

# **Influence de la fermentation et du séchage solaire sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre de manioc**

*Influence of fermentation and sun-drying on the breadmaking capacity of cassava sour starch*

**D. DUFOUR \*\*., C. BRABET \*, N. ZAKHIA \*,  
G. CHUZEL \* & \*\*\***

*\* Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique  
pour le Développement, Montpellier (France)*

*\*\* Centro Internacional de Agricultura Tropical, Utilización de Yuca,  
Cali (Colombia)*

*\*\*\* Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronomicas,  
Botucatu (Brazil)*

## **— Résumé —**

L'amidon aigre de manioc, traditionnellement fermenté et séché au soleil, présente un pouvoir de panification. Cette étude porte sur l'évolution des propriétés physico-chimiques et fonctionnelles de l'amidon aigre de manioc, au cours de la fermentation et du séchage au soleil, afin de corrélérer ces propriétés au pouvoir de panification. La mesure de pH, le dosage d'acidité totale et d'acide lactique produit, l'établissement des viscoamylogrammes et la détermination du pouvoir de panification ont été réalisés sur des échantillons d'amidon prélevés en cours de fermentation et de séchage.

Les résultats montrent que tant la fermentation que le séchage solaire ont une grande influence sur la modification des propriétés physico-chimiques et rhéologiques de l'amidon de manioc. Celles-ci sont directement corrélées à l'acquisition du pouvoir de panification. La teneur en acide lactique reste constante au cours d'un séchage artificiel en étuve, alors qu'elle diminue fortement lors d'un séchage solaire à des températures équivalentes. Le séchage au soleil semble induire des réactions photochimiques qui consomment de l'acide lactique et confèrent à l'amidon aigre son pouvoir de panification.

**- Abstract: -**

Cassava sour starch, traditionally fermented and sun-dried, has a breadmaking capacity. This paper presents the evolution of the physicochemical and functional properties of cassava starch during fermentation and sun-drying, with the aim of correlating these properties with breadmaking capacity. Starch samples collected during fermentation and sun-drying were submitted to pH, total acidity and lactic acid measurements; viscoamylograms were plotted and breadmaking capacity was determined.

The study shows that both fermentation and sun-drying induce great changes in the physicochemical and functional properties of cassava starch. These changes are directly correlated with the acquisition of breadmaking capacity. The lactic acid content remained steady during oven-drying whereas it decreased sharply during sun-drying at a similar temperature. Sun-drying appeared to favour photochemical reactions involving lactic acid, which may give sour starch its breadmaking capacity.

## Introduction

L'amidon aigre de manioc, produit traditionnellement en Amérique Latine par l'agro-industrie rurale, est utilisé pour la fabrication de pains tels que le *pandebono* et le *pan de yuca* en Colombie, le *pão de queijo* au Brésil et des produits industriels de type « snack » (Cereda, 1973 ; Chuzel, 1990). L'amidon aigre (*polvilho azedo* au Brésil ; *almidón agrío* en Colombie) voit actuellement son marché croître en zone urbaine. Cependant, le pouvoir d'expansion de cet amidon aigre, considéré par les boulangers et les industriels, comme le critère principal de qualité, est très irrégulier sur le marché. Cette étude vise à comprendre l'acquisition du pouvoir de panification au cours du procédé traditionnel afin de proposer des recommandations pour l'obtention d'amidon aigre de meilleure qualité. (Chuzel et Muchnick, 1993)

Le procédé traditionnel consiste à extraire l'amidon des racines de manioc par voie humide et à le stocker dans des bacs de 0,5 à 5 tonnes. L'amidon fermente pendant 20 à 60 jours en fonction des conditions climatiques (15 °C à 25 °C suivant les régions) (Pinto, 1978) (Jory, 1989). Il subit une fermentation de type lactique et atteint un pH voisin de 3,5 à 4 (Cardenas *et al.*, 1980). Il est ensuite séché au soleil sur des claies (au Brésil) ou sur des bâches de plastique noir disposées sur le sol (en Colombie).

La fermentation et le séchage au soleil permettent à l'amidon de manioc d'acquérir un pouvoir de panification (Chuzel, 1992). La fermentation induit des modifications importantes des caractéristiques organoleptiques et des propriétés physico-chimiques de cet amidon (Nakamura *et al.*, 1975 ; Cereda, 1985 ; Camargo *et al.*, 1988). Les producteurs d'amidon aigre en Colombie insistent sur le fait qu'un séchage par faible ensoleillement donne un amidon aigre de mauvaise qualité ayant un pouvoir de panification très faible. Varsonneur (1993) a obtenu un pouvoir d'expansion optimal en exposant des couches fines (0,5 à 1 cm) d'amidon aigre au soleil (environ 1200 W/m<sup>2</sup> d'intensité solaire) sur des bâches de plastique noir et en les remuant fréquemment. Par ailleurs, les grands industriels au Brésil sèchent l'amidon aigre sur des claies au soleil (parfois jusqu'à 12 km) alors qu'ils disposent de différents séchoirs artificiels (air chaud, flash dryer, tambour...) classiquement utilisés pour la production d'amidon doux de manioc. En effet, les essais industriels réalisés ont montré que l'amidon aigre ainsi séché ne présentait aucun pouvoir d'expansion.

L'amidon aigre est utilisé comme ingrédient principal (en association avec matières grasses ou fromage, œufs, sel) pour la fabrication de pains traditionnels à forte expansion. La spécificité de ces pains réside dans le fait qu'ils sont exempts de farine de blé et ne subissent aucune fermentation par des levures avant cuisson. De plus, aucun additif de panification n'est ajouté à la pâte qui est cuite sans repos, immédiatement après mélange. L'expansion de ces pains n'est donc liée ni à la présence d'un réseau protéique de gluten ni à la production de gaz carbonique par des levures comme en panification classique (cas du pain français) (Godon, 1981).

Cette étude montre l'influence de la fermentation et de l'exposition au soleil sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre de manioc, ce pouvoir de panification étant lui même corrélé à la modification des propriétés physico-chimiques et rhéologiques (pH, acidité totale, teneur en acide lactique, viscosité Brabender). Le rôle particulièrement important de l'acide lactique dans l'acquisition du pouvoir de panification est également mis en évidence.

