

" La Recherche française
agroalimentaire tropicale"
(3-5 / 12 / 1991, Nantes)

**ETUDE ET AMELIORATION DES MODALITES
D'UTILISATION DU MANIOC AU CONGO**

par

TRECHE S. *, BRAUMAN A. **, FAVIER J.C. *

* *Nutritionnistes, UR4F, Département Santé, ORSTOM*

** *Biotechnologue, UR3B, Département Milieux et Activités Agricoles, ORSTOM.*

INTRODUCTION

Compte tenu de la vocation de l'ORSTOM à mener des recherches pour le Développement en Coopération et du nombre limité de chercheurs travaillant dans le secteur agroalimentaire dont il dispose, la participation de notre Institut à un programme de recherches dans ce secteur nécessite:

- que ce programme réponde à un besoin clairement identifié pour le Développement des pays concernés;
- qu'il associe les chercheurs des pays concernés travaillant dans ce secteur;
- que soient identifiées et obtenues les collaborations d'autres institutions françaises ou étrangères afin de réunir l'ensemble des compétences nécessaires à sa réalisation.

Ces conditions ayant été réunies en 1988, un programme de recherches consacré à l'étude et à l'amélioration des modalités d'utilisation du manioc au Congo a pu être initié. Il concerne des nutritionnistes du Département Santé (UR4F) et des biotechnologues du Département Milieux et Activités Agricoles (UR3B) travaillant, d'une part, au Centre ORSTOM de Brazzaville et, d'autre part, au Centre ORSTOM de Montpellier.

1. OBJET DES RECHERCHES EFFECTUEES

L'objectif principal est l'amélioration des procédés traditionnels et la mise au point de procédés technologiques nouveaux pour la fabrication d'aliments dérivés du manioc qui constituaient encore pendant la période 79-81 près de 50% des apports énergétiques de la population¹. Les solutions recherchées doivent nécessairement être adaptées aux contextes social, culturel et économique, permettre une mécanisation et/ou une facilité de réalisation plus grande et déboucher sur des produits de qualités organoleptiques et nutritionnelles constantes conformes aux habitudes alimentaires des populations.

Trois volets correspondant à des objectifs plus spécifiques peuvent être distingués: définition des contextes technologique et socio-culturel dans lesquels les améliorations devront être proposées; identification ou mise au point des améliorations; définition des conditions de leur transfert.

La dernière phase débordant le domaine de compétences des équipes ORSTOM mobilisées sur le programme, sa réalisation est principalement assurée par AGRICONGO chargé, en outre, de la conception et de la fabrication des machines.

En fonction des objectifs spécifiques et des méthodologies utilisées, 5 opérations dans lesquelles interviennent les équipes ORSTOM et leurs partenaires congolais de recherche ont pu être identifiées à l'intérieur de ce programme:

14 SEP. 1994

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 40155 r.c. 1

Cote : B

- 1) Inventaire et description des modalités traditionnelles de transformation du manioc au Congo.
- 2) Mesure de la qualité nutritionnelle et organoleptique des produits finis.
- 3) Etude des mécanismes biologiques, physiques et chimiques intervenant au cours des transformations.
- 4) Mise au point en laboratoire de procédés nouveaux.
- 5) Optimisation des procédés de fabrication en stations ou ateliers pilotes.

2. ORIGINE DE LA DEMARCHE DE RECHERCHES.

L'origine de ce programme est une sollicitation des chercheurs de l'ORSTOM par AGRICONGO. Cet Institut de Développement travaille depuis 1986 à la mise au point de modèles de systèmes agraires de polyculture intégrant la transformation des produits vivriers en vue d'approvisionner les marchés urbains du Congo tout en assurant une bonne rémunération aux agriculteurs. Compte tenu de l'importance du manioc dans le modèle de consommation alimentaire congolais² et des contraintes liées aux exigences technologiques de la transformation des racines de manioc, l'amélioration des procédés de transformation du manioc est rapidement apparue aux responsables d'AGRICONGO comme une nécessité. Pour y répondre, AGRICONGO devait s'assurer la collaboration de chercheurs capables de caractériser les mécanismes mis en jeu au cours des procédés et de les optimiser sur la base de leur influence sur la qualité des produits finis.

A l'occasion d'une première mission effectuée au Congo en 1988 par un chercheur ORSTOM pour juger de l'opportunité et de la faisabilité du programme, des partenaires locaux intéressés depuis longtemps aux problèmes posés par la transformation et la consommation du manioc ont été identifiés et la nécessité de définir au préalable les modalités d'utilisation traditionnelle du manioc s'est imposée.

Le programme élaboré à partir de 1988 a bénéficié ou bénéficie encore de plusieurs financements extérieurs: contrat CEE N°TS2A-0226F dans le cadre du programme STD2 de la DGXII; aide N° 88.L.0215 du Ministère français de la Recherche et de la Technologie; procédure TPA/GRET du ministère français de la coopération.

3. PARTENARIAT MIS EN PLACE

Un partenariat permettant de compléter les compétences des équipes ORSTOM et de proposer un programme pour le Développement en Coopération a pu être mis en place. La double implantation des nutritionnistes et des biotechnologues ORSTOM dans les centres de Brazzaville et de Montpellier permet de faire le lien entre les participants installés en France et ceux établis au Congo. Ce partenariat est composé de:

Centre ORSTOM de Brazzaville:

- Laboratoire d'Etudes sur la Nutrition et l'Alimentation (LENA): 1 chercheur, 1VSN et 1 technicien ORSTOM;
- Laboratoire de Biotechnologies (LB): 1 chercheur et 1 VSN de l'ORSTOM; 2 chercheurs et 1 technicien de la DGRST congolaise.

Faculté des Sciences de Brazzaville:

- Département de Biologie et de Physiologie animales (BPA): 1 enseignant-chercheur et 1 technicien;
- Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire (BCM): 2 enseignants chercheurs; 2 chercheurs de la DGRST congolaise.

AGRICONGO (Institut de recherches pour l'appui au développement agricole en zones tropicales - association loi 1901).

- Département des transformations agroalimentaires:
 - . Cellule recherche/produit: 2 ingénieurs et 1 technicien congolais;
 - . Cellule recherche/machine: 1 ingénieur congolais.
- Département des Etudes économiques: 1 agro-économiste français.

Centre ORSTOM de Montpellier:

- Laboratoire de Nutrition Tropicale (LNT): 1 ingénieur et 1 technicien ORSTOM;
- Laboratoire de Biotechnologie (LPMC): 1 chercheur et 1 ingénieur ORSTOM.

Université des Sciences et Techniques du Languedoc (USTL):

- Laboratoire de Nutrition: 1 enseignant-chercheur.

CIRAD/CEEMAT:

- Laboratoire "Systèmes Techniques et Alimentation": 1 chercheur.

La plupart des laboratoires accueillent des étudiants en thèse ou en stage de fin d'Etudes (Institut de Développement Rural de l'Université Marien Ngouabi; DESS "Alimentation et Nutrition pour les pays en Développement", DEA et thèse de l'USTL; ENS.BANA...). De plus, une équipe de deux chercheurs camerounais associés aux équipes ORSTOM collabore à ce programme dans le cadre du Centre de Nutrition du Ministère camerounais de l'Enseignement supérieur, de l'informatique et de la recherche scientifique (MESIRES).

4. RESULTATS OBTENUS ET DIFFUSION

4.1. OPERATION N°1: Description des modalités traditionnelles de transformation et de consommation du manioc.

4.1.1. *Dans les zones rurales du Congo.*

4.1.1.1. Modalités de consommation.

Une enquête par questionnaire a été menée auprès d'un échantillon de 1200 ménages représentatif des ménages habitant dans les villages et les centres secondaires du pays.

Elle a permis d'établir que la chikwangue est de loin le produit dérivé des racines de manioc le plus largement consommé, suivi du fofou et des racines simplement cuites à l'eau après rouissage^{2,3,4,5,6}. Les fréquences de consommation varient de manière importante en fonction du milieu écologique⁷ (figure 1), mais sont sensiblement identiques dans les villages et dans les centres secondaires⁸. Les données relevées concernant les préférences alimentaires et les intentions de consommation montrent, d'une part, que le manioc est l'aliment de base le plus apprécié pour près de 80% des ruraux et, d'autre part, que la chikwangue est de loin la forme de consommation préférée.

4.1.1.2. Modalités de transformation.

L'enquête a été réalisée auprès de trois échantillons représentatifs de 300 ménagères préparant régulièrement de la chikwangue, du fofou et des racines cuites à partir de racines brutes de manioc et auprès des rares femmes rencontrées pratiquant d'autres transformations.

Dans la quasi totalité des cas, les transformations comportent une étape de rouissage consistant en une immersion des racines dans l'eau^{9,12}. Le plus souvent, il est réalisé en eau courante après épluchage des racines et dure de 4 à 6 jours, mais les modalités varient de façon importante en fonction de contraintes d'ordre climatique ou géomorphologique et de facteurs socio-culturels¹¹.

Concernant les étapes ultérieures de la transformation des racines en chikwangue, farines à fofou et racines cuites, des schémas de fabrication ont été établis^{3,10}, les fréquences de réalisation des différentes variantes rencontrées ont été évaluées (figures 2 et 3) et des facteurs déterminants du choix des modalités utilisées ont été mis en évidence¹¹.

4.1.1.3. Utilisation du manioc dans l'alimentation du jeune enfant.

Une enquête par questionnaire auprès d'un échantillon représentatif de 900 mères s'occupant habituellement de l'alimentation d'un enfant de moins de deux ans a permis d'établir la fréquence d'utilisation des bouillies à base de manioc (21,8%) et de mettre en évidence la précocité de leur introduction, leur faible fréquence journalière de distribution et la précocité de l'introduction du plat familial¹³.

Dès le passage à l'alimentation solide, le manioc, consommé principalement sous forme de chikwangue, constitue la source énergétique principale dans 70% des cas au repas du matin et dans 90% des cas aux repas pris dans la journée.

Une seconde enquête effectuée à Brazzaville en 1990 a mis en évidence une utilisation négligeable, d'une part, des bouillies à base de manioc en regard de celles à base de maïs fermenté et, d'autre part, de la chikwangue par rapport au pain au petit déjeuner du matin. Par ailleurs, on constate, à l'inverse de ce qui est observé en zones rurales, une utilisation beaucoup plus importante du fofou que de la chikwangue aux repas du midi et du soir^{13,21,22}.

