



# THESE

Présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR - INGENIEUR  
EN SCIENCES AGRONOMIQUES

par

**DANY GRIFFON**

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES  
ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES DE SACCHARIFICATION  
ENZYMATIQUE DES SUBSTRATS AMYLACES TROPICAUX

Soutenue publiquement le 26 octobre 1985

devant la commission d'examen

Membres du jury

M. METCHE  
H. BICHAT  
J. JACQUIN  
JP. HEBERT

Président

Examineurs

# THESE

Présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR - INGENIEUR  
EN SCIENCES AGRONOMIQUES

par

## DANY GRIFFON

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES  
ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES DE SACCHARIFICATION  
ENZYMATIQUE DES SUBSTRATS AMYLACES TROPICAUX

Soutenue publiquement le 26 octobre 1985

devant la commission d'examen

Membres du jury

M. METCHE  
H. BICHAT  
J. JACQUIN  
JP. HEBERT

Président

Examineurs

*"Si le monde était un village de 1 000 personnes :*

- 60 personnes possèderaient la moitié du revenu total*
- 500 personnes ne mangeraient pas à leur faim*
- 700 personnes seraient analphabètes.*

*Si ce village était notre village on voudrait bien que ça change.*

*Mais au fait ... ce village, c'est notre village puisque c'est le monde."*

*Dominique QUINTO*

*A Francine, Olivier et Sébastien*

*... en témoignage de mon affection*



## REMERCIEMENTS

Il m'est très agréable de pouvoir exprimer ici toute ma reconnaissance à Monsieur le Professeur Maurice METCHE, Directeur du Laboratoire de Biochimie Appliquée de l'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES de NANCY, pour la bienveillance et l'intérêt qu'il m'a témoignés en suivant, en enrichissant et en patronant les travaux de recherches présentés dans cette thèse.

Mes très sincères remerciements s'adressent à Monsieur H. BICHAT, Directeur Général du CENTRE DE COOPERATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT qui m'a permis, au travers de tâches de développement agro-alimentaire tropical qu'il m'a confiées, d'étoffer mes connaissances et de les traduire dans ce mémoire.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur le Professeur F. JACQUIN de l'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES de NANCY qui a bien voulu accepter de juger cette thèse.

Mes remerciements, mais aussi ma sympathie et mon amitié vont tout particulièrement à mon collègue Jean-Paul HEBERT, Maître de Conférences à l'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES INDUSTRIES AGRICOLES ET ALIMENTAIRES et Directeur de la Section Ingénieurs Agro-Alimentaires des Régions Chaudes à MONTPELLIER. Son incitation, son soutien et ses conseils pour l'achèvement de ce travail m'ont été précieux.

Je tiens enfin à exprimer ma reconnaissance à mes collègues de travail pour leur aimable concours et à remercier Marie-France CHAZALETTE pour le dévouement dont elle a fait preuve pour assurer la dactylographie du manuscrit de ce mémoire.



## NOTE AUX LECTEURS

---

L'auteur de la présente contribution tient à préciser que ce travail est le reflet d'une réflexion professionnelle de plus de quinze années.

Cette thèse constitue en effet une synthèse des travaux et publications qu'il a effectués et dont l'initiation date de novembre 1970. A cette époque, jeune coopérant technique en République Démocratique du Congo, devenue depuis la République du Zaïre, l'auteur s'est trouvé confronté à l'inadéquation profonde entre les besoins exprimés en termes de valorisation des productions agricoles tropicales et les réponses scientifiques, techniques et industrielles qui y étaient apportées. Sept années de travail à Lubumbashi pour tenter de réduire l'écart entre les moyens de recherche disponibles dans les pays industrialisés et ceux transférés dans les pays du Tiers-Monde n'ont abouti qu'à la conviction de l'inutilité des transferts directs. Cette prise de conscience le conduit aujourd'hui à affirmer que le fossé technique qui existe entre les nations ne pourra être comblé progressivement que par la formation des hommes. Ce n'est que par une réponse endogène des populations concernées que cet écart ira s'amenuisant et que les vrais problèmes du développement pourront être résolus.

Il appartient aux lecteurs de cette thèse de juger de sa valeur et de formuler un avis sur son apport. Ils pourront paraître sceptiques sur la cohérence des travaux conduits par étapes intermittentes, entre le Shaba, la Lorraine et le Languedoc-Roussillon. Ils pourront trouver désuet de présenter en 1985 une méthode de dosage des sucres réducteurs par titrimétrie au permanganate de potassium ou leur identification par transformation sous forme d'osazones ! Peut-être faut-il qu'ils sachent que cette dernière caractérisation par exemple a nécessité la synthèse préalable du chlorhydrate de phenylhydrazine !

Admettront-ils qu'une expérience de chromatographie d'adsorption exigeant la fabrication de la colonne et la préparation du support comme l'hydroxylapatite ne peut pas permettre autant de précision que cette même chromatographie réalisée avec des supports de granulation parfaite préparés industriellement au sein d'établissements de hautes technologies ?

Comprendront-ils qu'une colonne de chromatographie en phase gazeuse qu'il faut préparer soi-même dans un laboratoire peu équipé, avec de fréquentes coupures d'eau et d'électricité n'a pas les mêmes performances que la colonne standard achetée à ces mêmes établissements ?

S'ils répondent par l'affirmative à ces interrogations, alors les lecteurs pourront interpréter en connaissance du contexte les résultats présentés dans cette étude. Ils comprendront pleinement le sens du mot alternative technologique et sauront reconnaître dans la démarche appropriative suivie par l'auteur, la recherche d'une meilleure adéquation entre les approches scientifiques de l'homme de laboratoire et celles plus pragmatiques de l'homme de terrain.





# SOMMAIRE

	<u>PAGES</u>
1 - <u>AVANT-PROPOS</u>	1
2 - <u>APPROPRIATION DES TECHNOLOGIES ET DEVELOPPEMENT</u>	5
2.1. - Toile de fond et constat d'echec	5
2.1.1. - La persistance de la faim	5
2.1.2. - La dégradation sociale et économique	6
2.1.3. - L'échec du développement agricole	7
2.2. - Une nouvelle approche du développement	8
2.2.1. - Les leçons de l'échec	8
2.2.2. - L'exemple des produits amylicés tropicaux	12
2.3. - Pluralisme technologique et connaissances traditionnelles	16
2.3.1. - Histoire des boissons fermentées	16
2.3.1.1. - <i>Cervesariis Feliciter</i>	16
2.3.1.2. - <i>L'Antiquité : mère de tous les possibles !</i>	18
2.3.1.3. - <i>La bière : une tradition...Nubienne !</i>	20
2.3.1.4. - <i>Une autre idée de L'AFRIQUE</i>	25
2.3.1.5. - <i>Boisson rituelle et fait social</i>	29
2.3.2. - Richesse des pratiques traditionnelles	31
2.3.2.1. - <i>Des bières variées dans le monde Tropical</i>	31
2.3.2.2. - <i>Tableau Synthétique</i>	64
2.3.3. - Les technologies autochtones de la saccharification : deux cas concrets	65
2.3.3.1. - <i>La bière de sorgho : le Dolo au BURKINA-FASO</i>	65
2.3.3.2. - <i>Le Munkoyo : bière de manioc au SHABA</i>	80
3 - <u>ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES ET AMYLOLYSE</u>	85
3.1. - But du travail	85
3.2. - Démarche méthodologique et analyses bibliographiques	85
3.2.1. - Démarche méthodologique	85
3.2.1.1. - <i>Une source enzymatique de référence</i>	85
3.2.1.2. - <i>Limites de l'analogie à la bière d'orge</i>	88
3.2.1.3. - <i>Recherches d'alternatives à l'orge maltée</i>	90

3.2.2. - Analyses bibliographiques	91
3.2.2.1. - Amidons et amylicés tropicaux	91
3.2.2.2. - L'orge : source enzymatique de référence	96
3.2.2.3. - Recherches d'alternatives à l'orge maltée	101
3.2.2.3.1. - Malts et céréales tropicales	101
3.2.2.3.2. - Source enzymatique non conventionnelle "Le Munkoyo"	105
3.2.2.4. - Immobilisation <i>in situ</i> des amylases du malt et du Munkoyo	113
<b>3.3. - Matériels et Méthodes</b>	<b>115</b>
3.3.1. - Tests de maltage des céréales tropicales	115
3.3.1.1. - Absorption d'eau et faculté germinative	116
3.3.1.2. - Modes de maltage	117
3.3.1.3. - Méthodes d'évaluation des malts obtenus	126
3.3.2. - Tests de brassage des amylicés tropicaux	127
3.3.2.1. - Conditions générales de brassage	128
3.3.2.2. - Adaptation des diagrammes de brassage	131
3.3.3. - Système amylytique non conventionnel : "Le Munkoyo"	137
3.3.3.1. - Détermination des activités amylytiques	137
3.3.3.2. - Méthodes d'obtention et de caractérisation des sucres formés	138
3.3.3.3. - Préparation d'extraits enzymatiques, purification et mesures caractéristiques	140
3.3.3.4. - Comparaison des activités enzymatiques du malt et du Munkoyo	142
3.3.4. - Techniques d'immobilisation des amylases	144
<b>3.4. - Résultats</b>	<b>146</b>
3.4.1. - Malt de référence et brassage des amylicés tropicaux	146
3.4.1.1. - Influence de la granulométrie du malt	146
3.4.1.2. - Influence du diagramme thermique pour le brassage du Manioc	148
3.4.1.3. - Influence du pH	149
3.4.1.4. - Influence de la dureté de l'eau de brassage	150
3.4.1.5. - Influence de l'origine de l'amidon dans le rapport enzyme / substrat	152
3.4.1.6. - Conclusion des tests de brassage du Manioc avec le malt d'orge	155
3.4.2. - Malts de substitution et brassage des amylicés tropicaux	156
3.4.2.1. - Maltage des céréales tropicales	156
3.4.2.2. - Adaptation des diagrammes de brassage aux céréales tropicales	167
3.4.2.3. - Conclusion	178

3.4.3. - Alternative enzymatique : "Le Munkoyo"	179
3.4.3.1. - Tests d'hydrolyse d'une farine de manioc	179
3.4.3.2. - Obtention et identification des sucres formés	181
3.4.3.3. - Purification des amylases du Munkoyo	186
3.4.4. - Activités comparées des systèmes enzymatiques du Malt et du Munkoyo	192
3.4.4.1. - Activités amylasiques	192
3.4.4.2. - Autres activités enzymatiques comparées	199
3.4.4.3. - Conclusion	200
3.4.5. - Propriétés amylolytiques des enzymes du Malt et du Munkoyo après immobilisation	201
3.4.5.1. - Traitement par le glutaraldehyde	201
3.4.5.2. - Inclusion dans un gel de carraghénanes	204
3.4.5.3. - Traitement par le mélange epichlorhydrine - glutaraldehyde	205
3.4.5.4. - Encapsulation	209
3.4.5.5. - Conclusion	209
<b>4 - <u>CONCLUSION</u></b>	210
<b><u>BIBLIOGRAPHIE</u></b>	214
<b><u>ANNEXES</u></b>	239
<u>ANNEXE I</u>	
Analyses de quelques matières premières utilisées	239
<u>ANNEXE II</u>	
Méthodes analytiques	246



# AVANT - PROPOS



## 1. AVANT-PROPOS

---

Pour jeter les bases de notre contribution et les ancrer sur la revalorisation des technologies autochtones dans les pays du Tiers-Monde, il nous apparaît utile de rappeler les mots d'Edem KODJO, Secrétaire Général de l'OUA (Organisation de l'Unité Africaine) lors du premier sommet économique africain de LAGOS en avril 1980.

*"Oui, à force d'avoir regardé vers l'extérieur, de s'être organisé vers l'extérieur et pour l'extérieur, à force d'avoir accepté tout de l'extérieur, concepts comme produits, l'Afrique a perdu la boussole de son intériorité".*

Le critère du mimétisme, utilisé par Edem KODJO pour expliquer l'état de dépendance de l'Afrique, conduit comme tout critère à des simplifications dangereuses. Il brosse sans doute une caricature grossière de situations variées et complexes. Il permet cependant de dénoncer l'obsession économiste du développement à la mode occidentale.

Tel un dogme, cette obsession rend synonymes croissance économique et développement. Elle a conduit la plupart des pays pauvres à l'endettement. En effet, l'option industrialiste présentée par de nombreux économistes dans les années soixante comme la panacée pour sortir du sous-développement, se révèle aujourd'hui être une des raisons de l'augmentation des factures énergétiques et alimentaires des pays du Tiers-Monde. Le niveau de la dette pour ces pays est devenu si important qu'il fait planer le risque d'une véritable explosion économique mondiale. Les projections de nombreux experts internationaux sont apocalyptiques, tant le déséquilibre entre le Nord et le Sud va croissant. Elles sont malheureusement réalistes si les tendances actuelles ne sont pas renversées. Aussi, l'avenir du monde est-il subordonné à une nouvelle cohésion entre les nations et à la solidarité internationale qui seule permettra de réaliser le progrès dans la paix.

Les pays en développement devront pouvoir eux aussi apporter une contribution décisive à l'édification d'une civilisation plus universelle et plus humaine. Ils sont actuellement en pleine compétition politique, économique et culturelle, mais dotés d'abondantes ressources naturelles et humaines. Ils détiennent malgré leurs handicaps, des atouts indéniables pour relever le plus grand défi historique jamais lancé à l'humanité. Mettre fin à l'interminable cortège de misère, de souffrance, d'ignorance, d'agression culturelle et d'atteinte à la dignité humaine qui accable ces pays, nécessite une meilleure connaissance et surtout une reconnaissance des valeurs traditionnelles.

Aussi, avec en toile de fond le spectre de la faim dans le monde, notre contribution intitulée :

*"Alternatives technologiques de saccharification enzymatique des substrats amylicés tropicaux"*

veut-elle faire apparaître en sur-impression deux images plus optimistes de l'avenir des pays du Tiers-Monde.

La première se rattache à la notion de pluralisme technologique. Elle veut avant tout être un témoignage et une reconnaissance des valeurs ancestrales en termes d'appropriation des technologies autochtones dans le contexte historique, économique, social et culturel des pays du Tiers-Monde.

L'histoire des boissons fermentées à travers les âges et la description des technologies traditionnelles de préparation de ces boissons serviront de support à cette première image.

La seconde image concerne le caractère original de la recherche entreprise. Elle laisse apparaître, au travers des propriétés enzymatiques utilisées par les populations autochtones pour la fabrication de bières artisanales ou familiales, la richesse d'une possible biotechnologie tropicale. Elle apporte une alternative technologique à l'utilisation d'enzymes d'origine bactérienne ou fongique pour des zones sans infrastructure industrielle importante. Elle contribue à l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques en matière d'immobilisation "in situ" des amylases végétales.

Liées l'une à l'autre, ces deux images nous invitent à une révision de notre système de valeurs scientifiques et techniques modernes. Elles nous conduisent l'une et l'autre à une nécessaire recherche de complémentarité entre les approches intuitives et empiriques qui ont su conduire le monde pendant des millénaires et les approches scientifiques et techniques qui en quelques décennies ont engendré de spectaculaires progrès dans les pays du Nord, mais ont relégué les pays du Sud à un rôle passif d'adopteurs de technologies auxquelles ils n'étaient pas préparés.

Si le monde d'aujourd'hui présente de si nombreuses contradictions, c'est que le progrès scientifique et technique qui ont émerveillé les scientifiques du XIX<sup>ème</sup> siècle n'ont pas fait que des prodiges. Certes, des hommes vivent, avec dans la poitrine des coeurs qui ne sont pas les leurs. Apparemment, cet exemple tend à prouver que la constitution physique des hommes demeure identique et que l'on peut tenir pour négligeable les variations individuelles comme les particularités ethniques. Mais en fait, la sensibilité des hommes et leur manière d'accepter, d'interpréter ou de contester la réalité de leur mode de vie, dépendent de nombreux facteurs : caractériels, climatiques, sociaux, culturels, économiques, politiques... etc. On ne peut donc parler de l'homme sans tenir compte des individus et de leur histoire, des sociétés et de leurs évolutions. Cela suppose, en conséquence, que les réussites ou les échecs de ces sociétés et des civilisations qu'elles ont créés, soient explicables par référence à une certaine essence de l'homme.



Cela suppose aussi que l'on sache ce qu'est l'homme. Cela suppose donc que l'inépuisable interrogation métaphysique de la nature humaine soit levée. Depuis Socrate, la philosophie répète à l'humanité : "Connais-toi toi même" ; mais pendant des générations la connaissance de l'homme sur lui-même a passé davantage par l'intuition des artistes et la réflexion des métaphysiciens que par une analyse rigoureuse et objective. Aujourd'hui, le conseil de Socrate est le support des sciences humaines qui recouvrent des disciplines nombreuses et variées comme la biologie, la psychologie, la sociologie, l'ethnologie, la linguistique, etc. Ces disciplines procèdent de plus en plus de recherches rigoureuses. Mais pour qu'elle puisse progresser, l'attitude scientifique implique que l'homme et ses divers comportements soient pris comme objets d'études, à la limite qu'ils soient considérés comme des choses. La méthode a fait ses preuves et peut-être n'est-il pas opportun ici de critiquer l'approche scientifique qui a démontré son efficacité dans de si nombreux domaines. Bien sûr, beaucoup de progrès depuis la traditionnelle évocation poétique du mystère des âmes, de la folie des passions, de l'émerveillement et des angoisses du rêve, jusqu'à la connaissance actuelle du corps humain dans sa constitution, sa croissance, son vieillissement et ses altérations de toutes sortes. Cependant, ce qu'il faut souligner, c'est que les approches scientifiques qui ont permis ces progrès se définissent d'abord par rapport à des champs d'investigation précis et limités. Aussi, de même que les sciences de la nature, mettant de côté la question de l'origine du monde, se sont-elles scindées pour faciliter l'approche méthodologique de problèmes précis et analysables par référence aux sciences exactes, de même, les sciences de l'homme ont-elles abandonné l'interrogation métaphysique de la nature humaine et se sont-elles scindées pour progresser, discipline par discipline, vers la découverte sectorielle de quelques secrets de la vie. Mais selon qu'il s'agit du corps, de l'esprit ou des activités de l'homme, de l'être naturel, de l'être pensant ou de l'être social, la méthode scientifique n'a pas progressé dans toutes les disciplines à la même cadence. Elle cache dans ce sens encore bien des lacunes.

Aussi, en critique naïf, ou au contraire en critique profond, comme en décidera le lecteur, nous refusons-nous à réduire la machine humaine à un ensemble de phénomènes mécaniques, physiologiques ou biochimiques. Nous pensons au contraire, qu'elle est dépendante de son environnement. Toute société, toute civilisation avec ses rites, ses coutumes, ses croyances dicte des règles et impose à ses membres une vision particulière du monde. Si l'humanité possède aujourd'hui un savoir que nos ancêtres ne soupçonnaient même pas, c'est bien que les sciences ont considérablement élargi notre horizon. Elles risquent cependant de nous arracher à nous même, de nous détourner d'une réflexion globalisante, de faire de chacun de nous des spectateurs passifs de notre évolution hors de notre propre discipline. Assisterons-nous, emportés par l'accélération de l'histoire des sciences, sans nous en rendre réellement compte, à notre propre mutation par manipulation génétique ?

C'est pourtant ce qui se passe en matière de transfert de technologie entre les pays du Nord et les pays du Sud. Apparemment, la science ignore les frontières et la technique a partout le même visage, mais de même que les questions fondamentales sur l'origine du monde et sur la nature de l'homme ont été abandonnées pour progresser ailleurs, de même, la technique et l'industrialisation ont laissé subsister de nombreuses zones de misère et de sous-développement. Aussi, dans le monde en devenir qui est le nôtre et qui se métamorphose chaque jour, devons-nous être parfaitement conscients des responsabilités qui sont les nôtres. Nous sommes à la fois auteurs et acteurs de la pièce qui se joue. Nous devons nous souvenir que l'acteur peut être un créateur qui donne sens, vie et chaleur humaine au texte écrit par un auteur, ou au contraire une simple marionnette manipulée par un metteur en scène et dont les pas et les gestes sont conditionnés par les jeux de lumière et les mouvements de la machinerie.

Cette dernière image trahit peut-être une certaine nostalgie du monde clos et tranquille d'autrefois dont les valeurs passaient pour éternellement assurées alors que nous ne progressons plus aujourd'hui que par une remise en cause perpétuelle des connaissances acquises. Puisse cette dernière image ne pas être un manque de confiance dans la lucidité des hommes à remettre effectivement en cause non pas simplement ces connaissances acquises, mais aussi le bien-fondé même du progrès et de l'évolution technique, en fonction de leur maîtrise et de leur impact sur un environnement culturel et social donné.

Saurons-nous reconnaître que ce qui est bien ici, ne l'est pas forcément ailleurs ? Saurons-nous regarder l'avenir, sans dénigrer le passé ? Saurons-nous valoriser le savoir-faire traditionnel sans tomber dans un sentimentalisme non constructif ? Saurons-nous puiser dans les vieilles traditions les secrets de jeunesse qui restent en elles ? Saurons-nous porter par cette approche un autre regard sur les pays en développement ?

**APPROPRIATION DES TECHNOLOGIES  
ET DEVELOPPEMENT**



## 2. APPROPRIATION DES TECHNOLOGIES ET DEVELOPPEMENT (1)

---

### 2.1. TOILE DE FOND ET CONSTAT D'ECHEC

---

#### 2.1.1. La persistance de la faim

-----

Depuis les époques les plus reculées, l'homme a éprouvé des difficultés à assurer son approvisionnement alimentaire. Les contraintes, imposées par le milieu écologique, ont provoqué au cours des temps, des mutations successives qui ont conduit les groupes humains du stade de la chasse et de la cueillette à celui de l'élevage et de l'agriculture sédentaire.

Si, dans certaines régions du monde les hommes ont pu maîtriser ces mutations en profitant de facteurs historiques, agro-écologiques et socio-économiques favorables, ailleurs des millions d'hommes doivent encore lutter contre la disette et la famine.

Les informations recueillies, les enquêtes, les études témoignent depuis des années de cet état de fait. La malnutrition constitue le principal fléau de ce siècle et devient le plus grand défi jamais lancé à l'humanité.

Pourtant, les richesses naturelles du monde sont abondantes et permettent en théorie du moins, de pourvoir largement aux besoins alimentaires de l'ensemble de la population mondiale.

Leur exploitation et leur valorisation par l'homme, riche d'un savoir millénaire et des acquis de la science et de la technologie, devraient permettre de relever ce défi.

Le pandit NEHRU disait au début des années 50 *"je ne vois pas d'autre issue au cercle vicieux de la pauvreté que l'utilisation des possibilités offertes par la science"*.

Mais trente ans plus tard, malgré les actions entreprises dans ce sens, que ce soit en Inde ou ailleurs, il faut bien constater que la science n'a pas permis d'atteindre l'objectif visé. Elle a su proposer des solutions mais s'est trouvée bloquée par les réalités culturelles, sociales et économiques des pays auxquels elle s'adressait.

---

(1) Voir en bibliographie générale les références des ouvrages et articles consultés et en particulier JEQUIER (1976) ; BESSIS (1979) ; BERGERET (1977) ; FCCF (1979) ; TREILLON - NUHNICK (1981) ; DUMONT - MOTTIN (1981).

### 2.1.2. La dégradation sociale et économique

---

Des difficultés s'accumulent dans les pays du Tiers-Monde. A un état de pénurie de production, vient se greffer une explosion démographique qui aggrave chaque jour la situation.

Sur le plan alimentaire, pour l'ensemble du continent Africain par exemple, le taux moyen d'accroissement de la production n'a atteint durant la dernière décennie qu'environ 1,3 % par an. Durant la même période, la population a augmenté de 2,5 % par an. Aussi, le taux de couverture des besoins alimentaires a-t-il connu une chute vertigineuse comme en témoigne le graphique suivant :

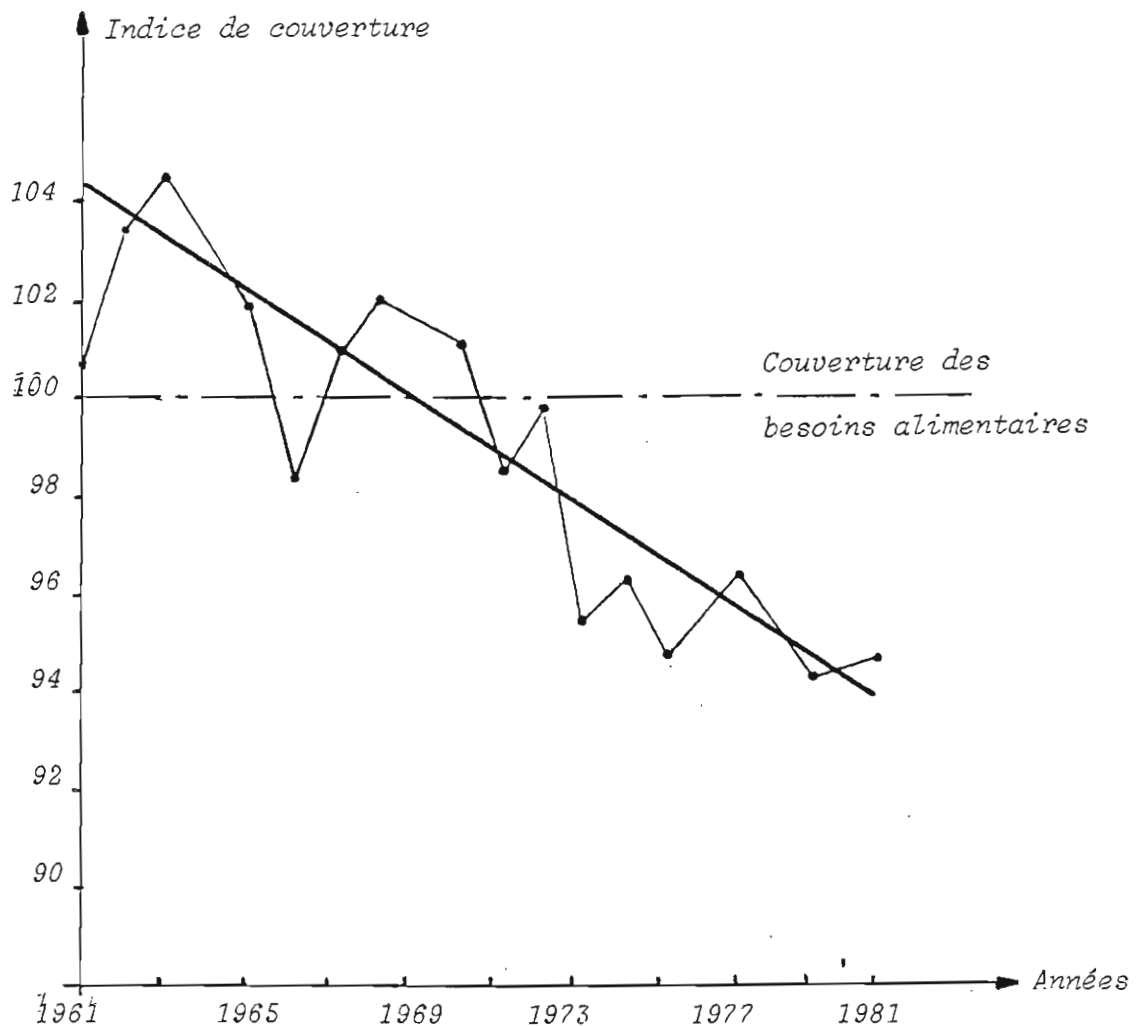


Figure N° 1 : Couverture des besoins alimentaires (cas de l'Afrique).  
Reconstitution personnelle d'après documents FAO.

L'amélioration de cette sécurité alimentaire implique, selon une définition largement utilisée au niveau international, une meilleure assurance, pour tous les groupes sociaux, d'avoir accès à travers saisons et années, à une alimentation suffisante, équilibrée et satisfaisante non seulement sous l'angle nutritionnel mais encore du point de vue socio-culturel.

Aussi, apparaît-il nécessaire de lier les objectifs de production agricole aux besoins de consommation. Dans ce sens, le but et le rôle des techniques de conservation et de transformation des aliments dans les pays en développement sont spécifiques (GRIFFON et al. 1982 a. ; DEVAUTOUR et al. 1985).

Ils doivent satisfaire les besoins alimentaires d'une société de pauvreté de masse. Leur fonction est donc de produire des aliments peu coûteux capables toutefois de répondre aux besoins nutritionnels de la population.

Ils doivent minimiser les coûts sociaux par un choix de produits et de technologies appropriés à la demande sociale.

Ils doivent s'adapter aux besoins de formations économiques et sociales hétérogènes et doivent donc être diversifiés.

Une stratégie alimentaire est constituée, on le voit bien, de toute une série de politiques sectorielles qui doivent être mises en cohérence. (MALASSIS - 1979).

Dans bien des cas cependant, l'étude des modèles de consommation a été négligée. Ces modèles sont hétérogènes et évolutifs.

Hétérogènes ! ils le sont bien sûr en fonction des pays, mais ils le sont aussi pour un pays donné, à un moment donné, ce qui se traduit par la nature des produits consommés (bière de malt d'orge ou bière de mil par exemple) et dans le degré de leur transformation (industriel ou artisanal).

Cette hétérogénéité des modèles de consommation pourra impliquer au niveau de la politique technologique de juxtaposer plusieurs alternatives de systèmes techniques, chaque système technique étant corrélé souvent à un produit alimentaire bien déterminé.

Evolutifs ! ils le sont par le changement des habitudes alimentaires qui sous l'action de pressions sociales (mimétisme) ou économiques (prix plus faibles sur les marchés internationaux) modifient les modèles de consommation. De plus, les différentes politiques sectorielles composant la stratégie alimentaire (politique de production agricole, politique technologique, politique des prix...) auront elles-mêmes des répercussions sur la consommation alimentaire.

Les conséquences nutritionnelles, sociales et économiques de cette situation sont alarmantes et catastrophiques. Elles conduisent à un état sanitaire de plus en plus précaire de la population, à des pressions sociales de plus en plus fortes, à un endettement national de plus en plus lourd.

Ainsi, pour nourrir sa famille croissante, le paysan est-il amené à vendre une partie de ses récoltes. L'argent qu'il en récupère ne lui permet toutefois pas d'attendre la récolte suivante. Il s'endette. Pour rembourser, il vendra un peu plus la saison prochaine, mais se trouvera démuné encore un peu plus tôt. Il s'endettera davantage encore. Les jeunes ruraux qui refusent le fatalisme de la misère abandonnent la terre et dévitalisent les campagnes. Ils viennent en ville, éblouis par les flashes de la modernité, mais se retrouvent bien vite dans les poches sub-urbaines et accentuent la paupérisation de la population.

Les autorités gouvernementales, elles aussi éblouies par les possibilités de la technologie moderne occidentale favorisent essentiellement la croissance d'une agriculture moderne, mécanisée, à fort coefficient de capital.

L'agriculture traditionnelle est considérée comme vieillotte et inadéquate pour résorber la pénurie. Aussi, ne bénéficie-t-elle pas des efforts de recherche. Les paysans qui restent dans les campagnes sont placés dans un contexte défavorable. Pour avoir accès aux subventions de l'agriculture, ils négligent ou abandonnent les cultures vivrières et se vendent aux grandes exploitations de cultures commerciales.

La production alimentaire pour le marché intérieur chute. Les importations augmentent. La facture enfle. Pour la payer, on exporte davantage encore. Mais les ressources exportables sont soumises aux fluctuations des cours mondiaux. La récolte va être bonne, on croit s'en sortir, les cours s'effondrent. La récolte, soumise aux aléas climatiques ne se fait pas ; c'est la catastrophe. Plus rien à manger, plus rien à exporter pour acheter. Seule l'aide alimentaire peut sauver la situation.

### 2.1.3. L'échec du développement agricole

-----

Les "révolutions vertes" avaient fait naître il y a peu de temps encore de nombreuses espérances. Pourtant, on est bien obligé de constater que leur introduction dans certains pays, avec par exemple en Inde, l'introduction de variétés de blé à hauts rendements n'a pas eu l'impact économique et social attendu.

Pourtant, le programme de diffusion de ces variétés très performantes, lancé en 1966 - 1967 a connu sectoriellement une particulière réussite. L'Inde produisait en 1979 deux fois plus de blé qu'en 1969. Mais une analyse moins précipitée des répercussions de cette diffusion, nous enseigne que cet accroissement spectaculaire de la production de blé a été obtenu au détriment des autres céréales traditionnelles ainsi qu'à la régression des cultures de légumineuses qui constituent pourtant la principale source protéique de la population de ce pays.



Aux Philippines, l'introduction de nouvelles variétés de riz à hauts rendements dans les années 1968 - 1969 a d'abord été accueillie avec satisfaction. Mais l'incapacité des fermiers à récolter et à sécher convenablement leurs nouvelles récoltes a entraîné d'énormes pertes aux champs et dans les greniers. Globalement, les pertes engendrées, liées à l'abaissement de la qualité des produits ont gommé les profits dus à l'augmentation de productivité.

De plus, le développement des cultures nouvelles a conduit naturellement à la déstructuration des systèmes traditionnels et à la formation de sociétés dualistes inégalitaires et dépendantes.

D'une façon générale, on assiste plus à un "développement du sous-développement" qu'à l'amélioration des conditions de vie des populations. Les faibles perspectives de décollage, entrevues dans certains pays ne suffisent pas à oublier les échecs enregistrés.

## 2.2. UNE NOUVELLE APPROCHE DU DEVELOPPEMENT

---

### 2.2.1. Les leçons de l'échec

---

*"Il n'y a pas de déterminisme naturel qui conduise l'évolution de la technologie vers des formes toujours plus intensives en capital et des gammes de dimensions toujours plus croissantes".*

*"L'évolution technologique d'un système donné ne peut jamais constituer un modèle pour un autre système".*

Ces réflexions, empruntées à R. TREILLON et al(1981) sont les fruits de l'expérience acquise au cours des deux dernières décennies. Elles introduisent l'idée d'alternatives technologiques que nous serons amenés à développer. Elles font appel non seulement à l'adaptabilité des procédés connus en fonction des conditions économiques des sociétés concernées, mais encore à des procédés nouveaux mis au point avec l'aide des savoirs traditionnels et de la créativité populaire. Elles militent en conséquence en faveur de la revalorisation des technologies autochtones des pays du Tiers-Monde.

Appliquées pour notre contribution à la transformation des substrats amylicés tropicaux, ces technologies prennent une place de toute première importance, car les produits amylicés sont de loin les plus abondants et les plus répandus dans le Tiers-Monde. Il suffit pour s'en convaincre d'examiner la "rose alimentaire" des pays concernés ; les féculents (céréales tropicales, racines, tubercules, banane plantain) sont à la base de l'alimentation pour les millions d'hommes des régions tropicales. Ils sont de ce fait en intime relation avec la sécurité alimentaire des pays en développement

Il apparaît donc nécessaire de situer la politique technologique dans cette évolution dynamique des modèles de consommation.

Analysant d'abord l'aliment comme un fait social, il importe de dépasser l'approche nutritionnelle. C'est ainsi, que l'on peut considérer dans beaucoup de pays en développement la bière comme un besoin alimentaire en particulier socialement, alors qu'elle ne peut être considérée comme un besoin nutritionnel fondamental pour l'homme.

Analysant ensuite la technique de transformation de ces aliments comme un fait culturel, il importe de reconnaître l'intérêt des technologies autochtones et celui de l'artisanat alimentaire. C'est ainsi, que l'on peut axer une politique technologique sur une meilleure appropriation des techniques et des outils à l'environnement naturel, économique et social.

Reconnaître l'intérêt des technologies autochtones parce qu'elles se sont insérées dans l'histoire sociale et culturelle des pays en développement ne doit pas conduire à une négation de la nécessité de produire industriellement certains biens. Cette approche vise surtout à souligner que l'essentiel réside dans l'appropriation de la décision technologique et dans le contrôle de sa finalité. Refuser cette reconnaissance du savoir-faire traditionnel et dénigrer l'approche des technologies appropriées, c'est oublier la coexistence actuelle du pluralisme technologique, c'est nier la finalité sociale de l'industrialisation ; c'est aussi perpétuer un système dans lequel les greffes industrielles sont vouées au rejet ; c'est augmenter les déséquilibres entre le Nord et le Sud ; c'est accroître la dépendance technique des pays en développement, c'est par voie de conséquence, contraindre ces pays à une dépendance culturelle.