## Matériel et Méthodes

### 1. Matière première

L'amidon de manioc est extrait dans une unité de production traditionnelle («La Agustina») à Santander de Quilichao (département du Cauca, Colombie). Pour le suivi des cinétiques de fermentation et de séchage solaire, la variété de manioc « Amarga » (amidon A) a été utilisée. D'autres cultivars de manioc (« CMC 40 » noté amidon B et « Algodona » noté C) poussant dans cette zone ont été utilisés pour confirmer les cinétiques de séchage solaire. Les noms mentionnés correspondent aux dénominations traditionnelles de ces clones par les agriculteurs de la zone et ne correspondent pas à la codification internationale des clones de manioc.

L'amidon extrait est mis en fermentation dans des bassins carrelés (0,95 m × 0,82 m × 0,79 m) de 0,5 m<sup>3</sup> de capacité. La température moyenne de la zone est de 20 °C avec une faible amplitude entre le jour et la nuit (de 18 à 22 °C).

### 2. Echantillonnage

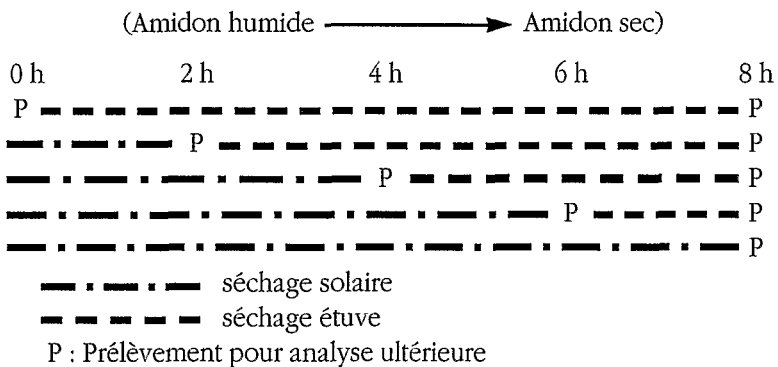
Un échantillon de lait d'amidon (amidon non fermenté) a été prélevé juste après extraction. Tout au long de la fermentation, des prélèvements ont été réalisés (à 3, 7, 9, 13, 19, 26 et 33 jours de fermentation) dans le bassin de fermentation, à l'aide d'une tarière de géologue. Avant chaque prise d'échantillon, un quadrillage est tracé à la surface du bassin de fermentation et le prélèvement est réalisé au centre de chaque carré. Tous les prélèvements effectués au même temps de fermentation sont mélangés pour obtenir un échantillon homogène, représentatif de l'ensemble du bassin de fermentation à cet instant. Les échantillons sont ensuite ramenés au laboratoire du CIAT dans une glacière et congelés à -20 °C puis soumis aux essais de séchage et aux analyses.

### 3. Conditions de séchage

Tous les échantillons étudiés ont été séchés au soleil sur des bâches en plastique noir pendant 8 heures, de façon similaire aux conditions traditionnelles de séchage de l'amidon aigre en Colombie (1 à 1,5 cm d'épaisseur, agitation toutes les 2 heures). Les échantillons de la variété « Amarga » (amidon A) prélevés au cours de la cinétique de fermentation ont été tous séchés au soleil le même jour (même exposition aux radiations solaires).

#### 4. Influence du temps d'exposition au soleil

L'amidon prélevé en fin de fermentation (33 jours) lors du suivi de fermentation précédemment décrit, est séché au soleil avec différents temps d'exposition (2, 4, 6, 8 heures) puis séché en étuve à 40 °C afin d'obtenir une teneur en eau finale autour de 11 %. Un témoin est uniquement séché en étuve à 40 °C. Le choix de cette température (40 °C) tient au fait qu'elle n'entraîne pas la gélatinisation de l'amidon tout en étant représentative de la température diurne moyenne mesurée pour un bon ensoleillement. Les prélèvements sont effectués selon le plan d'échantillonnage de la figure 1 :



**Figure 1**

*Analyses rhéologiques et physico-chimiques (toutes ces analyses ont été doublées sur les amidons A, B et C)*

#### 5. Viscoamylogrammes

Les propriétés rhéologiques sont déterminées à l'aide d'un viscoamylographe Brabender. L'amidon aigre est préalablement broyé et tamisé (65 mesh). 500 ml d'une suspension aqueuse d'amidon aigre (5 % base sèche) sont utilisés pour établir le viscoamylogramme. La vitesse de rotation du module d'analyse est de 75 rpm ; la température du mélange réactionnel augmente progressivement de 25 °C à 90 °C, à raison de 1,5 °C par minute. La température de 90 °C est maintenue stable pendant 20 minutes, puis un refroidissement progressif est programmé (1,5 °C par minute) jusqu'à une température de 50 °C maintenue constante pendant 10 minutes. Les viscosités sont exprimées en unités Brabender.

## 6. Mesure du pH

Une suspension aqueuse à 10 % (m/v) d'amidon aigre est agitée à température ambiante ( $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ) pendant 30 minutes puis centrifugée à 15 000 g pendant 15 min. Le pH est mesuré sur le surnageant.

## 7. Dosage de l'acidité totale

L'acidité totale est dosée sur 50 ml du surnageant précédemment décrit par titration avec une solution de NaOH 0,1N, en présence de la phénolphtaléine alcoolique à 1 %. Les résultats sont exprimés en moles d'acide par gramme de matière sèche d'amidon aigre.

## 8. Dosage de l'acide lactique

20 g d'amidon de manioc sont ajoutés à 10 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,006 M et agités pendant 1 mn. Cette suspension est homogénéisée pendant 1 min. dans un Ultraturrax à 24 000 rpm, agitée au vortex pendant 1 mn puis centrifugée à 5 000 g pendant 25 min. Le surnageant est filtré à 0,45 mm puis analysé par HPLC. 20 ml de filtrat sont injectés dans une colonne Aminex HPX87H (Biorad) thermostatée à 65 °C. Le principe de séparation de cette colonne est basée sur une combinaison d'échanges ioniques, de tamisage moléculaire et d'échanges hydrophobes. L'éluant utilisé est une solution de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,006 M avec un flux de 0,8 ml/mn<sup>-1</sup> (Giraud et Raimbault, 1991). Le pic d'acide lactique est détecté en UV à 210 nm. Les résultats obtenus sont exprimés en g d'acide lactique total (lactique + lactate) pour 100 g de matière sèche d'amidon aigre initial.

