

## **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

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 :

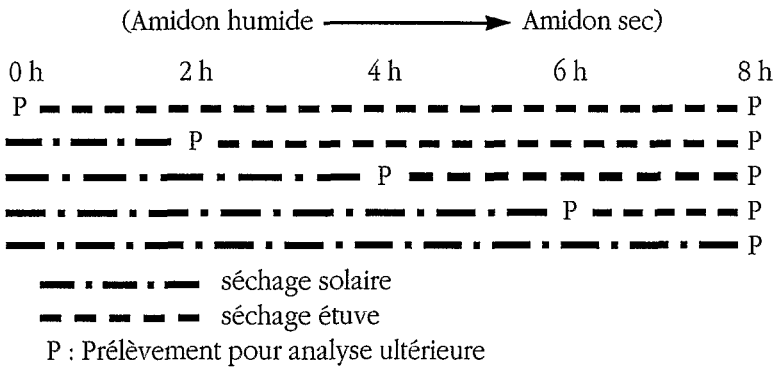


Figure 1

Analyse rhéologique et physique chimique (toutes ces analyses ont été

## 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 phénolphthaléine 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 Rimbault, 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 suisse (Comptine, Eto, Aloïse)

## 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.

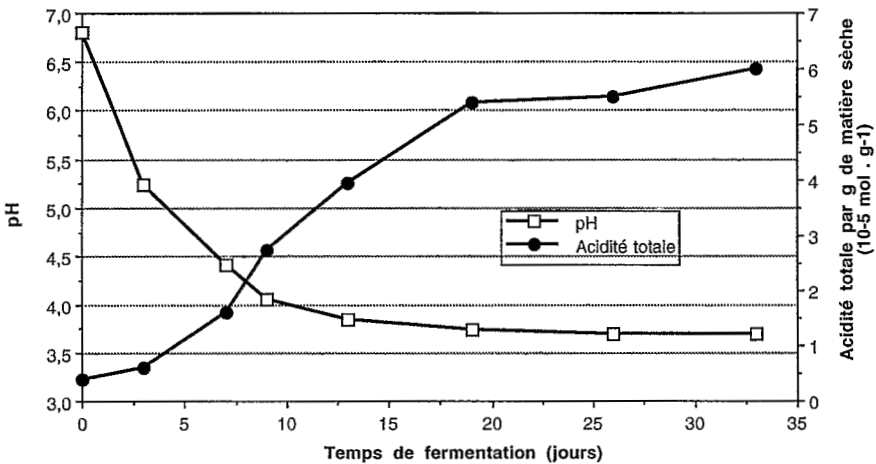
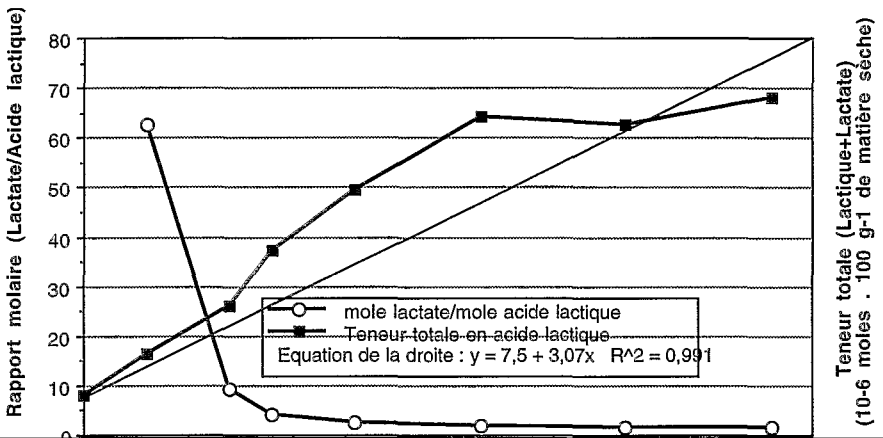


Figure 2

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).





Séchage solaire et panification de l'amidon aigre



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  $\text{cm}^3/\text{g}$ . 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).

