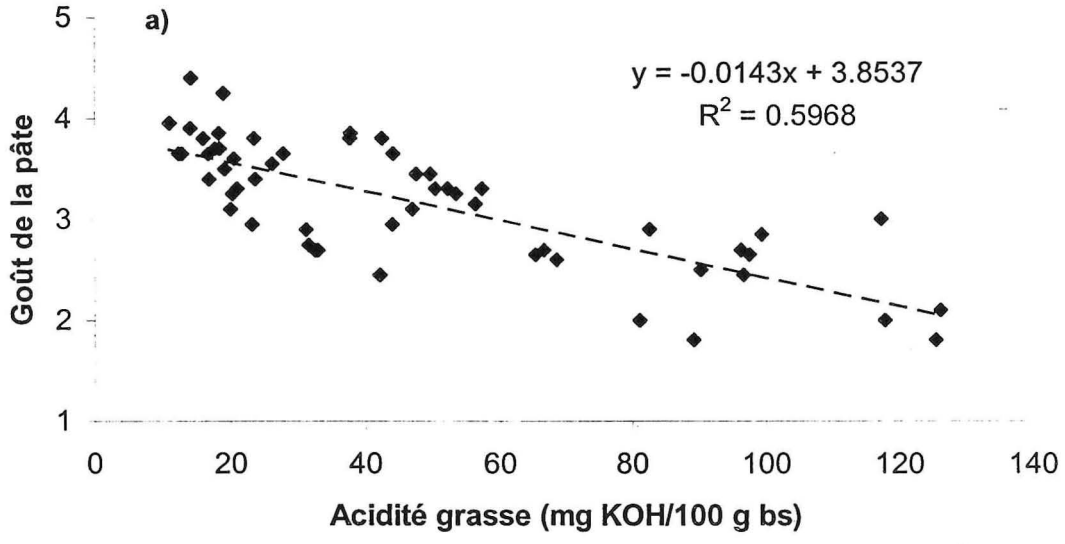


Figure 11. Relation élasticité et goût des pâtes

Ce résultat semble être lié à la teneur en acide gras libres des farines car on observe une diminution de la note de ces deux paramètres avec l'augmentation de la teneur en acidité grasse (Figure 12).



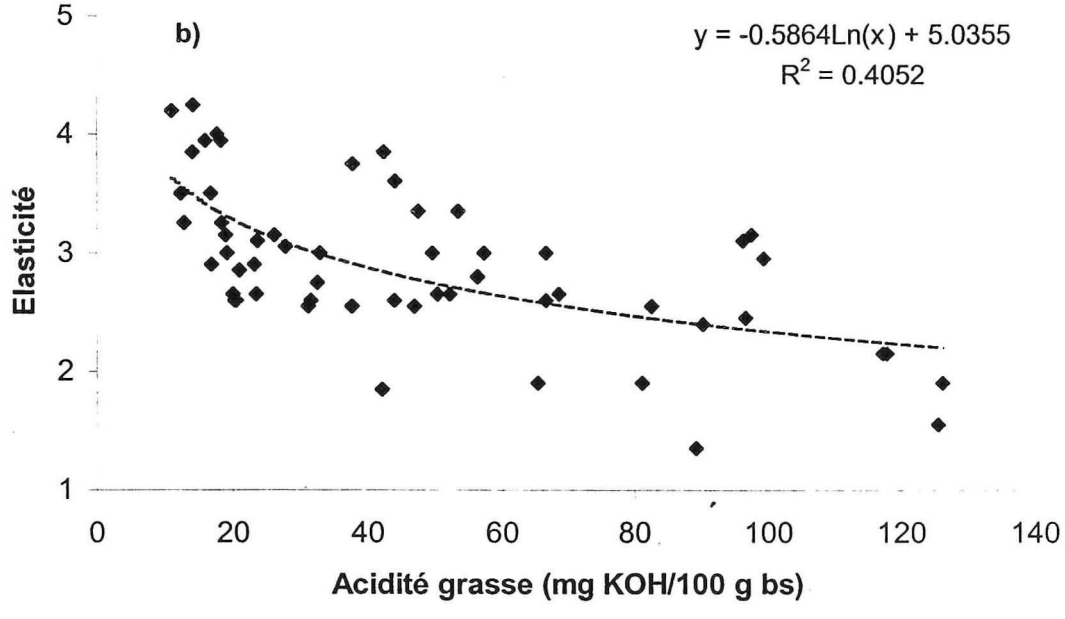


Figure 12. Relation entre acidité grasse des farine et goût (a) ou élasticité (b) des pâtes

Les pâtes ont un goût acceptable (note supérieure ou égale à 3) pour une teneur en acide gras libre inférieure à 50mg KOH/100g bs; ce qui correspond à une durée de stockage de 1 mois pour les farines de grains entiers et plus de 3 mois pour celles de grains dégermés (Figure 5).