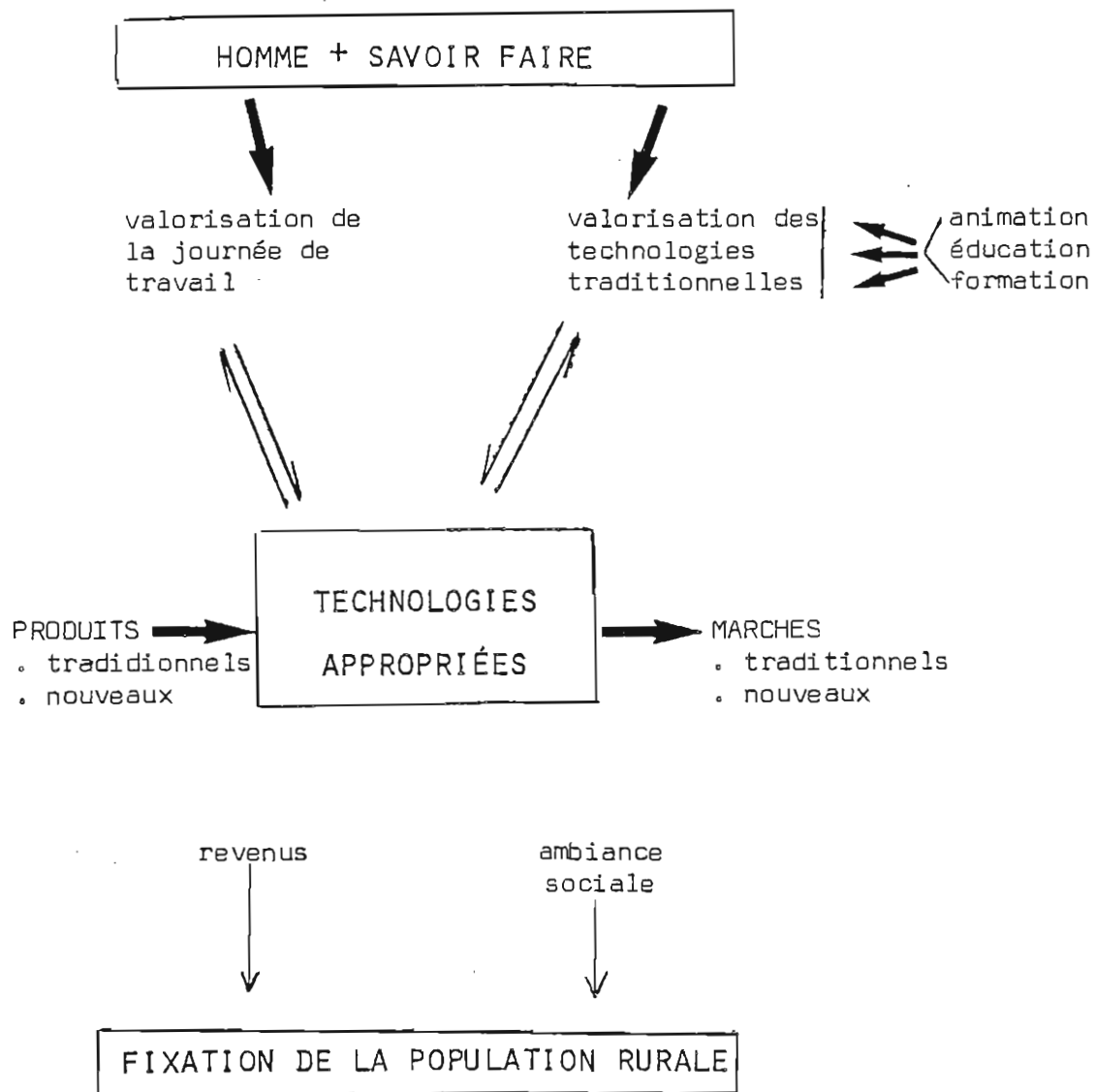
Les constats d'échecs d'une industrialisation massive et le bilan plutôt négatif des expériences agro-industrielles de grande taille qui ont été à l'origine du mouvement en faveur des technologies appropriées (1) n'ont pas empêché les pays industrialisés et les grandes firmes internationales d'entretenir une science universelle au-dessus des pouvoirs et au-dessus des frontières. Concrètement, cela s'est traduit par une opposition farouche entre "soft technologies" et "sophisticated technologies".

Or, l'orientation "soft technologies", il faut bien le constater n'a pas suscité l'enthousiasme des pays concernés. Ceux-ci ont affiché une très forte réserve devant ces technologies qualifiées de "second ordre" ou de "désuettes". Ainsi, les transferts de technologies qui continuent à se réaliser postulent-ils pour les pays destinataires la nécessité d'acquérir la dernière technologie de pointe.

Au nom de la suprématie du savoir, de la rationalité et de l'efficacité, ces transferts étouffent toute initiative des populations concernées à reconnaître et à développer la technologie de leur culture.

---

(1) Les idées de SCHUMACHER (ITDG - Angleterre) développées dans "Small is beautiful" ont fortement influencé l'orientation des recherches spécialisées dans de nombreux pays (Angleterre, Allemagne, Inde, USA, Mexique, France, Belgique)(SCHUMACHER, 1978).



*Figure N° 2 : Place des technologies appropriées dans le développement rural.*

D. GRIFFON (1980).

Cette situation nous amène à souligner un problème essentiel, à savoir que la liberté de décision d'un pays en voie de développement en matière de choix de technologie est conditionnée par deux tendances fondamentales.

- les propositions faites par les pays industriels visent, en général, à copier le modèle de développement qu'ils représentent ;

- les décisions prises par les gouvernements responsables des pays en développement ajoutent une pesanteur politique au déterminisme économique et social ; ce qui accroît les risques d'une méconnaissance des possibilités locales de développement.

### 2.2.2. L'exemple des produits amylicés tropicaux

-----

Pour illustrer les propos précédents, et "coller" à notre recherche d'alternatives pour l'hydrolyse enzymatique des produits amylicés tropicaux, nous prendrons le cas du manioc. (1)

Culture de subsistance typique pour de nombreuses populations tant africaines que Sud américaines, le manioc est resté une culture oubliée jusqu'à il y a une vingtaine d'années. Pendant des générations, le manioc a indéniablement contribué à la satisfaction des besoins alimentaires des pays tropicaux. Il a donné naissance à une multitude de produits transformés rentrant dans des régimes alimentaires nombreux et variés.

Malgré la grande diversité des préparations possibles pour l'alimentation humaine, malgré la richesse des savoirs traditionnels de transformation de cette racine, il ne doit sa notoriété qu'à son entrée récente sur le marché international, d'abord pour l'alimentation du bétail puis plus récemment encore, pour l'industrie de l'amidon. Le "tubercule du pauvre" est aujourd'hui un produit "à la mode" et l'on est en droit de se demander pourquoi ce ne sont pas les besoins alimentaires des pays du Tiers Monde qui sont à l'origine de ce "boom" sur les recherches concernant le manioc ?

Bien sûr, pour tenter d'apporter des éléments de réponse à cette interrogation, il conviendrait de procéder à une analyse méthodologique de l'évolution des paramètres suivants :

- production de manioc en fonction des orientations agricoles prises par les pays producteurs,
- rôle des exploitations familiales dans le processus de modernisation des techniques,
- impact des technologies sur la migration rurale et la création d'emplois,

---

(1) Voir en bibliographie générale les références des ouvrages et articles consultés, et en particulier JONES (1959) ; WILLIAM (1959) ; GRACE (1978) ; MARQUIS (1979) ; ACCT-STEG (1982) ; DOS SANTOS (1982) ; MUCHNICK et VINCK (1984).

- degré de technicité atteint en fonction des conditions historiques, sociales, économiques et culturelles du développement des pays concernés.

Cette analyse serait essentielle pour comprendre la portée des interactions entre les propositions des pays industriels et les décisions des pays en développement. Mais en schématisant, les recherches récentes sur cette racine, à différents niveaux

- techniques culturales,
- améliorations variétales,
- mécanisation au champs,
- transformations biotechnologiques,
- utilisation industrielle.

sont le fait des pays industrialisés à la recherche de nouvelles matières premières bon marché capables d'assurer la couverture de leurs besoins industriels et énergétiques.

La technologie alimentaire du manioc reste en effet aux yeux des industriels une technologie familiale et artisanale. Elle reste pour les planificateurs du développement une *"technologie marginalisée pour gens marginalisés"*.

Par contre, pour les pays industrialisés, le manioc représente une impressionnante réserve d'amidon. Alors, face aux armes statistiques conventionnelles et aux ratios économiques, le manioc perd-il sa vocation alimentaire et donc sociale pour ne plus apparaître que comme matière première industrielle. Ce postulat manioc s'appuie sur l'hypothèse d'une culture en plantation industrielle à haut rendement autorisant 50 tonnes à l'hectare. Le manioc contenant environ 60% d'eau, les rendements en matières sèches peuvent donc atteindre 20 tonnes à l'hectare, soit le double du rendement du maïs aux Etats-Unis. Ils prônent en conséquence le développement d'une grande industrie d'amidon de manioc avec culture mécanisée et unités de transformation modernes et automatisées. Le manioc pouvant donner naissance à de nombreux produits et sous-produits utilisables dans les industries agro-alimentaires et chimiques ne devient intéressant que s'il est capable de concurrencer les mêmes produits actuellement issus du maïs ou de la pomme-de-terre.

En développant cette approche au moment où les chocs pétroliers laissaient croire à une rupture possible de leur approvisionnement énergétique, les pays industrialisés ont conduit des pays comme le Brésil à entreprendre de vastes programmes d'alcool carburant, d'abord à partir de la canne à sucre, ensuite à partir du manioc. L'amidon de manioc comme source d'éthanol pour l'industrie est venue amplifier l'effort de recherche sur la production agricole.

En ce sens, cette idée est louable, mais la nécessaire maîtrise technologique est absente de cette approche. La notion d'économie de marché est venue gommer celle d'économie d'autosubsistance. Le manioc aliment, plus que jamais, a été dévalorisé et jugé dévalorisant.

Pourtant, les populations qualifiées de sous-développées savent encore, grâce à leur système traditionnel, approvisionner en "gari", en "attieké" ou en "farinha" des agglomérations aussi importantes que LAGOS, ABIDJAN ou BRASILIA. Les productrices nigériennes, ivoiriennes ou brésiliennes savent encore valoriser leur "savoir-faire traditionnel" et l'adapter aux exigences pourtant récentes des poches urbaines. Elles y trouvent une source de revenu de première importance et les technologies qu'elles maîtrisent constituent la vraie soupape de sécurité sans laquelle les risques de déstabilisation du système seraient immenses. (D. GRIFFON, P. GAUTHIER, 1984).

Les propos tenus par F. PERROUX (1981) dans son article à propos du sommet de Cancun méritent dans ce sens d'être rappelés :

*"... de leur mémoire collective, de leurs moeurs transmises par la famille, la tribu, le village et transfigurées par leurs interprètes culturels, ces peuples ont tiré des trésors de résistance au colonialisme et au mimétisme stérile. Ils y puisent aujourd'hui un courage nouveau pour affirmer leur identité et se construire en jeunes nations capables d'assimiler les techniques sans se trahir elles-mêmes".*

Cette trahison est malheureusement déjà largement engagée. En effet, les populations qui pendant des siècles ont broyé, décortiqué, pilé, coupé avec la seule source énergétique de leur bras, découvrent les produits importés et se trouvent brusquement lassées du travail ancestral. Très vite, dans les grandes capitales, les jeunes urbanisés oublient la tâche immense effectuée en amont de la baguette de pain blanc qu'ils trouvent sur les marchés. Ils se précipitent avidement sur les paquets de riz blanchi, sur la bouteille d'huile raffinée, sur la boîte de lait en poudre, sur les sardines à l'huile ou sur le "corned beef". Ils délaissent alors le plat traditionnel de mil, de sorgho, d'igname, de manioc, de taros, de patates douces ou de banane plantain pour des aliments d'importation. Bien que réservés encore, pour l'instant, aux familles les plus aisées, ces importations se développent et augmentent le déséquilibre de la balance commerciale des pays importateurs. (D. GRIFFON, 1979).

Les villageois eux aussi sont touchés. Progressivement, ils abandonnent les activités ancestrales, longues, pénibles et conduisant à des produits de piètre qualité. Leur lassitude face aux techniques traditionnelles va s'amplifiant lorsqu'ils comparent la valorisation de leur journée de travail aux champs de céréales, de légumineuses ou de tubercules tropicaux, avec le salaire des ouvriers agricoles des firmes multinationales sur les plantations industrielles. Ils s'adonnent alors eux-aussi aux cultures exportables, rémunératrices, capables de subvenir à leurs besoins essentiels. Peu à peu, la couverture locale des besoins alimentaires se rétrécit et la facture des importations en aliment s'alourdit.

L'immense champ d'investigation que représente la recherche d'une amélioration de l'auto-suffisance alimentaire des pays en voie de développement est donc la toile de fond de notre recherche d'alternatives technologiques. Chercher à préserver la faiblesse du pouvoir d'achat des populations à l'acquisition de biens durables et productifs est à la base de l'orientation que nous avons donnée à nos travaux sur la saccharification enzymatique des substrats amylicés tropicaux.

Dans cette perspective, les technologies traditionnelles sont appelées à jouer un rôle grandissant. Elles représentent la condition d'un développement maîtrisé de l'intérieur.

L'accent mis sur cette nécessaire maîtrise des technologies oblige à rétablir un rapport direct entre la recherche scientifique et les réels problèmes du développement. Il implique l'instauration d'un nouveau type de relation entre l'homme du laboratoire et l'homme du terrain.

Par cette contribution qui conduit à remettre en cause les situations de dépendance entre les pays industrialisés et les pays en développement, nous souhaitons pouvoir montrer que des solutions originales existent.

Le thème de la saccharification enzymatique des substrats amylicés tropicaux, en ayant recours à des matières premières tropicales, nous permet de nous placer résolument dans une optique de valorisation des productions locales, en militant en faveur de la maîtrise des technologies à utiliser, en reconnaissant la valeur des savoirs ancestraux et en mettant en évidence des innovations possibles.

En partant du savoir-faire millénaire des hommes à fabriquer de l'alcool à partir de sources sucrées ou amylicées, nous nous sommes orientés vers l'étude des bières indigènes consommées dans les pays en développement. Fréquentes en milieu rural, préparées avec des substrats amylicés variés comme les céréales (mil, maïs, sorgho...), des racines (manioc...), des tubercules (ignames, patates douces, taros...) ou des fruits (banane plantain, arbre à pain...) elles présentent des potentialités enzymatiques et technologiques indéniables.

Par analogie avec des techniques éprouvées de fabrication de malt d'orge et de brassage des grains crus, par adjonction d'enzymes d'origine bactérienne ou fongique, nous avons entrepris de relier les connaissances acquises pour élaborer une alternative technologique adaptable aussi bien en milieu rural qu'en milieu industriel.

## 2.3. PLURALISME TECHNOLOGIQUE ET CONNAISSANCES TRADITIONNELLES

---

### 2.3.1. Histoire des boissons fermentées

-----

#### 2.3.1.1. Cervesariis Feliciter (1)

La bière est à l'origine de l'étude sur la saccharification enzymatique des substrats amylics tropicaux qui fait l'objet de la présente contribution. Cependant, citer une devise pour l'introduire peut paraître relever davantage du corporatisme le plus fanatique que de l'approche méthodologique imposée par une telle étude.

Pourra-t-on m'en vouloir ? Ancien élève de l'Ecole Supérieure de Brasserie, de Malterie et de Biochimie appliquée de NANCY, je ne fais que reproduire ici la mention inscrite sur le blason de mon école d'origine. Mais, cette citation veut dépasser la simple évocation de mon passé étudiant. Elle veut rendre hommage aux brasseurs pour leur contribution à l'acquisition des connaissances scientifiques modernes. Il m'est agréable pour le faire de citer le doyen E. URION qui écrivait :

*"Il est curieux de constater que nombreuses sont les connaissances scientifiques d'un intérêt général qui ont été acquises à l'occasion d'études suggérées par la brasserie pratique". (F. ÉYER - E. URION, 1968).*

Est-il besoin pour conforter cette affirmation de rappeler que la première "diastase" a été obtenue par PAYEN et PERSOZ à partir d'une infusion de malt ? Est-il besoin de rappeler que les travaux de PASTEUR et en particulier ses "études sur la bière" devaient constituer les éléments de base de la biochimie, de la bactériologie et de la microbiologie actuelle ?

Seules, peut-être, les dates 1832 et 1874 pour les deux cas cités ont quelques difficultés à être retenues ! Mais sur l'échelle de l'histoire dans laquelle je veux vous entraîner dans cette étude c'était hier. La brasserie et la bière contribuent depuis beaucoup plus longtemps à l'acquisition des connaissances humaines et à l'évolution même des civilisations.

---

(1) "vivent les brasseurs"





2.3.1.2. L'Antiquité : mère de tous les possibles

Il faut en effet remonter à l'Antiquité pour comprendre le sens historique, social et culturel que nous avons voulu donner à la présente contribution.

La bière, en tant que fait social et cela depuis les civilisations les plus antiques nous y invite. Saisissons-en l'opportunité ! On pense en effet, que la bière ou plutôt une boisson fermentée à base de grains est la plus ancienne des préparations enivrantes jamais réalisée par l'homme.

L'histoire de la bière commence avec l'histoire elle-même disait F. EYER (1968), mais tel Saint-Thomas que les faits seuls peuvent convaincre et conditionnés que nous sommes par le mythe de l'Écriture pour fixer l'histoire, nous avons coutume d'attribuer à la Mésopotamie, entre le Tigre et l'Euphrate, l'origine de la fabrication de la bière environ 4 000 ans avant notre ère. C'est en effet des sables chauds de SUMER qu'ont été exhumées des tablettes, datant de cette époque lointaine, mentionnant l'existence d'une bière appelée localement "Sikaru" et faisant allusion à des "maisons de la bière" tenues par des femmes. Il existait semble-t-il plusieurs sortes de bière dans la civilisation sumérienne, soit à base d'orge, soit à base d'épéautre, soit encore à base de mélange de grains d'orge et d'épéautre. La population consommait, pensait-on des bières variées et il existait une bière des moissons, ainsi qu'une bière rouge réservée aux hauts dignitaires. (B. HELL, 1983).

Ces découvertes archéologiques témoignent bien sûr de l'existence d'une boisson fermentée à cette époque, mais ne permettent pas à mon sens d'affirmer que c'est à SUMER que la bière a été fabriquée pour la première fois. Au contraire, l'importance accordée à cette boisson dans cette civilisation pourrait signifier qu'elle avait su acquérir, depuis longtemps déjà, ses lettres de noblesse. Certains historiens d'ailleurs, associent la préparation de la bière à celle de la culture de l'orge ou de l'épéautre, ou de l'amidonier (1), c'est-à-dire dès l'âge de la pierre . . . Aussi, la bière pourrait bien être beaucoup plus ancienne que la "Sikaru" sumérienne. Elle pourrait être associée au delà même de la culture des céréales précitées, à la simple récolte de ces espèces qui poussaient spontanément et que l'homme a certainement appris à moissonner avant de semer.

---

(1) Orge : *Hordeum vulgare* s'il s'agit de l'orge à 2 rangs et *Hordeum hexastichum* s'il s'agit de l'orge à 6 rangs.

Epéautre : *Triticum monococcum*  
Amidonier : *Triticum dicoccum*

Nous sommes projetés dès lors, à l'époque des premières préparations des soupes et des bouillies que l'on situe au paléolithique supérieur c'est-à-dire de 40 000 à 10 000 ans environ avant notre ère. Il est possible en effet d'associer comme le fait le Dr. E.G. PEETERS (1971) la fabrication des boissons fermentées à la naissance des premières préoccupations culinaires de l'homme qui cherche remède à la fadeur des aliments bouillis dans la cendre des foyers riches en sels divers pour les saler, ou dans la sève sucrée des plantes ou du miel sauvage pour les édulcorer. Il est permis de penser qu'alors une certaine fermentation puisse effectivement se développer dans ces bouillies et conduire à des boissons épaisses et alcoolisées. Nous sommes au dixième millénaire avant notre ère, c'est-à-dire à la veille des premiers phénomènes de vie en commun.

Il nous faut là encore recourir aux fouilles archéologiques pour essayer de dater la constitution des premiers villages et des premières citées humaines qui obligèrent l'homme à rechercher une source permanente d'approvisionnement par une certaine maîtrise des cultures.

Les équipes du Professeur R.J. BRAIDWOOD (1) de l'Université de CHICAGO ont pu mettre en évidence l'existence de villages agricoles qui remonterait au néolithique. Aussi, depuis 1948, le site de Tepe Sarab et depuis 1949 celui de Jarmo, localisés réciproquement en IRAN et IRAK, sont dans bien des esprits, les berceaux du monde agricole. Ils révèlent qu'au VIIème millénaire avant notre ère, aux alentours de l'an 8000, l'agriculture était connue ; mais peuvent-ils permettre d'affirmer que l'agriculture y est née ?

Nous ne le pensons pas. D'ailleurs, en 1952, l'archéologue britannique Miss K.M. KENYON (2) découvrit que la fondation de JERICHO, actuellement en ISRAEL, datait de la même période, et que ses habitants connaissaient l'agriculture et l'irrigation.

Aussi, pour être homogènes dans leurs analyses et leurs interprétations, les historiens archéologues prirent l'habitude de ne plus évoquer tel ou tel site précis pour y faire naître l'agriculture, mais élargirent le berceau du monde agricole à ce qu'il est convenu d'appeler le "croissant fertile". Mais où l'interprétation ne nous semble pas être homogène c'est que cette bande de terre qui s'étend de la côte Est de la Méditerranée à la limite de l'IRAK et de l'IRAN, englobant pour les besoins de la cause les plaines fertiles du Tigre et de l'Euphrate permet aux historiens de franchir les trois millénaires qui séparent la fondation de JERICHO (8000 ans avant J.C.) à la naissance (5000 ans avant J.C.), en basse Mésopotamie au pays de SUMER de la première civilisation du globe. Sauter aussi allègrement 3000 ans d'histoire sans souci de continuité entre la première cité du monde et la première civilisation connue nous apparaît procéder davantage du récit mythologique que de la démonstration scientifique. Même si elle a un fondement, la mythologie est évidemment une série de mensonges, pourtant elle a encore dans bien des esprits valeur de dogmes et de réalités, et il est vrai qu'elle a su inspirer les hommes, soutenir des institutions et suggérer aux artistes, aux poètes et aux écrivains l'idée de créer d'admirables chefs-d'oeuvre.

---

(1) et (2) cités par E.G. PEETERS (1971).

A ce titre, il est nécessaire de la respecter avec ses invraisemblances et ses contradictions. Mais dès lors que l'on se réfère à des travaux archéologiques pour dater et figer dans l'histoire une découverte, il nous semble que l'on ne peut se permettre des raccourcis aussi saisissants que ceux qui ont été utilisés pour attribuer à la florissante civilisation sumérienne tant de créations. On lui attribue en effet, non seulement la "bière", mais la roue, l'écriture, l'arithmétique, la géométrie, la métallurgie du cuivre et plus tard, presque à la fin de sa domination, vers 2 500 ans avant J.C., la découverte de la science des alliages, avec la fabrication du bronze. Si l'on y ajoute outre une législation et un patrimoine artistique riche en sculptures et en orfèvreries, une puissante religion avec ses dieux et ses grands-prêtres, ses temples et ses offrandes, nous nous rapprochons du caractère mythologique que nous avons évoqué précédemment. Aussi, l'offrande de bière à la déesse Nin-Harra, datée de 3 000 ans avant J.C., que nous dévoile le "Monument bleu" sumérien, n'est peut-être que le signe d'une croyance mythologique et non le signe d'une pratique courante de cette époque.

### 2.3.1.3. La bière : une tradition ... Nubienne !

Sans nous substituer aux spécialistes des sciences humaines nous souhaiterions, en prenant toutes les précautions d'usage, formuler une hypothèse nouvelle en suggérant l'origine de la bière, non plus pendant la civilisation Sumérienne, mais en Afrique dans la haute vallée du Nil en NUBIE.

Pour aller à l'encontre des idées reçues, quelques arguments. En langue Française, il existe très peu de textes sur l'archéologie de la bière. Ils sont dûs au regretté F. EYER et correspondent à des compilations d'articles plus nombreux en allemand comme celui de W. ROLLIG (1970) : "*Das Bier im alten Mesopotamien*". En fait, la théorie Sumérienne de l'origine de la bière a une histoire savoureuse. D'après BERGER et DUBOE-LAURENCE (1) la traduction des tables de Sumer explicitant le célèbre "*Monument bleu*" aujourd'hui au British Museum a été commanditée par les grands brasseurs nord-américains. C'est à partir de ces travaux archéologiques que toutes les théories "*d'essaimage*" de notre boisson favorite ont été établies.

Bien évidemment, puisque dans la machine à remonter le temps le compteur marque 4500 ans avant J.C., aux preuves tangibles des écrits et des schémas nous devons nous contenter d'hypothèses pour dépasser 5000 - 6000 ans, dates d'apparition de l'écriture. Ne peut-on pas retenir déjà qu'avant de figer par écrit les recettes de la fabrication d'une boisson alcoolique la transmission des recettes avait pu se faire oralement ?

A la théorie Sumérienne d'une bière inventée par les blancs, la lecture de l'ouvrage de Cheikh Anta DIOP (1979) apporte un autre éclairage. Pour lui, il y a une falsification de l'histoire. Reprenons ses écrits publics tirés de l'ouvrage "*Nations Nègres et Culture*" :

*"En 1799, BONAPARTE entreprend la Campagne d'Egypte. Les hiéroglyphes sont déchiffrés en 1822 par CHAMPOLLION-LE-JEUNE qui mourut en 1832, laissant comme "carte de visite" une grammaire égyptienne et une série de lettres adressées à son frère CHAMPOLLION-FIGEAC pendant son voyage en Egypte (1828-1829). Ces lettres furent publiées en 1833 par CHAMPOLLION-FIGEAC. Désormais, le mur hiéroglyphique s'écroule, dévoilant des richesses surprenantes.*

(1) Communication personnelle à paraître chez LAFFONT en octobre 1985 dans "*le guide de l'Amateur de la Bière*".

*Les égyptologues furent pétrifiés d'admiration devant le passé de grandeur et de perfection qu'ils découvrirent alors et que, peu à peu, ils reconnaissent comme étant celui de la plus ancienne civilisation qui a engendré toutes les autres.*

*L'impérialisme aidant, il devenait de plus en plus "inadmissible" de continuer la thèse jusqu'alors évidente d'une Egypte nègre".*

*Les monuments égyptiens les plus anciens qui figurent toutes les races de la terre correspondent aux bas reliefs du tombeau d'OUSIREI Ier dans la vallée de BIDAN-EL-MOLOUK. Ils datent du XVIème siècle avant J.C. (XVIIIème dynastie). CHAMPOLLION-LE-JEUNE, dans sa treizième lettre adressée à son frère CHAMPOLLION-FIGEAC estime que "l'auteur des bas reliefs a voulu figurer ici les habitants des quatre parties du monde, selon l'ancien système égyptien à savoir :*

*1°) les habitants de l'Egypte qui, à elle seule, formait une partie du monde, d'après le très modeste usage des vieux peuples,*

*2°) les habitants propres de l'Afrique, les nègres,*

*3°) les Asiatiques,*

*4°) enfin (et j'ai honte de le dire, puisque notre race est la dernière et la plus sauvage de la série), les Européens qui, à ces époques reculées, il faut être juste ne faisait pas une trop belle figure dans le monde. Il faut entendre ici tous les peuples de race blonde et à peau blanche habitant non seulement l'Europe, mais encore l'Asie, leur point de départ. Cette manière de considérer ces tableaux est d'autant plus vérifiable que, dans les autres tombes, les mêmes noms génériques reparaissent et constamment dans le même ordre. On y retrouve aussi les Égyptiens et les Africains représentés de la même manière, ce qui ne pouvait être autrement ; mais les Namou (les Asiatiques) et les Tamhou (les races européennes) offrent d'importantes et curieuses variantes". (Anta DIOP, 1979).*

*L'origine de la bière pourrait-elle être africaine ?*

*"On admet communément qu'aux environs de 7000 le dessèchement du Sahara était achevé. L'Afrique Equatoriale était encore probablement une zone de forêts trop denses pour attirer les hommes. Aussi, les derniers Nègres qui vivaient au Sahara l'auraient quitté pour émigrer vers le Haut-Nil. Peut-être les premiers trouvèrent-ils dans le Haut-Nil une population nègre autochtone. Quoi qu'il en soit c'est de l'adaptation progressive aux nouvelles conditions de vie que la nature a assignées à ces différentes populations nègres, que naîtra le plus ancien phénomène de civilisation que la terre ait connue.*

*Cette civilisation, dite égyptienne à notre époque, se développera longtemps dans son berceau primitif, puis descendra lentement le long de la vallée du Nil pour s'irradier autour du bassin de la Méditerranée. Ce cycle de civilisation, le plus long de l'histoire aurait duré 10 000 ans, sage moyenne entre la chronologie longue (Hérodote, Manéthon, d'après les données des prêtres égyptiens, situent l'origine à - 17 000) et la chronologie courte des Modernes qui sont obligés d'admettre qu'en - 4245 les égyptiens avaient inventé le calendrier, ce qui suppose des millénaires de développement avant d'arriver à de telles spéculations". (Anta DIOP, 1979).*

- 7000 ans avant J.C. correspond aux premières mutations. La civilisation de cueillette et de chasse passe aux premières civilisations d'agriculteurs. Si l'on admet l'antériorité de la civilisation Nubienne ne peut-on pas imaginer que la bière pourrait-être Africaine ? Ne pourrait-on pas imaginer que cette bière aurait pu être fabriquée à partir des premières céréales spontanées puis cultivées ?

Nous appelons les paléo-ethno-botanistes à nous indiquer si à l'aube de l'humanité les ancêtres des Sorghos, Mil, Eleusine auraient pû exister dans les terres de Haute-Egypte et par extrapolation, à laquelle nous nous hasardons, une boisson alcoolique "paléobière" aurait pû naître.

Bien sûr modeste technologue, nous ne prétendons pas faire oeuvre d'ethnologue. Nous les interpellons cependant à s'intéresser à la bière. Comme l'humour est la chose la moins bien partagée dans le monde scientifique cela ne nous déplairait pas que les dolotières de OUAGADOUGOU soient les descendantes des paléobiotechnologues nègres d'il y a 7000 à 8000 ans.

Les idées précédentes donnent à penser que l'habitude plus que la réalité perpétue l'idée de la naissance de l'agriculture en Mésopotamie.

Aussi, sans vouloir coûte que coûte remettre en cause les données historiques qui, attribuent au Moyen-Orient la paternité des pratiques agricoles, qu'il me soit permis de souligner que le "croissant fertile" précité, pénètre par l'isthme de Suez jusqu'au delta du Nil en Egypte. Cette remarque conduit à gommer l'image d'Epinal selon laquelle cet isthme qui relie l'Afrique au Proche-Orient aurait été le point de passage obligé par lequel la civilisation agricole serait arrivée en Egypte.

Les travaux archéologiques et les analyses faites par P. HUART et J. LECLANT (1972) soulèvent en effet ce problème. Les preuves ne sont pas bien sûr irréfutables pour affirmer que la migration s'est effectuée d'Ouest en Est et non d'Est en Ouest, mais les travaux conduits par cette équipe d'archéologues montrent au moins clairement que les relations entre l'Egypte et la Palestine ne se sont pas faites à sens unique. En particulier, si l'on retient l'hypothèse qui consiste à lier le développement de l'agriculture à la domestication du bétail, il n'est absolument pas besoin de supposer qu'il y a eu introduction de bétail néolithique du Proche-Orient, car la vallée du Nil nourrissait de nombreuses espèces domesticables.

Les vestiges paléontologiques abondent au Fayoum et en Nubie Egyptienne pour étoffer cette thèse. Ils révèlent en effet, que le porc domestique (*sus scrofa*) dérivant du sanglier local (*sus scrofaferus*) est présent au Fayoum dès le Vème millénaire. Ils révèlent aussi que le boeuf (*bos africanus*) a probablement descendu la vallée du Nil et a été domestiqué en Egypte au IVème millénaire, c'est-à-dire avant qu'il n'apparaisse au Proche-Orient.

Les vestiges paléontologiques ne suffisent pas bien sûr à dater d'une façon précise les débuts de l'agriculture, ni en conséquence de donner un acte de naissance à la préparation d'une quelconque boisson fermentée, mais l'approche indirecte qu'ils autorisent confère une véritable innovation. Ils présentent en effet, un intérêt particulier par l'étude des traits culturels qui viennent compléter et préciser d'autres éléments culturels comme ceux révélés par d'irréfutables documents archéologiques. Ainsi, les analyses proposées par P. HUART et L. LECLANT (1972) permettent par cette approche d'opposer par exemple pour la Basse Egypte, la théorie d'une agriculture venue du Proche-Orient à une agriculture autochtone d'espèces spontanées. L'homme, nous l'avons déjà souligné a certainement appris à moissonner des espèces spontanées avant de les semer et il est vraisemblable que la vallée du Nil et son delta, inondés de juillet à septembre constituaient de véritables bassins naturels. Après le retrait des eaux, ces bassins laissaient une terre fertile sur laquelle les populations riveraines récoltaient des graines spontanées. Peu à peu, ces graines purent être cultivées. Les Egyptiens, utilisant les effets du soleil qui après les inondations crevassaient la terre, ont pu en effet commencer des semailles sans maîtriser le labour. Ils ont pu, comme l'attestent les sites archéologiques de FAYOUM et de MERIMDE (1) développer un type particulier de culture sèche. Des silos à céréales datés de 5 000 ans avant notre ère, exhumés des sites précités, confirment qu'à cette époque les populations de Basse-Egypte consommaient de l'orge et de l'épéautre. En Haute-Egypte, les plus anciens témoignages sur l'agriculture concernent les Tasiens et les Badariens qui seraient venus du Sud. Ils cultivaient eux aussi l'orge et l'épéautre. En Nubie Egyptienne, un bol de calcaire poli de l'époque prédynastique archaïque (2) a été découvert contenant des graines de "sorgho durra". L'absence apparente dans la vallée ou dans le delta du Nil de ce type de céréale à la même époque s'accorde avec une origine africaine des sorghos qui demandent en effet un climat plus chaud que l'orge ou que l'épéautre.

La Nubie a donc pu avoir semble-t-il une vie agricole intense avant de s'égyptianiser. Les sites archéologiques de AFYEH et de DAKKA apportent des témoignages complémentaires dans ce sens. Des tombes ont en effet mis en évidence que la tête des morts reposait sur des grains qui pourraient être du sorgho.

---

(1) Sites archéologiques étudiés par P. HUART. Cité par P. HUART et L. LECLANT (1972)

(2) de l'époque néolithique - âge de la pierre polie.

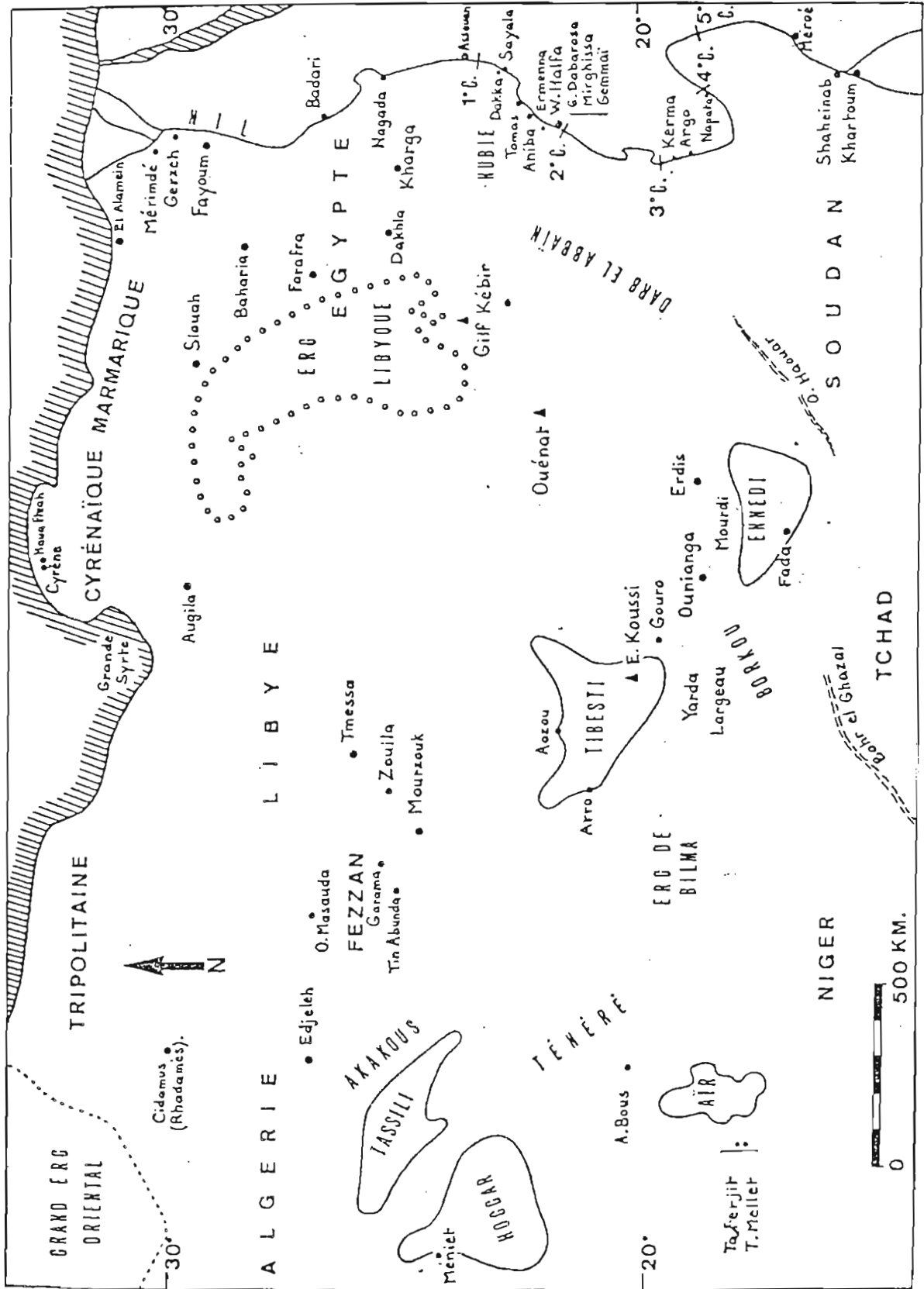


Figure N° 3 : Carte des fouilles archéologiques entre le Nil et le Sahara d'après P. HUART et L. LECIANT (1972).