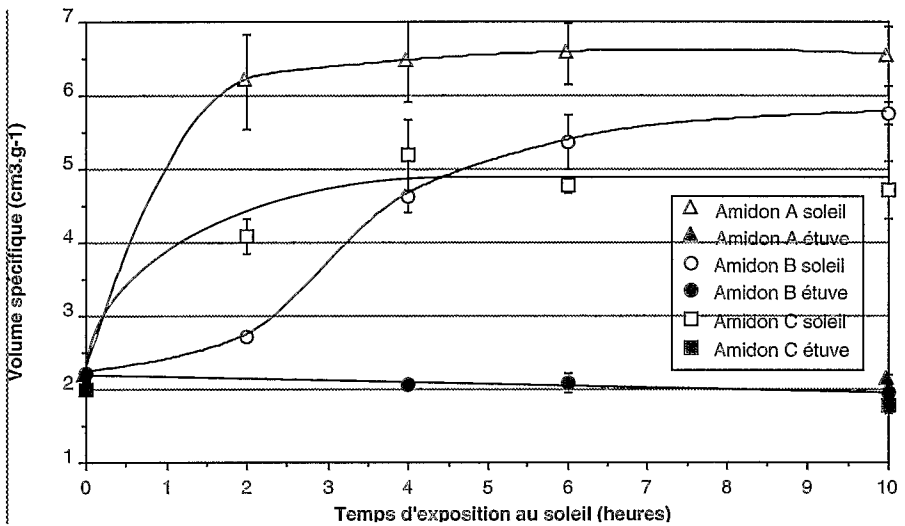


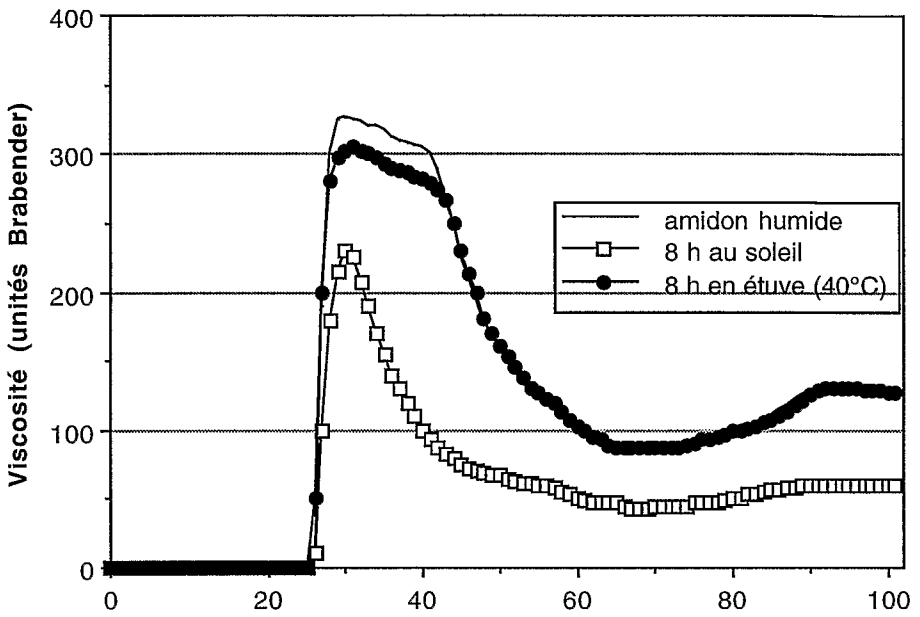
Figure 6

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 équatoriennes) d'un amidon fermenté pendant 33 jours induit une très forte

