

N° d'enregistrement
au C.N.R.S.
A.O. 8585

THESE DE DOCTORAT D'ETAT ES SCIENCES

présentée

A L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET
TECHNIQUES DU LANGUEDOC

par

Jean Claude FAVIER

pour obtenir

le grade de Docteur Es-Sciences

Sujet de la Thèse : Valeur alimentaire de deux aliments de base
africains : le manioc et le sorgho.

Soutenue le 25 juin 1973 devant la Commission d'Examen

MM.	KAHANE	Président
	BESANÇON	Examineurs
	CHEFTEL	
	CROUZET	

Ce travail a été effectué au Cameroun dans le cadre de la Section de Nutrition de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

A mes parents,

A ma femme.

AVANT-PROPOS

Il m'est agréable de trouver ici l'occasion d'exprimer ma profonde et sincère gratitude à Monsieur Raymond JACQUOT, Directeur du Centre de Recherches sur la Nutrition du CNRS. Je lui dois de m'avoir initié aux Sciences de la Nutrition, de m'avoir guidé dans ma carrière de chercheur avec une bienveillance paternelle et de m'avoir aidé et encouragé sans relâche à mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier vivement Monsieur le Professeur E. KAHANE pour la confiance qu'il m'a témoignée et pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de cette thèse.

Mes remerciements vont également à MM. les Professeurs BESANCON, CHEFTEL et CROUZET qui ont bien voulu juger ce travail et faire partie du jury.

Je tiens aussi à remercier pour leurs encouragements et leurs conseils Monsieur A. GUILBOT, Directeur de la Station de Biochimie et Physico-chimie des céréales de l'INRA, le Docteur H. DUPIN, Professeur à l'Ecole Nationale de Santé Publique et Monsieur A. FRANCOIS, Président du Comité Technique de Nutrition de l'ORSTOM.

Ma reconnaissance s'adresse également à mes collègues de la Section Nutrition de l'ORSTOM, en particulier S. CHEVASSUS-AGNES, G. GALLON et A. JOSEPH qui m'ont aidé à réaliser ce travail tant "sur le terrain" qu'au laboratoire et C. CAVELIER qui m'a conseillé lors de sa rédaction.

Je remercie enfin les techniciens et les secrétaires de notre laboratoire ou du Centre ORSTOM de Yaoundé qui, avec dévouement et bonne volonté, ont participé à l'accomplissement de ce travail, ainsi que tous ceux qui, à des titres divers, ont contribué à son achèvement.

S O M M A I R E

	Pages
I. INTRODUCTION	1
II. TRAVAUX ANTERIEURS	5
III. METHODES ET TECHNIQUES	9
IV. LE MANIOC	
- ASPECTS BOTANIQUES ET AGRONOMIQUES	25
- COMPOSITION CHIMIQUE ET VALEUR NUTRITIVE	28
- LES TRAITEMENTS TECHNOLOGIQUES DE LA RACINE DE MANIOC. LEUR INFLUENCE SUR LA VALEUR NUTRITIVE	30
1 Epluchage.	32
2 Rouissage.	34
3 Broyage.	37
4 Séchage, préparation de farines	39
5 Bâton de Manioc.	44
6 Le gari.	46
7 Cuisson à l'eau et préparation de medua-me-mbong	50
- DISCUSSION DES RESULTATS	52
V. LE SORGHO	
- ASPECTS BOTANIQUES ET AGRONOMIQUES	61
- COMPOSITION CHIMIQUE ET VALEUR NUTRITIONNELLE.	64
- LES TRAITEMENTS TECHNOLOGIQUES DU SORGHO. LEUR INFLUENCE SUR LA VALEUR NUTRITIONNELLE	66
1 Décorticage.	67
2 Broyage.	69
3 Préparation du kourou.	71
4 Séchage au soleil.	72
5 Cuisson.	73
- DISCUSSION DES RESULTATS	74
VI. DIGESTIBILITE "IN VITRO" DE L'AMIDON	79
VII. CONCLUSIONS.	81
VIII. BIBLIOGRAPHIE.	84

I. I N T R O D U C T I O N

Planifier un programme alimentaire ou réaliser une enquête nutritionnelle nécessitent la connaissance des aliments et de leur valeur nutritionnelle. Mais les tables de composition des aliments africains font référence le plus souvent aux produits bruts tels que récoltés ou achetés au marché alors que les aliments végétaux subissent, avant leur consommation, des traitements physiques (décorticage, mouture, trempage, séchage, cuisson...) ou biochimiques (fermentation...) qui modifient leur composition chimique et leur valeur nutritionnelle. On risquerait donc de commettre des erreurs d'appréciation très importantes si, pour calculer un programme alimentaire ou au cours d'une enquête de consommation, on estimait les besoins per capita des divers aliments et la valeur nutritionnelle de la ration en se basant sur les tables.

C'est pourquoi nous nous sommes préoccupés de savoir quelles sont les conséquences des traitements culinaires et technologiques sur la valeur alimentaire des aliments de base des populations africaines, en particulier au Cameroun.

Outre son intérêt pour le calcul des programmes alimentaires et la réalisation d'enquêtes nutritionnelles, une telle étude a d'autres applications. Dans le domaine de l'économie ménagère et de l'éducation nutritionnelle, une meilleure connaissance de la valeur nutritive des diverses formes de consommation et de l'influence de leurs modes de préparation peut conduire à proscrire certaines d'entre elles, à en recommander d'autres et à préconiser des perfectionnements dans les procédés culinaires.

Eventuellement, cette connaissance peut aussi déboucher sur des essais de transposition des techniques traditionnelles, avec ou sans amélioration, à la préparation industrielle d'aliments similaires à ceux de la tradition.

Les aliments de base que nous avons choisi d'étudier sont le manioc et le sorgho, en raison de la variété des transformations technologiques traditionnelles auxquelles ils donnent lieu et de l'importance du rôle qu'ils jouent dans l'alimentation camerounaise et africaine.

Le manioc occupe en effet une place primordiale dans la ration de nombreuses populations des zones guinéenne et équatoriale. Le CAMEROUN en a produit 930 000 tonnes en 1971, soit 440 g par personne et par jour (le produit est consommé en totalité à l'intérieur des frontières) ; les pays voisins et les principaux pays africains producteurs en ont produit de 167 000 tonnes pour le GABON à 10 millions de tonnes pour le ZAIRE (tableau 1).

Cette importance se confirme à l'examen des résultats d'enquêtes de consommation alimentaire (tableau 2). Ainsi, PERISSE (1962) note que, dans le sud du TOGO, le manioc figure au menu de 84 à 98 p. 100 des repas, assurant selon les saisons de 40 à 60 p. 100 de

T A B L E A U 1

STATISTIQUES DE PRODUCTION DU MANIOC EN 1971
 (pays voisins du Cameroun et principaux producteurs)
 d'après l'Annuaire de la Production de la FAO,
 vol. 25, édition 1971.

Pays	Milliers de tonnes
Cameroun	930
République Centrafricaine	1 000
Congo	450
Dahomey	736
Gabon	167
Côte-d'Ivoire	540
Madagascar	1 218
Nigéria	7 300
Togo	1 170
Zaïre	10 000
Total Afrique	37 157

T A B L E A U 2

CONSUMATION JOURNALIERE DE MANIOC PER CAPITA

	Racine de manioc (g)	Pain de manioc (g) (*)	Gari (g)	Apport calo- rique (en % de la ration)
<u>Congo-Brazzaville</u> (BASCOULERGUE et BERGOT 1959)				
Zone forestière { Nord	60	40	-	6
{ Sud	100	800	-	54
Zone de savane	100	700	-	61
Zone côtière	310	330		46
<u>Sud-Togo</u> (PERISSE 1962)				
Ethnie Ewée	396	-	12	30
Ethnie Ouatchi	26	-	286	50
<u>Cameroun</u>				
	(**)			
Zone forestière cacaoyère (GABAIX 1966)	493	-	-	24
Est (forêt et savane)	991	-	-	56
Est (Savane seule)	1 727	-	-	88
Douala (zone urbaine (MASSEYEFF et al.))	97 à 1 079	-	-	6 à 68
Adamaoua (zone de savane) (WINTER 1964)	184 à 1 107	-	-	10 à 64
<u>Madagascar</u> (FRANCOIS 1962)				
	248	-	-	13

(*) Pain de manioc ou chikouangue : pâte de manioc cuite à l'étuvée (voir page 44).

(**) Les valeurs données ici correspondent au poids total de racine fraîche qui, après transformation, est consommée sous différentes formes.

l'apport énergétique de la ration. Au CONGO-BRAZZAVILLE, selon BASCOULERGUE et BERGOT (1959), il fournirait 1 000 à 1 500 calories journalières par capita et ne verrait sa primauté contestée que dans certaines régions de forêt où il est concurrencé par la banane plantain. Il en est de même dans la moitié Sud du CAMEROUN où il est, de loin, l'aliment de base le plus consommé. Il y fournit à lui seul parfois 88 p. 100 des calories de la ration, sa consommation record étant de 1 727 g (✱) par jour et par personne dans les savanes de l'Est où l'absence de mil et la rareté de la banane plantain lui laissent la suprématie absolue (MASSEYEFF et al. 1958, 1961).

Le manioc est, de même, le principal aliment de base pour de nombreuses autres populations africaines notamment en NIGERIA (OKE 1968), au ZAIRE et à MADAGASCAR (FRANCOIS).

Le rôle du sorgho est également primordial pour les populations du Nord-Cameroun et plus généralement de la zone soudanienne, là où les chutes de pluies annuelles sont comprises entre 400 et 1 300 mm.

(✱) Racine entière telle qu'achetée, avant mondage, épluchage et nettoyage.

On note une consommation moyenne de 450 g par jour et par personne pour l'ensemble du Nord-Cameroun (Direction de la Statistique du Cameroun), des populations atteignant même à certaines saisons 670 g et en moyenne sur l'année entière 566 g (MASSEYEFF et al., 1959).

La production de mil du Nord-Cameroun, mil pénicillaire inclus (⌘), s'établit d'ailleurs selon les années entre 275 000 et 550 000 tonnes pour une population de 1 600 000 habitants ce qui correspond à une quantité quotidienne de 470 à 940 g par tête. Les productions des pays de l'Afrique de l'Ouest vont de 650 000 tonnes pour le SENEGAL à 6 300 000 tonnes pour le NIGERIA soit, par habitant et par jour, de 255 g à 820 g, mil pénicillaire inclus (tableau 3).

(⌘) Il ne nous a pas été possible de trouver des statistiques concernant le seul sorgho.

T A B L E A U 3

STATISTIQUES DE PRODUCTION DES MILS ET SORGHOS EN 1971

(principaux pays africains producteurs)

d'après l'Annuaire de la Production de la FAO, vol. 25

édition 1971.

Milliers de tonnes

Pays	Sorghos	Mils (pennisetum)	Total	Moyenne par habitant/jour en grammes
Nord-Cameroun	-	-	426	730
Haute Volta	576	397	973	510
Mali	-	-	900	500
Niger	300	900	1 200	820
Nigéria	3 500	2 800	6 300	255
Sénégal	-	-	650	465
Tchad	-	-	715	550
Total Afrique	8 716	5 770	14 486	-

II. TRAVAUX ANTERIEURS

JONES en 1959, puis JOHNSON et RAYMOND en 1965 ont analysé les diverses études portant sur les modes de préparation du manioc en usage en Afrique et sur la composition chimique du produit brut et des dérivés résultant de sa transformation.

Parmi les travaux les plus récents, ceux de BARRIOS et BRESSANI (1967) déterminent la proportion de déchets à l'épluchage et donnent la composition de la racine entière, des épluchures et de la racine épluchée en eau, protides, extrait éthéré, glucides, fibres brutes, cendres, calcium, phosphore et fer. Ceux de BIGWOOD et al. (1952), CLOSE et al. (1953) et ADRIAENS (1954) traitent de l'influence du rouissage et de la cuisson sur la teneur en matière sèche, glucides, cellulose, cendres, lipides, et diverses formes d'azote. ASENJO et al. (1952), LE BERRE et al. (1969) ainsi que OKE (1966 a) déterminent les diminutions du taux de vitamine C au cours de la cuisson et de la préparation de farine et de gari (sorte de semoule). Ce dernier auteur (1965, 1966 b, 1968, 1970) décrit les divers procédés de transformation utilisés au Nigéria et donne la composition des dérivés obtenus en protéines, lipides, glucides assimilables, cellulose, cendres, principaux éléments minéraux et oligoéléments, ainsi qu'en acide oxalique, phosphore phytique et acide cyanhydrique. HEGARTHY et WADSWORTH (1968) étudient l'augmentation de la teneur en fer après broyage au moulin ou rapage à la main.

VIGNOLI et CRISTAU (1950) détaillent la préparation du gari et dosent dans le produit fini cendres, fer, cellulose et glucides facilement hydrolysables tandis que PERISSE et al. (1956), décrivant également la fabrication du gari au Togo, comparent sa digestibilité "in vivo" et "in vitro" à celles de la fécule pure et de farines de manioc.

Enfin plusieurs tables de composition des aliments à l'usage, notamment, du Cameroun (BERGERET 1957, PELE 1966), du Togo (PERISSE 1957), de l'Ouest Africain (TOURY 1967) ou de l'ensemble des pays tropicaux (PLATT, 1945) donnent également la teneur du manioc et de certains de ses dérivés en principes nutritifs les plus impor-

tants. Les tables de composition des aliments à l'usage de l'Amérique Latine (WOOT-TSUEN 1961) et de l'Afrique (WOOT-TSUEN 1970) ont repris l'ensemble de ces travaux et ont présenté leurs résultats sous forme de moyennes (tableau 4).

Mais si toutes ces publications étudient la composition du manioc et de ses dérivés avant et après traitement technologique, aucune, à notre connaissance, n'essaie d'évaluer la perte totale (ou le gain) de chaque nutriment au cours d'une opération de transformation donnée. C'est ce que nous nous sommes efforcés de faire dans ce travail où nous étudions les transformations du manioc en farines, bâton, "gari", manioc bouilli et manioc bouilli lavé.

En raison de leur très large utilisation dans le monde, aussi bien en alimentation humaine qu'en alimentation animale et dans l'industrie, la valeur nutritionnelle des sorghos a fait l'objet d'un grand nombre de travaux. La possibilité d'obtenir des variétés hybrides à fort rendement, résistant bien aux diverses agressions et riches en protéines mieux équilibrées, suscite à l'heure actuelle une grande activité de recherches dans les pays tropicaux comme dans les pays tempérés.

Une mise au point des travaux antérieurs à 1963 sur la composition chimique et la valeur nutritionnelle des sorghos a été faite par ADRIAN et JACQUOT (1964).

Parmi les travaux les plus récents, citons ceux, en Inde, de VIRUPAKSHA et SASTRY (1968), DEOSTHALE et al. (1970), TRIPATHI et al. (1971), AUSTIN et al. (1972), VIRAKTAMATH et al. (1972); en Rhodésie, de GRAHAM (1967); en Nigeria, de HAIKERWAL et MATHIESON (1971), ainsi que de WEBSTER (1967) et en Ouganda de BHEDON (1961). Nous-mêmes étudions la composition chimique des diverses espèces et variétés cultivées au Cameroun.

Notons également les études de STAFIJCUK (1966) et de SELJAMETOV et MASSINO (1970) en URSS. Mais les travaux les plus nombreux émanent des Etats-Unis d'Amérique. Citons en particulier ceux de BRESSANI et RIOS (1962), DEYOE et al. (1965), WORKER et RUCKMAN (1968), PICKETT et al. (1968, 1970), ROONEY et al. (1968, 1970), SHOUP et al. (1969, 1970), NAWAR et al. (1970), NORRIS et ROONEY (1970), ELLIOT et Mc PHERSON (1971), TWEEDY et al. (1971), BREUER et DOHM (1972), AXTELL et al. (1972), PUSHPAMMA et al. (1972). L'association des producteurs de sorgho-grain, siégeant à AMARILLO au Texas et le Département d'Agronomie de l'Université PURDUE (LAFAYETTE, Indiana) publient périodiquement des rapports faisant le point des plus récentes recherches sur le sorgho, notamment sur sa valeur nutritionnelle.

Les tables de composition des aliments, précédemment citées, donnent également les valeurs moyennes et extrêmes des différentes espèces ou variétés et de certains de leurs dérivés consommés dans les pays concernés. Citons enfin le travail de PINTA et BUSSON (1963) sur la composition des sorghos en éléments minéraux.

Par contre, les études sur la technologie traditionnelle du sorgho en Afrique et son influence sur la valeur nutritionnelle sont très peu nombreuses. PALES en 1954 a décrit les divers procédés de transformation et recettes culinaires en usage dans l'Ouest de l'Afrique, mais sans aucune indication de composition chimique. WILLIAMSON en 1955 a effectué le même travail au Nyassaland (actuellement Malawi), sans plus de données analytiques. ADRIAN (1954) a donné la composition de certains dérivés du sorgho (sorgho décortiqué, couscous) et du pennisetum (couscous, bouillie, galette fraîche ou séchée au soleil) au Sénégal. ADRIAN et al., en 1967, ont étudié la mouture traditionnelle de mélanges de sorgho et de pennisetum au Hoggar (10 à 18 % de sorgho) et donné la teneur

des dérivés obtenus en protéines, acides aminés, lipides, cendres, amidon , indigestible glucidique, calcium, phosphore, et principales vitamines du groupe B. Enfin CARR (1961) en Rhodésie a réalisé une étude similaire sur le sorgho.

Par ailleurs plusieurs études ont été effectuées sur la transformation du sorgho en boissons alcooliques notamment celles de OTELE (1959) en République Centrafricaine, de PERISSE et al. (1959) au Togo, de AUCAMP et al. (1961) ainsi que de NOVELIE (1963, 1966, 1968) en Afrique du Sud et de CHEVASSUS-AGNES et al. au Cameroun.

III. METHODES ET TECHNIQUES

L'aptitude d'un aliment à satisfaire les besoins de l'organisme dépend d'une part de la capacité digestive et de l'état physiologique (ou pathologique) de l'organisme utilisateur, d'autre part des propriétés intrinsèques de l'aliment : sa structure, sa composition chimique qui déterminent sa digestibilité et son utilisation métabolique.

C'est l'ensemble de ces propriétés intrinsèques que nous désignons sous le terme de valeur nutritionnelle.

La meilleure façon d'étudier la valeur nutritionnelle d'un aliment est de déterminer aussi complètement que possible sa composition en principes nutritifs (nutriments) et de tester "in vivo", c'est-à-dire sur l'animal ou mieux sur l'homme, la digestibilité et l'utilisation métabolique de ces nutriments.

Les moyens limités dont nous disposons à Yaoundé ne nous ayant pas permis de procéder à des mesures "in vivo", nous avons dû nous contenter d'une première approche de la valeur nutritionnelle par la détermination de la composition en certains principes chimiques importants et par l'étude de la digestibilité "in vitro" de l'amidon. Malgré ces limites, la connaissance de la composition non seulement en nutriments mais aussi en certaines substances dites "anti-nutritives", qui diminuent la digestibilité des premiers, permet de préciser davantage la valeur nutritionnelle.

Le choix des principes nutritifs sur lesquels ont porté nos déterminations a été décidé en fonction de l'importance de leur rôle physiologique, de l'éventualité de leur carence dans les régimes alimentaires africains et des possibilités limitées de notre laboratoire.

Le rôle des protides est primordial pour l'organisme, notamment dans l'élaboration, la croissance et l'entretien des tissus ainsi que dans de multiples métabolismes. De tous les principes nutritifs, ils sont sans doute ceux qui ont suscité ou suscitent encore les recherches les plus nombreuses sur les besoins des diverses catégories d'individus et les effets de leurs quantité et qualité sur la santé et le comportement. Bien que les besoins soient difficiles à évaluer et que les estimations varient dans de très larges limites selon les auteurs, il semble bien établi que de nombreuses populations africaines, en tout cas en leur sein certaines catégories de consommateurs dits vulnérables (enfants, femmes enceintes ou allaitantes), ne disposent pas de protéines en quantité et en qualité souhaitables (O.M.S. 1965, PERISSE 1966).

Les lipides et les sels minéraux totaux (cendres) permettent, avec les protides, d'évaluer les glucides par différence et la valeur énergétique métabolisable.

Le calcium est pris en considération par la plupart des enquêtes nutritionnelles réalisées en Afrique. Sauf dans les régions où l'on consomme des produits laitiers ou des poissons entiers, l'apport en calcium est généralement faible, inférieur à 400 mg par jour dans 24 des 61 enquêtes analysées par PERISSE (1966) et l'on note parfois des signes de rachitisme, en Haute-Volta (RAOULT) et Angola (STRANGWAY 1956) notamment. C'est pourquoi nous avons dosé cet élément minéral bien que l'organisme humain possède de remarquables facultés d'adaptation à de faibles apports calciques et qu'on est "maintenant certain que l'apparition de rachitisme et de caries dentaires est en grande partie indépendante de l'apport de calcium" (FAO 1962).

Nous avons également dosé le phosphore et calculé le rapport phospho-calcique en raison des liens étroits entre les métabolismes de ces deux éléments et bien que le groupe d'experts FAO/OMS sur les

besoins en Calcium ait estimé, sur la base des travaux de MALM (1953), que "les variations du rapport Ca/P dans les régimes alimentaires habituels n'ont aucun effet pratique sur la nutrition humaine"(FAO 1962).

Malgré des apports de fer généralement élevés, la carence martiale semble assez fréquente en Afrique : 6 à 17 p. 100 des hommes, 15 à 50 p. 100 des femmes sont affectés. Chez les enfants de moins de 15 ans le taux varie entre 30 et 60 p. 100 et des chiffres supérieurs ont été signalés au-dessous de 7 ans (PERISSE 1966). Les parasitoses, notamment l'ankylostomiase, une digestibilité et une disponibilité insuffisantes ne sont sans doute pas étrangères à cet accroissement des besoins. Nous avons donc mis le fer sur la liste des nutriments étudiés dans ce travail.

Les signes d'avitaminose B₁ sont exceptionnels dans les zones rurales. Quelques cas de béribéri ont été signalés dans des collectivités urbaines (LIMBOS 1954, PERISSE 1966) et chez de gros consommateurs de vin de palme (WALTERS 1952) ayant une ration à base de riz. De même, sauf dans les zones d'Afrique de l'Est et du Sud où le maïs constitue l'aliment de base (BAKER JONES 1952, WATERLOW 1947, GILLMAN 1947, MUNOZ 1962, STRANGWAY 1956), les cas de pellagre sont rares. Il n'est pas impossible cependant que des carences saisonnières se manifestent avec certains régimes mixtes féculents/maïs au cours de la période qui suit la récolte de la céréale et chez les enfants sevrés avec des bouillies de maïs (PERISSE 1966). Par ailleurs, GOPALAN et SKRIKANTIA (1960) signalent la fréquence de la pellagre en Inde chez les consommateurs de sorgho. De fait, bien que les signes cliniques d'avitaminose B₁ et PP soient assez rares, **les niveaux** de consommation en Afrique sont fréquemment à la limite des allocations recommandées. C'est pourquoi il est important de s'assurer de la teneur des aliments en ces deux vitamines dont le rôle et les risques de carence sont d'autant plus importants que le régime est plus monotone et à prédominance glucidique.

D'après les études de PERISSE (1966) à partir de l'ensemble des enquêtes de consommation alimentaire réalisées en Afrique, deux enquêtes seulement sur cinquante-huit atteignent ou approchent le

niveau des allocations recommandées de riboflavine. Quarante-cinq de ces enquêtes révèlent des niveaux de consommation inférieurs ou égaux à 0,8 mg par jour alors que le taux au-dessous duquel apparaissent des signes cliniques de carence se situe aux environs de 0,7-0,8 mg (OMS 1967). On peut donc penser que la pénurie de vitamine B₂ est générale en Afrique, ce que confirment les enquêtes cliniques du Sénégal (RAOULT 1955, BOUTILLIER 1962), de Nigeria (NICOL 1949), du Niger (RAOULT 1961) et de République Centrafricaine (CRESTA 1961) qui font état de signes d'ariboflavinose.

Sur la base des allocations d'acide ascorbique recommandées par la FAO et l'OMS (FAO 1970) - 30 mg par jour pour l'adulte - plusieurs enquêtes de consommation relèvent des carences d'apport dans les régions sèches à régime alimentaire céréalier, notamment le Nord-Cameroun (MASSEYEFF, 1959), la Gambie, le Mali, l'Ethiopie, la Somalie et certaines zones du Sénégal et de Nigéria (PERISSE 1966). Ces observations sont d'ailleurs vérifiées par les enquêtes cliniques du Nord-Cameroun (BASCOULERGUE 1963) et d'Ethiopie (PERISSE 1966) qui font état d'avitaminoses sévères en saison sèche. En pays humides où le régime alimentaire est à base de racines, tubercules ou banane plantain et où les feuilles, fruits et légumes frais sont abondants, les apports sont toujours supérieurs aux allocations recommandées. Il convient cependant de noter les travaux d'ANDRE et GANZIN (1954). Ces auteurs montrent que, dans certains régimes de zones forestières, une forte consommation d'huile de palme provoque une hypercarotinémié entraînant une élimination urinaire massive de vitamine C et un épuisement des réserves d'acide ascorbique d'où s'ensuivent des gingivites. Cette observation a été confirmée depuis par ROYER (1958, rapporté par PERISSE).

Il était donc important dans notre travail de prendre la riboflavine et l'acide ascorbique en considération.

Certes, pour juger les aliments et les techniques de leurs transformations avec plus de pertinence sur le plan de la valeur nutritionnelle, il aurait été intéressant de disposer d'informations sur un plus grand nombre de nutriments. C'est ainsi que la détermination de la composition en acides aminés aurait permis d'apprécier, au moins partiellement, la qualité des protéines, notion qui aurait complété utilement les renseignements sur leur quantité. Des dosages de fer assimilable, de vitamine B₁₂ et d'acide folique auraient permis de mieux préciser l'efficacité des aliments contre les anémies nutritionnelles.

Mais nos moyens en personnel et en matériel et le temps limité dont nous disposions ne nous ont pas permis d'aborder simultanément un aussi grand nombre de dosages.

Pour les mêmes raisons, le phosphore phytique et l'indigestible glucidique sont les seuls facteurs anti-nutritifs ou toxiques que nous ayons étudiés bien qu'il eut été intéressant de connaître les taux et l'évolution de l'acide oxalique, des glucosides cyanogénétiques et de rechercher la présence de mycotoxines.

On sait, depuis BRUCE et CALLOW (1934) et surtout après les travaux de HARRISON et MELLANBY (1939), Mc CANCE et WIDDOWSON (1942, 1943, WIDDOWSON 1942), que le phosphore phytique insolubilise certains métaux, particulièrement le calcium et le fer, à l'état de phytates, diminuant ainsi leur disponibilité pour l'organisme. Depuis, de nombreuses expériences conduites sur l'animal ou sur l'homme, pendant des périodes plus ou moins longues, ont bien montré la diminution de digestibilité et de rétention de ces éléments quand le taux de phosphore phytique de la ration s'élève (MELLANBY 1949, SHARPE 1950, BRONNER 1954, HUSSAIN 1959, TURNBULL 1962). Cependant la plupart de ces expérimentations portaient sur des périodes relativement brèves (quelques mois au maximum) durant lesquelles l'organisme n'avait pas le temps de s'adapter. Or on sait que des personnes

ayant un régime riche en phosphore phytique et pauvre en calcium, ce qui est le cas de nombreuses populations africaines, ne se déminéralisent pas (GONTZEA et al. 1968). WALKER et al. (1946, 1948) ont montré en effet qu'au bout de quelques semaines d'un régime à base de pain bis riche en phosphore phytique les pertes de calcium et de fer diminuent, le bilan se rapproche de l'équilibre puis au bout d'un certain temps devient positif et continue à s'améliorer à mesure que l'utilisation du pain bis se prolonge. Ceci montre que l'organisme est capable de s'adapter à des apports réduits et qu'il est possible même que l'ingestion prolongée de produits riches en phytates entraîne l'apparition d'une phytase dans les sucs digestifs. C'est ainsi que SUBRAHMANNIAN et al. (1955) ont observé sur huit hommes adultes nourris avec un régime à base d'éleusine (*E. coracana*) que 78 à 91 p. 100 du phosphore phytique était hydrolysé, vraisemblablement par des phytases intestinales. WALKER (1951), considérant que l'organisme a la faculté de s'adapter à des rations déséquilibrées, estime donc que la présence d'un excès de phosphore phytique dans la ration ne présente pas d'inconvénient.

Cependant, bien que cette opinion ait quelque chance d'être exacte pour des populations consommant de longue date une majorité d'aliments d'origine végétale, nous avons préféré prendre le phosphore phytique en considération dans notre travail, pensant qu'il était de toute façon souhaitable que sa proportion dans la ration soit la plus réduite possible.

Sous le terme d'indigestible glucidique, GUILLEMET et JACQUOT (1943) englobent des polysaccharides complexes, tels que cellulose, vasculose, lignine... constituant les tissus de soutien des végétaux.

Ces substances pratiquement indigestibles chez les monogastriques faute de cellulase ont cependant un rôle utile, celui de ballast cellulosique favorisant le péristaltisme intestinal et la progression du bol alimentaire. Mais leur présence en trop grande quantité dans la ration a pour effet d'accroître le volume des fèces, la quantité d'azote fécal et de réduire la digestibilité de l'ensemble des nutriments, en particulier des protéines ainsi que l'ont montré de nombreux travaux sur des farines à divers taux d'extraction durant la Seconde Guerre Mondiale : GUILLEMET et al. (1943, 1945), JACQUOT (1946), Mc CANCE et WIDDOWSON (1947). Ces faits ont été confirmés ultérieurement par les recherches de CULLUMBINE (1950) sur le riz, PERISSE et al. (1956) sur le manioc, ADRIAN et al. sur la feuille de baobab (LUNVEN 1960) et la pellicule d'arachide (1966). GOUSSAULT et al. (1972) sur les mils et sorghos. D'où le nom d'agents de désassimilation, d'anti-aliments ou de substances anti-nutritives que l'on donne parfois à ces substances.

Ce rôle négatif dans l'utilisation digestive a été expliqué par plusieurs mécanismes possibles. TREMOLIERES et ERFMAN (1944) notent que les éléments ligno-cellulosiques adsorbent les enzymes digestives et empêchent ainsi leur action. Mc CANCE et WIDDOWSON (1947) invoquent l'accroissement des sécrétions digestives. Certains auteurs, rapportés par JACQUOT et TREMOLIERES (in KAYSER 1963), pensent "que le contenu des cellules végétales n'est pas accessible aux sucs digestifs par suite de la protection exercée par les membranes cellulosiques". Pour d'autres enfin, on doit surtout évoquer l'action stimulante de l'indigestible glucidique sur le péristaltisme intestinal et sa propriété d'accroître le volume de la masse fécale qui provoqueraient une traversée accélérée du tube digestif, d'où une diminution de la durée du contact des substances alimentaires avec les enzymes digestives [MACRAE et al. (1942), HEGSTED et al. (1946), JACQUOT (1957)].

On peut cependant se demander si les régimes des populations africaines constitués en majeure partie d'aliments d'origine végétale n'ont pas fini par sélectionner une flore digestive susceptible de fermenter ou d'hydrolyser l'indigestible glucidique pour le rendre utilisable à des fins énergétiques. Il semble qu'il n'en est rien si l'on en croit les travaux de SUBRAHMANYAN et al. (1955) qui constatent des pertes d'azote fécal très importantes et une faible digestibilité des protéines chez des Indiens consommateurs habituels d'éleusine à forte teneur en indigestible glucidique. C'est pourquoi, nous avons considéré, dans ce travail, le complexe ligno-cellulosique comme un facteur défavorable à l'utilisation optima de la ration.

Mais parmi les facteurs intrinsèques de l'aliment, qui jouent un rôle dans la digestibilité, le taux d'indigestible glucidique n'est pas le seul. L'état physique de l'aliment intervient également. C'est ainsi que la fécule de pomme de terre est peu digestible à l'état cru : on en retrouve une grande quantité dans les fèces ; son coefficient d'utilisation digestive (C.U.D.)^{*} ne dépasse pas 40%. Après cuisson ou après ultra-mouture, il monte à 98 % (JACQUOT 1957). Par ailleurs, si comme dans notre cas le C.U.D. ne peut pas être déterminé par des mesures "in vivo", il est cependant possible d'estimer la facilité et la rapidité avec laquelle l'aliment est digéré : en procédant à la détermination "in vitro" de sa vitesse de dégradation par les enzymes.

C'est pourquoi, l'amidon étant le constituant quantitativement le plus important des aliments que nous avons étudiés, nous avons procédé à la mesure de la vitesse de son hydrolyse enzymatique.

* Le coefficient d'utilisation digestive d'un élément exprime la proportion de cet élément qui est effectivement digérée, c'est-à-dire qui franchit la barrière intestinale. En première approximation, $C.U.D. = \frac{\text{élément ingéré} - \text{élément fécal}}{\text{élément ingéré}} \times 100$

Au cours de notre travail, nous nous sommes donc attachés à :

- 1) définir les caractéristiques biochimiques des produits tels que récoltés ou achetés au marché ;
- 2) suivre exactement les diverses phases des traitements avec pesée des produits obtenus et prise d'échantillons à chacune des étapes ;
- 3) définir les caractéristiques biochimiques de ces échantillons et des produits prêts à être consommés ;
- 4) faire le bilan des pertes et des gains en substances nutritives ou anti-nutritives ;
- 5) dans le cas du manioc, comparer les produits artisanaux à un produit industriel, le tapioca ;
- 6) suivre l'évolution de la vitesse d'hydrolyse enzymatique de l'amidon au cours des transformations technologiques afin de savoir si les différences existant entre amidons de manioc et de sorgho à l'état natif se retrouvent encore dans les produits prêts à être consommés ;
- 7) sur la base des résultats obtenus, porter un jugement, du point de vue nutritionnel, sur la valeur des traitements technologiques et des produits en résultant ; essayer de formuler quelques recommandations à l'intention des consommateurs et de ceux qui préparent leurs aliments ; présenter nos résultats sous une forme utilisable par les enquêteurs et les "économistes de l'alimentation".

TECHNIQUES D'ANALYSES

Eau

Dessiccation à l'étuve à 102-105° C jusqu'à masse constante (36 à 48 h.).

Protides

Dosage de l'azote total selon la méthode de Kjeldahl après minéralisation sulfurique en présence de catalyseur au sélénium. Le coefficient de conversion de l'azote en protides que nous avons adopté est 6,25, coefficient utilisé par la plupart des auteurs dans l'ignorance de coefficients spécifiques pour le manioc et le sorgho.

Lipides

Dessiccation de l'échantillon sous vide à 45° C, broyage puis extraction à l'éther de pétrole (éb. = 40-60° C) pendant 12 h. au Soxhlet. Evaporation de l'éther de pétrole à l'évaporateur rotatif, puis dessiccation du résidu pendant 2 h. à 102-105° C.

Glucides totaux par différence

Soustraction à 100 de la somme eau + protides + lipides + cendres. La connaissance des glucides totaux par différence (englobant l'indigestible glucidique) est nécessaire à l'application des coefficients spécifiques d'Atwater pour le calcul de la valeur énergétique métabolisable.

Indigestible glucidique

Pour GUILLEMET et JACQUOT (1943, JACQUOT 1946), l'insoluble formique est assez bien représentatif de l'indigestible glucidique. L'acide formique bouillant dissout les protéines, l'amidon et les lipides et fournit un résidu représentant, en première approximation, les tissus de soutien des végétaux. Pour ces auteurs (GUILLEMET, JACQUOT, TREMOLIERES et ERFMAN 1945 ; GUILLEMET et HAMEL 1945), il s'agit bien d'indigestible puisque, chez le rat et l'homme, l'insoluble formique des fèces correspond quantitativement à 5 p. 100 près à l'insoluble formique de la ration ingérée. De plus, on est en droit de penser que cet insoluble représente assez bien la totalité des glucides indigestibles, beaucoup mieux en tout cas que la "cellulose brute" habituellement dosée. En effet, toujours selon GUILLEMET et JACQUOT, pour la plupart des aliments des monogastriques qu'ils ont analysés, le total des substances dosées (protides, lipides, cendres, reducteur total, insoluble formique) se situe entre 95 et 100 p. 100 de la matière sèche, dépassant souvent 97 %. Par ailleurs CHARLEY-LERY, FRANCOIS et LEROY (1952) ont bien montré que l'insoluble formique correspondait exactement à la somme "cellulose vraie + lignine".