Enfin, il convient de noter que les textes des pyramides qui datent de l'ancien empire font allusion à la préparation d'une bière Nubienne. De même, un ostracon (1) découvert à Deir el Bahari, évoque cette bière autochtone. Ces deux indices en faveur d'une bière Nubienne pourraient être déterminants pour envisager une origine africaine à la fabrication des boissons fermentées. Le sorgho remplaçant l'orge, cette boisson ressemblerait beaucoup aux "bières de sorgho" que l'on rencontre encore aujourd'hui et que l'on consomme abondamment dans de nombreux pays africains, à l'Est comme à l'Ouest. Est-il possible d'attribuer à l'oralité africaine la transmission de cette pratique brassicole depuis tant de générations ?

#### 2.3.1.4. *Une autre idée de l'Afrique*

---

L'idée émise précédemment d'une origine africaine de la bière peut paraître insolite. Faute de preuves complémentaires, je ne peux l'étayer sans tomber dans l'écueil qui consisterait à tenir pour certitude ce qui n'est qu'hypothèse. Il me faudrait aux prix de migrations laborieuses prétendre qu'un jour, un des peuples de l'Afrique Noire soit venu avec ses habitants, ses croyances et ses lois dans la prestigieuse vallée du Nil et s'y soit imposé.

Toutefois, il me paraît souhaitable de contribuer à donner une nouvelle image de l'Afrique et de faire reconnaître que l'histoire de ce continent existe, mais qu'elle n'a pas encore livré tous ses secrets.

Chez de nombreuses personnes qui ne jurent que par les écrits l'idée demeure ancrée que l'Afrique n'a pas d'histoire, puisqu'elle n'a pas utilisé pour fixer les traits essentiels de son passé le support de l'écriture. Or, l'Egypte a une écriture et sa civilisation est sans doute de ce fait celle que nous avons pu reconstituer avec le plus de fidélité. Mais l'Egypte est en Afrique et rendre ce pays à ce continent constitue à bien des égards une innovation. C'est en effet, redonner à l'Afrique la place qui lui revient dans l'histoire de l'Humanité (2). C'est nous amener à modifier profondément le regard que nous avons appris à porter sur cette histoire. C'est refuser de figer les idées reçues. C'est contribuer à reconnaître à l'oralité africaine une valeur historique. C'est abandonner les habitudes ethnocentriques de certains chercheurs européens. C'est apprendre à regarder l'Afrique de l'intérieur et reconnaître avec J. SERVIER (1980) que *"dans des civilisations traditionnelles, il existe un certain nombre de procédés destinés à conserver la pensée et à la transmettre qui ne correspondent pas exactement à notre conception de l'écriture"*.

---

(1) ostracon : sorte de coquillage

(2) C'est dans la vallée de l'Omo en Ethiopie et dans les gorges d'Olduvai au Kenya qu'ont été découvertes les traces actuellement les plus anciennes de l'humanisation.

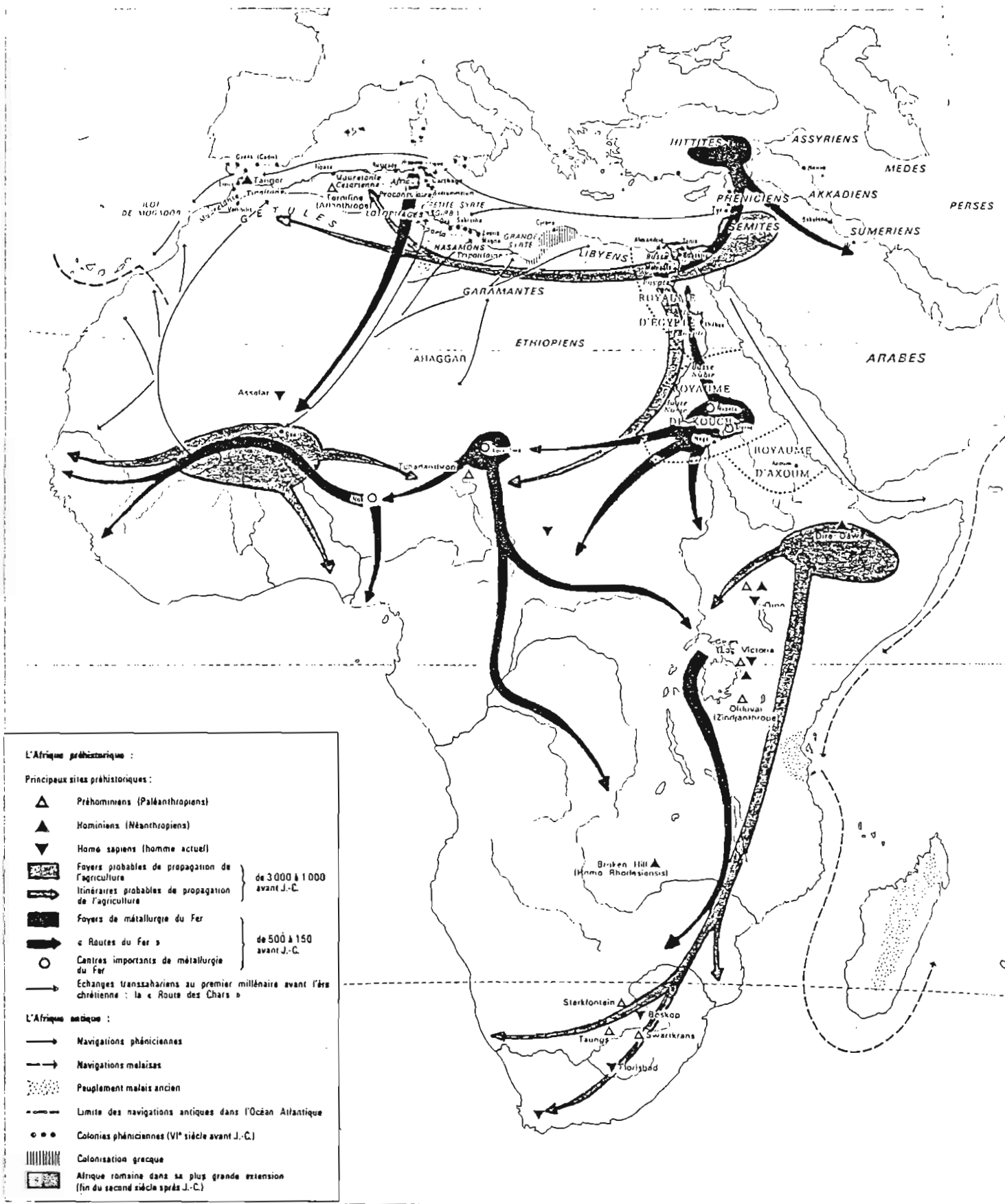


Figure N° 4 : L'Afrique préhistorique et antique - carte des migrations (1) -

(1) D'après Atlas

Toutefois, avant de pénétrer dans l'insolite, par la voie des poètes et des griots, ces indispensables personnages de la vie sociale africaine, restons attachés quelques instants encore à la civilisation écrite de l'Égypte. Il est vrai que l'existence même de cette civilisation est elle aussi insolite. Elle tient à la présence du Nil. Sans lui, l'Égypte n'aurait été qu'un désert, elle a été le grenier à blé de la Rome Antique. Sans lui, l'Égypte n'existerait pas ; mais puisqu'elle existe, parce qu'il existe, il faut bien reconnaître en corrolaire à cette évidence que ce grand fleuve africain, le plus grand fleuve du monde, n'a pas drainé uniquement des alluvions fertiles de sa source à son delta. Cette puissante voie de pénétration du corps de l'Afrique, a certainement véhiculé comme une artère, la vie, les mythes et les richesses culturelles du cœur de l'Afrique profonde.

C'est bien l'Afrique profonde en effet, que nous retrouvons sur les fresques égyptiennes qui évoquent la faune et la flore du continent. C'est l'Afrique profonde encore, que nous admirons dans le tombeau de Tout Ankh Amon, où un personnage royal porte le costume traditionnel des princes pharaoniques : la peau de léopard. Cet ornement n'est-il pas porté, encore aujourd'hui, par les chefs coutumiers africains ?

Mais c'est sans doute par ses croyances ancestrales que l'Égypte est fondamentalement africaine. La religion de l'Égypte antique qui comporte un grand nombre de divinités d'origine animale est par bien des aspects comparables à la mentalité africaine dans laquelle l'homme vit en harmonie avec le monde animal et s'y intègre. Il est symptomatique en effet, de constater que les artistes Égyptiens ont souvent représenté les hommes ou les femmes avec la tête d'un animal divin. Ces hommes ou ces femmes à tête de faucon ou de taureau, qui sur les fresques égyptiennes tiennent le Pharaon par la main, sont en fait la reproduction des prêtres portant un masque pendant le déroulement des rites religieux (P. MONTET 1946). Comment ne pas rapprocher ces masques de ceux qui sont encore utilisés par certaines sociétés africaines, comme celles des Serer, des Ba-Kongo ou des Yorouba par exemple, lors des funérailles (1).

De même que le principe du "ka" égyptien nous enseigne que l'homme n'est pas seulement un corps et une âme, mais la réunion de plusieurs entités qui peuvent avoir une existence indépendante du corps qu'elles occupent, à condition qu'on les abreuve et qu'on les nourrisse ; de même, le culte des ancêtres tel qu'il est pratiqué par les Bororo, les Fang ou les Bamileké (1) révèle qu'une réplique du corps continue à vivre après la mort de son possesseur, à condition qu'on l'abreuve et qu'on la nourrisse.

- (1) Serer : Ethnie du Sénégal  
Ba-Kongo : Ethnie du Zaïre  
Yorouba : Ethnie du Nigéria  
Bororo : Ethnie du Niger  
Fang : Ethnie du Gabon  
Bamileké : Ethnie du Cameroun



*Figure N° 5 : Quelques ethnies africaines (1)*

(1) Reconstitution personnelle

Comment ne pas rapprocher ces croyances et ses pratiques, sous prétexte que les unes ont été figées et transmises par l'écriture et que les autres ont évolué car transmises de génération en génération par la parole.

Dès lors, puisque l'on reconnaît une valeur historique aux fresques égyptiennes qui évoquent le culte des ancêtres à la manière africaine ; puisqu'il faut reconnaître la même valeur historique à d'autres fresques qui illustrent la fabrication de la bière locale appelée "zythos", et à celles qui présentent cette bière comme une boisson d'offrande liée au culte des morts (P.MONTET 1946) pourquoi ne pas reconnaître la valeur historique aux pratiques traditionnelles des sociétés africaines, qui par intermédiaire de leurs poètes et de leurs griots, évoquent le culte des ancêtres en ces termes : *"Aucun travail dans les champs, aucune cérémonie d'initiation ne peuvent avoir lieu sans qu'on ne les consulte et sans qu'on ne requière leur bénédiction. Et l'on ne manque pas à chaque repos de verser sur le sol un peu de bière de mil pour les abreuver ou quelques pincées de farine pour les nourrir"*. (1).

Rien n'empêche de penser en effet, que cette bière de mil offerte aux ancêtres Bassari (2) ne soit pas de tradition plus ancienne encore que le "zythos" égyptien ou la "Sikaru" sumérienne offerte à la déesse Nin-Harra telle qu'elle est décrite par la fresque du "Monument bleu" datant de l'époque prédynastique .

Si l'apport africain à l'Egypte semble évident, il n'en reste pas moins du domaine des hypothèses. Pour le préciser, il faudrait que de nouvelles prospections archéologiques, peut-être plus systématiques, le long des voies d'accès, qui de la vallée du Nil pénètrent au coeur de l'Afrique, soient entreprises. Il y a fort à parier que l'histoire de l'Afrique n'a pas encore livré tous ses secrets.

#### 2.3.1.5. *Boisson rituelle et fait social*

---

Quelle que soit l'origine véritable de la bière, fut-elle sumérienne, égyptienne ou nubienne, elle a su parcourir les siècles, les continents et les civilisations.

La bière pétillante blonde ou ambrée que l'on consomme aujourd'hui à travers le monde n'a certes plus grande parenté avec la boisson épaisse et pâteuse que l'on consommait à l'aide de tuyaux de paille ou de roseaux et qui faisait la réputation de Peluse (3) dans l'Egypte d'Osiris (4).

---

(1) anonyme in "L'Afrique, continent méconnu" Ed. Sélection du Reader's Digest. Paris - 1979 -

(2) Bassari : ethnie du Sénégal oriental

(3) Peluse : actuellement Port-Saïd

(4) Osiris : Divinité Egyptienne - patron des brasseurs -

Il faut pourtant noter deux éléments, qui mieux que les autres ont su résister à l'épreuve du temps et à l'influence des civilisations.

Le premier concerne le rôle de la femme dans la fabrication de la bière.

Le second a trait au rituel lié à la consommation de cette boisson.

Ainsi, à la statuette du XXVII<sup>ème</sup> siècle avant J.C. représentant une femme égyptienne brassant le "zythos" , il est possible de faire correspondre le mythe norvégien qui stipule que jusqu'à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle après J.C. la jeune femme brassait, le matin de son mariage une bière qu'elle offrait à son époux (HELL, 1983).

La bière est aussi restée pendant de longs siècles une boisson divine, sacrée et rituelle. Les offrandes cessèrent avant le Moyen-âge, mais les moines bénédictins ou cisterciens surent préserver un certain rituel, tout en développant des techniques de brassage nouvelles. Ils préparaient en effet, différents types de bière suivant qu'ils la destinaient à leur consommation quotidienne, qu'ils offraient aux pèlerins de passage ou qu'ils la réservaient aux jours de fête.

Actuellement, le rituel alimentaire de nombreuses ethnies Africaines ou Sud Américaines conserve à la boisson enivrante à base de mil, de sorgho, d'igname ou de manioc, une fonction de socialisation. Le facteur social intervient plus particulièrement au niveau des groupes de préparation, de consommation, par la séparation des sexes et des âges.

## 2.3.2. Richesse des pratiques traditionnelles

---

### 2.3.2.1. Des bières variées dans le monde tropical

Boissons rituelles et faits sociaux, les bières le sont en effet sous toutes les latitudes. Dans les pays tropicaux, les variétés témoignent de la richesse des savoirs ancestraux qui ont su résister à l'épreuve du temps. Préparées à partir de produits amylicés ou sucrés, nombreux et variés, ces boissons sont le reflet de pratiques traditionnelles dont il convient de tenir compte dans une démarche appropriative.

Nous pourrions multiplier les exemples où les hommes se sont ingénies à préparer des boissons à partir de fruits sauvages, de miel, de sève de palmier ou d'autres jus sucrés. Nous limiterons, cependant, cette présentation à quelques unes des boissons fermentées préparées à partir de produits amylicés exigeant de ce fait une transformation préalable des amidons en sucres fermentescibles.

Le lecteur pourra compléter les informations sélectionnées dans ce paragraphe en consultant, d'une part, les publications de ADRIAN et JACQUOT (1964) ; OTELE (1959) ; ADRIAENS et LOZET (1951) ; BERNIER et LAMBRECHT (1959) ; TIHON (1934) ; VON HAGEN (1949) ; RAJAGOPAL (1977), et, d'autre part, les "Handbooks" édités par STEWARD (1963) et DEKKER (1983).

Nous avons voulu replacer les descriptions, parfois très empiriques, faites sur les préparations de ces boissons dans un contexte technologique. Dans ce sens, nous avons essayé de présenter sous forme de fiche technique les noms, localisations, sources amylicées, sources enzymatisées et "Flow-Sheet" des procédés technologiques. Les informations recueillies sur des boissons comme *l'Affouk*, *le Busaa*, *le Chapalo* ou autres *Pito* consommés en Afrique, ou, comme *le Tesguino*, *le Tupinamba* et autres *Yaraquí* consommés en Amérique du Sud, permettent sous cette forme de mieux visualiser les analogies. Les noms vernaculaires de ces boissons ne sont évocateurs que pour quelques initiés, aussi, convenait-il de donner quelques informations sur les produits, leurs origine et consommations. Chacune de ces fiches permet également un retour à la bibliographie qui nous a permis de les réaliser.

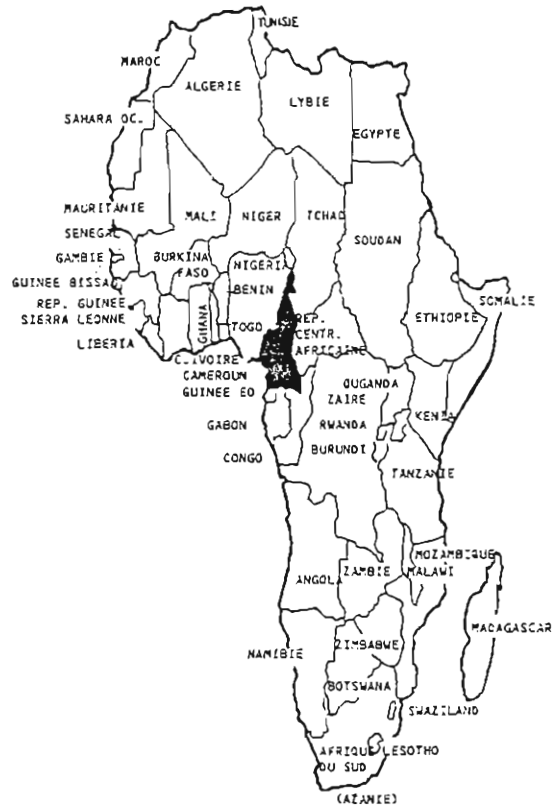
Nous donnons enfin un tableau récapitulatif à double entrée pour mieux mettre en évidence les analogies précitées.

NCM : AFFOUK

LOCALISATION : CAMEROUN

SOURCE AMYLACEE : SORGHO

SOURCE ENZYMATIQUE : MALT DE SORGHO



LE PRODUIT : Cette boisson se présente sous l'aspect d'une bière épaisse et opaque ou d'une bouillie.

SON ORIGINE : Indéterminée

SA CONSOMMATION : Elle est consommée après dilution avec de l'eau et passage sur tamis. Elle se boit habituellement tiède ou chaude.

OTELÉ (1959) qui la qualifie de "la plus dégoûtante des bières avec son aspect boueux", mentionne que sa consommation est considérable. Au Nord du CAMEROUN, tous les groupes ethniques, non islamisés, fabriquent cette bière.



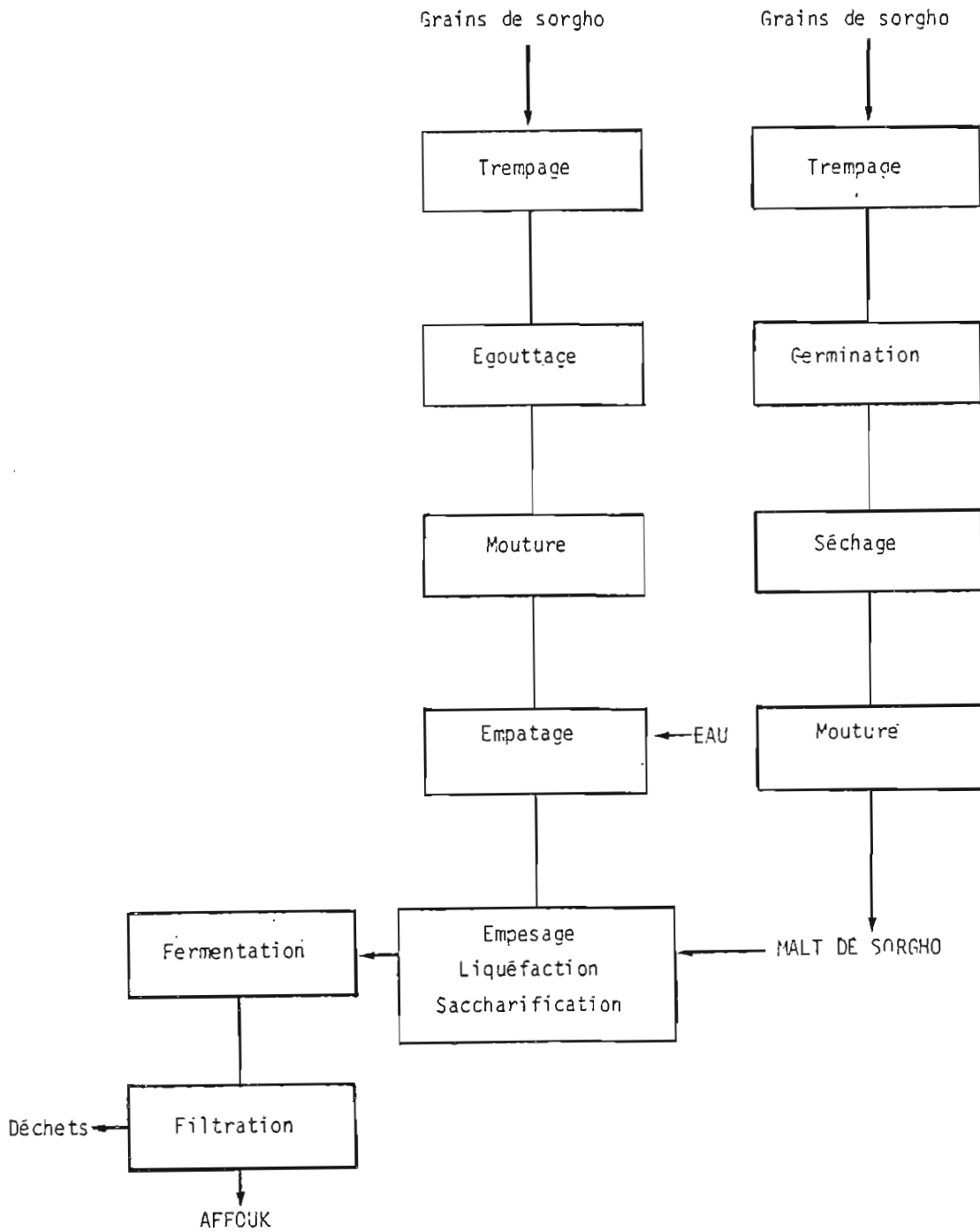


FIGURE N° 6 : - Technologie de l'AFFOUK -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : OTELE (1959) ; CHEVASSUS-AGNES et al (1976).

*NOM* : BIÈRE OPAQUE DE MAÏS

*LOCALISATION* : ZAMBIE

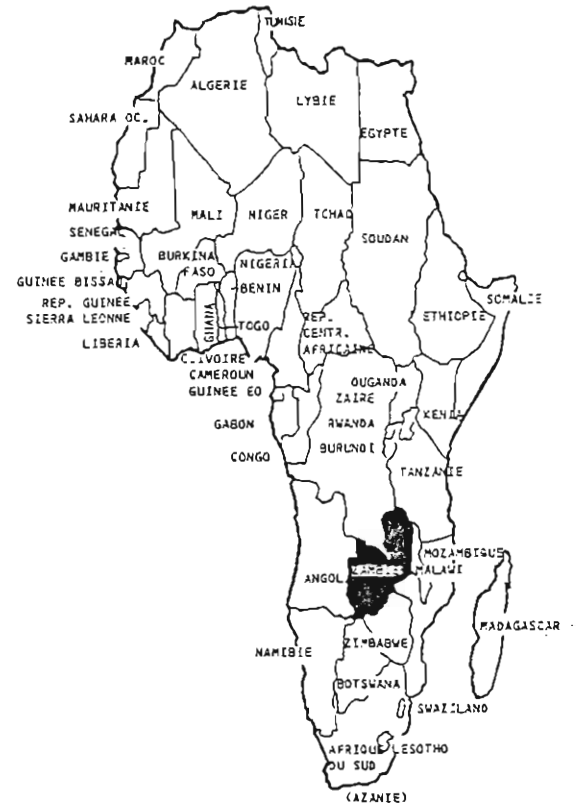
*SOURCE AMYLACÉE* : MAÏS

*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT DE MAÏS,  
DE SORGHO OU DE MIL

*LE PRODUIT* : C'est une boisson de couleur brune, visqueuse,  
légèrement amère, fabriquée en ajoutant du malt  
de céréale à un porridge de maïs.

*SON ORIGINE* : Indéterminée

*SA CONSOMMATION* : Cette bière est la boisson habituelle des fermiers et  
des ouvriers à bas revenus. Les petits fermiers de  
ZAMBIE consomment environ 66 litres de bière de maïs  
par an, alors que dans les zones urbaines de LUSAKA, on  
consomme environ 180 litres de bière commerciale de maïs  
par adulte et par an.



SA TECHNOLOGIE

: Le malt est fait à partir de maïs, de sorgho, de mil ou de mélanges variés de ces différentes céréales

Flow Sheet : Procédé traditionnel de la fabrication

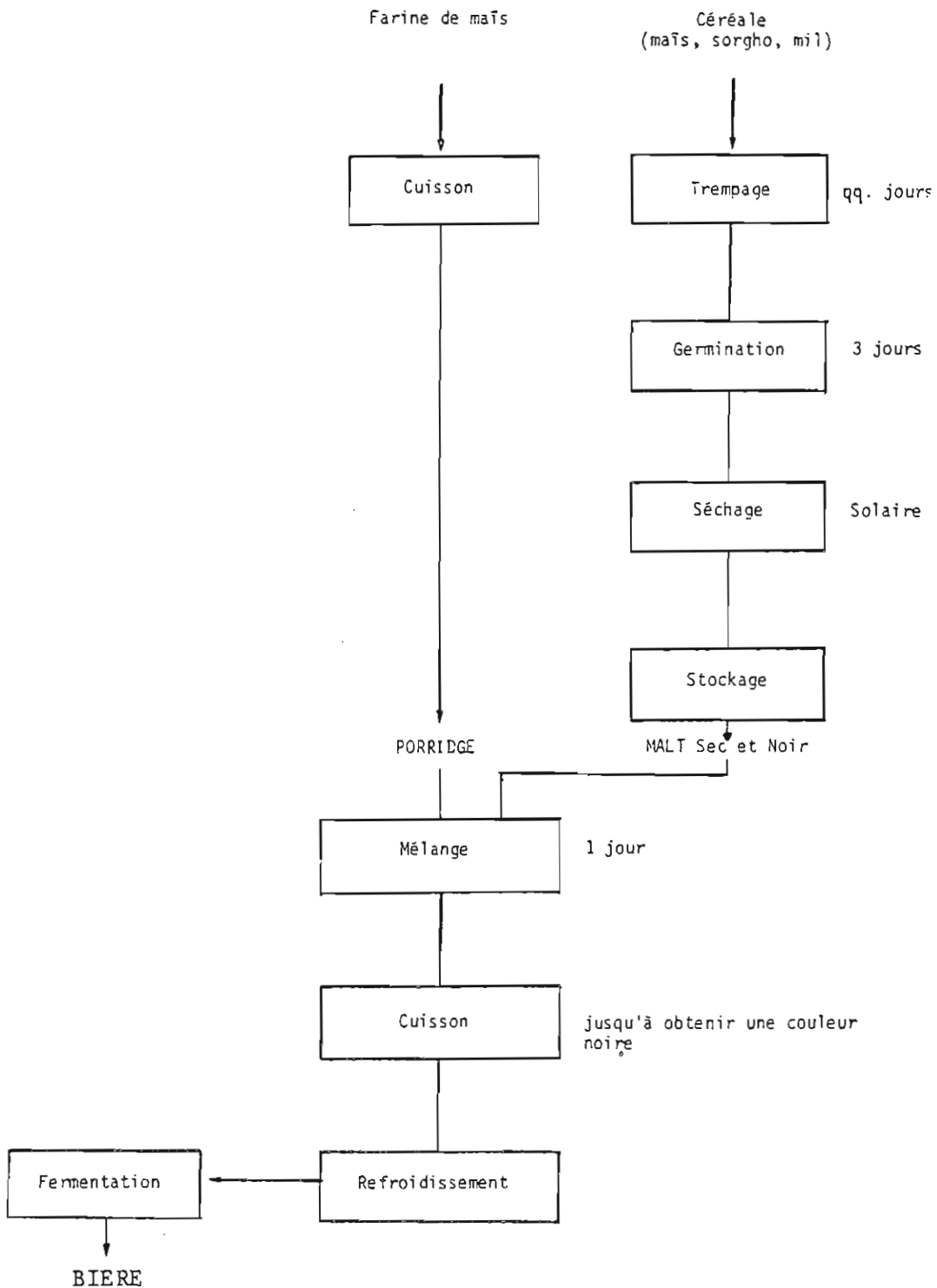


FIGURE N° 7 : - Technologie de la Bière de Maïs -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE : LOVELACE, (1977)

*NOM* : BOUZA

*LOCALISATION* : EGYPTE

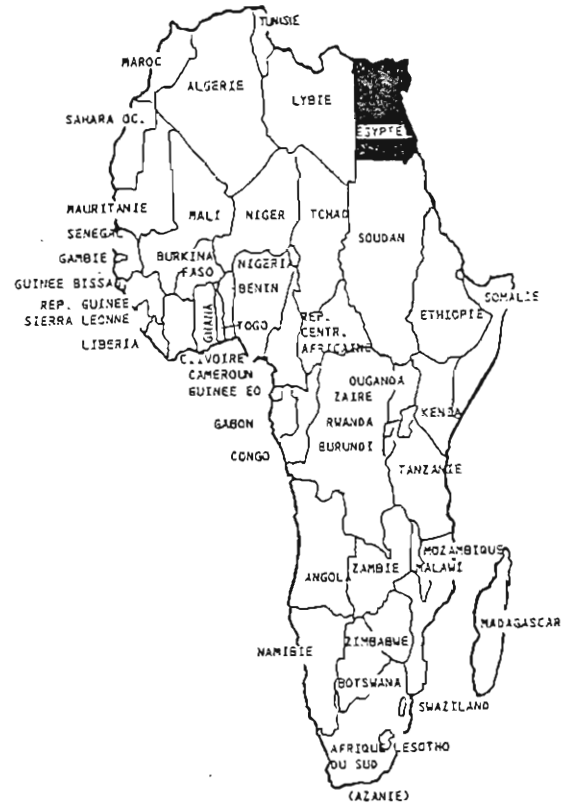
*SOURCE AMYLACEE* : BLE

*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT DE BLE

*LE PRODUIT* : C'est une boisson fermentée alcoolisée à base de blé. Elle est de couleur jaune pâle et possède une saveur très attractive.

*SON ORIGINE* : Le BOUZA est connu depuis le temps des pharaons. Il était considéré comme une offrande divine utilisée pour les funérailles dans l'antiquité. Mais, c'était aussi une nourriture quotidienne et le BOUZA était consommé par toutes les classes et à tous les âges, même les enfants : une bonne mère devait apporter à son enfant à l'école trois miches de pain et deux jarres de BOUZA par jour (MORCOS et al. (1973) - MORCOS, (1977).

*SA CONSOMMATION* : Actuellement, il est consommé essentiellement par les groupes aux revenus les plus bas, dans les villages. De plus, le Ministère Egyptien de la Santé Publique ne délivre plus de licence pour vendre le BOUZA depuis que les croyances de la religion musulmane interdisent la consommation d'alcool.



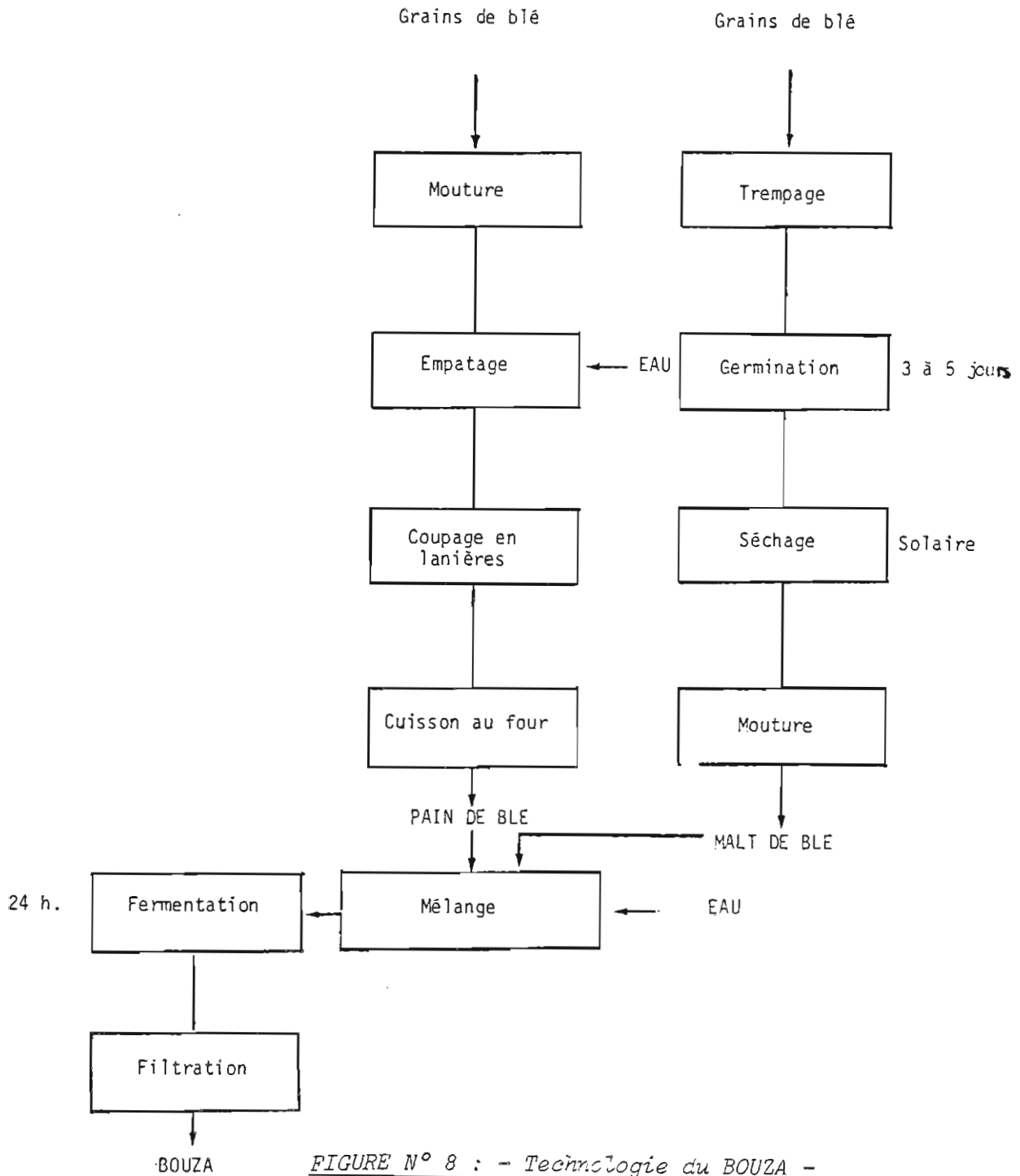


FIGURE N° 8 : - Technologie du BOUZA -

*NOM* : BUSAA

*LOCALISATION* : KENYA

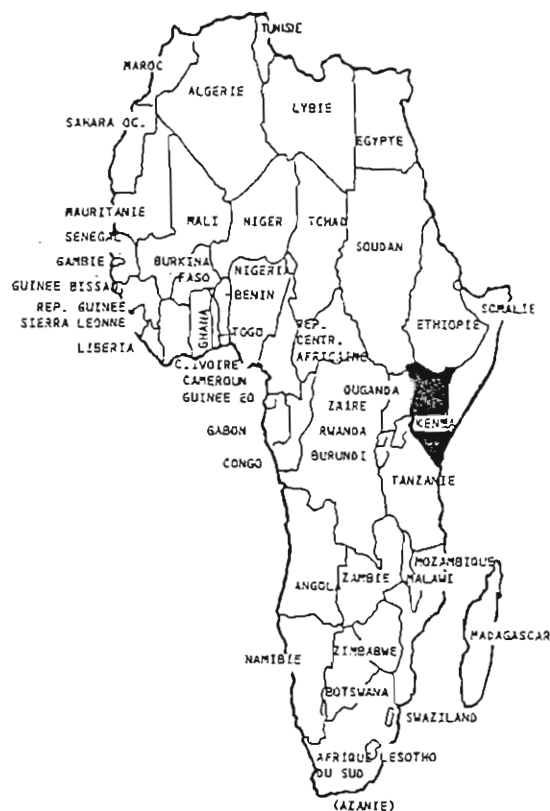
*SOURCE AMYLACEE* : MAIS

*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT DE MIL OU  
MALT DE SORGHO

*LE PRODUIT* : Le BUSAA est une boisson acide et alcoolisée obtenue à partir de maïs et de mil ou d'un mélange mil-sorgho. Il a la consistance du "porridge" et une couleur brune. (HARKISHOR, 1977)

*SON ORIGINE* : Indéterminée

*SA CONSOMMATION* : Le BUSAA est une boisson fermentée indigène consommée par les peuples LUO, ABULUHYA et MARAGOLI à l'Ouest du KENYA. Il est généralement chauffé à environ 35° à 40° C et consommé par les hommes comme boisson rafraîchissante. On le boit en très grande quantité lors des fêtes, des réunions sociales et les funérailles. Distillé, le BUSAA devient le "CHANGAA" dont le contenu en alcool est de 30 à 40 %. Le BUSAA est aussi utilisé dans des buts médicaux et rituels.