Séchage solaire et panification de l'amidon aigre



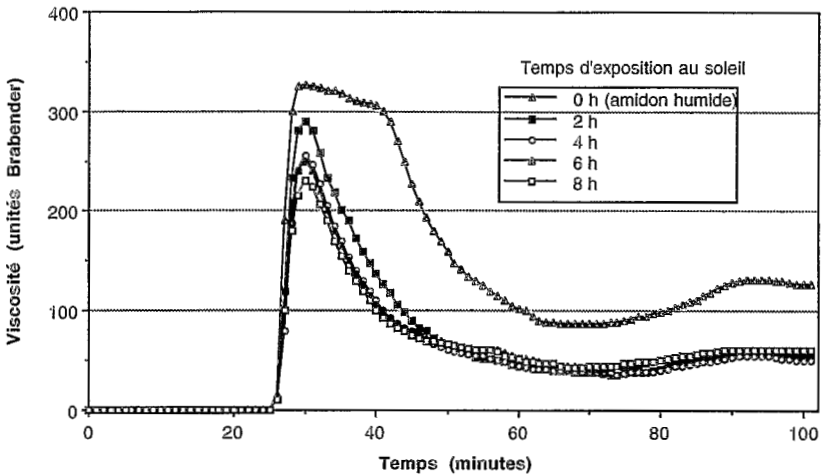


Figure 8

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

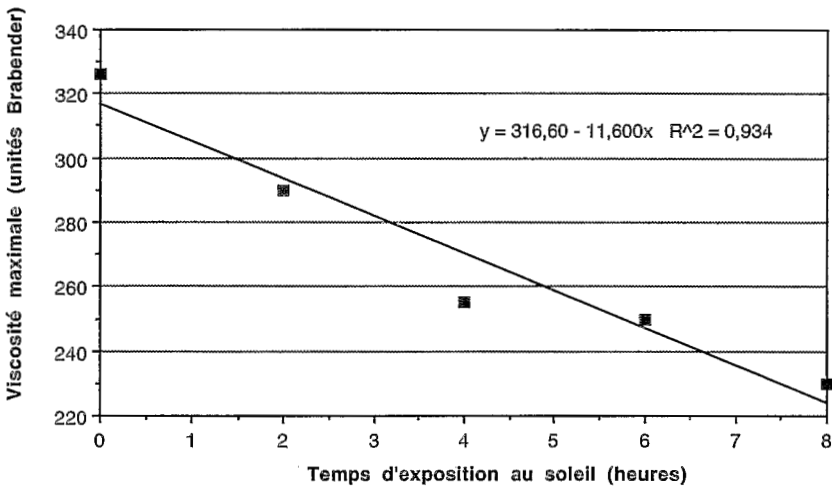


Figure 9

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.