Mode opératoire

5 g de substance sèche finement broyée sont portés 75 mn au bain-marie bouillant dans 50 ml d'acide formique à 80 p. 100 v/v. Filtration sur entonnoir de Büchner muni d'une double épaisseur de papier filtre sans cendres à filtration rapide préalablement taré ; lavages à l'eau déminéralisée bouillante, puis à l'éthanol, puis à l'éther éthylique. Après séchage d'une nuit à 102-105° C, pesée du résidu duquel on retranchera ultérieurement le poids des cendres.

Calories métabolisables

Application des coefficients spécifiques d'ATWATER, ces coefficients tenant compte de la digestibilité propre de chaque type d'aliment. En fait, des coefficients spécifiques n'ont pas été déterminés pour tous les aliments. Quand l'un d'eux n'a pas fait l'objet de détermination particulière, on doit adopter les coefficients obtenus sur d'autres aliments similaires. C'est ce que nous avons fait en empruntant les valeurs utilisées par WOOT-TSUEN WU LEUNG (1970).

	Protéines Cal/g	Lipides Cal/g	Glucides totaux par différence Cal/g
grains entiers de céréales (autres que maïs, avoine, riz, blé, seigle).....	3,59	8,37	3,78
céréales blutées (autres que maïs, avoine, riz, blé, seigle)..	3,87	8,37	4,12
son (de froment, dans l'ignorance de coefficient pour les autres céréales).....	1,82	8,37	2,35
racines et tubercules.....	2,78	8,37	4,03

Cendres

Incinération pendant 6 à 8 heures à 530-540° C.

Calcium

Cas du manioc : sur une solution des cendres dans HCl 1,2 N après insolubilisation de la silice par chauffage à sec en présence de HCl, dosage complexométrique (acide éthylène-diamine-tétracétique en présence d'indicateur de PATTON et RIEDER [acide (hydroxy-2 sulfo-4 naphtylazo-1)-1 hydroxy-2 naphthoïque-3]) qui vire du rouge en présence de l'ion Ca^{++} au bleu en son absence (TRONCHET 1958).

Cas du sorgho : dosage par photométrie de flamme sur une solution des cendres dans l'acide nitrique à 1 %, après insolubilisation de la silice.

Phosphore total

Dosage colorimétrique à 450 nm du complexe jaune de phospho-vanadomolybdate d'ammonium :

- soit sur la liqueur de minéralisation sulfurique ramenée à pH légèrement acide, dans le cas du manioc (technique de MISSON adaptée par STUFFINS (1967) ;
- soit sur la solution nitrique des cendres après insolubilisation de la silice et hydrolyse des pyrophosphates et métaphosphates, dans le cas du sorgho.

Phosphore phytique

Lecture au spectrophotomètre à 520 nm de la diminution de coloration rouge d'un excès de sulfocyanure ferrique $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ en présence de phosphore phytique qui précipite une partie du Fe^{3+} . Dans certaines conditions de pH et de concentration des réactifs, la diminution de coloration est proportionnelle à la concentration en phosphore phytique [technique de HOLT (1955)].

Fer

Sur une solution chlorhydrique des cendres et après réduction de Fe^{3+} en Fe^{2+} par l'hydroquinone, dosage au spectrophotomètre à 492 nm du complexe rose-orangé formé par l'orthophénantroline et le Fe^{2+} à pH 3,5.

Vitamines du groupe B

Dosages microbiologiques selon les techniques de :

- DEIBEL, EVANS et NIVEN (1957) avec *Lactobacillus viridescens* pour la thiamine.
- SNELL et STRONG (1939) avec *Lactobacillus casei* pour la riboflavine.
- SNELL et WRIGHT (1941) avec *Lactobacillus arabinosus* pour la niacine.

Acide ascorbique total

Après oxydation en acide déhydroascorbique en présence de noir Norit, dosage colorimétrique à 515 nm, en milieu sulfurique, du dérivé formé avec la 2-4 dinitrophénylhydrazine.

Acidité totale

Extraction de l'acidité par agitation dans l'alcool à 50 p. 100 v/v pendant 2 h., et après filtration, titrage par NaOH 0,05 N en présence de phénolphtaléine.

Vitesse d'hydrolyse enzymatique de l'amidon

La vitesse de la dégradation enzymatique de l'amidon est déterminée par mesure de la quantité de sucres réducteurs ou alcoolosolubles formés en fonction du temps.

Afin de disposer d'une enzyme d'activité constante nous avons choisi d'utiliser l'alpha-amylase d'origine bactérienne préparée par N.B.C. plutôt qu'un extrait de malt ou une dilution de salive. Par ailleurs l'alpha-amylolyse nous a paru mieux refléter ce qui se passe dans l'appareil digestif. En effet, l'alpha-amylase se trouve dans le règne animal en particulier dans la salive et le suc pancréatique. De plus, elle a la possibilité de s'attaquer au grain d'amidon cru et intact alors que la bêta-amylase se rencontre essentiellement chez les végétaux et ne peut agir que sur le grain d'amidon ayant déjà subi une lésion.

Mode opératoire

La technique utilisée est celle qui a été mise au point à la Station de Biochimie et Physico-chimie des Céréales à MASSY (MERCIER 1968).

Le produit amylicé est broyé pour traverser un tamis à mailles de 0,4 mm. Il est mis ensuite en suspension dans du tampon phosphate à pH = 7,0 contenant 1/10 000 de mercurothiolate de sodium puis porté à la température de $37^{\circ} \text{C} \pm 0,2$. La prise d'essai de produit amylicé est telle que la suspension contienne 2,5 p. 100 d'amidon. On ajoute 3 p. 100 d'alpha-amylase par rapport à l'amidon au temps 0. Des prélèvements sont effectués en fonction du temps et la réaction enzymatique est bloquée soit par défécation au ferrocyanure de zinc (cas du manioc) soit par introduction de la prise d'essai dans cinq fois son volume d'alcool à 95° GL contenant 1,5 p. 100 d'acide acétique (ce qui donne un titre alcoolique final de 80° GL).

Les sucres réducteurs du filtrat après défécation sont déterminés par la méthode de HAGEDORN et JENSEN modifiée par ISSEKUTZ-BOTH (BRUNEL 1949), les sucres dissous dans l'alcool à 80° GL sont dosés par la méthode à l'antrone (HODGE et HOFREITER 1962).

La quantité de sucres réducteurs ou alcoolosolubles présents à chaque instant et rapportée au gramme d'amidon ou de sucres utilisables initialement présents est portée sur graphique en fonction du temps.

La différence entre les deux méthodes est sensible mais l'ordre de grandeur de la vitesse d'hydrolyse d'un amidon donné reste le même quand on passe de l'une à l'autre (graphique 1).

IV. LE MANIOC

ASPECTS BOTANIKES ET AGRONOMIKES

Bien que nombre d'auteurs fassent mention de diverses épithètes (Manihot utilissima, M. dulcis, M. aipi, M. palmata) correspondant à des différences dans la teneur des racines en glucosides cyanogénétiques, il n'existe en fait, d'après les études taxonomiques de CIFFERI (1938, 1942) et de ROGERS (1965), qu'une seule espèce, MANIHOT ESCULENTA CRANTZ.

Par contre, les variétés sont très nombreuses : environ 300. D'un point de vue pratique on les classe en deux groupes suivant leur teneur en manihotoxoside : variétés douces et variétés amères. Cependant, les racines d'une même variété peuvent contenir une plus ou moins grande quantité de glucosides selon les conditions écologiques. Ainsi un manioc doux en plantation normale peut devenir amer si la teneur en eau du sol s'accroît ou si la sécheresse provoque une réduction de croissance. La proportion d'acide cyanhydrique varie également au cours du développement et d'un tissu à l'autre, les racines âgées étant plus chargées que les jeunes et l'écorce interne plus toxique que le cylindre central.

Il n'en demeure pas moins vrai que, malgré les variations qui peuvent se produire dans leur teneur en hétérosides cyanogénétiques, il y a des différences entre les variétés. Les unes en contiennent généralement moins que d'autres, ce qui justifie leur classification sur le plan pratique en variétés douces et variétés amères (OYENUGA et AMAZIGO 1957 ; BARRIOS et BRESSANI 1967 ; SINHA et NAIR 1968 ; DE BRULJN 1971 ; CERIGHELLI).

Manihot esculenta est une plante arbustive pluriannuelle pouvant atteindre, en culture, deux à trois mètres de hauteur et même quatre ou cinq mètres si on ne la récolte pas (figure 1). Les tiges, de deux à trois centimètres de diamètre, portent des feuil-

les alternes, à multiples lobes foliaires, de formes variées et de couleur vert clair à vert foncé, quelquefois pourpre dans le jeune âge. Les fleurs unisexuées, de couleur rose, pourpre, jaunâtre ou verdâtre sont groupées en panicules terminales.

Les racines tuberisées, riches en amidon, disposées en faisceaux, atteignent généralement au moment de la récolte vingt à cinquante centimètres de longueur et cinq à quinze centimètres de diamètre (figure 2). Leur poids est compris entre deux cents grammes et trois kilogrammes. Dans certaines circonstances elles peuvent atteindre un mètre de longueur et peser vingt à vingt-cinq kilogrammes.

La plante peut se développer dans toutes sortes de sols, même très médiocres. La culture traditionnelle demande peu de soins : le sol, simplement défriché, le plus souvent par brûlis, ne reçoit généralement pas d'autre préparation qu'un ameublissement à la houe, quelquefois une disposition en buttes ou en billons. La mise en place, en zone forestière, peut se faire à n'importe quelle époque, mais le plus souvent c'est le début de la saison des pluies qui est choisi. Les boutures, fragments de tiges de 10 à 40 cm de long, sont enfoncées dans le sol, à la main, soit horizontalement soit plus ou moins inclinées. Au cours du développement, le sol est sarclé périodiquement et la terre ramenée en butte autour des tiges.

La récolte peut s'effectuer au bout de 12 mois, surtout si les tubercules sont doux et destinés à être consommés crus ou cuits à l'eau. Le plus souvent, cependant, elle ne se fait qu'après 18 à 24 mois ; les racines, plus dures et lignifiées, ne peuvent servir alors qu'à la préparation de farine, bâtons ou gari. On procède à l'arrachage soit de la totalité d'un pied, soit tubercule par tubercule au fur et à mesure des besoins, car il n'est pas possible de conserver le manioc frais plus de 2 ou 3 jours après la récolte. Cette large tolérance dans le choix de la période d'arrachage constitue un avantage appréciable car les

racines ainsi stockées en terre sont disponibles au moment du besoin, tout au long de l'année, et les populations qui cultivent le manioc sont à l'abri des dures périodes de soudure que connaissent bien des peuples consommateurs de céréales.

Le succès du manioc, originaire d'Amérique du Sud et introduit en Afrique par les navigateurs portugais au XVIe siècle, tient essentiellement à ses qualités exceptionnelles : facilité de culture, résistance aux maladies parasitaires, rendements assurés et relativement élevés, possibilité de conservation dans le sol et disponibilité en toute saison.

COMPOSITION CHIMIQUE ET VALEUR NUTRITIVE

Les première et troisième colonnes du tableau 4 présentent les teneurs moyennes et extrêmes en principes nutritifs des parties comestibles des cinq échantillons de manioc que nous avons achetés sur les marchés de Yaoundé et analysés. La composition chimique de nos racines épluchées est assez représentative de l'ensemble des échantillons analysés en Afrique sauf en ce qui concerne leur taux de calcium particulièrement faible (16 à 21 mg dans nos échantillons au lieu de 25 à 176 mg dans les échantillons d'autres pays africains).

La racine de manioc apparaît comme un aliment essentiellement énergétique. Riche en amidon, peu encombrée d'indigestible glucidique, assez bien pourvue d'acide ascorbique, elle est très pauvre en tous les autres nutriments : lipides, sels minéraux, vitamines et surtout protides. De plus, les acides aminés sont très mal équilibrés (tab. 4 bis) : 25 p. 100 d'entre eux seulement sont essentiels, les acides aminés soufrés puis en second lieu le tryptophane sont les facteurs limitants et le déséquilibre est aggravé par un grand excès d'arginine (BUSSON 1965 ; GALE et CRAWFORD 1969 ; OLSON et al. 1969). Cette indigence du manioc, aussi bien quantitative que qualitative, accentue le déséquilibre des régimes alimentaires dont il est la base et explique les préventions des nutritionnistes à son égard. Si on peut le considérer comme un aliment précieux par ses avantages agronomiques, il ne faut pas perdre de vue qu'une ration, par ailleurs pauvre en protéines, devient gravement déséquilibrée quand la place du manioc y excède celle d'un simple aliment d'appoint énergétique.

Nous considérons l'écorce interne comme partie comestible car WALKER (1951) signale sa consommation au Gabon en période de disette. Par ailleurs, les FANGS, qui peuplent l'extrême-Sud du Cameroun et sont proches des populations du Gabon, la consomment couramment même en période d'abondance. Elle apparaît mieux pourvue de principes nutritifs que le cylindre central surtout si l'on tient compte de sa plus grande richesse en eau. Les teneurs en protéines, fer, thiamine et niacine ne sont pas négligeables. Il faut

T A B L E A U 4
COMPOSITION CHIMIQUE DU MANIOC
(pour 100 g de partie comestible)

	Racine épluchée (notre étude)	Racine épluchée: d'après table de composition FAO *	E c o r c e (notre étude)	Feuilles d'après table de composition FAO *
Nombre d'échantillons analysés	5	5 à 94	4	18 à 40
Calories (g)	165 (158 - 180)	149	114 (110 - 117)	91
Eau (g)	58,3 (54,4 - 62,7)	62,0 (45,9 - 85,3)	70,2 (69,6 - 71,7)	71,7 (64,8 - 88,6)
Protides (g)	0,63 (0,46 - 0,84)	1,2 (0,3 - 2,7)	2,54 (2,1 - 3,5)	7,0 (1,0 - 10,0)
Lipides (g)	0,2 (0,1 - 0,3)	0,2 (0,03 - 0,50)	0,3 (0,2 - 0,3)	1,0 (0,2 - 2,9)
Glucides totaux (g)	40,1 (38,5 - 44,1)	35,7	26,1 (25,3 - 27,0)	18,3
Indigestible glucidique (g)	0,8 (0,8 - 0,8)	1,1 (0,1 - 3,7)	2,4 (2,0 - 2,9)	4,0 (0,5 - 10,0)
Cendres (g)	0,7 (0,6 - 0,9)	0,9 (0,5 - 1,7)	0,9 (0,6 - 1,4)	2,0 (0,7 - 4,5)
Calcium (mg)	17 (16 - 21)	68 (25 - 176)	67 (55 - 82)	303 (34 - 708)
Phosphore total (mg)	51 (30 - 97)	42 (6 - 152)	23 (13 - 31)	119 (27 - 211)
P. phytique / P. total	0,44 ** (0,42 - 0,46)	-	0,80 ***	-
Ca / P	0,34 (0,17 - 0,60)	1,6	2,91 (1,99 - 5,48)	2,5
Fer (mg)	0,6 (0,2 - 0,8)	1,9 (0,3 - 4,2)	5,8 (1,8 - 14,0)	7,6 (0,4 - 8,3)
Thiamine (mg)	0,04 (0,03 - 0,05)	0,04 (0,03 - 0,07)	0,15 (0,04 - 0,28)	0,25 (0,06 - 0,31)
Riboflavine (mg)	0,02 (0,02 - 0,03)	0,05 (0,03 - 0,06)	0,04 (0,04 - 0,04)	0,60 (0,21 - 0,74)
Niacine (mg)	0,67 (0,54 - 0,81)	0,6 (0,6 - 0,7)	1,0 (0,89 - 1,09)	2,4 (1,3 - 2,8)
Acide ascorbique (mg)	25 (21 - 28)	31 (21 - 50)	20 (16 - 25)	311 (60 - 370)

* Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique (WOOT-TSUEN 1970)
** Sur deux échantillons seulement
*** Sur un seul échantillon.

T A B L E A U 4 bis

COMPOSITION DES PROTIDES DU MANIOC EN ACIDES AMINES

(p. 100, sur la base de 16 g d'azote)

	: <u>Racine</u> :	: <u>Feuilles</u> :	: <u>Protides de l'oeuf entier</u>
	:(Selon <u>BUSSON</u> 1965):	:(Selon <u>ROGERS</u> et al.1963):	:(Selon <u>MITCHELL</u> et <u>BLOCK</u>
	:	:échantillons:	in <u>JACQUOT</u> 1957)
	:	:jamaïcains :	brésiliens :
Arginine	14,9	5,3	6,1
Lysine	7,2	7,2	6,3
Méthionine	1,0	1,7	1,7
Cystine	-	1,4	1,0
Tryptophane	-	1,5	2,1
Leucine	2,9	8,9	8,8
Isoleucine	1,8	5,0	4,8
Valine	2,6	5,8	5,6
Thréonine	2,8	4,9	4,7
Histidine	1,7	2,2	2,6
Tyrosine	1,6	4,2	3,9
Phénylalanine	2,1	5,8	5,5

toutefois noter que la quantité relativement élevée d'indigestible glucidique risque de réduire l'utilisation des autres constituants de la ration. Par ailleurs, comme nous le verrons ultérieurement, la préparation spéciale que doit subir l'écorce avant d'être consommée a des répercussions notables sur sa composition.

Nous présentons aussi la composition des feuilles telle qu'elle est donnée par la Table FAO de composition des aliments à l'usage de l'Afrique (WOOT-TSUEN WU LEUNG 1970) en raison de leur large utilisation comme épinards dans toutes les régions d'Afrique productrices de manioc alors qu'elles ne sont pas employées en Amérique Latine (JONES 1959). C'est ainsi que leur consommation journalière per capita atteint 64 g dans l'Est du Cameroun (MASSEYEFF, II, 1958). Les feuilles de manioc apparaissent comme un bon aliment par leur richesse en protides, calcium, sels minéraux totaux et vitamines. Leurs protides sont caractérisés par un fort déficit en méthionine mais ils peuvent être considérés comme bien équilibrés par ailleurs, les autres acides aminés indispensables ne présentant pas de déficit supérieur à 40 p. 100 (BUSSON et BERGERET 1958, EGGUM 1970). La teneur de ces protides en lysine est intéressante puisqu'elle peut atteindre 7 p. 100 selon ROGERS (1959, 1963). Malgré la présence d'un important indigestible glucidique (14 p. 100 par rapport à la matière sèche), les feuilles de manioc ne perturbent pas la digestibilité des rations à base de farines de tubercules auxquelles elles apportent un supplément de protéines, ni celle des rations à base de céréales blutées dont elles améliorent la qualité protidique (ADRIAN et PEYROT 1970). Aucun auteur, à notre connaissance, ne donne la teneur des feuilles en acide oxalique.

LES TRAITEMENTS TECHNOLOGIQUES DE LA RACINE DE MANIOC
LEUR INFLUENCE SUR LA VALEUR NUTRITIVE

Les préparations du manioc sont nombreuses et variées (figure 3). Les plus complexes ont pour but de supprimer son amertume et sa toxicité par élimination du manihotoxoside. Elles mettent en oeuvre l'épluchage et le rejet de l'écorce riche en glucosides, l'immersion prolongée dans l'eau pour dissoudre les substances toxiques, le broyage ou le pulpage pour favoriser leur contact avec les enzymes hydrolysantes, l'exposition à l'air, la dessiccation ou la cuisson pour chasser l'acide cyanhydrique volatil. Mais elles visent également à rendre agréable la consommation du manioc, permettre son stockage et sa commercialisation, améliorer sa digestibilité.

Le manioc doux est quelquefois consommé cru, après simple épluchage, comme une friandise. Plus souvent il est pelé, découpé en gros morceaux et mis à cuire dans l'eau bouillante. On peut alors le consommer immédiatement sous forme de manioc bouilli.

Le manioc bouilli peut aussi être découpé en fragments plus petits, mis ensuite à tremper dans l'eau courante pendant douze à trente six heures : c'est le medua-me-mbong des Ewondos du Centre-Sud du pays. Le medua-me-mbong peut également être préparé à partir de manioc amer. Le lavage prolongé se justifie alors par l'élimination des principes toxiques.

Mais les formes d'utilisation du manioc, doux ou amer, les plus fréquemment rencontrées au Cameroun sont la farine et le bâton. Leur préparation requiert plusieurs opérations (épluchage, rouissage, défibrage, broyage) suivies d'un séchage au soleil ou à

la fumée pour la farine, et d'une cuisson à l'étuvée pour le bâton. Même les racines les plus fibreuses et les plus amères peuvent être utilisées à la préparation de farine ou de bâton.

Enfin, le gari, manioc râpé, fermenté puis séché, est une forme très appréciée dans l'Ouest du Cameroun, en Nigéria, au Togo, et au Dahomey.

Nous allons décrire plus en détail les opérations que ces modes de préparations requièrent et étudier leur influence sur la valeur nutritive.

Les tableaux 5 à 9 bis présentent les résultats des cinq transformations que nous avons observées dans la cuisine camerounaise :

- tableaux 5 - 5 bis, rouissage avec écorce, préparation de farine séchée au soleil ;
- tableaux 6 - 6 bis, rouissage sans écorce, préparation de farine séchée au soleil ;
- tableaux 7 - 7 bis, rouissage sans écorce, préparation de farine fumée-séchée ;
- tableaux 8 - 8 bis, rouissage sans écorce, préparation de bâton ;
- tableaux 9 - 9 bis, préparation de gari.

Les microorganismes qui se développent dans les aliments d'origine végétale étant souvent responsables d'une élévation de l'acidité, nous avons pensé que cette donnée pouvait être un bon indice de l'intensité des fermentations susceptibles de se produire au cours de certains traitements. Effectivement à l'examen de la figure 4, il s'avère que la plupart des dérivés du manioc sont plus ou moins fermentés et ont une acidité nettement supérieure à celle de la racine dont ils sont issus.

T A B L E A U 5

ROUISSAGE DU MANIOC AVEC ECORCE ET PREPARATION DE FARINE SECHEE AU SOLEIL

		Matière sèche		Calories		Protides		Lipides		Glucides totaux		Indigestible glucidique		Cendres	
		Retrouvé p. 100 *		Retrouvé p. 100 *		Retrouvé g p. 100 *		Retrouvé g p. 100 *		Retrouvé g p. 100 *		Retrouvé g p. 100 *		Retrouvé g p. 100 *	
Racine entière	9 000 g	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Racine mondée	8 433 g	3660	100	14500	100	86,7	100	13,3	100	3508	100	91	100	51,8	100
Racine rouie puis épluchée	6 404 g	2902	79	11550	80	52,5	61	8,8	66	2808	80	42	46	32,8	63
Farine séchée au soleil tamisée	3 060 g	2583	71	10250	71	46,2	53	4,9	37	2499	71	30,5	34	32,8	63

* Pourcentage de récupération par rapport à la racine mondée.

T A B L E A U 5 bis

ROUISSAGE DU MANIOC AVEC ECORCE ET PREPARATION DE FARINE SECHEE AU SOLEIL

(vitamines et éléments minéraux)

	Thiamine		Riboflavine		Niacine		Acide ascorbique		Calcium		Phosphore total		Phosphore phytique **		F e r	
	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *
Racine entière 9000g	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Racine mondée 8 433 g	5,15	100	2,92	100	67,9	100	2917	100	2103	100	2822	100	1287	100	72,0	100
Racine rouie puis épluchée 6 404 g	2,59	50	2,81	96	39,3	58	487	17	1140	54	1756	62	601	47	53,7	75
Farine séchage mixte puis tamisée 3 060 g	2,12	41	1,76	60	33,1	49	traces	0	985	47	1531	54	505	39	80,8	112

* Pourcentage de récupération par rapport au contenu de la racine mondée.

** Le phosphore phytique n'ayant pas été dosé au cours des opérations technologiques que nous avons suivies personnellement, nous avons emprunté à A. JOSEPH (1973) les rapports P. phytique/P. total obtenus aux cours d'opérations similaires. Les valeurs du P. phytique portées sur ce tableau sont donc déduites par calcul : $P. \text{ phytique} = P. \text{ total} \times \frac{P. \text{ phytique}}{P. \text{ total}}$

T A B L E A U 6

ROUISSAGE DU MANIOC SANS ECORCE ET PREPARATION DE FARINE SECHEE AU SOLEIL

		: Matière sèche :		: Calories :		: Protides :		: Lipides :		: Glucides totaux :		: Indigestible glucidique :		: Cendres :	
		: g :	: Retrouvé : : p. 100 :	: Retrouvé : : p. 100 :	: Retrouvé : : p. 100 :	: Retrouvé : : p. 100 :	: Retrouvé : : p. 100 :	: Retrouvé : : p. 100 :	: Retrouvé : : p. 100 :	: Retrouvé : : p. 100 :	: Retrouvé : : p. 100 :	: g :	: Retrouvé : : p. 100 :	: g :	: Retrouvé : : p. 100 :
		: :	: *	: *	: *	: *	: *	: *	: *	: *	: *	: *	: *	: *	: *
Racine entière	9 837 g	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Racine mondée	9 217 g	4049	100	16050	100	95,86	100	14,8	100	3881	100	100	100	57,33	100
Ecorce interne	1 369 g	415	10	1600	10	-	-	4,0	27	355	9	35	35	8,32	14
Racine épluchée	7 853 g	3471	86	13750	86	65,97	69	11,8	80	3345	86	66	66	48,45	85
Racine épluchée rouie	6 820 g	3047	75	12200	76	25,23	26	8,9	60	2992	77	48	48	20,46	36
Pâte	6 587	2754	68	11050	69	23,71	25	6,6	45	2710	70	41	41	14,03	24
Farine séchée au soleil puis tamisée	2 888 g	2519	62	10100	63	21,37	22	4,9	33	2479	64	35	35	13,86	24

* Pourcentage de récupération par rapport au contenu de la racine mondée.

T A B L E A U 6 bis
ROUISSAGE DU MANIOC SANS ECORCE ET PREPARATION DE FARINE SECHEE AU SOLEIL
(vitamines et minéraux)

	Thiawine	Riboflavine	Niacine	Acide ascorbique	Calcium	Phosphore total	Phosphore phytique **	Fe r
	:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:
	mg : p. 100	mg : p. 100	mg : p. 100	mg : p. 100	mg : p. 100	mg : p. 100	mg : p. 100	mg : p. 100
	: *	: *	: *	: *	: *	: *	: *	: *
Racine entière 9 837 g	-	-	-	-	-	-	-	-
Racine mondée 9 217 g	5,70	3,23	75,6	3226	2325	3121	1423	79,6
Ecorce interne 1 369 g	-	0,67	15,1	223	753	-	-	-
Racine épluchée 7 853 g	3,78	1,88	58,1	2207	1421	2369	1080	59,7
Racine épluchée rouie 6 820 g	1,83	1,64	20,5	-	906	1018	255	52,6
Pâte 6 587 g	1,71	1,52	17,1	171	841	891	0	50,6
Farine séchage mixte puis tamisée 2 888 g	1,08	0,74	11,1	traces	690	775	78	93,0

* Pourcentage de récupération par rapport au contenu de la racine mondée.

** D'après JOSEPH A. (1973), voir note ** au bas du tableau 5 bis.

T A B L E A U 7
ROUISSAGE SANS ECORCE, PREPARATION DE FARINE FUMÉE.

		: Matière sèche :		: Calories :		: Protides :		: Lipides :		: Glucides totaux :		: Indigestible glucidique :		: Cendres :	
		: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :	: Retrouvé :
		: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :
		: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :
Racine entière	7 100 g	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Racine mondée	6 678 g	2862	100	1200	100	58,77	100	6,1	100	2725	100	78	100	71,05	100
Ecorce interne	1 382 g	421	15	1650	14	30,96	53	-	-	373	14	36	46	13,32	19
Racine épluchée	5 296 g	2414	84	9500	85	24,57	42	5,6	92	2334	86	42	54	49,78	70
Racine épluchée rouie	5 355 g	2347	82	9350	83	17,51	30	5,6	92	2292	84	37	47	31,27	44
Pâte de manioc	4 013 g	1756	61	7000	62	13,36	23	4,7	77	1717	63	30	48	20,38	29
Farine séchée à la fumée 15 jours	2 021 g	1520	53	6050	54	11,68	20	3,0	49	1491	55	27	35	14,95	21
Farine séchée à la fumée 1 mois	1 782	1513	53	5950	53	11,62	20	-	-	1471	54	27	35	15,82	22

* Pourcentage de récupération par rapport au contenu de la racine mondée.

T A B L E A U 7 bis
 ROUISSAGE SANS ECORCE, PREPARATION DE FARINE FUMÉE
 (vitamines et éléments minéraux)

	Thiamine		Riboflavine		Niacine		Acide ascorbique		Calcium		Phosphore total		Phosphore phytique **		F E R	
	Retrouvé mg	Retrouvé p. 100 *	Retrouvé mg	Retrouvé p. 100 *	Retrouvé mg	Retrouvé p. 100 *	Retrouvé mg	Retrouvé p. 100 *	Retrouvé mg	Retrouvé p. 100 *	Retrouvé mg	Retrouvé p. 100 *	Retrouvé mg	Retrouvé p. 100 *	Retrouvé mg	Retrouvé p. 100 *
Racine entière 7 100 g	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Racine mondée 6 678 g	5,88	100	2,14	100	47,6	100	2283	100	1536	100	4436	100	2023	100	178,3	100
Racine interne 1 382 g	2,79	47	0,55	26	12,3	26	340	15	-	-	-	-	-	-	24,6	14
Racine épluchée 5 296	2,41	41	1,16	54	28,8	61	1480	65	1096	71	3302	74	1506	74	44,9	25
Racine épluchée rouie 5 355 g	1,66	28	2,46	115	16,5	35	353	16	821	53	2015	45	504	25	-	-
Pâte 4 013 g	1,08	18	1,89	88	11,8	25	140	6	631	41	1411	32	0	0	16,9	9
Farine fumée 15 jours 2 021 g	0,70	12	0,95	44	7,6	16	traces	0	518	34	940	21	0	0	13,7	8
Farine fumée 1 mois 1 782 g	0,44	8	0,80	37	7,8	16	0	0	512	33	923	21	0	0	12,4	7

* Pourcentage de récupération par rapport à la racine mondée.
 ** D'après JOSEPH A. (1973), voir note ** au bas du tableau 5 bis.

T A B L E A U 8

ROUISSAGE SANS ECORCE ET PRÉPARATION DE BATON DE MANIOC

		: Matière sèche :	: Calories :	: Protides :	: Lipides :	: Glucides totaux :	: Indigestible: glucidique :	: Cendres :							
		: Retrouvé: p. 100 :	: Retrouvé: p. 100 :	: Retrouvé: p. 100 :	: Retrouvé: p. 100 :	: Retrouvé: p. 100 :	: Retrouvé: p. 100 :	: Retrouvé: p. 100 :							
		: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :	: * :							
Racine entière	15 310 g	:5486:	100	:21300:	100	:185,30:	100	:19,9:	100	:5119:	100	:247:	100	:162,3:	100
Ecorce interne	3 062 g	: 926:	17	: 3500:	16	: 73,18:	39	: 6,7:	34	: 803:	15	: 87:	35	:43,17:	27
Racine épluchée	11 483 g	:4579:	83	:16100:	85	: 60,86:	33	:14,9:	75	:4416:	86	: 92:	37	:87,50:	54
Pâte après rouissage et défilage	7 080 g	:3022:	55	:12100:	57	: 27,61:	15	: 9,9:	50	:2955:	58	: 48:	19	:29,03:	18
Bâton frais	6 800 g	:2972:	54	:11850:	56	: 27,20:	15	: 2,7:	14	:2913:	57	: 55:	22	:28,87:	18
Bâton stocké 7 jours	6 110 g	:2972:	54	:11850:	56	: 24,44:	13	: 3,1:	15	:2916:	57	: 50:	20	:28,11:	17

* Pourcentage de récupération par rapport au contenu de la racine entière.

T A B L E A U 8 bis

ROUISSAGE SANS ECORCE ET PREPARATION DE BATON DE MANIOC
(vitamines et éléments minéraux)

	Thiamine		Riboflavine		Niacine		Acide ascorbique		Calcium		Phosphore total		Phosphore phytique **		F e r	
	:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:	
	mg	p. 100	mg	p. 100	mg	p. 100	mg	p. 100	mg	p. 100	mg	p. 100	mg	p. 100	mg	p. 100
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Racine entière 15 310 g	10,79:	100	5,55:	100	109,6:	100	-	-	4914:	100	6828:	100	3114:	100	1 118:	100
Ecorce interne 3 062 g	5,78:	54	1,27:	23	27,8:	25	499	-	2502:	51	873:	13	698:	22	428,7:	38
Racine épluchée 11 483 g	3,66:	34	2,99:	54	79,6:	73	3228	-	1987:	40	4752:	70	2167:	70	97,1:	9
Pâte après rouis- sage et défibrage: 7 080 g	2,30:	21	3,00:	54	27,6:	25	184	-	1062:	22	1728:	25	439:	14	38,7:	3
Bâton frais 6 800 g	1,34:	12	2,93:	53	29,2:	27	88	-	980:	20	1779:	26	0:	0	21,7:	2
Bâton stocké 7 jours 6 110 g	0,89:	8	2,05:	37	25,8:	24	traces:	-	849:	17	1528:	22	0:	0	21,7:	2

* Pourcentage de récupération par rapport au contenu de la racine entière.

** D'après JOSEPH A. (1973), voir note ** au bas du tableau 5 bis.

T A B L E A U 9
PREPARATION DE GARI

	: Matière sèche :		: Calories :		: Protides :		: Lipides :		: Glucides totaux :		: Indigestible: glucidique :		: Cendres :	
	:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:		:Retrouvé:	
	g	p. 100	g	p. 100	g	p. 100	g	p. 100	g	p. 100	g	p. 100	g	p. 100
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Racine entière	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
42 097 g	:16839:	100	:66031:	100	:429,4:	100	:52,4:	100	:15980:	100	:699:	100	:377,2:	100
Pulpe	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
32 000 g	:13251:	79	:52546:	80	:199,4:	46	:47,3:	90	:12803:	80	:252:	36	:201,7:	53
Pulpe fermentée:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
25 496 g	:13125:	78	:52263:	79	:166,3:	39	:30,2:	58	:12770:	80	:245:	35	:158,4:	42
Gari	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
16 202	:14038:	75	:50056:	76	:156,6:	36	:88,8:	170	:12128:	76	:235:	34	:141,0:	37

* Pourcentage de récupération par rapport à la racine entière.

T A B L E A U 9 bis

PREPARATION DE GARI

(vitamines et minéraux)

	Thiamine		Riboflavine		Niacine		Acide ascorbique		Calcium		Phosphore total		Phosphore phytique **		F e r	
	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *
Racine entière 42 097 g	30,5	100	14,2	100	309,5	100	13438	100	11030	100	19904	100	9970	100	1487	100
Pulpe 32 000 g	13,2	43	7,5	53	212,0	68	6824	51	5583	51	10968	55	-	-	-	-
Pulpe fermentée 25 496	9,4	31	7,1	50	139,3	45	1700	13	4413	40	7950	39	-	-	297	20
Gari 16 202	7,5	25	6,2	43	135	44	788	6	4160	38	7669	39	0	0	665	45

* Pourcentage de récupération par rapport à la racine entière.

** d'après OKE O.L. (1966)

1. Epluchage

La racine de manioc possède deux enveloppes. L'une, l'écorce externe, jaune, brune ou rougeâtre, fine, de nature subéreuse, se détache très facilement. L'autre, appelée communément écorce interne, de couleur blanchâtre, épaisse de 1 à 2 mm, nécessite l'emploi d'un couteau ou d'une machette pour être enlevée. Quoique plus riche en éléments nutritifs que le cylindre central, elle est rejetée par la plupart des ethnies en raison de sa teneur plus élevée en glucosides cyanogénétiques et en fibres.

Les quatre opérations d'épluchage et émondage que nous avons observées ont donné les résultats suivants, par rapport à la racine entière telle qu'achetée :

- racine épluchée	74 à 81 %	moyenne = 77,0 %
- écorce interne	13 à 19 %	moyenne = 16,3 %
- déchets totaux	19 à 26 %	moyenne = 23,0 %

Le tableau 10 indique la composition moyenne de 100 g de racine entière, les quantités de chaque nutriment retrouvées dans la racine épluchée, et pour chacun d'eux, le pourcentage de perte lorsque l'écorce interne est rejetée. L'épluchage permet d'éliminer plus de la moitié de l'indigestible glucidique tout en conservant plus de 80 p. 100 des calories. Mais les pertes de protides, calcium, thiamine et riboflavine sont importantes, avoisinant 50 p. 100. L'élimination de 86 p. 100 du fer s'explique aisément lorsqu'on sait que l'écorce externe est fréquemment souillée de terre ferrugineuse. Les pertes de matières minérales totales, niacine et acide ascorbique atteignent 30 à 40 p. 100. Le rejet de l'écorce est bénéfique sur le plan de la toxicité puisque sa concentration en glucosides cyanogénétiques peut être 2,6 fois plus élevée que celle de la partie centrale dans les variétés amères et jusqu'à 10 fois plus élevée dans les variétés douces (DE BRUIJN 1971).