Dans le même temps, l'élasticité est acceptable (note de 3) pour une teneur en acidité grasse inférieure à 30mg KOH/100g bs. Ce résultat indique que les farines de grains entiers conservées durant mois ne donneront pas une pâte appréciée du point de vue de son élasticité. Par contre les farines de grains dégermés, conservées jusqu'à 3 mois permettront de préparer une pâte d'élasticité acceptable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 - AACC, 1984. Approved methods of the American Association of Cereal chemists. 8th Edition, St Paul, MN, USA.

2 - ADANDE, S.A., 1984. Le maïs et ses usages dans le Bénin méridional. ACCT. Les nouvelles Editions Africaine, 100 pp.

3 - AGOSSOU, Y. ; AFODA, D. ; LARE, L. ; SEWONOU, K. et TAGBA, B., 1986. Tests de technologie traditionnelle de transformation des vivriers. Synthèse des travaux 1982-1985.
Société Togolaise du coton, Lomé, Togo.

4 - AHO, et KOSSOU, D. 1993. Stockage et Conservation des grains alimentaires tropicaux : Principes et Pratiques. Les Editions du Flamboyant, Cotonou, Bénin 125 pp.

5 - AKISSOE, N. 1992. Inflence de quatre variétés de maïs sur les caractéristiques physico-chimiques du mawè; pâte fermentée traditionnelle. Thèse d'ingénieur agronome FSA/UNB, 74p

6 - ANDAH, A. 1976. Storage stability and nutrient content of whole maize meal and degermed maize meal. Ghana journal of Agricultural Science, 9, 75-78.

7 - ANDERSON, R.A., 1982. Current status of research and development in the dry-milling industry.
In : Processing utilization and marketing of maize. Swaminathan, M.S. pp 247-263.

8 - ANONYME, 1990. Le Bénin en chiffres.

ESR-FSA/UNB, Abomey-Calavi, Bénin, 117 p.

9 - ANONYME, 1995. Bulletin trimestriel FAO de statistique. FAO, 9 (3/4), Rome, Italie.

10 - BEADLE, J.B. ; JUST, D.E., MORGAN, R.E. and REINERS, R.A., 1965. Composition of corn oil.
J. Am. Oil chem.. Soc., 42 : 90-95.

11 - BURE, 1965. Appréciation de la couleur.
In : Godon, B et Loisel, w. (1984). Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales, collection technique et Documentation. Paris: Lavoisier

12 - BRABET, C. 1994. Etude des mécanismes physico-chimiques et biologiques responsables du pouvoir de panification de l'amidon fermenté du manioc 225-275.

13 - BREKKE, O.L., 1968. Corn dry-milling : stress crak formation in tempering of low-moisture corn and effect on degermination performance cereal chem.. 46 : 545-559.

14 - CHANG, C.S., 1988. Measuring density and porosity of grain kernels using a gas pycnometer.

Cereal chem.. 65 (1) : 13-15.

15 - CHASSERAY., 1991. Caractéristiques physiques des grains et leurs derives; In Godon, B. et Willon, C., 1991. Les industries de premières transformations des céréales. Collection, Technique de Documentation, Ed. Lavoisier, Paris, France, pp 105.

16 - CIMMYT, 1991. Réalité et tendances. Le maïs dans le monde : Le potentiel maïsicole de l'Afrique Subsaharienne CIMMYT 1989/90, MEXICO, D.F. CIMMYT ;

17 - DOKOUI, N., 1993. Contribution à la caractérisation et à l'évaluation de certains écotypes locaux de maïs du Département du Mono.
Mémoire de fin de cycle, Diplôme d'Etudes Agricoles Tropicales. Lycée Agricole Médji de Sékou, Bénin.