4.1.2. Etude du fonctionnement des ateliers urbains de transformation.

Une enquête réalisée à Brazzaville auprès d'un échantillon représentatif de plus de 20000 ménages a permis d'établir que contrairement à ce qui se passe en zones rurales où la chikwangue, le fougou et les racines cuites sont préparées régulièrement à partir de racines de manioc dans la plupart des ménages (respectivement 85%, 37% et 60% en avaient préparés au cours des deux semaines précédant le passage des enquêteurs), seulement 0,68% et 1,93% des ménages urbains pratiquent la transformation en farine à fougou et en chikwangue⁸.

Dans ces ménages, la préparation de la chikwangue est réalisée dans 98% des cas à partir de pâte de manioc rouie acheminée sur Brazzaville principalement par voie fluviale ou par voie ferroviaire³; les chikwangues produites sont destinées dans presque tous les cas à la fois à la consommation familiale et à la vente. Leur volume de production autorise à parler d'ateliers urbains¹⁴.

L'établissement de compte d'exploitation auprès de 60 de ces ateliers est en cours.

4.1.3. Caractérisation des préférences organoleptiques des consommateurs urbains de chikwangue.

Une enquête réalisée auprès d'un échantillon représentatif de 900 brazzavillois adulte a permis d'établir les fréquences de consommation des différents types de chikwangue consommés à Brazzaville (54% des personnes enquêtées, soit environ 10% de moins qu'en zones rurales, avaient consommé au moins un type de chikwangue la veille de l'enquête) et d'identifier et de hiérarchiser les caractéristiques recherchées au moment de l'achat et de la consommation des chikwangues^{8,15}. Les informations recueillies sur les préférences alimentaires montrent que si la chikwangue reste l'aliment de base préféré de plus de 75% des brazzavillois, ils sont plus nombreux que les ruraux à préférer, d'une part, au manioc certains autres aliments de base locaux comme l'igname et des aliments importés comme le pain ou le riz (figure 4) et, d'autre part, le fougou à la chikwangue (près de 35% contre 22% en zones rurales).

Par ailleurs, les réponses obtenues concernant la perception par les consommateurs de la "chikwangue Agricongo", produite par une ligne de fabrication pilote semi-mécanisée et vendue sous emballage plastique à un prix comparable aux chikwangues traditionnelles, a permis de mesurer les réactions des consommateurs à l'introduction d'innovations touchant leur aliment de base. Au moment de l'enquête, 7% des personnes enquêtées ont déclaré avoir déjà goûté cette nouvelle chikwangue qui, depuis son apparition en 1988, n'a bénéficié que d'une diffusion restreinte; 73% de ceux qui ne l'avaient pas encore goûté ont accepté de le faire; 25% de ces derniers ont déclaré préférer cette nouvelle chikwangue contre 28% qui ont préféré les chikwangues traditionnelles (46% n'ont pas exprimé de préférence); enfin, respectivement 91% et 79% des personnes interrogées ont pensé que cette nouvelle chikwangue était plus hygiénique et devait se conserver mieux que les chikwangues traditionnelles¹⁵. Il apparaît donc que les consommateurs brazzavillois sont relativement peu nombreux à opposer une réticence à l'introduction d'innovations.

4.1.4. Comparaison des prix des aliments de base à Brazzaville.

La comparaison des prix de vente (relevés au cours du premier semestre 1991 et exprimés pour 100g de matière sèche comestible) des différents aliments de base disponibles à Brazzaville montre que les produits dérivés du manioc restent largement compétitifs pour la couverture des besoins énergétiques des citadins⁸. Le classement par ordre de prix croissant s'établit comme suit: fougou acheté en cossettes (18,9 Fcfa); riz (28,6 Fcfa); chikwangue (36,1 Fcfa - de 34 à 42 selon le type); fougou acheté au détail (45,8 Fcfa); pain (47,7 Fcfa); ignames (77 fcfa); banane plantain (87 Fcfa).

4.1.5. Perspectives.

Les résultats obtenus jusqu'à maintenant dans le cadre de cette opération ont permis de confirmer l'importance du manioc dans le modèle de consommation alimentaire du Congo et l'attachement que portent les citadins aussi bien que les ruraux à leur aliment de base; néanmoins, des variations importantes en fonction de certains facteurs (zones écologiques, degré d'urbanisation, différents facteurs sociaux culturels et économiques) ont été mises en évidence.

L'inventaire et la description des innovations endogènes et des variantes dans les procédés de transformation et l'étude du fonctionnement des ateliers urbains ont permis d'identifier les étapes nécessitant des améliorations et d'orienter les recherches en conséquence.

Pour compléter les informations recueillies, deux enquêtes sont en cours de préparation. La première a pour objectif d'estimer les quantités de manioc consommées, sous forme de fougou et de chikwangue, dans les ménages brazzavillois; en effet, en raison d'une plus grande diversification de l'alimentation en ville, il semble que l'établissement de fréquences de consommation ne permette pas, comme en zones rurales, d'évaluer de façon satisfaisante la place du manioc dans l'alimentation des brazzavillois. La seconde, réalisée avec la collaboration d'économistes et du laboratoire "Systèmes techniques et Alimentation" du

CIRAD/CEEMAT, sera consacrée aux circuits de commercialisation entre les zones de production et les marchés urbains.

4.2. OPERATION 2: Mesure de la qualité nutritionnelle et organoleptique des produits finis.

Dans le cadre de cette opération, différents d'échantillons prélevés au cours des enquêtes ont été analysés pour déterminer leur composition en nutriments et/ou leur teneur en composés cyanés. Les caractéristiques organoleptiques de certains produits finis ont été comparées en unité d'évaluation sensorielle ou par des mesures instrumentales³¹ (mesure par titration de l'acidité totale; détermination de la teinte, de la clarté et de la saturation des couleurs des produits à l'aide d'un chromamètre...).

4.2.1. Valeur nutritionnelle de la farine à fougou préparée en zones rurales.

Des déterminations effectuées sur 279 farines prélevées au cours de l'enquête en zones rurales ont permis de mesurer leur teneur en matière sèche, cendres, fibres (ADF), cyanures résiduels totaux et leur acidité totale¹⁷ (tableau 1).

L'influence de facteurs de variation a pu être mise en évidence: nature du milieu de rouissage; ordre de réalisation de l'épluchage et du rouissage; forme et durée de séchage; modalités de broyage.

4.2.2. Valeur nutritionnelle des bouillies préparées en zones rurales.

Les analyses effectuées sur 423 bouillies collectées au moment de leur distribution aux enfants pendant l'enquête sur les pratiques de sevrage ont principalement permis de mettre en évidence¹⁶ la faible concentration en matière sèche, donc la faible densité énergétique des bouillies à base de manioc et de maïs, et la très faible teneur en protéines des bouillies à base de manioc (tableau 2).

4.2.3. Valeur nutritionnelle et caractéristiques organoleptiques des chikwanges produites à Brazzaville.

Des analyses effectuées sur des chikwanges achetées sur les marchés ou prélevées dans des ateliers ont permis de vérifier leur très faible teneur en protéines¹⁴ (<0,75 g/100g MS). La comparaison, à l'aide de tests de différenciation (2/5), de notation et de classement, de certaines de leurs caractéristiques organoleptiques (couleur, odeur, acidité, collant, élasticité) et de l'impression générale laissée aux consommateurs a permis de mettre en évidence l'importance de l'origine de la matière première (pâte rouie) utilisée pour leur préparation, et du savoir-faire des préparatrices.

4.3. OPERATION C: Etude des mécanismes biologiques, physiques et chimiques intervenant au cours de différentes étapes des transformations.

Dans le cadre de cette opération, il est prévu d'étudier les mécanismes intervenant au cours de trois étapes ou série d'étapes essentielles des transformations du manioc en Afrique Centrale: le rouissage; le séchage des cossettes pour la préparation de farines à fougou; le laminage, la précuisson, le malaxage et la cuisson terminale lors de la préparation de la chikwange (évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'amidon). A l'heure actuelle, seules les études relatives aux mécanismes mis en jeu au cours du rouissage sont suffisamment avancées pour pouvoir faire état des résultats obtenus.

Le rouissage a pour effets principaux de ramollir les racines, de dégrader leurs composés cyanogénétiques et de provoquer l'apparition de métabolites qui influent sur les caractéristiques organoleptiques des produits finis^{9,12,17,18,19}. La connaissance des mécanismes intimes du rouissage d'un point de vue microbiologique et biochimique doit permettre de produire des aliments de qualité meilleure et plus constante.

Les résultats concernent certains paramètres physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques du rouissage et l'isolement et la caractérisation des microorganismes^{12,19}.

Paramètres physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques du rouissage.

Du point de vue physico-chimique, le rouissage se caractérise par:

- un abaissement rapide du PH de l'eau de rouissage qui diminue de 7 à 4.5 en moins de 48h; cette diminution s'accompagne d'une diminution encore plus rapide de l'oxygène dissous qui avoisine 0,1 mg/l dès la fin du premier jour de rouissage (figure 5).
- Une dégradation des composés cyanogénétiques des tubercules: après 4 jours d'immersion, les teneurs résiduelles en cyanures totaux varient entre 10 et 50 ppm (figure 6).
- une altération importante des cellules végétales qui se traduit par le ramollissement des racines qui peut se mesurer par l'augmentation d'un indice de pénétrométrie (figure 5).

Du point de vue biochimique, le rouissage se caractérise par:

- une production importante de composés organiques tels que l'éthanol, l'acide lactique, l'acide acétique et l'acide butyrique; de l'acide propionique est produit de manière transitoire au cours du processus. (figure 7).
- Une activité enzymatique importante pour la linamarase et la pectinestérase (figure 8), respectivement responsables de la détoxification des racines et de la destruction des parois des cellules végétales (en association avec d'autres pectinases). Les évolutions de l'activité de ces deux enzymes sont très différentes: celle de la linamarase est maximale dans la racine non rouie, alors que celle de la pectinestérase culmine lors du 3ème jours de rouissage. Cette différence de cinétique pourrait être liée au fait que la linamarase est d'origine exocellulaire alors que la pectinestérase est d'origine intracellulaire. Des études en fermenteurs dans des conditions stériles ont mis en évidence que la linamarase est produite à la fois par la racine et par des bactéries; la microflore permettrait donc d'accélérer la détoxification des racines.
- le faible niveau des autres activités enzymatiques mesurées (endopectinase, amylase): ces activités semblent trop faibles pour qu'elles puissent être importantes dans le processus, mais les mesures doivent être confirmées.