Quelle part de ce qui est perdu dans les déchets peut-on récupérer par la pratique de consommer l'écorce interne ?

T A B L E A U 10

BILAN NUTRITIONNEL DE L'EPLUCHAGE DE 100 g DE MANIOC

		RACINE ENTIERE	RACINE EPLUCHEE		ECORCE CUITE, ROUIE	
				: Pourcentage de : perte (par rap- : port à la racine : entière)		: Pourcentage de : récupération : (par rapport à : la racine en- : tière)
Matière humide	(g)	100	77,0	22	17,2	17
Matière sèche	(g)	40,0	32,3	19	3,7	9
Calories		157	127	19	14,5	9
Protides	(g)	1,02	0,48	53	0,07	7
Lipides	(g)	0,12	0,10	17	0,01	8
Glucides totaux	(g)	37,9	31,0	18	3,5	9
Insoluble formique	(g)	1,34	0,61	54	0,40	30
Cendres	(g)	0,90	0,57	37	0,06	7
Calcium	(mg)	26,2	13,4	48	14,3	54
Phosphore total	(mg)	47,3	39,3	17	1,6	3
Phosphore phytique	(mg)	21,6	17,9	17	0,5	2
P.phytique/P.total		0,46	0,46	-	0,30	-
Ca / P		0,55	0,34	-	8,6	-
Fer	(mg)	3,5	0,5	86	0,5	14
Thiamine	(μ g)	72	31	57	2	3
Riboflavine	(μ g)	34	18	47	0,7	2
Niacine	(mg)	0,73	0,52	29	traces	0
Acide ascorbique	(mg)	33	20	38	traces	0

Le mode de préparation de cet aliment est le suivant: l'écorce est mise à cuire dans l'eau bouillante pendant environ une heure ; l'eau de cuisson est ensuite rejetée et l'écorce immergée pendant un à trois jours dans une eau courante. Elle est alors prête à être consommée. On obtient en moyenne 105 g de produit fini à partir de 100 g d'écorce crue. Le tableau 11 présente le bilan nutritionnel de ce traitement. L'indigestible glucidique, insoluble, n'est évidemment pas diminué. La quantité de calcium est augmentée de 36 p. 100, probablement par fixation du calcaire de l'eau, le rapport Ca/P passe de 5,5 à 16,3, le phosphore phytique, en très faible quantité, ne peut diminuer sensiblement la quantité de calcium disponible. La fuite de tous les autres nutriments est considérable, sauf celle des glucides dont 15 p. 100 seulement sont perdus : les vitamines sont quasi-entièrement éliminées, 82 p. 100 des protides disparaissent, ainsi que la moitié du fer, du phosphore et des matières minérales totales.

L'écorce crue, qui se présentait comme un aliment mieux équilibré que la partie centrale, devient aussi pauvre après cuisson et rouissage, exception faite pour le calcium, avec l'inconvénient supplémentaire d'une teneur élevée en indigestible glucidique : 11 p. 100 (tableau 22). Les deux dernières colonnes du tableau 10 indiquent, en quantités absolues et en pourcentages, ce que la consommation d'écorce cuite rouie permet de récupérer à partir de 100 grammes de racine entière. Pour retrouver 50 p. 100 des calories, 13 p. 100 des protides, 16 p. 100 du fer, et la totalité du calcium qui allaient être éliminés, les consommateurs d'écorce s'encombrent de plus de la moitié des éléments ligno-cellulosiques des déchets d'épluchage.

Connaissant le rôle d'"agent de désassimilation" de l'indigestible glucidique pour les autres constituants de la ration, il est fort improbable que la consommation d'écorce soit une opération rentable sur la plan nutritionnel ; il est très possible qu'elle se solde au contraire par un gaspillage plus important que lorsque la totalité des déchets d'épluchage est rejetée.

T A B L E A U 11

BILAN NUTRITIONNEL DE LA PREPARATION DE 100 g D'ECORCE INTERNE

		ECORCE CRUE	ECORCE CUITE ROUIE	Pourcentage de perte (-) ou de gain (+)
Poids frais	(g)	100	105,5	+ 5
Matière sèche	(g)	28,9	22,6	- 22
Calories		112	90	- 20
Protides	(g)	2,11	0,38	- 82
Lipides	(g)	0,24	0,08	- 67
Glucides totaux	(g)	25,8	21,9	- 15
Insoluble formique	(g)	2,5	2,5	0
Cendres	(g)	0,70	0,31	- 56
Calcium	(mg)	72	98	+ 36
Phosphore total	(mg)	13,2	6,0	- 55
Phosphore phytique	(mg)	10,6	1,8	- 83
Phosphore phytique/Phosphore total		0,80	0,30	-
Ca / P		5,5	16,3	-
Fer	(mg)	4,7	2,5	- 47
Thiamine	(μ g)	42	2	- 95
Riboflavine	(μ g)	44	5	- 89
Niacine	(μ g)	1 100	4	- 100
Acide ascorbique	(mg)	20	traces	- 100

2. Rouissage

Pour éliminer le manihotoxoside et ramollir les racines afin d'en faciliter ultérieurement le défibrage et le broyage, la ménagère africaine les fait séjourner dans l'eau pendant trois à six jours. Il se produit alors une fermentation avec trouble abondant de l'eau, léger dégagement gazeux et développement d'une forte odeur butyrique. Simultanément, l'acidité des racines, rapportée à la substance sèche, est multipliée par trois environ (figure 4).

ADRIAENS et HESTERMANS - MEDARD (1954) ont montré que cette opération avait l'avantage de réduire considérablement la teneur en acide cyanhydrique. De plus, selon EKPECHI (1967), le manioc non fermenté pourrait être goitrigène car les zones de Nigéria à forte endémie goitreuse ne sont pas celles où les eaux sont les plus pauvres en iode, mais celles où le manioc n'est pas fermenté avant consommation. L'expérimentation d'EKPECHI sur le rat tend à montrer par ailleurs qu'un régime à base de manioc non fermenté conduit à des perturbations du métabolisme de l'iode voisines de celles qui se produisent au cours du goître[‡]. Il resterait cependant à démontrer que le manioc fermenté ne provoque pas les mêmes perturbations. Par ailleurs, dès 1934, MOORE émettait l'opinion que la fréquence de l'amblyopie et de l'atrophie optique franche était en relation avec la consommation de manioc et CLARK, en 1936, suggérait que l'agent responsable était l'acide cyanhydrique. OSUNTOKUN et al. (1969, 1970 a et b) viennent de montrer que l'amblyopie et la neuropathie dégénérative chronique, fréquentes dans certaines régions de Nigéria, seraient des manifestations d'intoxication chronique par l'acide cyanhydrique provenant principalement du manioc, aggravée par une déficience en acides aminés soufrés et en vitamine B₁₂. Tous ces faits, joints aux quelques cas d'intoxication aigüe par l'acide cyanhydrique après ingestion d'importantes quantités de manioc (NORMANHA, rapporté par DE BRUIJN) montrent combien l'élimination des glucosides cyanogénétiques des variétés amères est une opération nécessaire.

‡ Chez des rats carencés en iode et nourris au manioc non fermenté, EKPECHI note une accumulation d'iode sous forme d'hormone thyroïdienne et de ses précurseurs plus faible que chez des rats témoins n'ingérant pas de manioc et recevant la même quantité d'iode. Il observe aussi un rapport monoiodotyrosine/diiodotyrosine anormalement élevé (traduisant selon lui un défaut de transfert de l'iode de la MIT à DIT) et une importante proportion d'iode sous forme d'iodotyronines, phénomène habituellement observé lors des déficiences en iode mais qui ne disparaît pas lorsqu'un supplément d'iode est apporté au régime à base de manioc.

Cependant le séjour prolongé des racines dans l'eau n'a pas que des effets bénéfiques. Avec la disparition des glucosides cyanogénétiques, il se produit une fuite des éléments nutritifs par dissolution d'importance variable selon que les racines sont mises à rouir entières ou épluchées, ainsi qu'une dégradation plus ou moins profonde des protides avec, notamment, transformation de l'arginine en ornithine et libération d'ammoniaque (BIGWOOD et al. 1952, CLOSE et al. 1953).

Généralement, dans les zones rurales, les racines entières sont mises à tremper dans une eau plus ou moins stagnante (figure 5). Trois à six jours après, l'écorce est devenue très aisément détachable. Dans les villes, les racines sont tout d'abord pelées, puis immergées dans une cuvette d'eau et abandonnées durant le même laps de temps. Quand elles sont devenues suffisamment molles et friables, elles sont alors ouvertes longitudinalement, débarrassées de la fibre centrale et essorées par pression entre les mains. Dans certains cas, des fragments plus ou moins volumineux peuvent être restés durs, comme inattaqués par le rouissage. Ils sont rejetés.

Le manioc roui est ensuite broyé à la meule dormante pour obtenir une pâte plus ou moins onctueuse.

Afin de connaître l'influence des modalités de rouissage sur la valeur nutritionnelle du manioc, nous avons procédé à cinq expérimentations :

- dans trois d'entre elles, les racines ont été pelées avant d'être mises à rouir ;
- dans les deux autres, c'est avec l'écorce qu'elles ont séjourné dans l'eau.

Le tableau 12 résumant les résultats de trois de ces expérimentations permet de comparer les pourcentages de perte ou de gain en éléments nutritifs de la partie comestible, selon les modalités du rouissage. Les deux autres expérimentations n'ont porté que sur la composition de la racine avant et après rouissage, sans considération de la perte de matière brute qui se produit au cours de l'opération.

A la lecture du tableau 12, il apparaît nettement que, comme il était prévisible, il est bien préférable de ne pas peler les racines avant de les faire rouir. On perd ainsi quatre fois moins de protides, douze fois moins de fer, deux à trois fois moins de calcium,

T A B L E A U 12

INFLUENCE DU ROUISSAGE

Pourcentage de perte (-) ou de gain (+)
par rapport à la racine épluchée non rouie

	: Rouissage sans écorce : (2 expérimentations)	: Rouissage avec écorce : (1 expérimentation)
Matière sèche	: - 7	: - 8
Calories	: - 6	: - 7
	:	:
Protides	: - 45	: - 11
Lipides	: - 12	: - 18
Glucides totaux	: - 6	: - 7
Indigestible glucidique	: - 20	: - 26
	:	:
Cendres	: - 47	: - 25
Calcium	: - 31	: - 11
Phosphore total	: - 48	: - 18
Phosphore phytique	: - 71	: - 38
Fer	: - 12 *	: - 1
	:	:
Thiamine	: - 41	: - 24
Riboflavine	: + 50	: + 66
Niacine	: - 54	: - 25
Acide ascorbique	: - 76	: - 75
	:	:
	:	:

* 1 seule expérimentation.

phosphore, sels minéraux totaux, thiamine et niacine. Par contre, l'élimination d'indigestible glucidique est du même ordre de grandeur que lorsque l'épluchage est effectué avant rouissage. L'amélioration du rapport P phytique/P total est cependant moins nette lors du rouissage avec écorce.

La riboflavine mérite une attention toute particulière car le séjour prolongé dans l'eau provoque non plus une perte mais un gain important. L'augmentation de la teneur en vitamine B₂ de la partie comestible a atteint les valeurs suivantes au cours des cinq expérimentations effectuées :

- 124 p. 100, 52 p. 100 et 1 p. 100 dans le cas du rouissage sans écorce ;
- 113 p. 100 et 80 p. 100 dans le cas du rouissage avec écorce.

Ces valeurs révèlent une importante synthèse due très certainement à la fermentation qui se produit durant le rouissage des racines. Il est d'ailleurs à noter que l'expérimentation qui a donné la plus faible production de riboflavine avait été entièrement conduite en laboratoire, avec des récipients et une eau parfaitement propres, sur des racines épluchées et soigneusement lavées. Les microorganismes responsables de la synthèse ont été probablement en moins grand nombre dans cette expérimentation, alors qu'ils ont réalisé des synthèses importantes au cours de toutes les autres, y compris celle où les racines entières et non lavées ont été mises à rourir, en laboratoire, dans des récipients et une eau propres.

Un bilan nutritionnel complet du rouissage doit tenir compte, également, des pertes de matières brutes dues à l'élimination de fibres et de fragments non rouris, à l'adhérence sur les parois des ustensiles du cuisine et à l'entraînement mécanique lors du rejet des eaux de rouissage.

En se basant sur un tel bilan (tableau 12), et non plus seulement sur les modifications du taux de riboflavine, on constate que les gains de vitamine B₂ restent élevés quelles que soient les modalités du rouissage : + 50 p. 100 et + 66 p. 100 respectivement. Comme pour les autres principes nutritifs, la présence de l'écorce est nettement plus profitable, d'une part parce qu'elle s'oppose à la dissolution et à la destruction de la vitamine, d'autre part parce qu'il est probable qu'elle apporte les microorganismes nécessaires à la synthèse.

3. Broyage

Dans la moitié sud du Cameroun, la ménagère utilise une meule dormante pour réduire le manioc en pâte (figure 6). Il s'agit d'une lourde pierre plate, de forme variée et de dimensions d'au moins 25 x 40 cm, accompagnée d'une molette, pierre cylindrique d'environ deux à trois kilogrammes. Un panier de manioc roui à portée de la main, la ménagère s'agenouille ou s'assoit devant la meule, y dépose une poignée de manioc, et les bras tendus, pesant du poids de son corps penché en avant, elle imprime à la molette un mouvement de va-et-vient entraînant et broyant à chaque passage une partie du produit déposé sur la pierre. La pâte, plus ou moins fine et onctueuse selon le nombre de va-et-vient qu'elle subit, s'écoule à l'autre extrémité de la meule sur un lit de feuilles de bananier ou dans une cuvette.

Au cours de cette opération, des fibres et des fragments de racine restés durs malgré le rouissage, ou devenus noirs, sont encore éliminés. La quantité de ces déchets, et par conséquent le rendement du broyage, dépendent de l'importance des parties ligneuses et de l'âge des racines.

Les moyennes des pourcentages de pertes relevés au cours des deux opérations de broyage que nous avons observées sont les suivantes (par rapport à la racine rouie) :

Poids sec	- 17	Calcium	- 15
Calories	- 17	Phosphore	- 21
Protides	- 15	P phytique	-100
Lipides	- 21	Fer	- 4(1 seule observation)
Glucides totaux		Thiamine	- 21
par différence	- 17	Riboflavine	- 15
Indigestible glucidique	- 17	Niacine	- 22
Cendres	- 33	Vitamine C	- 62

Malgré une perte considérable de matières minérales, on note une perte relativement faible de fer (4 p. 100) ; peut-être des particules riches en fer, arrachées à la meule, viennent-elles compenser en partie le fer perdu avec la matière sèche ? Nous nous expliquons mal, également, l'importance de la perte de matières minérales totales (33 %), observée à chacune des deux opérations de broyage. Il est possible qu'elles soient entraînées dans le jus qui s'égoutte du manioc roui et de la pâte. A l'exception du phosphore phytique et de la vitamine C, déjà fortement affectés par le rouissage et dont il ne reste plus que des traces dans la pâte, les autres nutriments subissent des pertes de 15 à 22 p. 100, comparables à celles de la matière sèche.

La pâte de manioc est utilisée dans trois préparations distinctes :

- farine séchée-fumée
- farine séchée au soleil
- bâton.

4. Séchage, préparation de farines

Séchage - fumage

En zone tropicale humide, pour déshydrater la pâte de manioc, les ménagères mettent à profit la chaleur du feu de bois sur lequel la majorité d'entre elles font encore la cuisine.

Des boules de pâte, d'environ un à deux kilogrammes, sont enveloppées dans de larges feuilles végétales, ficelées à l'aide de joncs et déposées sur la claie montée en permanence au-dessus du foyer dans toute cuisine de la région forestière. La déshydratation est généralement suffisante au bout d'une quinzaine de jours, mais fréquemment les boules sont stockées sur la claie pendant plusieurs semaines, parfois des mois, jusqu'au moment de leur utilisation.

Les boules de vouvou ou foufou, - c'est ainsi qu'on les appelle dans la plupart des ethnies du Cameroun et d'Afrique Tropicale - pèsent alors 300 grammes à 1 kilogramme. On les trouve sur les marchés soit encore emballées dans leurs feuilles, soit dénudées (figures 7 et 8).

Elles ont une forte odeur de fumée et doivent être superficiellement raclées pour éliminer la croûte noirâtre qu'elles recouvrent. Elles sont ensuite écrasées au pilon ou à la meule dormante ; la farine obtenue est finalement tamisée.

D'après les quatre observations que nous avons effectuées, on obtient, après rejet de la partie noirâtre et tamisage, 85 à 90 p. 100 de farine à partir des boules brutes.

Les pertes moyennes provoquées par le séchage-fumage suivi d'élimination de la partie noircie et de tamisage sont les suivantes (tableau 13) :

- 13 à 14 p. 100 pour la matière sèche, les glucides totaux, les calories ;
- 11 à 13 p. 100 pour l'indigestible glucidique ;

T A B L E A U 13

COMPARAISON DES DIVERS MODES DE SECHAGE DE LA FARINE DE MANIOC
pourcentage de perte de la pâte à la farine tamisée

<u>Mode de séchage</u>	<u>SECHAGE - FUMAGE</u>		<u>SECHAGE MIXTE</u>	
	15 jours	30 jours	Soleil-Local	Aéré
Nombre d'échantillons	3	3	2	
Matière sèche	- 13	- 14	- 10	
Calories	- 13	- 14	- 10	
Protides	- 22	- 23	- 11	
Lipides	- 36	- 25	- 35	
Glucides totaux	- 13	- 14	- 10	
Indigestible glucidique	- 11	- 13	- 21	
Cendres	- 33	- 30	- 6	
Calcium	- 28	- 26	- 16	
Phosphore total	- 27	- 34	- 13	
Phosphore phytique	0	0	- 3	
Fer	- 15	- 22	+ 67	
Thiamine	- 49	- 60	- 27	
Riboflavine	- 47	- 54	- 44	
Niacine	- 30	- 36	- 25	
Acide ascorbique	-100	-100	-100	

- 22 à 23 p. 100 pour les protides ;
- 15 à 22 p. 100 pour le fer, environ 30 p. 100 pour les autres sels minéraux ;
- de 30 à 60 p. 100 pour les vitamines du groupe B et 100 p. 100 pour l'acide ascorbique.

Elles sont d'autant plus élevées pour les substances hydro-solubles ou thermolabiles que l'exposition à la chaleur du feu de bois a été prolongée. C'est ainsi que quinze jours de séchage supplémentaire font passer les pertes de 15 à 22 p. 100 pour le fer, 27 à 34 p. 100 pour le phosphore total, 49 à 60 p. 100 pour la thiamine, 47 à 54 p. 100 pour la riboflavine, et 30 à 36 p. 100 pour la niacine. Le peu d'acide ascorbique qui restait encore dans la pâte disparaît complètement de la farine. A l'action destructrice de la chaleur sur les vitamines, il s'ajoute une migration de l'ensemble des substances hydro-solubles vers la périphérie de la boule de vouvou, accompagnant le départ de l'eau. On s'explique donc aisément que l'élimination de ces substances avec la croûte noirâtre périphérique est d'autant plus importante que la dessiccation a été plus poussée. Par ailleurs, OKE (1968) ne trouve plus que 2,5 mg d'acide cyanhydrique pour 100 g de matière sèche de farine fumée-séchée alors que la racine d'origine en contenait 38 mg p. 100 g de matière sèche.

Séchage au soleil

Le séchage du manioc au soleil est exceptionnel en zone forestière. C'est surtout à la périphérie de cette zone et en région de savanes qu'il est utilisé. Le procédé est extrêmement rudimentaire : la pâte, étalée sur des nattes ou à même le sol, souvent au bord des routes ou sur les ponts, est exposée au soleil jusqu'à ce qu'elle soit sèche. Fréquemment, si le manioc roui est suffisamment tendre et friable, la ménagère l'expose immédiatement au soleil faisant ainsi l'économie de l'opération de

broyage. Après dessiccation, les agglomérats ou cossettes sont écrasés soit au mortier de bois, soit à la meule dormante puis tamisés. Une petite entreprise industrielle s'est créée à Bambarang, dans l'Est du Cameroun, en zone de savane, pour acheter aux paysannes les cossettes de manioc roui séché, les broyer au moulin à disques cannelés puis tamiser et conditionner la farine obtenue. Six cents tonnes de farine sont ainsi traitées chaque année et acheminées vers les principales villes du pays.

Des observations de séchage à l'air suivi de tamisage que nous avons effectuées à Yaoundé, il ressort essentiellement que, comme on pouvait le prévoir, la riboflavine est la plus affectée avec 44 p. 100 de perte en moyenne (tableau 13). Les pertes en thiamine et niacine sont de 25 à 27 p. 100 alors que les traces d'acide ascorbique qui restaient dans la pâte disparaissent complètement.

L'exposition de la farine à la poussière fait tomber les pertes de matières minérales totales à 6 p. 100 seulement et apporte un supplément de fer de 67 p. 100. Le calcium et le phosphore ne sont pas au nombre des éléments minéraux amenés par les poussières puisqu'il en manque 13 à 16 p. 100 à l'issue des deux opérations de séchage et de tamisage que nous avons observées. Ceci n'a rien d'étonnant quand on sait que les sols de vastes régions du Cameroun sont très riches en fer et pratiquement dépourvus de calcium et phosphore. Les rapports phospho-calcique et P phytique/P total sont améliorés par rapport à ceux de la racine puisqu'ils passent de 0,34 et 0,44 respectivement dans cette dernière à 0,64 et 0,33 dans la farine préparée par rouissage avec écorce et à 0,76 et 0,10 dans la farine préparée par rouissage sans écorce.

Le tamisage permet d'enlever encore 21 p. 100 de l'indigestible glucidique de la pâte alors qu'on ne perd que 10 p. 100 des calories et 11 p. 100 des protides. La disparition de plus du tiers des lipides, difficilement explicable, ne retiendra pas notre attention en raison des quantités minimales de ces constituants dans le manioc et de l'importance de l'erreur relative qui affecte leur dosage. La plus grande partie de l'acide cyanhydrique est éliminée puisqu'il n'en reste plus que 1,0 mg pour 100 g de matière sèche alors qu'il y en avait au départ 38 mg pour 100 g de matière sèche de racine (OKE 1968).

En fait, ces expérimentations réalisées à Yaoundé, c'est-à-dire en zone humide, ne sont pas la reproduction fidèle de ce qui se passe réellement lors du séchage au soleil dans les régions plus sèches, où cette technique est habituelle. A Yaoundé, la durée totale d'exposition au soleil a été relativement brève et le séchage s'est effectué principalement à l'ombre, en local aéré.

Pour avoir une idée plus précise de l'effet du séchage au soleil tel que pratiqué en zone sèche, nous en avons établi le rendement nutritionnel par le calcul en nous basant sur le "taux d'extraction" moyen observé par WINTER (1964) dans l'Adamaoua (100 g de farine à partir de 300 g de racines) et sur la composition moyenne du manioc entier et de farines prélevées en zone de savane (tableaux 14 et 15).

Comparaison des farines de manioc et de leurs modes de préparation
(tableaux 14, 15, 16 ; figures 13, 14, 15)

Le tableau 14 donne la composition de farines de manioc obtenues selon diverses techniques.

Si l'on se base sur les teneurs en protides, sels minéraux et vitamines, il apparaît clairement que les farines les plus pauvres sont celles qui ont été obtenues à partir de manioc roui sans écorce. Leur teneur en vitamines est faible, même lorsqu'elles ont été déshydratées en partie à l'ombre et à température ambiante, c'est-à-dire dans les conditions les meilleures pour la protection de ces nutriments labiles. Seules les farines exclusivement séchées au soleil après rouissage avec écorce sont plus pauvres en riboflavine. Ces résultats étaient prévisibles dès lors que nous **connaissions** l'action protectrice de l'écorce sur l'ensemble des principes nutritifs durant le rouissage. Cet avantage acquis demeure ensuite à travers tous les traitements technologiques ultérieurs.

T A B L E A U 14

COMPOSITION DES FARINES DE MANIOC
(pour 100 g de matière sèche)

	SECHAGE - FUMAGE			SECHAGE AU	SECHAGE-MIXTE LOCAL	
	Rouissage sans écorce Séchage de 15 jours	Rouissage Séchage de 30 jours	Rouissage avec écorce	SOLEIL Rouissage avec écorce	Rouissage avec écorce	Rouissage sans écorce
Nombre d'échantillons analysés	3	3	1	2	1	2
Calories	400	400	400	396	396	400
Protides (g)	0,76	0,75	1,41	0,91	1,79	0,87
Lipides (g)	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2
Glucides totaux (g)	98,3	98,2	97,2	96,9	96,7	98,2
Indigestible glucidique (g)	1,7	1,7	1,9	2,0	1,2	1,5
Cendres (g)	0,74	0,77	1,14	1,74	1,27	0,75
Calcium (mg)	30	31	35	52	38	33
Phosphore total (mg)	49	44	49	73	59	43
Phosphore phytique/Phosphore total *	0	0	0	0	0,33	0,10
Ca/P	0,61	0,70	0,71	0,71	0,64	0,76
Fer (mg)	1,2	1,1	3,9	41,2	3,1	2,6
Thiamine (µg)	37	29	60	69	82	45
Riboflavine (µg)	58	51	103	29	68	38
Niacine (mg)	0,57	0,53	0,80	1,27	1,28	0,71
Acide ascorbique (mg)	0	0	0	0	0	0

* D'après JOSEPH A. (1973) sur un échantillon seulement, voir ~~au~~ au bas du tableau 5 bis.

T A B L E A U 15

APPORT NUTRITIONNEL DE LA FARINE DE MANIOC
PREPAREE A PARTIR DE 100 g DE RACINE ENTIERE

	SECHAGE - FUMAGE			SECHAGE AU	SECHAGE - MDTE	
	Rouissage sans écorce Stockage 15 jours	Stockage 30 jours	Rouissage avec écorce	SOLEIL Rouissage avec écorce	Soleil - Rouissage avec écorce	Local aéré Rouissage sans écorce
Nombre d'observations	3	3	1	2	1	2
Matière humide (g)	27,2	25,3	27,9	33,3	34,0	29,6
Matière sèche (g)	21,4	21,3	20,8	29,0	28,7	25,6
Calories	86	85	83	115	115	102
Protides (g)	0,16	0,16	0,29	0,26	0,51	0,22
Lipides (g)	0,04	0,06	0,04	0,12	0,06	0,05
Glucides totaux (g)	21,0	20,9	20,3	28,1	27,8	25,1
Indigestible glucidique (g)	0,4	0,4	0,4	0,6	0,3	0,4
Cendres (g)	0,16	0,16	0,24	0,50	0,36	0,19
Calcium (mg)	6,4	6,6	7,3	15,0	10,9	8,5
Phosphore total (mg)	10,4	9,4	10,3	21,0	17,0	11,1
Phosphore phytique (mg)	0	0	0	0	5,6	1,1
Fer (mg)	0,2	0,2	0,8	11,9	0,9	0,7
Thiamine (µg)	8	6	13	20	23	12
Riboflavine (µg)	12	11	21	8	20	10
Niacine (mg)	0,12	0,11	0,17	0,37	0,37	0,18
Acide ascorbique (mg)	0	0	0	0	0	0

T A B L E A U 16
COMPARAISON DES DIVERS PROCÉDES DE PRÉPARATION DE FARINE DE MANIOC
Pourcentage de récupération par rapport à la racine entière

Mode de préparation	Racine entière	SECHAGE - FUMAGE			SECHAGE AU	SECHAGE-MIXTE	
		Stockage 15 jours	Stockage 30 jours	Rouissage avec écorce	SOLEIL Rouissage avec écorce	Rouissage avec écorce	Rouissage sans écorce
Nombre d'échantillons	3	3	3	1	2	1	2
Matière humide	100	27	25	28	33	34	29
Matière sèche	100	54	53	52	72	72	64
Calories	100	55	54	53	73	73	65
Protides	100	16	16	29	26	50	22
Lipides	100	34	51	34	93	48	41
Glucides totaux	100	56	55	53	74	73	66
Indigestible glucidique	100	28	27	29	43	25	29
Cendres	100	18	18	27	56	40	21
Calcium	100	24	25	28	57	42	32
Phosphore total	100	22	20	22	44	36	23
Phosphore phytique	100	0	0	0	0	26	5
Fer	100	7	7	23	338	25	19
Thiamine	100	11	9	17	28	32	15
Riboflavine	100	37	32	63	25	59	29
Niacine	100	17	15	22	50	50	25
Acide ascorbique	100	0	0	0	0	0	0

Lorsque leurs modalités de rouissage ont été identiques, les farines fumées sont généralement moins riches que les farines séchées au soleil ou en local aéré, sauf en ce qui concerne la riboflavine qui, photosensible, est le nutriment le plus atteint par l'exposition aux rayons lumineux. Il est donc logique que ce soit les farines fumées qui contiennent le plus de vitamine B₂.

Nous avons déjà dit que cette pauvreté de la farine fumée en principes nutritifs solubles s'explique aisément par la migration de ces substances vers les parties périphériques de la boule de vouvou qui sont ensuite éliminées. De plus, la préparation de farine fumée entraîne des pertes de matières sèches avoisinant 50 p. 100 du poids sec de la racine entière, supérieures à celles qui se produisent lors de la préparation de farines séchées au soleil ou à l'ombre qui atteignent seulement 28 à 36 p. 100 (tableau 16).

Si le procédé classique d'exposition au soleil et l'apport de terre et de poussière qui en découle aboutissent à un apport de fer extérieur beaucoup plus important mais dont on ignore la disponibilité pour l'organisme, la dessiccation en local aéré permet par contre de récupérer légèrement plus de thiamine et deux fois plus de riboflavine et de protides.

Protides et riboflavines étant justement les principes nutritifs qui, d'après les enquêtes de consommation, sont les plus déficients dans les régimes alimentaires d'Afrique tropicale, le procédé de séchage de la farine de manioc à température ordinaire et à l'ombre nous paraît bien préférable à la technique de dessiccation au soleil. Une étude comparative plus poussée et basée sur un plus grand nombre d'observations mériterait cependant d'être effectuée avant de préconiser des changements dans les procédés de préparation traditionnelle de la farine de manioc. Il faudrait s'assurer, par ailleurs, que cette méthode de dessiccation plus lente ne s'accompagne pas de développement de moisissures ou autres agents contaminants susceptibles de produire des toxines.

Bien que, dans tous les cas, la préparation de farine se traduise par une perte de calcium et de phosphore, le rapport phospho-calciqque est augmenté par rapport à celui de la racine. Le phosphore phytique est totalement éliminé dans la plupart des farines, à l'exception de celles qui sont séchées en local aéré et dont le rapport P phytique/P total est encore de 0,33 et 0,10, inférieur cependant à celui de la racine d'origine.

Utilisation de la farine de manioc

La farine de manioc n'est consommée que sous deux formes : pâte ou bouillie (respectivement vouvou et kourou-kourou dans la plupart des langues). Pour les préparer, on jette simplement la farine dans l'eau bouillante et on agite pendant quelques minutes jusqu'à consistance voulue. Selon les proportions relatives d'eau et de farine, on obtient la pâte ou la bouillie.

La pâte est généralement consommée aux principaux repas, accompagnée de feuilles vertes cuites ou de sauce à la viande, poisson, arachides ou haricots. La bouillie se consomme sucrée au petit déjeuner.

La précision des dosages microbiologiques ne nous a pas permis de déceler des modifications significatives dans la composition en thiamine et riboflavine de la farine au cours de sa brève cuisson. On note par contre une augmentation de la teneur en niacine de 9 p. 100. Les valeurs relevées sont les suivantes :

Composition (pour 100 g de matière sèche)

	Thiamine	Riboflavine	Niacine
	µg	µg	mg
Farine avant cuisson	60	103	0,79
Pâte après cuisson	58	98	0,86
Pourcentage de différence	- 3	- 5	+ 9

5. Bâton de manioc

Aussitôt après son broyage, la pâte de manioc roui est modelée, selon les régions, en pâtons de 2 à 4 cm de diamètre et de 30 à 60 cm de long, enveloppés dans des feuilles de lianes et ficelés à l'aide de joncs (figures 9 et 10). Ils sont alors disposés dans une marmite tapissée intérieurement de feuilles de bananier et cuits soit à l'eau, soit à l'étuvée, pendant une à deux heures.

Ils sont consommés chauds ou froids. Leur principal avantage est de pouvoir être conservés de quatre à sept jours et d'être facilement commercialisables et transportables. Ils constituent, par conséquent, l'aliment de choix des voyageurs et des célibataires et la recette qu'adoptera volontiers la ménagère qui veut gagner quelque argent en vendant sur le marché le fruit de son travail.

Les bâtons possèdent une forte odeur, appréciée des habitués. Au moment d'être consommés, ils sont dépouillés de leur enveloppe de feuilles et se présentent alors sous forme de masse translucide élastique, devenant de plus en plus ferme au cours de la conservation. Cette préparation est en tous points identique à celle décrite au Congo-Brazzaville et au Zaïre par de nombreux auteurs et dénommée "chikouangue" ou pain de manioc. Seule la présentation est différente puisqu'il s'agit alors de boules et non de bâtons.

La comparaison des compositions du bâton de manioc et de la pâte qui lui a donné naissance montre que la cuisson provoque la perte du quart de la thiamine et de 37 p. 100 de l'acide ascorbique (tableau 17).

L'augmentation de 7 p. 100 du taux de niacine, quoique faible, confirme les observations faites dans plusieurs autres cas de cuisson de dérivés de manioc (farine, gari) : on dose, régulièrement, plus de niacine dans l'aliment cuit. Cette constatation est surprenante au premier abord, mais de nombreuses déterminations conduites de telle sorte que l'extraction et le dosage de la vitamine soient réalisés dans des conditions rigoureusement identiques pour les produits crus et cuits ont toujours donné le même résultat. Il paraît donc logique d'admettre qu'il y a

T A B L E A U 17

INFLUENCE DE LA CUISSON ET DU STOCKAGE SUR LA COMPOSITION DU BATON DE MANIOC
(pour 100 grammes de matière sèche)

		Pâte		Bâton frais		Bâton de 7 jours		
Nombre d'échantillons		3		3		3		
					Pourcentage de différence avec la pâte		Pourcentage de différence avec la pâte	
Matière sèche	(g)	100	:	100	:	100	:	0
Calories	(g)	399	:	399	:	399	:	0
Protides	(g)	0,84	:	0,85	:	0,84	:	0
Lipides	(g)	0,3	:	0,1	:	0,1	:	- 67
Glucides totaux	(g)	97,9	:	98,1	:	98,0	:	0
Indigestible glucidique	(g)	1,7	:	1,7	:	1,7	:	0
Cendres	(g)	1,0	:	1,0	:	1,0	:	0
Calcium	(mg)	36	:	34	:	30	:	- 16
Phosphore total	(mg)	58	:	62	:	59	:	+ 1
P. phytique / total		0	:	0	:	0	:	-
Ca/P		0,62	:	0,55	:	0,51	:	0
Fer	(mg)	13	:	15	:	16	:	+ 23
Thiamine	(µg)	62	:	46	:	41	:	- 34
Riboflavine	(µg)	95	:	95	:	82	:	- 14
Niacine	(mg)	0,71	:	0,76	:	0,72	:	+ 2
Acide ascorbique	(mg)	9,0	:	5,7	:	0,5	:	- 94

plus de niacine dosable dans les dérivés du manioc après cuisson. L'extraction en milieu acide telle que nous l'effectuons concerne en principe la niacine totale. Il ne semble donc pas qu'il puisse s'agir de niacine bloquée dans les produits crus, qui serait libérée par cuisson. Peut-être le manioc cru contient-il un pré-curseur qui se transformerait en niacine sous l'effet de la chaleur à la façon dont s'enrichit le café au cours de la torréfaction (ADRIAN 1963).

Les teneurs en glucides, protides, sels minéraux totaux ne varient pas sensiblement. De même qu'à propos du séchage de la farine les variations considérables de teneur en matières grasses entre la pâte et le bâton ne retiendront pas notre attention en raison de la faible quantité de ces constituants dans le manioc et de l'erreur relative importante qui affecte leur dosage.

Les teneurs en fer et phosphore s'accroissent de 15 p. 100 et 6 p. 100 respectivement au cours de la cuisson, celle du calcium diminue.