SA TECHNOLOGIE

: Flow Sheet : Procédé traditionnel de fabrication

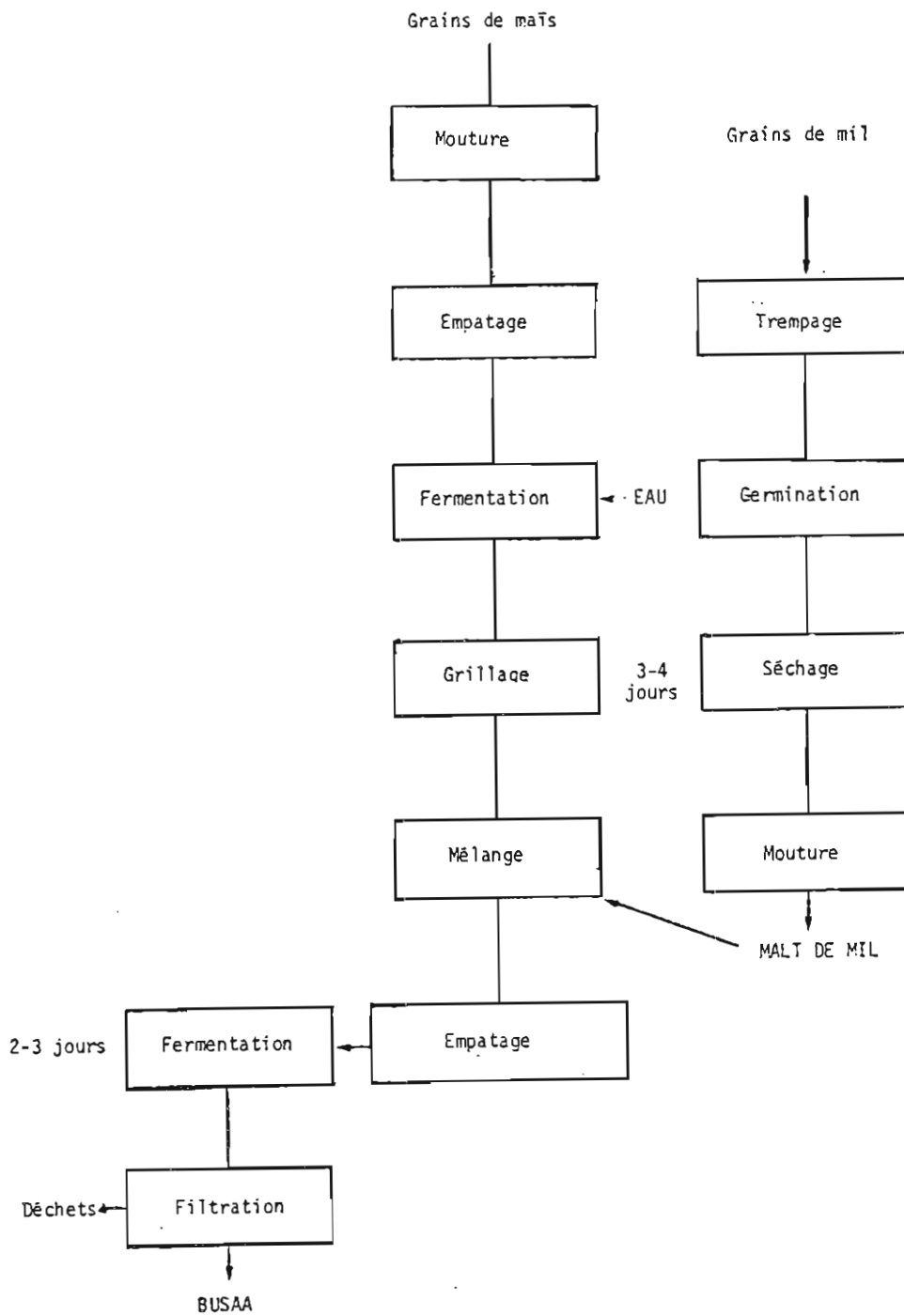


FIGURE N° 9 : - Technologie du BUSAA -

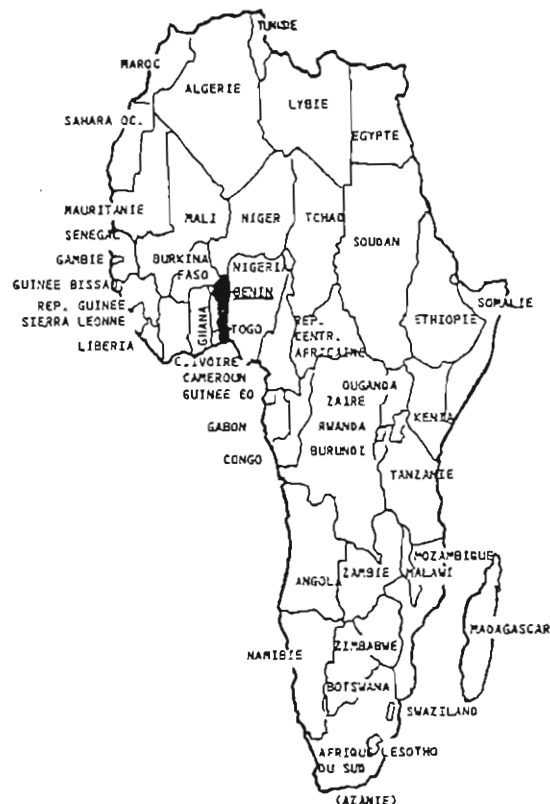
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : HARKISHOR ( 1977)

*NOM* : CHAPALO

*LOCALISATION* : BENIN

*SOURCE AMYLACEE* : MAIS

*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT DE MAIS



*LE PRODUIT* : Le CHAPALO est une boisson préparée au BENIN selon un procédé artisanal, à partir de la fermentation alcoolique spontanée d'un moût obtenu avec de l'eau et du maïs germé. Il renferme un taux d'alcool de 4 à 6° GL et présente généralement un couleur brun foncé, une saveur sucrée et un arôme agréable.

*SON ORIGINE* : Originnaire des régions rurales de SAVE et DASSA-ZOUME (Province centrale du BENIN), sa technologie a été reprise et appliquée, avec parfois quelques modifications, dans les villes et autres régions rurales.

*SA CONSOMMATION* : Le CHAPALO, est très apprécié par la population béninoise, aussi bien à la campagne qu'à la ville. Mieux, il a gagné certains pays voisins (TOGO, NIGERIA, ...)

Vendu et consommé dans les rues, marchés et autres places publiques à des clients individuels, le CHAPALO est aussi une boisson de groupe, c'est-à-dire associée aux fêtes et aux cérémonies traditionnelles.

La production du CHAPALO est une activité exclusivement féminine, généralement à caractère individuel. Dans les campagnes, les productrices en font une activité d'appoint tandis que, dans les villes, elle constitue la principale préoccupation d'un grand nombre de femmes.

Les quantités produites ne sont pas connues exactement, mais elles peuvent être estimées à plusieurs centaines de milliers de litres par an pour tout le pays.

Sa commercialisation se fait directement par les productrices, soit en vrac dans de grandesalebasses à partir desquelles les vendeuses prélèvent pour leurs clients les quantités désirées, soit après conditionnement dans des gourdes ou dans des bouteilles plastiques. (NAGO, 1982).



SA TECHNOLOGIE : Flow sheet des opérations technologiques.

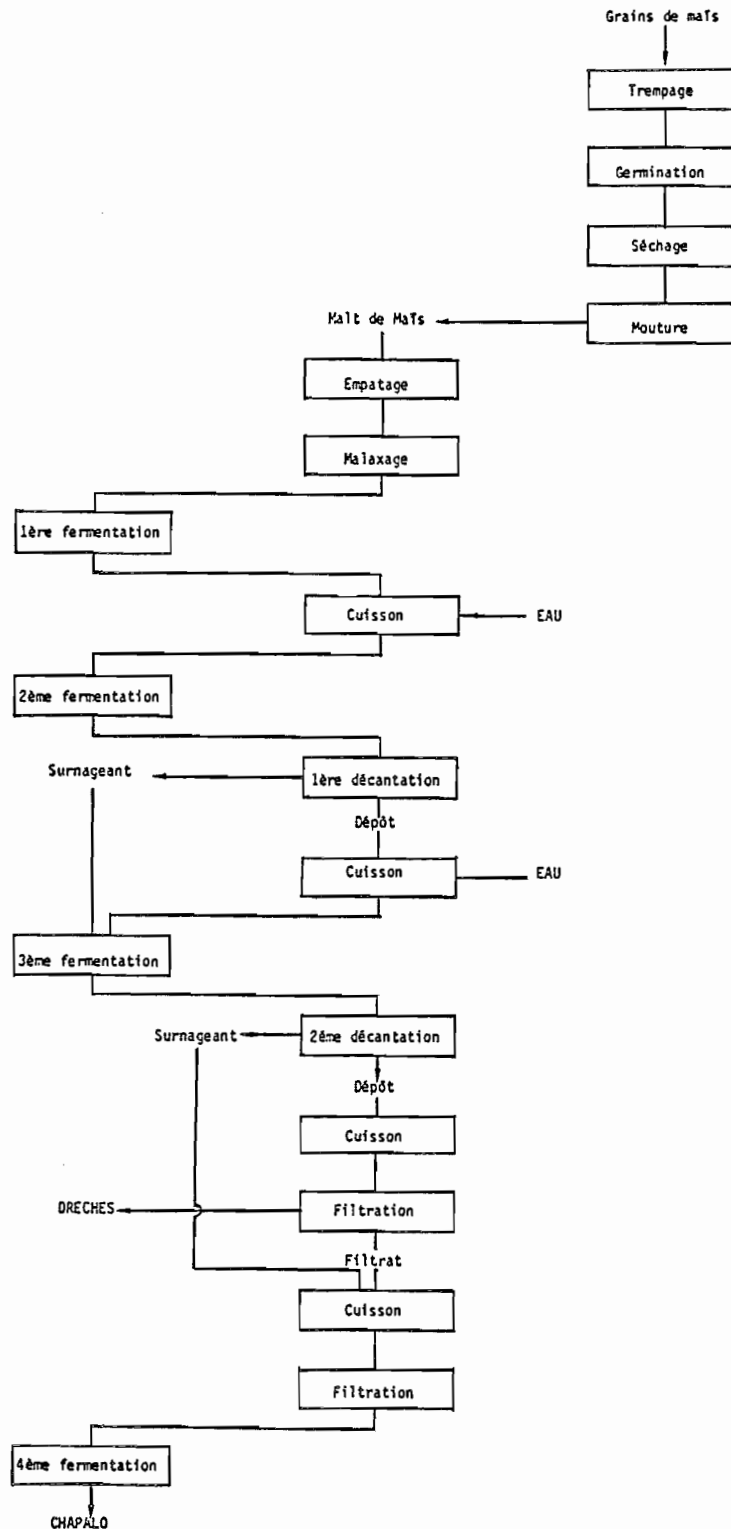


FIGURE N° 10 : - TECHNOLOGIE DU CHAPALO -

Ces opérations apparaissent longues, complexes, fastidieuses et "énergie-vorace". Le nombre des fermentations et des cuissons en témoigne. Ce diagramme original n'est plus appliqué qu'en campagne. En ville, la plupart des productrices ont adopté un protocole simplifié. Elles additionnent du sucre caramélisé pour faire acquérir au produit fini odeur et saveur requises. Toutefois, ce CHAPALO "trafiqué" est exclu des cérémonies coutumières.

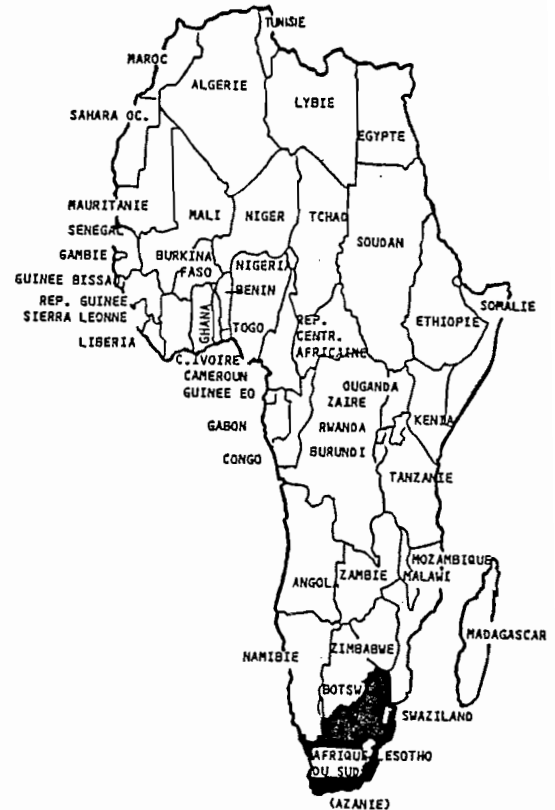
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : NAGON K.M., (1982).

*NOM* : KAFFIR AFRICAÏN

*LOCALISATION* : AFRIQUE DU SUD

*SOURCE AMYLACEE* : SORGHO, MAIS,  
MIL, MANIOC

*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT DE SORGHO  
ou DE MIL



*LE PRODUIT* : Le KAFFIR est une boisson alcoolisée, effervescente, de couleur brun-rosée avec une saveur douce ressemblant au yaourt. Sa consistance est grumelleuse et son apparence est opaque ce qui est dû à son contenu de résidus d'amidon, de levures et autres micro-organismes. Cette bière n'est pas pasteurisée et elle est consommée alors que la fermentation se poursuit.

La bière KAFFIR est aussi connue sous le nom de bière BANTU. On trouve également d'autres appellations : UTSHWALA (en ZUKU) et UTYWALA (en XHOSA).

*SON ORIGINE* : C'est la boisson traditionnelle des tribus BANTU d'Afrique du Sud. L'art de la brasserie de la bière KAFFIR remonte aux temps préhistoriques. Dans les villages, la bière est fabriquée par les femmes et toutes les jeunes filles apprennent à brasser la bière KAFFIR avant de se marier (PLATT, 1964).

*SA CONSOMMATION* : En raison de la grande importance de la bière KAFFIR dans la nutrition des hommes de la tribu BANTU qui travaillent dans les mines de diamant et d'or et qui sont loin de leurs foyers pendant de longues périodes, le brassage de la bière KAFFIR est devenu un "big business" avec une production trois fois plus élevée que celle de la bière moderne ordinaire. (NOVELLIE, 1968).

La production de bière KAFFIR est la seule grosse industrie moderne basée sur un art tribal d'origine africaine (NOVELLIE, 1968).

La plupart des points de vente sont situés près des brasseries qui pompent directement la bière dans les tonneaux. On la boit dans des récipients en plastique que l'on porte jusqu'aux lèvres avec les deux mains, comme c'est la coutume dans les tribus (NOVELLIE, 1968).

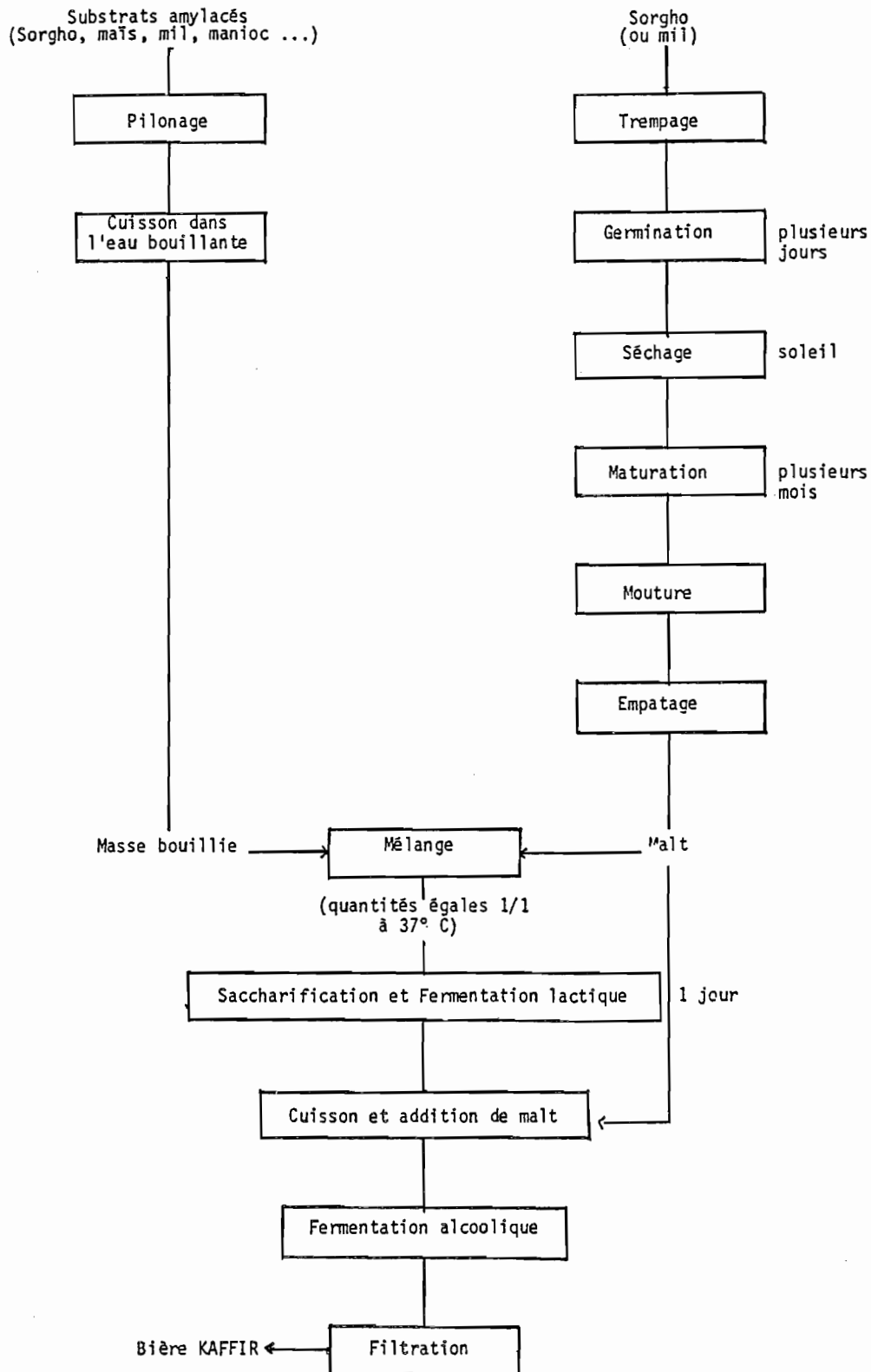


FIGURE N° 11 : - Technologie du KAFFIR Africain

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : PLATT et al (1946, 1948) ; PLATT (1955, 1964) ; SCHWARTZ (1956) ; NOVELLIE (1956-1959-1960 a.b.-1962 a.b.c.- 1963-1966 a.b. -1968-1976) ; NOVELLIE et al (1961) ; AUCAMP et al (1961) ; HORN et al (1961) ; VON HOLD et al (1960) ; O'DONOVAN et al (1966) ; DYER et al (1966) ; WATSON et al (1974) ; DAIBER (1975).

*NOM* : KASIRI

*LOCALISATION* : SURINAM

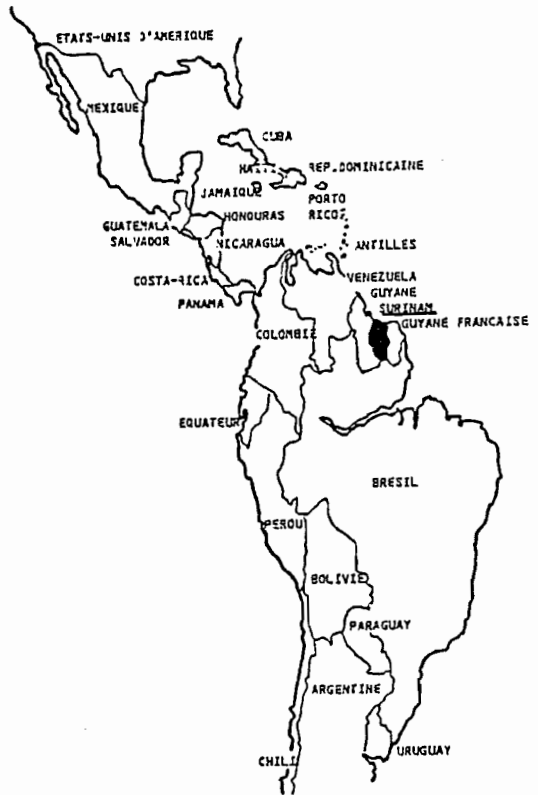
*SOURCE AMYLACEE* : MANIOC

*SOURCE ENZYMATIQUE* : SALIVE

*LE PRODUIT* : Bière de manioc

*SON ORIGINE* : Indéterminée

*SA CONSOMMATION* : Ce type de bière est également consommé en GUYANE par les populations indiennes sous l'appellation CACHIRI. Aux Antilles une boisson simulacre est appelée "OUICOU".



SA TECHNOLOGIE

: Flow Sheet : Procédé traditionnel de fabrication

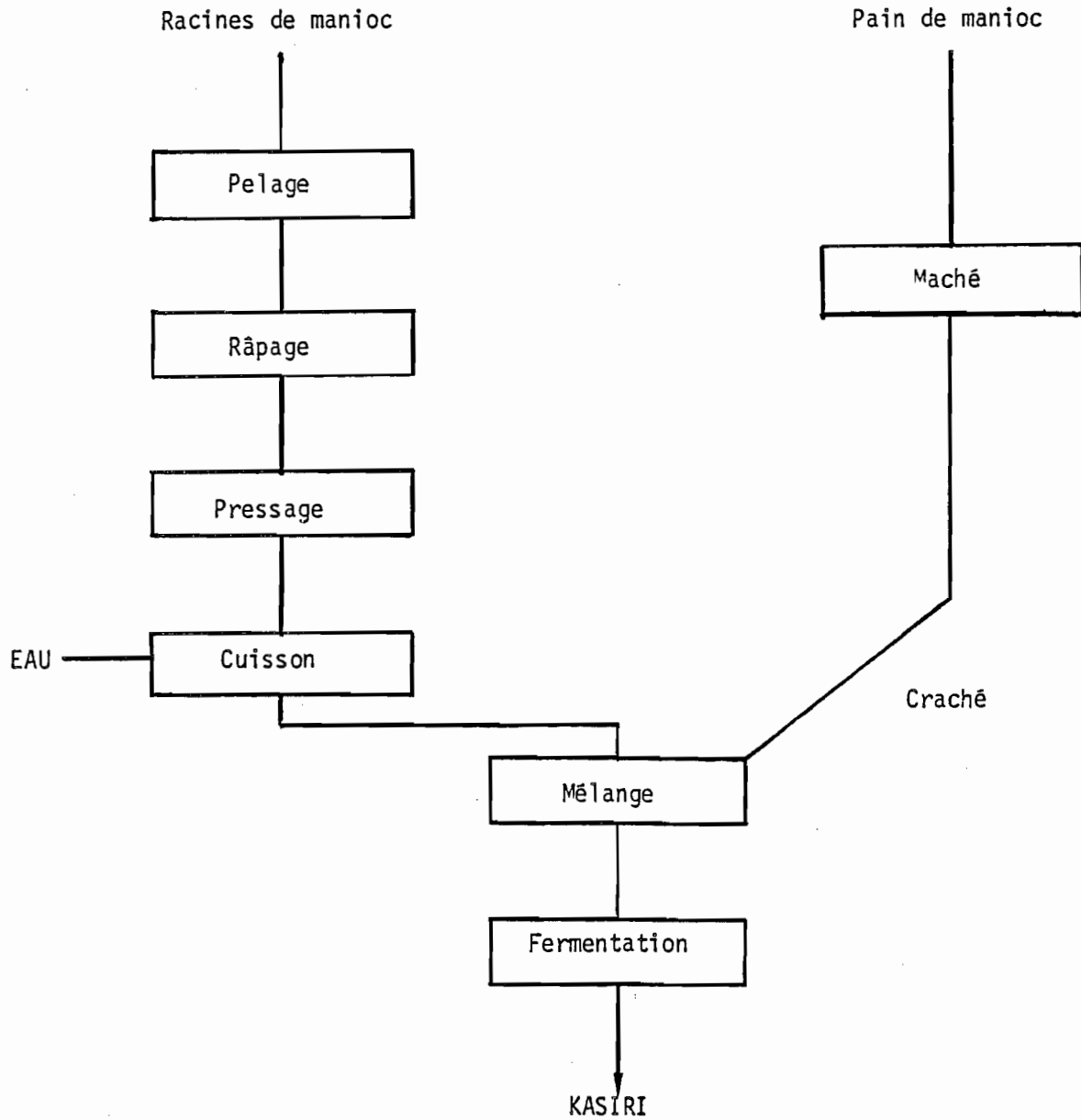


FIGURE N° 12 : - Technologie du KASIRI -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : REYNVAAN (1954) REYNVAAN et VOS -(1954).  
GRIFFON (1984)

*NOM* : KASI-KISI

*LOCALISATION* : ZAIRE (Kivu)  
RWANDA

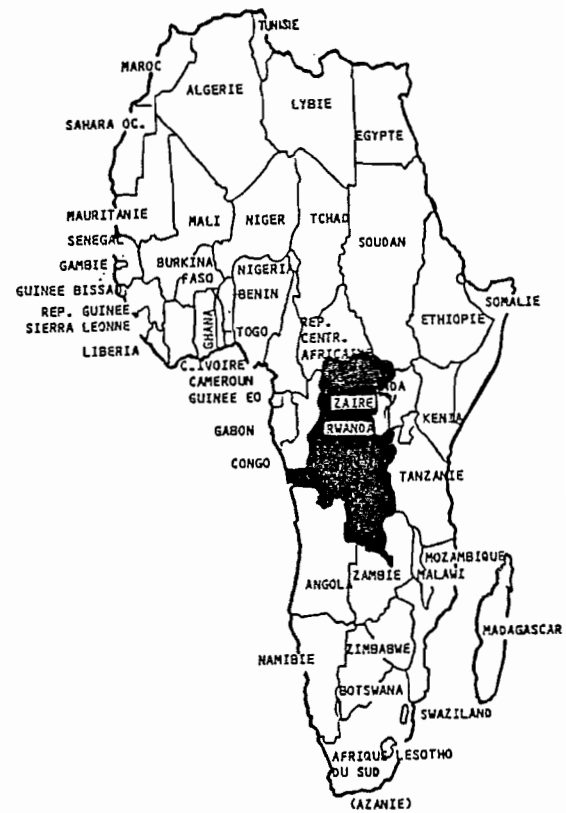
*SOURCE AMYLACEE* : Banane

*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT DE SORGHO

*LE PRODUIT* : Bière et alcool de banane

*SON ORIGINE* : Indéterminée

*SA CONSOMMATION* : Boisson rituelle des habitants de la région Est du ZAIRE, du RWANDA et du BURUNDI, la bière de banane est consommée à toutes occasions. Dans la région du Kivu, elle est distillée et conduite à l'obtention d'un mélange d'alcool (présence d'alcool-méthylque) et constitue un véritable danger pour la population.



SA TECHNOLOGIE

: Flow Sheet : fabrication d'alcool de banane

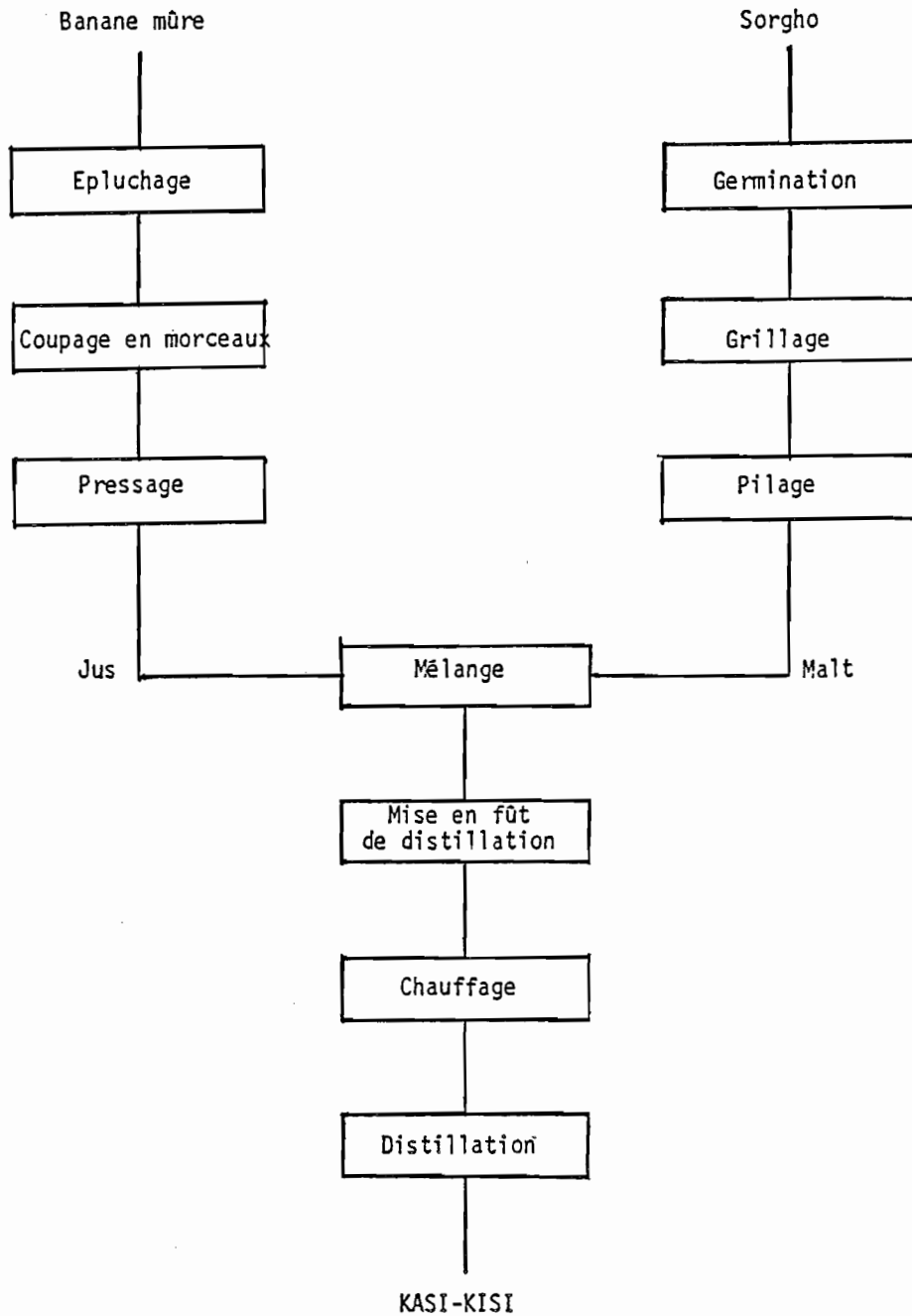


FIGURE N° 13 : - Technologie du KASI-KASI -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : GRIFFON (1981 a.b.c.)

*NOM* : KIBUKU

*LOCALISATION* : ZAIRE

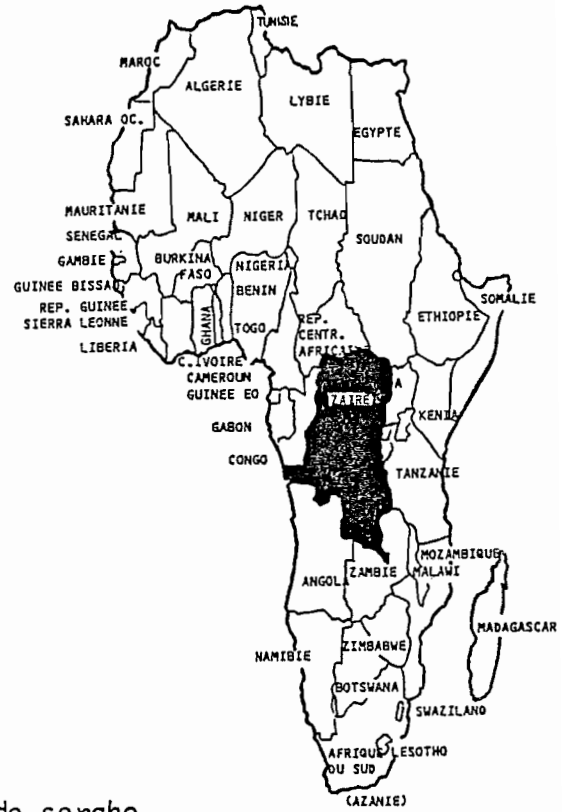
*SOURCE AMYLACEE* : MAIS et SORGHO

*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT DE MAIS et de SORGHO

*LE PRODUIT* : C'est une bière de maïs et de sorgho

*SON ORIGINE* : Indéterminée

*SA CONSOMMATION* : Elle est consommée par la tribu des "BASANGA" au ZAIRE





SA TECHNOLOGIE

: Flow Sheet : Procédé traditionnel de fabrication.

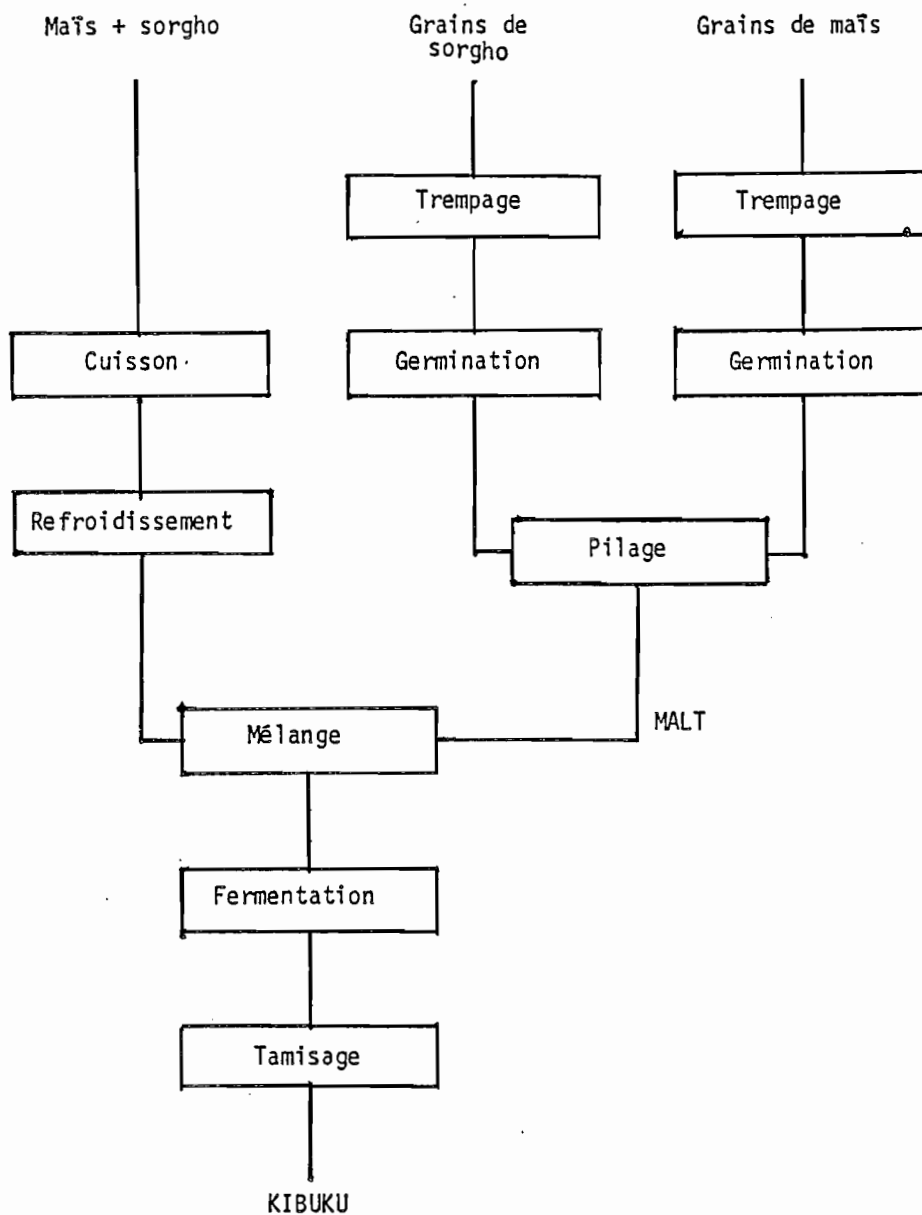


FIGURE N° 14 : - Technologie du KIBUKU -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : D. GRIFFON - (1974-1975-1976-1981 a.)

*NOM* : MBEGE

*LOCALISATION* : TANZANIE

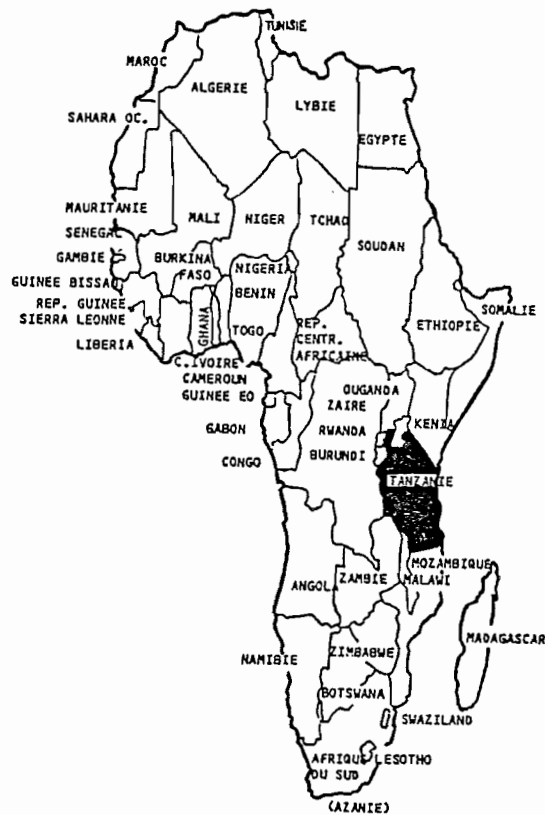
*SOURCE AMYLACEE* : BANANE

*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT DE MIL

*LE PRODUIT* : Le MBEGE est fabriqué à partir de mil et de jus de banane fermentée.