Du point de vue microbiologique, le rouissage se caractérise par l'importance de la flore fermentaire anaérobie facultative dont le nombre varie entre 10^9 et 10^{10} bactéries/g dès le deuxième jour (figure 9) et qui est en majorité constituée de bactéries lactiques. Des numérations effectuées au cours de deux rouissages différents ont permis de montrer que l'évolution des bactéries lactiques pendant le rouissage peut être décomposée en deux phases: une phase exponentielle de croissance s'étendant sur les trois premiers jours (10^8 - 10^9 bact/g), suivie d'une phase semi-stationnaire au cours des jours suivants.

Le nombre de bactéries anaérobies strictes, type clostridies, capables de produire des acides gras volatils (acides acétique, propionique et butyrique) s'élève à plus de 10^9 bact/g en fin de fermentation. En revanche, aucune flore anaérobie capable de dégrader l'éthanol n'a pu être mise en évidence. Cette flore anaérobie, peu étudiée jusqu'à maintenant, a probablement, en raison de la quantité d'acides gras volatils produits (figure 7), une influence considérable sur certaines caractéristiques organoleptiques des produits finis.

La population de levures ne devient significative que lorsque le rouissage est en phase terminale. Cette flore ne semble donc pas intervenir de manière notable dans le processus de fermentation; son rôle pourrait cependant être important en ce qui concerne l'aptitude à la conservation de la pâte rouie.

Isolement et caractérisation des microorganismes.

La deuxième phase de cette étude porte actuellement sur la caractérisation de la microflore. Les principaux groupes recherchés sont: les bactéries lactiques, microflore dominante au cours du rouissage; les levures pour pouvoir juger de leur importance au cours de cette fermentation; les bactéries amylolytiques; les bactéries pectinolytiques, probables responsables du ramollissement des racines; les bactéries anaérobies productrices d'AGV (acétate et butyrate).

Concernant les bactéries lactiques²⁰, 60 souches ont été isolées après différentes durées de rouissage et systématiquement caractérisées. La flore lactique est essentiellement composée de *Leuconostoc* (principalement de l'espèce *mesenteroides*), dont le nombre augmente sensiblement tout au long du rouissage. La population de lactobacilles suit une évolution inverse: ils représentent plus de 90% de la microflore endogène lactique des racines, mais sont rapidement supplantés par la microflore hétérofermentaire. Les streptocoques sont présents tout au long du rouissage. Cette flore lactique résiste bien aux cyanures et la plupart des bactéries qui la compose, en particulier *Leuconostoc mesenteroides* et *Streptococcus lactis*, possèdent une activité β -glucosidasiq. Une activité α -amylasique a été mise en évidence chez environ 8% des lactobacilles; celle repérée pour la première fois dans une souche de

Lactobacillus plantarum s'est avérée, à la suite d'une étude physiologique entreprise au LPMC du centre ORSTOM de Montpellier^{29,32}, nettement supérieure à celles des souches de références.

Les souches de levures isolées appartiennent principalement à la famille des Saccharomycetaceae et à la famille des Anascomycetales (principalement du genre *Candida*). Toutes les souches sont de fortes productrices d'éthanol et ne possèdent ni activité amylolytique, ni activité pectinolytique. Que ce soit par leur métabolisme ou par leur nombre, les levures ne semblent donc pas jouer un rôle important au cours du rouissage.

Sept souches de bactéries amylolytiques ont été isolées et sont en cours d'étude dont un *Bacillus* produisant de fortes quantités d'éthanol.

Seulement trois microorganismes possédant une activité pectinolytique ont pu être isolés, en particulier une souche de *Bacillus polymixa* possédant en outre des activités amylasique, pectinasique et cellulolytique, mais qui n'a pas été systématiquement retrouvée au cours de tous les rouissages étudiés.

Conclusion

Le rouissage semble donc correspondre à une fermentation lactique hétérofermentaire principalement due aux *Leuconostoc mesenteroides*. Il se caractérise par une production importante de pectinesterase qui semble participer à la dégradation des membranes végétales, de linamarase d'origine végétale et microbienne et d'acides gras volatils, notamment de butyrate par la microflore clostridienne.

4.4. OPERATION D: Mise au point en laboratoire de procédés nouveaux.

Les travaux ont essentiellement été orientés dans deux directions.

4.4.1. Mise au point de traitements enzymatiques pour augmenter la densité énergétique des bouillies de sevrage à base de manioc.

Les études sur les pratiques et la valeur nutritionnelle des aliments de sevrage au Congo ont montré la nécessité d'augmenter la densité énergétique des bouillies tout en leur conservant une consistance suffisamment fluide^{13,16}. Pour ce faire, il est nécessaire de limiter le gonflement de l'amidon au cours de la cuisson. Parmi les différentes solutions possibles^{30,36}, la plus facilement utilisable consiste en l'incorporation dans les farines de sources d'alpha-amylases qui agissent en coupant les chaînes constitutives de l'amidon après le début de gélatinisation des grains. Jusqu'à maintenant, les seules tentatives de mise en pratique pour les bouillies préparées à partir de produits locaux ont consisté en l'utilisation de farines de céréales germées. Ce procédé a l'inconvénient de nécessiter un surcroît de travail; il est en outre mal adapté au contexte écologique de l'Afrique Centrale où il est difficile de trouver des espèces et des variétés de céréales développant au cours de la germination un fort pouvoir amylolytique. D'autres sources d'alpha-amylases, facilement utilisables dans de petits ateliers de production (le Congo est urbanisé à plus de 50% et les mères citadines ont pris l'habitude d'acheter les aliments de sevrage) ont donc été recherchées.

Les travaux réalisés^{23,24} ont permis de sélectionner une amylase de qualité alimentaire produite industriellement (BAN de NOVO S.A. Industrie) et de définir les conditions de son utilisation pour des mélanges manioc/légumineuses/sucre. Le procédé mis au point, d'un coût négligeable (0,5% à 1% du prix de revient des farines), ne s'accompagne d'aucune contrainte majeure au moment de l'incorporation et ne pose aucune difficulté aux mères à l'occasion de la préparation des bouillies; en faisant simplement varier la proportion d'eau et de farine²⁵, elles peuvent préparer des bouillies ayant une consistance adaptée à l'âge de l'enfant dont la concentration reste comprise entre 25 et 32 g/100g MS (figure 10).

Par ailleurs, l'amidon de manioc s'étant avéré un substrat beaucoup plus sensible aux amylases que celui de maïs ou de riz (figure 11), il est possible, en incorporant des quantités réduites de farine d'une variété locale de sorgho germée à des mélanges où la source énergétique principale est de la farine de manioc, d'obtenir des bouillies de densité énergétique satisfaisante^{24,26}. Ce procédé pourrait être transféré dans les ménages lorsque les mères ne veulent ou ne peuvent pas avoir recours à des bouillies commercialisées.

Des études menées dans le même temps au LNT du centre ORSTOM de Montpellier³³ ayant confirmé que le manioc est une excellente source énergétique pour la préparation de bouillies de sevrage, la décision a été prise de mettre en application les résultats obtenus dans une unité pilote de fabrication de farine de sevrage sous le contrôle d'AGRICONGO^{25,34}.

4.4.2. *Mise au point d'un starter bactérien pour le rouissage.*

Pour permettre de contrôler la fermentation au cours de l'étape de rouissage et de standardiser les conditions d'obtention et la qualité des produits, il est prévu de travailler à la mise au point d'un starter lactique. Ce starter serait composé d'une ou de plusieurs bactéries (et, éventuellement d'enzymes industrielles); son élaboration nécessite l'isolement des bactéries clés du processus et l'étude de leur physiologie, programme actuellement entrepris au Laboratoire de Biotechnologie du centre ORSTOM de Brazzaville.

4.5. OPERATION E: Optimisation des procédés de fabrication en stations ou en ateliers pilotes.

Les efforts se sont tournés jusqu'à maintenant dans trois directions.

4.5.1. *Optimisation des modalités de rouissage sur la base de leur influence sur la qualité nutritionnelle et organoleptique des produits finis.*

L'optimisation du rouissage a été entreprise afin de définir les conditions permettant de réduire la durée du processus et d'obtenir des produits non toxiques possédant les meilleures qualités organoleptiques possibles.

L'influence de six facteurs (nature de la variété, calibre des racines, délai entre la récolte et le début du rouissage, ordre dans lequel sont effectués l'épluchage et le rouissage, présence ou non d'un inoculum, température) a été étudiée en appliquant une démarche tirée de la Méthodologie de Recherche Expérimentale²⁷.

Une matrice expérimentale de 12 expériences a été établie en collaboration avec l'équipe du Pr Phan-Tan-Luu à Marseille pour définir les conditions optimales de rouissage en fonction des réponses obtenues concernant la durée minimum de rouissage et les qualités organoleptiques de fofous préparés à partir des racines rouies et évalués en unité d'évaluation sensorielle; une détoxification suffisante des racines étant considérée, par ailleurs, comme une condition nécessaire.

Pour certains facteurs ayant eu une influence significative sur les réponses, en particulier la température, des expériences complémentaires ont permis de préciser les niveaux optimaux. La réalisation d'essais en milieu réel est prévue pour valider les résultats obtenus en laboratoire.

Les résultats²⁸ sont présentés sous forme graphique (figure 12).

L'analyse des résultats montre que la température est, dans nos conditions expérimentales, le seul facteur étudié à avoir un effet important sur la durée de rouissage. Les études ultérieures ont montré que la température optimale est de 34°C avec un intervalle de variation acceptable allant de 32 à 37°C. Parmi les autres facteurs étudiés, seul l'épluchage préalable des racines permet de diminuer légèrement la durée de rouissage.

Concernant l'influence sur les qualités organoleptiques des fofous, les facteurs les plus importants sont dans l'ordre: la température, la durée de stockage des racines après la récolte et l'ordre dans lequel sont effectués le rouissage et l'épluchage.

Enfin, le seul facteur influant significativement sur la teneur en cyanures totaux résiduels est la présence d'un inoculum (remplacement de 10% de l'eau de puit utilisée par du jus d'un rouissage précédent).

Cette étude a permis de définir en un minimum d'expériences les facteurs essentiels intervenant au cours du rouissage. Elle a permis d'établir un cahier des charges qui a été transmis à l'unité de rouissage pilote mise en place par AGRICONGO.

4.5.2. *Optimisation d'une ligne de fabrication de chikwangue sur la base de la réduction de la durée et de la pénibilité du travail et de la qualité organoleptique des produits finis.*

Cette ligne de fabrication comporte un certain nombre de machines construites par AGRICONGO à partir de matériaux locaux: elle permet de mécaniser les étapes de défibrage, de laminage et de pré cuisson/malaxage/modelage/emballage. La construction d'un foyer amélioré permet en outre de standardiser et de faciliter la cuisson terminale.