La conservation du bâton durant sept jours provoque de nouvelles modifications. Toutes les vitamines sont affectées : l'acide ascorbique disparaît quasi-complètement, les teneurs en thiamine et riboflavine sont diminuées de 34 et 14 p. 100 respectivement par rapport à la pâte. L'enrichissement en niacine consécutif à la cuisson est pratiquement annulé. La perte de calcium et le gain de fer s'accroissent. Le fer de la marmite, le phosphore et le fer des feuilles d'emballage jouent peut-être un rôle dans ces variations des éléments minéraux.

Le tableau 18 présente le bilan nutritionnel de la préparation du bâton à partir de 100 grammes de manioc entier. Si on retrouve 55 p. 100 de la matière sèche, des glucides et des calories et 62 p. 100 de la riboflavine de la racine entière, la perte de tous les autres nutriments atteint le plus souvent 70 à 85 p. 100, et même 97 à 100 p. 100 dans le cas de la vitamine C.

T A B L E A U 18

BILAN NUTRITIONNEL DE LA PRÉPARATION DE BATON
(à partir de 100 grammes de racine entière)

		MANIOC ENTIER		BATON FRAIS (partie comestible)		BATON DE SEPT JOURS (partie comestible)	
Nombre d'échantillons		3		3		3	
		: Pourcentage de : récupération		: Pourcentage de : récupération		: Pourcentage de : récupération	
Poids frais (g)	:	100	: 100	49,2	: 49	46,7	: 47
Matière sèche (g)	:	40,0	: 100	21,6	: 54	21,6	: 54
Calories	:	157	: 100	86	: 55	86	: 55
Protides (g)	:	1,02	: 100	0,18	: 18	0,18	: 18
Lipides (g)	:	0,12	: 100	0,02	: 18	0,02	: 18
Glucides totaux (g)	:	37,9	: 100	21,2	: 56	21,2	: 56
Indigestible glucidique (g)	:	1,34	: 100	0,37	: 28	0,37	: 28
Cendres (g)	:	0,90	: 100	0,21	: 23	0,22	: 24
Calcium (mg)	:	26,2	: 100	7,3	: 28	6,5	: 25
Phosphore total (mg)	:	47,3	: 100	13,3	: 28	12,7	: 27
Phosphore phytique (mg)	:	21,6	: 100	0	: 0	0	: 0
P. phytique / P. total	:	0,46	: -	0	: -	0	: -
Ca/P	:	0,48	: -	0,55	: -	0,51	: -
Fer * (mg)	:	3,5	: 100	0,2	: 6	0,2	: 6
B ₁ (µg)	:	72	: 100	10	: 14	9	: 13
B ₂ (µg)	:	34	: 100	21	: 62	18	: 53
PP (mg)	:	0,73	: 100	0,16	: 22	0,15	: 21
C (mg)	:	33	: 100	1	: 3	traces	: 0

* sur 2 échantillons seulement.

6. Le Gari

Le gari est une préparation très particulière, pratiquée seulement dans certains pays et par certaines ethnies de l'Afrique de l'Ouest. Sa consommation est signalée notamment au Togo par PERISSE et al. (1956), au Dahomey et en Côte-d'Ivoire par VIGNOLI et CRISTAU (1950) ainsi qu'en Nigeria où il serait la principale denrée alimentaire, par OKE (1966).

Au Cameroun, où certains le dénomment improprement tapioca (✖), les Bamilékés de l'Ouest en sont les principaux producteurs et consommateurs. Mais de nombreux commerçants de cette ethnie, installés dans les autres régions du pays, contribuent à en vulgariser la consommation.

Le procédé de préparation Bamiléké est très semblable à ceux décrits dans d'autres pays par les auteurs ci-dessus mentionnés. Les racines de manioc, décortiquées et lavées, sont râpées sur une tôle percée à l'aide des grosses pointes (figure 11). La pulpe, enfermée dans des sacs, est comprimée pendant trois à six jours entre des planches pour en exprimer le suc (figure 12). Elle est ensuite grossièrement tamisée pour éliminer les fibres les plus volumineuses et les morceaux épargnés par la râpe. Enfin, elle est déshydratée par passage sur une tôle chauffée à feu doux enduite d'huile de palme pour éviter les adhérences.

Après un nouveau tamisage on obtient un produit granulé, de couleur crème, à saveur acidulée, pouvant se conserver des mois. On le consomme souvent froid après l'avoir fait gonfler dans l'eau sucrée, ou quelquefois du lait. On peut aussi le faire gonfler dans l'eau chaude ou frire dans l'huile.

L'élimination de l'amertume et de la toxicité dues à la présence de glucosides cyanogénétiques motive la technologie relativement complexe du gari. Pulpage et fermentation favorisent le contact entre

(✖) Note - Le tapioca est préparé à partir d'amidon de manioc préalablement isolé et purifié, puis gélifié. Le gari est préparé à partir de pulpe entière.

les glucosides cyanogénétiques et les enzymes responsables de leur hydrolyse. L'égouttage permet également d'éliminer une partie des substances toxiques. Enfin, le séchage par chauffage sur tôle favorise le départ de l'acide cyanhydrique par volatilisation. Effectivement, VIGNOLI et CRISTAU (1950) ne retrouvent aucune trace d'acide cyanhydrique dans les trois échantillons de gari qu'ils ont étudiés, originaires de Côte-d'Ivoire et du Cameroun. En Nigéria, OKE (1966) constate que la teneur en acide cyanhydrique rapportée à 100 g de matière sèche passe de 38 mg dans la racine à 1,9 mg dans le gari.

La fermentation est par ailleurs responsable du goût acidulé et de la saveur particulière de ce produit. Selon COLLARD et LEVI (1959) deux microorganismes interviendraient au cours de cette phase de la préparation : un *Corynebacterium* et un champignon, *Geotricum candida*.

Le premier, non décrit jusqu'alors et qu'ils ont dénommé *Corynebacterium manihot*, est trouvé en nombre croissant dans la pulpe au cours des quarante-huit premières heures de la fermentation. Il serait responsable de la production d'acides organiques à partir de l'amidon, d'où abaissement du pH qui provoquerait alors l'hydrolyse spontanée des glucosides cyanogénétiques avec libération d'acide cyanhydrique à l'état gazeux. Quand la quantité d'acides organiques est devenue suffisante, les conditions seraient favorables au développement du *Geotricum* qui devient prédominant les troisième et quatrième jours de la fermentation. Ce dernier microorganisme serait responsable de la formation des divers aldéhydes et esters qui donnent au gari son arôme et son goût caractéristique (AKINRELE 1964).

En application de cette étude, COLLARD et LEVI ontensemencé de la pulpe de manioc avec un mélange de cultures pures de *Corynebacterium manihot* et de *Geotricum candida*. Ils ont pu obtenir ainsi, en vingt-quatre heures seulement, un gari de goût identique au produit préparé en quatre jours selon la méthode traditionnelle. La durée de préparation peut également être ramenée à vingt-quatre heures en utilisant comme inoculum le jus s'écoulant de la pulpe durant le premier stade de la fermentation et conservé à température

ambiante pendant quatre jours. Cette méthode de production accélérée du gari, améliorée encore par AKINRELE (1967), devait être adoptée, à l'époque, par certaines sociétés coopératives de Nigéria. Nous ignorons où en est cette expérience à l'heure actuelle.

Les deux opérations de préparation traditionnelle de gari que nous avons observées ont eu des rendements en produit fini de 39,3 et 37,8 p. 100 respectivement, soit en moyenne 38,5 p. 100 par rapport à la racine entière telle qu'achetée (tableaux 9 et 9 bis).

Quels sont les effets de chaque phase de la préparation sur le potentiel nutritionnel du manioc ?

N'ayant pas analysé la racine épluchée qui a servi à préparer le gari, il ne nous est pas possible de connaître l'effet du seul râpage sur la composition chimique. On peut tout au plus avancer, en comparant les rendements de l'épluchage (tableau 10) et les rendements de l'épluchage + râpage (tableau 9 et 9 bis) que le râpage est très préjudiciable à la vitamine C : on n'en retrouve que 51 p. 100 dans la pulpe alors qu'il en reste encore 62 p. 100 en moyenne dans la racine épluchée. Cette destruction accrue d'acide ascorbique s'explique aisément par le contact de la tôle métallique et l'action favorable du broyage sur les réactions enzymatiques. Les pertes de phosphore et de sels minéraux totaux, plus élevées après épluchage et pulpage qu'après simple épluchage, peuvent également s'expliquer par l'égouttage qui s'est produit à partir de la pulpe avant notre prélèvement pour analyse.

L'ensemble égouttage-fermentation et le tamisage qui suit ont des répercussions notables (tableau 19) :

- 0 à 3 p. 100 seulement de la matière sèche, des glucides et des calories, 4 p. 100 de l'indigestible glucidique sont éliminés ;

-21 à 28 p. 100 des sels minéraux sont entraînés par égouttage mais il ne nous est pas possible de préciser ce qu'il advient du fer qui n'a pu être dosé dans la pulpe ;

T A B L E A U 19

INFLUENCE DE CHAQUE PHASE DE PREPARATION DU GARI
pourcentage de perte (-) ou de gain (+)

	: Egouttage, fermentation et tamisage :	: Grillage et tamisage :	: Cuisson à l'eau :
Poids frais	- 20	- 36	+ 300
Matière sèche	- 1	- 5	0
Calories	- 1	- 4	-
Protides	- 17	+ 6	-
Lipides	- 36	+ 194	-
Glucides totaux	- 0	- 5	-
Indigestible glucidique	- 3	- 4	-
Cendres	- 21	- 11	-
Calcium	- 21	- 3	-
Phosphore	- 28	- 1	-
Fer	-	+ 124	-
Thiamine	- 29	- 20	- 36
Riboflavine	- 6	- 13	0
Niacine	- 34	- 3	+ 2
Acide ascorbique	- 75	- 54	-

- 17 p. 100 de l'azote disparaît ;
- les pertes de thiamine, niacine et acide ascorbique sont de 29, 34 et 75 p. 100 respectivement alors que 6 p. 100 seulement de la riboflavine est affectée.

Deux explications semblent pouvoir être données à la modicité du déficit en cette dernière vitamine : ou bien sa rétention est plus importante que celle des autres éléments hydrosolubles ; ou bien la fermentation s'accompagne d'une synthèse de riboflavine venant compenser en partie les pertes par dissolution dans le jus d'égouttage.

La déshydratation par grillage et le dernier tamisage font disparaître 54 p. 100 de l'acide ascorbique restant dans la pulpe fermentée, 20 et 13 p. 100 respectivement des vitamines B₁ et B₂ et 11 p. 100 des sels minéraux totaux. On note que le contact de la pulpe avec la tôle chauffante et l'huile qui l'enduit provoque une augmentation du fer de 124 p. 100 et des lipides de 194 p. 100. Les autres nutriments ne sont affectés que dans la proportion de 1 à 6 p. 100 au cours de cette dernière phase de la préparation. Notons enfin que, selon OKE (1966), le phosphore phytique a complètement disparu du produit fini.

Si le gari est cuit à l'eau, on récupère dans la pâte 64 p. 100 de la thiamine. On n'observe pas de variation significative de la riboflavine et de la niacine. Bien que nous n'ayons pas dosé la vitamine C il est fort probable qu'elle est endommagée par l'action de la chaleur.

7. Cuisson à l'eau et préparation de medua-me-mbong

Les racines de manioc doux décortiquées, lavées et divisées en gros morceaux sont couvertes d'eau froide. On porte à l'ébullition pendant une demi-heure à une heure. Après rejet de l'eau de cuisson, le produit est prêt à être consommé.

Le manioc cuit peut aussi être découpé en fragments de un à deux centimètres de côté et mis à tremper durant douze à trente six heures dans l'eau courante. On obtient ainsi ce que les Ewondos appellent le medua-me-mbong. Ce lavage prolongé, facultatif pour le manioc doux, est obligatoire dans le cas des variétés amères.

Ces préparations sont consommées avec n'importe quel type de sauce : viande, poisson, arachides, graines de courge, feuilles vertes, etc.

Les tableaux 20 et 20 bis dressent le bilan nutritionnel des deux recettes. Il apparaît à la lecture de ces tableaux que le lavage prolongé est bien plus préjudiciable à la valeur nutritive que la simple cuisson. Il entraîne des pertes de thiamine, niacine, sels minéraux totaux, phosphore et protéines deux à huit fois supérieures. La cuisson n'affecte pas le fer mais le lavage prolongé en élimine 57 p. 100. De même si la riboflavine et la valeur énergétique sont peu affectées par la cuisson et le rejet des eaux, le lavage prolongé en fait perdre 65 et 32 p. 100 respectivement. Seules les pertes de lipides et de calcium sont plus faibles par lavage que par cuisson. Le rapport P phytique/P total est légèrement plus élevé dans le medua-me-mbong que dans la racine simplement cuite, ce qui s'explique aisément puisque le phosphore minéral est généralement plus soluble que le phosphore phytique et que la cuisson a détruit les éventuelles phytases susceptibles d'hydrolyser le phosphore organique. Malgré l'élimination d'une partie importante du phosphore phytique, il en reste suffisamment pour, théoriquement, précipiter la totalité du calcium de la racine cuite et les 3/4 du calcium du medua-me-mbong.

T A B L E A U 20

CUISSON A L'EAU ET PREPARATION DE MEDUA-ME-MBONG

	: Matière sèche :	Calories :	Protides :	Lipides :	Glucides totaux :	Indigestible :	Cendres :
	g		g	g	g	glucifique	g
						g	
Racine entière 4 327 g	-	-	-	-	-	-	-
Racine épluchée 3 375 g	1 259	5 000	18,3	8,3	1 208	23,8	24,7
Racine cuite 3 735 g	1 223	4 850	15,7	2,9	1 183	19,4	21,7
Pourcentage de perte (-) par cuisson	- 3	- 3	- 14	- 65	- 2	- 18	- 12
Medua-me-mbong 2 818 g	824	3 300	6,6	2,2	812	13,2	3,0
Pourcentage de perte par lavage prolongé	- 33	- 32	- 58	- 24	- 31	- 32	- 86

T A B L E A U 20 bis

CUISSON A L'EAU ET PREPARATION DE MEDUA-ME-MBONG

(vitamines et éléments minéraux)

	: Thiamine : mg	: Riboflavine : mg	: Niacine : mg	: Ac. ascorbique : mg *	: Calcium : mg	: Phosphore : total : mg	: Phosphore : phytique : mg **	: Fer : mg
Racine entière 4 327 g	-	-	-	-	-	-	-	-
Racine épluchée 3 375 g	1,16	0,89	23,3	1 181	466	2 788	1 168	8,2
Racine cuite 3 735 g	0,83	0,87	20,5	75	454	2 436	593	8,3
Pourcentage de perte (-) ou de gain (+) par cuisson	- 28	- 2	- 12	- 94	- 5	- 13	- 49	+ 1
Medua-me-mbong 2 818 g	0,11	0,30	1,52	-	443	582	304	3,6
Pourcentage de perte par lavage prolongé	- 87	- 65	- 93	-	- 2	- 76	- 48	- 57

* D'après LE BERRE S., GALLON G. et TABI B., (1969)

** D'après JOSEPH A. (1973), voir note ** au bas du tableau 5 bis.

Le medua-me-mbong apparaît comme un aliment presque exclusivement énergétique avec 98,7 p. 100 de glucides dans la matière sèche, moins de 1 p. 100 de protides, lipides et sels minéraux et des quantités infimes de vitamines (tableau 22).

La racine simplement cuite à l'eau est moins dépréciée ; elle contient 1,3 p. 100 de protides et 1,6 p. 100 de cendres, un potentiel en vitamines du groupe B relativement peu diminué par la cuisson et une teneur en acide ascorbique qui, bien que très faible, n'est pas totalement à négliger.

DISCUSSION DES RESULTATS

En se basant sur leurs rendements en principes nutritifs (tableau 21, figures 13, 14, 15), il est possible de porter un jugement sur la valeur des diverses préparations du manioc.

Matière sèche, glucides totaux, calories

Les pertes les plus importantes en matière sèche, glucides totaux et calories se produisent lors de la préparation des farines séchées-fumées et du medua-me-mbong (65 à 67 p. 100 de rendement par rapport au contenu de la racine épluchée crue) et plus généralement des produits obtenus à partir de manioc épluché avant d'être roui (58 à 74 p. 100 de rendement). Les préparations de manioc bouilli, gari et farine séchée au soleil après rouissage avec écorce sont les procédés qui permettent la récupération maximale de la matière sèche, des glucides totaux et des calories de la racine épluchée crue (90 à 98 p. 100).

Protides

C'est la simple cuisson à l'eau qui provoque les pertes de protides les plus faibles (14 p. 100). Viennent ensuite la préparation de gari et de farine à séchage mixte après rouissage avec écorce (22-23 p. 100 de pertes), puis les autres farines obtenues après rouissage avec écorce (40 à 46 p. 100 de pertes) puis les produits dérivés du rouissage sans écorce (52 à 68 p. 100 de pertes) et enfin le medua-me-mbong dans lequel on ne récupère que le tiers des protides initialement présents dans la racine épluchée crue.

Sels minéraux

Le manioc bouilli et les farines séchées à l'air après rouissage avec écorce sont les modes de préparation qui permettent de récupérer le maximum de cendres, calcium et phosphore. L'action solvante de l'eau, utilisée dans tous les procédés de transformation, se traduit le plus souvent par des pertes importantes. Certains traitements permettent cependant de compenser partiellement

T A B L E A U 21

APPORT NUTRITIONNEL APRES TRANSFORMATION DE 100 g DE RACINE ENTIERE

		: Racine : entière :	: Racine : épluchée: : crue	: Racine : cuite : à l'eau	: Bâton :	: Gari :	: F a r i n e s : rouissage : sans écorce	: rouissage : avec écorce	: Racine : cuite : lavée
Racine humide	(g)	100	77,0	87,6	49,2	38,5	25,3 à 29,6	27,9 à 34,0	66,8
Matière sèche	(g)	40,0	32,3	28,3	21,6	29,7	21,3 à 25,6	20,8 à 28,7	19,0
Calories		157	127	112	86	119	85 à 102	83 à 115	76
Protides	(g)	1,02	0,48	0,38	0,18	0,37	0,16 à 0,22	0,26 à 0,51	0,16
Lipides	(g)	0,1	0,1	0,04	0,02	0,2	0,04 à 0,06	0,04 à 0,12	0,03
Glucides totaux	(g)	37,9	31,0	27,4	21,2	28,8	20,9 à 25,1	20,3 à 28,1	18,8
Indigestible glucidique	(g)	1,3	0,6	0,5	0,4	0,6	0,4	0,3 à 0,6	0,3
Cendres	(g)	0,90	0,57	0,46	0,21	0,34	0,16 à 0,19	0,24 à 0,50	0,06
Calcium	(mg)	26	13	12	7	10	6 à 8	7 à 15	11
Phosphore total	(mg)	47	39	31	13	18	9 à 11	10 à 21	7
Fer	(mg)	3,5	0,4	0,4	3,1	1,5	0,2 à 0,7	0,8 à 11,9	0,2
Thiamine	(µg)	72	31	20	10	18	6 à 12	13 à 23	3
Riboflavine	(µg)	34	18	16	21	15	10 à 12	8 à 21	6
Niacine	(mg)	0,73	0,52	0,41	0,16	0,33	0,11 à 0,18	0,17 à 0,37	0,03
Acide ascorbique	(mg)	33	20	1	1	2	0	0	0

Figure 13

RENDEMENT EN INDIGESTIBLE GLUCIDIQUE, CALORIES, PROTIDES
ET CENDRES DES DIVERS PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU MANIOC

Le contenu de la racine épluchée crue est pris pour base=100

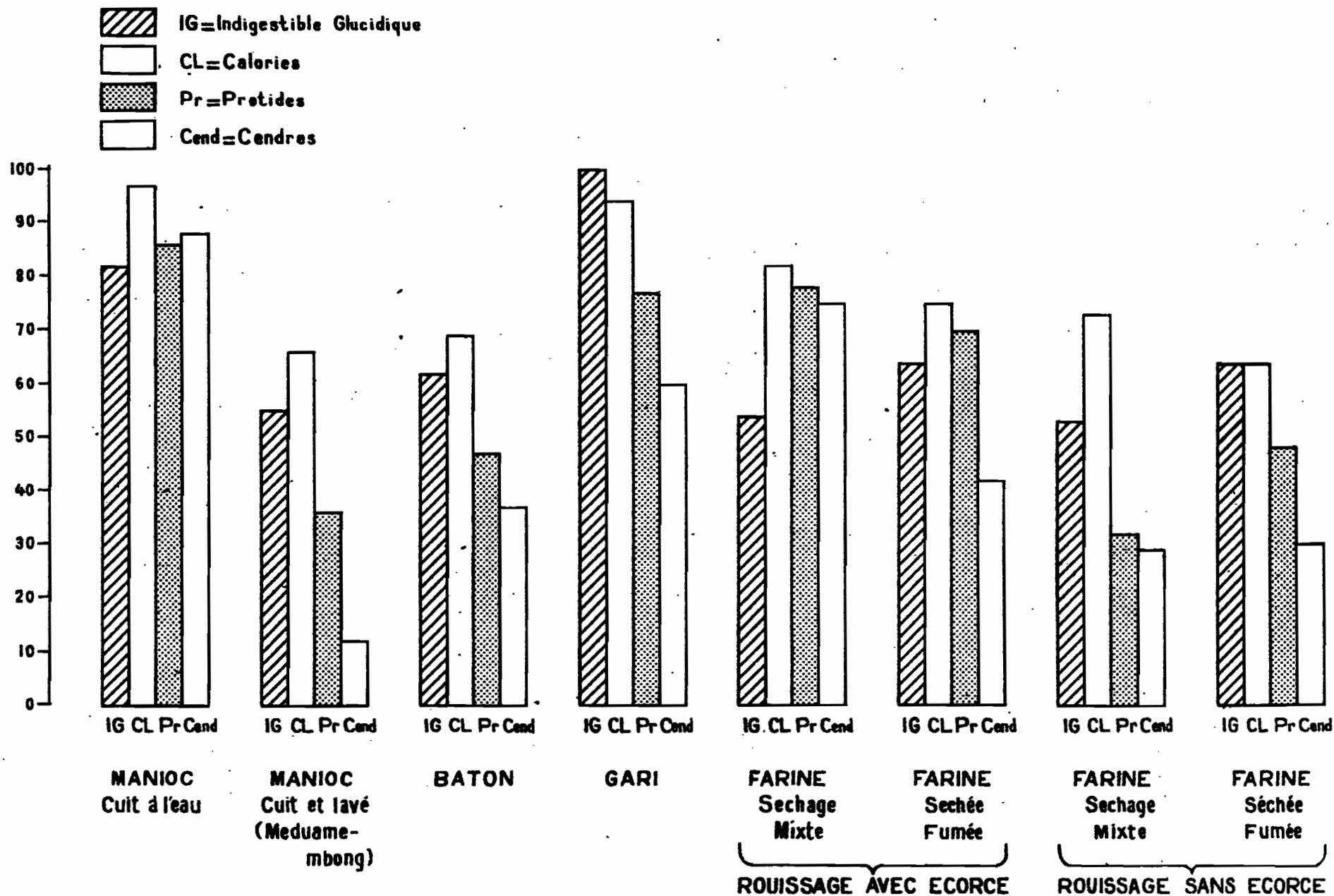


Figure 14

RENDEMENT EN MATIÈRES MINÉRALES DES DIVERS PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU MANIOC

(Le contenu de la racine épluchée crue est pris pour base=100)

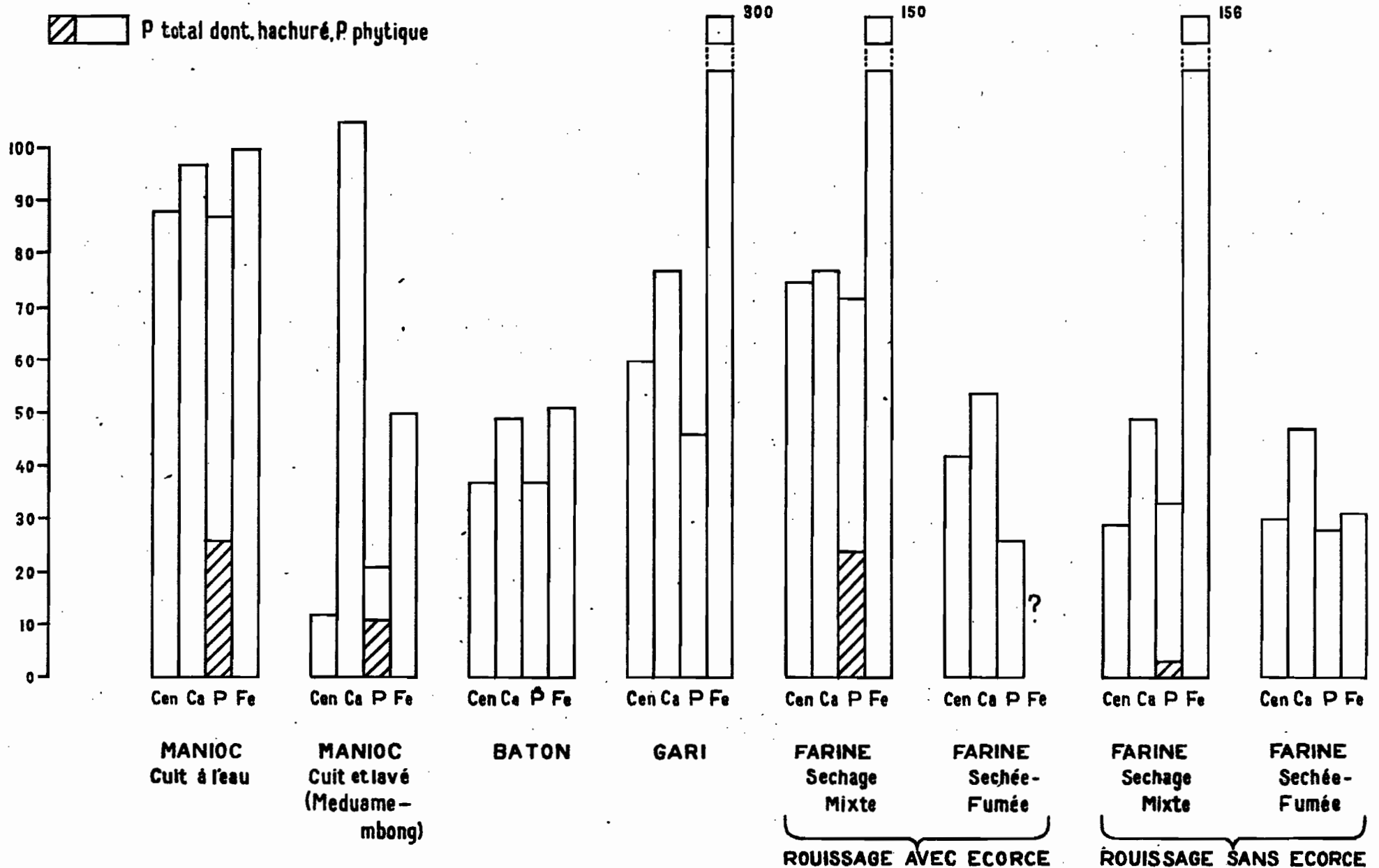
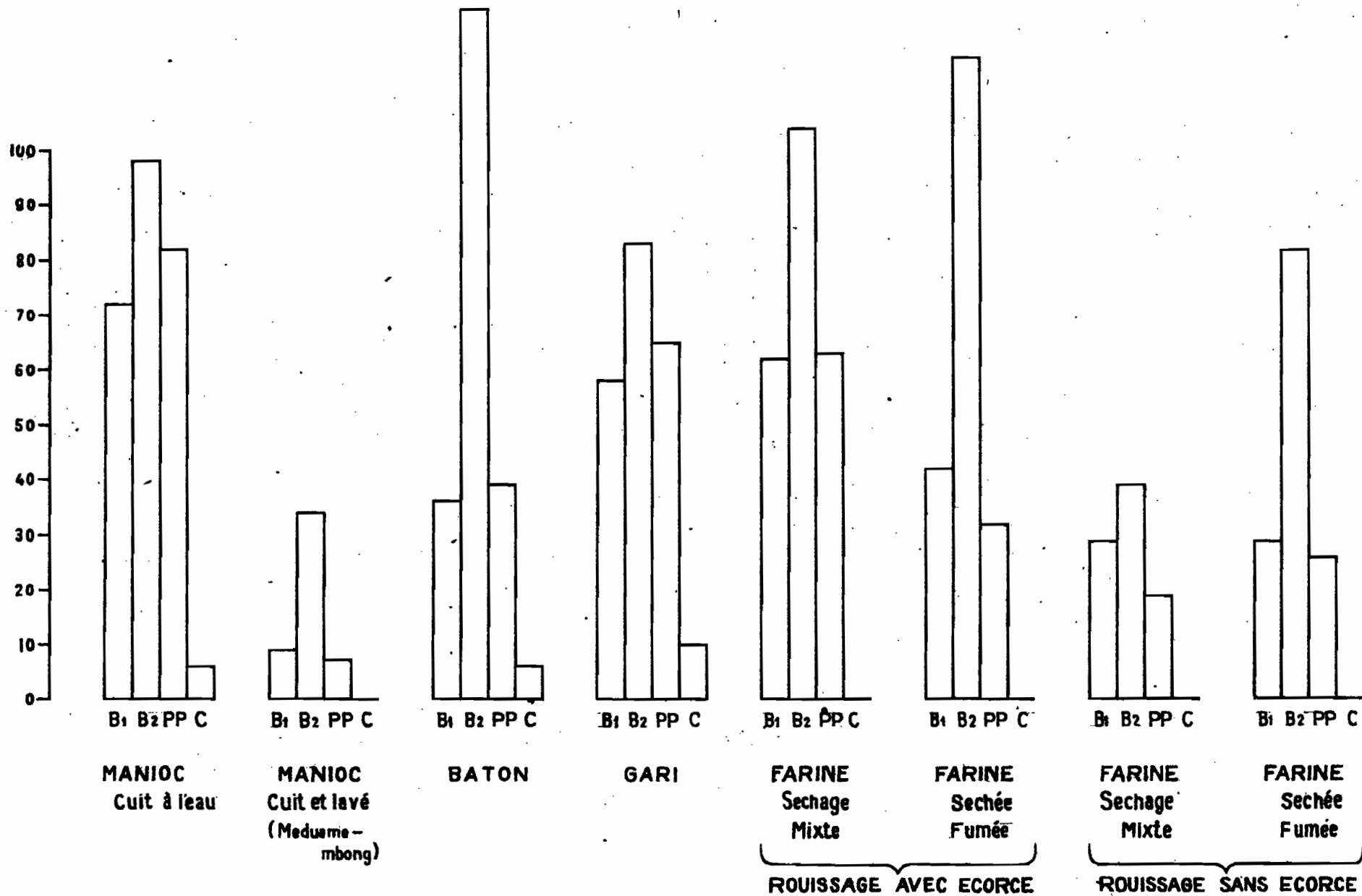


Figure 15

RENDEMENT EN VITAMINES DES DIVERS PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU MANIOC

(Le contenu de la racine épluchée crue est pris pour base = 100)



ces déficits quelquefois même de retrouver dans le produit fini plus d'éléments minéraux que dans la racine initiale. Ainsi le lavage prolongé du medua-me-mbong et de l'écorce provoque une fixation de calcium non négligeable alors que tous les autres éléments hydrosolubles sont pratiquement épuisés. L'exposition au soleil ou à l'ombre accroît la teneur des farines en sels minéraux et surtout en fer apportés par les poussières et la terre. De même, le contact avec des ustensiles de cuisine métalliques (râpes, tôles), provoque une augmentation du taux de fer du gari. C'est ainsi que le gari que nous avons expérimenté contient deux fois plus de fer que la pulpe fermentée qui lui a donné naissance et trois fois plus que le manioc épluché.* Le rapport phosphocalcique et surtout le rapport P phytique/P total sont améliorés par tous les traitements sauf dans le cas de la racine cuite lavée qui voit son rapport P phytique/P total s'élever par rapport à celui de la racine initiale. Très souvent le phosphore phytique est complètement éliminé. Mais, d'une façon générale, les pertes en sels minéraux les plus importantes sont observées lors de la préparation de medua-me-mbong, des farines séchées-fumées et des produits obtenus après rouissage sans écorce.

Vitamines

Seule la racine crue contient une proportion appréciable de vitamine C. Tous les traitements l'affectent gravement. Certains, comme la cuisson à l'eau (LE BERRE et al. 1969) et la préparation du bâton ou du gari en font disparaître la plus grande partie. D'autres la réduisent à néant ; c'est ainsi qu'on n'en trouve plus que des traces dans les farines et le bâton conservé plusieurs jours.

Les diverses transformations diminuent plus ou moins considérablement le potentiel en thiamine - hydrosoluble et thermolabile - et en niacine, soluble mais peu sensible à la chaleur. Leur classement, par ordre de rendements décroissants, est le suivant :

- manioc cuit à l'eau
- produits rous avec écorce
- gari

* Mais nos moyens limités ne nous ont pas permis d'étudier si le calcium et le fer apportés par l'extérieur sont disponibles et utilisables par l'organisme, c'est-à-dire s'ils sont vraiment intéressants sur le plan nutritionnel.

- produits rouis sans écorce
- farines séchées-fumées
- medua-me-mbong

On ne retrouve dans ce dernier plus que 7 à 9 p. 100 des vitamines B₁ et PP initiales.

La riboflavine mérite une attention spéciale. Dans les produits rouis sa teneur est d'autant plus importante que la racine n'a pas été pelée avant son immersion et que les traitements ultérieurs ont été poursuivis à l'abri de la lumière. C'est ainsi que les meilleurs rendements s'observent lors de la préparation de bâton, protégé de la lumière par son enveloppe de feuilles, et de farines séchées à la fumée ou à l'ombre après rouissage avec écorce. On retrouve même dans ces trois types de produits plus de vitamine B₂ qu'il n'y en a dans la racine épluchée crue correspondante. Il se produit donc un gain effectif de riboflavine par synthèses microbiennes.

La racine cuite à l'eau, le gari et la farine fumée-séchée après rouissage sans écorce perdent peu de vitamine B₂ par rapport à la racine épluchée crue : 12 à 18 p. 100. Par contre les pertes sont plus élevées lors du séchage au soleil. Dans ce dernier cas, et même lorsque le manioc n'est pas pelé avant son immersion, le stock de riboflavine de la partie comestible est diminué de plus de 50 p. 100. Enfin, comme pour tous les nutriments, calcium excepté, c'est la préparation de medua-me-mbong qui donne le plus faible rendement en vitamine B₂ : 34 p. 100. Il est à noter cependant que la perte de riboflavine au cours du lavage prolongé est moins importante que celle de beaucoup d'autres principes nutritifs hydrosolubles tels que thiamine, niacine, fer et cendres. Cette constatation est peut-être due à la solubilité relativement faible de cette vitamine.

En bref, de toutes les préparations du manioc, c'est la simple cuisson à l'eau qui respecte le mieux la plupart des nutriments, à l'exception de l'acide ascorbique mieux protégé au cours de la préparation du gari cru, de la riboflavine synthétisée au cours du rouissage et du fer apporté de l'extérieur par les poussières ou les ustensiles métalliques aux farines séchées à l'air et au gari.

En les envisageant sous l'angle de leur composition chimique et de leur valeur nutritionnelle, il est également possible de juger les diverses formes de consommation du manioc. A la lecture des tableaux 22 et 22 bis qui présentent leur composition chimique, il s'avère que toutes ces formes sont très pauvres tant en protides, lipides et sels minéraux qu'en vitamines, et que les différences qui existent entre elles sont faibles. Il est possible cependant d'établir une hiérarchie dans cette pauvreté.

C'est ainsi que la racine crue, et à un degré moindre la racine cuite à l'eau, sont généralement plus riches en protides, cendres, phosphore et vitamines, tout en ayant des teneurs en indigestible glucidique comparables à celles des autres dérivés. Leurs taux de calcium ne sont dépassés que par ceux du medua-me-mbong, de l'écorce cuite lavée et de la farine séchée au soleil après rouissage avec écorce. Mais leurs rapports phosphocalciques, de 0,34 et 0,38 respectivement, sont faibles et moins favorables que ceux des autres formes. Par ailleurs, elles contiennent suffisamment de phosphore phytique pour, théoriquement, insolubiliser la totalité ou une part importante du calcium et du fer. Les vitamines du groupe B sont à des teneurs plus élevées à l'exception de la riboflavine dont le taux est moindre que ceux de certains produits enrichis par rouissage. Enfin la richesse relative de la racine crue en acide ascorbique est à remarquer, d'autant plus que tous les autres dérivés en contiennent très peu (manioc bouilli, bâton, gari) ou en sont pratiquement dépourvus.