*SON ORIGINE* : Indéterminée

*SA CONSOMMATION* : Il est consommé quotidiennement par les tribus vivant près du Kilimanjaro. Il a un rôle très important car on juge du statut social et financier d'une fiancée par la quantité de MBEGE distribué et sa consommation est donc très élevée lors des cérémonies de mariage.



SA TECHNOLOGIE

consistance de porridge.

: Le jus de banane donne à la boisson une saveur caractéristique et la farine de mil donne une

Flow sheet : Production familiale de MBEGE

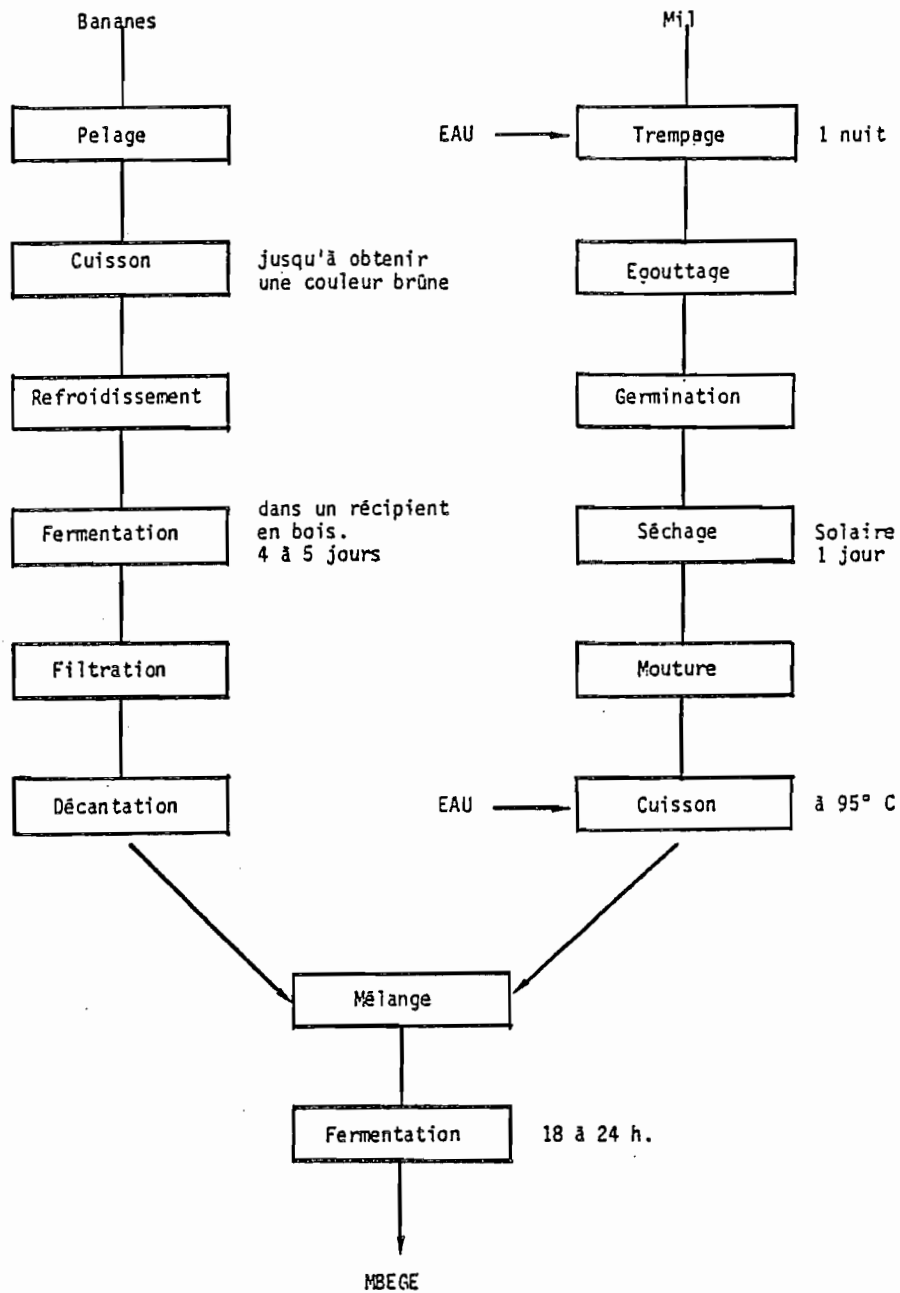


FIGURE N° 15 : - Technologie du MBEGE -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : HARKISHOR (1977)

NOM : MUNKOYO

LOCALISATION : ZAMBIE

SOURCE AMYLACEE : MAIS

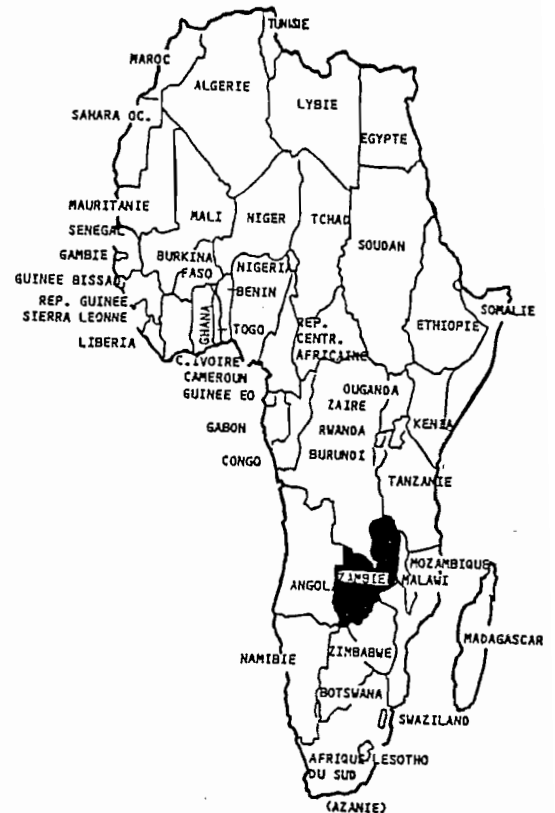
SOURCE ENZYMATIQUE : RACINES DE MUNKOYO  
(*Rhynchosia venulosa*)

LE PRODUIT : Le MUNKOYO est une boisson de maïs très importante en ZAMBIE. Généralement, elle est non alcoolisée sauf pour les jours fériés. LOVELACE (1977) a montré que même le MUNKOYO "non alcoolisé" contient une moyenne de 0,43 % d'éthanol.

SON ORIGINE : Indéterminée

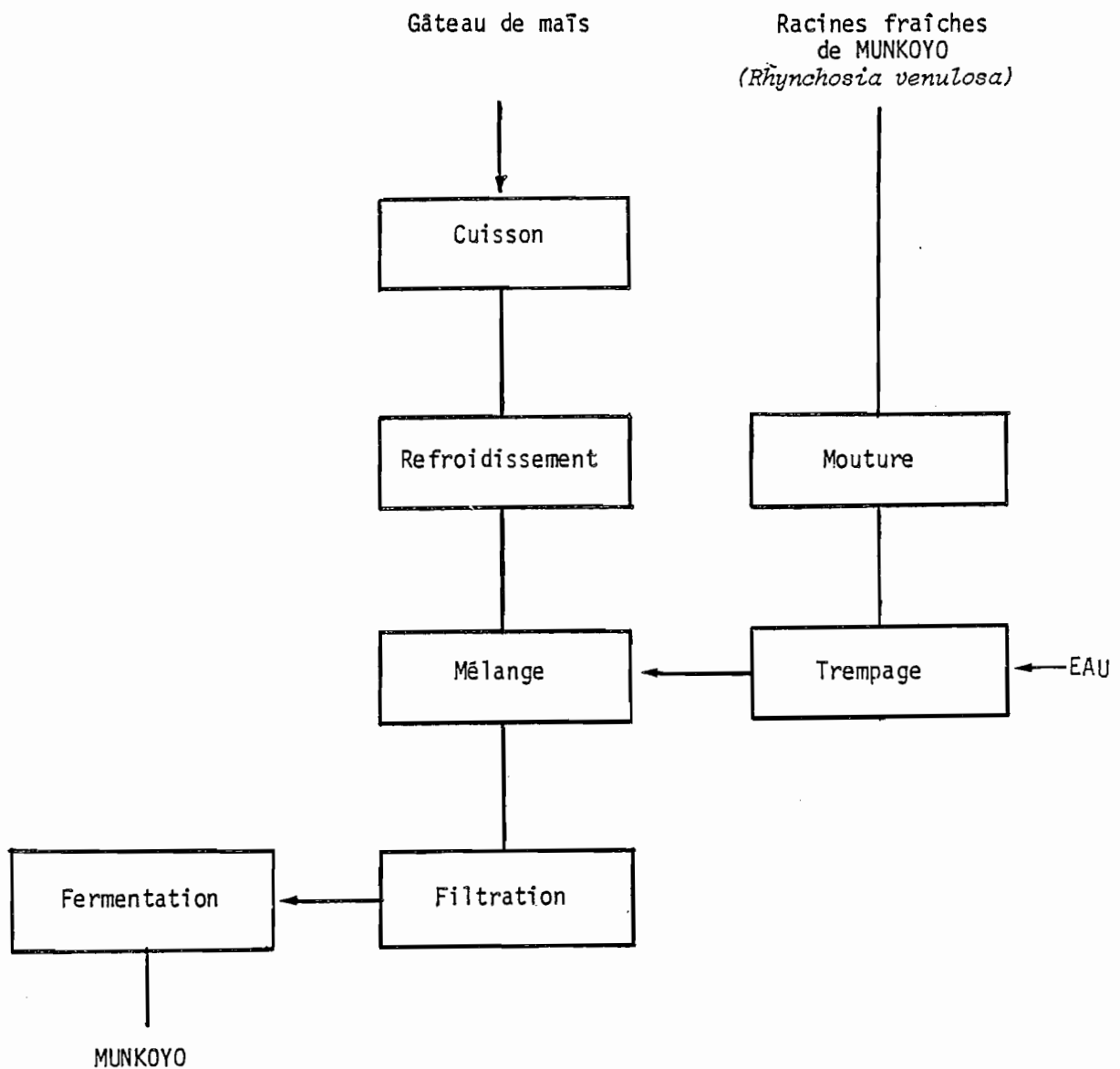
SA CONSOMMATION : Le MUNKOYO est très largement consommé en ZAMBIE par toute la famille, particulièrement les femmes et les enfants. Il a un important pouvoir d'amélioration de l'assimilation des calories des protéines pour les enfants zambiens. A KITWE et LUSAKA, 85 % et 71 % respectivement des maîtresses de maison interviewées boivent du MUNKOYO (MBUGUA, 1977). Pratiquement toutes en consomment quotidiennement pendant la saison sèche. Quant à la boisson alcoolisée, les enfants n'ont plus le droit d'en boire. A KITWE, 51 femmes recensées produisent 4 404 litres/semaines, ce qui représente une moyenne de 22,36 litres/semaine/femme.

La plupart du MUNKOYO fabriqué à la maison pour la vente est disponible sur le marché local en bols de 200 à 500 ml et représente une quantité d'environ 50 à 70 l/semaine, alors qu'on sait que les opérations commerciales produisent plus de 1 600 l/semaine. De plus, on trouve du MUNKOYO sec instantané qui est bien accepté, car la saveur est comparable à celle des produits traditionnels.



*SA TECHNOLOGIE* : LOVELACE (1977) rapporte que l'extrait de racine de MUNKOYO contient des sucres réducteurs et une amylase active. Il peut donc tenir le rôle du malt avec en plus des modifications de la couleur et de la saveur. MBUGUA (1977) rapporte que de nombreux types de racines sont utilisés pour faire le MUNKOYO et que certaines d'entre elles peuvent être toxiques.

Flow Sheet : Procédé traditionnel de la fabrication



*FIGURE N° 16 : Technologie du MUNKOYO Zambien -*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : LOVELACE (1977) , MBUGUA (1977)

*NOM* : PITO

*LOCALISATION* : NIGERIA

*SOURCE AMYLACEE* : MAIS et/ou SORGHO

*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT DE MAIS  
et/ou SORGHO

*LE PRODUIT* : Le PITO nigérian est une boisson alcoolisée, de couleur brune, légèrement amère et sucrée avec une saveur fruitée, fabriquée par fermentation de maïs ou de sorgho malté.

Il est produit dans les Etats Nord et Ouest du pays ainsi qu'au Nord Ghana et dans d'autres parties d'AFRIQUE.

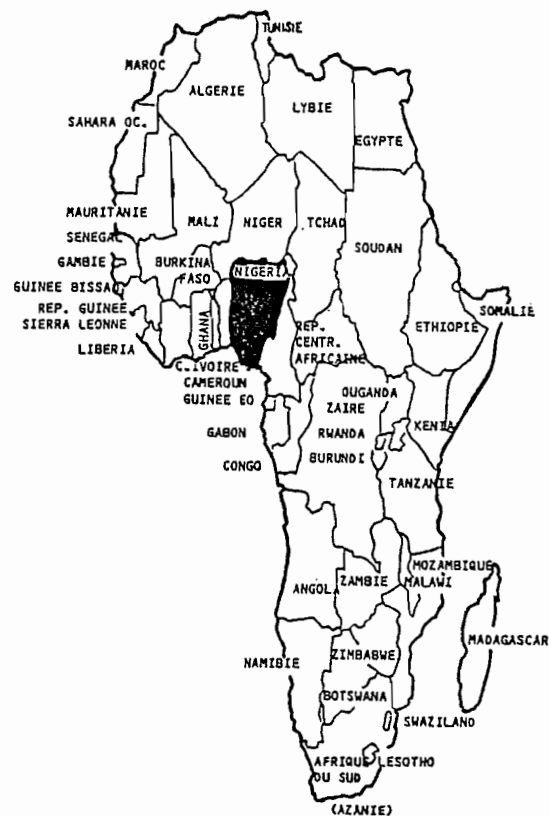
*SON ORIGINE* : Indéterminée

*SA CONSOMMATION* : Le PITO est habituellement consommé comme une boisson nutritive après un repas léger, ou également lors de fêtes de la bière, les jours de marché ce qui arrive tous les quatre jours et le dimanche. Le PITO est servi pour les fêtes de mariage, les fêtes culturelles. C'est un rafraîchissant pendant les heures de loisir. La consommation moyenne est de plus de 1,67 l/jour.

La fabrication de PITO est la principale source de revenu de nombreuses femmes qui apprennent cet art pendant leur adolescence et qui brassent une ou deux fois par semaine.

Le PITO est considéré comme une source d'énergie pour le travail et est aussi utilisé comme base médicinale pour certaines maladies.

Le développement des bières européennes n'a pas fait baisser la consommation du PITO traditionnel. C'est probablement dû au fait que le PITO est moins cher que la bière. De plus, il y a une forte croyance que le PITO est plus nutritif que la bière, bien qu'aucune étude comparative n'ait été faite.



SA TECHNOLOGIE :

: Flow sheet : Procédé traditionnel de fabrication

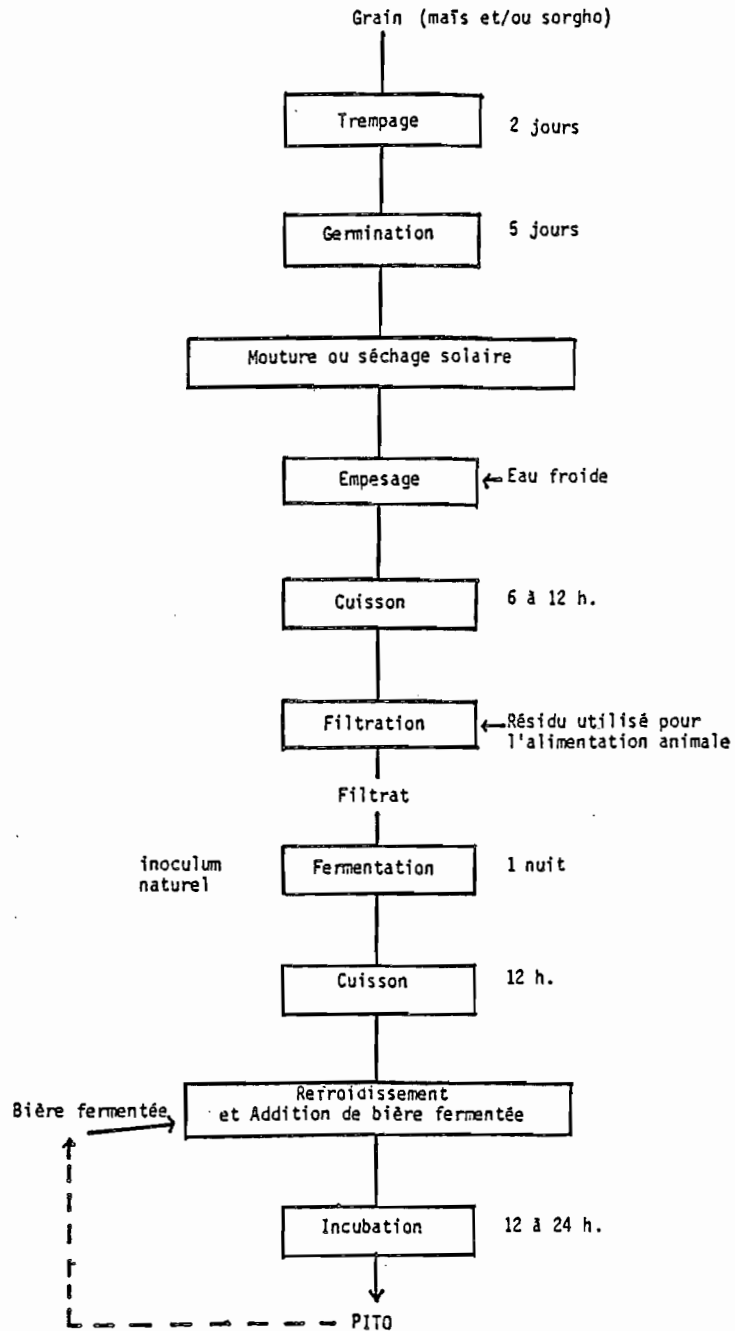


FIGURE N° 17 : - Technologie du PITO

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : PLATT et al. (1946), NOVELLIE (1960 a.b.)  
FAPARUSI (1970), EKUNDAYO (1977).

*NOM* : TALLA (ou TELLA)

*LOCALISATION* : ETHIOPIE

*SOURCE AMYLACEE* : SORGHO, MIL, ORGE,  
BLE ou MAIS.

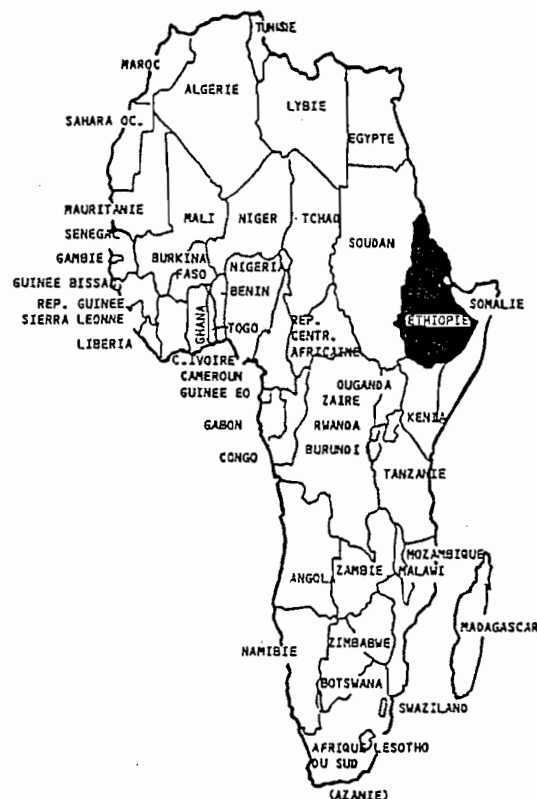
*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT D'ORGE  
ou de BLE

*LE PRODUIT* : Le TALLA est une bière de fabrication artisanale avec une saveur fumée et une couleur brun foncé qui dépend du temps de maturation. Le TALLA AMHARA est alcoolisé et concentré. Le TALLA GURAGE est délicatement aromatisé avec des variétés d'épices. Le TALLA OROMO est léger et sucré. (VOGEL et GOBEZIE, 1977)

*SON ORIGINE* : Indéterminée

*SA CONSOMMATION* : Le TALLA est servi pendant les vacances et aux cérémonies de mariage aussi bien dans les maisons des paysans que chez les plus riches habitants des villes.

Il est fréquemment utilisé comme médicament (TEGNENE, 1957) et sert aussi de solvant pour d'autres médicaments. Les résidus solides du TALLA sont utilisés comme pansements sur les blessures ou comme remède pour la dysenterie. Il est aussi utilisé pour soigner le bétail intoxiqué par de l'eau polluée.





SA TECHNOLOGIE

: Flow sheet : Procédé de fabrication de TALLA  
Ethiopien

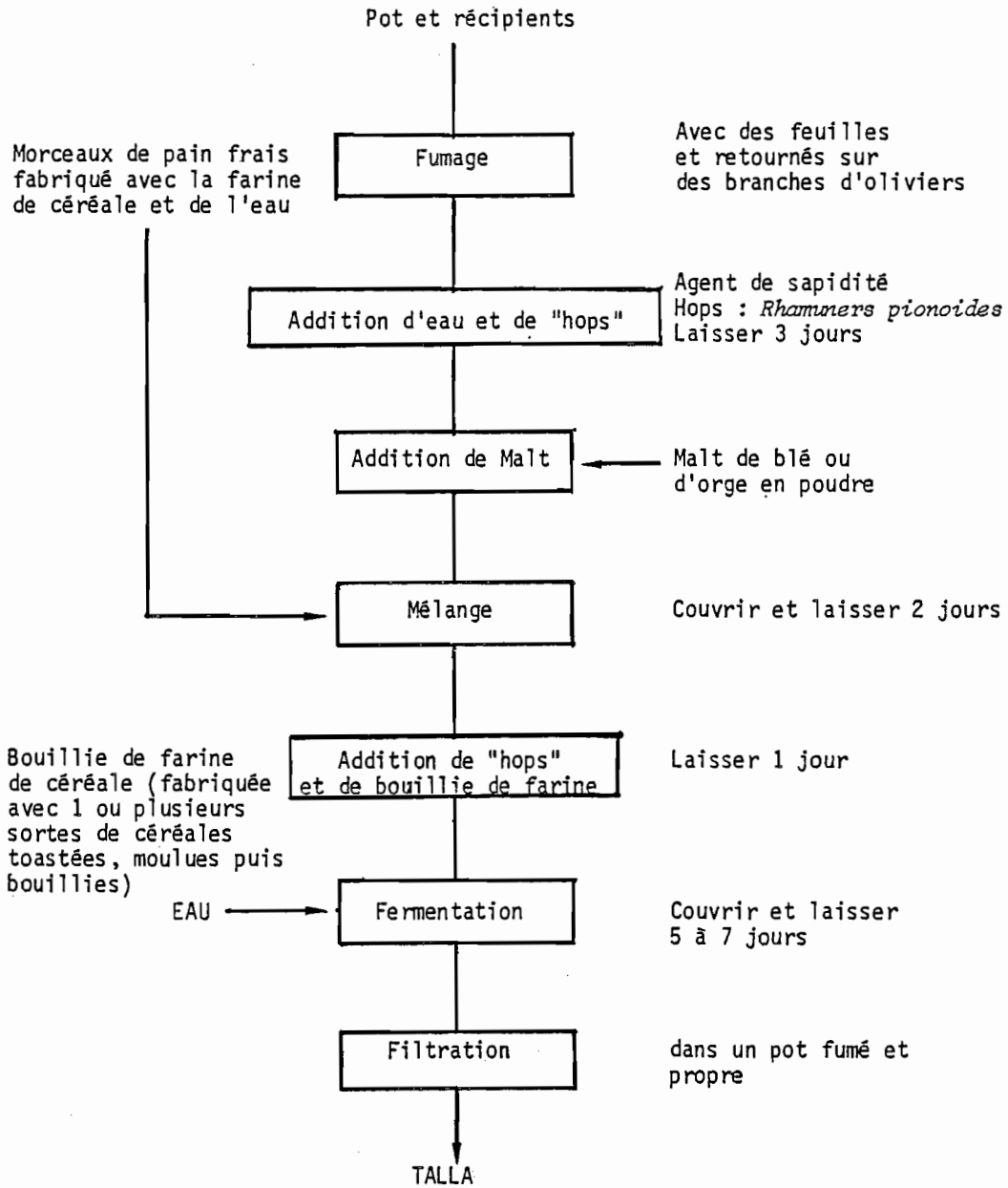
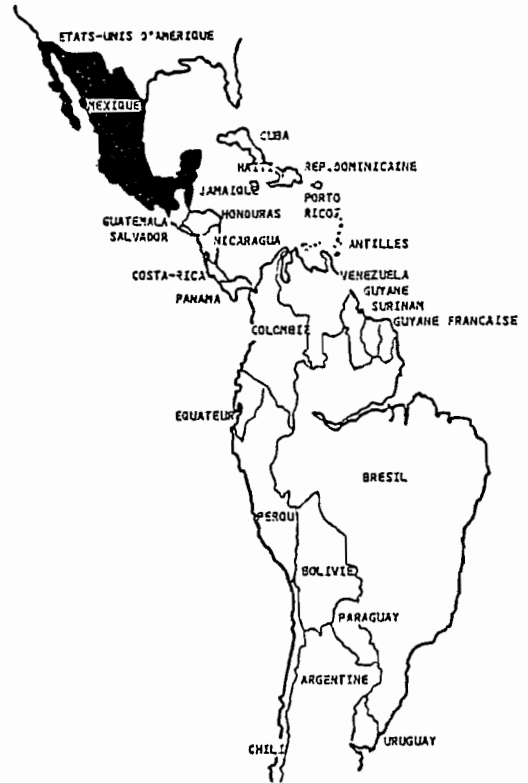


FIGURE N° 13 : - Technologie du TALLA -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : TEGNEGNE (1957), VOGEL et al. (1977)



*NOM* : TESGUINO

*LOCALISATION* : MEXIQUE

*SOURCE AMYLACEE* : MAIS

*SOURCE ENZYMATIQUE* : MALT DE MAIS

*LE PRODUIT* ; Le TESGUINO est une boisson alcoolisée préparée par fermentation de maïs germé.

*SON ORIGINE* : Elle remonte à la période Aztèque et le terme TESGUINO vient de l'Aztèque TECUIN, ce qui signifie "battement de coeur" (ROBELO, 1948).

*SA CONSOMMATION* : Le TESGUINO est consommé principalement par les indiens indigènes du Nord et Nord-Ouest du MEXIQUE : les YAMIS, TARAHUMARAS, PIMAS, TEPEHUANES, MUICHOLLES et ZAPOTEQUES (PENNINGTON, 1963 - 1969). Il est également consommé par les populations métisses des Etats de SONORA, CHIHUAHUA, SINALOA, DURANGO, NAYARIT, IALISCO et GAXACA.

Cette boisson a un rôle important dans la vie quotidienne des indiens. C'est la boisson préférée lors de toutes les fêtes, rituels religieux, funérailles, jeux sportifs ou lors de ce qu'on appelle les "Tesguinadas", qui sont l'un des événements les plus importants dans la vie des TARAHUMARAS. Le TESGUINO, quand il est dilué avec de l'eau, est communément bu par les enfants et les bébés et aussi consommé pendant les repas familiaux. Les TARAHUMARAS, pendant leurs jeux de ballon, prennent une provision de TESGUINO avec eux et même en boivent avant le jeu pour se donner des forces. Les populations métisses qui utilisent le TESGUINO, le consomment plutôt comme une boisson rafraîchissante pendant les périodes chaudes. Leur TESGUINO a un degré d'alcool plus faible et ce n'est pas un produit de base de leur régime alimentaire. La consommation est très variable selon les régions, les saisons ... et varie de 250 ml à plusieurs litres par jour.

SA TECHNOLOGIE

: Les méthodes de préparation varient beaucoup selon les groupes ethniques.

Exemple de procédé.

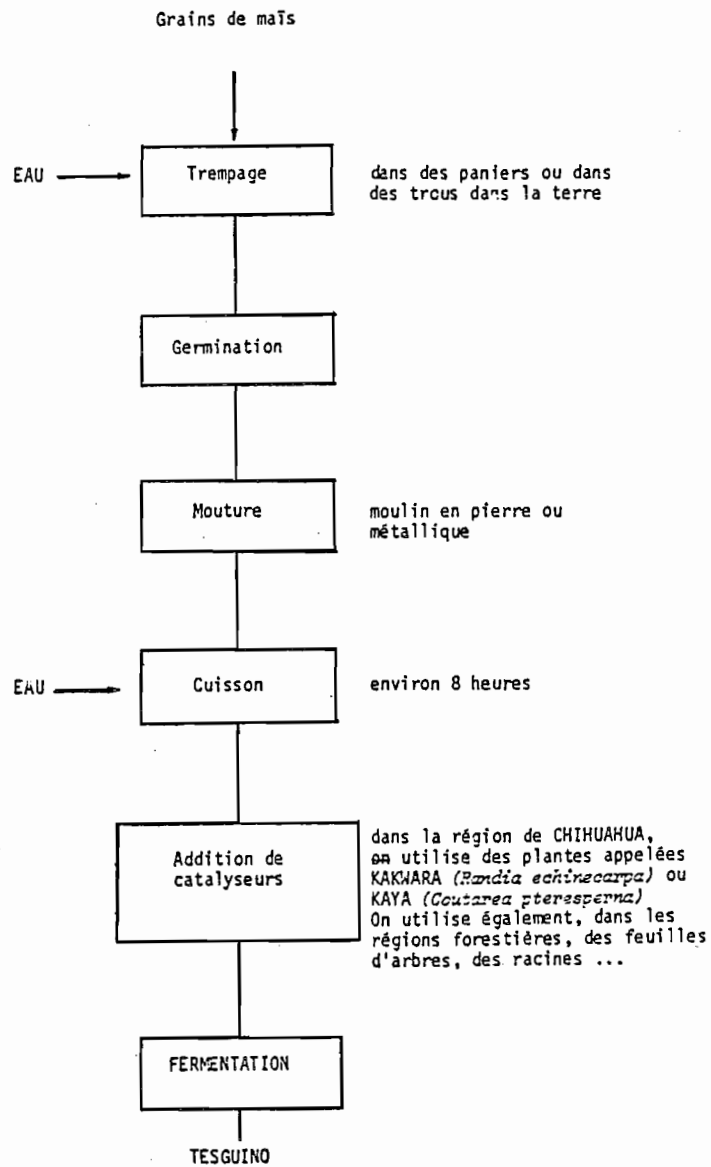


FIGURE N° 19 : - Technologie du TEGUINO -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : ROBELLO (1948), PENNINGTON (1963 - 1969)  
ULLOA et al. (1973), TABOADA et al. (1977)

*NOM* : TUPINAMBA

*LOCALISATION* : AMAZONIE BRESILIENNE

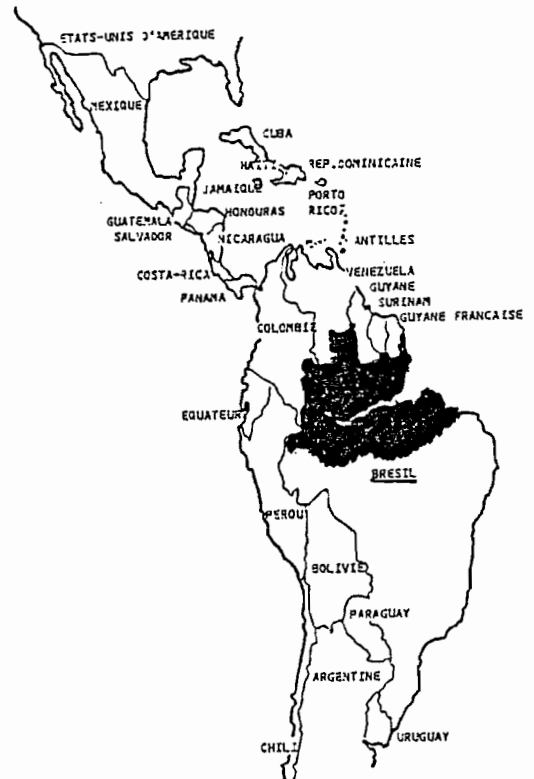
*SOURCE AMYLACEE* : MANIOC

*SOURCE ENZYMATIQUE* : SALIVE

*LE PRODUIT* : C'est une bière de manioc mastiqué

*SON ORIGINE* : Indéterminée

*SA CONSOMMATION* : Cette boisson est consommée par les "TUPINAMBA", tribu de la forêt tropicale brésilienne. Avant de la servir, la boisson est réchauffée en allumant des feux autour de la jarre.



SA TECHNOLOGIE

: Flow-Sheet : Procédé traditionnel de fabrication

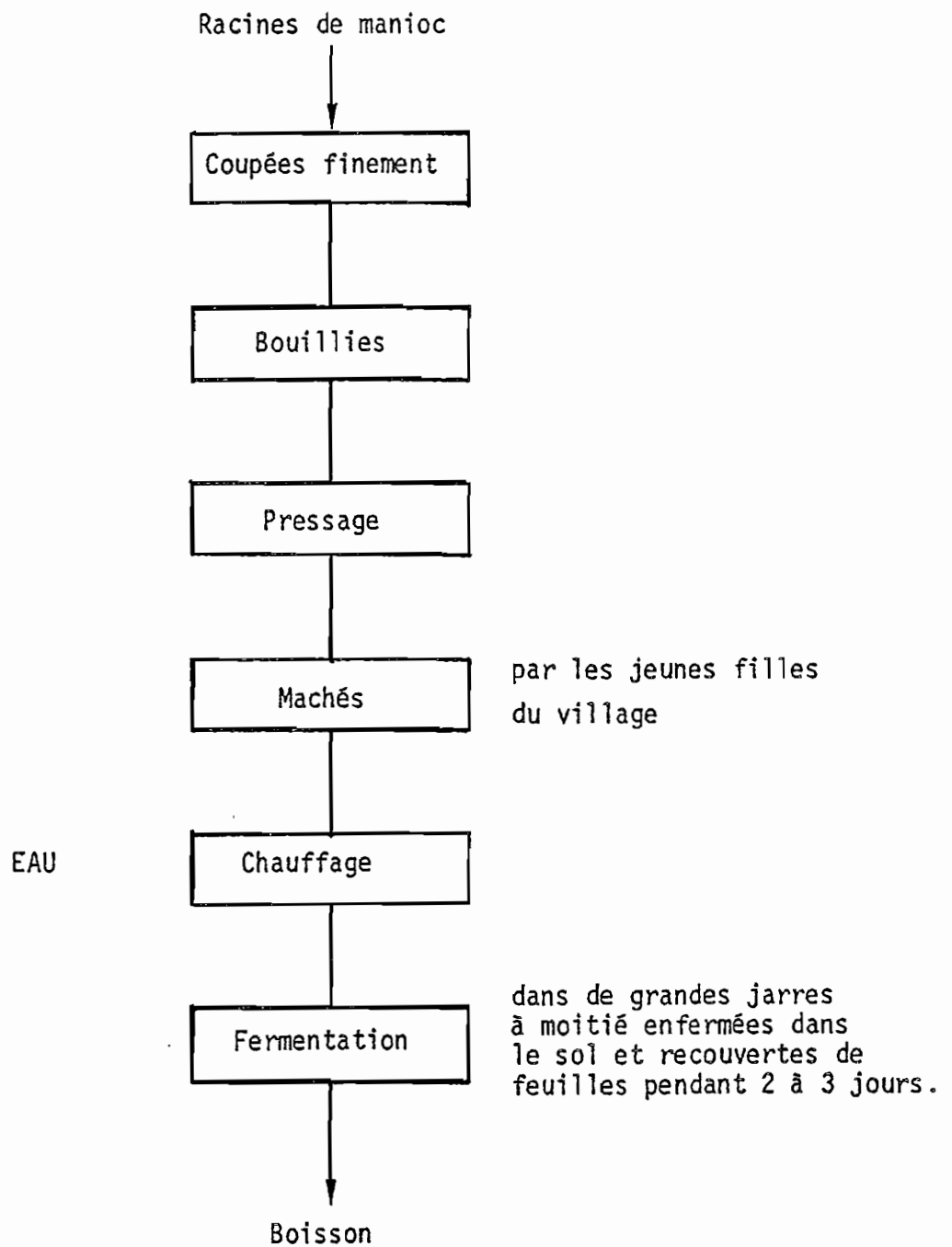


FIGURE N° 20 : - Technologie du TUPINAMBA -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : METRAUX - (1963) -  
LECOINTE (1922) ; BRAND (1943) ; COOPER (1963).

*NOM* : YARAQUI

*LOCALISATION* : AMAZONIE

*SOURCE AMYLACEE* : MANIOC

*SOURCE ENZYMATIQUE* :

*LE PRODUIT* : C'est une bière de manioc obtenue par fermentation des racines par un procédé sans mastication.