## 9. Mesure du pouvoir de panification

Les protocoles de panification de l'amidon aigre et d'évaluation de son pouvoir d'expansion ont été développés par Escobar et Molinari (1990) et modifiés par Laurent (1992) et Larsonneur (1993). L'amidon aigre est broyé au mortier et tamisé pendant 10 mn sur un tamis de 65 mesh. 85 g (en base sèche) de cette fraction sont mélangés à 100 g de fromage colombien (Campesino, Ets. Alpina) dans un pétrin Hobart à faible vitesse (165 rpm) pendant 1 minute. Une quantité d'eau est ajoutée de façon à obtenir un volume total de 65 ml d'eau dans la masse. Celle-ci est alors pétrie à vitesse moyenne (300 rpm) pendant 2 min. 6 pâtons de 30 g chacun sont préparés en forme d'anneau de diamètre intérieur égal à 2 cm. Ces pâtons sont cuits pendant 17 min à 280 °C puis refroidis à température ambiante pendant 2 h. Chaque pain est alors pesé et son volume déterminé à l'aide du volumètre de Vanhamel *et al.* (1991). Le volume spécifique du pain est ensuite exprimé en cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup>.

## Résultats et discussion

Tous les résultats obtenus pour l'amidon A sont présentés ici ; cet échantillon ayant été suivi depuis le début de la fermentation. Les amidons B et C (prélevés en fin de fermentation) ont uniquement servi à confirmer l'influence du séchage solaire sur l'acquisition du pouvoir de panification, mise en évidence sur l'amidon A.

Des essais antérieurs ont montré que la congélation n'avait aucun effet sur les propriétés viscoélastiques de l'amidon ni sur le pouvoir de panification de l'amidon aigre (Larsonneur, 1993). Tous les échantillons prélevés en cours de fermentation ont donc été congelés avant d'être séchés au soleil le même jour (avec la même exposition aux radiations solaires), afin de mettre en évidence les modifications physicochimiques de l'amidon spécifiquement liées à la fermentation.

### 1. Effet de la fermentation

La figure 2 montre qu'au cours de la fermentation, le pH de l'amidon diminue de 6,8 jusqu'à une valeur finale voisine de 3,7. L'acidité totale augmente (de 0,8 à  $7 \times 10^{-5}$  mole d'équivalent  $H^+$  par gramme d'amidon aigre) en corrélation directe avec la baisse du pH au cours de la fermentation.

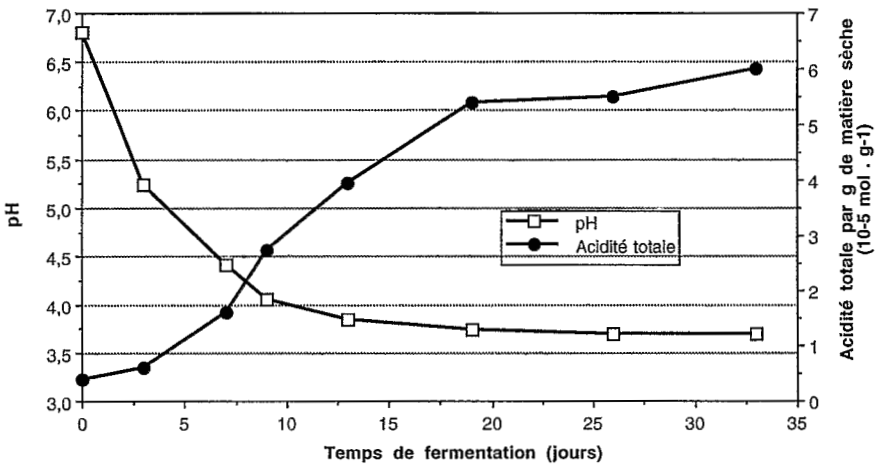


Figure 2

Evolution du pH et de l'acidité totale de l'amidon A au cours de la fermentation.

Le pH final de la fermentation étant voisin du pKa de l'acide lactique (3,45), ceci confirme que l'acidité du milieu est principalement liée à la production d'acide lactique due au métabolisme de la flore lactique. Au cours de la fermentation, le rapport molaire (lactate/acide lactique) tend vers 1. Au voisinage du pKa (en fin de fermentation), l'acide lactique se comporte comme un tampon avec la coexistence des formes (lactique) et (lactate) en proportions égales. La vitesse de production de l'ensemble (acide lactique + lactate) est constante pendant les 20 premiers jours de fermentation. Elle est en moyenne de  $3 \times 10^{-6}$  mole d'acide lactique par gramme de matière sèche et par jour de fermentation (figure 3).

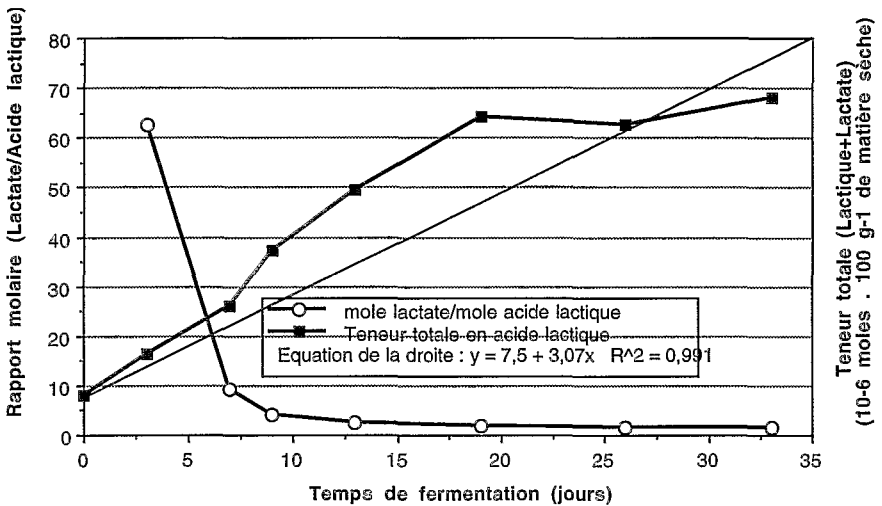


Figure 3

Evolution de la teneur en acide lactique de l'amidon A au cours de la fermentation.