Cependant les racines crues ou simplement cuites à l'eau ne peuvent être consommées que s'il s'agit de variétés douces, ce qui limite notablement leur importance dans l'alimentation africaine. La consommation de manioc cru est d'ailleurs fort restreinte : la plupart des populations le considèrent plutôt comme une friandise, et si OKE (1966) en signale l'utilisation par certains Haoussas du Nord de la Nigéria, il est probable que c'est seulement comme aliment secondaire dans cette région où les céréales occupent la première place.

T A B L E A U 22

COMPOSITION DES DERIVES DU MANIOC TELS QUE CONSOMMES
(pour 100 grammes de matière sèche)

	Racine	Racine	Bâton	Gari	Gari	Farine cuite		Racine	Écorce	Tanioca
	épluchée: crue	cuite à l'eau	frais		cuit	rouissage sans écorce	rouissage avec écorce	cuite lavée	cuite lavée	
Nombre d'échantillons	5	5	3	2	2	8	4	5	4	1
Calories	395	395	399	400	400	400	396 à 400	401	395	402
Protides (g)	1,51	1,33	0,85	1,25	1,25	0,75 à 0,87	0,91 à 1,79	0,83	1,95	0,06
Lipides (g)	0,4	0,1	0,1	0,7	0,7	0,2 à 0,3	0,2 à 0,4	0,2	0,3	traces
Glucides totaux (g)	96,3	96,9	98,1	96,9	96,9	98,2 à 98,3	96,7 à 97,2	98,7	96,0	99,7
Indigestible glucidique (g)	1,9	1,6	1,7	1,9	1,9	1,5 à 1,7	1,2 à 2,0	1,6	10,8	traces
Cendres (g)	1,77	1,61	0,98	1,13	1,13	0,74 à 0,77	1,14 à 1,27	0,34	1,71	1,71
Calcium (mg)	42	42	34	33	33	30 à 33	35 à 52	61	389	13
Phosphore total (mg)	122	110	62	61	61	43 à 49	49 à 73	39	45	11
P. phytique/P. total **	0,44	0,30	0	0	0	0 à 0,10	0 à 0,33	0,52	0,30	0
Ca/P	0,34	0,38	0,55	0,54	0,54	0,61 à 0,76	0,64 à 0,71	1,56	8,6	1,2
Fer (mg)	1,4	1,4	15	5	5	1,1 à 2,6	3,1 à 41	0,9	13	1,4
Thiamine (µg)	96	71	46	60	38	28 à 44	58 à 80	14	52	0 *
Riboflavine (µg)	57	57	95	49	49	36 à 55	28 à 98	30	20	0 *
Niacine (mg)	1,61	1,45	0,76	1,08	1,10	0,57 à 0,78	0,86 à 1,4	0,16	0,02	0 *
Acide ascorbique (mg)	61	4	6	6	-	0	0	-	-	0 *

* D'après les tables de composition américaines (WATT et MERRIL 1963)

** D'après JOSEPH A. (1973)

T A B L E A U 22 bis
COMPOSITION DES DERIVES DU MANIOC
(pour 100 g de partie comestible)

		Racine épluchée crue	Racine cuite à l'eau	Racine cuite à l'eau et lavée (medba-me-mbong)	Ecorce cuite lavée	Bâton frais	Cari	Farines fumées-séchées		Farines séchées		Tapioca		
								Rouissage sans écorce	Rouissage avec écorce	au soleil	Séchage mixte			
Nombre d'échantillons		5	5	5	4	3	2	3	3	1	2	1	1	
Calories		165	127	114	84	176	309	315	336	301	345	345	346	344
Eau	(g)	58,3	67,7	71,5	78,0	56,0	22,8	21,3	15,9	24,8	13,0	12,8	13,4	14,5
Protides	(g)	0,63	0,48	0,24	0,42	0,38	0,97	0,60	0,63	1,06	0,80	0,93	0,75	0,05
Lipides	(g)	0,2	0,03	0,06	0,07	0,04	0,5	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	traces
Glucides totaux	(g)	40,9	31,3	28,1	20,5	43,2	74,7	77,4	82,6	73,1	84,3	85,3	85,0	85,2
Indigestible glucidique	(g)	0,8	0,5	0,5	2,5	0,7	1,4	1,4	1,4	1,4	1,7	1,7	1,3	traces
Cendres	(g)	0,74	0,52	0,10	0,37	0,43	0,87	0,58	0,65	0,85	1,52	1,62	0,64	0,20
Calcium	(mg)	17	14	17	83	15	26	24	26	26	45	45	28	11
Phosphore total	(mg)	51	36	11	10	27	47	38	37	37	63	63	38	9,4
P.phytique/P. total	※	0,44	0,30	0,52	0,30	0	0	0	0	0	0	0,33	0,10	0
Ca/P		0,34	0,38	1,56	8,6	0,55	0,54	0,61	0,70	0,71	0,71	0,71	0,76	1,2
Fer	(mg)	0,6	0,5	0,3	2,9	6,4	4,1	0,9	0,9	2,9	35,8	34,5	2,3	1,2
Thiamine	(g)	41	23	4	11	20	47	29	25	45	60	53	39	0 ※
Riboflavine	(g)	24	18	9	4	42	38	46	43	78	25	29	33	0 ※
Niacine	(mg)	0,68	0,47	0,05	0,004	0,33	0,87	0,45	0,44	0,60	1,11	1,14	0,61	0 ※
Acide ascorbique	(mg)	26	0,1	-	-	2,5	5	0	0	0	0	0	0	0 ※

※ d'après les tables de composition américaines (WATT et MERRIL 1963)

※ d'après JOSEPH A. (1973)

Le plus souvent, des traitements plus ou moins complexes doivent être appliqués quand on se trouve en présence des variétés amères qu'il faut débarrasser de leurs glucosides cyanogénétiques ou si on veut obtenir des produits stockables et transportables.

Parmi les dérivés de transformations du manioc, le gari ainsi que les produits obtenus après rouissage avec écorce sont ceux qui paraissent les moins dépouillés de leurs principes nutritifs nobles par rapport à la racine crue d'origine . Ils sont très proches les uns des autres par leurs teneurs en protides, cendres, phosphore, thiamine et niacine. Par le calcium et la riboflavine, le gari se rapproche cependant davantage des farines rouies sans écorce alors que par sa très grande pauvreté en vitamine B₂, la farine séchée au soleil (tableaux 14 et 22) est voisine du medua-me-mbong et de l'écorce cuite lavée.

Le bâton se situe, selon les nutriments, tantôt près du gari et des farines issues de manioc roui avec écorce, tantôt près des farines obtenues par rouissage de racine pelée. Il est à noter cependant que les bâtons que nous avons étudiés ont été préparés à partir de tubercules épluchés puis rouis. Malgré ce handicap, ils possédaient tous des teneurs en riboflavine, cendres et phosphore relativement élevées. Il est très probable que les bâtons préparés par rouissage avec écorce doivent se situer parmi les dérivés du manioc les plus intéressants sur le plan nutritionnel.

Lorsque les racines ont été pelées avant d'être rouies, les farines qui en résultent sont parmi les formes les plus pauvres surtout si elles sont séchées-fumées. Seul le medua-me-mbong est encore plus démuné en nutriments, calcium excepté.

Mentionnons enfin que si l'écorce cuite lavée figure parmi les dérivés du manioc les mieux pourvus en protides, cendres, fer et surtout calcium, elle est par contre parmi les plus pauvres en thiamine et ses teneurs en riboflavine et niacine sont de loin les plus faibles. Par ailleurs, son taux d'insoluble formique en fait probablement un aliment plus nocif qu'utile.

Il est intéressant de comparer la composition chimique des diverses formes de consommation traditionnelles au Cameroun à la composition du tapioca consommé en Europe. Ce produit est obtenu industriellement par gélification à la chaleur de fécule de manioc. La fécule humidifiée pour contenir environ 42 p. 100 d'eau est homogénéisée puis cuite pendant 8 à 10 minutes à 150° C. Elle est ensuite séchée durant 6 à 8 heures. Elle subit enfin une série de broyages et de blutages variables selon l'aspect et les caractéristiques du produit final recherché (ANONYME 1968).

Le tapioca que nous avons analysé, acheté dans le commerce, peut être considéré comme une fécule pratiquement pure. Il s'avère être encore plus pauvre que le medua-me-mbong (tableau 22) sauf en ce qui concerne le fer. Sa consommation ne peut se justifier que comme aliment énergétique adjuvant de certaines recettes entrant dans des rations alimentaires par ailleurs bien équilibrées. De fait, et bien opportunément, il ne figure absolument pas dans la cuisine traditionnelle camerounaise.

On peut se demander si les différences de composition chimique qui existent entre les divers dérivés du manioc et qui portent sur des écarts très faibles se traduisent en fait par des variations notables des taux de couverture des besoins nutritionnels quand ces produits entrent en proportion importante dans la ration.

A titre d'exemple, nous avons calculé l'apport réalisé par des quantités de manioc couvrant 80 p. 100 des besoins caloriques de l'homme adulte. Nous avons adopté pour besoins nutritionnels les allocations recommandées par l'OMS (1965, 1967) et la FAO (1957, 1962, 1970) dans le cas d'un homme de 25 ans, pesant 60 kg, exerçant une activité moyenne sous une température annuelle moyenne de 25° C, recevant une ration alimentaire dont moins de 10 p. 100 des calories sont fournies par des protéines d'origine animale et dont l'utilisation protéique nette (UPN) se situe entre 50 et 60 (cas du Cameroun). Ces quantités de manioc sont voisines des maxima de consommation observés au Cameroun (tableau 2) mais il est courant, dans d'autres régions d'Afrique, que le manioc seul, ou quelquefois associé à d'autres tubercules, apporte 70 à 90 p. 100 des calories de la ration (PERISSE 1966).

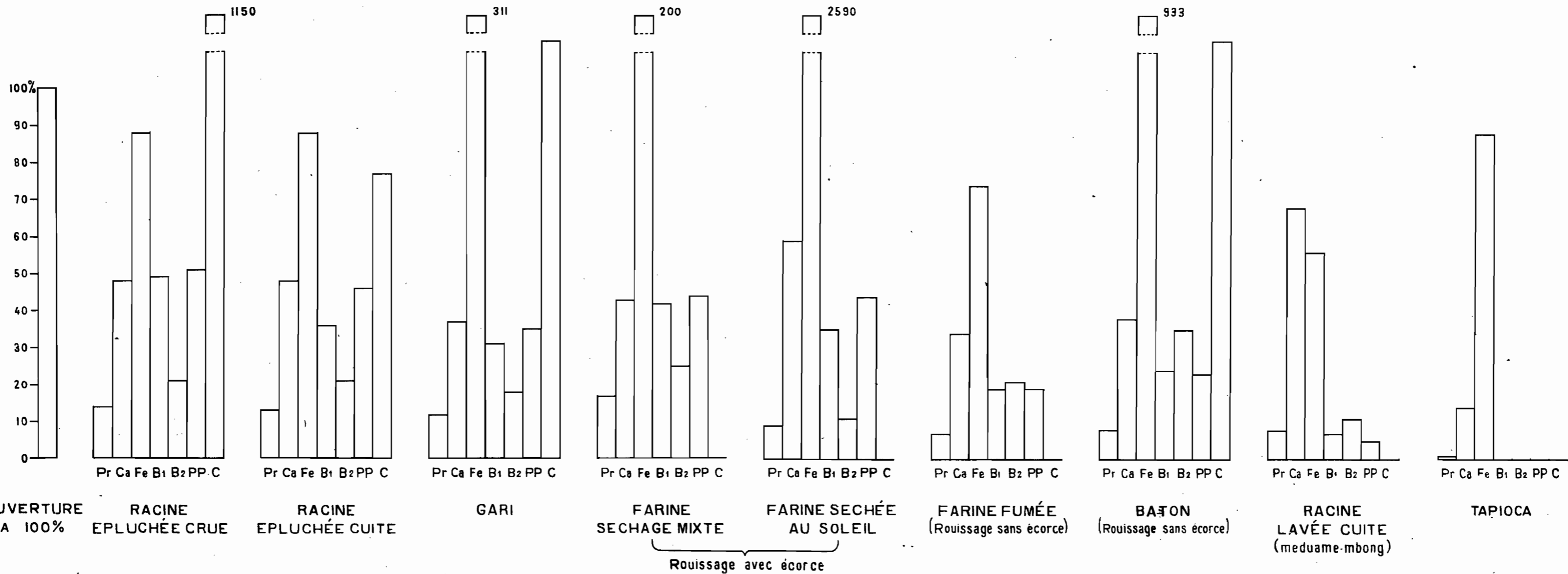
A la lecture de la figure 16

il apparaît qu'en ce qui concerne les protides et la riboflavine, principes nutritifs fréquemment déficients dans les régimes alimentaires africains, les variations existant entre les divers produits se traduisent par des différences d'apport qui ne sont pas négligeables. C'est ainsi que dans une ration où il représente à lui seul 80 p. 100 de l'apport calorique, le manioc fournira 4 g ou 10 g de protides, couvrant 7 ou 17 p. 100 des besoins de l'homme adulte, selon qu'il sera sous forme de farine fumée obtenue par rouissage sans écorce ou sous forme de farine séchée à l'ombre après rouissage avec écorce. De même, il assurera à lui seul 11 ou 35 p. 100 du besoin en riboflavine selon qu'il sera sous forme de farine séchée au soleil et de medua-me-mbong ou sous forme de bâton roui sans écorce. La différence serait encore plus grande avec le bâton roui avec écorce.

Pour le fer également, les différences sont notables : si le gari et les farines exposées à la poussière et à la terre apportent des quantités bien supérieures aux 9 mg recommandés par les organismes internationaux, d'autres préparations, comme le medua-me-mbong (56 p. 100), les farines fumées après rouissage sans écorce (74 p. 100) et la racine simplement épluchée crue ou cuite (88 p. 100), ne couvrent qu'une partie du besoin. Or, bien que très rares soient les enquêtes indiquant en Afrique des taux de consommation inférieurs aux allocations recommandées, les enquêtes cliniques signalent de nombreux cas d'anémies nutritionnelles, chez les enfants notamment (PERISSE 1966). Il est donc possible que la quantité de fer d'un certain nombre de régimes africains soit insuffisante. En effet, si les allocations recommandées ont été calculées avec une marge de sécurité dans des conditions normales, le parasitisme intestinal peut être responsable d'une mauvaise utilisation du fer, tout particulièrement dans les régions où sévit l'ankylostomiase. Par ailleurs, le besoin en fer de certaines catégories d'individus, notamment la femme, est bien supérieur à celui de l'homme : 28 mg au lieu de 9 mg par jour selon les experts réunis par la FAO (1970).

Figure 16

COUVERTURE DES BESOINS NUTRITIONNELS DE L'HOMME ADULTE
 PAR UNE RATION DE MANIOC
 ASSURANT 80% DU BESOIN ÉNERGÉTIQUE



En ce qui concerne la vitamine C, autre nutriment parfois insuffisant dans les rations africaines, les différences sont également importantes. Sans tenir compte du cas peu vraisemblable qui verrait le manioc cru apporter 80 p. 100 des calories de la ration et couvrir le besoin en acide ascorbique à plus 1150 p. 100, il est remarquable que le bâton frais ou le gari consommé sans cuisson supplémentaire peuvent couvrir à plus de 100 p. 100 ce besoin et le manioc bouilli à 77 p. 100 alors que les farines ou le medua-membong ne sont d'aucun secours dans ce domaine.

Les différences ne sont pas négligeables non plus lorsque l'on considère la thiamine, la niacine et le calcium. Quand la farine fumée préparée par rouissage sans écorce n'assure même pas 20 p. 100 des besoins en thiamine et niacine, la quantité isocalorique de farine séchée à l'ombre après rouissage avec écorce couvre à elle seule plus de 42 p. 100 de ces besoins. Le medua-membong dans les mêmes conditions n'apporte que 5 à 7 p. 100 des vitamines B₁ et PP nécessaires. Mais il fournit par contre 68 p. 100 du calcium quotidiennement souhaitable * et la farine séchée au soleil 59 p. 100 quand la farine fumée après rouissage sans écorce n'en procure que 34 p. 100.

Quand au tapioca, on peut imaginer le cas où il fournirait 80 p. 100 des calories de la ration. Mais il ne couvrirait alors que 0,5 p. 100 du besoin protéique, 14 p. 100 du besoin calcique, 88 p. 100 du besoin en fer et n'apporterait pratiquement aucune vitamine.

Ces quelques comparaisons montrent que les différences de composition chimique des divers dérivés du manioc se traduisent par des variations non négligeables dans la couverture des besoins nutritionnels lorsque ces produits entrent en proportion importante dans la ration alimentaire. Il n'est donc pas indifférent de préciser la consommation de certaines formes plutôt que d'autres, selon les déficiences particulières de chaque régime alimentaire.

En résumé, si l'on essaie de classer les diverses transformations du manioc en fonction de leur rendement en nutriments, on aboutit globalement aux mêmes résultats que lors de leur classement selon la valeur nutritive des produits finis.

* à condition que le phosphore phytique restant soit hydrolysé au cours de la digestion.

La racine crue et, en second lieu, la racine cuite à l'eau sont les plus intéressantes si l'on considère la plupart des principes nutritifs, riboflavine et fer exceptés.

Le gari ainsi que les produits obtenus par rouissage avec écorce (farines et bâton) viennent ensuite avec des valeurs voisines. Parmi eux, les farines séchées à l'ombre, plus riches que celles séchées au soleil en protides, vitamines B₁ et surtout B₂, le sont moins par contre en sels minéraux.

L'épluchage du manioc avant son rouissage conduit à des bâtons et des farines très pauvres. Il faut noter cependant que ces produits sont plus riches en riboflavine que les farines séchées au soleil même si ces dernières ont été obtenues par rouissage avec écorce. Le séchage-fumage conduit à des pertes plus élevées - riboflavine exceptée - que le séchage à l'air.

Le medua-me-mbong est de loin le plus démuné. Seule sa teneur en calcium n'est pas négligeable, le situant au premier rang des dérivés du manioc après l'écorce cuite rouie. Il n'en demeure pas moins que 100 g de racine brute consommée sous forme de medua-me-mbong apporte moins de calcium que si on la consomme simplement épluchée crue ou cuite à l'eau. Par ailleurs, si le manioc cuit et lavé à l'eau de la ville de Yaoundé est relativement riche en calcium, en est-il de même pour les produits similaires préparés dans d'autres régions ? Dans les zones rurales notamment, il existe peu de châteaux d'eau et de conduites en ciment susceptibles d'augmenter la concentration de l'eau en calcium. N'oublions pas aussi qu'il y a suffisamment de phosphore phytique dans la racine épluchée crue, la racine cuite et la racine cuite lavée/pour en insolubiliser la totalité ou au moins une grande partie du calcium, en l'absence de phytase.

Rappelons enfin le cas particulier de l'écorce interne cuite-lavée, plus riche que les autres dérivés en protides, cendres, calcium, fer, mais pauvre en phosphore, thiamine et riboflavine, pratiquement dépourvue de niacine et chargée d'indigestible glucidique.

V. LE SORGHO

ASPECTS BOTANIQUES ET AGRONOMIQUES

Avec les millets, le sorgho forme le groupe des mils, céréales qui ont en commun la petitesse de leurs grains. Le sorgho a les grains relativement les plus gros, d'où son nom de gros mil, les millets étant désignés sous le terme de petit mil.

Le genre *Sorghum* comprend de très nombreuses espèces et variétés cultivées, classées par SNOWDEN selon les caractères de leurs inflorescences et de leurs épillets. Dans le seul Nord-Cameroun, on en a inventoriées plus d'un millier (MARATHEE 1970).

Le sorgho cultivé est une plante annuelle formée d'une touffe de tiges rectilignes pouvant atteindre 0,80 à 5 mètres de hauteur. Les feuilles alternes, longuement engainantes sur la tige, ont une longueur de 50 à 80 cm et une largeur maxima de 5 à 10 cm (fig. 17). L'inflorescence termine la tige qui a achevé son développement normal. C'est une panicule rameuse de forme et de dimensions variables suivant les variétés : dense et compacte quand ses ramifications sont courtes, lâche lorsque celles-ci sont longues (fig. 18 et 19). Les dernières ramifications portent le grain de forme globuleuse plus ou moins aplatie, de coloration variant du blanc au jaune, rouge ou brun plus ou moins foncé. A maturité, les glumes, qui sont aussi diversement colorées, peuvent enfermer complètement le grain ou s'entr'ouvrir pour le laisser apparaître. Ce dernier a la constitution de tous les grains de céréales. Le péricarpe, qui comprend plusieurs assises de cellules, est soudé au tégument de la graine proprement dite. L'albumen (endosperme), entouré d'une assise protéique à grains d'aleurone, est formé de deux parties : un albumen corné, voisin de l'assise aleurique et un albumen farineux au centre. L'embryon, qui fait une saillie plus ou moins prononcée à la base du grain, a sensiblement la même constitution

que celui des autres céréales. Le grain a des dimensions variables suivant l'espèce et la variété mais il est toujours relativement petit : le poids de 1 000 grains s'établit généralement entre 25 et 50 g.

Pour donner une bonne production, la plante exige des sols assez fertiles. Dès qu'elle a formé son système racinaire, elle est douée d'une assez grande résistance à la sécheresse, ce qui lui permet de se développer dès que la pluviométrie atteint environ 400 mm.

Le sol est préparé en fin de saison sèche : les herbes, les feuilles, les tiges de mil restées sur place depuis la précédente récolte sont brûlées, du fumier animal est apporté. La terre est ensuite grattée à la houe sur 4 à 5 cm de profondeur et retournée. Quelquefois elle est rassemblée en buttes. Avec les premières pluies vient le temps des semailles : le grain est jeté dans des poquets faits au bâton à four. Deux à quatre sarclages sont pratiqués durant le développement de la plante et la terre est ramenée en buttes autour des pieds. En début de végétation, les manquants sont remplacés par de nouveaux semis ou par repiquage de plants prélevés sur les touffes les plus denses. Certaines variétés - les muskwari - sont repiquées sur les terres à karral, sols lourds qui conservent leur humidité suffisamment longtemps après la saison des pluies pour permettre le développement complet de la plante et la maturation des grains. Les premières récoltes, celles du sorgho précoce, commencent en septembre-octobre, mais c'est généralement en décembre qu'elles atteignent leur maximum. Les sorghos repiqués sont récoltés plus tard, en février-mars.

Le mil récolté est mis à sécher puis, soit laissé en panicules, soit battu sur des aires à l'aide de longs bâtons coudés. Grains et panicules sont stockés dans des greniers, sortes de silos ou de grandes jarres en poto-poto (argile pétrie et séchée à laquelle on incorpore quelquefois de la paille ou du sable et des graviers). La récolte est généralement bien protégée des rongeurs et des termites si le fond du grenier a été soigneusement balayé et recouvert

de cendres végétales. Des cendres peuvent également être répandues au dessus des produits stockés ou même mélangées aux grains destinés à être semés. On voit aussi certaines ethnies aménager un poulailler sous le grenier (les poules mangent les insectes) ou y faire du feu périodiquement. Le grenier est souvent hermétiquement fermé par une dalle en poto-poto et son accès n'est autorisé qu'à un nombre limité de personnes. Malgré toutes ces précautions, des prédateurs autres que les rongeurs ou les termites peuvent endommager plus ou moins gravement la provision de mil selon les régions, les années, l'emplacement du grenier, la date de la récolte, de son battage et de son engrangement (IRAT 1967). Par ailleurs, pour protéger son contenu de l'humidité, le grenier est fréquemment construit sur un socle de pierres ou de bois, et s'il n'est pas à l'intérieur d'une case, recouvert d'un toit de chaume et parfois entouré de nattes ou de paille.

COMPOSITION CHIMIQUE ET VALEUR NUTRITIVE

Le tableau 23 présente la composition chimique du sorgho que nous avons utilisé dans notre travail, un sorgho acheté au marché, de couleur jaune, mais qu'il ne nous a pas été possible d'identifier avec précision. Nous le comparons au seul sorgho jaune donné par la Table de composition de la FAO pour l'Afrique (WOOT-TSUEN 1970) et à la moyenne de toutes les variétés recensées par cette table.

Notre sorgho se montre bien représentatif de l'ensemble du genre, sauf en ce qui concerne le calcium, particulièrement faible dans notre étude, et le fer particulièrement élevé. La faiblesse du taux de calcium peut s'expliquer par la pauvreté en calcium de la plupart des sols camerounais. La forte teneur en fer est probablement due à des contaminations par de la terre ou des poussières ainsi que nous le verrons ultérieurement.

Le sorgho apparaît comme un aliment essentiellement énergétique par sa richesse en glucides. Cependant sa teneur en protides est loin d'être négligeable à tel point qu'il arrive généralement à couvrir le besoin azoté quantitatif des adultes dans les mêmes proportions que le besoin calorique. Mais il n'en est pas de même pour le besoin protidique de croissance, d'autant moins bien couvert par une ration où le sorgho n'est pas accompagné d'une quantité suffisante d'aliments riches en protéines (arachides, aliments d'origine animale...) que c'est la lysine qui constitue le facteur limitant primaire. Le facteur limitant secondaire est variable selon les espèces, les variétés, les auteurs et les méthodes de détermination. Les acides aminés soufrés sont les plus fréquemment cités, ainsi que la thréonine et le tryptophane (POND et al. 1958 ; DANIEL et al. 1966 ; WAGGLE et al. 1966 ; PUSHPAMMA 1969 ; NAYARANASWAMY et al. 1970 ; NAWAR et al. 1970 ; PEYROT et ADRIAN 1970). AUTRET et al. (1968) avancent que les régimes africains à base de sorgho seraient généralement limités en isoleucine. La leucine, en excès, accentue le déséquilibre des acides aminés et serait même responsable de carence en vitamine PP (GOPALAN et al. 1960, SHOUP et al. 1969).

Le sorgho entier contient une proportion relativement importante d'indigestible glucidique. Mais nous verrons dans la suite de ce travail que cet "agent de désassimilation" est en grande partie éliminé par décorticage du grain. Il convient cependant de noter qu'une fraction importante des populations du Nord-Cameroun, les Kirdis, consomment le sorgho dans son intégralité.

T A B L E A U 23

COMPOSITION CHIMIQUE DU SORGHO

(P. 100 g de grain entier)

	Sorgho de notre étude	Table FAO ^æ	
		Sorgho jaune	Moyenne de toutes les variétés
Nombre d'échantillons analysés	1	1	48 à 189 selon le nutriment envisagé
Calories	332	353	345
Eau (g)	13,2	9,4	10,1 (4,6-18,0)
Protides (g)	8,3	8,7	10,7 (7,3-18,9)
Lipides (g)	2,6	3,9	3,2 (0,1-5,8)
Glucides totaux (g)	74,3	76,6	74,1
Indigestible glucidique (g)	2,2	-	2,4 (1,4-4,1)
Cendres (g)	1,5	1,4	1,9 (1,1-4,5)
Calcium (mg)	11,1	70	26 (14-70)
Phosphore (mg)	291	-	330 (180-444)
Ca/P	0,04	-	0,08
Phosphore phytique/Phosphore Total	0,58	-	-
Fer (mg)	36	5,0	10,6 (0,6-24,9)
Thiamine (µg)	473	-	340 (170-620)
Riboflavine (µg)	87	-	150 (50-680)
Niacine (mg)	4,0	-	3,3 (1,3-5,1)

^æ Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique (WOOT-TSUEN 1970).

Le grain de sorgho est, après le maïs, une des céréales les plus riches en lipides ce qui explique que la farine, où les enzymes se trouvent en contact étroit avec les matières grasses, rancit vite et se conserve très mal. D'où la nécessité de stocker la céréale en grain et l'obligation, très lourde pour les ménagères africaines, de procéder quotidiennement aux longs et pénibles décorticage et broyage du grain.

La teneur du sorgho en calcium est très faible, surtout dans celui que nous avons étudié, alors que la teneur en phosphore est élevée, amenant le rapport Ca/P à un niveau extrêmement bas. De plus la proportion de phosphore phytique par rapport au phosphore total est élevée, insolubilisant ainsi le calcium et le rendant théoriquement inassimilable. Il est signalé par ailleurs que les sorghos seraient caractérisés par une activité phytasique pratiquement nulle ce qui rendrait encore plus manifeste leur déficience en calcium (ADRIAN et JACQUOT 1964). Cependant les bilans établis sur l'enfant et l'adulte par KURIEN et al. (1960) ont montré que les éléments phosphocalciques apportés par le sorgho étaient bien assimilés. ADRIAN et JACQUOT en concluent que l'acide phytique est hydrolysé au cours du transit digestif, non par le fait des phytases végétales pratiquement absentes des grains, mais grâce à des phytases élaborées par la flore digestive.

Le grain de sorgho est généralement riche en fer, le nôtre possède une teneur en cet élément exceptionnellement élevée.

Sur le plan des vitamines du groupe B, le sorgho entier est assez bien pourvu en thiamine et niacine mais insuffisamment en riboflavine. Nous verrons, au cours de notre étude, ce qu'il reste de ces vitamines dans les produits résultant des traitements technologiques.

Le grain de sorgho est exempt de substances toxiques. Seules la tige et les feuilles de certaines espèces renferment dans certaines conditions des composés cyanogénétiques qui font du sorgho un fourrage éventuellement dangereux pour le bétail. Les taux les plus élevés se rencontrent dans les parties de la plante en croissance (jeunes plants, jeunes feuilles, rejets, partie supérieure de la plante), sur les sols riches en azote, durant les périodes de photosynthèse intense ainsi qu'en cas de faible pluviosité. La plante âgée, à partir de la floraison et de l'épiaison, n'est plus toxique.

LES TRAITEMENTS TECHNOLOGIQUES DU SORGHO

LEUR INFLUENCE SUR LA VALEUR NUTRITIONNELLE

Les préparations à base de sorgho sont peu nombreuses au Cameroun. En dehors des boissons alcoolisées, que nous avons étudiées par ailleurs (CHEVASSUS-AGNES et al.), les seules formes sous lesquelles le sorgho est consommé sont des pâtes ou des bouillies obtenues à partir de diverses farines et semoules (fig. 20).

Certaines ethnies de paysans extrêmement pauvres (Kirdis) préparent une farine de couleur grise, jaune ou brune, complète, par simple broyage du sorgho non décortiqué. Les populations plus aisées, vivant dans les villes ou de religion islamique, décortiquent le grain, en éliminent le son et, après broyage, séparent une farine et une semoule relativement blanches. Enfin une recette très appréciée, le kourou, consiste à faire tremper longuement le grain décortiqué puis à le broyer en présence d'eau. La suspension obtenue, passée à travers une toile, est mise à décanter ; la farine blanche qui se dépose, appelée kourou, sert à la préparation d'une bouillie.

Nous allons décrire plus en détail les opérations que ces modes de préparation requièrent et étudier leur influence sur la valeur nutritive. Les tableaux 24, 25 et 26 présentent le bilan nutritionnel des diverses transformations que nous avons observées au Cameroun :

- tableaux 24 et 24 bis, décorticage et mouture traditionnelle
- tableaux 25 et 25 bis, mouture par broyeur à moteur
- tableaux 26 et 26 bis, préparation du kourou.

La figure 21 présente l'évolution de l'acidité du sorgho au cours de ces transformations. Son augmentation témoigne des fermentations qui se produisent, tout particulièrement lors de la préparation de la farine par pilonnage et du kourou. Elle peut être due également à la libération d'acides gras sous l'effet de lipases mises au contact des lipides par le broyage.

T A B L E A U 24

DECORTICAGE ET MOUTURE TRADITIONNELLE DU SORGHO
(moyenne de deux expérimentations)

		Matière sèche		Calories		Protides		Lipides		Glucides totaux		Indigestible glucidique		Cendres	
		Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	
Sorgho entier	4 673 g	4055	100	15538	100	390,3	100	121,6	100	3471	100	102,2	100	72,4	100
Son	1 317 g	740	18	1872	12	76,6	20	42,5	35	587	17	66,2	65	33,9	47
Sorgho décortiqué	4 321 g	3069	76	12506	80	292,3	75	43,7	36	2672	77	29,5	29	31,1	43
Semoule	661 g	509	13	2049	13	48,3	12	0,5	0,4	451	13	7,8	8	1,6	2
Farine fraîche	3 323 g	2326	57	9513	61	223,1	57	42,5	35	2013	58	20,7	20	27,0	37
Farine séchée au soleil	2 569 g	2231	55	9134	59	209,8	54	37,9	31	1943	56	20,6	20	19,7	27

* Pourcentage de récupération par rapport au sorgho entier.

T A B L E A U 24 bis

DECORTICAGE ET MOUTURE TRADITIONNELLE DU SORGHO

(vitamines et éléments minéraux)

(moyenne de deux expérimentations)

		Thiamine		Riboflavine		Niacine		Phosphore total		Phosphore phytique		Calcium		Fer	
		Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *
Sorgho entier	4 673 g	22,1	100	4,05	100	188	100	13,6	100	7,9	100	0,52	100	1695	100
Son	1 317 g	7,8	35	1,49	37	73	39	4,8	35	3,1	39	0,12	23	1571	93
Sorgho décortiqué	4 321 g	9,2	40	1,43	35	60	32	5,9	43	3,6	45	0,42	80	197	12
Semoule	661 g	1	4	0,13	3	2,5	1	0,21	2	0,16	2	0,03	7	53	3
Farine fraîche	3 323 g	8,5	38	1,23	41	52	28	5,3	39	2,7	34	0,27	53	115	7
Farine séchée au soleil	2 569 g	7,2	32	0,92	23	49	26	4,6	34	2,2	29	0,23	45	134	8

* Pourcentage de récupération par rapport au sorgho entier.

T A B L E A U 25
MOUTURE DU SORGHO PAR BROYEUR A MOTEUR

		: Matière sèche :		: Calories :		: Protides :		: Lipides :		: Glucides totaux :		: Indigestible glucidique :		: Cendres :	
		: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :
		: *		: *		: *		: *		: *		: *		: *	
Sorgho décortiqué	1 317 g	:951:	100	:3909:	100	:90,5:	100	:13,6:	100	:837:	100	:9,1:	100	:9,6:	100
Farine tamisée	935 g	:754:	79	:3106:	79	:64,2:	71	:10,2:	75	:673:	80	:5,3:	58	:6,5:	68
Semoule	229 g	:184:	19	:758:	19	:23,5:	26	:3,9:	29	:154:	18	:3,3:	36	:2,6:	27
Total farine + semoule	1 164 g	:938:	99	:3864:	99	:87,7:	97	:14,1:	104	:827:	99	:8,6:	94	:9,1:	95

* Pourcentage de récupération par rapport au sorgho décortiqué.

T A B L E A U 45 bis

MOUTURE DU SORGHO PAR BROYEUR A MOTEUR

(vitamines et éléments minéraux)

		Thiamine	Riboflavine	Niacine	Phosphore total	Phosphore phytique	Calcium	Fer
		:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:	:Retrouvé:
		mg : p. 100	mg : p. 100	mg : p. 100	g : p. 100	g : p. 100	mg : p. 100	mg : p. 100
		: *	: *	: *	: *	: *	: *	: *
Sorgho décortiqué	1 317 g	:2,9 : 100	:0,44: 100	:18,5 : 100	:1,8 : 100	:1,10: 100	: 129 : 100	: 61 : 100
Farine tamisée	935 g	:1,6 : 57	:0,28: 64	: 8,9 : 48	:1,2 : 66	:0,50: 45	: 87 : 67	: 51 : 84
Semoule	229 g	:0,08 : 3	:0,13: 29	: 5,4 : 29	:0,48: 26	:0,25: 23	: 31 : 24	: 16 : 26
Total farine + Semoule	1 164 g	:1,7 : 59	:0,41: 93	:14,3 : 77	:1,7 : 92	:0,75: 69	: 118 : 91	: 67 : 110

* Pourcentage de récupération par rapport au sorgho décortiqué.

T A B L E A U 26.