*SON ORIGINE* : Indéterminée

*SA CONSOMMATION* : Cette bière est consommée par les indiens "MAKIRITARE"



SA TECHNOLOGIE

: Flow-Sheet : Procédé traditionnel de la fabrication

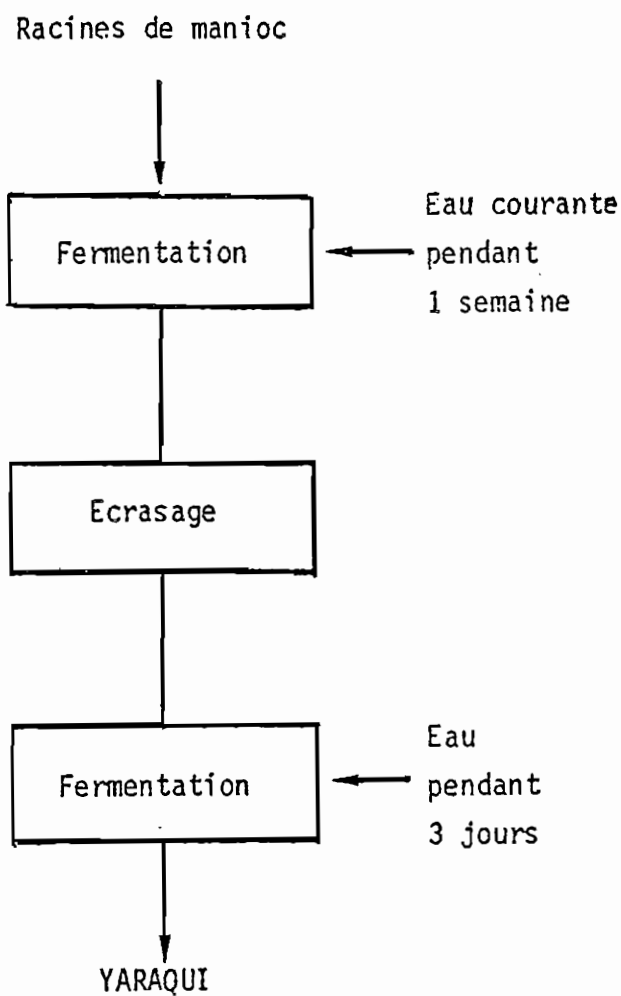


FIGURE N° 21 : - Technologie du YARAQUI -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : SCHWERIN (1971)

ALBERTO (1958) ; MONTALDO (1979).

2.3.2.2. Tableau synthétique

TABLEAU 1 : LES BIERES TROPICALES

Substrats amylacés  Source d'amylases	CEREALES					
	MIL	SORGHO	BLE	MAIS	MANIOC	BANANE
MIL	KAFFIR (Afrique d Sud) (1) BIERE DE MIL (Sénégal) (5) DAM (Togo) (7)	KAFFIR (Afrique d Sud) (1)		BUSAA (Kenya) (1) BIERE OPAQUE (Zambie) (1) KAFFIR (Af. du Sud) (1)	KAFFIR (Afrique d Sud) (1)	MSEGE (TANZANIE) (7)
M A L T	KAFFIR (Afrique d Sud) (1)	AFFOUK (Cameroun) (3) KIBUKU (Zaïre) (4) PITO (Nigéria) (1) KAFFIR (Afrique d Sud) (1) DOLO (Burkina F.) (4) AMGSA (Cameroun) (1)		BIERE OPAQUE (Zambie) (1) KAFFIR (Afrique du Sud) (1) CHISUKU (Zambie) (4)	KAFFIR (Afrique d Sud) (1)	KASI-KISI (Zaïre) (4)
BLE	TALLA (Ethiopie) (1)	TALLA (Ethiopie) (1)	BOUZA (Egypte) (1) TALLA (Ethiopie) (1)	TALLA (Ethiopie) (1)		
MAIS				BIERE OPAQUE (Zambie) (1) TESGUINO (Mexique) (1) CHAPALO (Bénin) KIBUKU (Zaïre) (4) PITO (Nigéria) (1)	SAKNO (Afrique du Sud) (2)	
RACINES				MUNKOYO (Zambie) (1) MUNKOYO (Zaïre) (4)	MUNKOYO (Zaïre) (4) OUCOU (Caraïbes) (6)	
SALIVE					TUPINAMBA (Amazonie) (2) KASIRI (Surinam) (2) MALICHA (Brésil) (2) PATWARI (Antilles) (2)	
AUTRES ou INDETERMINEES					YARAQUI (Amazonie) (2) A'WIBARE (Brésil) (2) PAPA (Guyane) (2)	

Ces chiffres renvoient aux références bibliographiques suivantes :

- (1) DEKKER - 1983
- (2) LANCASTER et al. - 1982
- (3) CHEVASSUS - AGNES et al. 1976
- (4) GRIFFON - 1981 a.
- (5) LESTRANG - 1981
- (6) GRIFFON - 1984
- (7) PERISSE et al. - 1959



### 2.3.3. Les technologies autochtones de la saccharisation : deux cas concrets :

Au travers du pluralisme technologique évoqué dans le paragraphe précédent, nous choisissons deux exemples concrets pour illustrer les techniques de saccharification enzymatique des substrats amylacés.

Le premier qui utilise une technique de germination préalable des céréales tropicales nous offrira le support d'une première alternative scientifique. C'est le cas du Dolo au Burkina-Faso.

Le second qui utilise une technique d'adjonction d'enzymes d'origine végétale aux substrats amylacés nous servira de seconde alternative. C'est le cas du Munkoyo au Zaïre.

#### 2.3.3.1. La bière de sorgho : le DOLO au Burkina-Faso

##### 2.3.3.1.1. *Le DOLO : une boisson traditionnelle*

Le Dolo est de loin la boisson alcoolisée la plus consommée dans les pays du Sahel et notamment au BURKINA-FASO (ex HAUTE-VOLTA). Par exemple, il est très populaire en pays Bobo et dans l'Empire Mossi, les deux principales ethnies du BURKINA, même s'il a une moins grande importance dans le Nord plus islamisé (GATTEGNO et al 1983-1984). Très important sur le plan social, le Dolo est présent à tous les moments de la vie et outre sa consommation ordinaire chez la dolotièrre et au cabaret, il accompagne la plupart des cérémonies coutumières où personne n'oserait le remplacer par la bière moderne sous peine de sacrilège. Il tient une place importante dans l'alimentation des basses catégories sociales des villes et chez les paysans car il est consommé par tous, hommes et femmes dès l'âge de treize - quatorze ans et quelquefois plus tôt.

Actuellement, on estime que le pays consommerait plus de 6 millions d'hectolitres/an, soit 85,7 l/pers./an (TRAORE, 1984).

La part de la récolte de sorgho utilisée à la préparation de Dolo est de ce fait très importante. Dans certaines ethnies, la culture du sorgho est même presque exclusivement destinée à la fabrication du Dolo. C'est ainsi qu'en pays Mossi, la variété rouge du sorgho ne sert à la préparation des repas que lorsque les autres céréales sont épuisées, pendant la période de "soudure" (mois de juillet à octobre). Même le sorgho américain envoyé au titre des secours contre la famine sert bien souvent à la fabrication du Dolo. (BOUGOUMA, 1982).

2. 3.3.1.2. La fabrication du Dolo : une activité féminine et  
familiale

L'activité de production de Dolo est exclusivement féminine, offrant des revenus d'appoint à environ 15 % de femmes, soit près de 420 000 qui produisent du Dolo à plein temps ou à temps partiel (TRAORE, 1984). Mais la part de la population qui a une activité liée à la fabrication du Dolo est nettement plus importante. En effet, il faut y ajouter les bûcherons qui alimentent en bois de chauffe des dolotières des villes, les fabricants de Calebasses, les potiers pour les canaris, etc...

Chaque dolotière possède une "concession" où elle fabrique le Dolo, aidée par d'autres femmes ou par sa famille. En ville, cette concession comprend un cabaret ouvert tous les jours et dans les villages la dolotière s'installe avec ses canaris les jours de marché. Elle vend le Dolo au détail, par Calebasse, ou en gros à des revendeuses.

La dolotière a donc un rôle social très important et ceci pour 3 raisons essentielles :

- sa richesse relative, d'autant plus que l'argent lui appartient en propre,
- la fonction sociale du cabaret, lieu privilégié de réunion et de discussion,
- la valeur symbolique encore marquée du Dolo.

Mais avec l'évolution économique et culturelle du pays, cette production est vivement concurrencée par la bière industrielle, de plus en plus vendue jusque dans les campagnes les plus reculées, chaque fois que les revenus des paysans leur permettent d'acheter de la bière, c'est-à-dire après les ventes de coton et autres produits de rente, notamment.

Tout d'abord, une raison politique : le gouvernement avait adopté un mode de développement qui accordait la primauté aux installations des grandes industries au détriment des activités artisanales. Ainsi, la société des brasseries de Haute-Volta (BRAVOLTA) bénéficiait d'importants avantages fiscaux et financiers bien qu'elle soit contrôlée à près de 80 % par des capitaux français (TRAORE, 1984).

D'autre part, il y a des modifications des habitudes de consommation qui évoluent en faveur des bières de malt considérées comme produits modernes et jouissant d'un certain prestige.

De plus, il faut reconnaître qu'il existe des problèmes de qualité liés à la technique : il est vrai qu'aucune dolotière n'est actuellement capable de fabriquer un "Dolo" de qualité régulière, et cela tient aux méthodes de maltage et de brassage artisanales, ainsi qu'à la qualité variable des matières premières utilisées.

La non maîtrise de l'ensemencement par une souche de levure connue provoque une évolution non maîtrisable de la fermentation et conduit à des utilisations de levains régulièrement contaminés.

### 2.3.3.1.3. La technologie du Dolo

#### 2.3.3.1.3.1. Schéma de fabrication

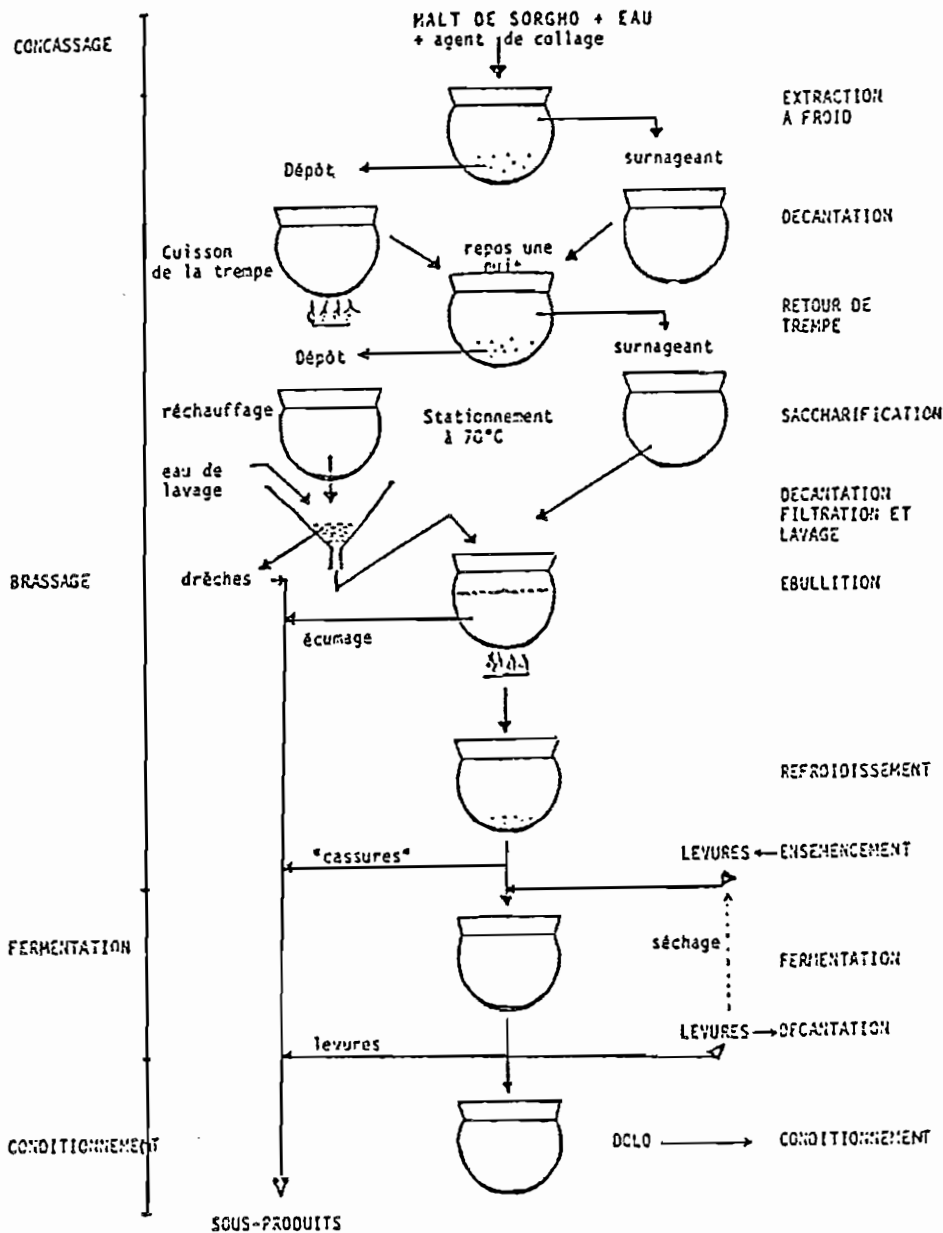


FIGURE N° 22 : LE BRASSAGE DU DOLO AU BURKINA-FASO (1)

(1) Schéma réalisé d'après B. BOUGOUMA in D. GRIFFON et al (1982 b).

2.3.3.1.3.2. Principes des opérations

En fait, les principes appliqués sont assez simples et proches de ceux utilisés en brasserie industrielle.

TABLEAU N° II : OPERATIONS DE FABRICATION DU DOLO

OPERATIONS	PRINCIPES
<p><u>MALTAGE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Trempage</li> <li>. Germination</li> <li>. Touraillage</li> </ul>	<p>Transformation du sorgho en "malt" utilisable en brasserie c'est à dire friable, riche en matières solubles et en enzymes.</p> <p>Humidification et oxygénation du grain permettant la germination.</p> <p>Activation ou synthèse d'enzymes nécessaires à la désagrégation (en particulier synthèse d'amylases hydrolysant l'amidon).</p> <p>Arrêt des réactions de la germination par départ d'eau.</p>
<p><u>BRASSAGE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Mouture-empatage</li> <li>. 1ère cuisson → 2ème cuisson</li> <li>. Filtration</li> <li>. 3ème cuisson</li> <li>. Refroidissement</li> </ul>	<p>Extraction à partir de la farine d'un moût susceptible de fermenter c'est à dire contenant des sucres fermentescibles et des acides aminés nécessaires à la croissance des levures.</p> <p>Dispersion de la mouture dans l'eau. Dissolution des matières solubles.</p> <p>Hydrolyse de l'amidon, des protéines.. par action à différentes températures des enzymes du malt - obtention des matières solubles indispensables à la fermentation.</p> <p>Séparation du moût contenant les sucres fermentescibles et du résidu.</p> <p>Concentration - aromatisation</p> <p>Elimination de matières indésirables (cassure ) précipitées à froid.</p>
<p><u>FERMENTATION</u></p>	<p>Transformation par la levure des sucres fermentescibles en alcool et gaz carbonique (avec dégagement de chaleur).</p>

Source : I. GATTEGNO et al (1983)

2.3.3.1.3.3. Description des opérations (1)

★ Le maltage du sorgho  
=====

Le maltage du sorgho, au même titre que le maltage des orges de brasserie a pour but de développer le système enzymatique des graines. Il comporte comme dans une malterie classique les trois étapes suivantes :

- le trempage
- la germination
- le séchage

★ Le trempage  
.....

Cette première étape, qui consiste à plonger le sorgho dans de l'eau ordinaire pendant 24 heures permet :

- un lavage grossier des grains (élimination des poussières, des substances étrangères et des enveloppes du sorgho)
- une imbibition du grain.

Les quantités d'eau et de sorgho sont sensiblement équivalentes.

Le matériel utilisé au cours du trempage est essentiellement composé des "canaris" en argile cuite de 100 à 150 litres, à moitié enterrés dans le sol afin de leur conférer une plus grande résistance aux chocs mécaniques et une meilleure isolation thermique.

Après 24 heures de trempage, les grains de sorgho encore durs sont retirés du "canari" et égouttés à l'aide d'un panier tressé en tiges d'arbuste.

La température observée du trempage qui n'évolue pas était de 27° C.

---

(1) BOUGOUMA in D. GRIFFON et al. (1982).

### ★ La germination

.....

Nous distinguerons deux étapes dans cette germination, une phase de deux jours correspond à une "germination basse" où la dolotière recherche une température basse puis une "germination haute" où la dolotière facilite une élévation de température de la masse de grain.

### • La germination à basse température

.....

La germination à basse température dure 48 heures et nous l'appelons ainsi car la "malteuse" met en oeuvre un certain nombre de techniques de dispositifs pour éviter la montée en température des grains en germination. Immédiatement après l'égouttage, les grains de sorgho, humides, sont mis à germer dans une jarre identique à la précédente. Les grains sont disposés le plus haut possible contre la paroi du canari et non entassés au fond, ceci permet une meilleure ventilation des grains de sorgho.

Trois arrosages à intervalles de 12 heures sont effectués. Le premier arrosage a lieu 12 heures après l'égouttage. L'arrosage s'effectue de la manière suivante : on verse environ 10 litres sur les grains en germination. On retourne les grains germés dans l'excès d'eau, puis l'excès d'eau est retiré et les grains de sorgho sont à nouveau disposés contre la paroi de la jarre.

L'arrosage a pour but d'une part d'éviter le dessèchement des grains donc apporter l'eau nécessaire aux phénomènes biochimiques de la germination, d'autre part de refroidir les grains de sorgho dont la température s'élève du fait de la reprise des phénomènes biochimiques et biologiques.

En plus de ces techniques, la jarre de germination est placée dans un endroit frais, ombragé et souvent protégé du soleil avec des nattes de paille.

Les relevés de température ont montré que l'arrosage provoque une chute de température pouvant atteindre 15° C.

Pouvons-nous, à cette occasion, rappeler que dans le Médoc Bordelais les cuveries des plus grands crus, mondialement connus, sont équipées à leur sommet de toiles qui aspergées d'eau, permettent le refroidissement du moût en fermentation en utilisant la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

Au troisième arrosage, on prend soin de bien éliminer l'excès d'eau, car si les grains germés sont trop humides, on observe un développement de moisissures dans la suite des opérations.

Au premier jour de cette germination, le grain de sorgho est encore dur. Progressivement, il se ramollit ; en même temps la radicelle apparaît, formant un point à la surface. La température augmente peu, elle passe de 30° C à 38° C avant arrosage.

Au second jour, le grain se ramollit, mais est encore assez dur pour ne pas s'écraser sous les doigts, la plumule et la radicelle sont bien développées et mesurent de 0,5 à 1 cm de long au moins. L'élévation de température est plus importante de même que le dégagement gazeux. La température avant le troisième arrosage est de l'ordre de 42° C.

On constate donc que les activités biochimiques et biologiques sont très actives au 2ème jour de germination et que pour assurer une bonne germination il faut éliminer la chaleur produite.

\* La germination à haute température .....

Nous l'appelons ainsi, car au cours de cette étape la "malteuse" recherche une montée en température des grains de sorgho en germination. Pour cela, elle évite la déperdition de la chaleur dégagée en pressant les grains germés dans un panier et en recouvrant le tout de nattes ou de sacs de jute ou encore d'une feuille de polyéthylène. La température peut dépasser ainsi 50° C.

Cette germination à haute température dure 48 heures. Les précautions à prendre se résument essentiellement à éviter une humidité trop forte des grains de sorgho germés, car une forte humidité favorise un développement important de moisissures et une fermentation.

Ainsi, lorsqu'on a un excès d'eau, suite à un arrosage trop important, au cours du 3ème arrosage ou par suite d'une humidité relative de l'air très élevée en saison des pluies, on procède à un séchage sur aire battue ou sur nattes pour éliminer l'excès d'eau avant de mettre les grains en germination haute température.

L'évolution de la température au cours de cette phase de la germination dépend essentiellement de l'activité biologique du grain en germination et des conditions extérieures. C'est pourquoi, on observe que la température au coeur de la jarre atteint 55° C en saison des pluies, environ 6 heures après le début de cette germination haute et se maintient pendant plusieurs heures. La baisse de la température ambiante au cours de la nuit entraîne aussi une baisse de la température des grains germés.

Trois remarques particulières sont à faire :

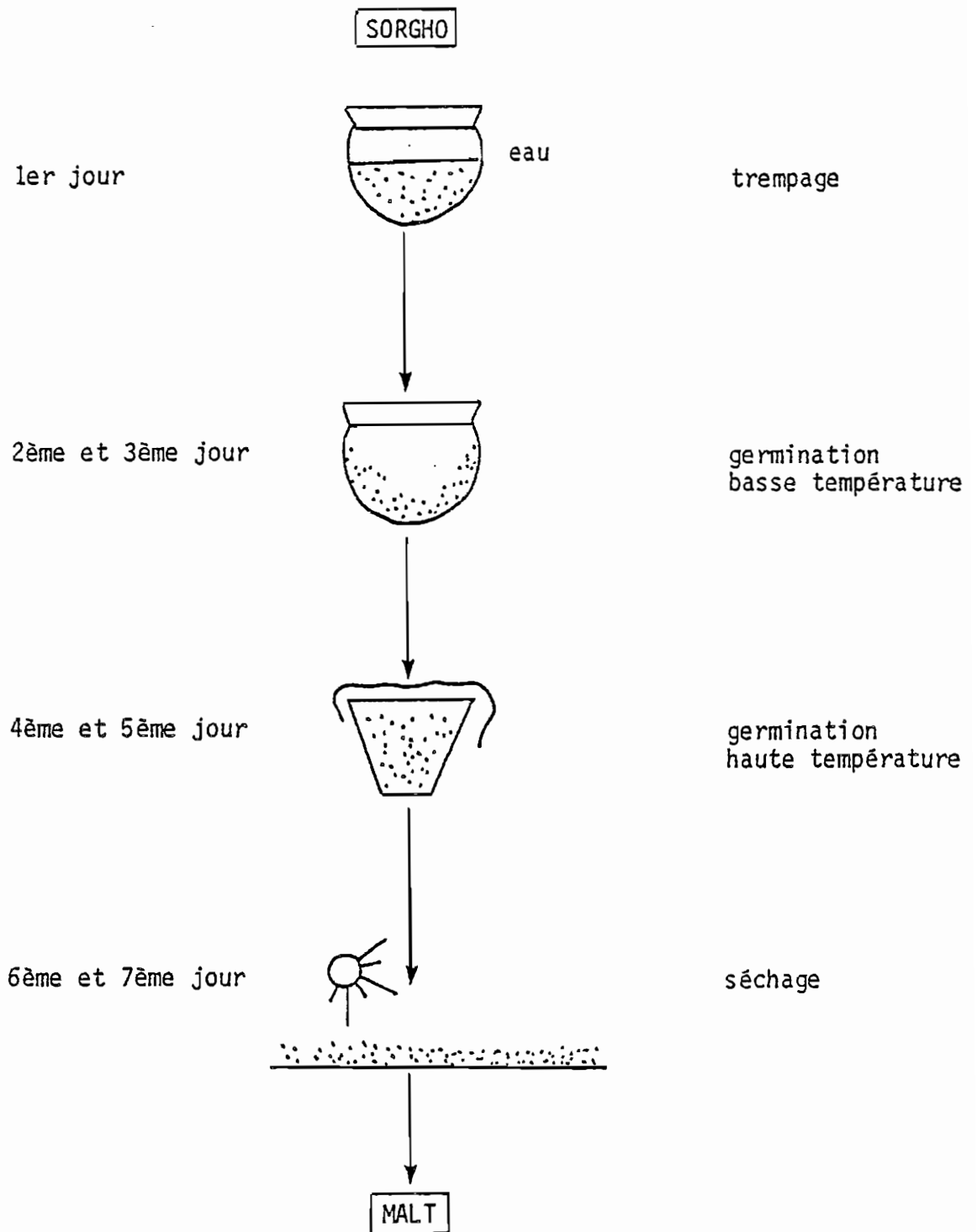
- + si pour une raison ou pour une autre on observe un développement des racelles et plantules conférant un goût aigre du sorgho malté, on procède à une élimination partielle de celles-ci par simple frottement entre les mains des grains de sorgho maltés après séchage,
- + signalons qu'une journée supplémentaire de germination haute n'est pas préjudiciable à la bonne qualité du sorgho malté,
- + on note toujours la présence de moisissures à la surface des grains au cours de cette germination haute. On peut penser à des souches aérobies thermophiles.

Enfin, au niveau de l'évolution des grains germés, on observe un fort développement des racelles, notamment au 1er et 2ème jour de la germination haute. Au 2ème jour, ce développement est tel, qu'elles s'entremêlent.

La deuxième évolution nette est celle du goût. Les grains germés ont un goût très sucré qui s'accroît au cours de cette germination haute.

C'est ce développement du goût sucré qui est recherché par cette germination haute, car les Mossis apprécient plus un Dolo brassé avec un tel sorgho malté. Cependant, une germination haute trop importante donne un goût aigre plus marqué au sorgho malté du fait d'un développement très important des racelles et plantules.





*Figure N° 23 : Schéma du maltage traditionnel du sorgho (1)*

(1) Schéma réalisé d'après B. BOUGOUMA in D. GRIFFON et al (1982)

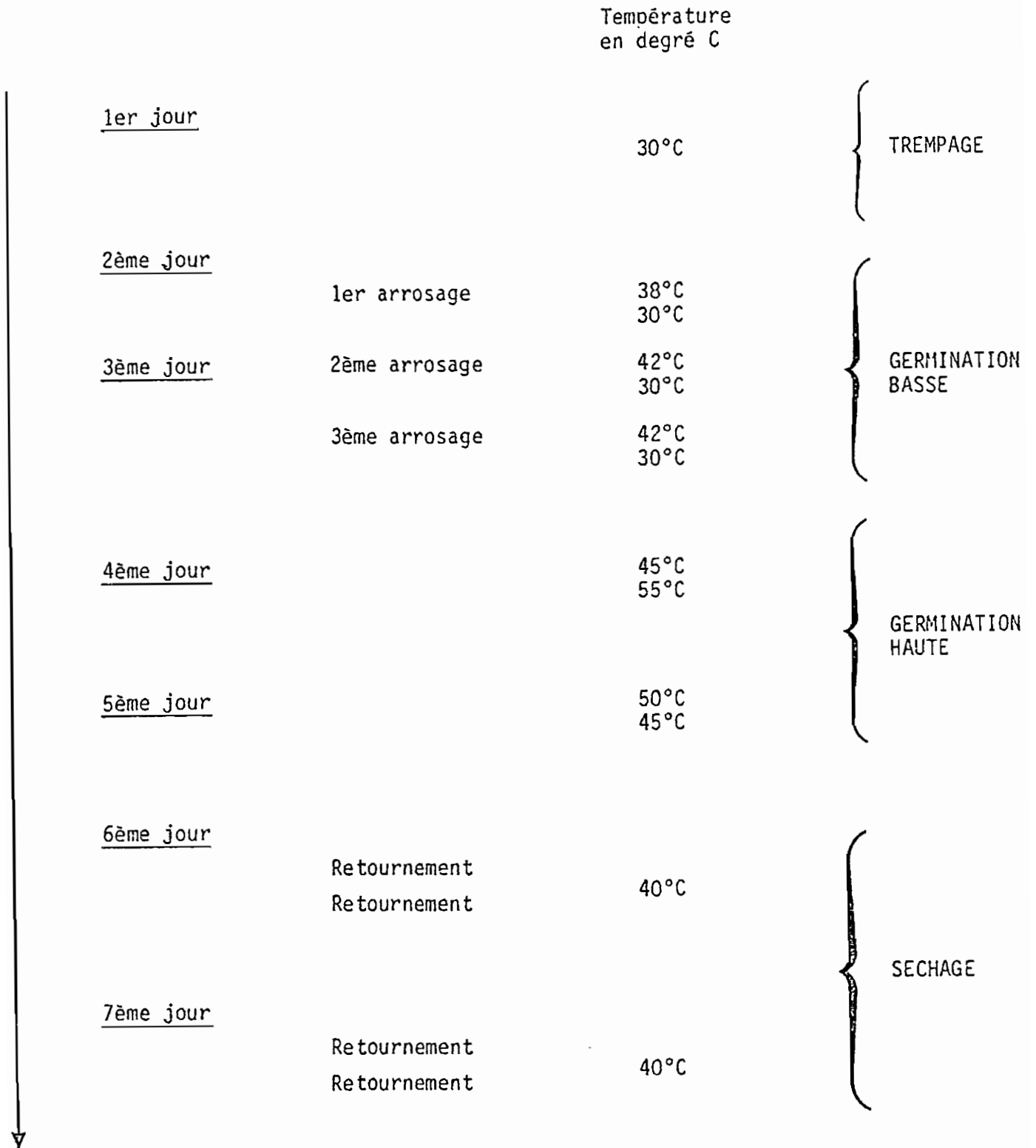


Figure N° 24 : Fabrication du malt de sorgho

(1) Schéma réalisé d'après B. BOUGOUMA in D. GRIFFON et al (1982)

★ Le séchage  
.....

Les objectifs sont :

- stopper l'évolution végétative des grains en réduisant leur teneur en eau,
- favoriser la conservation du sorgho malté.

Ce séchage se réalise simplement sur une aire battue ou cimentée, sur des nattes ou encore sur des tôles exposées au soleil. Les grains de sorgho germés sont étalés sur une faible couche et retournés périodiquement. Le soir, ils sont rentrés pour éviter une reprise d'humidité.

48 heures suffisent en général pour abaisser la teneur en eau à un niveau jugé suffisant pour favoriser la conservation du sorgho pendant plusieurs semaines. Relevons à ce niveau, la similitude avec les exigences du maltage de l'orge de brasserie qui impose un stockage au malt pendant quelques semaines avant emploi.

★ Le brassage du Dolo  
=====

La technique de brassage du sorgho malté est la décoction. On peut distinguer les opérations suivantes :

- le concassage
- l'empâtage-décantation,
- la cuisson des matières insolubles : cuisson de la trempé,
- retour de la trempé,
- la cuisson des drêches,
- la filtration.
- l'ébullition, concentration du moût.

★ Le concassage  
.....

L'objectif de concassage est l'obtention de farine grossière, de semoule, traditionnellement obtenues avec une meule dormante. Le concassage est de plus en plus souvent réalisé avec des moulins à marteaux à moteur diesel ou à essence.

Généralement, il n'y a pas de stockage de la mouture et toute la mouture est brassée. Le concassage peut être fait 24 heures ou plus avant l'empâtage.

★ L'empâtage-décantation

L'empâtage ou "salade" est fait selon les proportions suivantes : 1 volume de mouture pour 3 volumes environ d'eau, à température ordinaire. Les femmes ajoutent toujours un agent mucilagineux, comme les écorces de gombo. Il s'agit là d'une opération de collage qui améliore la décantation des matières insolubles de la "salade".

La décantation dure au maximum 45 minutes à 1 heure. On sépare le surnageant du dépôt. Le surnageant correspond environ aux 2/3 en volume du mélange.

★ La cuisson des matières insolubles : cuisson  
de la trempe

Le dépôt est mis à cuire jusqu'à ébullition dans de grandes jarres en terre cuite ou mieux dans des marmites métalliques. Le temps mis pour bouillir dépend du volume de la jarre et de l'efficacité du chauffage. Généralement, ce chauffage au bois est lent.

★ La réincorporation des matières insolubles bouillies :  
le retour de la trempe

Lorsque les matières insolubles ont bouilli, la ménagère vide les marmites et mélange ce dépôt chaud avec le surnageant de la décantation. La température du mélange est de l'ordre de 80° C.

Le mélange est laissé au repos pendant plusieurs heures (généralement la nuit) et sa température décroît de 75-80° C à 40-45° C selon la saison.

Au moment du mélange, la "salade" est de couleur brune. Progressivement, au fur et à mesure de l'hydrolyse enzymatique, elle devient rouge brique puis orangée. Son goût acide au départ s'estompe et devient plus sucré.

Le surnageant devient trouble et légèrement visqueux. La femme apprécie l'hydrolyse de l'amidon à l'aspect du surnageant et décide de la filtration ou de la poursuite de l'hydrolyse.

★ La filtration

Lorsque la dolotière a estimé l'hydrolyse terminée, elle sépare une fois encore le surnageant du dépôt et les deux sont mis à chauffer séparément.

Le dépôt (ce qui constituera plus tard les drêches) est mis à chauffer à 80°-85° C sans faire bouillir, puis il est filtré et lavé à l'eau à température ordinaire, jusqu'à ce que le filtrat ne présente plus de goût sucré.

Le filtre est constitué d'une jarre défoncée et retournée et d'un élément filtrant. Celui-ci est un panier où deux couches de paille croisées reposent sur de petites tiges de bois. La maische est versée dans le filtre jusqu'au 2/3 de sa capacité. Au début le filtrat est trouble et au fur et à mesure que les drêches forment à leur tour une couche filtrante de plus en plus importante le filtrat s'éclaircit. Les eaux de lavage des drêches sont presque limpides.

La durée de la filtration est très variable ; plusieurs facteurs entrent en jeu : la filtrabilité de la maische, la qualité de l'élément filtrant, la température de la maische, etc...

En fin de filtration, les drêches sont envoyées à l'alimentation du bétail, notamment porcine. Le filtrat, c'est-à-dire le moût et les eaux de lavage des drêches sont rassemblés pour subir l'ébullition.

#### ★ L'ébullition - concentration .....

Le moût est porté à ébullition pendant une heure environ dans le but de le concentrer et de former un précipité qui se dépose rapidement (1). La concentration est arrêtée par simple appréciation visuelle et/ou gustative du moût.

Le moût est mis à refroidir dans des jarres. Au cours de ce refroidissement, un nouveau précipité se dépose au fond des jarres.

Lorsque le moût a atteint la température d'ensemencement de la levure, c'est-à-dire 30-35° C, on recueille le surnageant dans une autre jarre pour l'ensemencer, ce qui permet d'éliminer les précipités formés, tant lors de l'ébullition que lors du refroidissement.

Il faut environ 36 heures pour effectuer toutes les opérations de brassage jusqu'à l'élimination de la "cassure". Il est absolument nécessaire, compte-tenu de la durée de fermentation, que l'ensemencement puisse être fait dans la soirée afin que la fermentation se déroule toute la nuit.

---

(1) Les brasseurs occidentaux parleraient de "cassure" ou "tranché en chaudière" ou "trouble à chaud". En brasserie occidentale, ce trouble à chaud est composé d'un agglomérat protéo-tannique produit par l'ébullition.

★ La fermentation du DOLO  
=====

La fermentation du "Dolo" dure 8 à 10 heures. C'est donc une fermentation rapide. On distingue deux parties dans la fermentation :

- l'ensemencement,
- la fermentation proprement dite.

★ L'ensemencement  
.....

Le levain utilisé est vraisemblablement composé de plusieurs souches microbiennes et la souche dominante est une levure dont nous ignorons l'identité. En général, il provient d'une précédente fermentation après séchage au soleil.

Lorsque le moût a suffisamment refroidi, le levain est ajouté en petite quantité, soit environ 300 grammes de levure sèche pour 150 litres de moût.

★ La fermentation proprement dite  
.....

Après l'ensemencement, la fermentation démarre rapidement. Il y a dégagement de chaleur et de gaz carbonique et on observe que le moût en fermentation mousse et est animé de mouvements d'agitation dus à ce dégagement de CO<sub>2</sub>.

La température de fermentation varie selon les saisons. En effet, on a remarqué que pendant la période la plus froide de l'année (novembre à mars) la fermentation se passe toujours bien : la levure se développe et croît mieux que pendant la saison des pluies où il fait chaud. En outre, pendant cette saison des pluies, la levure est pulvérulente. La température idéale de fermentation serait donc d'environ 20° C.

En général, la fermentation dure seulement 8 à 10 heures, mais elle peut être plus longue pour diverses raisons (moût chaud, levure vieille, etc...).

Quand la fermentation est terminée, après une nuit, vers 4 ou 5 heures du matin, la levure se dépose au fond de la jarre.

On peut alors transvaser le Dolo dans des jarres plus petites pour le vendre.

★ La récupération et la conservation du levain

Du fait de l'absence de filtration de la bière de sorgho après fermentation, il y a toujours une certaine quantité de levure qui reste dans la bière. Une fermentation plus faible se poursuit après son conditionnement pendant sa vente et sa conservation. Aussi, dans le récipient de conditionnement ou de conservation, des levures se déposent. Elles proviennent des levures entraînées lors de la mise en jarre et de leur développement au cours du stockage.

Les dépôts de levure dans les récipients et ceux provenant des jarres où s'est effectuée la fermentation sont réunis et lavés à l'eau jusqu'à élimination du "Dofo", puis séchés.

Le séchage de la levure s'effectue en 2 étapes. La première consiste à éliminer assez rapidement l'eau de lavage en coulant la levure dans des cavités formées dans de la cendre de bois qui fait office d'éponge, élément absorbant.

On forme ainsi de grosses galettes de levures ayant perdues une grande partie de leur eau. Ces galettes sont émiettées et mises à sécher au soleil pendant le temps nécessaire.

Une fois séchée, la levure est conservée telle quelle.

On peut noter que la levure est sujette à des contaminations diverses pendant son séchage. Les agents de contamination sont nombreux, l'air ambiant, la couche de bois et les matériaux utilisés pour le séchage, sans oublier les mains des dolotières.

Ceci semble se confirmer par le fait que, par le jeu de succession de flores, la bière de sorgho prend un goût acide, pas du tout apprécié par le consommateur Mossi. Ce goût acide viendrait d'une fermentation acide peut-être lactique due à la présence d'une (ou de) souche (s) qui entre (nt) en croissance et en développement après la souche principale de levure responsable de la fermentation alcoolique.

Le goût acide apparaît plus ou moins vite en fonction de la qualité du levain, mais généralement 24 heures environ après le conditionnement, ce que pourrait expliquer une contamination ne venant pas du levain.