18 - FAVIER, J.C., 1989.
Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leur transformation.
In : Céréales en Régions chaude : Conservation et transformation, AUPELF/UREF, Edit. John Libbey, Eurotext, Paris, pp. 285-297.

19 - FAO, 1990. Annuaire de production. Vol 46

20 - FAO, 1993. Le maïs dans la nutrition humaine : Alimentation et nutrition.

21 - FREY, N.M., 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize Grop Science, 21 : 118.

22 - FUSILLER, J.L., 1994. Afrique de l'Ouest et du Centre : maïs ou sorgho ? Agric. Develop., 2 : 21-28.

23 - GERBOUIN-REROLLE, P. 1993. L'enfant en milieu tropical: tranformation des aliments. Centre international de l'enfance - PARIS

24 - GODON, B. et LOISEL, W., 1984. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Collection Technique et Documentation, Edition : Lavoisier, Paris, France, 685, pp.

25 - HAMILTON, T.S. ; HAMILTON, B.C. ; JOHNSON, B.C. and MITCHELL, H.H., 1951. The dependence of the physical and chemical composition of the corn kernel on soil fertility and cropping system. Cereal chem..; 28 : 163-176.

26 - HOSENEY, R.C. and FAUBION, J.M., 1992. Physical properties of cereal grains. In SAUER D.B. (1992). Storage of cereal grain and their products. 4th edition, oo. 1-3.

27 - HOUNHOUIGAN, D.J. ; NOUT, M.J.R., NAGO, C.M. ; HOUBEN, J.H. and RAMBOUTS, F.M. 1993a. Composition and microbiological and physical Attributes of mawè, a fermented maize dough from Bénin.
Inter. J. Food Sci. Technol., 28 : 513-517.

28 - HOUNHOUIGAN, D.J., 1994. Fermentation of maize (*Zea mays L.*) meal for mawè production in Benin : Physical, chemical and microbiological aspects.

PhD. Thesis, Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 83 p.

29 - HOUNHOUIGAN, D.J. 1997. La transformation des Céréales : Maïs, sorgho et mil. Manuel de Référence pur TSTAC. Volume 3. MDR, PADSA.

30 - IITA, 1991. Maize research program ; maize quality and utilization project. Annual report, IITA, Ibadan Nigeria, 20 p.

31 - INGLETT, G.E., 1970b. Kernel structure, composition and quality. In : Corn : culture, processing, products, Inglett, G.E. The Avi Publishing company, Inc., Wesport, Connectient, USA, pp. 123-137.

32 - ISO, 1986. Produits de mouture des cereals – determination de l'acidité grasse (ISO 7305 – 1986), p52-54 Paris : ISO.

33 - ISOLA, O.1992. Some physico chemical and funtional properties of acha (Digitaria exilis stapf) starch. B. sc (HONC) Food science and Technology.

34 - KAYODE, A.P.P., 1999. Etude de la mécanisation du décorticage (Dégermage du maïs au décortiqueur mini PRL pour la production de mawè. Thèse d'Ingénieur Agronome. Faculté des Sciences Agronomiques.

35 - LATRILLE, E. ; ISSIFOU, A. et AGBOH, A., 1982. Projet de développement rural de la région maritime. Recherche agronomique d'accompagnement, Année 1981. Document IRAT/MDR-Togo.

36 - LOUIS-ALEXANDRE, A. ; MESTRES, C. and FAURE, J., 1991. Measurement of endosperm vitreionsness of corn : a quantitative method and its application to African cultivars. Cereal chem.. 68 (6) = 614-617.

37 - LUTZ, C. 1992. Le fonctionnement du marché de maïs au Bénin. L'arbitrage inter-régional durant la période Septembre 1987-Septembre 1989. Série d'Economie et de Sociologie Rurale. FSA/UNB, Abomey-Calavi, Bénin, 118 p.

38 - MESTRES, C., 1986. Gélification d'amidon de maïs modifies thermiquement. Application à la fabrication des pâtes alimentaires sans gluten. Thèse de Doctorat Université de Nantes, France.

39 - MESTRES, C. LOUIS-ALEXANDRE, A., MATENCIO, F. and LAHLOU, A., 1991. Dry-milling properties of maize Cereal Chem., 68 : 51-56.