PREPARATION DU KOUROU DE SORGHO

		: Matière sèche :		: Calories :		: Protides :		: Lipides :		: Glucides totaux :		: Indigestible glucidique :		: Cendres :	
		: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :	: g :	: p. 100 :
		: *		: *		: *		: *		: *		: *		: *	
Sorgho entier	3 000 g	:2603:	100	:9974:	100	:250,4:	100	:78,0:	100	:2228:	100	:65,5:	100	:46,5:	100
Sorgho décortiqué	2 860 g	:1998:	77	:8206:	82	:190,3:	76	:26,7:	34	:1758:	79	:18,8:	29	:22,3:	48
S. décortiqué trempé lavé	2 505 g	:1601:	62	:6604:	66	:150,9:	60	:23,8:	30	:1413:	63	: - :	-	:13,6:	29
Déchets	252 g	: 73:	3	: - :	-	: 10,7:	4	: - :	-	: - :	-	: - :	-	: - :	-
Semoule	670 g	: 358:	14	:1465:	15	: 40,6:	16	: 0,5:	1	: 316:	14	: 4,4:	7	: 0,4:	1
Kourou frais	1 506	: 869:	33	:3600:	36	: 63,2:	25	: 9,5:	12	: 795:	36	: 3,5:	5	: 1,1:	2
Total comestible(Kourou+Semoule):	2 176 g	:1227:	47	:5065:	51	:103,8:	41	:10,0:	13	:1111:	50	: 7,9:	12	: 1,5:	3

* Pourcentage de récupération par rapport au sorgho entier.

T A B L E A U 26 bis

PREPARATION DU KOUROU DE SORGHO
(vitamines et éléments minéraux)

		Thiamine		Riboflavine		Niacine		Phosphore total		Phosphore phytique		Calcium		Fer	
		Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé g	p. 100 *	Retrouvé mg	p. 100 *
Sorgho entier	3 000 g	14,2	100	2,6	100	121	100	8,7	100	5,0	100	0,38	100	1088	100
Sorgho décortiqué	2 860 g	5,8	41	0,96	37	47	38	4,0	46	2,3	46	0,33	87	61	6
S. décortiqué tempé lavé	2505 g	4,1	29	0,65	25	32	26	2,2	26	0,98	19	0,10	27	65	6
Déchets	252 g	0,62	4	0,08	3	3,7	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Semoule	670 g	0,05	0,4	0,06	2	2,7	2	0,13	1	0,10	2	0,012	3	25	2
Kourou frais	1 506 g	0,65	5	0,54	21	12	10	0,53	6	0,38	7	0,024	6	75	7
Total comestible (Kourou + Semoule)		0,70	5	0,60	23	15	13	0,66	8	0,48	9	0,036	10	100	9

* Pourcentage de récupération par rapport au sorgho entier.

1. Décorticage

Comme nous l'avons déjà dit, le sorgho est stocké dans des greniers soit en épis, soit en grains. La première tâche de la ménagère quand elle dispose de sorgho en épis est donc de séparer le grain. Le dépiquage se pratique au mortier et au pilon de bois : quelques coups de pilon sur les panicules pour en détacher les grains et un simple vannage pour séparer les rafles et la paille.

Le grain est ensuite rapidement lavé à l'eau pour le débarrasser de diverses impuretés : terre, poussières, paille, grains creux ou parasités... Essoré mais encore humide, il est alors introduit dans un grand mortier de bois et pilonné modérément pendant quelques minutes pour détacher les enveloppes. Puis la ménagère le vane, soit en lui imprimant de nombreuses petites secousses successives pour séparer par gravité le son du grain décortiqué, soit en faisant tomber le mélange d'une hauteur d'un mètre cinquante environ après avoir pris soin de se placer dans un courant d'air qui emporte les balles plus légères.

Le pilonnage est généralement recommencé une deuxième fois pour parfaire le décorticage. Le grain est ensuite lavé à grande eau pour éliminer les dernières traces de son, puis il est exposé au soleil pendant environ une demi-heure pour être grossièrement séché.

Les deux opérations de décorticage que nous avons observées ont donné des proportions de son et de grain décortiqué respectivement très voisines (exprimées en matière sèche) :

- 19,7 p. 100 de son et 76,8 p. 100 de sorgho décortiqué dans le cas d'une femme de race Baya dans la région de l'Adamaoua,
- 15,8 p. 100 de son et 73,9 p. 100 de sorgho décortiqué dans le cas d'une ménagère du quartier Haoussa de Yaoundé.

Compte tenu des masses de grain différentes que traitaient ces deux femmes, le décortilage entraîne en moyenne une perte de substance sèche de 24 p. 100, dont 18 p. 100 sous forme de son et permet de récupérer dans le grain décortiqué 76 p. 100 de la matière sèche du sorgho initial (tableau 24). Les trois premières colonnes du tableau 27 indiquent la composition moyenne de 100 g de sorgho, les quantités de chaque nutriment retrouvées dans le son **et**, pour chacun, le pourcentage de perte totale par décortilage puisque les populations qui blutent leur mil ne récupèrent pas le son pour l'alimentation humaine.

Le décortilage permet d'éliminer 71 p. 100 de l'indigestible glucidique tout en conservant les trois quarts des protéines du sorgho initial et 80 p. 100 des calories et du calcium. Mais 58 p.100 de la vitamine B₁, les deux tiers de la riboflavine et de la niacine sont perdus tandis que le phosphore total diminue dans les mêmes proportions que le phosphore phytique, le rapport P phytique/P total demeurant ainsi aux environs de 0,60. Cette observation confirme celles de RAYMOND et al. (1954) et de RAO et al. (1958) rapportées par ADRIAN et JACQUOT (1962) selon lesquelles "la répartition du phosphore est identique dans toutes les fractions du grain de sorgho puisque l'élimination des parties externes n'apporte pas de modification quant au pourcentage de phosphore phytique". 88 p. 100 du fer est éliminé par décortilage. Comme notre sorgho de départ est beaucoup plus riche en fer que ceux de la littérature alors qu'il a une teneur comparable, après décortilage, aux autres sorghos décor-tiqués (WOOT-TSUEN 1970), nous pouvons supposer qu'il était souillé superficiellement, probablement par de la terre ou des poussières.

T A B L E A U 27

BILAN NUTRITIONNEL DE LA MOUTURE TRADITIONNELLE DE 100 g DE SORGO
(moyenne de 2 expérimentations)

	Sorgho brut		S o n		Sorgho décortiqué		Farine fraîche		Semoule		Total comestible (Farine + Semoule)	
	Quantité	Pourcentage	Quantité	Pourcentage de perte sous forme de son	Quantité	Pourcentage de perte totale par décortiquage	Quantité	Pourcentage de récupération	Quantité	Pourcentage de récupération	Quantité	Pourcentage de récupération
Poids frais (g)	100	100	28,2	-	92,5	-	71,1	-	14,1	-	85,2	-
Poids sec (g)	86,8	100	15,8	18	65,7	24	49,8	57	10,9	13	60,7	70
Calories	332	100	40	12	270	19	205	62	44,5	13	249	75
Protides (g)	8,3	100	1,6	20	6,2	25	4,8	57	1,0	12	5,8	69
Lipides (g)	2,6	100	0,9	35	0,9	64	0,9	35	0,01	0,4	0,9	35
Glucides totaux (g)	74,3	100	12,6	17	57,8	22	43,5	59	9,8	13	53,3	72
Indigestible glucidique (g)	2,2	100	1,4	65	0,6	71	0,4	20	0,2	8	0,6	28
Cendres (g)	1,55	100	0,73	47	0,67	57	0,58	37	0,03	2	0,61	39
Calcium (mg)	11,1	100	2,5	23	8,9	20	5,9	53	0,7	6	6,6	59
Phosphore total (mg)	291	100	102	35	126	57	113	39	4	2	118	41
Phosphore phytique (mg)	168	100	66	39	76	55	57	34	3	2	60	32
P. phytique / P. total	0,58	-	0,65	-	0,60	-	0,51	-	0,70	-	0,51	-
Ca / P	0,04	-	0,02	-	0,07	-	0,05	-	0,15	-	0,06	-
Fer (mg)	36	100	34	100	4,2	88	2,5	7	1,1	3	3,6	10
Thiamine (mg)	0,47	100	0,17	35	0,20	58	0,18	38	0,004	1	0,19	40
Riboflavine (mg)	0,09	100	0,03	33	0,03	67	0,03	33	0,003	3	0,03	33
Niacine (mg)	4,0	100	1,6	39	1,3	68	1,1	28	0,1	2	1,2	30

2. Broyage

Traditionnellement le sorgho décortiqué, rapidement séché au soleil, est écrasé par un vigoureux pilonnage au mortier de bois. Dans les villes, pour une somme modique, les ménagères peuvent faire écraser au moulin à moteur le mil qu'elles ont préalablement décortiqué (moulin à disques cannelés).

Le produit de la mouture est ensuite tamisé pour en isoler la farine et, soit un résidu ressemblant fort à une semoule dans le cas du broyage à moteur, soit des fragments de grains cassés dans le cas de la mouture traditionnelle. La semoule est utilisée à la préparation de bouillies et de pâtes ou recyclée dans le broyeur. Les grains cassés sont soumis à un nouveau pilonnage pour être réduits en farine et semoule. Dans les trois opérations que nous avons observées (deux par pilonnage, une par moulin à moteur) la proportion de semoule par rapport à la farine était de 20 à 25 p. 100. Mais selon que la mouture est plus ou moins poussée, au choix de la ménagère, on obtient des proportions variables de farine et de semoule. On peut même, à la limite, obtenir uniquement de la farine. Il est à noter que la perte de matière brute est sensiblement plus élevée dans la méthode traditionnelle que par broyage au moteur car des grains ou leurs fragments jaillissent fréquemment hors du mortier au cours du pilonnage (tableau 28). Mais l'échauffement considérable de la farine lors du broyage par moulin provoque une perte notable de vitamines. La thiamine, particulièrement thermolabile, est la plus touchée puisqu'on ne retrouve que 59 p. 100 de la vitamine du grain décortiqué alors que 93 p. 100 de la riboflavine et 77 p. 100 de la niacine sont récupérées. Nous nous expliquons mal la disparition d'une aussi grande proportion de niacine, vitamine habituellement assez résistante à la chaleur, à la lumière et à l'oxydation. Par contre, les vitamines sont intégralement respectées par le broyage au mortier.

Le tableau 29 permet de comparer les compositions des diverses farines et semoules. Alors que la mouture traditionnelle livre des produits dont la teneur en protéines reste remarquablement identique à celle du sorgho brut d'origine et du sorgho décortiqué, le broyage par moulin donne une semoule plus riche en protides que la farine.

T A B L E A U 28

COMPARAISON DES BROYAGES DU SORGHO PAR PILONNAGE ET PAR MOULIN A MOTEUR

	: Total récupéré dans farine + semoule (p. 100 dans sorgho décortiqué)	
	: Sorgho : décortiqué	: Pilonnage : Moulin à moteur
Poids sec	: 100	: 92 : 99
Calories	: 100	: 92 : 99
Protides	: 100	: 93 : 97
Lipides	: 100	: 98 : 104
Glucides totaux	: 100	: 92 : 99
Indigestible glucidique	: 100	: 97 : 94
Cendres	: 100	: 91 : 95
Calcium	: 100	: 74 : 91
Phosphore total	: 100	: 94 : 92
Phosphore phytique	: 100	: 80 : 69
Fer	: 100	: 86 : 110
Thiamine	: 100	: 94 : 59
Riboflavine	: 100	: 95 : 93
Niacine	: 100	: 95 : 77

T A B L E A U 29

COMPOSITION DES DERIVES DU SORGO
(pour 100 g de matière sèche)

	Sorgho brut	Son	Sorgho décortiqué	Mouture traditionnelle (pilonnage)			Broyage au moulin		Kourou frais	Kourou séché	Semoule de Kourou
				Semoule	Farine fraîche	Farine séchée au soleil	Farine	Semoule			
Nombre d'échantillons analysés	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1
Calories	383	253	411	409	413	413	412	412	414	412	409
Protides (g)	9,6	10,4	9,5	9,5	9,6	9,4	8,5	12,8	7,9	7,4	11,3
Lipides (g)	3,0	5,7	1,4	0,1	1,8	1,7	1,3	2,1	1,1	0,6	0,1
Glucides totaux (g)	85,6	79,3	88,0	90,1	87,4	88,0	89,3	83,7	90,7	91,8	88,4
Indigestible glucidique (g)	2,5	8,9	1,0	1,5	0,9	0,9	0,7	1,8	0,4	0,5	1,2
Cendres (g)	1,78	4,58	1,01	0,32	1,16	0,89	0,85	1,44	0,27	0,16	0,11
Calcium (mg)	12,8	15,9	13,5	6,6	11,8	10,4	11,6	16,9	5,5	3,0	3,4
Phosphore total (mg)	335	644	192	42	227	208	159	262	56	62	35
P. phytique / P. total	0,59	0,65	0,60	0,70	0,51	0,48	0,42	0,53	0,68	0,62	0,80
Ca / P	0,04	0,02	0,07	0,15	0,05	0,05	0,07	0,06	0,10	0,05	0,10
Fer (mg)	42	212	6,4	10,4	4,9	6,0	6,8	8,7	8,7	13	7,1
Thiamine (mg)	0,54	1,05	0,30	0,04	0,37	0,32	0,21	0,04	0,07	0,07	0,01
Riboflavine (mg)	0,10	0,20	0,05	0,03	0,05	0,04	0,04	0,07	0,05	0,07	0,02
Niacine (mg)	4,6	9,9	1,9	0,5	2,2	2,2	1,2	2,9	1,6	1,5	0,8

T A B L E A U 29 bis

COMPOSITION DES DERIVES DU SORGHO

(pour 100 g de matière brute)

	Sorgho brut	Sorgho	Sorgho décortiqué	Mouture traditionnelle (pilonnage) Semoule	Farine fraîche	Farine séchée au soleil	Broyage au moulin Farine	Semoule	Kourou frais	Kourou séché	Semoule de Kourou
Nombre d'échantillons analysés	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1
Calories	333	142	292	315	289	359	332	332	212	359	219
Humidité (g)	13,2	43,8	29,0	23,0	30,0	13,2	19,4	19,6	48,8	13,0	46,5
Protides (g)	8,4	5,8	6,8	7,3	6,7	8,2	6,9	10,3	4,0	6,5	6,1
Lipides (g)	2,6	3,2	1,0	0,1	1,3	1,5	1,1	1,7	0,6	0,6	0,1
Glucides totaux (g)	74,3	44,6	62,5	69,4	61,2	76,4	72,0	67,3	16,5	79,9	47,3
Indigestible glucidique (g)	2,2	5,0	0,7	1,2	0,6	0,8	0,6	1,4	0,2	0,5	0,7
Cendres (g)	1,55	2,58	0,72	0,25	0,81	0,78	0,69	1,16	0,14	0,14	0,06
Calcium (mg)	11,1	9,0	9,6	5,1	8,3	9,0	9,4	13,6	2,9	2,6	1,8
Phosphore total (mg)	291	362	136	32	159	181	128	210	29	54	19
P phytique / P total	0,58	0,60	0,60	0,70	0,5	0,48	0,42	0,53	0,68	0,62	0,80
Ca / P	0,04	0,07	0,07	0,15	0,05	0,05	0,07	0,06	0,10	0,05	0,10
Fer (mg)	36	119	4,5	8,0	3,5	5,2	5,4	7,0	4,4	11	3,8
Thiamine (mg)	0,47	0,59	0,21	0,03	0,26	0,28	0,17	0,04	0,04	0,06	0,01
Riboflavine (mg)	0,09	0,11	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,06	0,02	0,06	0,01
Niacine (mg)	4,0	5,5	1,4	0,4	1,6	1,9	1,0	2,4	0,8	1,3	0,4

D'une manière générale, d'ailleurs, dans le cas de la mouture par broyeur la farine est plus pauvre que la semoule en tous les nutriments (à l'exception de la thiamine), alors qu'au contraire la farine obtenue par méthode traditionnelle est plus riche que la semoule correspondante qui se trouve être particulièrement démunie de tout, protides exceptés. Cette grande pauvreté laisse à penser que la semoule de mouture traditionnelle contiendrait une plus grande quantité de l'endocarpe du grain.

Si nous comparons nos résultats aux valeurs calculées par ADRIAN et JACQUOT (1964) à partir de l'étude de CARR en Rhodésie (1961) [tableau ci-après], nous constatons que pour un taux d'extraction légèrement supérieur, nous observons au Cameroun une récupération de protéines rigoureusement identique, une moindre perte de calcium et des pertes en cendres, phosphore, thiamine, riboflavine et lipides nettement plus importantes. L'élimination d'indigestible glucidique est plus élevée dans notre observation mais la comparaison est peu significative dans ce cas car les méthodes de détermination ne sont pas les mêmes.

	Pertes relevées par	
	CARR	FAVIER
Matière sèche	34	30
Protéines	31	31
Lipides	48	65
Glucides	29	28
Indigestible glucidique	65	72
Cendres	29	61
Calcium	53	41
Phosphore	48	59
Thiamine	33	61
Riboflavine	58	66
Niacine	-	70

Il convient cependant de remarquer que dans de telles observations, les résultats dépendent de la nature du sorgho et de la façon de procéder des ménagères, certaines recherchant une farine mieux blutée, d'autres perdant davantage de produit par jaillissement hors du mortier.

3. Préparation du kourou (tableau 26 et 26 bis)





Le sorgho décortiqué est mis à tremper dans l'eau de douze heures à quatre jours ; l'eau est renouvelée une ou plusieurs fois. On met ensuite à égoutter dans unealebasse percée puis on broie en présence d'eau, à la meule dormante. La suspension aqueuse est mise de côté, le résidu solide est repris plusieurs fois pour être broyé en présence d'eau. Les eaux sont réunies et passées sur une toile ou un tamis. Le refus est lavé pour séparer un résidu constitué principalement de son et une espèce de semoule que l'on ajoute généralement à de la farine pour faire de la pâte. La suspension tamisée est mise à décanter pendant quelques heures avant d'éliminer la phase aqueuse. La farine qui s'est déposée, appelée kourou, peut être soit utilisée immédiatement pour préparer une bouillie, soit séchée au soleil pour pouvoir être conservée.

Du point de vue nutritionnel, la série de lavages à l'eau auxquels le grain décortiqué puis la semoule et le kourou sont successivement soumis est très peu favorable. En effet, si 88 p. 100 de l'indigestible glucidique est éliminé, on ne récupère dans la totalité des fractions comestibles que la moitié de la matière sèche et des calories du sorgho d'origine, 44 p. 100 des protéines et 13 p. 100 des matières grasses. Sur le plan des matières minérales et des vitamines, le bilan est encore plus catastrophique : 3 p. 100 seulement des cendres, 8 p. 100 du phosphore et 10 p. 100 du calcium sont retrouvés dans la semoule et le kourou réunis. 95 p. 100 de la thiamine, très soluble, 88 p. 100 de la niacine et 77 p. 100 de la riboflavine sont perdus. On assiste à un véritable lessivage des éléments nutritifs du sorgho qui conduit à des produits très pauvres (tableau 29). Comme le font clairement apparaître les figures 22 et 23, la préparation de farine et semoule par voie sèche est beaucoup plus intéressante sur le plan nutritionnel que la préparation du kourou.

Figure 22

**RENDEMENT EN INDIGESTIBLE GLUCIDIQUE, CALORIES, PROTIDES ET CENDRES
DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU SORGHO**

Le contenu du grain entier est pris pour base = 100

-  Ig = Indigestible glucidique
-  Cl = Calories
-  Pr = Protides
-  Cend = Cendres

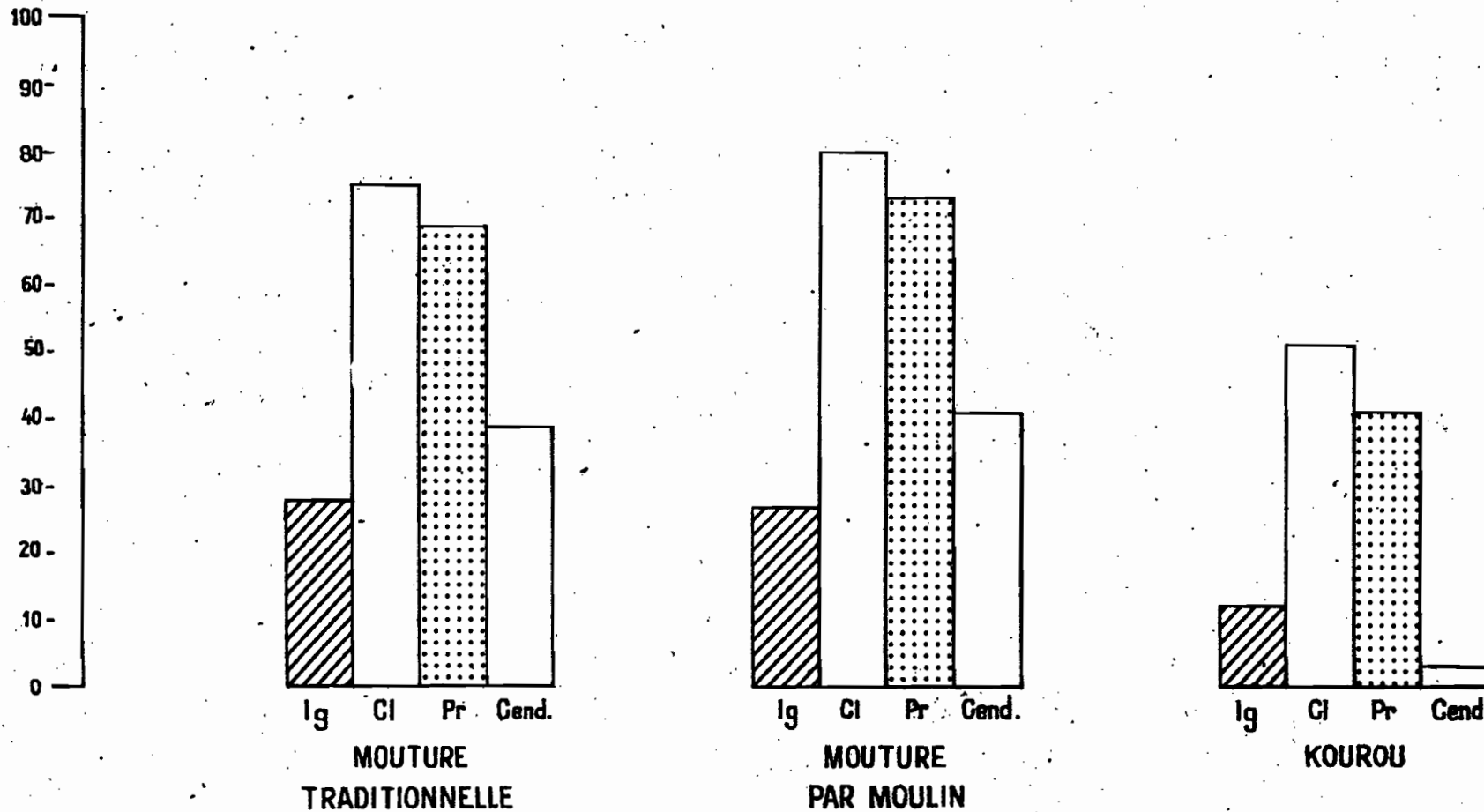

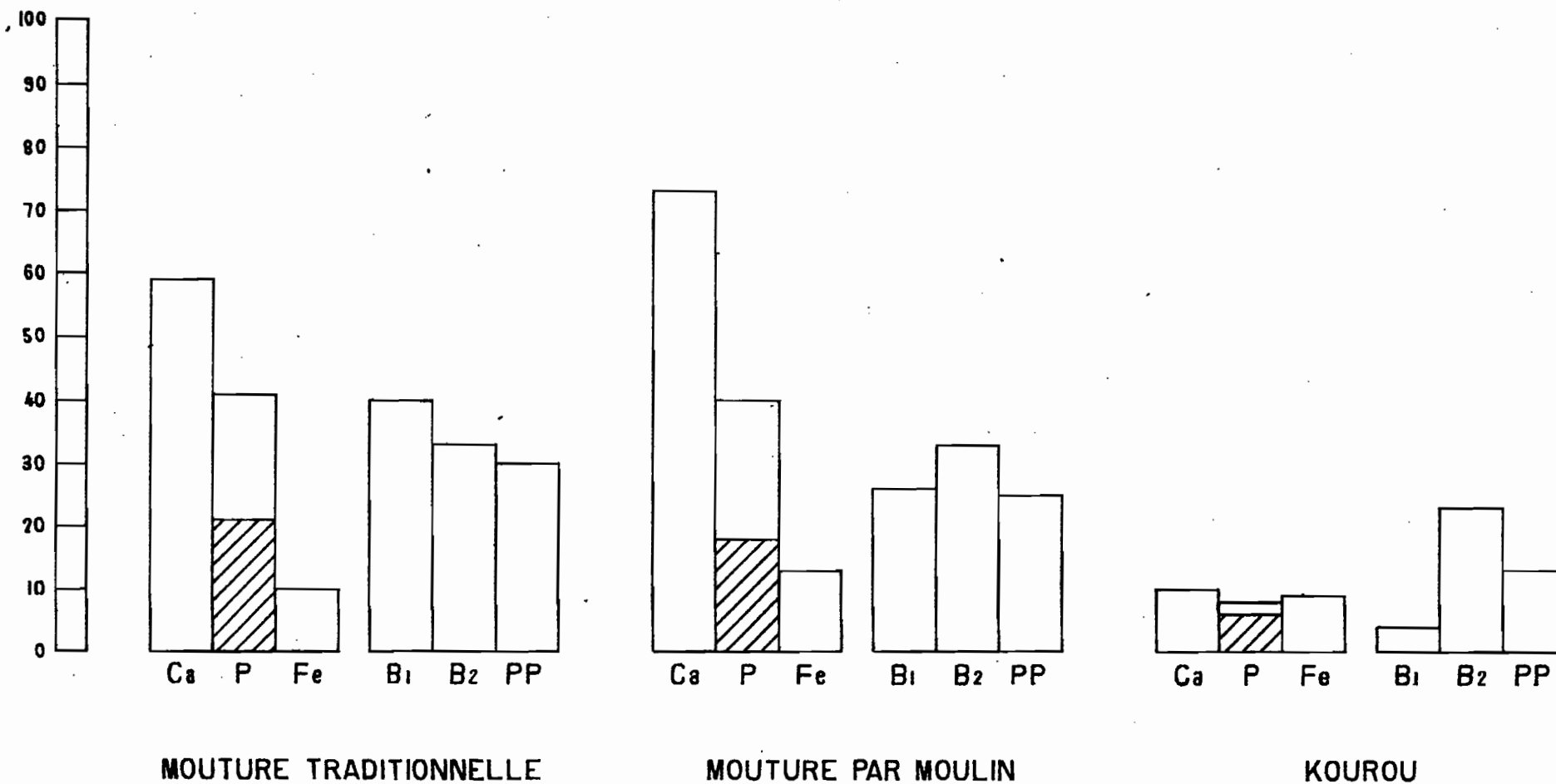


Figure 23

RENDEMENT EN ELEMENTS MINÉRAUX ET VITAMINES DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU SORGHO

le contenu du grain entier est pris pour base=100

 P total dont, hachuré, P phytique



4. Séchage au soleil

Pour pouvoir être conservés, farine et kourou sont mis à sécher au soleil. Pour cela, ils sont simplement étalés à même le sol ou sur des nattes et exposés aux rayons solaires. Ils sont alors quelquefois souillés de terre ou de poussières ce qui peut se traduire par une élévation importante de leurs teneurs en cendres : c'est ainsi que nous avons noté 33 p. 100 d'accroissement des cendres dans le kourou. On assiste à une perte de thiamine de 12 p.100 **alors** que la niacine ne varie pas sensiblement. La riboflavine, par contre, diminue de 20 p. 100 dans le cas de la farine, ce qui s'explique aisément par sa phototensibilité, mais elle s'accroît de 17 p. 100 au cours du séchage du kourou (tableau 30). Cette augmentation pourrait s'expliquer par une synthèse de vitamine B₂ par fermentation durant la première phase du séchage lorsque le kourou est encore très humide.

Il importe cependant de ne pas donner trop d'importance à ces chiffres. En effet, en raison de l'imprécision des dosages lorsque les teneurs sont très faibles, la comparaison du kourou frais et du kourou séché risque fort de conduire à des résultats aberrants d'où il serait imprudent de tirer des conclusions hâtives. Ainsi par exemple, déduire du dosage de l'insoluble formique dans le kourou frais et le kourou séché que le séchage entraîne un accroissement de l'indigestible glucidique serait manifestement faux. La différence trouvée entre les teneurs n'est pas significative, en fait, compte-tenu de l'imprécision du dosage.

T A B L E A U 30

INFLUENCE DU SECHAGE AU SOLEIL SUR LA COMPOSITION DE LA FARINE ET DU KOUROU DE SORGHO *

		: Pour 100 g de matière sèche de	: Pourcentage	: Pour 100 g de matière sèche de	: Pourcentage
		: Farine fraîche	: Farine séchée	: Kourou frais	: Kourou séché
			: de variation		: de variation
Calories		413	: - 0	414	: 0
Protides	(g)	9,6	: - 2	7,3	: + 1
Lipides	(g)	1,8	: - 6	1,1	: - 45
Glucides totaux	(g)	87,4	: + 7	91,5	: 0
Indigestible glucidique	(g)	0,9	: 0	0,4	: + 25
Cendres	(g)	1,2	: - 25	0,12	: + 33
Calcium	(mg)	11,8	: - 12	2,8	: + 7
Phosphore total	(mg)	227	: - 8	61	: + 2
P phytique / P total		0,51	: -	0,71	: -
Ca / P		0,05	: -	0,05	: -
Fer	(mg)	4,9	: + 22	8,7	: + 50
Thiamine	(mg)	0,37	: - 12	0,08	: - 12
Riboflavine	(mg)	0,05	: - 20	0,06	: + 17
Niacine	(mg)	2,2	: 0	1,4	: + 7

* résultats obtenus à partir de deux expérimentations sur la farine et une expérimentation sur le kourou.

5. Cuisson

Pour la préparation de la pâte, on délaie dans une faible quantité d'eau un peu de semoule ou de farine qu'on jette ensuite dans de l'eau bouillante. On maintient l'ébullition pendant une dizaine de minutes puis on ajoute le reste de la farine. On agite vigoureusement la masse très épaisse qui se forme et on laisse cuire encore quelques minutes. Avec un morceau de calabasse trempé dans l'eau froide et utilisé comme spatule, on prélève alors la pâte que l'on façonne en forme de boules de la grosseur du poing.

La pâte est généralement consommée aux principaux repas, tiède ou froide, trempée dans une sauce onctueuse le plus souvent à base de feuilles, légumes et arachides, quelquefois à base de viande ou de poisson.

Pour la préparation de la bouillie, la farine ou le kourou sont jetés dans une grande quantité d'eau bouillante et l'ébullition est maintenue jusqu'à consistance voulue.

La précision des dosages microbiologiques ne nous a pas permis de déceler des modifications significatives dans la teneur de la farine en riboflavine et niacine sous l'effet de la cuisson. Par contre, on peut noter une destruction de thiamine de 22 p. 100 et 13 p. 100 respectivement lors de la préparation de la pâte et de la bouillie (tableau 31).

T A B L E A U 31

INFLUENCE DE LA CUISSON DE LA FARINE DE SORGHO SUR LES VITAMINES

	THIAMINE		RIBOFLAVINE		NIACINE	
	mg pour 100 g de matière sèche	Pourcentage de différence	mg pour 100 g de matière sèche	Pourcentage de différence	mg pour 100 g de matière sèche	Pourcentage de différence
Farine	0,23	0	0,05	0	2,1	0
Pâte (moyenne de 3 expérimentations)	0,18	- 22	0,05	0	2,1	0
Bouillie (moyenne de 2 expérimentations)	0,20	- 13	0,05	0	2,1	0

DISCUSSION DES RESULTATS

En les envisageant sous l'angle de leur composition chimique et de la valeur nutritionnelle qui en découle, il est possible de juger les divers dérivés du sorgho. A la lecture des tableaux 29 et 29 bis qui présentent leur composition chimique, il s'avère que c'est la semoule de mouture par broyeur à moteur qui est la plus intéressante sur le plan nutritionnel. Ses teneurs en protéines, lipides, cendres, calcium, phosphore, et niacine dépassent celles de tous les autres dérivés. Seul le kourou séché possède autant de riboflavine. Elle se trouve être, par contre, la forme la plus pauvre en thiamine, à égalité avec la semoule obtenue par pilonnage et après la semoule de kourou. Les rapports phospho-calcique et P phytique/P total se situent entre ceux de la farine de mouture par moulin et ceux du grain entier, quoique plus près de la farine.

La composition chimique de la semoule de mouture par moulin, en particulier sa teneur en insoluble formique relativement élevée, ainsi que son aspect présentant de nombreuses particules de même couleur que l'enveloppe des grains, amènent à penser qu'elle contient une certaine proportion d'éléments appartenant aux couches superficielles du grain qui n'ont pas été éliminés par le décorticage. Leur faible densité leur permet de s'accumuler dans la trémie du moulin et de ne passer entre les disques qu'en fin d'opération, avec les éléments les plusdurs qui constituent la semoule.

La farine fraîche obtenue par pilonnage peut être classée en seconde position aussitôt après la semoule de mouture par moulin. Très comparable aux autres dérivés par sa teneur en protéines, elle les dépasse par sa richesse en lipides, cendres, calcium, phosphore, thiamine et niacine. Sa teneur en riboflavine n'est dépassée ou égalée que par celles de la semoule de mouture mécanique et du kourou frais ou séché. La farine obtenue par broyeur à moteur a une composition assez voisine avec cependant des teneurs plus faibles en protéines, sels minéraux et vitamines. Les rapports Ca/P et P phytique/P total des deux farines sont comparables.

Les dérivés les plus pauvres dans l'ensemble sont la semoule de mouture traditionnelle et le kourou sauf en ce qui concerne le fer. Mais cette façon d'établir une hiérarchie n'est pas très significative car la composition d'une semoule ou d'une farine dépend des proportions respectives de l'une et de l'autre obtenues au cours de la même opération technologique. Ce sont donc les procédés de transformation eux-mêmes qui doivent être comparés et jugés sur la base de leur rendement en chaque élément nutritif.

De ce point de vue, les figures 22 et 23, permettent de constater que c'est la **préparation** du kourou qui constitue le traitement le plus préjudiciable aux nutriments du sorgho initial, comme nous l'avons déjà vu précédemment. En effet les nombreux trempages et lavages successifs subis par le grain et ses dérivés emportent progressivement une grande partie des éléments nutritifs.

La mouture traditionnelle par pilonnage se révèle être la technique qui respecte le mieux les vitamines, notamment la vitamine B₁, puisqu'elle permet de récupérer 40 p. 100 de la thiamine du grain initial alors que le broyage par moulin à moteur n'en récupère que 26 p. 100 et la préparation du kourou 4 p. 100 seulement. En ce qui concerne la niacine, pilon et mortier se montrent aussi un peu plus favorables que le moulin et nettement plus avantageux que la technique de préparation du kourou. Pour ce qui est de la riboflavine les deux techniques de mouture aboutissent aux mêmes résultats, nettement meilleurs que dans le cas de la préparation du kourou.

Sur le plan des autres constituants chimiques et des calories, on peut accorder au broyage à moulin une très légère supériorité sur la mouture traditionnelle qui fait jaillir hors du mortier une certaine quantité de matière brute.

Ces différences de rendement en éléments nutritifs des divers procédés technologiques^{se} traduisent-elles par des différences importantes sur le plan nutritionnel ?

La figure 24 indiquent le pourcentage de couverture des besoins nutritionnels journaliers d'un homme adulte actif quand il consomme 450 g de sorgho traité selon les divers procédés technologiques. Nous avons vu, en effet, que c'était là la ration moyenne de l'individu dans le Nord-Cameroun.

Lorsqu'une telle quantité de sorgho est traitée par voie sèche, elle couvre 40 à 45 p. 100 des besoins calorique et protidique et 6 à 7 p. 100 du besoin calcique[‡]. Quand elle est transformée en kourou, les besoins énergétique, protidique et calcique sont couverts seulement à 27, 26 et 1 p. 100 respectivement.

C'est pour la thiamine que les différences sont les plus marquées entre les divers procédés de traitement. Selon que le sorgho est transformé en kourou ou en farine obtenue traditionnellement, le besoin est couvert à 8 p. 100 ou à 59-67 p. 100, soit 7 à 8 fois mieux, la farine de mouture mécanique couvrant quant à elle 37 à 43 p. 100 du besoin.