Brabet *et al.* (1994) montrent que la flore lactique se développe pendant les 5 premiers jours puis reste constante jusqu'à la fin de la fermentation. Cet arrêt de la croissance pourrait être dû à des carences du milieu en lipides, acides aminés ou vitamines ; les bactéries lactiques étant connues pour leurs exigences en éléments essentiels. Malgré cet arrêt de la croissance, la flore lactique continue de cataboliser les hydrates de carbone et produit de l'acide lactique à vitesse constante.

La figure 4 présente les viscoamylogrammes de 5 échantillons représentatifs des 8 prélèvements réalisés au cours de la fermentation. Ces viscoamylogrammes mettent en évidence une modification importante des propriétés rhéologiques de l'amidon aigre au cours de la fermentation. Les températures d'empesage (62,5 °C) et de viscosité maximale (70 °C) sont similaires pour tous les échantillons. La fragilité des granules croît avec le temps de fermentation, cette modification



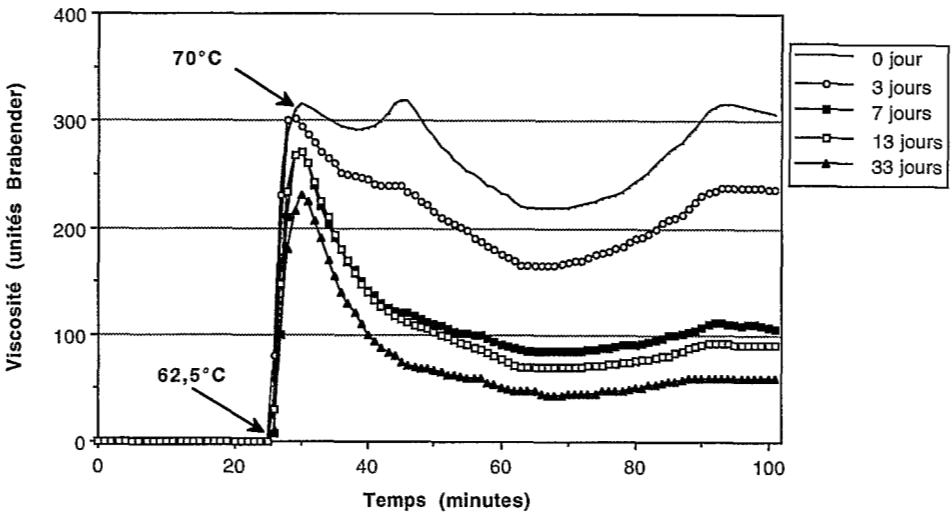


Figure 4

Evolution des propriétés rhéologiques de l'amidon A au cours de la fermentation (prélèvements séchés 8 h au soleil avant analyse).

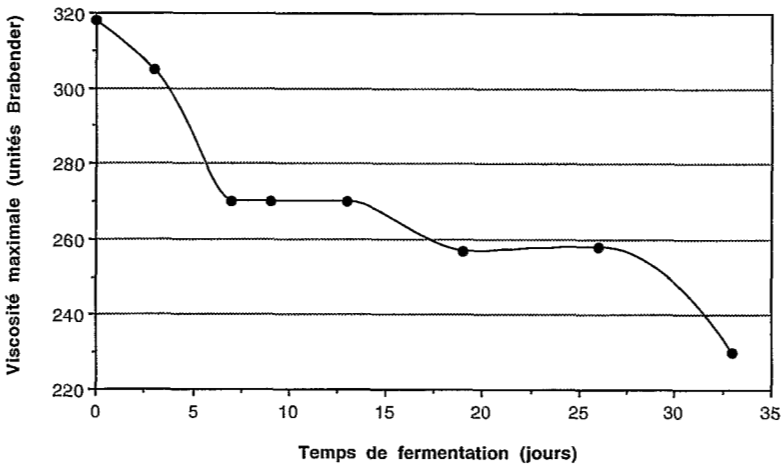


Figure 5

Evolution de la viscosité maximale de l'amidon A au cours de la fermentation.

survenant principalement dans les 7 premiers jours. Ces résultats rejoignent ceux de Nakamura et Park (1975). Le pic de viscosité maximale décroît avec le temps de fermentation (figure 5). Cette diminution pourrait s'expliquer par la réduction de la taille des molécules d'amidon au cours de la fermentation suite à leur dégradation par des amylases bactériennes (Camargo *et al.*, 1988).

La figure 6 montre l'acquisition du pouvoir de panification au cours de la fermentation. Le volume spécifique des pains passe de 3,5 à 6,5 cm<sup>3</sup>/g<sup>-1</sup>. Pour l'amidon utilisé dans ce suivi de fermentation, le pouvoir de panification maximal est atteint au bout de 20 jours de fermentation. L'évolution du pouvoir de panification est la plus remarquable au cours des 10 premiers jours de fermentation, ce qui est directement corrélé avec les modifications rhéologiques observées (chute de la viscosité maximale, fragilisation des granules et faible tendance à la gélification).

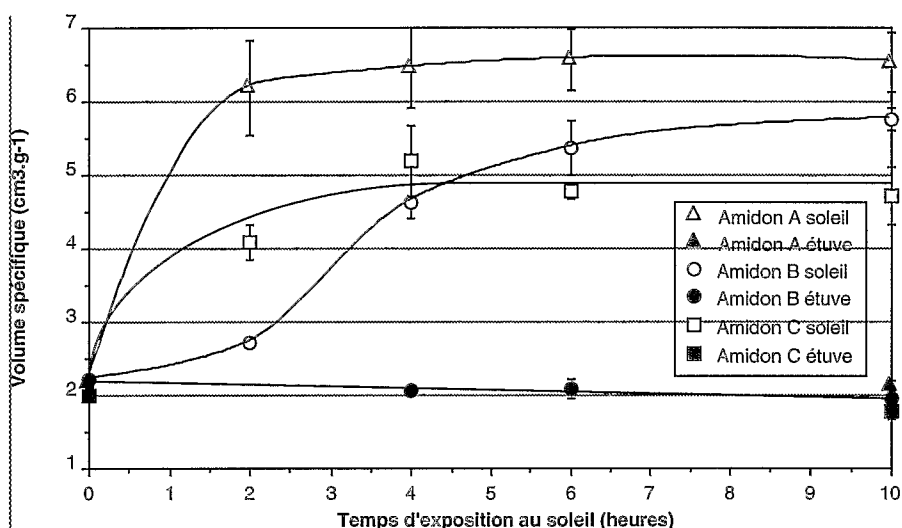


Figure 6

Evolution du pouvoir de panification de l'amidon A au cours de la fermentation.