40 - MESTRES, C. MATENCIO, F. and LOUIS-ALEXANDRE, A., 1995. Mechanical behavior of corn kernels : development of a laboratory friability test that can product milling behavior. Cereal Chem., 72 (6) : 652-657.

41 - MESTRES, C. MATENCIO, F. and DRAME, D ;, 2002. Small scale production and storage quality of dry-milled degermed maize products for tropical countries. 11.

42 - NAGO, C.M., 1986. Etude des principales plantes alimentaires traditionnelles au Bénin. Communication scientifique au Séminaire International FAO/UI, Ibadan, Nigéria.

43 - NAGO, C.M. 1989. Technologies traditionnnelles et alimentation au Bénin : Aspects techniques, biochimiques et nutritionnels. A – Identification et caractérisation des principales filières et technologie du secteur traditionnel de transformation alimentaire. Document FSA/UNB, Abomey-Calavi, Bénin, 97 p.

44 - NAGO, C.M. et HOUNHOUIGAN, D.J., 1990. La technologie traditionnelle de transformation du maïs en pâte fermentée au Bénin.

45 - NAGO, C.M. ; AKISSOE, N. ; MATENCIOA, F. ; MESTRES, C. 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, 565-571.

46 - NAGO, C.M., 1997. La transformation alimentaire traditionnelle du maïs au Bénin : Détermination des caractéristiques physico-chimiques des variétés en usage ; Relations avec l'obtention et la qualité des principaux produits dérivés. Thèse de Doctorat d'Etat, Académie de Paris, Université Paris 7. Denis Diderot UFR de biochimie, 201 p.

47 - NOUT, M.J.R. ; RAMBOUTS, F.M. and HAVELAAR, A., 1989. Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganisms.
Intern. J. Food Microbiol, 351-361.

48 - PIERRE, W.H. ; DUMENIL, L. ; JOLLEY, V.O. ; WEBB; J.R. and SHRADER, W.D., 1977.
Relationship between corn yield, expressed as percentage of maximum, and the N percentage in the grain. 1. Various N-rate experiments.
Agro. J., 69 : 215-220

49 - RAJU, G.N. ; BHASHYAM, M.K. ; NARASIMHA ; H. V., SREE DHARA MURTY S. and SRINIVAS, T., 1992. Grain morphology and structure in relation to milled Product quality in maize (Zea may L.). Intern. J. Food Sci. Technol., 27 : 213-220.

50 - SEKPE, H. 2000. Etude de la mécanisation du dégermage du maïs pour la production de gritz et de farine à usage multiple : Utilisation du dégermeur type 2 de MAQUINA D'ANDREA. Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA-UNB.

51 - SCHNEIDER, B.H. ; LUCAS, H.L. and BEESON, K.C., 1953. Nutrient composition of corn in the United States.

52 - SOULE, B.G., 1990. Etudes sur la société alimentaire au Bénin n°4. Marché et commercialisation du maïs au Bénin, ONC/GTZ, 17 : 78-89.

53 - THOMPSON, R.A. and ISAACS, G.W., 1967. Porosity determination of grains and with an air comparison pycnometer.
Trans. ASAE, 10 : 693-696.

54 - WATSON, S.A., 1987a. Structure and composition. In : Corn chemistry and technology, WATSON, S.A. and RAMSTAD, P.E. Ed., American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, USA, pp. 55-82.

55 - WATSON, S.A., 1987b. Measurment and maintenance of quality In : Corn chemistry chemistry and technology, WATSON, S.A. and RAMSTAS, P.E., Ed., American Association of Cereal chemists, St. Paul, MN, USA, pp. 125-183.

56 - WEBER, E.J., 1987. Lipids of the kernels. In : Corn : chemistry and technology, WATSON, S.A and RAMSTAD, P.E. Ed. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, USA, pp. 311-349.

57 - WILLM, C., 1991. La mouture semi-humide de maïs. In : GODON B. et WILLIM C. (1991). Les industries de première transformation des céréales. Collection Technique et Documentation, Ed. Lavoisier, pp. 397-421.