Notre intervention a consisté à tester l'influence de différents prototypes construits pour chacune des étapes sur les rendements massiques et les caractéristiques organoleptiques des produits. L'influence de l'ensachage en gaine plastique à la sortie du cuiseur-malaxeur a également été étudiée en comparant des

chikwanges ayant subi la cuisson terminale en gaine plastique à des chikwanges cuites après emballage dans les feuilles traditionnellement utilisées. Les comparaisons ont été réalisées dans l'unité d'évaluation sensorielle construite par Agricongo en utilisant des tests de différenciation (2/5) et des tests de préférence. Pour chaque étape, des prototypes n'ayant pas d'influence négative sur la qualité des produits ont pu être sélectionnés. A l'heure actuelle, une ligne de fabrication a été installée auprès d'un groupement de producteur indépendant: les chikwanges produites sont jugées par les panélistes de qualité comparable aux meilleures chikwanges traditionnelles (tests de notation et tests de classement).

4.5.3. Optimisation des traitements à appliquer aux différents ingrédients des farines de sevrage sur la base de leurs qualités nutritionnelle et bactériologique.

La préparation de farines de sevrage nécessitant l'application de traitements préalables (trempage, dépelliculage, torréfaction) aux farines de légumineuses devant être incorporées aux farines de manioc^{35,37}, certaines activités anti-nutritionnelles (inhibiteurs de la trypsine, activité hémagglutinante, phytates) ont été mesurées au laboratoire de Nutrition de l'USTL afin de définir les conditions optimales d'application de ces traitements.

Par ailleurs, il est apparu nécessaire de faire griller la farine de manioc préalablement à son mélange avec les autres ingrédients afin de réduire sa teneur en eau et le nombre de germes indicateurs de contaminations bactériennes.

CONCLUSION:

Au Congo, l'étude des modalités de transformation et de consommation des racines de manioc et de la qualité nutritionnelle des aliments met en évidence la nécessité de proposer des améliorations ou des innovations technologiques, d'une part, pour réduire la pénibilité et la durée de la préparation des produits dérivés traditionnels (chikwange, fofou) et les rendre ainsi plus accessibles aux consommateurs urbains et, d'autre part, permettre la mise à disposition d'aliments de meilleure qualité, notamment pour les enfants.

Outre une bonne connaissance des pratiques actuelles et du contexte, le programme mené depuis 1989 par l'ORSTOM avec la collaboration d'AGRICONGO et d'autres partenaires scientifiques congolais et français a déjà permis:

- d'élaborer des recommandations relatives à la conduite du rouissage susceptibles d'être mises en oeuvre dans des unités pilotes.
- le choix de machines et de certains de leurs paramètres de fonctionnement pour une ligne semi-mécanisée de fabrication de chikwange déjà transférée par AGRICONGO au niveau d'un groupement de producteur;
- de définir les procédés à utiliser au niveau d'un atelier pilote de fabrication de farines de sevrage.

Après une phase d'expérimentation en milieu réel, les résultats pourront être diffusés auprès de petites entreprises familiales ou artisanales.

Exceptions faites pour la fabrication des boissons et la préparation du pain, le contexte agro-écologique, socio-culturel et économique au Congo n'a jusqu'alors pas permis l'émergence dans le secteur agroalimentaire d'entreprises de taille importante ou même moyenne. Bien que souvent déjà clairement identifiées par les scientifiques congolais, les études et améliorations nécessaires ont rarement pu être initiées localement faute de moyens et des collaborations indispensables. En pratique dans un tel contexte, les recherches dans le secteur de l'agroalimentaire ne peuvent donc se développer qu'à l'initiative d'organismes de recherches ou de développement appartenant ou étroitement liés aux pays développés.

La taille des entreprises susceptibles de bénéficier des résultats des recherches menées sur des produits vivriers est, dans le contexte congolais, nécessairement petite. Les entreprises susceptibles d'être touchées vont du groupement d'une dizaine de producteurs à l'atelier strictement familial en passant par des ateliers artisanaux pouvant employer de 1 à 5 personnes.

BIBLIOGRAPHIE

¹ FAO (1984). Bilans alimentaires: moyenne 1979-1981, Rome.

² TRECHE S. et MASSAMBA J. (1989). Importance du manioc dans le régime alimentaire congolais. Dans : 40 ans de Recherche scientifique au Congo", "Hommes et environnement", Actes d'un colloque scientifique tenu le 23 Novembre 1989 à Brazzaville, éditions de l'ORSTOM, pp. 24-37.

- ³ MASSAMBA J. et TRECHE S. (1989). Transformations traditionnelles, formes de consommation et formes de commercialisation du manioc en milieu rural congolais. Communication présentée au 4th triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crops - Africa Branch, 4-9 Décembre 1989, Kinshasa, Zaïre.
- ⁴ TRECHE S. et MASSAMBA J. (1989). Formes de consommation du manioc en zones rurales au Congo. Poster présenté au:
- Colloque Scientifique "40 ans de Recherche scientifique au Congo", 23 Novembre 1989, Brazzaville.
- IIème Salon de l'Alimentation et de l'Industrie Agro-alimentaire de Brazzaville, 13 au 20 janvier 1990, Congo.
- ⁵ TRECHE S. et MASSAMBA J. (1989). Pour en savoir plus... La consommation du manioc au Congo. Document distribué au IIème Salon de l'Alimentation et de l'Industrie Agro-alimentaire de Brazzaville (13 au 20 janvier 1990), 8 pages dont 4 de tableaux et figures.
- ⁶ MASSAMBA J., AVOUAMPO E. et TRECHE S. (1990). Etude et amélioration des modalités d'utilisation du manioc: problématique, méthodologie d'approche et résultats préliminaires. Communication présentée au Séminaire-atelier sur la mécanisation agricole, 6- 8 Juin 90, Brazzaville.
- ⁷ MASSAMBA J. et TRECHE S. (1991). Influence de l'environnement sur les modalités de consommation du manioc au Congo. Poster présenté au Symposium international Unesco/CNRS "L'alimentation en forêt tropicale: interactions bioculturelles et applications au développement", 10-13 Septembre 1991, Paris.
- ⁸ MASSAMBA J. et TRECHE S. (1991). Influence de l'urbanisation sur la consommation de la chikwangue au Congo. Communication présentée au 9th Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, 20-26 Octobre 1991, Accra, Ghana.
- ⁹ TRECHE S. et MASSAMBA J. (1989). Le rouissage du manioc. Poster présenté au:
- Colloque Scientifique "40 ans de Recherche scientifique au Congo", 23 Novembre 1989, Brazzaville.
- IIème Salon de l'Alimentation et de l'Industrie Agro-alimentaire de Brazzaville, 13 au 20 janvier 1990, Congo.
- ¹⁰ TRECHE S. et MASSAMBA J. (1989). Technologies traditionnelles de transformation des racines de manioc. Poster présenté au:
- Colloque Scientifique "40 ans de Recherche scientifique au Congo", 23 Novembre 1989, Brazzaville.
- IIème Salon de l'Alimentation et de l'Industrie Agro-alimentaire de Brazzaville, 13 au 20 janvier 1990, Congo.
- ¹¹ TRECHE S. et MASSAMBA J. (1991). Influence de l'environnement sur les modalités de transformation du manioc au Congo. Poster présenté au Symposium international Unesco/CNRS "L'alimentation en forêt tropicale: interactions bioculturelles et applications au développement", 10-13 Septembre 1991, Paris.
- ¹² TRECHE S, BRAUMAN A., KELEKE S., AMPE F., MIAMBI E., MALONGA M., MAVOUNGOU O., KOBAWILA S.C., LOUEMBE D., AVOUAMPO E., GIRAUD E., LELONG B. et RAIMBAULT M. (1990). Le rouissage du manioc: une technique traditionnelle utilisée en Afrique Centrale. Poster présenté au 5ème Rencontres Internationales AGROPOLIS, Semaine Internationale de l'Alimentation, de la Nutrition et de l'Agro-industrie, 4-7/12/90, Montpellier.
- ¹³ CORNU A., TRECHE S. et DELPEUCH F. (1991). Les pratiques de sevrage au Congo. Communication présentée au Séminaire-atelier "les bouillies de sevrage en Afrique centrale", 21-24 mai 91, Bureau régional de l'OMS, Brazzaville, Congo.
- ¹⁴ BOURANGON-DIT-ONTALI (1991) - Etude des procédés technologiques traditionnels de transformation de la racine de manioc en différents types de chikwangue rencontrés sur le marché congolais (Moungouélé, Ngoudi-yaka, Moussombo, Fabriqué), Mémoire IDR préparé au LENA du Centre ORSTOM de Brazzaville.
- ¹⁵ ADOUA-OYILA G.M. (1991) - Contribution à l'amélioration des qualités organoleptiques de la chikwangue et du fofou, Mémoire IDR préparé au LENA du Centre ORSTOM de Brazzaville.
- ¹⁶ TRECHE S. et MASSAMBA J. (1991). Modes de préparation et valeur nutritionnelle des bouillies de sevrage actuellement consommées au Congo. Communication présentée au Séminaire-atelier "les bouillies de sevrage en Afrique centrale", 21-24 mai 91, Bureau régional de l'OMS, Brazzaville, Congo.
- ¹⁷ TCHILOEMBA-POBA R. (1991). Influence des modalités de rouissage des racines de manioc sur les rendements des transformations et la qualité nutritionnelle des produits finis, Mémoire IDR préparé au LENA du Centre ORSTOM de Brazzaville.
- ¹⁸ de LABBEY B. (1989) - Fermentation et detoxication au cours du rouissage du manioc au Congo. Mémoire ENS.BANA (Université de Bourgogne) préparé au LENA du Centre ORSTOM de Brazzaville.
- ¹⁹ BRAUMAN A., MALONGA M., MAVOUNGOU O., KELEKE S., AMPE F., MIAMBI E. et TRECHE S. (1991). Kinetic study of retting: a cassava traditional fermentation in Central Africa. Communication présentée au séminaire-atelier "Avances sobre almidon de yucca", 17-29 juin 91, CIAT, Cali, Colombie.
- ²⁰ BRAUMAN A., MALONGA M., KELEKE S., MAVOUNGOU O. et AMPE F. (1991). Retting: a lactic fermentation of cassava. Poster présenté au Lactic Congress, Caen.
- ²¹ ADAM V. et BOUCQUET I. (1990) - Les pratiques de sevrage à Brazzaville. Mémoire de DESS (USIL, Montpellier) préparé au LENA du Centre ORSTOM de Brazzaville.
- ²² DINGA D. (1991) - Etude des pratiques de sevrage et de la qualité nutritionnelle des bouillies à Brazzaville, Mémoire IDR préparé au LENA du Centre ORSTOM de Brazzaville.
- ²³ TRECHE S. et GIAMARCHI P. (1991). Utilisation d'enzymes produites industriellement pour l'amélioration de la densité énergétique des bouillies de sevrage. Communication présentée au Séminaire-atelier "les bouillies de sevrage en Afrique centrale", 21-24 mai 91, Bureau régional de l'OMS, Brazzaville, Congo.