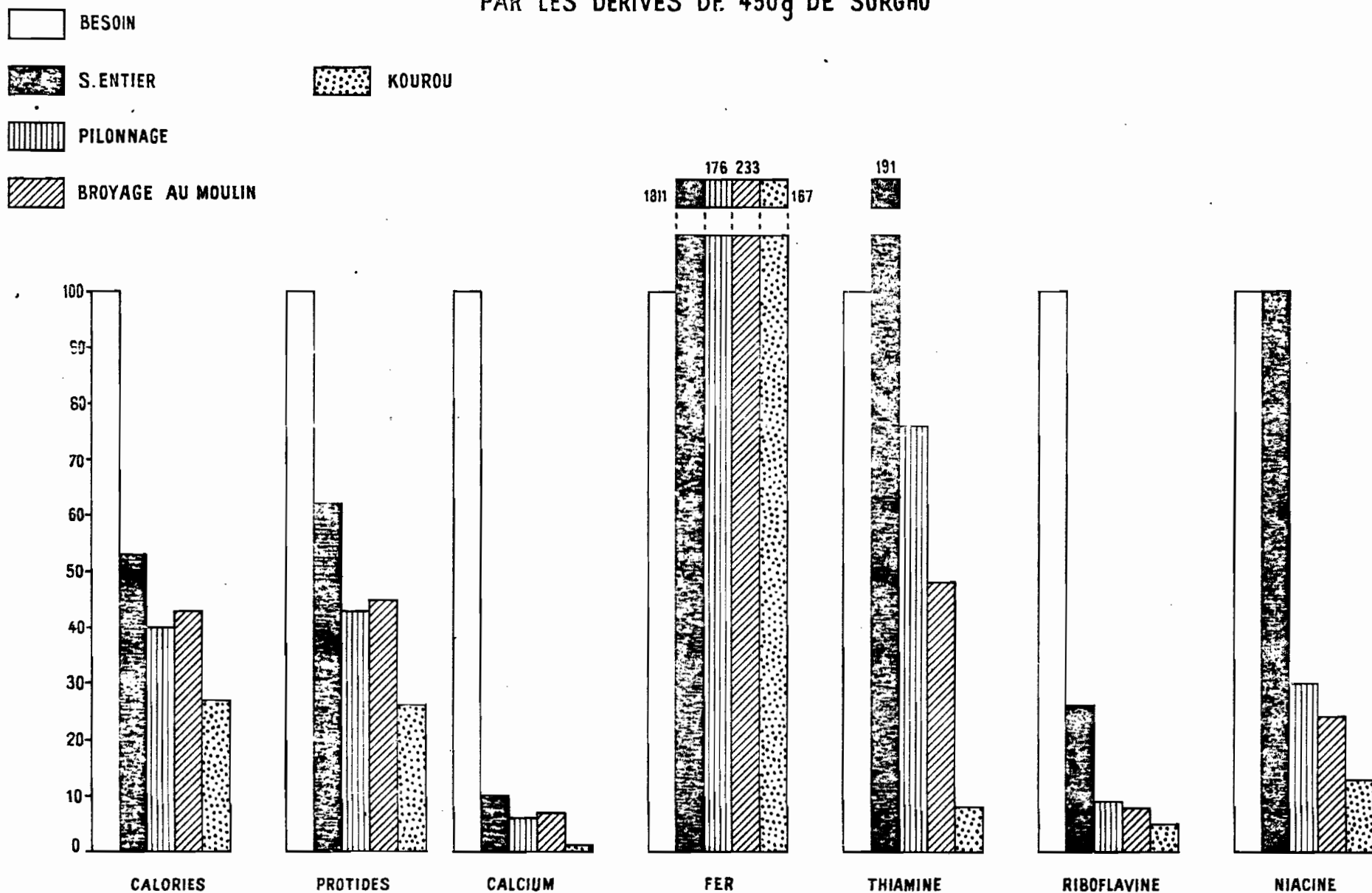
Seulement à 5 à 9 p. 100 du besoin en riboflavine est couvert par 450 g de sorgho, alors que le besoin en niacine est satisfait à 30 p. 100 par la farine de mouture traditionnelle, 24 p. 100 par la farine obtenue au moulin et 13 p. 100 par le kourou.

La quantité de fer présente dans les dérivés de 450 g de sorgho est largement supérieure aux allocations recommandées quel que soit le mode de transformation envisagé. Mais nous ignorons dans quelle proportion ce fer est utilisable par l'organisme. Théoriquement, en l'absence de phytase, la quantité de phosphore phytique présente dans ces dérivés serait suffisante pour insolubiliser la totalité du fer.

‡ Sous réserve que la totalité du calcium soit utilisable ce qui est loin d'être certain puisque, indépendamment d'autres facteurs d'indisponibilité, dans tous les dérivés du sorgho le calcium est en quantité inférieure au phosphore phytique alors qu'il suffit de 1 g de phosphore phytique pour insolubiliser 1,075 g de calcium (GONTZEA 1968).

Figure 24

COUVERTURE DES BESOINS NUTRITIONNELS DE L'HOMME ADULTE
PAR LES DÉRIVÉS DE 450g DE SORGHO



Sauf dans le cas du fer, les répercussions du mode de préparation du sorgho sur la valeur nutritionnelle de la ration habituelle du mangeur de mil sont donc manifestes.

Elles le sont encore plus nettement lorsque le sorgho doit couvrir 80 p. 100 du besoin énergétique, comme c'est fréquemment le cas dans de nombreuses régions de l'Afrique Intertropicale (fig. 25).

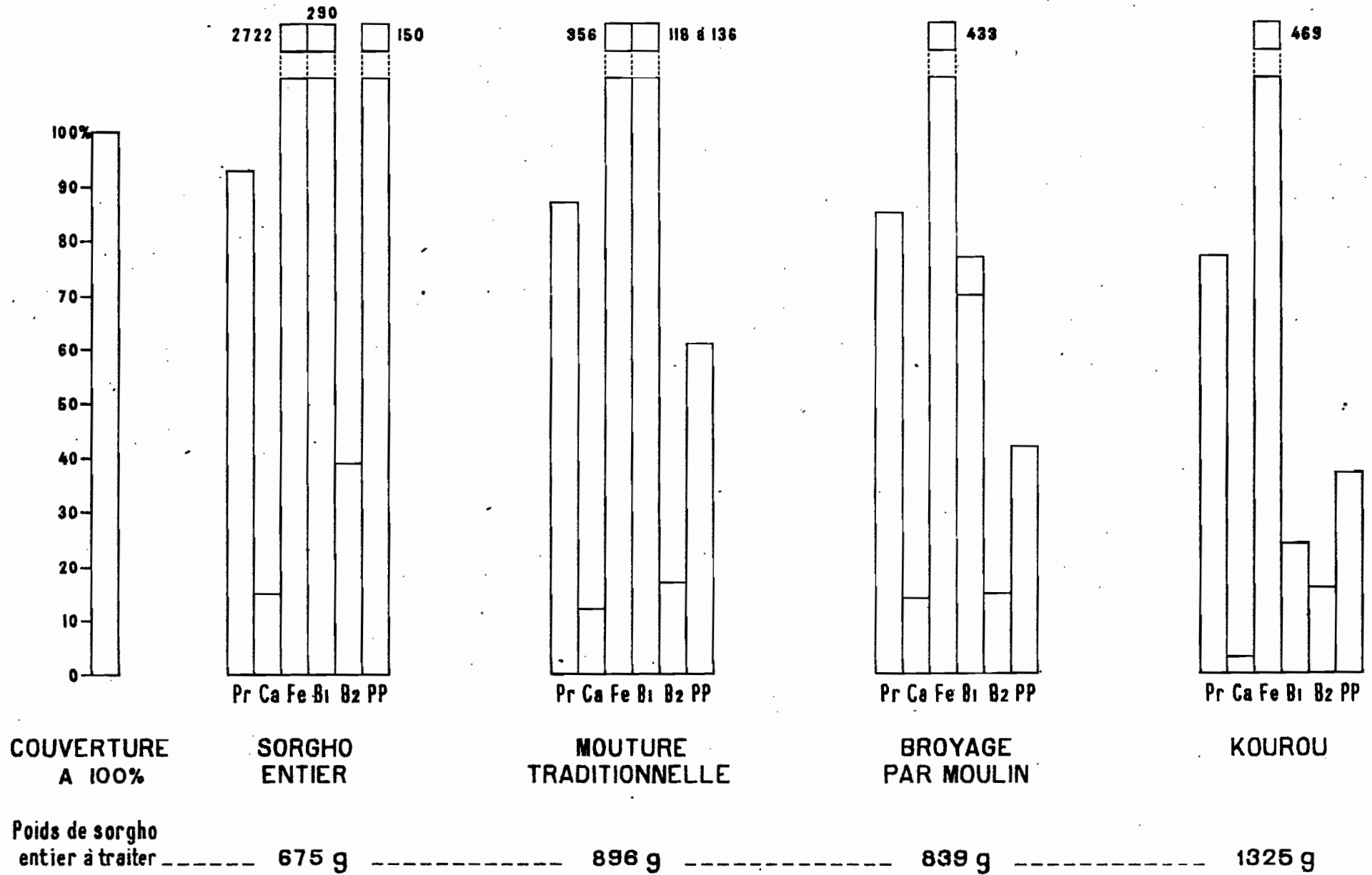
Il faut dans ce cas des quantités de sorgho égales à 900 g si on le traite par pilonnage, à 840 g si on l'écrase au moulin et à 1 325 g si on veut le transformer en kourou. Les produits de la mouture sèche assureront alors 85 à 87 p. 100 du besoin protidique et 12 à 15 p. 100 du besoin calcique alors que la quantité isocalorique de kourou ne couvrira ces mêmes besoins qu'à 77 et 3 p. 100 respectivement. Le besoin en riboflavine sera couvert à 15-17 p. 100 seulement par l'un ou l'autre des trois procédés, mais le pilonnage assurera la totalité du besoin en thiamine quand la mouture au moulin n'en pourvoira que 70 à 77 p. 100 et le kourou 24 p. 100. Le besoin en niacine sera assuré à 61 p. 100 par les produits de la mouture traditionnelle, 42 p. 100 par ceux du broyage au moulin et 37 p. 100 par le kourou.

Notons au passage que la ration à base de sorgho couvre très insuffisamment le besoin en riboflavine et n'est à aucun secours dans le besoin en acide ascorbique, ce qui explique les nombreuses observations d'aribo flavinose et de carence en vitamine C faites chez les populations consommant de grandes quantités de gros mil (PERISSE 1966 ; BASCOULERGUE et LE BERRE 1963).

Le cas des populations kirdis qui consomment la céréale entière, non décortiquée, est particulier. Ces populations disposent de peu de terres cultivables et ont sans doute été amenées à ingérer la céréale entière par mesure d'économie, afin de ne rien perdre sous forme de déchets. Mais comme nous l'avons vu précédemment il est bien connu que, lorsqu'il est consommé, l'abondant indigestible glucidique du son des céréales non seulement n'est pas utilisé mais joue le rôle d'anti-aliment en perturbant

Figure 25

COUVERTURE DES BESOINS NUTRITIONNELS DE L'HOMME ADULTE
 PAR UNE RATION DE SORGHO
 ASSURANT 80% DU BESOIN ENERGETIQUE



l'assimilation des autres constituants de la ration. A tel point que l'utilisation du pain entier, par exemple, est inférieure à l'utilisation du pain blanc, les protéines et les calories apportées en supplément par le pain entier n'étant pas utilisées et se perdant dans les excréta (JACQUOT 1946).

Les populations kirdis qui consomment le produit de mouture intégrale du mil risquent donc d'assimiler une quantité de nutriments moindre que s'ils consommaient la céréale décortiquée. En est-il bien ainsi, en fait, chez des populations habituées à ce type d'alimentation depuis des générations et qui, peut-être, s'y sont adaptées par une modification de leurs enzymes digestives ou de leur flore intestinale leur permettant de mieux utiliser l'indigestible glucidique et le reste de la ration ? Oui, semble-t-il, si les résultats des travaux de SUBRAHMANYAN (1955) sur l'eleusine sont applicables au sorgho. Mais le doute subsistera tant qu'une étude sérieuse ne sera pas conduite sur la physiologie de la digestion de ces populations.

En conclusion et pour résumer, le décorticage du sorgho puis sa réduction en farine et semoule éliminent la plus grande partie de l'indigestible glucidique. Mais ils entraînent des pertes sensibles de protéines, vitamines et sels minéraux, la méthode traditionnelle au mortier respectant mieux les vitamines que le broyage au moulin qui, par contre, conserve aux produits de mouture légèrement plus de calories, de protéines et de calcium. Il est donc souhaitable pour faciliter le travail des ménagères, que la mouture au moulin soit adoptée au niveau des villages et des quartiers.

La mouture accompagnée de trempages et lavages à l'eau est à proscrire car elle provoque des pertes très importantes de matière sèche, de calories et de protides ainsi qu'un véritable lessivage des vitamines et des sels minéraux.

VI. DIGESTIBILITE "IN VITRO" DE L'AMIDON

De nombreuses recherches ont montré que la vitesse d'hydrolyse enzymatique de l'amidon dépendait de sa structure granulaire et physico-chimique, cette structure étant elle-même sous la dépendance de l'origine botanique de l'amidon considéré et des traitements technologiques qu'il a préalablement subis (GUILBOT et MERCIER 1962).

C'est ainsi que depuis BROWN et HERON, il est habituel de classer en deux groupes les amidons crus, selon leur vitesse d'hydrolyse enzymatique :

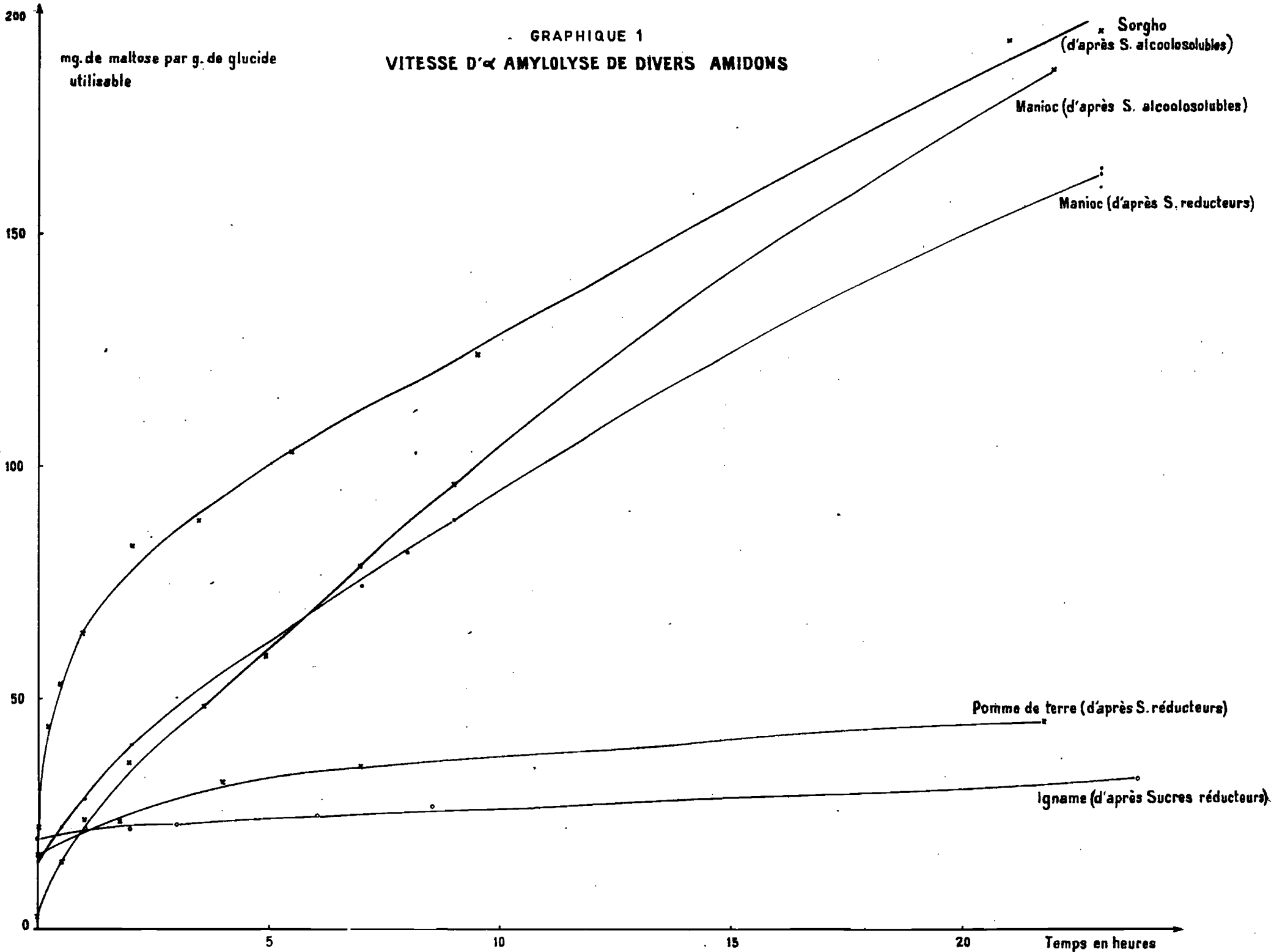
- amidons de céréales et de manioc, faciles à hydrolyser ;
- amidons d'organes souterrains autres que le manioc (pomme de terre, arrow-root, patate douce), plus résistants.

On sait aussi que certains traitements, tels que le broyage, le chauffage, l'action des détergents, des acides dilués ou des rayons gamma, accélèrent la digestion in vitro de l'amidon. Dans le domaine des procédés de technologie alimentaire utilisés en Afrique, PERISSE, ADRIAN et JACQUOT (1956) ont montré que l'amidon de manioc était plus facilement hydrolysable après la fermentation et le léger chauffage qu'il subit au cours de la préparation du gari.

Nos déterminations nous ont permis de vérifier que les amidons tropicaux obéissaient à la classification habituelle : ceux de tubercules ne se laissent pas hydrolyser facilement, contrairement à ceux de céréales, l'amidon de manioc se situant dans une position intermédiaire quoique plus proche de celle des céréales (graphique 1 ; FAVIER 1969). L'amidon de la racine de manioc épluchée et celui de l'écorce interne ont sensiblement la même vitesse d'alpha-amylolyse (graphique 4).

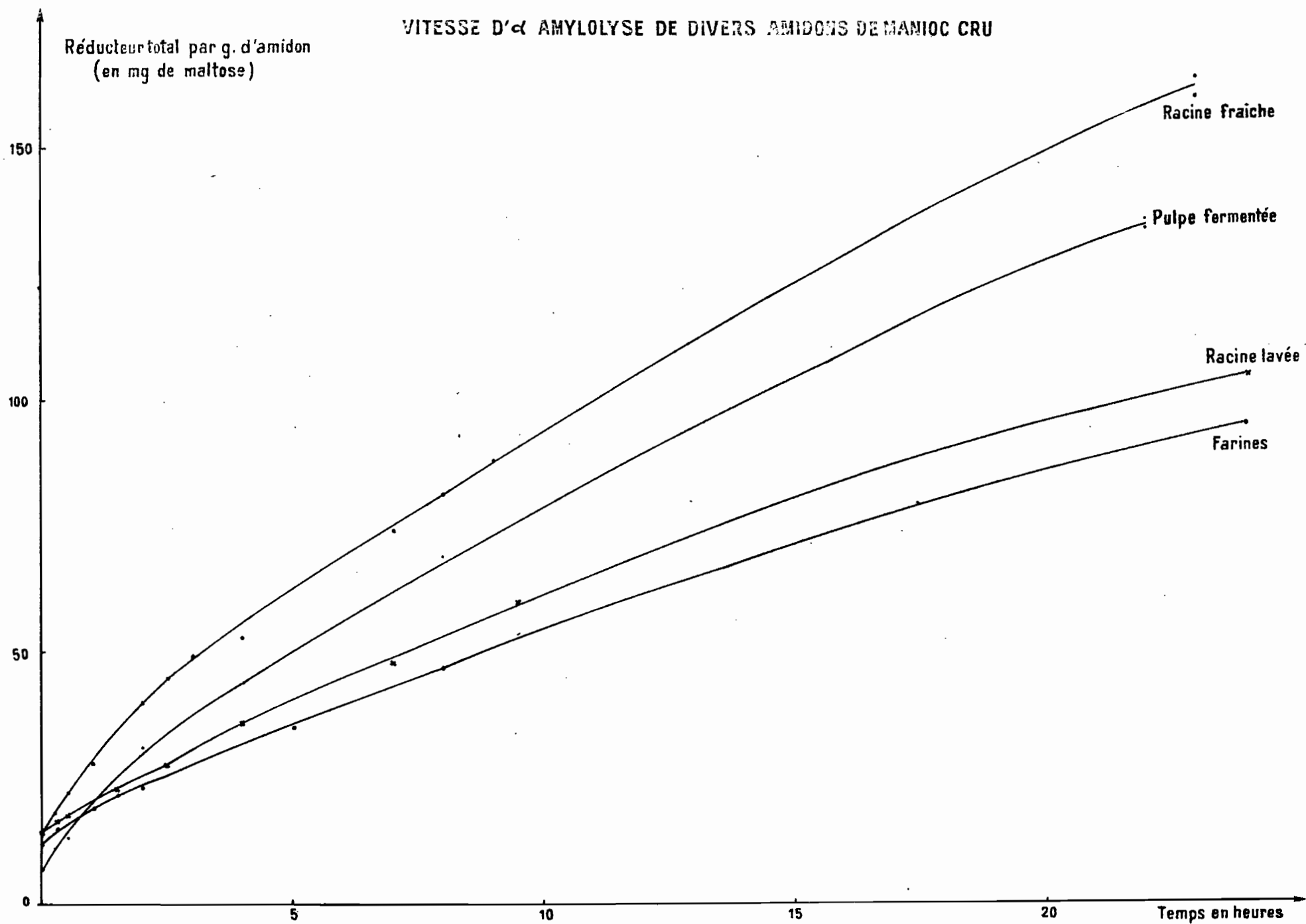
GRAPHIQUE 1
VITESSE D'AMYLOLYSE DE DIVERS AMIDONS

mg. de maltose par g. de glucide utilisable

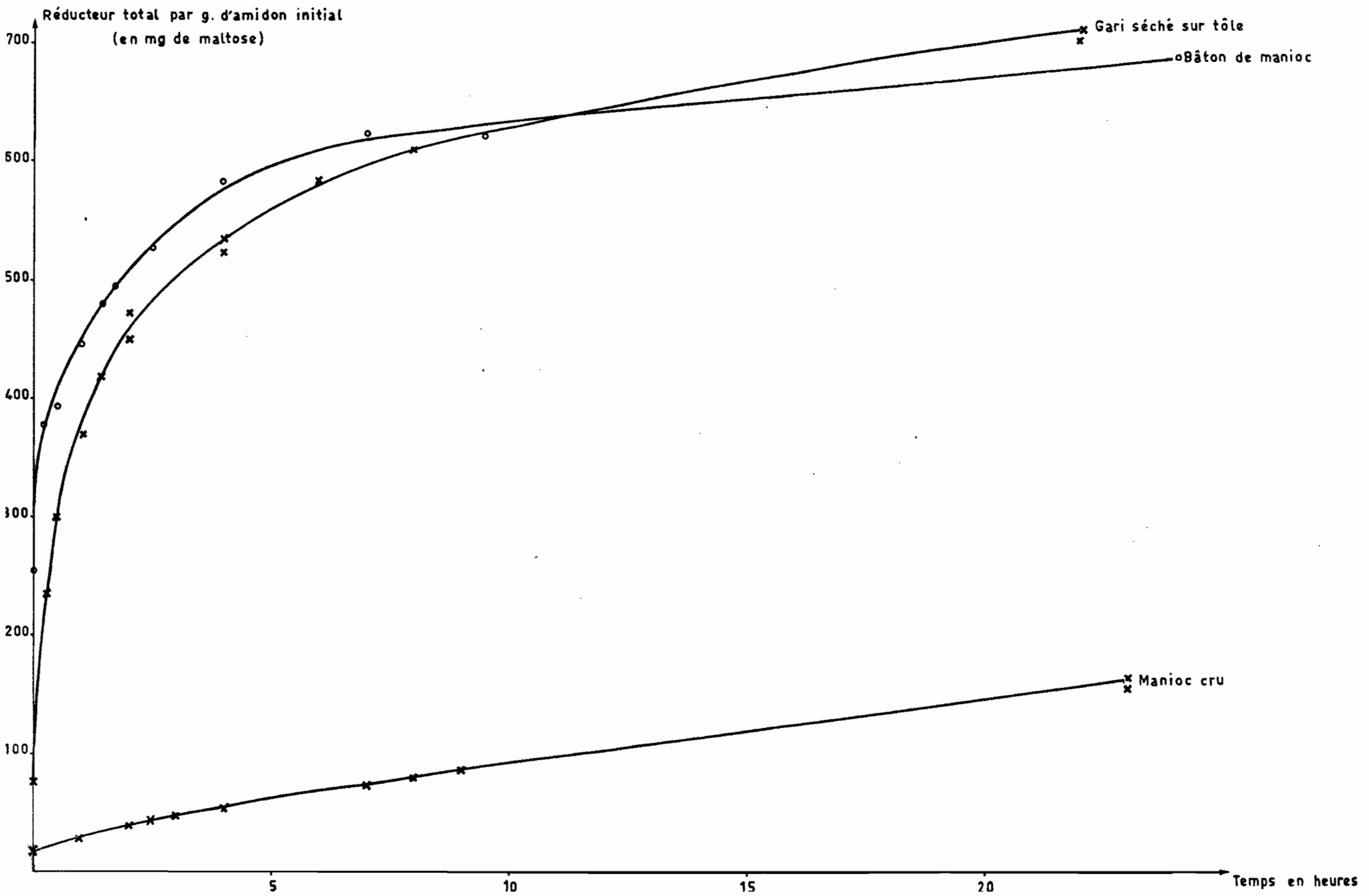


GRAPHIQUE 2

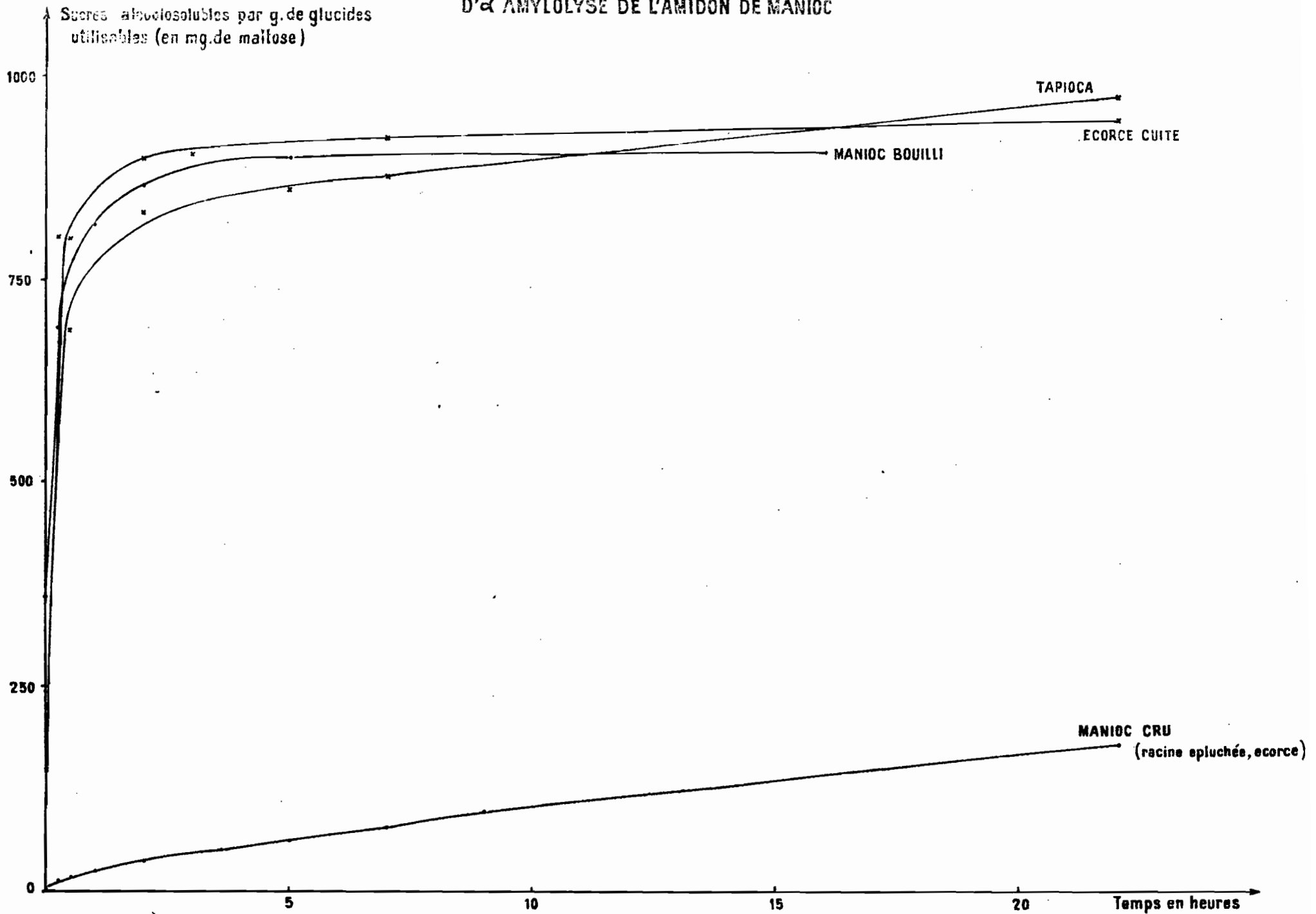
VITESSE D' α AMYLOLYSE DE DIVERS AMIDONS DE MANIOC CRU



GRAPHIQUE 3
INFLUENCE DE L'EMPESAGE SUR LA VITESSE
D' α -AMYLOLYSE DE L'AMIDON DE MANIOC

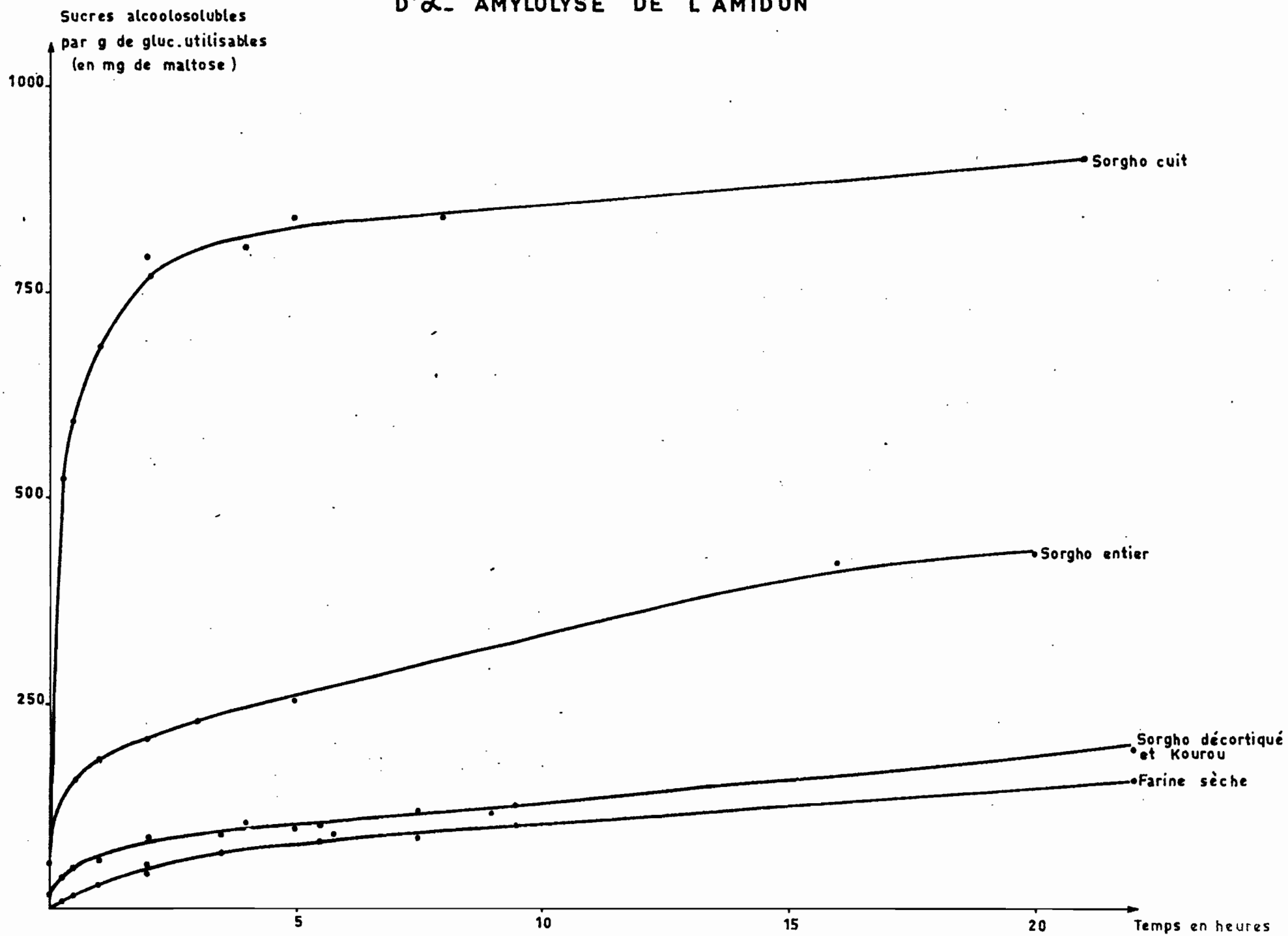


GRAPHIQUE 4
INFLUENCE DE LA CUISSON SUR LA VITESSE
D'α AMYLOLYSE DE L'AMIDON DE MANIOC



INFLUENCE DE LA TECHNOLOGIE DU SORGHO SUR LA VITESSE

D' α - AMYLOLYSE DE L'AMIDON



Aucun des traitements technologiques traditionnels autres que la cuisson n'accroît la facilité d'hydrolyse par l'alpha-amylase. Bien au contraire, les amidons de farines de manioc, de sorgho décortiqué, de kourou et de farines de sorgho sont attaqués plus lentement que ceux du grain entier de sorgho et de la racine de manioc fraîche (graphiques 2 et 5). La chute de la vitesse d'hydrolyse quand on passe du sorgho entier au grain décortiqué et de la racine fraîche de manioc à l'amidon lavé, à la pulpe égouttée-fermentée ou aux farines amène à penser que cette différence n'est pas due à l'état physique du grain d'amidon lui-même mais plutôt, semble-t-il, à la présence dans le grain entier de sorgho et dans la racine fraîche d'amylases dont l'action s'ajouterait à celle de l'alpha-amylase utilisée expérimentalement. Ces amylases seraient éliminées avec le son au cours du décorticage du sorgho ou pendant le rouissage, l'égouttage, la fermentation et le séchage du manioc.

De tous les traitements technologiques étudiés ici, seule l'action de la chaleur intervient pour faciliter l'attaque du grain d'amidon ainsi que le montrent les courbes d'amylolyse de la farine de sorgho cuite, du manioc cuit, du tapioca, du bâton et du gari (graphiques 3, 4 et 5). En particulier, les fermentations, celle du kourou comme celle du gari ou du manioc roui, ne modifient pas la sensibilité du grain d'amidon à l'amylolyse, contrairement à l'hypothèse qu'avaient émise PERISSE et al. (1956). Par contre, la cuisson accroît considérablement la vitesse d'hydrolyse et tend à annuler les différences qui pouvaient exister entre les amidons crus. La cuisson apparaît ainsi comme un traitement destiné non seulement à rendre les aliments plus agréables à consommer, mais également plus aisément digestibles.

VII. C O N C L U S I O N S

Au cours de ce travail, nous avons essayé de déterminer l'influence des transformations technologiques traditionnelles, en usage au Cameroun, sur la composition chimique du manioc et du sorgho, ainsi que sur la vitesse d'attaque enzymatique de leur amidon.

Ces traitements visent un ou plusieurs des buts suivants :

- éliminer les substances toxiques ou anti-nutritives telles que glucosides cyanogénétiques, complexe ligno-cellulosique, phosphore phytique ;
- amener les produits sous une forme consommable la plus plaisante possible ;
- permettre leur stockage et leur commercialisation ;
- améliorer leur digestibilité.

Nous avons montré que l'épluchage du manioc et le décortiquage du sorgho rendent la consommation plus agréable, éliminent une bonne part de l'indigestible glucidique mais provoquent d'importantes pertes de principes nutritifs. L'ingestion de manioc ou de sorgho non décortiqués, pratiquée par certaines populations très démunies, n'est probablement pas une opération économique sur le plan nutritionnel à moins qu'une hypothétique adaptation des enzymes digestives ne réduise l'action de désassimilation du complexe ligno-cellulosique.

Le rouissage des variétés amères de manioc est indispensable à l'élimination des glucosides cyanogénétiques. Il est préférable de ne pas éplucher les racines avant de les mettre à rouir afin de diminuer la fuite des nutriments solubles. La fermentation qui se produit au cours du rouissage entraîne un net enrichissement en riboflavine mais n'améliore pas la digestibilité.