58 - WILSON, C.M., WATSON, S.A. and RAMSTAD, P.F., 1987.
Proteins of kernels.
In : Corn : Chemistry and technology ; WATSON, S.A. and RAMSTAD, P.F., Amrican Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN? Usa; pp. 273-310.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La présente étude a permis d'évaluer pour 2 variétés gbogboué et gnonli l'effet des technologies (intensité du dégermage, type de moulin, intensité de broyage) sur la qualité des farines de maïs et pâtes dérivées. Elle a permis aussi de suivre l'évolution au cours du temps des caractéristiques physiques, rhéologiques, chimiques et organoleptiques des produits obtenus.

Il est apparu que les caractéristiques sensorielles de la farine de gnonli et de la pâte (couleur, finesse et odeur) des grain entiers est préféré à celles de gbogboué. En revenche, après dégermage les farines et les pâtes de gbogboué présentent des caractéristiques meilleures à celles des produits obtenus à partir des grains entiers. Mieux, les grains dégermés à 11 ou 14 mn donnent des farines et des pâtes peu différentes et sont les mieux appréciées.

Les farines et les pâtes à base du moulin à marteaux ont des caractéristiques (couleur, goût, finesse et odeur) mieux appréciées (+0,5 pt) que ceux du moulin à disques.

On assiste à une dépréciation de tous les produits au cours du stockage. Les farines de gbogboué dégermé à 11 et 14 minutes prêtent mieux à la conservation que ceux des grains entiers des deux variétés.

Les analyses instrumentales effectuées montrent des différences significatives entre les produits en particulier au niveau de la granulométrie des farines et de leur comportement rhéologique. Plus la variété est tendre et farineuse, plus elle donne un «lifin» fin et plus sa pâte est consistante et visqueuse. De même, plus les grains de gbogboué sont dégermés, plus ils donnent une farine fine et une pâte visqueuse et consistante. Les farines issues de gbogboué ont une viscosité de 121uRVA pour les grains entiers et 188uRVA pour les grains dégermés à 14 mn, une viscosité proche de celle de gnonli (203 RVA). L'effet des caractéristiques chimiques observé est surtout liée aux teneurs en lipides : une teneur en lipides élevée, surtout dans les farines de grains entiers contribue à réduire la capacité de gonflement des particules de la farine et leur viscosité.

Au cours du stockage, on observe une augmentation significative de l'acidité grasse, de façon plus importante dans les farines de grains entiers que dans celles des grains dégermés. Cette teneur en acidité grasse est inversement corrélée au goût (r = - 0,77) à l'élasticité (r = - 0,61) des pâtes. Parallèlement à l'augmentation de l'acidité grasse on note un accroissement relatif de la température d'empesage pour les deux variétés.

Le test de solubilité gonflement a permis de révéler une augmentation de la solubilité au cours du dégermage ce qui semble être liée à la teneur en lipides (r = - 0,64) et à la granulométrie (r = 0,57). De même, la fraction volumique de la phase dispersée est corrélée à la granulométrie et aux teneurs en acidité titrable et en acide gras libre (r = 0,67).

Au regard des résultats physico-chimiques et sensoriels obtenus on peut faire les recommandations suivantes :

- parmi les deux variétés étudiées, la variété gbogboué est recommandée avec un dégermage de 11 à 14 mn au dégermeur type 2 Maquina d'Andréa. Dans les mêmes conditions, les à grains durs ou semi - tendre.
- La mouture au moulin à marteaux est recommandée car l'appareil d'une part coûte moins cher et d'autre part donne des produits de meilleure qualité.
- Compte tenu du coût et de l'appréciation des consommateurs, un bon lifin peut être obtenu après trois passages au moulin à marteaux.
- En ce qui concerne le stockage, pour une production industrielle, les produits dégermés peuvent être conservés à plus de trois mois en particulier si on améliore l'emballage (sac de jute doublé à l'intérieur de plastique) limitant ainsi l'hydratation et l'oxygénation des produits et donc leur dégradation.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Questionnaire « test hédonique »

Nom :
Prénom :
Date :

Cinq échantillons de lifin et de owo vous sont présentés. Veuillez noter pour chaque produit ses qualités organoleptiques en inscrivant dans le tableau la valeur correspondante à votre préférence.