- 24 TRECHE S., GIAMARCHI P., MIAMBI E. et BRAUMAN A. (1991). Use of cassava flour as energy source for weaning foods. Communication présentée au séminaire-atelier "Avances sobre almidon de yucca", 17-29 juin 91, CIAT, Cali, Colombie.
- 25 AVOUAMPO E., LEGROS O. et TRECHE S. (1991). Les farines à base de manioc ORSTOM/AGRICONGO. Communication présentée au Séminaire-atelier "les bouillies de sevrage en Afrique centrale", 21-24 mai 91, Bureau régional de l'OMS, Brazzaville, Congo.
- 26 GIAMARCHI P. et TRECHE S. (1991). Utilisation du sorgho malté pour améliorer la densité énergétique des bouillies de sevrage à base de manioc. Communication présentée au Séminaire-atelier "les bouillies de sevrage en Afrique centrale", 21-24 mai 91, Bureau régional de l'OMS, Brazzaville, Congo.
- 27 FARGIN E., SERGENT M. MATHIEU D. et PHAN-TAN-LUU R. (1985). Approche méthodologique de la Recherche expérimentale. *Bio-Sciences*, 4, 77.
- 28 AMPE F., TRECHE S., AGOSSOU A. et BRAUMAN A. (1991). Application of experimental research methodology to the optimization of cassava traditional fermentation. Communication présentée au séminaire-atelier "Avances sobre almidon de yucca", 17-29 juin 91, CIAT, Cali, Colombie.
- 29 GIRAD E., BRAUMAN A., KELEKE S., LELONG B. et RAIMBAULT M. (1991). Isolation and physiological study of an amyolytic strain of *Lactobacillus plantarum*. Sous presse dans *Appl. Env. Microb.*
- 30 TRECHE S. (1990). Les aliments de sevrage à base de tubercules tropicaux: Quelles solutions pour améliorer les densités énergétiques. Document préparé pour la réunion de l'UR4F, 10/11/09/90, à Montpellier, 6 pages + 7 pages de tableaux et figures.
- 31 NGO N'TAMACK S. (1989) - Essai de corrélation entre les résultats des préférences de consommateurs congolais obtenus par analyse sensorielle et les résultats obtenus à l'issue de mesures instrumentales. Mémoire de DESS (USTL, Montpellier) préparé au LENA du Centre ORSTOM de Brazzaville..
- 32 GIRAUD E., BRAUMAN A., KELEKE S., LELONG B. et RAIMBAULT M. (1990). Isolement d'une bactérie lactique à forte activité amyolytique à partir de manioc fermenté. Poster présenté au 5ème Rencontres Internationales AGROPOLIS, Semaine Internationale de l'Alimentation, de la Nutrition et de l'Agro-industrie, 4-7/12/90, Montpellier.
- 33 FOULER-GUILLY S. (1991) - Etude des incidences nutritionnelles de traitement thermique et enzymatique de l'amidon de manioc en vue de son utilisation dans les aliments de sevrage. Thèse (USTL, Montpellier) préparée au LNT du Centre ORSTOM de Montpellier..
- 34 LEGROS O. et TRECHE S. (1991). Propositions pour la création d'ateliers de production de farines de sevrage au Congo. Communication présentée au Séminaire-atelier "les bouillies de sevrage en Afrique centrale", 21-24 mai 91, Bureau régional de l'OMS, Brazzaville, Congo.
- 35 TRECHE S. (1989). Problèmes posés par l'utilisation des produits dérivés du manioc dans l'alimentation du jeune enfant. Document distribué au Séminaire-atelier de formation des formateurs en Nutrition dans les écoles para-médicales, 18-23 Septembre 1989, Brazzaville, 7 pages dont 4 de tableaux et figures.
- 36 MIAMBI E., TRECHE S. et BRAUMAN A. (1991). Fermentations traditionnelles des aliments de sevrage au Congo: perspectives d'amélioration. Communication présentée au Séminaire-atelier "les bouillies de sevrage en Afrique centrale", 21-24 mai 91, Bureau régional de l'OMS, Brazzaville, Congo.
- 37 MASSAMBA J. et TRECHE S. (1991). Composition en nutriments des aliments de sevrage adaptés au contexte de l'Afrique Centrale. Communication présentée au Séminaire-atelier "les bouillies de sevrage en Afrique centrale", 21-24 mai 91, Bureau régional de l'OMS, Brazzaville, Congo.
- 38 TRECHE S. et MASSAMBA J. (1990). Le manioc au Congo: des recherches indispensables pour accompagner les mutations alimentaires. Document distribué au 5ème Rencontres Internationales AGROPOLIS, Semaine Internationale de l'Alimentation, de la Nutrition et de l'Agro-industrie, 4-7/12/90, Montpellier, 6 pages + 2 planches de photos.
- 39 TRECHE S. et MASSAMBA J. (1991). Demain, le manioc sera-t-il encore l'aliment de base des congolais? Alimentation, Nutrition et Agriculture (périodique FAO), sous presse.
- 40 TRECHE S. et MASSAMBA J. (1991). Study and improvement of cassava utilization in Congo. Rapport présenté au International workshop on "Product development: production, processing, and marketing of root and tuber crops", 26 Octobre au 2 Novembre 1991, IITA, Ibadan, Nigeria.

TABLEAU 1

Composition de 279 farines de manioc collectées en zones rurales

| | | Moyenne ± ETM | Valeur minimale | Valeur maximale |
|-----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Matière Sèche | (g/100gMB) | 84.2 ± 0.16 | 69.5 | 92.2 |
| Cendres | (g/100gMS) | 1.10 ± 0.03 | 0.2 | 2.2 |
| Fibres | (g/100gMS) | 2.11 ± 0.08 | 1.3 | 20.8 |
| Cyanures totaux | (ppm) | 9.0 ± 0.40 | 0.2 | 66.7 |
| Acidité totale | (mmole/100gMS) | 3.4 ± 0.30 | 0.0 | 44.6 |

TABLEAU 2

Concentration et teneur en protéines brutes des bouillies au Congo

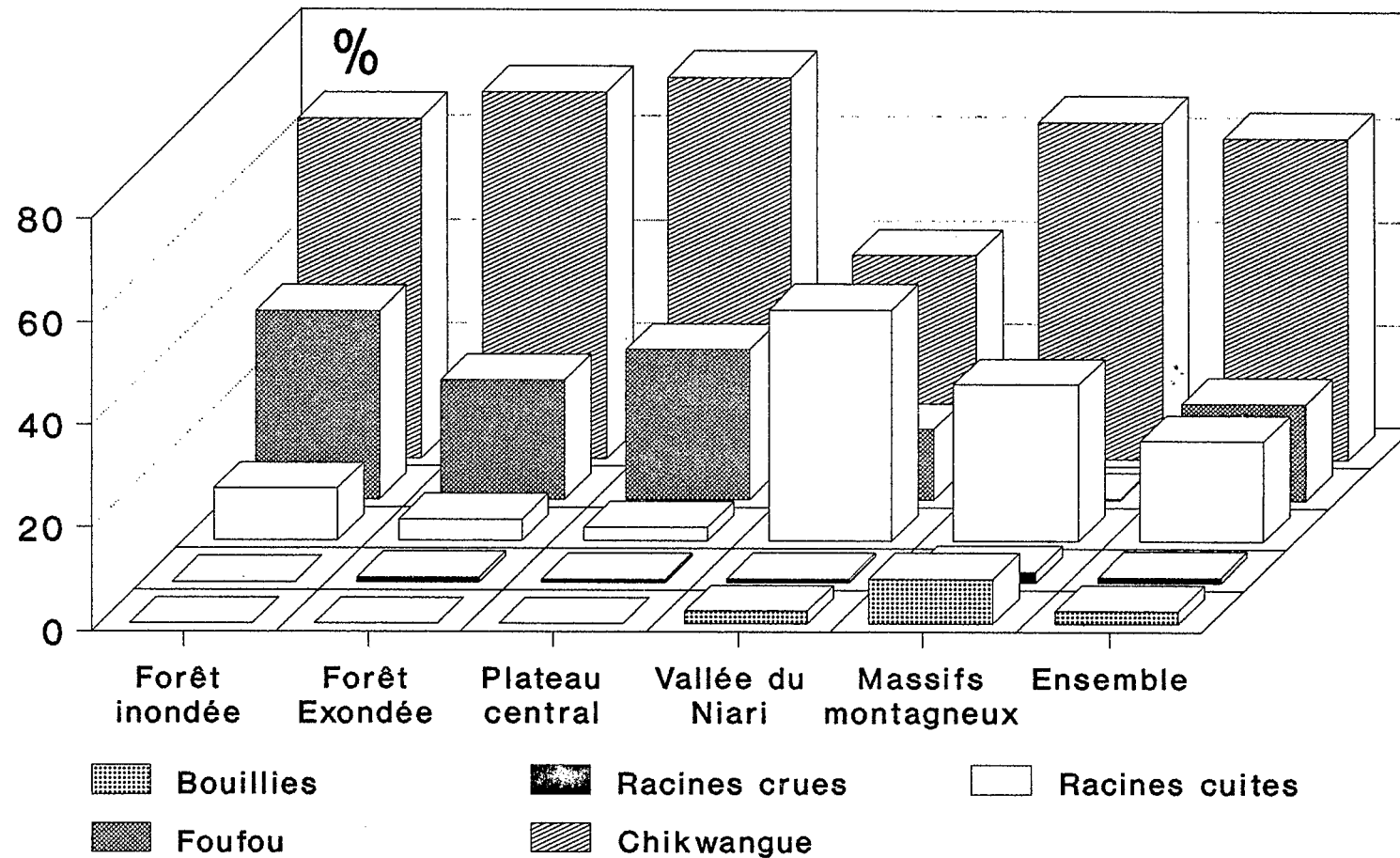
| INGREDIENTS DE BASE | CONCENTRATION (g / 100g bouillie) | | TENEUR EN PROTEINES BRUTES (g/100g MS) | |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--|---------------------------|
| | n | Moyenne ± ETM | n | Moyenne ± ETM |
| Manioc | 176 | 15.75 ± 0.37 ^b | 124 | 1.81 ± 0.38 ^a |
| Mais | 211 | 14.49 ± 0.30 ^c | 135 | 5.21 ± 0.27 ^b |
| Autres produits locaux | 9 | 24.63 ± 2.19 ^{ab} | 9 | 11.07 ± 1.74 ^c |
| Farines importées | 27 | 18.04 ± 1.47 ^a | 27 | 9.79 ± 1.49 ^c |

n : nombre d'échantillons analysés.