### 2.3.3.2. Le Munkoyo bière de Manioc au Shaba

-----

#### 2.3.3.2.1. Origine

*"... Il était une fois, un village perdu dans la brousse zaïroise et tout a commencé le jour où un villageois a surpris les éléphants en train de manger des racines de Munkoyo.*

*Intrigué, ce villageois observa que ces racines entraient fréquemment dans la nourriture des éléphants et semblaient même être un aliment de choix. Il ramassa quelques unes de ces racines et les amena à sa femme.*

*Ils y goûtèrent et leur trouvèrent un très bon goût sucré. L'idée leur vint alors de faire un essai en mélangeant des racines de Munkoyo défibrées à une bouillie chaude obtenue avec de la farine de manioc pour en adoucir le goût.*

*La bouillie devint alors très fluide. Sceptique, l'homme goûta d'abord seul, mais il réussit bien vite à convaincre femmes et enfants, car le liquide obtenu avait un merveilleux goût sucré ...".*  
(GRIFFON, 1980).

Dans l'histoire du Munkoyo que nous a raconté le notable du village de Luambo, il y a beaucoup à apprendre et le savoir-faire en "enzymologie" de ces populations rurales mériterait à coup sûr un approfondissement.

Au moment où l'on propose au niveau industriel des utilisations d'enzymes d'origine bactérienne ou fongique dans les technologies d'hydrolyse de l'amidon, enzymes à manier avec énormément de précautions, le Munkoyo, est utilisé depuis des générations par les villageois du Shaba !

#### 2.3.3.2.2. Consommation

Le Munkoyo, qui n'est fabriqué que par certaines familles, représente une source de revenu en argent liquide au même titre que le commerce des tomates ou des briques de terre ou du charbon de bois. Cependant, c'est au cours de la saison sèche que la fabrication du Munkoyo est la plus importante, pendant la saison des pluies, la culture du maïs occupe la plus grande partie du temps.

La boisson Munkoyo est consommée par toute la population à des degrés différents de fermentation et est présentée à toutes les fêtes et cérémonies coutumières. La consommation est importante : cinq gobelets par jour en moyenne pour les adultes, au prix de 1 likuta (1) par gobelet de 250 ml (GRIFFON, 1973).

(1) 1 likuta = 1 centime en 1973.



Comme les autres boissons africaines, le Munkoyo est soumis à certaines croyances religieuses, mais il ne semble pas que cette boisson soit sujette à des interdits de fabrication ou de consommation.

#### 2.3.3.2.3. Méthode de fabrication

##### 2.3.3.2.3.1. Les matières premières

- ★ l'eau qui est prélevée dans des puits ou des sources,
- ★ les farines

Le Munkoyo est préparé en général à partir de farine de maïs, mais occasionnellement, en fonction des cultures principales des villages, des farines de manioc, de sorgho ou d'éleusine sont utilisées :

##### - la farine de maïs

La farine de maïs subit une préparation particulière. En effet, les grains de maïs sont grossièrement pelés, mis dans un panier et immergés durant 2 à 3 jours, puis séchés au soleil. Les enveloppes sont séparées des grains par une ventilation rudimentaire qui consiste à mettre 3 poignées de grains à demi pilés dans un panier plat et à jeter en l'air le contenu que l'on rattrape dans le même panier. On recommence l'opération plusieurs fois de façon à ce que le vent emporte les enveloppes. Les grains sont ensuite pilés complètement dans un mortier de bois ou moulus. La farine légèrement humide est alors tamisée, puis séchée au soleil, elle est alors prête à être utilisée par la fabrication du Munkoyo ou pour la préparation du plat traditionnel : le Bukari.

Les diverses opérations précitées sont nécessaires à l'élimination des principes huileux des grains de maïs qui donnent une mauvaise couleur et un goût désagréable à la boisson.

Depuis quelques années, les villageois peuvent acheter de la farine de maïs traitée en minoterie. Dans ce cas, ils font subir à cette farine un trempage à l'eau pendant deux jours pour la débarrasser des graisses végétales et des impuretés. L'eau est éliminée et la farine humide est utilisée directement pour la préparation de la bouillie qui donnera la boisson.

##### - la farine de manioc

Pour la farine de manioc, le traitement est similaire. Les cossettes fraîches sont écorcées et mises à tremper dans de l'eau froide pendant une semaine. Retirées de l'eau, elles sont nettoyées, puis coupées en morceaux et mises à sécher au soleil sur des nattes. Ce rouissage permet d'éliminer les principes toxiques du manioc. Les morceaux de cossettes peuvent alors être pilés et la farine obtenue est tamisée.

La farine de sorgho est très appréciée par les villageois, car très pauvre en graisse qui confère une odeur et un goût peu agréable à la boisson, mais le sorgho est cependant peu utilisé, car il est peu cultivé dans cette région du Shaba.

★ les racines de Munkoyo

Le Munkoyo est un arbuste qui a été décrit botaniquement et nommé *Eminia Polyadénia Hawman* par les membres de l'INAC (1) en 1954. Il existe plusieurs variétés d'Eminia connues sous les noms vernaculaires de :

- Mulaba
- Kalune, Kayilunge ou Kilungelunge
- Mafunawila ou Kikubukubu.

Cependant, par expérience, les villageois ont adopté la variété Mulaba qui donne un goût agréable. Les autres racines confèrent à la boisson un goût, une odeur et une couleur moins agréable.

2.3.3.2.3.2. Le matériel utilisé

Le matériel utilisé à la fabrication du Munkoyo est composé de demi-fûts servant à la cuisson ou à la réserve d'eau, d'un agitateur en bois de forme allongée et se terminant par une palette, de mortiers avec leurs pilons pour préparer la farine, de seaux, d'assiettes, de gobelets utilisés comme "mesure", d'un tamis en osier ou en toile métallique pour la filtration et d'un rouleau de bois pour battre les racines.

---

(1) INAC : Institut National d'Agronomie du Congo

2.3.3.2.3.3. Schéma de Fabrication

Cette technologie a été observée (1) à Luambo au Saha et reproduite à l'échelon du laboratoire de l'I.R.S. (2), Centre de Lubumbashi.

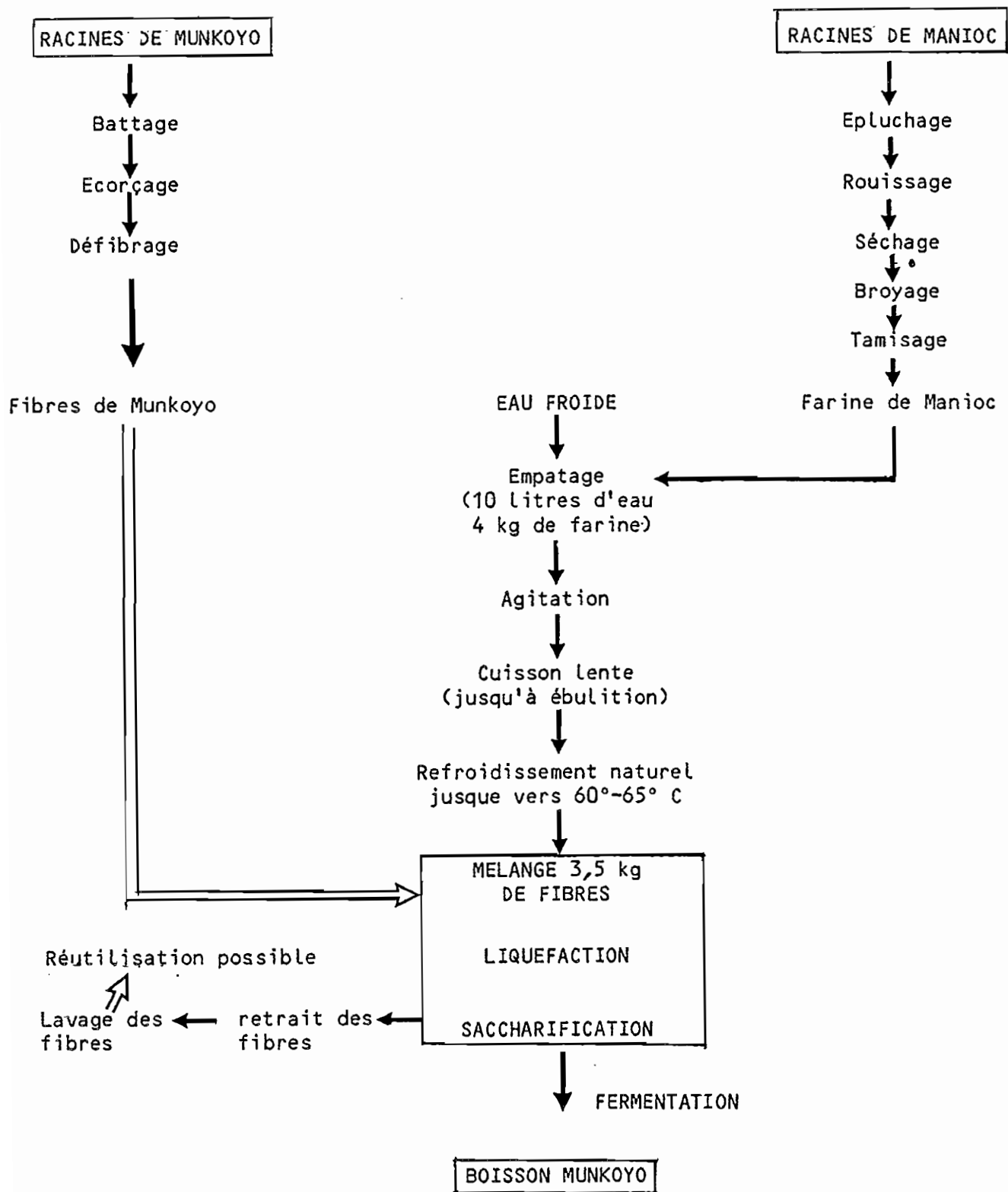


Figure N° 25 : Schéma de fabrication du Munkoyo de manioc (in D. GRIFFON 1974)

- (1) Enquête effectuée en 1973 par NGUBA Wa Elemba, ingénieur de L'IRS et MUTOMBO, Technicien, sous la responsabilité de D. GRIFFON coordinateur scientifique du Centre de Lubumbashi - 1973 -
- (2) I.R.S. Institut de Recherche Scientifique - Le Centre de Lubumbashi est l'ex C.R.I.A.C. : Centre de recherches Industrielles en AFRIQUE Centrale.

#### 2.3.3.2.3.4. Description des opérations

La technique de préparation est la suivante : un demi-fût est rempli d'environ 40 litres d'eau et mis à chauffer jusqu'à un début d'ébullition. Pendant ce temps, une femme prépare un mélange à froid de 15 kg de farine de maïs, et de 8 litres d'eau formant ainsi une bouillie pâteuse. La ménagère retire alors du demi-fût d'eau chaude, la quantité d'eau approximative en volume de la bouillie préparée et introduit celle-ci petit-à-petit, en agitant vigoureusement, réalisant un empâtage assez homogène.

La formation d'empois d'amidon provoque un épaississement de la pâte, on réduit alors le feu et la ménagère s'adonne à la préparation des racines de Mulaba qui sont battues de façon à libérer des fibres et donc permettent ainsi un meilleur contact entre la pâte et les racines.

La pâte de plus en plus épaisse continue à cuire jusqu'à apparition de bulles d'air à sa surface. Le récipient est alors retiré du feu et le contenu est transvasé dans un autre demi-fût ; cette opération permet d'accélérer le refroidissement et amène la pâte vers 65-70° C après 1h. 30 environ. L'opération d'obtention d'empois d'amidon a duré une trentaine de minutes.

Après le refroidissement, les racines sont introduites dans la pâte épaisse. On agite vigoureusement et en quelques minutes une liquéfaction manifeste peut être constatée. Une vingtaine de minutes plus tard, la liquéfaction est quasiment complète.

Le moût obtenu est laissé au repos pendant 6 à 7 heures et à ce moment seulement les racines sont éliminées.

La ménagère effectue alors une filtration grossière avec un panier en osier. La boisson encore très riche en matières en suspension est transvasée enalebasses dont l'ouverture est recouverte par une assiette.

Parfois des racines en lamelles sont encore introduites dans lesalebasses pour compléter la saccharification.

Lesalebasses sont stockées dans un endroit frais et une fermentation sauvage a lieu.

La boisson sera consommée, soit fraîche, soit fermentée partiellement, soit fermentée complètement suivant qu'elle est destinée aux femmes et enfants ou aux hommes adultes.

**ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES  
ET AMYLOLYSE**



### 3. ALTERNATIVES TECHNOLOGIQUES ET AMYLOLYSE

---

#### 3.1. BUT DU TRAVAIL

Nous avons entrepris de relier les pratiques empiriques du monde rural, illustrées par le chapitre précédent aux techniques éprouvées de l'industrie brassicole moderne.

Il nous fallait, dans cet esprit, conduire une étude scientifique capable de mettre en évidence les réelles possibilités de valorisation des technologies traditionnelles. L'étude que nous présentons dans les pages suivantes a donc un triple but.

D'abord, celui d'analyser la capacité amylolytique de sources enzymatiques d'origine tropicale, d'une part classiques comme celles mobilisables par le maltage de céréales tropicales, d'autre part, beaucoup moins conventionnelles comme celles mises en oeuvre par les racines de Munkoyo.

Ensuite, nous avons voulu conduire des essais de saccharification des substrats amylicés tropicaux de façon à vérifier les potentialités de ces sources enzymatiques locales et de les traduire en termes technologiques.

Enfin, nous avons voulu mettre en évidence l'intérêt scientifique d'une étude des technologies autochtones, jugées trop souvent désuètes et donc dénigrées, elles peuvent être le siège de nouvelles connaissances scientifiques. C'est ce que nous avons voulu démontrer en présentant dans ce travail les études concernant les techniques d'immobilisation des amylases du malt et du Munkoyo.

#### 3.2. DEMARCHE METHODOLOGIQUE ET ANALYSES BIBLIOGRAPHIQUES

##### 3.2.1. Démarche méthodologique

##### 3.2.1.1. Une source enzymatique de référence

Les bières tropicales présentées dans le paragraphe précédent illustrent le pluralisme des technologies déployées par l'homme pour préparer les boissons fermentées à partir de sources amylicées diverses et de techniques de saccharification variées.

Cependant, au cours des siècles, l'orge a supplanté les autres matières premières amylicées dans la fabrication de la bière. Aujourd'hui, la bière d'orge s'étend sur tous les continents. Dans les pays en développement, elle fait de plus en plus d'adeptes. Elle conquiert bien des marchés, le plus souvent au détriment des boissons régionales.

L'histoire de la bière nous révèle combien les croyances, les faits de société, les traditions populaires et artisanales sont responsables de cette domination de l'orge en brasserie. Pourtant, d'autres céréales, comme le montre figure n° 26 auraient pu intervenir dans la fabrication de la bière. D'ailleurs, même sur le vieux continent européen qui a conféré à l'orge ses lettres de noblesse, il reste des pratiques de brassage de froment, de seigle ou d'avoine. Les délicieuses bières Lambic ou Blanche de Louvain en Belgique, ainsi que la célèbre Weissenbier Berlinoise en Allemagne, brassées avec du froment en sont une preuve irréfutable.

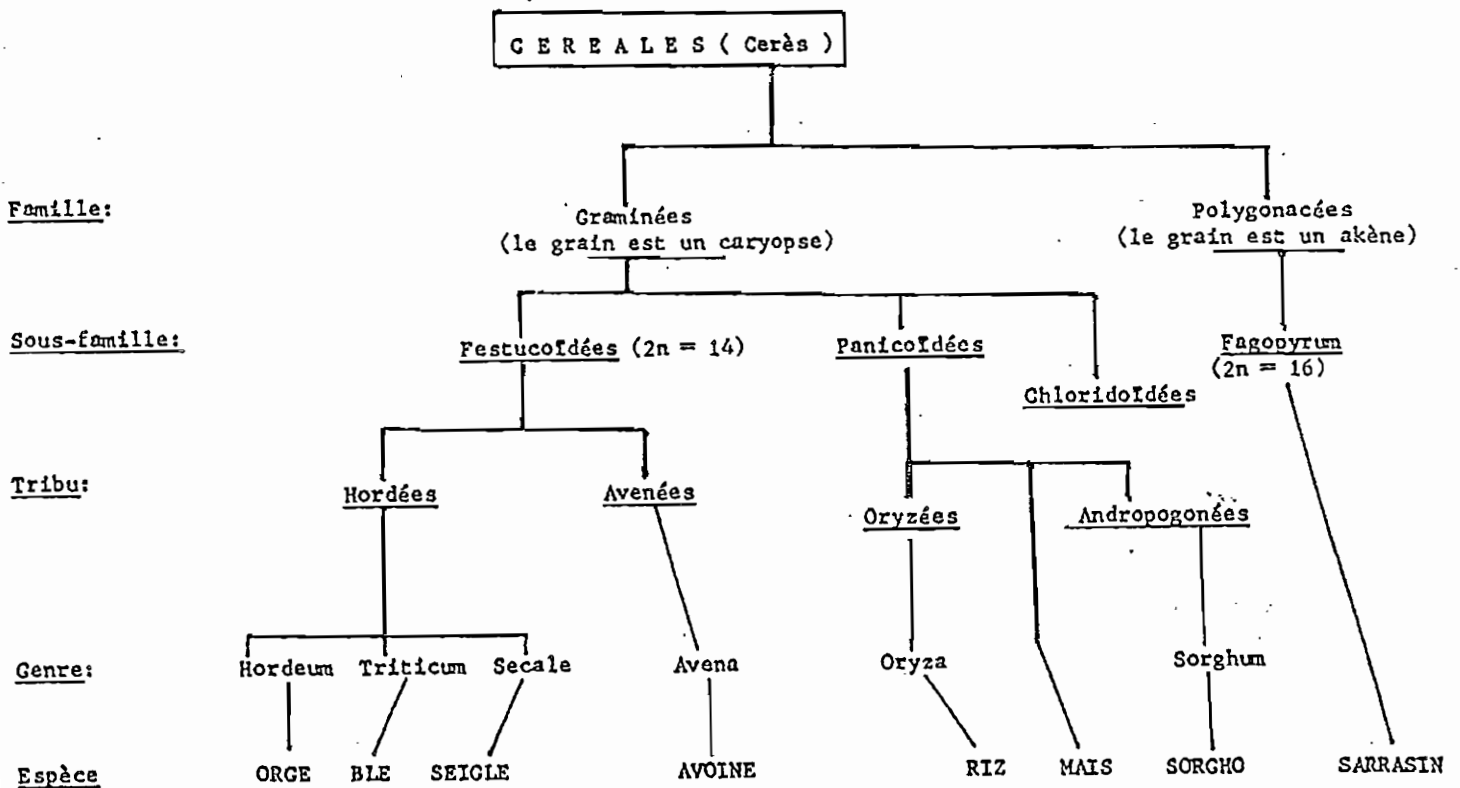


Figure N° 26 : Classification des céréales

Cependant, si le brasseur européen a privilégié l'orge dans les pratiques brassicoles, c'est qu'il a su y trouver plus qu'avec d'autres céréales maltables, les propriétés qu'il recherchait. En particulier, à partir de la seconde moitié du XIXe siècle, l'explication de cette prédominance trouve de nouvelles assises dans les découvertes scientifiques et les innovations technologiques qui vont bouleverser les techniques de fabrication de la bière.

L'orge a su s'imposer à cette époque, pour des raisons d'ordres scientifiques et économiques. En effet, pour satisfaire aux besoins de consommation de masse et répondre aux impératifs économiques dictés par la révolution industrielle l'orge a offert :

- une aire de production étendue allant de la péninsule scandinave au bassin méditerranéen,
- un cycle végétatif court (105 jours) autorisant des extensions de sa culture sous des climats à hiver long et rigoureux.



- une composition biochimique remarquable pour son utilisation en brasserie,
- une haute capacité germinative permettant des rendements élevés en malterie,
- une structure physique (grain vêtu) protégeant le grain et son embryon au cours des retournements au maltage, et facilitant la filtration du moût et de la drêche après la saccharification en salle à brasser,
- une activité amylolytique remarquable, alliée à une activité protéolytique indispensable lors du brassage.

A ces avantages naturels, sont venus se greffer les fruits de la recherche scientifique. L'orge est en effet un des produits biologiques les plus connus. Les nombreuses études effectuées sur cette céréale, sur sa culture, sur sa composition, sur sa transformation et sur son utilisation ont permis de sélectionner et d'améliorer des variétés particulièrement adaptées à la saccharification enzymatique.

Si l'orge est une source enzymatique pour la brasserie, c'est aussi la principale source de matières amylacées pour cette industrie. Or, il y a dualité entre le développement du pouvoir enzymatique de l'orge et le respect de la richesse du grain en amidon. En effet, le maltage indispensable à la mise en oeuvre de l'équipement enzymatique du grain puise dans l'endosperme l'énergie nécessaire à cette transformation. L'embryon du grain, pour assurer sa croissance possède l'avantage de pouvoir dégrader biochimiquement l'amidon. L'intérêt du brasseur est donc de laisser exécuter cette dégradation préliminaire pour faciliter liquéfaction et saccharification de l'amidon au cours du brassage. Cependant, le développement de cet embryon se fait au détriment de la réserve d'amidon initial contenu dans l'amande. Alors, l'intérêt du brasseur est de stopper cette germination, pour limiter cette perte quantitative d'extrait. Aussi, pour respecter l'art du malteur et préserver les intérêts du brasseur de nombreuses recherches ont porté sur l'incorporation de grains crus ou de succédanés riches en amidon ou en sucres fermentescibles. Ce compromis a été à l'origine de nombreuses querelles dans la corporation des brasseurs. Le poids de la tradition, qui depuis plusieurs siècles, associe intimement à l'idée même de bière l'utilisation de l'orge, de l'eau et du houblon n'est pas étranger à ces querelles.

La proportion légalement admise de grains crus (gritz de maïs, riz) ou de succédanés (glucose, saccharose) par rapport à la quantité de malt versé en chaudière varie selon des réglementations nationales. Du seuil de tolérance de 30% appliqué en France jusqu'à l'extrême rigueur du "Reinheitsgebot" des bières bavaroises qui depuis 1536 stipule que seuls de l'orge, de l'eau et du houblon doivent intervenir dans la fabrication de la bière, les législations sont l'affaire de chaque pays.

S'il est vrai que ces législations laissent une porte ouverte aux variations qualitatives, elles laissent aussi aux pays non producteurs d'orge une porte ouverte aux alternatives et aux innovations.

Dans les pays en développement en particulier, les productions d'orge sont rares ou inexistantes. Seuls les hauts plateaux, comme ceux de la crête Zaïre - Nil par exemple, disposent de climats suffisamment tempérés pour que sa culture y soit possible. Par contre, ils disposent tous de substrats amylicés variés, issus de céréales, de racines, de tubercules ou de fruits divers. Ce fameux pourcentage de 30% de grains crus pourrait être majoré et conduirait ces nations par la réduction des importations de malt d'orge à des économies substantielles en devises.

Dans ce contexte, notre contribution visera à déterminer par une méthode de brassage appropriée, les possibilités d'hydrolyser des amidons tropicaux.

Nous nous appuyerons pour cela sur la technique bien connue du brassin conventionnel que nous adapterons à la transformation en sucres fermentescibles de l'amidon de manioc sous forme de gari et de féculés.

Partant d'un apport constant en malt diastasique, nous chercherons à définir un diagramme de brassage permettant de fixer les limites du rapport enzymes-substrats.

### 3.2.1.2. Limites de l'analogie à la bière d'orge

Dans l'esprit précité, notre étude sur les alternatives technologiques de saccharification enzymatique de substrats amylicés tropicaux peut s'apparenter aux recherches qui ont été entreprises en Europe dans les années soixantes pour court-circuiter l'étape onéreuse du maltage de l'orge en utilisant des enzymes amylolytiques d'origine microbienne.

Rappelons que cette voie de recherche initiée par LINKO et al (1965) SALETAN (1968) et KLOPPER (1969) avec de l'orge non maltée et des enzymes issues de Bacillus subtilis a permis de montrer que dans le rapport 20% de malt et 80% d'orge crue, il était possible d'obtenir grâce à l'apport d'enzymes exogènes une bonne saccharification de l'amidon. Il a été démontré également que l'addition d'enzymes exogènes permettait de réduire la durée globale du brassage traditionnel. Comme le montre les figures suivantes, les paliers à l'empilage et à la saccharification peuvent être considérablement raccourcis.

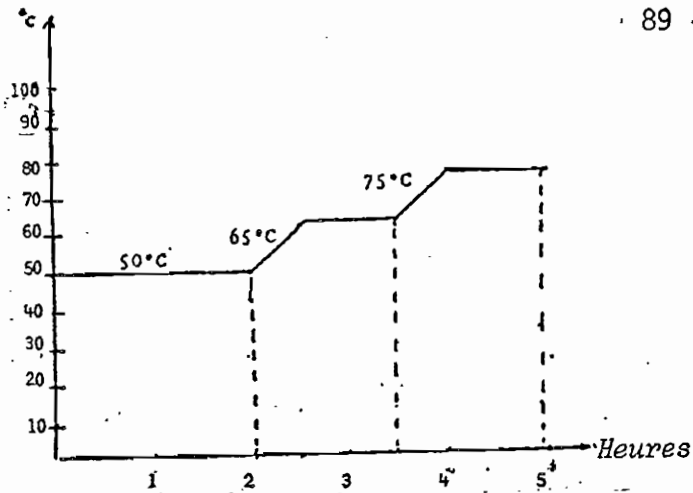


Figure n°27 : Diagramme de brassage normal pour le malt (méthode par infusion).

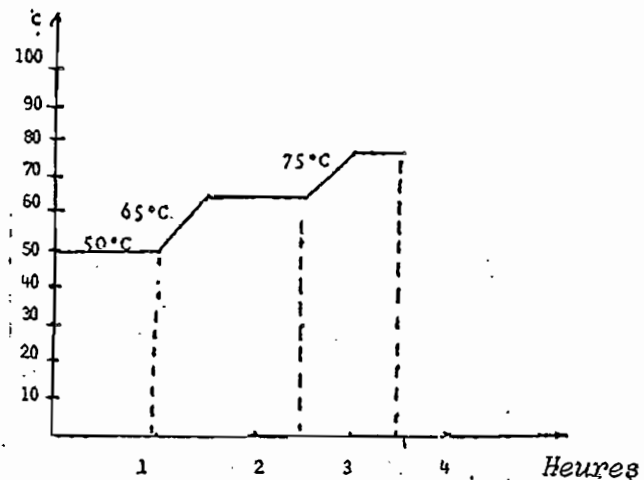


Figure n°28 : Diagramme de brassage pour l'orge, avec utilisation d'enzymes microbiennes.

Aussi, compte-tenu du gain en temps, en énergie et en matières premières onéreuses, cette nouvelle technique a favorisé le développement de l'industrie des enzymes d'origine bactérienne ou fongique. Actuellement, de nombreux extraits enzymatiques sont proposés aux brasseurs pour améliorer la protéolyse ou l'amylolyse. (NIELSEN - 1971).

Remarquons néanmoins, comme l'on fait BUTTON et PALMER (1974) (avec un versement 70% d'orge et 30% de malt + enzymes microbiennes), que la fermentescibilité des moûts obtenus par ces techniques est inférieure de 4 à 5% à celle d'un moût de malt pur.

Cette diminution en extrait fermentescible dans le cas du brassage de l'orge est encore un facteur limitant dans le développement de cette technique. Il est toutefois permis de penser que d'autres matières premières amylacées comme le manioc par exemple, dont l'amidon est plus facile à dégrader que celui de l'orge permettrait de pallier cet inconvénient. Citons à cette occasion les travaux de DE CLERK (1951) sur l'incorporation du manioc cru au brassage qui augmente la teneur en extrait. déjà RAUX (1940) présentait des résultats similaires.

Toutefois, dans notre recherche d'alternatives, nous ne poursuivons pas l'étude jusqu'au stade de la fermentescibilité des moûts obtenus et ceci pour deux raisons essentielles.

La première, c'est que notre objectif n'est pas d'obtenir une boisson fermentée, mais de proposer une alternative à la saccharification enzymatique des substrats amylacés.

La seconde, c'est que s'il est vrai que "L'on peut fabriquer une boisson fermentée avec n'importe quelle matière amylacée, on ne peut plus l'appeler bière" (1) sans encourir les foudres des professionnels de la brasserie et de la malterie, ce que nous voulons éviter.

Remarquons néanmoins qu'en matière de choix technologiques, il n'appartient pas aux professionnels de la brasserie occidentale d'imposer aux pays en développement la sacro-sainte bière d'orge maltée. Des initiatives africaines, zambienne en particulier ont en effet permis de fabriquer sous le nom de "Chibuku" une boisson fermentée à partir de maïs et d'enzymes exogènes qui correspond parfaitement aux goûts des populations concernées. Onze unités de fabrication industrielle de "Chibuku" couvrent le territoire zambien et brassent chaque année de l'ordre du million d'hectolitres.

(1) Citation de M. ZUGMEYER, Président de la Chambre Syndicale de la Malterie Française. Interview de Jeune Afrique - Economie - N° 18 (1983)

### 3.2.1.3. Recherches d'alternatives à l'orge maltée

Nous présenterons à ce niveau deux alternatives tropicales de sources enzymatiques :

#### ★ Les malts de céréales tropicales

Nous appuyant sur les technologies traditionnelles, nous étudierons les conditions générales de maltaçage de céréales tropicales et plus particulièrement celles appliquées au sorgho. Nous définirons à la manière des malteurs un mode de germination capable de développer un pouvoir amylolytique des graines.

Nous déterminerons les activités enzymatiques des malts obtenus que nous comparerons au malt d'orge.

Nous chercherons alors à adapter ces résultats au brassage du manioc, de façon à déterminer le rapport enzyme - substrat utilisable pour la préparation de jus sucrés.

#### ★ Une source végétale non conventionnelle

Dans le même souci de revalorisation des technologies traditionnelles, nous présenterons les potentialités de la technologie de saccharification des amidons par les enzymes présentes dans les racines du "Munkoyo". Nous préciserons à ce niveau les caractéristiques botaniques de cette papilionacée connue scientifiquement sous le nom d'Eminia.

Nous présenterons les travaux d'extraction, de purification et de caractérisation des enzymes contenues dans les racines d'Eminia. Nous identifierons les sucres fermentescibles formés par l'action d'Eminia sur de l'amidon soluble. Nous proposerons une technologie de brassage des amylicés tropicaux à l'aide du complexe enzymatique de cette plante. Enfin, nous comparerons les activités amylolytiques du malt d'orge et de l'Eminia.

### 3.2.1.4. Retombées scientifiques sur les techniques d'immobilisation

Les travaux entrepris sur la racine d'Eminia, nous ont permis de mettre en évidence la réutilisation de ces racines qui conservent leur activité amylolytique. La structure fibreuse de ces sites enzymatiques nous ont conduit à une étude nouvelle sur l'immobilisation *in situ* des amylases végétales. Nous présenterons les résultats relatifs à cette étude.

### 3.2.2. Analyses bibliographiques

#### 3.2.2.1. Amidons et amyloacés tropicaux

"L'amidon est après la cellulose, la principale substance glucidique synthétisée sous forme de réserve par les végétaux supérieurs à partir de l'énergie solaire".

En empruntant à MERCIER C. (1982) cette introduction, il m'est possible de souligner que l'énergie solaire est abondante sous les tropiques. Dès lors, rien d'étonnant à ce que les amyloacés soient la source énergétique dominante de l'alimentation des populations des pays tropicaux. La rose alimentaire de quelques uns de ces pays est significative. Nous en donnons ci-après un exemple.

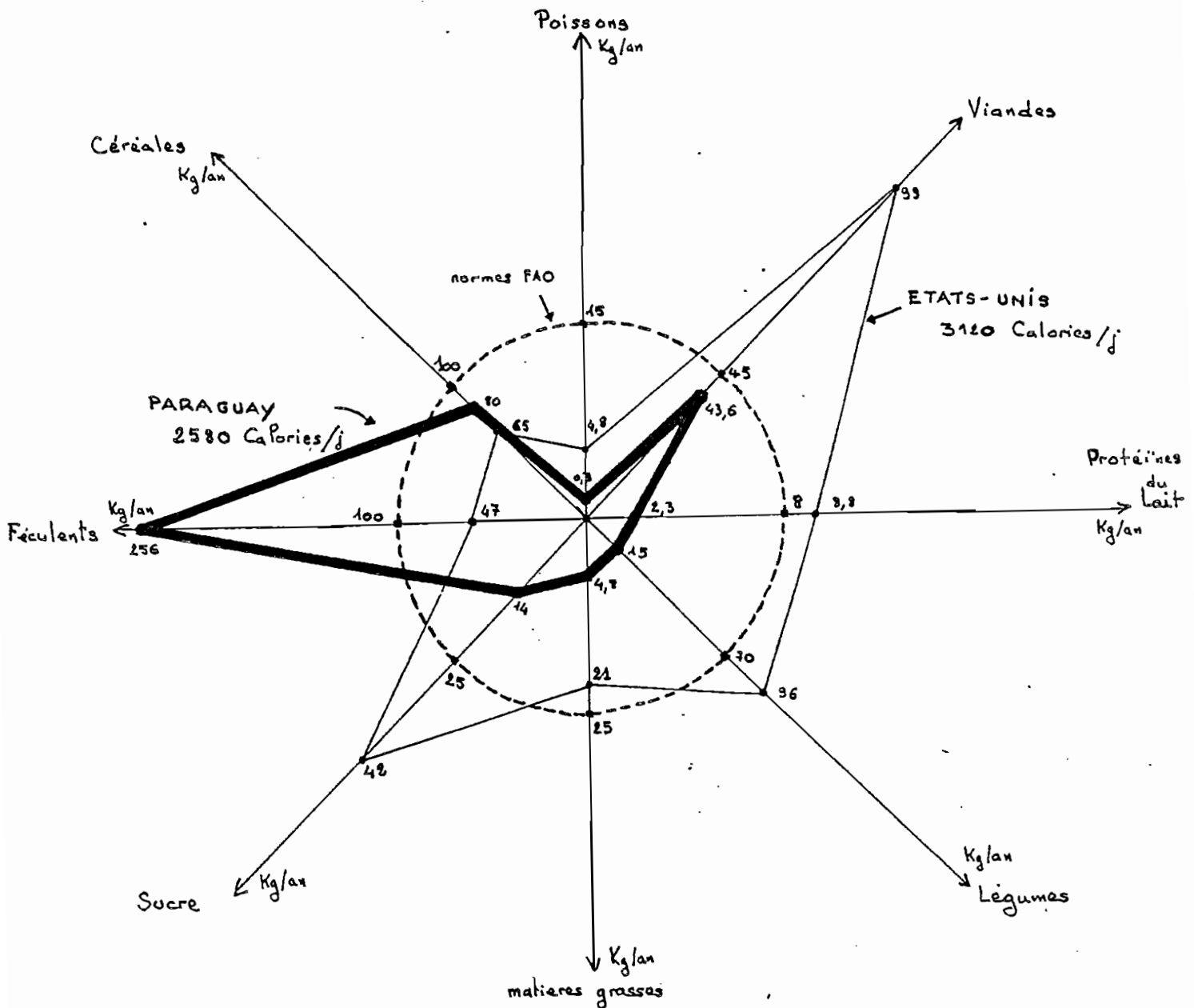


Figure N° 29 : Roses alimentaires des ETATS-UNIS et du PARAGUAY.

La source potentielle d'amidon dans ces pays est considérable. En examinant au travers du tableau suivant la teneur en amidon des principales productions d'amylacés, on constate le taux particulièrement élevé des racines de manioc. C'est essentiellement sur cet amidon que nous avons développé nos travaux d'hydrolyse enzymatique.

TABLEAU n° III : TENEUR, FORME ET DIMENSIONS DES AMIDONS DE GRAINS, GRAINES ET TUBERCULES. (1)

ORIGINE BOTANIQUE	AMIDON % M.S.	FORME	φ en μ
<b>Céréales</b>			
• Avoine vêtue .....	41.5 - 43.3		5 - 15
nue .....	63.8 - 67.0		
• Blé .....	67.2 - 68.4	Lenticulaire, polyédrique	2 - 38 (30)
• Maïs normal .....	71.0 - 74.0	Polyédrique	5 - 25
• Mil .....	68.0 - 69.6		
• Orge vêtue .....	54.8 - 59.3	Lenticulaire	2 - 5
nue .....	64.9 - 68.2		20 - 30
• Riz .....	74.6 - 88.0	Polyédrique	3 - 8
• Seigle .....	60.3	Lenticulaire	12 - 40
<b>Tubercules</b>			
• Igname .....	68.5 - 82.8	Polyédrique, sphérique, ovoïde	1 - 70
• Manioc .....	85.0 - 86.6	Hémisphérique, sphérique	5 - 35
• Patate douce .....	69.2 - 72.0	Polyédrique	10 - 25
• Pomme de terre .....	65.0 - 85.0	Ellipsoïdale	15 - 100
<b>Légumineuses</b>			
• Arachide .....	0.9 - 6.7		
• Fève - Féverole .....	30.0 - 43.0	Sphérique ovoïde	6 17 - 31
• Haricot .....	30.0 - 35.0	Réniforme	
• Lentille .....	55.0 - 68.0		
• Pois lisse .....	43.0 - 48.0	Réniforme (simple)	5 - 10
• Pois ridé .....	32.0 - 37.0	Rosette (composé)	30 - 40

Les travaux sur l'amidon et sur ses caractéristiques physico-chimiques sont nombreux. Nous ne citerons que ceux de GUILBOT (1961) ; GUILBOT et MERCIER (1962) et surtout MERCIER (1968) qui y a associé son doctorat. Le récent ouvrage de DUPRAT et al (1980) reprend les différents acquis.