5-Aime beaucoup
4-Aime un peu
3-Indifférent
2-N'aime pas beaucoup
1-N'aime pas du tout

Lifin

Caractéristiques **Echantillons**	**Finesse**	**Couleur**	**Odeur**	**Goût**
CBG				
FSA				
VOG				
VAG				
WAX				

OWO

Caractéristiques Echantillons	Couleur	Odeur	Goût	Elasticité	Fermeté	Lisse /homogène
KAS						
IKO						
AKA						
OKA						
KAO						

ANNEXES 2 : Corrélation entre les différentes caractéristiques de la farine et de la pâte du maïs

	Lipid	*250m*	*Atitr*	*pH*	*AG*	*Glucose*	*G*	*Phi*	*S*	*TE*	*V95d*	*V95f*	*Vfin*	*Lf*	*af*	*bf*	*Def*	*Lp*	*ap*	*bp*	*Dep*	*Fines*	*Coulf*	*Odf*
Lipid	1																							
250m	-0,77	1,00																						
Atitr	0,75	-0,38	1,00																					
pH	0,22	-0,47	-0,26	1,00																				
AG	0,59	-0,33	0,82	-0,35	1,00																			
Glucose	0,94	-0,71	0,76	0,19	0,56	1,00																		
G	-0,27	0,48	-0,02	-0,15	-0,24	-0,23	1,00																	
Phi	-0,36	0,57	-0,01	-0,29	-0,18	-0,29	0,80	1,00																
S	-0,64	0,57	-0,42	-0,40	-0,36	-0,63	0,26	0,25	1,00															
TE	0,66	-0,74	0,36	0,16	0,53	0,55	-0,67	-0,78	-0,48	1,00														
V95d	-0,37	0,58	-0,05	-0,21	-0,12	-0,24	0,54	0,74	0,03	-0,72	1,00													
V95f	-0,74	0,75	-0,38	-0,32	-0,26	-0,65	0,30	0,49	0,26	-0,62	0,79	1,00												
Vfin	-0,06	0,15	0,02	0,09	0,20	0,01	-0,08	0,04	-0,41	0,00	0,59	0,59	1,00											
Lf	-0,84	0,76	-0,57	-0,45	-0,40	-0,77	0,27	0,49	0,56	-0,67	0,56	0,77	0,17	1,00										
af	0,64	-0,57	0,37	0,18	0,35	0,60	-0,36	-0,28	-0,51	0,46	-0,18	-0,44	0,07	-0,30	1,00									
bf	-0,11	-0,22	-0,24	0,37	-0,17	-0,13	-0,23	-0,46	0,09	0,31	-0,52	-0,23	-0,20	-0,37	-0,52	1,00								
Def	0,36	-0,51	0,13	0,43	0,14	0,29	-0,26	-0,54	-0,26	0,55	-0,69	-0,60	-0,28	-0,72	-0,12	0,74	1,00							
Lp	-0,77	0,43	-0,75	-0,05	-0,64	-0,74	0,11	0,12	0,49	-0,39	0,13	0,43	-0,07	0,60	-0,47	0,29	-0,15	1,00						
ap	0,67	-0,41	0,68	0,15	0,61	0,64	-0,02	-0,11	-0,42	0,36	-0,13	-0,37	0,09	-0,60	0,42	-0,09	0,24	-0,71	1,00					
bp	0,01	-0,27	-0,25	0,34	-0,25	-0,09	-0,27	-0,45	0,03	0,30	-0,60	-0,31	-0,33	-0,35	-0,28	0,74	0,62	0,30	-0,13	1,00				
Dep	0,73	-0,57	0,65	0,09	0,57	0,65	-0,37	-0,40	-0,50	0,58	-0,40	-0,53	-0,03	-0,69	0,37	0,03	0,40	-0,81	0,54	0,13	1,00			
Fines	-0,52	0,46	-0,37	0,16	-0,29	-0,41	0,26	0,39	0,09	-0,54	0,60	0,59	0,48	0,48	-0,20	-0,16	-0,33	0,37	-0,29	-0,30	-0,45	1,00		
Coulf	-0,79	0,67	-0,59	-0,17	-0,43	-0,71	0,27	0,42	0,48	-0,68	0,43	0,63	0,05	0,73	-0,44	-0,10	-0,42	0,55	-0,46	-0,13	-0,58	0,64	1,00	
Odf	-0,63	0,52	-0,49	-0,03	-0,42	-0,61	0,26	0,42	0,34	-0,65	0,48	0,58	0,12	0,66	-0,19	-0,32	-0,53	0,32	-0,37	-0,24	-0,38	0,65	0,76	1,00