## 2. Effet de l'exposition au soleil

La figure 7 montre que l'exposition directe au soleil (8 h dans les conditions équatoriales) d'un amidon fermenté pendant 33 jours induit une très forte modification de ses propriétés rhéologiques. En effet, le viscoamylogramme de cet amidon est très différent de ceux du même amidon fermenté et analysé avant séchage (amidon humide) et après un séchage modéré à l'étuve (40 °C). Par ailleurs, les viscoamylogrammes de l'amidon fermenté non séché (amidon humide) et séché à l'étuve à 40 °C sont similaires, ce qui montre que le séchage en étuve à 40 °C ne modifie pas les propriétés physicochimiques de l'amidon aigre. Notons qu'avec une exposition au soleil, une forte tendance à la rétrogradation et une forte diminution de la viscosité maximale (de 320 à 220 unités Brabender) apparaissent.

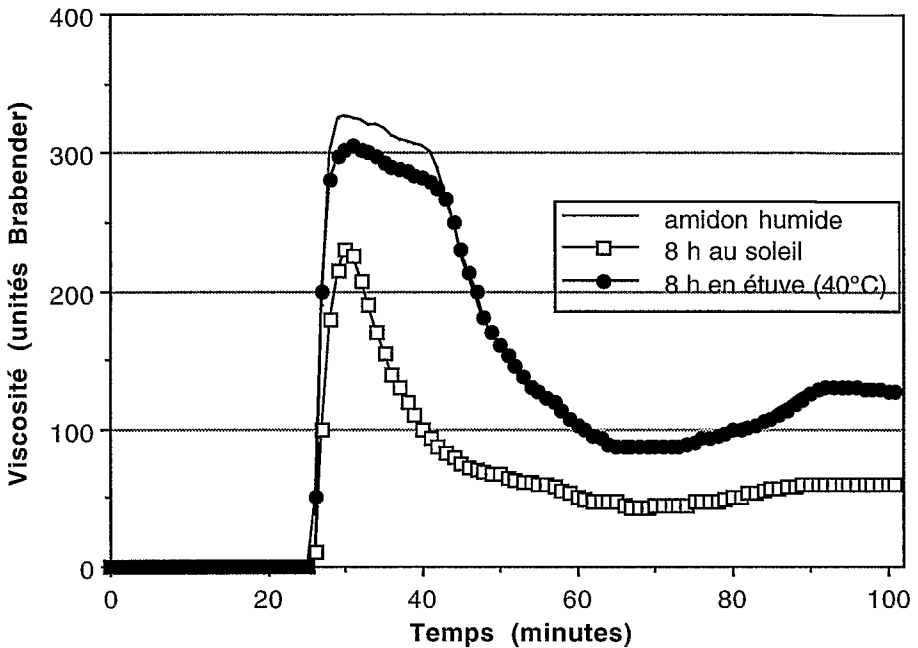


Figure 7

*Influence du type de séchage sur les propriétés rhéologiques de l'amidon A (prélevé à 33 jours de fermentation).*

La cinétique de séchage au soleil réalisée sur l'amidon prélevé après 33 jours de fermentation met en évidence une augmentation rapide de la tendance à la gélification (au bout de 3 heures d'exposition au soleil) (figure 8). Par contre, la diminution de sa viscosité maximale est linéaire ( $R^2 = 0,93$ ) en fonction du temps d'exposition au soleil (figure 9). La comparaison de ces résultats avec l'évolution du pouvoir de panification au cours de cette cinétique de séchage (figure 10) montre que l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon semble plus directement corrélée avec l'augmentation de sa tendance à la gélification. En effet, le pouvoir de panification maximal a été atteint dès les trois premières heures de séchage (figure 10). D'autre part, ce même amidon séché à l'étuve (40 °C) ne présente aucune augmentation du pouvoir de panification. La figure 11 montre des cinétiques de séchage au soleil réalisées sur d'autres cultivars de manioc (amidons B et C), celles-ci confirment que le pouvoir de panification est acquis lors de l'exposition aux radiations solaires et non après un séchage en étuve.

Le suivi du pH de l'amidon A (prélevé après 33 jours de fermentation) au cours du séchage (figure 12) montre que le pH initial (3,45) de l'amidon humide augmente jusqu'à 3,7 en fin de séchage au soleil et jusqu'à 3,5 en fin de séchage à l'étuve (40 °C). Les amidons B et C montrent une tendance similaire avec une augmentation respective du pH de 3,48 à 3,55 (B) et de 3,45 à 3,55 (C).

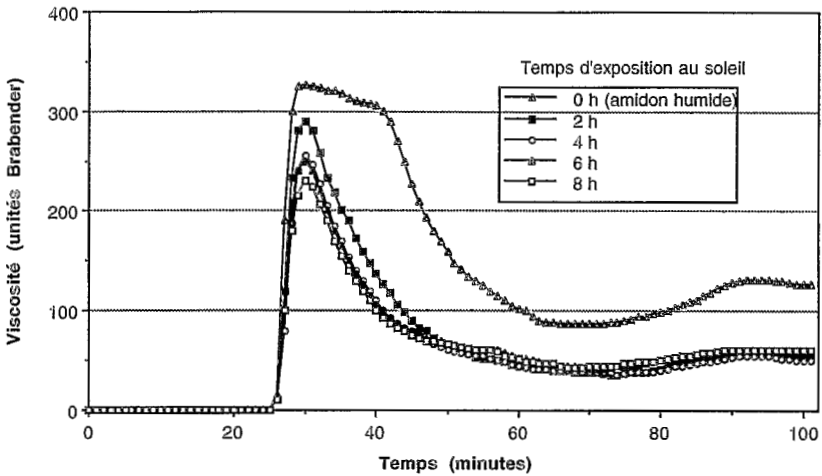


Figure 8

Influence de la durée d'exposition au soleil sur les propriétés rhéologiques de l'amidon A (prélevé à 33 jours de fermentation).