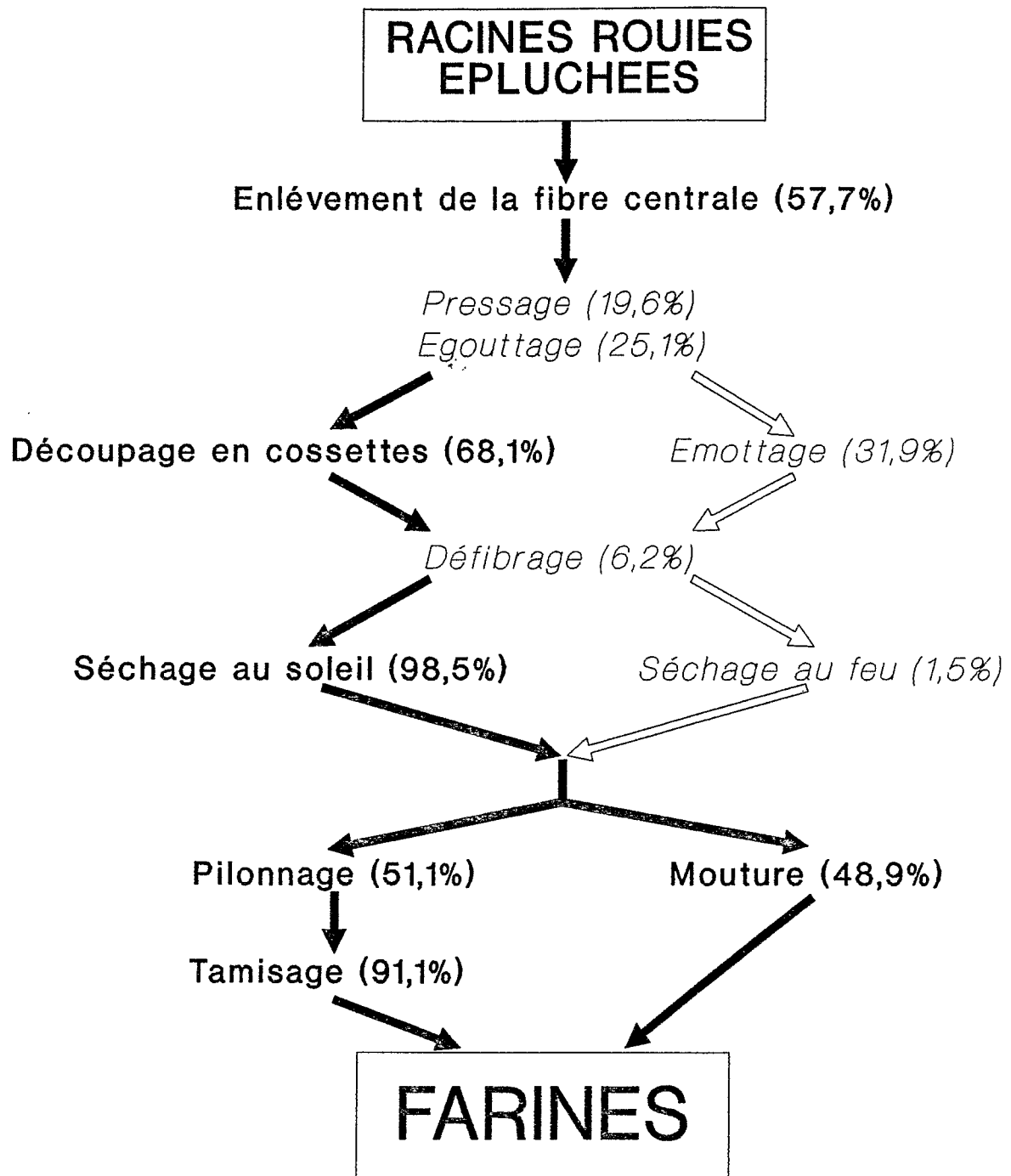
ETM : écart-type de la moyenne.

Les moyennes non suivies d'une même lettre sont significativement différentes au niveau 5 %.

FIGURE 1: FREQUENCE DE CONSOMMATION DES PRODUITS DERIVES DES RACINES DE MANIOC



En % des personnes en ayant consommé au moins une fois la veille de l'enquête



La fréquence de réalisation de chaque étape est indiquée entre parenthèses

FIGURE 2: SCHEMA DE FABRICATION DU FOUFOU

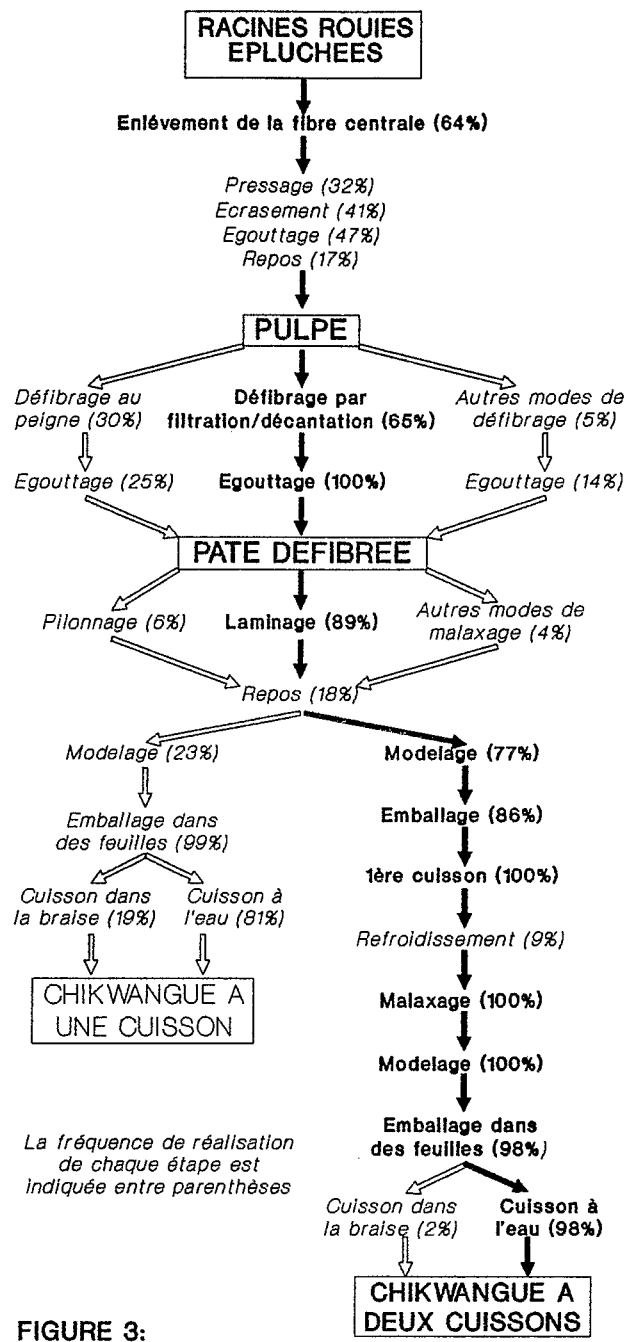
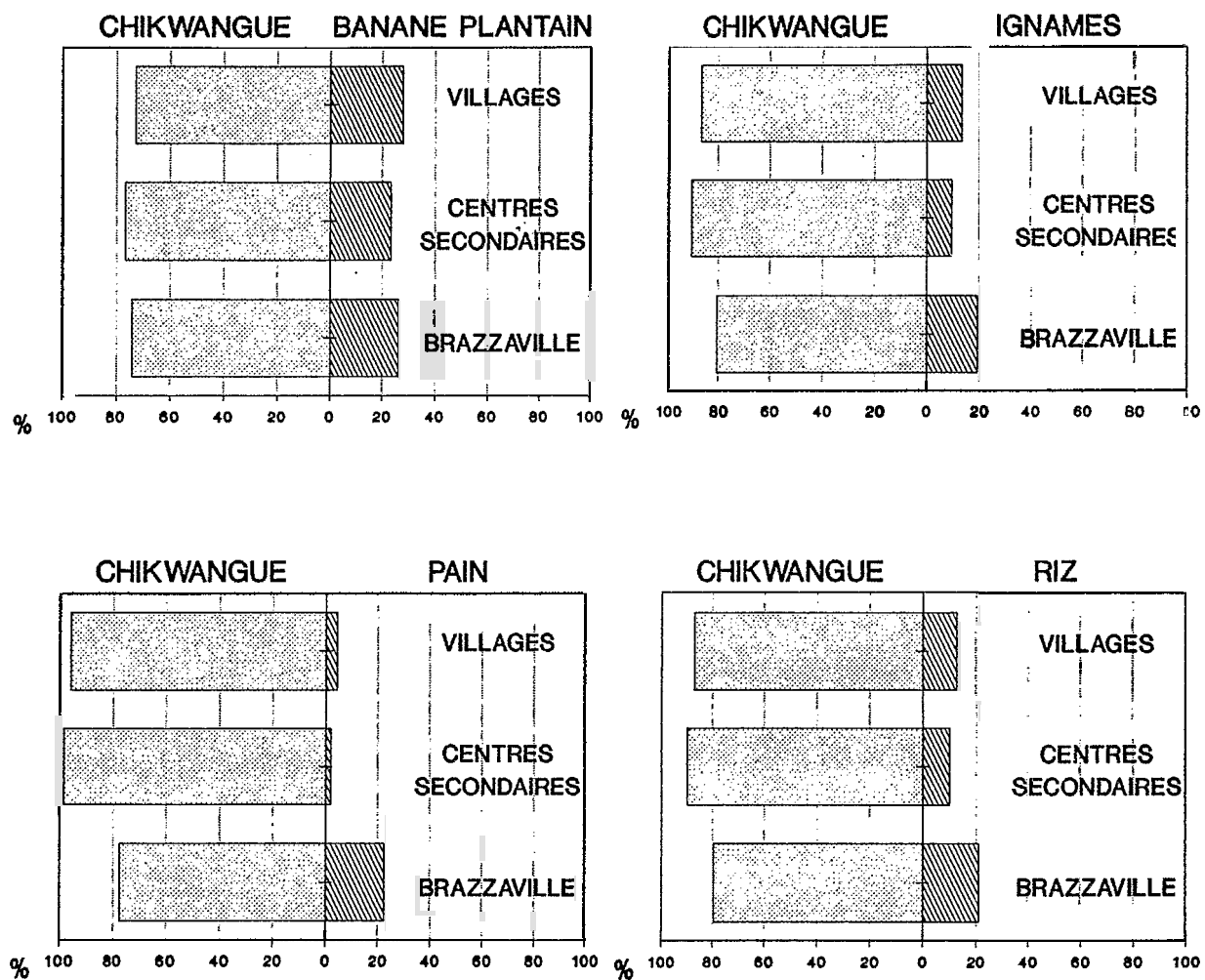