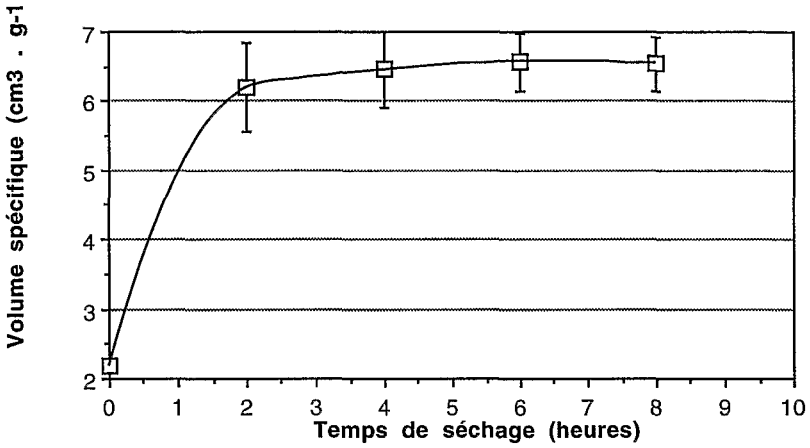


Figure 10  
Evolution du pouvoir de panification de l'amidon A

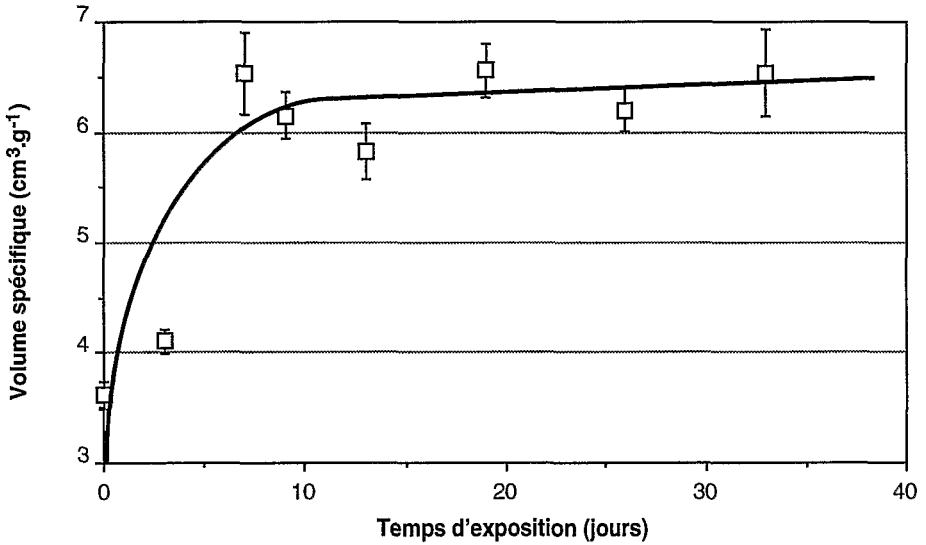


Figure 11  
Evolution du pouvoir de panification des amidons (A, B, C)  
en fonction de la durée d'exposition au soleil.

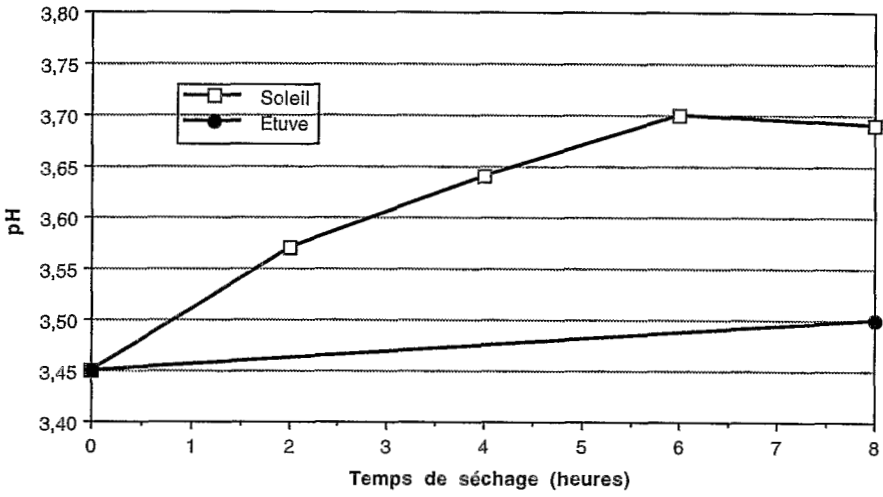


Figure 12  
Evolution du pH de l'amidon A en fonction du temps de séchage (soleil et étuve).

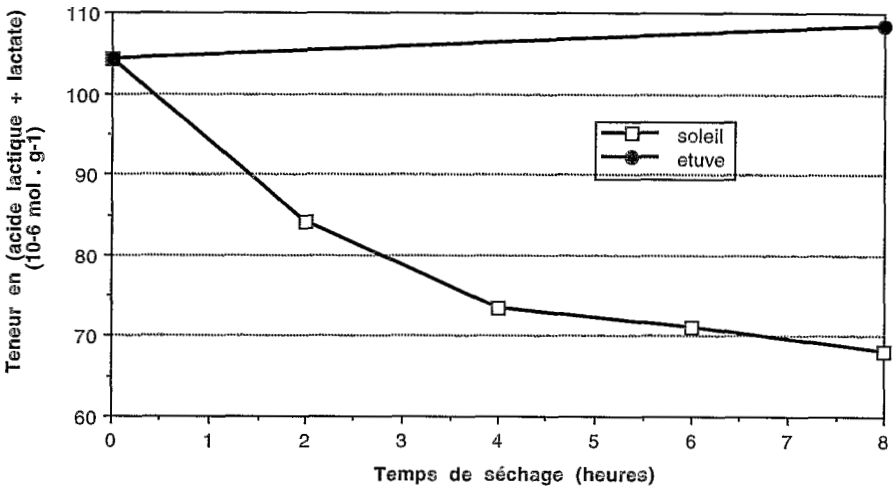


Figure 13  
Evolution de la teneur en acide lactique de l'amidon A en fonction du temps de séchage (soleil et étuve).

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

## 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.

*Effet inhibiteur des flores aérobies ou microaérophiles (non productrices*



## 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.

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