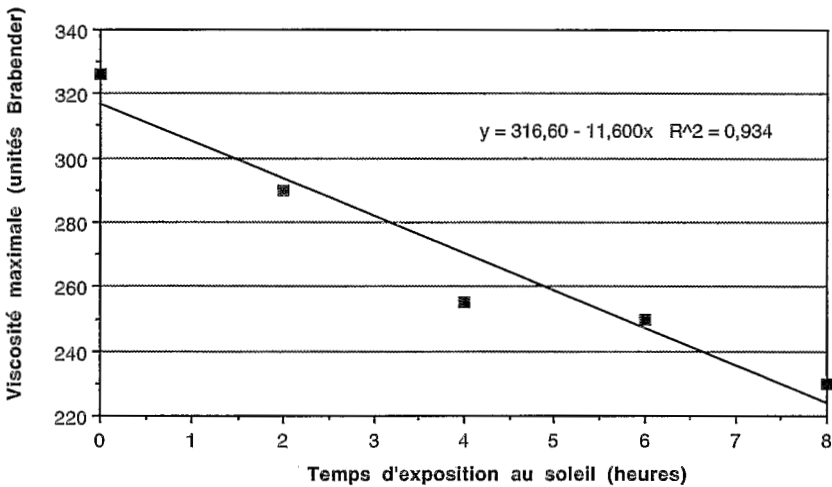


Figure 9

Evolution de la viscosité maximale de l'amidon A (prélevé à 33 jours de fermentation) en fonction de la durée d'exposition au soleil.

Le pH initial de 3,45 (avant séchage) correspondant au pKa de l'acide lactique, le milieu est donc fortement tamponné à ce pH et les formes (lactique) et (lactate) y sont en proportions égales. De ce fait pour l'amidon A, la faible variation du pH (0.25 unité) au cours du séchage au soleil (de 3.45 à 3.7) suggère des variations importantes des proportions (acide lactique) et (lactate), du fait de la relation chimique ( $pH = pKa + \log \text{base/acide}$ ) pour les solutions tampons.

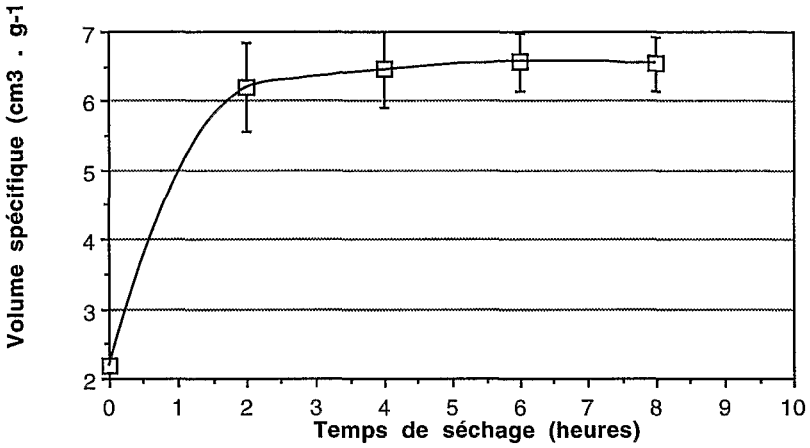


Figure 10  
Evolution du pouvoir de panification de l'amidon A

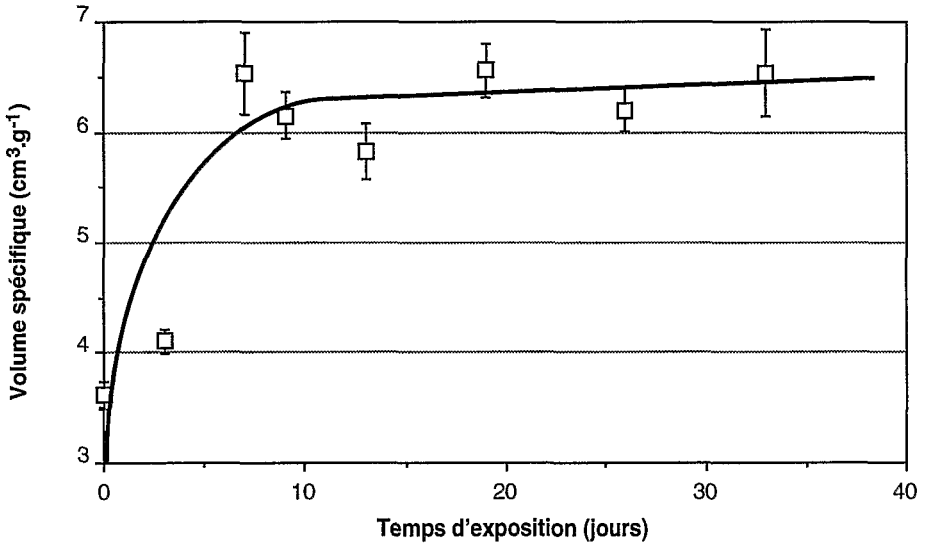


Figure 11  
Evolution du pouvoir de panification des amidons (A, B, C)  
en fonction de la durée d'exposition au soleil.

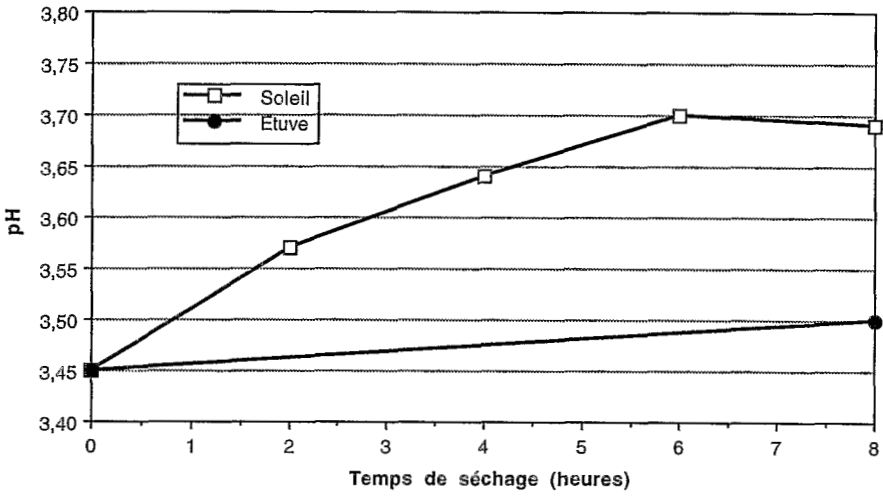


Figure 12  
Evolution du pH de l'amidon A en fonction du temps de séchage (soleil et étuve).