FIGURE 3:
SCHEMA DE FABRICATION DE LA CHIKWANGUE



% de personnes ayant déclaré préférer l'un des deux aliments

FIGURE 4: PREFERENCES EXPRIMEES ENTRE DIFFERENTS ALIMENTS DE BASE

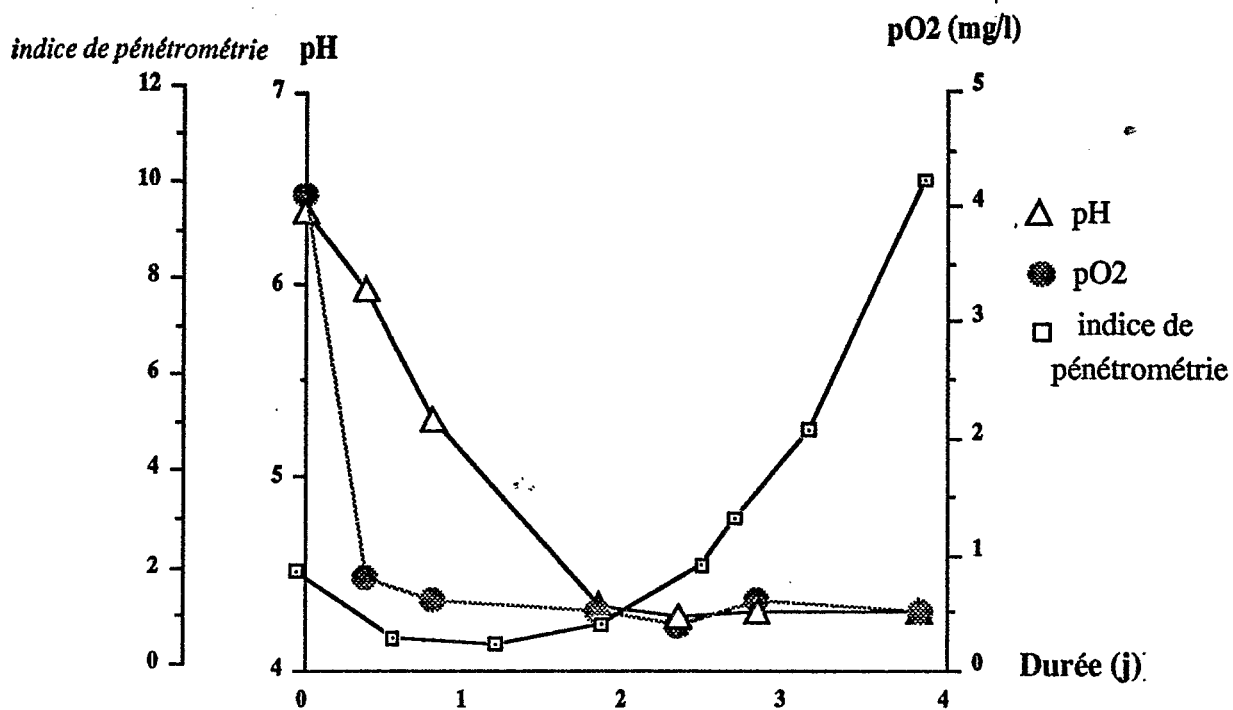


Fig 5 : Evolution des paramètres physico-chimiques au cours

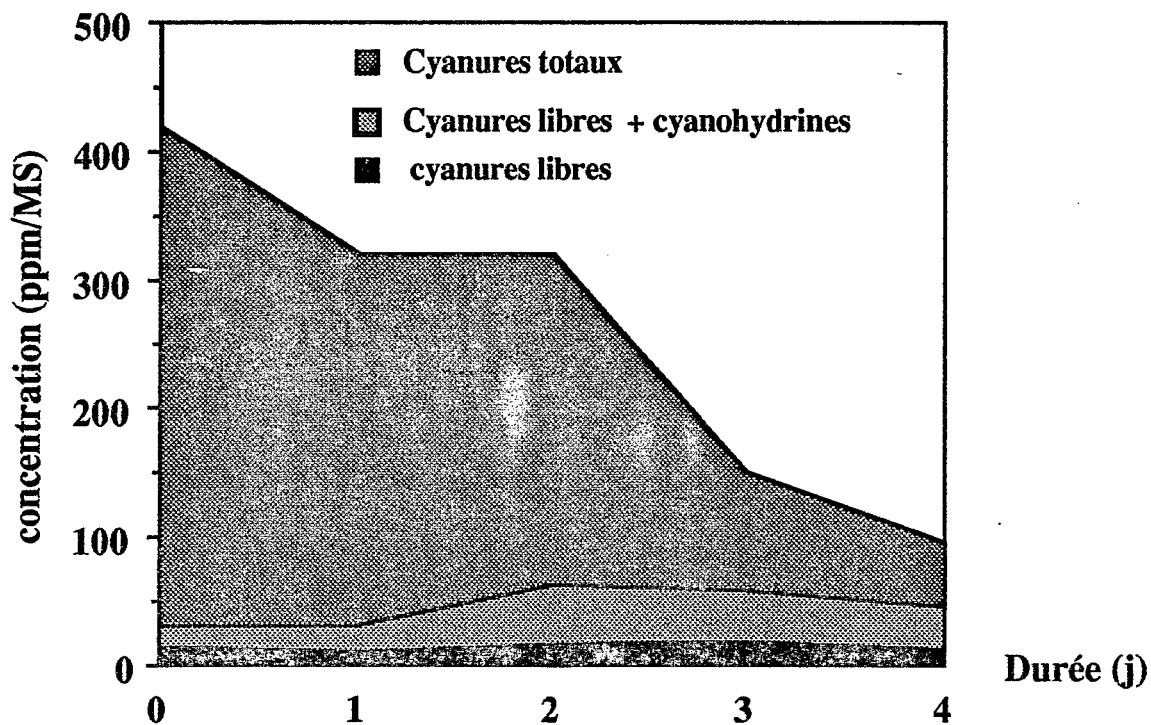


Fig 6 : Evolution des teneurs en composés cyanés durant le rouissage

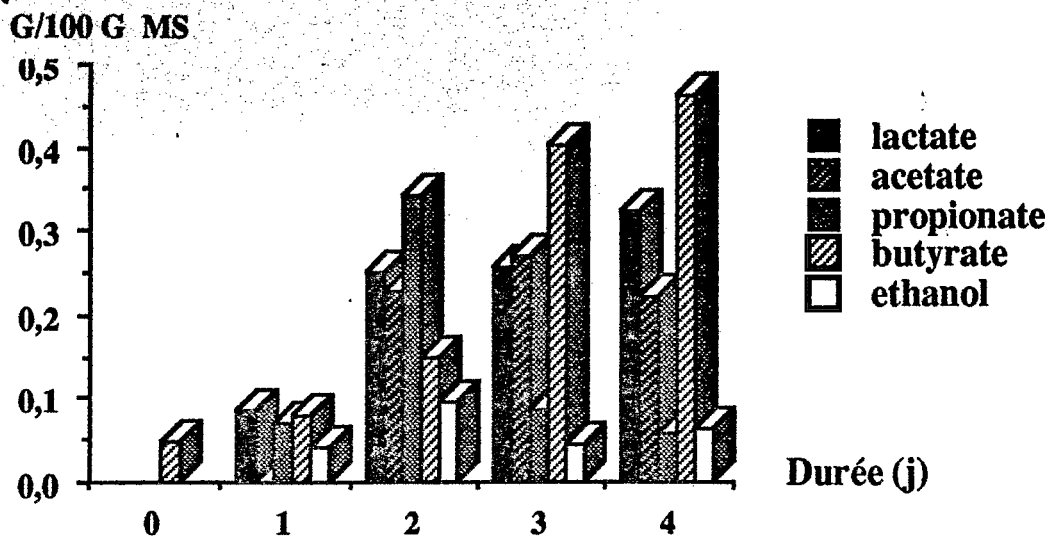


Fig 7 : Evolution de la production de métabolites au cours du rouissage

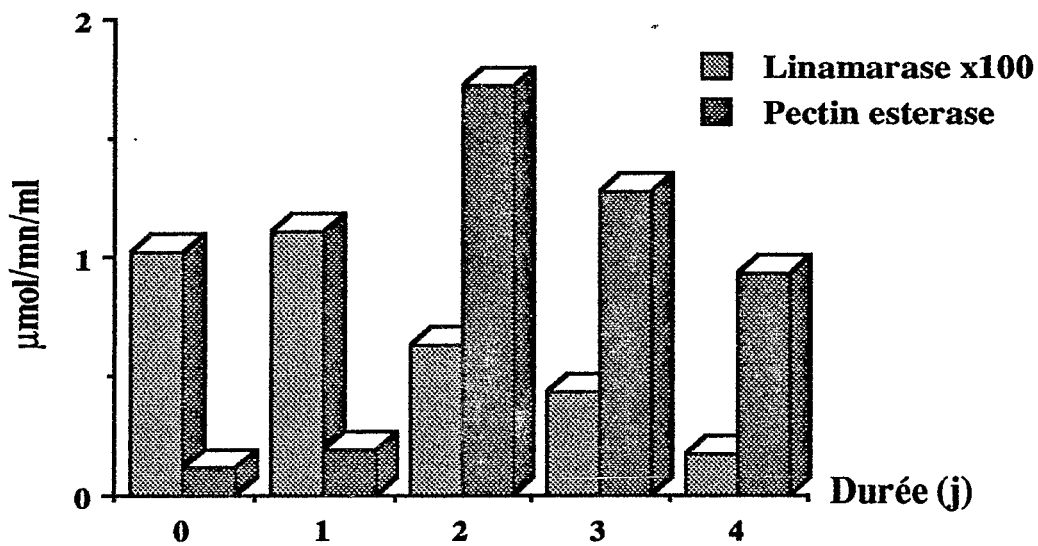


Fig 8 : Evolution de l'activité enzymatique mesurée au cours du rouissage

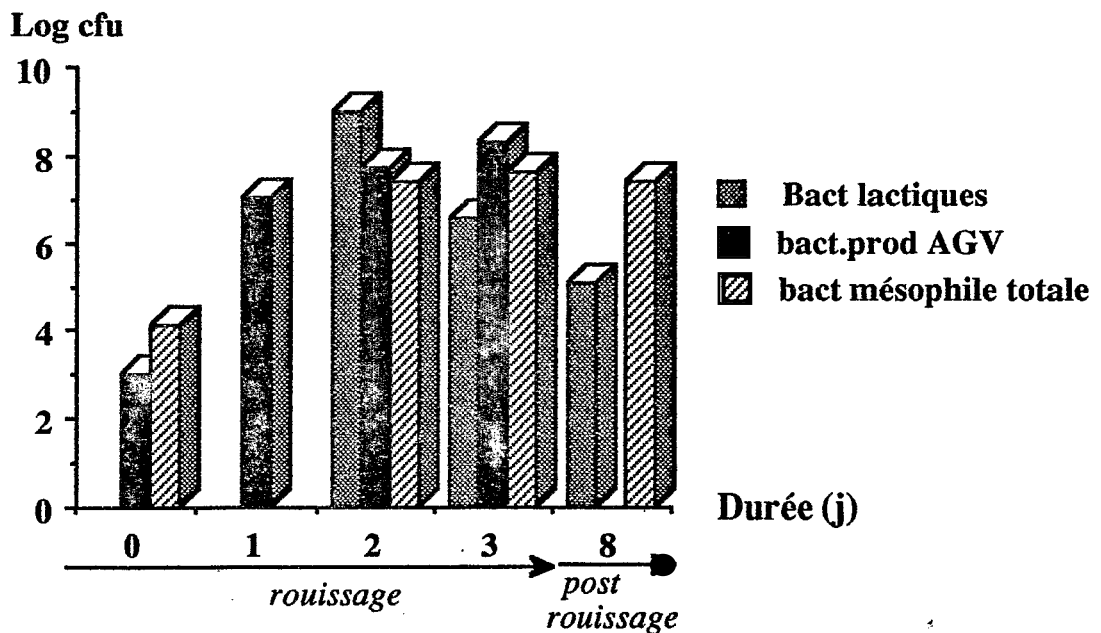