Le broyage, quel qu'en soit le procédé, provoque toujours quelques pertes de matière brute : un peu moins cependant au cours du broyage du sorgho par moulin à moteur que par pilonnage. Ce dernier, par contre, préserve mieux les vitamines que le broyage au moulin qui provoque un échauffement considérable des produits.

Le séchage au soleil entraîne des pertes de vitamines et des gains de sels minéraux probablement apportés par les poussières. Le séchage de la farine de manioc à la fumée provoque des pertes relativement importantes de protides, vitamines et sels minéraux. Le séchage à l'ombre en local aéré, quand il est possible, paraît devoir être recommandé car il préserve mieux les nutriments nobles les plus précieux dans l'alimentation africaine : protéines et riboflavine.

La cuisson, nécessaire à l'acceptabilité des produits, entraîne surtout des destructions d'acide ascorbique et de thiamine mais elle accélère considérablement l'hydrolyse enzymatique de l'amidon améliorant ainsi sa digestibilité.

Les préparations les plus préjudiciables à la conservation des principes nutritifs sont celles du medua-me-mbong (manioc) et du kourou (sorgho), dérivés dépouillés de la plus grande partie de leurs nutriments solubles par de longs trempages et lavages à l'eau qui éliminent également une partie importante des principes énergétiques. Il importe donc de les proscrire le plus possible de la cuisine africaine.

D'une façon plus générale et bien qu'il existe des recettes de préparation du manioc qu'il convient de préférer aux autres - telles que la simple cuisson à l'eau du manioc doux ou le rouissage de la racine entière puis sa transformation en bâton ou en farine séchée à l'ombre - il est souhaitable que cet aliment, presque strictement énergétique, occupe une place la plus réduite possible dans l'alimentation africaine et qu'il lui soit préféré des céréales ou à la rigueur d'autres tubercules plus riches en protéines comme certaines variétés d'ignames ou de pomme de terre.

En ce qui concerne le sorgho, hormis le cas du kourou, il est difficile d'accorder une préférence à l'une ou l'autre des techniques de préparation. La mouture par moulin a cependant l'avantage de libérer la femme d'un labeur pénible qui accapare chaque jour une importante partie de son temps. Le temps ainsi dégagé et les forces économisées lui permettent de se consacrer à d'autres tâches. On peut donc souhaiter son extension. Mais il convient surtout de souhaiter l'accroissement de la production de cette céréale et l'amélioration de son stockage afin de supprimer les difficiles périodes de soudure. Par ailleurs, pour un meilleur équilibre de la ration à base de sorgho, il importe également de favoriser la consommation de produits apportant des protéines complémentaires de celles du sorgho et d'aliments riches en calcium, riboflavine et acide ascorbique (aliments d'origine animale, légumineuses, feuilles, légumes et fruits frais).

Nous espérons que ces quelques constatations et remarques seront utilisables par les éducateurs ou les animateurs et se traduiront par des améliorations au niveau des consommateurs.

Nous souhaitons que les tableaux de rendement en nutriments des diverses préparations et les tableaux de composition des différents dérivés soient de quelque utilité aux "économistes de l'alimentation" et à ceux qui sont chargés des enquêtes de consommation. Ils devraient permettre, en effet, d'évaluer avec plus de précision la part du sorgho ou du manioc dans la couverture des besoins nutritionnels. Ils rendent possible, également, de fixer avec moins d'approximation les objectifs de production de ces denrées, compte tenu de l'évolution démographique et de la structure de la ration que l'on souhaite raisonnablement atteindre.

Par ailleurs, si des essais de transposition de certaines préparations à l'échelle industrielle sont tentés, nous souhaitons que notre travail amène à retenir les opérations les plus bénéfiques sur le plan nutritionnel, telles que par exemple le rouissage avec écorce et le séchage en local aéré. Nous espérons qu'il contribuera à faire rechercher les moyens d'enrichir ou de compléter les aliments traditionnels fabriqués industriellement.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

- ADRIAENS E.L., HESTERMANS-MEDARD O., 1954. Remarques à propos de la composition chimique du manioc roui, non roui ou cuit à l'eau. Bull. Agric. du Congo Belge, 14, n° 1, 1-26.
- ADRIAN J., 1954. Les mils et les sorghos. Valeur alimentaire, usages. Direction générale de la Santé Publique éd. Dakar.
- ADRIAN J., 1963. Synthèse de vitamine PP au cours de la torréfaction du café et son utilisation biologique. Café, cacao, thé, 7, 369.
- ADRIAN J., FRANGNE R., 1966. Rôle comparé de la pellicule d'arachide et du son de blé dans la ration alimentaire du rat. Oléagineux, 21, 535-537.
- ADRIAN J., FRANGNE R., BOULANGER P., DAVIN A., GALLANT D., ABEL H., GUILBOT A., GAST M., 1967. Bilan et intérêt nutritionnel de différents procédés de mouture du mil. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 2, n° 1, 67-77.
- ADRIAN J., PEYROT F., 1970. Rôle de la feuille de manioc dans les rations alimentaires de type tropical. Méd. Trop., 30, n° 2, 263-74.
- AKINRELE I.A., 1964. Fermentation of cassava. J. Sci. Food Agric., 15, 589-94.
- AKINRELE I.A., 1967. Nutrient enrichment of gari. W. Afr. J. Biol. Appl. Chem., 10, n° 1, 19-23.
- ANDRE L.M., GANZIN M., 1954. Hypervitaminose A et avitaminose C. Bull. Acad. Med., 24, n° 23, 357-9.
- ANONYME, 1968. Les propriétés peu connues du manioc, tubercule des tropiques sous sa forme la plus élaborée, le tapioca. Supplément aux cahiers de Nutr. Diétet., 3, n° 2, p. 29.
- ASENJO C.F., TORRES P.E., FERNANDEZ D., DE URRUTIA G.V., 1952. Ascorbic acid and dehydroascorbic acid in some raw and cooked Puerto Rican starchy foods. Food Res., 17, 132-5

- AUCAMP M.C., GRIFF J.T., NOVELIE L., PAPENDICK B., SCHWARTZ H.M., STEER A.G., 1961. Kaffir corn malting and brewing studies. VIII. Nutritive value of some kaffir corn products. J. Sci. Food Agric. 12, 449-56.
- AUSTIN A., SINGH H.D., HANSLAS V.K., RAO N.G.P. 1972. Variation in protein and lysine content in sorghum vulgare. Acta Agronomica. 21, n° 1-2, 81-88.
- AUTRET M., PERISSE J., SIZARET F., CRESTA M. 1968. Valeur protéique de différents types alimentaires dans le monde : leur aptitude à la supplémentation. Bull. Nutrit. FAO, 6, n° 4, 1-29.
- AXTELL J.D., PICKETT R.C., OSWALT D.L., JAMBUNATHAN R., SRINIVASAN G. 1972. Components of nutritional quality in sorghum grain. Research Progress Report on inheritance and improvement of protein quality and content in sorghum bicolor. Rep. n° 9, AID. Purdue university Lafayette.
- BAKER JONES B., 1952. Foods from Southern Rhodesia. Report of 2nd Inter-
African Conf. on nutrition p. 269, Fajara, Gambie.
- BARRIOS E.A., BRESSANI R., 1967. Composition química de la raíz y de la hoja de algunas variedades de yuca Manihot. Turrialba, 17, 314-20.
- BASCOULERGUE P., BERGOT J., 1959. L'alimentation rurale au Moyen Congo. Edité par Service commun de lutte contre les grandes endémies. Imprimerie PROTAT Frères. Mâcon.
- BASCOULERGUE P., LE BEURE S. 1963. Carence saisonnière en vitamine C chez les habitants du Nord-Cameroun. Nutr. Dieta, 5, 62-68.
- BERGERET B., MASSEYEFF R., 1957. Tables de composition de quelques aliments tropicaux. Sud-Cameroun. Ann. Nutr. Alim. 11, n° 5, 45-69.

- BIGWOOD E.J., ADRIAENS E.L., MEDARD O., 1952. Amino-acid content of cassava meal. Malnutrition in Africans mothers, infants and young children. Rapport de la 2° conférence interafricaine sur la nutrition (C.C.T.A.). Gambie.
- BOUTILLIER J.L., CANTRELLE P., CAUSSE J., N'DOYE Th., 1962. La moyenne vallée du Sénégal, étude socio-économique, P.U.F. éd., Paris.
- BREDON R.M., 1961. Chemical composition of some foods and feeding stuffs in Uganda. Scientific Committee on human nutrition protein supplies conference, Uganda Govt. Vet. Sci. and Animal Industries.
- BRESSANI R., RIOS B.J., 1962. The chemical and essential amino-acid composition of twenty selections of grain sorghum. Cer. Chem., 39, n° 1, 50-8
- BREUER L.H., DOHM C.K., 1972. Comparative nutritive value of several sorghum grain varieties and hybrids. Agric. Food Chem., 20, n° 1, 83-6.
- BRONNER F., HARRIS R.S., MALETSKOS C.J., BENDA C.E., 1954. Studies on calcium metabolism. Effect of food phytates on calcium uptake in children of low-calcium breakfasts. J. Nutr., 54, 523-42.
- BRUCE H.M., CALLOW R.K., 1934. Cereals and rickets. The rôle of inositolhexaphosphoric acid. Biochem. J., 28, 517-28.
- BRUNEL A., 1949. Dosage des oses et holosides réducteurs. Traité pratique de chimie végétale, tome III, 62-6, George Fr. éd. Tourcoing.

BUSSON F., 1965. Plantes alimentaires de l'Ouest-Africain. Etude botanique, biologique et chimique - édité conjointement par Ministère français de la Coopération, Ministère d'Etat chargé de la Recherche Scientifique et Technique et Ministère des Armées (D.C.S.S.A.).

BUSSON F., BERGERET B., 1958. Contribution à l'étude des feuilles de manioc. Méd. Trop., 18, 142-144.

CARR W.R., 1961. Observations on the nutritive value of traditionally ground cereals in Southern Rhodesia. Brit. J. Nutr., 15, n° 3, 339-43.

CHARLET-LERY G., FRANCOIS A., LEROY A.M., 1952. L'analyse des aliments destinés aux animaux et l'interprétation des résultats qu'elle fournit. Ann. Zootechnie, 3, 45-62.

CHEVASSUS-AGNES S., FAVIER J.C., JOSEPH A. Boissons alcooliques à base de sorgho au Cameroun (à paraître).

CIFFERI R., 1938. Saggio di classificazione delle razza di manioca (Manihot esculenta crantz). Relazioni e Monografie Agrario Coloniali, n° 44, 1-58.

CIFFERI R., 1942. Fondamenti per una classificazione subspecifica della Manihot esculenta crantz. Archivio botanico Forli, 18, 27-33.

CLARK A., 1936. Report on effects of certain poisons contained in food plants of West Africa upon health of native races. J. Trop. Med. Hyg., 39, 269.

CLOSE J., ADRIANUS E.L., MOORE S., BIGWOOD E.J., 1953. Composition en acides aminés d'hydrolysats de farine de manioc roui, variété amère. Bull. Soc. Chim. Biol., 35, n° 9, 985-92.

- COLLARD P., LEVI S., 1959. A two stage fermentation of cassava. Nature, 183, 620-621.
- CRESTA M., 1961. Aperçu sur la situation alimentaire et nutritionnelle en Rép. Centrafricaine. Rap. FAO/ETAP n° 1 450.
- CULLUMBINE H., 1950. Nitrogen-balance studies on rice diets. Brit. J. Nutr., 4, 129-34.
- DANIEL J.A., LEELEA R., DORAISWAMY T.R., RAJALAKSHMI R., RAO S.V., SWAMINATHAN M., PARPIA H.A.B., 1966. The effect of supplementing a poor kaffir corn diet with L-lysine and DL-thréonine on the digestibility coefficient, biological value and net utilization of proteins and retention of nitrogen in children J. Nutrition Dietetics (India), 2, 10-4.
- DE BRUIJN G.H., 1971. Etude du caractère cyanogénétique du manioc. Meded. Landbouwhogeschool Wageningen, 71-13.
- DEIBEL R.H., EVANS J.B., NIVEN C.F., 1957. Microbiological assay of thiamin using *Lactobacillus viridescens*. J. Bacteriol., 74, 818-21.
- DEOSTHALE Y.G., MOHAN V.S., VISWESWARA RAO K., 1970. Varietal differences in protein, lysine and leucine content of grain sorghum. J. Agr. Food. Chem., 18, n° 4, 644-9.
- DEYOE C.W., SHEILLENBERGER J.A., 1965. Nutritive value of grains. Amino-acids and proteins in sorghum grain. J. Agric. Food Chem., 13, 446-50.
- DIRECTION DE LA STATISTIQUE. Etudes socio-économiques sur le Nord-Cameroun. Ministère de l'Economie Nationale du Cameroun éd.

- DOGGETT H., MAJISU B.N., 1967. Sorghum in East Africa. Sorghum newsletter (Hays, Kansas), 10, 15-6.
- EGGUM B.O., 1970. The protein quality of cassava leaves. Brit. J. Nutr., 24, n° 3, 761-8.
- ELLIOTT J.S., Mc PHERSON M., 1971. Nutrient values and consumer preference for grain sorghum wafers. J. Am. Dietet. Ass., 58, n° 3, 225.
- EKPECHI O.L., 1967. Pathogenesis of endemic goitre in Eastern Nigeria. Brit. J. Nutrition, 21, n° 3, 537-45.
- F.A.O., 1957. Besoins en calories. Etudes de nutrition de la FAO, n° 15. Rome.
- F.A.O., 1962. Besoins en calcium. Réunions de la FAO sur la nutrition, rapport n° 30. Rome.
- F.A.O. 1970. Besoins en acide ascorbique, vitamine D, vitamine B₁₂, acide folique et fer. Réunions de la FAO sur la nutrition, rapport n° 47. Rome.
- FAVIER J.C., 1969. Etude de la digestibilité "in vitro" de l'amidon de diverses plantes alimentaires du Sud-Cameroun. Ind. Alim. Agr., 86, n° 1, 9-13.
- FAVIER J.C., JOSEPH A., GALLON G. Composition chimique des grains de sorgho du Cameroun (à paraître).
- FRANCOIS P.J. Budget et alimentation des ménages ruraux en 1962 à Madagascar. Edité conjointement par Ministère Malgache des Finances et du Commerce, Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères chargé de la Coopération (France), CINAM et INSEE.

- GABAIX J., 1966. Le niveau de vie des populations de la zone cacao-
yère du Centre-Cameroun. Editions Ministère Camerounais
des Affaires Economiques et du Plan et SEDES, YAOUNDE, PARIS.
- GALE M.M., CRAWFORD M.A., 1970. The effect of dietary histidine and
arginine on growth in the guinea-pig as a test of the amino-
acid imbalance in plantain and cassava. Trans. Roy Soc. Trop.
Med. Hyg. 63, 826-32.
- GILLMAN J., GILLMAN T., 1947. Malnutrition and pellagra in South
Africa. Nutr. Rev. 5, n° 12, 353-5.
- GONTZEA I., FERRANDO R., SUTZESCO P., 1968. L'acide phytique ou
acide inositol hexaphosphorique, in substances antinutritives
naturelles des aliments. Vigot éd. Paris.
- GOPALAN C., SKRIKANTIA C.G., 1960. Leucine and pellagra. Lancet, i,
954-7.
- GOUSSAULT B., SANSON M.F., ADRIAN J., 1972. Influence du son de blé,
de mil et de sorgho sur la digestibilité de la ration. Ind.
Alim. Agricoles, 89, n° 11, 1597-602.
- GRAHAM R.N., 1967. Grain sorghum work in Rhodesia. Sorghum newsletter
(Hays, Kansas), 10, 100-102.
- GUILBOT A., MERCIER Ch., 1962. Repercussion sur la digestibilité de
l'amidon des modifications de sa structure physico-chimique
au cours de ses transformations technologiques. Ind. Agric.
Alim., 79, n° 11, 939-47.

- GUILLEMET R., HANSEL P., 1945. Premiers résultats obtenus dans l'étude de l'indigestible glucidique par la méthode à l'acide formique. Bull. Soc. Chim. Biol., 27, 231-7.
- GUILLEMET R., JACQUOT R., 1943. Essai de détermination de l'indigestible glucidique. C.R.Ac. Sc., 216, 508-10.
- GUILLEMET R., JACQUOT R., TREMOLIERES J., ERFMAN R., 1945. Valeur alimentaire comparée sur des humains de trois types de farine de blé. Essai de solution rationnelle du problème français du pain. Bull. Soc. Chim. Biol., 27, 56-64.
- HAIKERWAL M., MATHIESON A.R., 1971. The protein content and amino acid composition of sorghum grain. Cer. Chem., 48, n° 6, 690-9.
- HARRISON D.C., MELLANBY E., 1939. Phytic acid and the rickets producing action of cereals. Biochem. J., 33, 1660-81.
- HEGARTY P.V., WADSWORTH G.R., 1968. The amount of iron in processed cassava. J. Trop. Med. Hyg., 71, 51-2.
- HEGSTED D.M., TSONGAS A.G., ABBOTT D.B., STARE F.J., 1946. Protein requirements of adults. J. Lab. Clin. Med., 31, 261-84.
- HODGE J.E., HOFREITER B.T., 1962. Determination of reducing sugars and carbohydrates. Methods in carbohydrate chemistry, vol. I. 389-90.
- HOLT R., 1955. Studies on dried peas. I. The determination of phytate phosphorus. J. Sc. Food Agric., 6, 136-42.
- HUSSAIN R., PATWARDHAN V.N., 1959. The influence of phytate on the absorption of iron. Ind. J. Med. Res., 47, 676-82.

- IRAT, 1967. Les moyens traditionnels de conservation des cultures vivrières au Nord-Cameroun. Le Cameroun Agricole, Pastoral et Forestier, n° 108, 42-64.
- JACQUOT R., 1946. L'indigestible glucidique et l'absorption intestinale : application aux techniques analytiques de la chimie alimentaire. Chimie Industrie, 55, 424-30.
- JACQUOT R., 1957. Les facteurs d'efficacité alimentaire, in Nutrition et Alimentation Tropicales, tome I, FAO éd., Rome.
- JACQUOT R., TREMOLIERES J., 1963. Fonctions de Nutrition, P. 474 in Physiologie, tome I, KAYSER Ch., Flammarion, Paris.
- JONES W.O., 1959. Manioc in Africa. Stanford University Press éd., Stanford, California.
- JOHNSON R.M., RAYMOND J.D., 1965. The chemical composition of some tropical food plants. IV. Manioc. Trop. Sci., 7, 109-115.
- JOSEPH A., 1973. Influence de la technologie traditionnelle du manioc sur les teneurs en éléments minéraux et en phosphore phytique. Texte dactylographié, ORSTOM, Yaoundé.
- KURIEN P.P., NARAYANARAO M., SWAMINATHAN N., SUBRAHMANYAN V., 1960. The metabolism of nitrogen, calcium and phosphorus in undernourished children. Brit. J. Nutrition, 14, 339-45.
- LE BERRE S., GALLON G., TABI B., 1969. Teneur en vitamine C dans les tubercules et le plantain du Cameroun avant et après cuisson. Ann. Nutr. Alim., 23, n° 1, 31-45.

- LIMBOS P., BURETTE E., ROGOWSKY M., 1954. Sur une forme particulière de béri-béri observé à Stanleyville. Ann. Soc. Bel. Med. Trop. 34. 963.
- LUNVEN P., ADRIAN J., 1960. Intérêt alimentaire de la feuille et de la pulpe du fruit de baobab. Ann. Nutr. Alim., 14, n° 5, 263-86.
- Mc CANCE R.A., EDGECOMBE C.N., WIDDOWSON E.M., 1943. Phytic acid and iron absorption. Lancet, 2, 126.
- Mc CANCE R.A., WIDDOWSON E.M., 1942. Mineral metabolism on dephytinized bread. J. Physiol., 101, 304.
- Mc CANCE R.A., WIDDOWSON E.M., 1947. The digestibility of english and canadian wheats with special reference to the digestibility of wheat protein by man. J. Hyg., Camb., 45, 59-64.
- MACRAE T.F., HUTCHINSON J.C.D., IRWIN J.O., BACON J.S.D., Mc DOUGALL E.I. 1942. Comparative digestibility of whole meal and white breads and the effect of the degree of fineness of grinding on the former. J. Hyg., Camb., 42, 423-35.
- MALM O.J. 1953. On phosphate and phosphoric acid as dietary factors in the calcium balance of man. Scand. J. Clin. Lab. Invest., 5, 75-84.
- MARATHEE J.P., 1970. Etude concernant la prospection sorgho de trois départements du Nord-Cameroun. Rapport multigraphié IRAT-CAMEROUN Yaoundé.
- MASSEYEFF R., BERGERET B. CAMBON A., PIERRE M.L., BEBEY-EYIDI R. Enquêtes sur l'alimentation au Cameroun I. Evodoula 1958; II. Batouri 1958; III. Golompui 1959; IV. Douala 1961. Editions ORSTOM. Paris.

- MELL/NBY E., 1949. The rickets-producing and anti-calcifying action of phytate. J. Physiol., 109, 488-533.
- MERCIER Ch., 1968. Contribution à l'étude de la structure du grain d'amidon au moyen de méthodes physiques et enzymatiques. Thèse Doct. Sci. Paris.
- MOORE D.G.F., 1934. Retrobulbar neuritis and partial optic atrophy as sequelae of avitaminosis. Ann. Trop. Med. 28, 295.
- MUNOZ J.A., ANDERSON M.M. 1962. Report on nutrition survey in Basutoland from 1956 to 1960. Rapport OMS, Genève.
- NARAYANASWAMY D., DESAI B.L.M., DANIEL V.A., KURIEN S., SWAMINATHAN M., PARPIA H.A.B., 1970. Improvement of protein value of poor kaffir corn diet by supplementation with limiting amino-acids. Nutr. Rep. Internat. 1, 297-303.
- NAWAR I.A., CLARK H.E., PICKETT R.C., HEGSTED D.M., 1970. Protein quality of selected lines of sorghum vulgare for the growing rat. Nutr. Rep. Intern., 1, 75-81.
- NICOL B.M. 1949. Nutrition of Nigerian peasant farmers with special reference to the effects of vitamin A and riboflavin deficiency Brit. J. Nutr. 3, n° 1, 25-43.
- NORMANHA E.S., 1965. Communication personnelle à DE BRUIJN G.H., Instituto Agronomico, Campinas, Brésil.
- NORRIS J.R., ROONEY L.M., 1970. Wet-milling properties of four sorghum parents and their hybrids. Cer. Chem., 47, n° 1, 64-9.
- NOVELIE L., 1963. Bantu beer, food or beverage ? Food Industries of South Africa, 16-28.

- NOVELIE L., 1966. Biological ennoblement and kaffir beer. Food Techn., 20, n° 12, 101-102.
- NOVELIE L., 1968. Kaffir beer brewing, ancien art and modern industry. Wallerstein Communications, 31, 104, 17-32.
- OKE O.L., 1965. Chemical studies on some Nigerian foodstuffs, "Lafun". W. Afr. J. Biol. Appl. Chem., 8, n° 3, 53-56.
- OKE O.L., 1966 a. Chemical studies on some Nigerian foodstuffs, "Gari" Nature, 212, 1 055-56.
- OKE O.L., 1966 b. Chemical studies on some Nigerian foodstuffs, "Kpokpogari". Tropical Sci., 8, 23-7.
- OKE O.L., 1968. Cassava as food in Nigeria. World Rev. Nutri. Dietet., 9, 227-50.
- OKE O.L., 1970. Toxic chemicals in Nigerian foodstuffs. Ind. J. Nutr. Dietet., 7, 119-29.
- OLSON D.W., SUNDE L.L., BIRD H.R., 1969. Amino acid supplementation of mandioca meal chick diets. Poultry Sci. 48, 1949-53.
- O.M.S., 1965. Besoins en protéines. Série de rapports techniques n° 301 Genève.
- O.M.S. 1967. Besoins en vitamine A, thiamine, riboflavine et niacine. Série de rapports techniques n° 302, Genève.
- OSUNTOKUN B.O., KONEKOSSO G.L., WILSON J., 1969. Cassava diet and achronic degenerative neuropathy : an epidemiological study. Nigerian J. Sci. 3, n° 1, 3-15.

- OSUNTOKUN B.O., 1970. a) Cassava diet and cyanide metabolism in wistar rats. Brit. J. Nutr., 24, 797-800. b) Free cyanide levels in tropical ataxic neuropathy. Letter to the éditor, Lancet, 372-3.
- OTELE A., 1959. Les boissons fermentées de l'Oubangui-Chari. Liaisons (Brazzaville), n° 67, 34-42.
- OYENUGA V.A., AMAZIGO E.O., 1957. A note on the hydrocyanic acid content of cassava. W. African J. Biol. Chem., 1, 39-43.
- PALES L., 1954. L'alimentation en A.O.F., ORANA éd. Dakar.
- PELE J., LE BERRE S., 1966. Les aliments d'origine végétale au Cameroun. Editions ORSTOM, Paris-Yaoundé.
- PERISSE J., 1962. L'alimentation des populations rurales du Togo. Ann. Nutr. Alimentation, 16, n° 4, 1-58.
- PERISSE J., 1966. L'alimentation en Afrique Intertropicale. Thèse doct. Pharmacie, Paris.
- PERISSE J., ADRIAN J., JACQUOT R., 1956. Etude in vivo et in vitro de la digestibilité du manioc sous différentes formes : farine entière, farine blutée, féculé et gary. Ann. Nutr. Alim., 10, n° 2, 13-21.
- PERISSE J., ADRIAN J., RERAT A., LE BERRE S., 1959. Bilan nutritif de la transformation du sorgho en bière. Ann. Nutr. Alim., 13, n° 1, 1-15.
- PERISSE J., LE BERRE S., 1957. Tables de composition de quelques aliments tropicaux. Togo. Ann. Nutr. Alim., 11, n° 5, 70-89.

- PEYROT F., ADRIAN J., 1970. Nature du facteur limitant des rations à base de sorgho et d'arachide. Agron. Trop., 25, 44-51.
- PICKETT R.C., 1968. Sorghum protein quantity and quality. Proceedings of the 23 th Annual corn and sorghum Research Conference, 138-140.
- PICKETT R.C., 1970. Inheritance and improvement of protein quality and content in Sorghum vulgare. Progress Report n° 7, US-AID/PURDUE Research Found éd., Lafayette.
- PINTA M., BUSSON F., 1963. Etude chimique sur les sorghos et mils africains (éléments minéraux et oligo-éléments). Ann. Nutr. Alim., 17, 103-26.
- PLATON P., 1971. Les produits vivriers au Cameroun. Marchés Tropicaux et méditerranéens, n° 1 325, 858-861.
- PLATT B.S. 1945. Tables of representative values of foods commonly used in Tropical countries. Special report series n° 253. Medical Research Council, LONDON.
- POND W.G., HILLIER J.C., BENTON D.A., 1958. The amino acid adequacy of milo (grain sorghum) for the growth of rats. J. Nutr., 65, n° 4, 493-502.
- PUSHPAMMA S., 1969. Protein quality and nutritive value of three indian millets. Nutr. Abst. Rev., 39, n° 4, 7035.
- PUSHPAMMA S., PARRISH D.B., DEYOE C.S., 1972. Improving protein quality of millet, sorghum and maize diets by supplementation. Nutr. Rep. Intern., 5, n° 2, 93-100.

- RAO M.N., SUR G., SWAMINATHAN M., SUBRAHMANYAN V., 1958. Effect of milling on the nutritive value of jowar (*Sorghum vulgare*). Ann. Biochem. Exp. Med., 18, n° 1, 27-32.
- RAOULT A. Enquête FAO sur l'Afrique, rapport national Haute-Volta.
- RAOULT A., 1955. Enquête-sondage sur l'état de nutrition des enfants de pêcheurs du Saloum, rapp. multigraphié, ORANA, DAKAR.
- RAOULT A., 1961. La nutrition et l'économie alimentaire du Niger. Rapport dact. FAO n° 14586.
- RAYMOND W.D., SQUIRES J.A., WARD J.B., 1954. The milling of sorghum in Nigeria. Colonial Plant Anim. Products, 4, 152-5.
- ROGERS D.J., 1959. Cassava leaf protein. Econ. Botany, 13, n° 3, 261-3..
- ROGERS D.J., MILNER M., 1963. Amino-acid profile of manioc leaf protein in relation to nutritive value. Econ. Botany, 17, n° 3, 211-6.
- ROGERS D.J., 1965. Some botanical and ethnological considerations on manihot esculenta crantz. Economic Botany, 19, n° 4, 369-377.
- ROONEY L.W., 1970. Utilization of sorghum grain : food and industrial. PR-2945 in Grain sorghum Research in Texas, 71-81, Texas Agric. Experim. Station éd., College Station.
- ROONEY L.W., CLARK L.E., 1968. The chemistry and processing of Sorghum grain. Cer. Sci. to-day, 13, n° 7, 259-86.
- ROONEY L.W., JOHNSON J.W., ROSENOW D.T., 1970. Sorghum quality improvement : types for food. Cer. Sci. to-day, 15, n° 8, 240-243.

- ROYER P. et al., 1958. Les avitaminoses, cours sur la nutrition, CIE, Paris.
- SELJAMETOV R.A., MASSINO I.V., 1970. Vitamin composition of irrigated sorghum. Nutr. Abst. Rev., 40, n° 3, 4825.
- SHARPE L.M., PEACOCK M.C., COOKE R., HARRIS R.S., 1950. The effect of phytate and other food factors in iron absorption. J. Nutr., 41, 433-46.
- SHOUP F.K., DEYOE C.W., CAMPBELL J., PARRISH D.B., 1969. Amino-acid composition and nutritional value of millet sorghum grain products. Cer. Chem., 46, n° 2, 164-71.
- SHOUP F.K., DEYOE C.W., FARREL E.P., HAMMOND D.L., MILLER G.D., 1970. Sorghum grain dry milling. Food Technology, 24, n° 9, 88-92.
- SINHA S.K., NAIR T.V.R., 1968. Studies on the variability of cyanogenic content in cassava tubers. Indian J. Agric. Sci., 38, 958-63.
- SNELL E.E., STRONG F.L., 1939. A microbiological assay for riboflavin. Ind. Eng. Chem. Anal. éd., 1939, 11, 346.
- SNELL E.E., WRIGHT L.D., 1941. A microbiological method for the determination of nicotinic acid. J. Biol. Chem., 139, 675.
- STAFIJCUK A.A., TELJATNIKOV N. JA., STEFANOVSKAJA V.G., TROJANOVA T.D., 1966. Nutritive value of sorghum grain. Nutr. Abst. Rev., 36, n° 2, 2223.
- STRANGWAY A.K., 1956. Malnutrition in Angola. 3rd Inter. Afric. Conference, vol. n° 3.

- STUFFINS C.B., 1967. The determination of phosphate and calcium in feedingstuffs. The Analyst, 92, 107-11.
- SUBRAHMANYAN V., NARAYANARAO M., RAMARAO G., SWAMINATHAN M., 1955. The metabolism of Nitrogen, Calcium and Phosphorus in human adults on a poor vegetarian diet containing ragi (Eleusine coracana). Brit. J. Nutrition, 9, 350-7.
- TOURY J., GIORGI R., FAVIER J.C., SAVINA J.F., 1967. Aliments de l'Ouest Africain. Tables de composition. Ann. Nutr. Alim., 21, n° 2, 73-127.
- TREMOLIERES J., ERFMAN R., 1944. Etude sur la digestibilité du pain noir bluté à 98 %. Reo. Trav. Inst. Nat. Hyg., 1, n°1, 366-90.
- TRIPATHI B.K., GUPTA Y.P., HOUSE L.R., 1971. Selection of high protein and amino-acids in grain sorghum. Indian J. Genet. Plant Breeding, 31, n° 2, 275-82.
- TRONCHET J., 1958. La détermination complexométrique du calcium sérique. Proposition d'une technique de dosage directe. Ann. Biol. Clin., 16, n° 719, 459-70.
- TURNBULLA A., CLETON F., FINCH C.A., 1962. Iron absorption. IV. The absorption of hemoglobin iron. J. Clin. Invest., 41, 1897-1907.
- TWEEDY J.A., KERN A.D., KAPUSTA G., MILLIS D.E., 1971. Yield and nitrogen content of wheat and Sorghum treated with different rates of nitrogen fertilizers and herbicides. Agronomy J., 63, n° 2, 216-8.

- VIGNOLI L., CRISTAU B., 1950. Le gari. Analogies et différences avec le tapioca. Cahiers coloniaux, n° 8, 303-308.
- VIRAKTAMATH C.S., RAGAVENDRA G., DESIKACHAR H., 1972. Varietal differences in chemical composition, physical properties and culinary qualities of some recently developed Sorghum strains. J. Food Sci. Techn. (MYSORE), 9, n° 2, 73-6.
- VIRUPAKSHA T.K., SASTRY L.V.S., 1968. Studies on the protein content and amino-acid composition of some varieties of grain sorghum. J. Agric. Food Chem., 16, n° 2, 199-203.
- WAGGLE D., PARRISH D.B., DEYOE C.W., 1966. Nutritive value of protein in high and low protein content sorghum grain as measured by rat performance and amino acid assays. J. Nutr., 88, n° 4, 370-4.
- WALKER A., 1951. Un aliment de famine : l'écorce de manioc. Rev. Bot. Appl. Agric. Trop., 31, 542.
- WALKER A.R.P., 1951. Cereals, phytic acid and calcification. Lancet, 2, 244-8.
- WALKER A.R.P., FOX F.W., IRWING J.T., 1948. Studies in human mineral metabolism. I. The effect of bread rich in phytate phosphorus on the metabolism of certain mineral salts with special reference to calcium. Biochem. J., 42, 452-62.
- WALKER A.R.P., IRWING J.T., FOX F.W., 1946. Nutritional value of high extraction wheat meals. Nature, 157, 769.
- WALTERS J.H., DEAN A., SMITH, 1952. Oedematous beri-beri in Gambian palm wine tappers. West African Med. J., New series, 1, 21-8.

- WATERLOW J.C., WEBB R.A., 1947. Pellagra in Basutoland. Mimeo report London School of Hyg. Trop. Med.
- WATT B.K., MERRILL A.L., 1963. Composition of foods. Agriculture Handbook n° 8, US Department of Agriculture.
- WEBSTER O.J., 1967. Sorghum, corn, millet improvement project for Africa. Sorghum newsletter (Hays, Kansas), 10, 90-3.
- WIDDOWSON E.M., Mc CANCE R.A., 1942. Iron exchanges of adults on white and brown bread diets. Lancet, 1, 588-91.
- WILLIAMSON J., 1955. Useful plants of Nyasaland, Zomba, Government printer.
- WINTER G., 1964. Le niveau de vie des populations de l'Adamaoua. Editions Direction de la Statistique du Cameroun et ORSTOM-YAOUNDE.
- WORKER G.F., RUCKMAN J., 1968. Variations in protein levels in grain sorghum grown in the Southwest desert. Agronomy J., 60, 485-8.
- WOOT-TSUEN WU LEUNG, 1961. Food composition table for use in Latin America. Institute of Nutrition of Central America and Panama (INCAP Guatemala City) et National Institute of Health Bethesda, USA.
- WOOT-TSUEN WU LEUNG, 1970. Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique. Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome.

OUVRAGES GENERAUX

- ADRIAN J., JACQUOT R., 1964. Le sorgho et les mils en alimentation humaine et animale, VIGOT éd., PARIS.
- ANONYME, 1966. Méthodes recommandées pour l'échantillonnage, l'identification et l'analyse des aliments. Section de Nutrition. Office de la Recherche Internationale, Instituts Nationaux de la Santé, Bethesda, Maryland.
- BUSSON F., 1965. Plantes alimentaires de l'Ouest Africain. Etude botanique, biologique et chimique. Ministère de la Coopération, Ministère d'Etat chargé de la Recherche Scientifique et Technique, Ministère des Armées, Paris.
- CERIGHELLI R., 1955. Cultures tropicales. I. Plantes vivrières. Baillièrè éd., Paris.
- DOGGETT H., 1970. Sorghum. Longmans éd., Londres.
- JACQUOT R., NATAF B., 1936. Le manioc et son utilisation alimentaire. Hermann et Cie éd., Paris.
- KAYSER Ch., 1963. Physiologie. Tome 1. Flammarion éd., Paris.
- PYNAERT L., 1951. Le manioc. Publications de l'Agriculture, Bruxelles.
- VAN DEN ABEELE M., VANDENPUT R., 1956. Les principales cultures du Congo Belge. Publications de la Direction de l'Agriculture, des Forêts et de l'Elevage, Bruxelles.