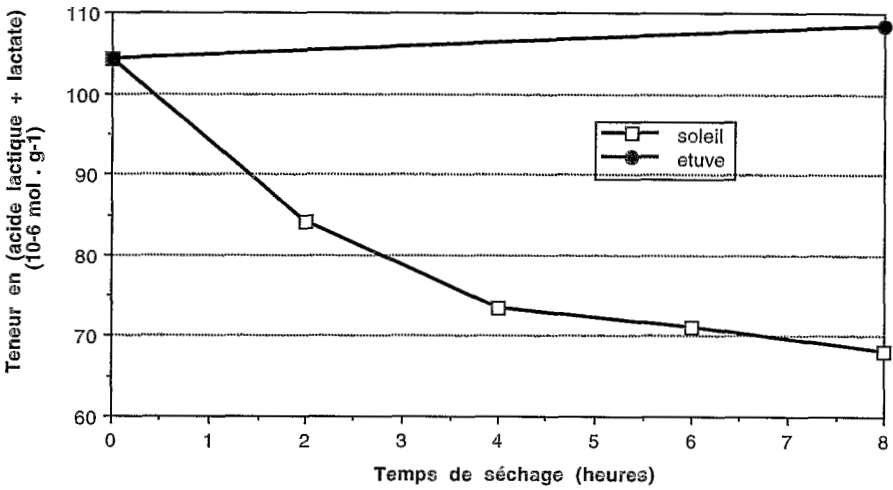


Figure 13  
Evolution de la teneur en acide lactique de l'amidon A en fonction du temps de séchage (soleil et étuve).

Le dosage d'acide lactique dans les échantillons d'amidon A (fermenté 33 jours) séchés au soleil et à l'étuve (figure 13) montre que la teneur initiale en (acide lactique + lactate) est voisine de  $105 \times 10^{-6}$  mole par gramme de matière sèche (cette quantité correspondant à la conversion de 1 % d'amidon initial en acide lactique au cours de la fermentation). Cette teneur diminue jusqu'à  $68 \times 10^{-6}$  mole par gramme de matière sèche (soit une diminution de 35%) au cours du séchage au soleil mais reste inchangée pour un séchage en étuve de 8 h. La température de séchage au soleil étant voisine de celle du séchage en étuve (40 °C), cette disparition d'acide lactique ne peut pas s'expliquer par une volatilisation. Les amidons B et C montrent une même tendance avec une diminution respective de la teneur en (lactique + lactate) de 104 à 94.  $10^{-6}$  mole g<sup>-1</sup> base sèche (B) et de 77 à 67.  $10^{-6}$  mole g<sup>-1</sup> base sèche (C), soit une baisse de 10 % (B) et 13 % (C). La baisse plus importante (35%) de la teneur en acide lactique de l'amidon A semble corrélée avec son acquisition d'un pouvoir de panification supérieur à celui de B et C (respectivement de 6,5 contre 5,8 et 4,7) (figure 10). Notons que les différences observées entre les amidons A, B et C pourraient être accentuées par la diversité des cultivars utilisés ; ceci rejoint les travaux de Chuzel (1992).

D'autre part, l'augmentation du pH du milieu suggère que l'acide lactique est consommé par une réaction chimique lors du séchage. Le milieu étant très fortement tamponné, la disparition de 35 % des moles d'acide lactique présentes dans le milieu n'occasionne donc qu'une variation de 0,25 unité de pH. Notons que la méthode HPLC utilisée ne permet pas de doser les formes combinées de l'acide lactique et ne permet donc pas de mettre en évidence les formes polymérisées ou les liaisons covalentes pouvant survenir au cours du séchage. Celles-ci pourraient être mises en évidence après hydrolyse totale de l'amidon.

En panification classique, le gluten du blé forme un réseau tridimensionnel permettant la rétention des bulles de gaz au cours de la cuisson. Pour les farines non panifiables, des adjuvants de panification (gommes xanthane) sont ajoutés aux farines pour augmenter leur pouvoir de panification (Godon, 1981 ; Eggleston, 1992). Dans l'amidon aigre, la seule macromolécule prédominante étant l'amidon (absence de protéines et de cellulose), la formation d'un réseau tridimensionnel pourrait être due à une réaction photochimique mettant en jeu l'acide lactique et l'amidon fermenté. Ce réseau serait responsable de l'aptitude à la panification de l'amidon aigre de manioc fermenté et séché au soleil.

Cette nécessité de sécher en présence de radiations solaires pour obtenir une bonne expansion corrobore les enquêtes réalisées auprès des producteurs. Il est ainsi impossible de produire de l'amidon aigre panifiable en utilisant les séchoirs classiques, ce qui confirme les témoignages des industriels brésiliens n'ayant pas pu obtenir de l'amidon aigre panifiable après séchage dans les séchoirs traditionnellement utilisés pour la production de l'amidon doux.

## Conclusions et perspectives

Cette étude met en évidence l'importance de la fermentation associée au séchage solaire pour obtenir un amidon aigre présentant une forte expansion et des caractéristiques organoleptiques. Le pH en fin de fermentation est proche de 3,45 suite à une production d'acide lactique correspondant à la conversion de 1 % environ de l'amidon initial. La fermentation confère à l'amidon des propriétés physico-chimiques indispensables à l'acquisition du pouvoir de panification lors de son exposition aux radiations solaires. La combinaison de la fermentation et du séchage solaire modifie les propriétés rhéologiques de l'amidon (tendance à la gélification plus marquée, viscosité maximale plus faible) de façon à augmenter son aptitude à l'expansion. Au cours du séchage solaire, la teneur en acide lactique libre diminue de 35 %, ce qui suggère qu'il pourrait intervenir dans une réaction photochimique avec certaines macromolécules (amidons, polysaccharides...) pour former un réseau tridimensionnel permettant la rétention des bulles de gaz au cours de la cuisson. Cette réaction serait à l'origine de l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre. L'influence variétale sur l'obtention d'un amidon aigre de bonne qualité est également mise en évidence.