Fig 9 : Evolution de la microflore au cours du rouissage

Figure 10 : Viscosité en fonction de la concentration de bouillies Manioc - Soja

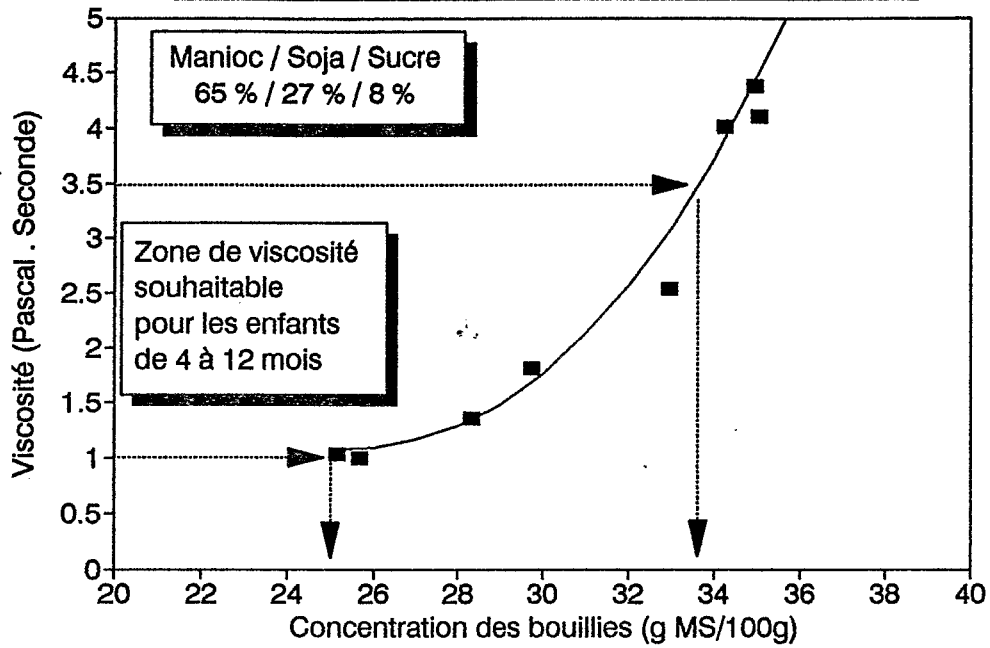
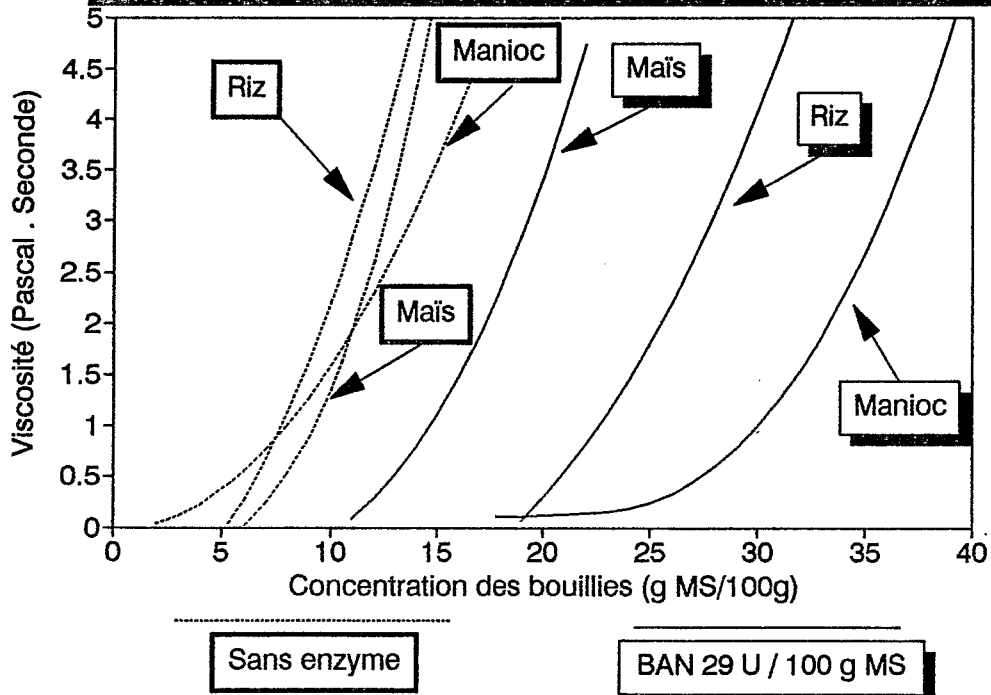
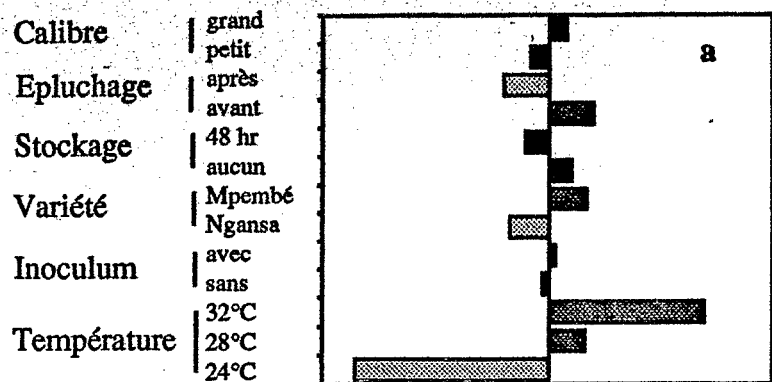
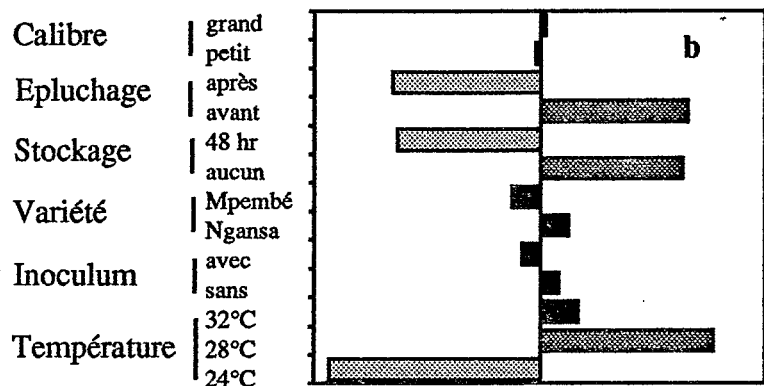


Figure 11: Influence de l'addition d'amylases industrielles sur la viscosité de différentes bouillies

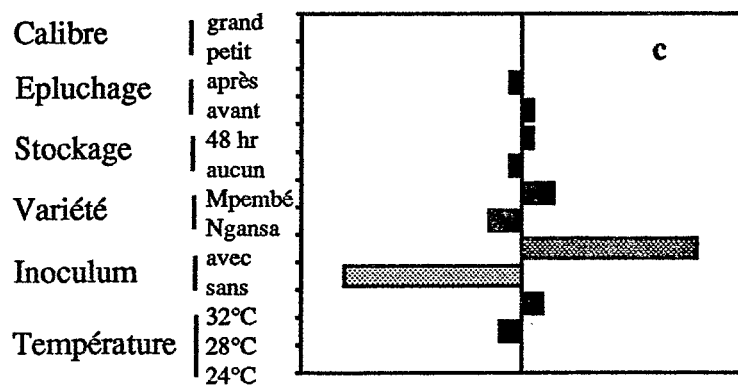




→
augmentation de la vitesse de rouissage



→
meilleures qualités organoleptiques



→
meilleure détoxification

Figure 12 : Influence relative des conditions de rouissage sur la vitesse de fermentation, la qualité des produits finis et la détoxification des racines.