Une fermentation en anaérobiose stricte est nécessaire pour favoriser le développement de la flore lactique et optimiser ainsi la production d'acide lactique. En effet, l'inhibition des flores aérobies ou microaérophiles (non productrices d'acide lactique) permettent d'obtenir un amidon de bonne qualité. Pour cela, les tanks de fermentation doivent être profonds et recouverts d'eau ou d'une couche isolante réduisant les échanges d'oxygène avec l'extérieur.

De plus, l'utilisation traditionnelle d'inocula lactiques issus de fermentations précédentes permet un bon déroulement de la fermentation et une production d'acide lactique en quantité maximale.

La caractérisation des radiations solaires intervenant dans l'acquisition du pouvoir de panification devrait conduire à la conception d'un séchoir artificiel, combinant le séchage à l'air et l'irradiation. Ceci permettrait de s'affranchir des aléas climatiques, de diminuer les coûts de main d'œuvre et les superficies de séchage et de réduire les pertes de produit (vent, manutention, contaminations extérieures...). Les industriels brésiliens sont très favorables au développement d'un séchoir artificiel permettant l'obtention d'un amidon aigre industriel de très bonne qualité.

Une bonne pratique de la fermentation et du séchage solaire, combinée à l'utilisation de cultivars de manioc sélectionnés pour la production d'amidon aigre, permet donc d'obtenir un produit de bonne qualité, recherché en boulangerie ou en industrie.



## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Marney Cereda Pascoli (UNESP ; Botucatu ; Brésil) pour ses conseils, son accueil au Brésil et sa grande connaissance de l'amidon aigre.

Les travaux ont pu être réalisés grâce à l'infrastructure mise à disposition et à l'appui du laboratoire « Utilización de la Yuca » du CIAT, Cali, Colombie.

Un remerciement spécial à Sandra Larssonneur (UTC, Compiègne, France) et Freddy Alarcon Morante (CIAT, Cali, Colombie) pour leur participation active aux essais.

## Bibliographie

BRABET (C.), CHUZEL (G.), DUFOUR (D.), RAIMBAULT, M., GUIRAUD (J.), 1994 - « Sour cassava starch production improvement in Colombia ». *In International Meeting on Cassava Flour and Starch, 11-15 January*. CIAT, Cali, Colombia. 10 p.

CAMARGO (C.), COLONNA (P.), BULEON (A.), RICHARD-MOLARD (D.), 1988 - Functional properties of sour cassava (*Manihot utilissima*) starch : polvilho azedo. *J. Sci. Food Agric.* 45 : 273-289.

CARDENAS (O.S.), DE BUCKLE (T.S), 1980 - Sour cassava starch production : a preliminary study. *J. Food Sci.* 45 : 1509-1512.

CEREDA (M.P), 1973 - *Alguns aspectos sobre a fermentação da fécula de mandioca*. Tese doutorado, Faculdade de ciencias médicas e biologicas de Botucatu, Brasil, 89 p.

CEREDA (M.P), 1985 - *Avaliação da qualidade da fécula fermentada comercial de mandioca (polvilho azedo). I. Características viscográficas e absorção de água*. R.B.M., Cruz das Almas (BA), 3 (2): 7-13.

CHUZEL (G.), 1990 - Cassava starch : current and potential use in Latin America. *Cassava Newsletters*, 15 (1) : 9-11.

CHUZEL (G.), 1992 - « Amélioration technique et économique du procédé de fabrication de l'amidon aigre de manioc ». *In DUFOUR (D.), GRIFFON (D.), éd. : Amélioration de la qualité des aliments fermentés à base de manioc*. Rapport final du contrat CEE/STD2 TS2A-0225, CIRAD, Montpellier, France.

CHUZEL (G.), MUCHNICK (J.), 1993 - « La valorisation des ressources techniques locales. L'amidon aigre de manioc en Colombie ». In MUCHNICK (J.), ed. : *Alimentation. Techniques et innovations dans les régions tropicales*. Editions L'Harmattan : 307-337

EGGLESTON (G.), 1992 - Es posible elaborar un pan comercial de yuca sin usar trigo ?. *Yuca boletín informativo*, 16 (1) : 7-8.

ESCOBAR (C. A.), MOLINARI (J. E.), 1990 - *Obtención de parametros para la evaluación de la calidad de un almidón agrio de yuca*. Tesis de grado, plan de estudios de ingeniería química, universidad del Valle, Cali, Colombia, 75 p.

GIRAUD (E.), RAIMBAULT (M.), 1991 - « Utilización de la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) para la caracterización bioquímica de la fermentación del almidón de yuca ». In *Avances sobre almidón de yuca, 17-20 Junio*, CIAT, Cali, Colombia.

GODON (B.), 1981 - Le pain. *Pour la Science*, 50 : 74-87.

JORY (M.), 1989 - *Contribution à l'étude de deux processus de transformation du manioc comportant une phase de fermentation : le gari au Togo, l'amidon aigre en Colombie*. Mémoire de maîtrise en technologie alimentaire régions chaudes, ENSIA/CIRAD, Montpellier, France, 45 p.

LARSONNEUR (S.), 1993 - *Influence du séchage solaire sur la qualité de l'amidon aigre de manioc*. Mémoire Ingénieur UTC, Cali, Colombie, 114 p.

LAURENT (L.), 1992 - *Qualité de l'amidon aigre de manioc : validation d'une méthode d'évaluation du pouvoir de panification et mise en place d'une épreuve descriptive d'analyse sensorielle*. Mémoire Ingénieur UTC, Cali, Colombie, 88 p.

PINTO (R.), 1978 - Extracción de almidón de yuca en rallanderías. *Ica-informa* 12 (9) : 3-6.

NAKAMURA (I.M.), PARK (Y.K.), 1975 - Some physico-chemical properties of fermented cassava starch (« polvilho azedo »). *Die Stärke*, 27 (9) : 295-297.

VANHAMEL (S.), VAN DEN ENDE (L.), DARIUS (P.L.), DELCOUR (J.A.), 1991 - A volumeter for breads prepared from 10 grams of flour. *Cereal Chem.*, 68 (2) : 170-172.