Mais si l'hydrolyse enzymatique des amidons de céréales (orge, blé, maïs) ou de tubercules (pomme de terre) a été largement étudié, il n'en est pas de même pour l'amidon de la racine de manioc, du tubercule d'igname ou de patate douce.

On trouve toutefois, des analyses comparatives qui prennent en compte l'amidon de manioc. En particulier, il convient de citer l'ouvrage de BANKS et GREENWOOD (1975) d'où est extrait le tableau suivant qui révèle la remarquable caractéristique de cet amidon à être hydrolysé par la  $\beta$  amylase. Ce résultat confirme l'étude de HODGE (1958) sur l'hydrolyse de différentes source d'amylopectine à l'aide d'une  $\beta$  amylase du malt.

(1) Source : DUPRAT et al. (1980)

Tableau n° IV : COMPOSITION NON GLUCIDIQUE ET TENEUR EN AMYLOSE DE DIFFERENTS AMIDONS (Résultats exprimés p. 100 d'amidon sec). (1)

Amidon	Protéines (Nx6,25)	Lipides	Cendres	P	Amylose	Limite de $\beta$ amylolyse (2)
<i>Céréales</i>						
Avoine	0,24	1,3	-	-	27	77
Blé	0,33	1,12	0,3	0,05	26	68
Maïs cireux	0,10	0,23	0,1	0,003	<1	-
Maïs normal	0,30	0,61-0,65	0,1	0,015	28	78
Maïs riche en amylose	0,50	1,11	0,2	0,03	52-80	77
Orge	0,11	1,0	-	0,03	22	73
Riz	-	1,04	-	-	14-32	-
Seigle	-	0,54-0,62	-	-	-	72
<i>Tubercules</i>						
Manioc	0,1	0,1	0,3	-	17	95
Pomme de terre	0,05	0,09	0,3	0,04	23	76
<i>Légumineuses</i>						
Féverole	0,16	0,06	0,07	0,02	24	82
Pois lisse	0,19	0,18	0,05-0,22	0,04	35	81
Pois ridé	0,23	-	0,11	0,03	66	82
<i>Fruits</i>						
Banane	0,32	-	-	0,02	16	82
Mangue	0,25	-	-	0,02	24	77
Pomme	0,10	-	-	0,03	19	84

Parmi les premiers travaux systématiques sur la composition chimique du manioc, il convient de citer ici ADRIAENS et HESTERMANS (1954) qui ont travaillé dans les stations de l'INEAC (3) de l'ancien Congo-Belge. Puis PERISSE et al (1956) ont étudié in vivo et in vitro la digestibilité du manioc sous différentes formes : farine entière, farine blutée, fécule et gari. Ces travaux ont été repris et étendus à différentes plantes alimentaires au Sud CAMEROUN et présentés par FAVIER (1969).

Il est intéressant de mentionner ici que l'approche nutritionnelle de FAVIER est conforme à notre idée de prendre en compte les opérations technologiques traditionnelles dans l'étude scientifique d'un produit alimentaire. FAVIER (1973) y a consacré une grande part dans sa thèse sur la valeur alimentaire du Sorgho et du Manioc en complétant ses travaux antérieurs (FAVIER et al 1971).

- (1) Source : BANKS et GREENWOOD (1975).  
 (2) Exprimé en g de maltose pour 100 g d'amidon  
 (3) INEAC : Institut National d'Etudes Agronomiques du Congo.

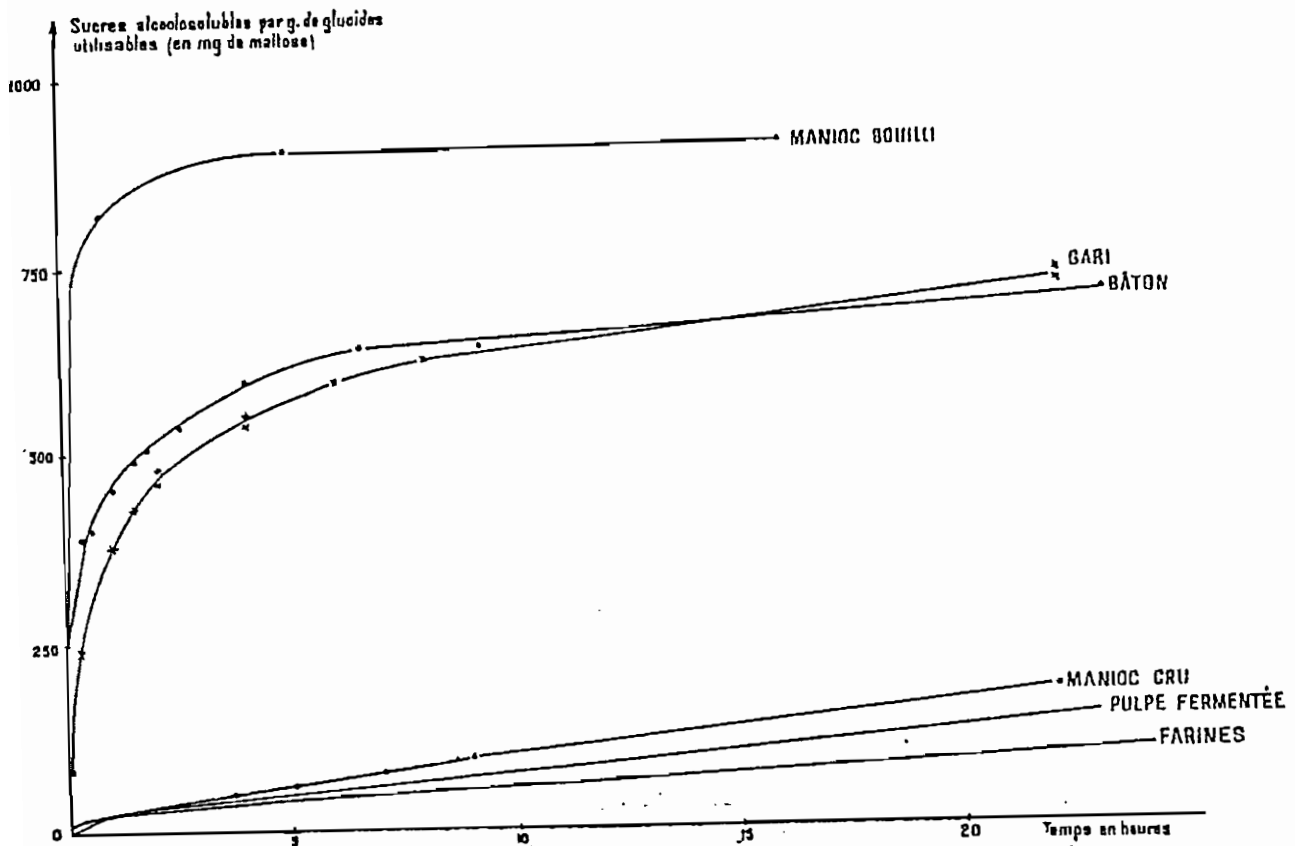


Figure N° 30 : Influence de la technologie sur la vitesse d' $\alpha$  amylolyse de l'amidon de manioc. D'après J.C. FAVIER (1969).

Enfin, les caractéristiques de ces amidons tropicaux vues sous l'aspect de la solubilité du gonflement et de l'action de l' $\alpha$  amylase ont été étudiées par DELPEUCH et al. (1979-1980). Dans cette dernière publication trente amidons de plantes alimentaires tropicales de divers genres, espèces et variétés sont analysés en fonction de leur sensibilité à l'hydrolyse  $\alpha$  amylasique. En général, il semble que les amidons tropicaux à petits grains et à faible teneur en amylose sont plus sensibles à l'action de l' $\alpha$  amylase que les autres amidons et possèdent les vitesses de solubilisation les plus faibles par rapport aux vitesses de gonflement.



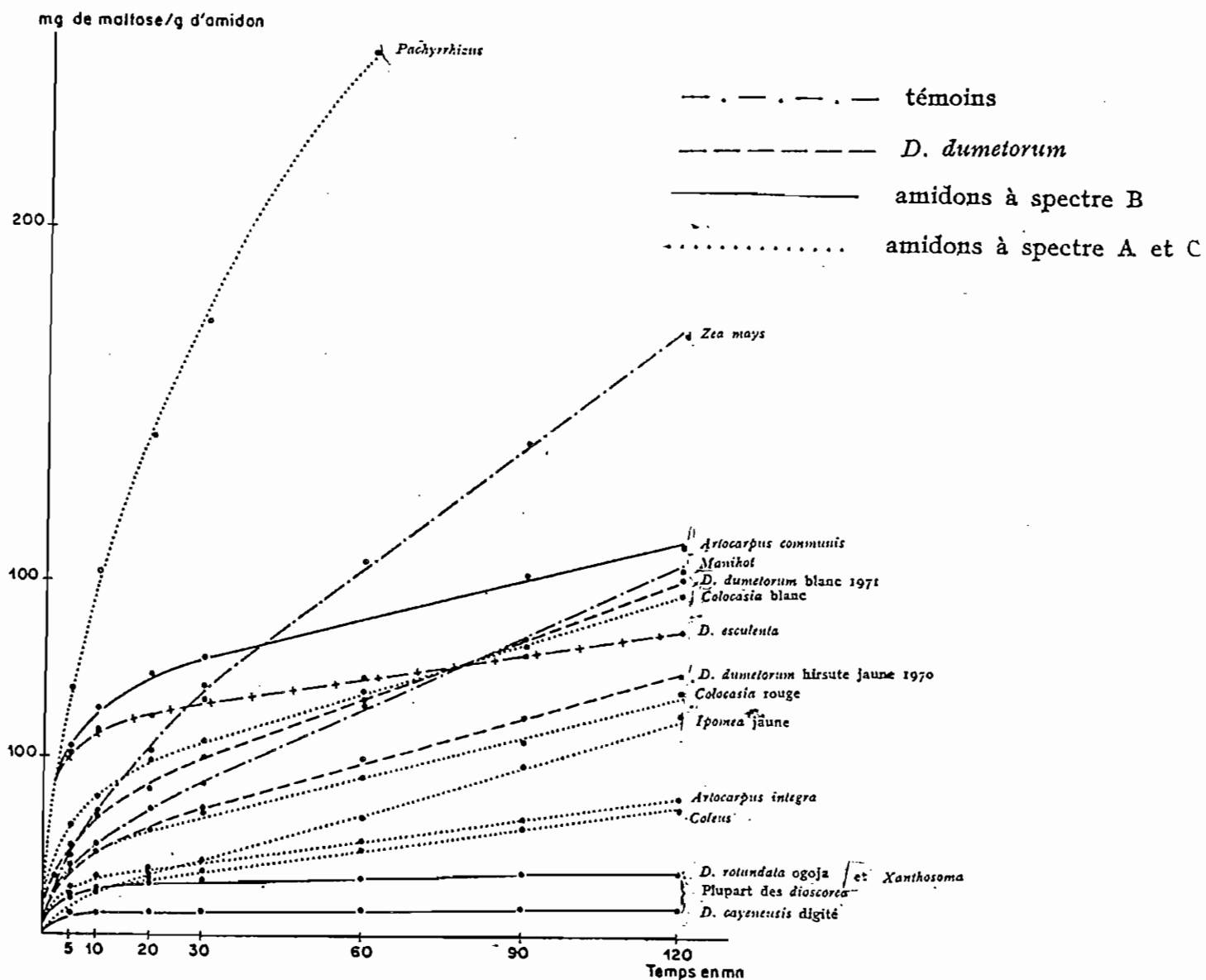


Figure N° 31: Cinétiques de la dégradation  $\alpha$ -amylasique d'amidons crus tropicaux.  
D'après DELPEUCH F. et al. (1979).

### 3.2.2.2. L'Orge : source enzymatique de référence

Le processus "diastasique" mis en jeu par les industries de la malterie et de la brasserie est dû aux molécules protéiques contenues dans l'orge germée. Après les travaux de KIRCHOFF en 1811 et ceux de PAYEN et PERSOZ en 1834, la première étude systématique sur les protéines végétales de l'orge a été conduite par OSBORNE (1895). Depuis, un grand nombre de travaux leur ont été consacrés. La définition des protéines végétales proposée par OSBORNE a permis d'établir leur classification en fonction de leur caractère de solubilité dans l'eau, les solutions alcalines, les alcools. Cette classification simple permet encore aujourd'hui de regrouper en albumines globulines et hordéïnes la plupart des constituants décelés par des techniques beaucoup plus élaborées que celles dont disposait OSBORNE. Bien des travaux, dont il n'est pas question de faire ici un inventaire exhaustif, ont mis en évidence l'intérêt des méthodes chromatographiques et électrophorétiques, voire plus récemment immuno-électrophorétiques dans l'étude des fractions protéiques de l'orge et sur leur évolution au cours de la germination. On pourra néanmoins se référer à ce sujet aux travaux déjà anciens de SCRIBAN (1951), ENARI (1961), DE CLERK (1962), HARRIS (1962), BRIGGS (1963), DAUSSANT (1966 a,b,c), et à ceux plus récents de MOLL (1979).

Rappelons brièvement que les activités  $\alpha$  et  $\beta$  amylasiques décelées dans les fractions protéiques de l'orge germées permettent la décomposition de l'amylose et de l'amylopectine de l'amidon de l'orge.

L'amylose constitue environ 20% de l'amidon d'orge. Il est formé d'une chaîne linéaire de molécules de maltose. En solution aqueuse, cette chaîne a tendance à s'enrouler. C'est à cette structure en hélice que l'on doit la coloration par l'iode de ce substrat (formation de clathrates de couleur bleue (1)). Les molécules d'iode se placent dans les alvéoles ainsi formées et ce composé absorbe fortement la lumière.

L'amylopectine (80% environ de l'amidon d'orge) est formée par l'enchaînement de maltose et d'isomaltose. Il en résulte un composé ramifié. Les chaînes principales et les chaînons latéraux en solution aqueuse ont une configuration hélicoïdale.

(1) Voir CHEFTEL J.C. et CHEFTEL H. (1984).

Les deux amylases extraites de l'orge maltée hydrolysent les liaisons  $\alpha$  1-4 des chaînes d'amidon.

L'une, agit comme une "exo-amylase" en détachant successivement les résidus de maltose à partir des extrémités non réductrices des chaînes d'amylose ou d'amylopectine. Au cours de cette hydrolyse, il y a une inversion (dite de WALDEN) de la structure stéréochimique des molécules de maltose. Aussi, cette amylase libère-t-elle des maltoses sous leur forme  $\beta$ , d'où son nom de  $\beta$  amylase.

L'autre, agit comme une "endo-amylase" en attaquant l'amylose et l'amylopectine au hasard; Cette hydrolyse s'effectue sans inversion de WALDEN. Aussi, les maltoses obtenus sont-ils sous leur forme  $\alpha$ ; d'où son nom  $\alpha$  amylase.

La  $\beta$  amylase agit rapidement d'abord, mais se trouve bloquée au voisinage d'une liaison 1-6. Il résulte de cette attaque sur l'amylopectine des dextrans dont la taille est encore assez élevée pour qu'elles soient colorées par l'iode. Ces  $\beta$  dextrans peuvent encore être hydrolysés par l' $\alpha$  amylase et l'action de la  $\beta$  amylase peut reprendre sur les produits de dégradation. Si ces produits sont linéaires, on obtiendra du maltose et du maltotriose (exceptionnellement du maltohexose). Si ces produits sont ramifiés, on obtiendra des dextrans limités qui ne seront plus attaqués, ni par l' $\alpha$  amylase, ni par la  $\beta$  amylase.

L' $\alpha$  amylase fait perdre rapidement au substrat sa viscosité. On l'appelle souvent pour cela amylase liquéfiant. Les dextrans produits sont de taille suffisamment petite pour ne plus être colorés par l'iode. Parmi les produits de la dégradation on trouvera du glucose, du maltose et des dextrans limités.

Ces rappels nous ont paru indispensables avant de citer quelques uns des travaux qui ont permis de mettre en évidence l'évolution des amylases de l'orge au cours de sa germination. Ils nous seront utiles pour comprendre l'intérêt de la présence des deux amylases dans la dégradation des substrats amyliacés tropicaux.

Nous savons depuis les travaux de SANDEGREN et KLANG (1950) complétés par ceux de POLLOCK et POOL (1958) que la quantité de  $\beta$  amylase croît considérablement au cours de la germination de l'orge ; mais elle est présente dans l'orge non germée. On sait également, depuis plus longtemps encore, et KNEEN et al (1941) l'ont précisé, que l'activité  $\alpha$  amyliasique est très faible, ou inexistante dans les graines des céréales non maltées et qu'elle ne se développe qu'au cours de la germination.

De nombreux travaux ont été consacrés à la mise en évidence de l'évolution des amylases de l'orge. Ils ont permis en particulier à GRABAR et DAUSSANT (1964) d'identifier par immunochimie le moment de la germination où se produisaient ces évolutions et de confirmer l'absence de précurseur d' $\alpha$  amylase dans l'orge non germée. Pourtant GREENWOOD et MAC GREGOR (1965) ont pu déceler une petite activité  $\alpha$  amyliasique sur l'orge non germée et en déduisent en conséquence que les deux types d'amylases préexistent avant germination. Nous voudrions suggérer à ce niveau que de la même façon que SALLANS et ANDERSON (1939) ont montré que la "résistance" de l'amidon d'orge à l'action de la "force vitale" du malt d'orge variait d'une orge à une autre, il conviendrait de rechercher les précurseurs d' $\alpha$  amylase sur les différentes variétés d'orge de brasserie.

Avant de passer aux travaux qui ont permis de maîtriser les différents modes de maltage de l'orge ; il convient de faire une remarque sur le dosage des activités  $\alpha$  et  $\beta$  amylasiques. La méthode la plus connue et la plus courante dite du "pouvoir diastasiq" attribuée à WINDISH-KOLBACH utilise un substrat amylicé conventionnel qui est l'amidon de pomme-de-terre. Deux remarques s'imposent. La première est que la méthode WINDISH-KOLBACH mesure principalement l'activité de la  $\beta$  amylase. Le fait de travailler à pH = 4,3 et à la température de 20° C très éloignée des conditions optimales d'hydrolyse limite quand même l'action de l' $\alpha$  amylase mais sans toutefois la nier complètement. La deuxième est que l'attaque des amylases n'est pas rigoureusement la même sur tous les amidons. Les amidons de céréales sont plus ou moins résistants à leurs actions. Les amidons de tubercules s'attaquent plus facilement. Nous verrons ces variations dans l'étude bibliographique consacrée aux amylicés tropicaux.

Ici, pour en revenir aux caractéristiques des  $\alpha$  et  $\beta$  amylases extraites de l'orge, il convient de rappeler comme le fait SCRIBAN (1966) que la température optimale d'action de la  $\beta$  amylase est de 57° C pour un pH de 5 ; que la température optimale d'action de l' $\alpha$  amylase est de 50-55° C pour un pH de 4,7 à 5,4.

Rappelons également qu'aux USA et en Angleterre, le maltose formé est dosé non pas au moyen d'une solution d'hyposulfite, mais par le ferricyanure de potassium et que l'on exprime le résultat en degré Lintner.

D'après HOPKINS, HIND et DAY (1934) existe la relation suivante entre degré WINDISCH-KOLBACH (W.K.) et degré LINTNER (L)

$$\text{Degrés W.K} = (3,5 \times \text{D}^\circ\text{L}) - 16$$

Aux USA, on estime que 1 D°L = 4 D°W.K. et le comité des analyses de l'European Brewery Convention (E.B.C.) signale que le facteur de conversion moyen est de 1° DL = 3,3 D°W.K. avec des variations allant de 2,9 à 3,6.

Il existe d'autres méthodes pour mesurer les activités amylicsiques totales comme celle de GRAESSER et DAX (1946) ; BENDELOW (1963) ou celle de l'Américan Society of Brewers and Chemists, citée par MEREDITH (1965). Des méthodes particulières pour estimer l'activité  $\beta$ -amylicsique comme celle de KIRSOP (1953) ou pour mesurer l'activité  $\alpha$ -amylicsique comme celle de CARROL (1952) utilisant le rouge congo comme indicateur, ou celle encore de PERTEN (1964) dite du "Falling number" utilisant la perte de viscosité, ont été mises au point. Nous retiendrons pour notre part la méthode de BENDELOW (1963) qui utilise le réactif acide D.N.S. (acide 3-5 dinitro salicylique) pour former un composé coloré avec le sucre réducteur produit par l'action hydrolytique combinée des  $\alpha$  et  $\beta$  - amylases sur l'amidon.

Repris par NUMMI et al. (1965) ces travaux ont conduit à la mise en évidence sur gel de sephadex G100 que la  $\beta$  amylase de l'orge est composée en fait de quatre groupes d'enzymes de tailles moléculaires différentes. Les résultats de ce fractionnement rapportés sur la figure suivante permettent de voir également que le malt vert ne comporte plus qu'une famille de molécule de taille la plus petite. Il en est de même pour le malt touraillé mais l'activité enzymatique est de plus fortement abaissée.

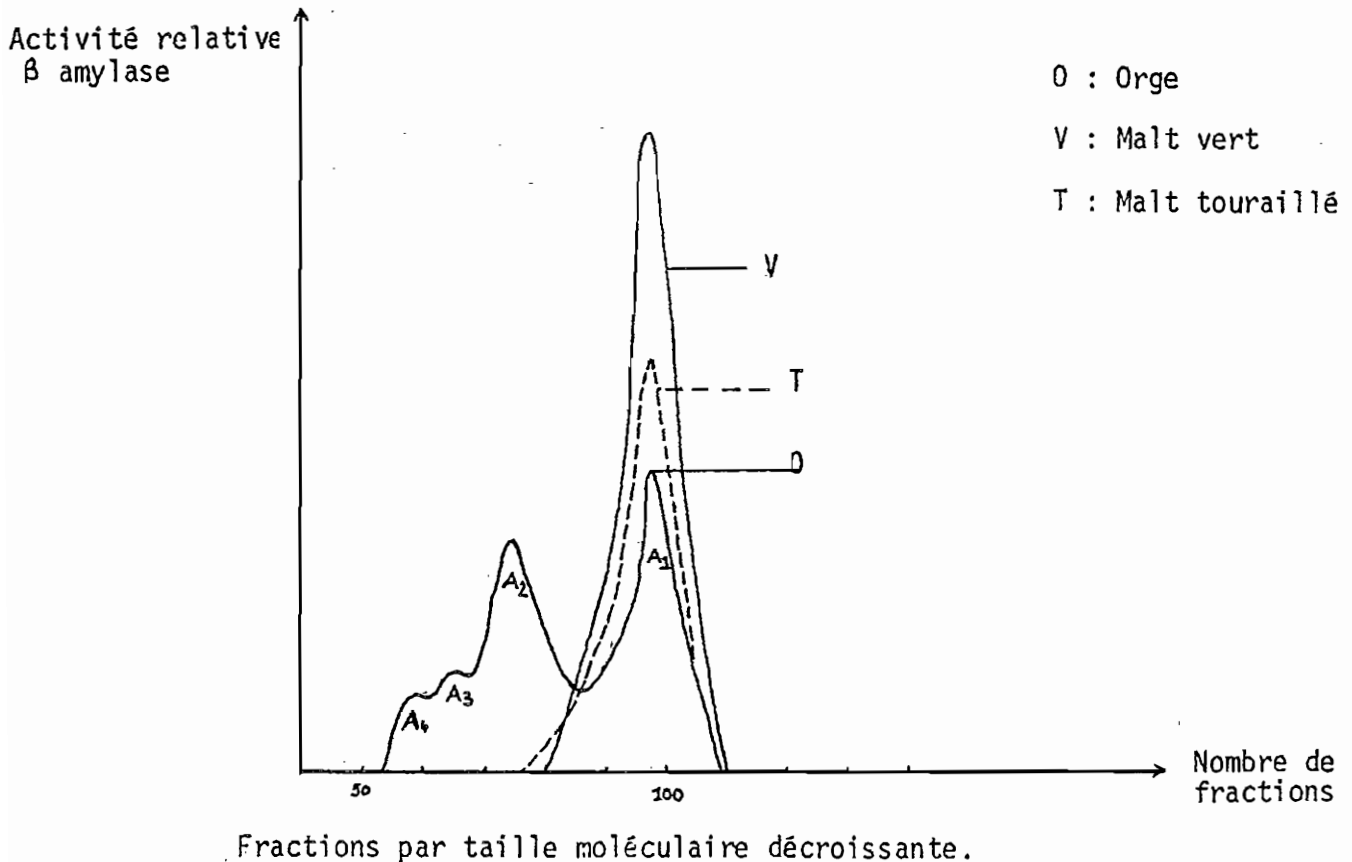


Figure N°32 : Fractionnement sur gel de sephadex de la  $\beta$  amylase extraite de l'orge du malt vert et du malt touraillé.

Les remarques précédentes nous permettent de souligner que les méthodes conventionnelles de détermination des activités amylasiques n'échappent pas aux critiques. Elles ont donc une valeur limitée. Un vaste domaine reste à explorer. D'abord celui de la "résistance" de l'amidon en fonction de son origine, des variétés et sans doute des conditions agronomiques de leur culture. Ensuite, celui du taux d'amylose dans les amidons, avec la possibilité de sélectionner les orges très riches en amylose. Enfin, celui du rôle effectif du ratio  $\alpha/\beta$  amylase sur l'amylolyse.

Rappelons à ce sujet que SCRIBAN (1962) a trouvé une corrélation statistique négative très hautement significative entre le ratio  $\frac{\alpha}{\beta}$  amylase et l'extrait Hartong à 45° C, il a trouvé de même une corrélation statistique positive elle aussi très hautement significative entre l'extrait Hartong à 45° C et la teneur du malt en alpha-amylase déterminée par la méthode de l'A.S.B.C. Aussi, recommande-t-il aux brasseurs ce test Hartong pour déterminer rapidement au laboratoire les activités amylasiques globales.

Pour terminer cette brève étude bibliographique sur les amylases de l'orge et du malt (en excluant les autres enzymes pourtant présentes comme les oxydo-réductases (catalase, peroxydase, lipoxygénase) et les autres hydrolases (lipase, phosphatase, phytase,  $\beta$  glucanases,  $\alpha$  et  $\beta$  glucosidases), il convient de souligner que ces enzymes ne se développent que si la germination se déroule correctement et complètement. Cela exige en conséquence de "lever" le phénomène de dormance de l'orge. De nombreux composés chimiques permettent d'obtenir ce résultat. Signalons en particulier l'acide gibberellique qui a été le plus étudié. YOMO (1960) cité par SCRIBAN (1966) a montré que la gibberelline active la formation d' $\alpha$  amylase. Ces résultats ont été développés par MAC GREGOR (1978) et apparaissent sur le graphique suivant.

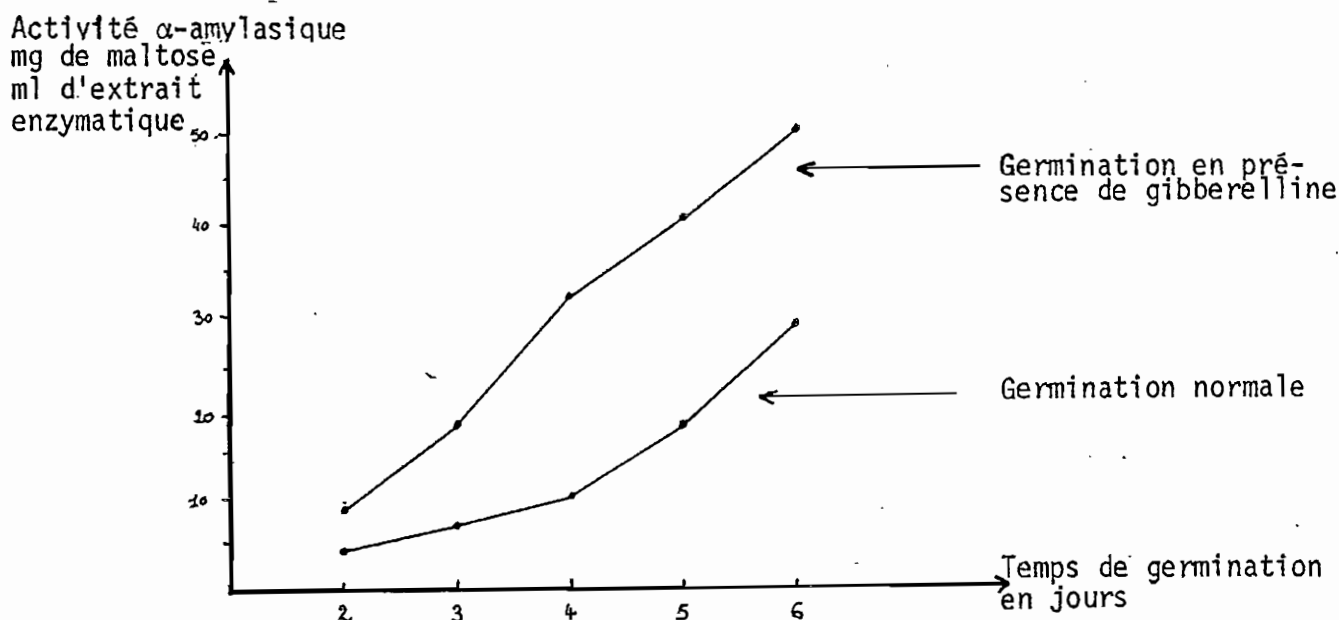


Figure N° 33 : Action de la gibberelline lors de la germination sur l'activité  $\alpha$ -amylasique de l'orge.

Les travaux les plus récents de LE DEUNFF (1983), THOMAS et al (1983); CHAPUIS et al (1983), confirment ces résultats. LE DEUNFF et al (1984) précisent que si la gibberelline permet une stimulation des activités  $\alpha$  et  $\beta$  amylasiques à des doses faibles, elle ne favorise la levée de la dormance des graines qu'à des concentrations trop importantes pour être recommandable en malterie. Ils proposent l'utilisation de l'alcool éthylique qui exerce une influence très bénéfique sur la levée de dormance à des concentrations relativement basses. L'éthanol permet une très bonne homogénéisation de la germination. Les résultats conduisent à plus de 92 % de graines pointées après 48 heures d'imbibition sur l'éthanol à 3 % et 20° C. Il faut ajouter ici que LENOIR et al (1983 a.b.) ont montré qu'à 15° C les résultats sont meilleurs encore, l'abaissement de la température ajoutant son influence à celle de l'éthanol.

### 3.2.2.3. Recherches d'alternatives à l'orge maltée

#### 3.2.2.3.1. Malts de céréales tropicales

Si les qualités demandées au malt d'orge par les brasseurs sont bien connues et ont fait l'objet de très nombreuses publications, il n'en est pas de même pour les malts d'autres céréales. C'est néanmoins au sujet d'une céréale tropicale, le sorgho que l'on trouve le plus d'études. En effet, cette céréale couramment utilisée pour la préparation de diverses boissons alcoolisées a incité quelques chercheurs à étudier sa germination et son maltage. En particulier, la bière bantoue d'Afrique du Sud, connue sous le nom de Kaffir beer, a conduit NOVELLIE (1956 à 1977) à une série d'études sur le maltage et le brassage du Kaffircorn (sorgho). NOVELLIE cite et analyse les travaux antérieurs de NORRIS et al (1923), de VISWANATH et al (1925), puis ceux de KNEEN et al (1941, 1942) et KNEEN (1944, 1945). Ils attestent que le maltage du sorgho est plus difficile à conduire que le maltage de l'orge, car il exige une température et une humidité plus élevées pendant la germination et ne permet pas d'atteindre des activités amylasiques aussi importantes que celles obtenues avec l'orge. En particulier, le compromis recherché par des malteurs entre teneur en extrait et pouvoir enzymatique de l'orge maltée est dans le cas du sorgho encore plus difficile. En effet, à température et humidité élevée la germination est plus active, mais puise dans l'endosperme une quantité importante d'extrait.

Les conditions de maltage préconisées par NOVELLIE varient en fonction de la variété du grain utilisé, de sa maturité et de la saison de sa récolte. Néanmoins, les résultats qu'il a obtenu en terme de pouvoir diastasique permettent de fixer les conditions générales suivantes :

- trempage : : 24 heures sous eau à 30° C
- germination : 7 jours avec 2 retournements et 2 arrosages par jour à 30° C
- séchage : 24 heures par ventilation d'air chaud à 50° C

Dans ces conditions, avec la variété Framida, NOVELLIE (1962) pu obtenir des pouvoirs diastasiques maxima de l'ordre de 100 KDU/g. (Kaffircorn diastasic units par gramme de malt (en MS)). Cette unité a été proposée par NOVELLIE (1956) pour tenir compte simplement des modifications qu'il a introduit dans la méthode de l'American Society of Brewing Chemist (A.S.B.C.) et notamment le changement de température de 20 à 30° C. Approximativement, la relation qui lie les degrés Lintner de l'A.S.B.C. à ceux de NOVELLIE est la suivante :

$$1 \text{ degré Lintner} \approx \frac{1}{2} \text{ KDU}$$

Les tableaux n° V, VI, VII, VIII, illustrent les résultats obtenus par NOVELLIE lors des essais de maltage qu'il a effectué dans les conditions précitées.

TABLEAU N° V - INFLUENCE DE LA TEMPERATURE AU COURS DE LE TREMPE ET DE LA GERMINATION -

Température de la trempe °C	Température de la germination °C	Pouvoir diastasique en KDU/g après germination de			
		5 jours	6 jours	7 jours	8 jours
20	20	-	24	33,2	35,6
30	20	-	25,6	34,8	40
20	30	54,5	58,6	67,4	-
30	30	65,2	-	-	65,9

TABLEAU N° VI - INFLUENCE DE LA TEMPERATURE AU COURS DE LA GERMINATION

Nombre de jours de germination	Pouvoir diastasique en KDU/g à			
	20° C	25° C	30° C	35° C
5	30,7	62,0	76,6	53
6	41,6	68,7	74,2	56,4
7	53,3	79,3	78,9	59,7
8	56,3	76,4	76,7	52,9

TABLEAU N° VII - INFLUENCE DE L'HUMIDITE AU COURS DE LA GERMINATION

Nb de jours de germination	Pouvoirs diastasique en KDU/g à	
	faible humidité	forte humidité
1	10,6	11,3
2	29,8	35,5
3	36,3	58,2
4	48,2	73,5
5	66,1	87,9
7	73,7	57,1

TABLEAU N° VIII - INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE SECHAGE APRES GERMINATION

θ° de séchage	Pouvoir diastasique en KDU/g
35° C sous vide	58
40° C " "	53,4
50° C " "	55,9
60° C " "	53,4
70° C " "	31,3



En reprenant ces résultats en termes de pertes au maltage NOVELIE (1967) insiste tout particulièrement sur l'humidité au cours de la germination qu'il convient de contrôler rigoureusement si l'on veut éviter des freintes excessives. Il conclut que de toute façon, si les malteurs d'orge considèrent comme raisonnable les pertes par respiration du grain au cours du maltage à 10%, il convient d'être moins exigeant avec un malt de sorgho pour lequel une freinte de 15% est difficile à ne pas dépasser si l'on veut conserver une activité amylasique acceptable. Les résultats qu'il obtient permettent de fixer l'humidité en fin de germination (le 7ème jour) dans la fourchette 60 - 70% .

Le tableau IX suivant exprime ces résultats :

TABLEAU N° IX - INFLUENCE DE L'HUMIDITE EN FIN DE GERMINATION

% d'humidité à la fin de la germination	Pouvoir diastasique en KDU/g
52,7	50,9
61,1	76,5
70,9	82,8
84,1	57,1

Dans une étude comparative entre malt de sorgho et malt de maïs KHAN A. - KOLTE A.V. et SHIRALKAR N.D. (1977) montrent que l'addition dans l'eau de trempage de 0,3 % d'ammoniaque favorisait l'absorption d'humidité du grain et minimisait les pertes au maltage. NIRMALA et al (1977) confirment la perte d'activité pour une humidité en fin de maltage supérieure à 65 %

BOTES et al (1967 a.b.) se sont intéressés à la purification des  $\alpha$  et  $\beta$  amylases du malt de sorgho et leurs travaux ont permis de séparer ces deux amylases qui ont des caractéristiques très voisines des amylases de l'orge maltée.

Les travaux de NOVELLIE, ont également porté sur le brassage puis sur la fermentation (1966) du Kaffir beer. Ils ont synthétisés dans deux publications plus récentes. (NOVELLIE 1968-1977).

D'autres auteurs comme DAIBER et al (1973) ont apporté des compléments aux études précitées notamment en étudiant l'influence du maltage sur la dureté du malt de sorgho et son importance pour le brassage de la bière bantoue. DAIBER (1975) a étudié également l'inhibition enzymatique du malt de sorgho par les polyphénols.

Malgré ces travaux, tous relatifs au Kaffircorn, il y a peu d'informations et d'études sur les autres sorghos utilisés pour les autres types de bières de sorgho pourtant largement consommées comme le Buruku au NIGERIA.

Il convient néanmoins de citer à ce sujet FAPARUSI (1970) qui a étudié la formation des sucres fermentescibles pendant la fabrication du Burukutu. Plus récemment KETIKU et al (1977) ont complété par une étude chimique de la composition de cette boisson fermentée nigérienne les résultats précédents. Les travaux sur le maltage du sorgho sont toutefois repris avec AISIEN (1982) au Nigéria. Il a étudié la modification de l'endosperme du sorgho et l'augmentation des activités des amylases, endo  $\alpha$  glucanases, dextrinase et endoprotéase. L' $\alpha$  amylase est de loin l'enzyme dominante. Puis TAYLOR (1983) signalant l'intérêt croissant d'utilisation du malt de sorgho dans les pays non producteurs d'orge a repris les travaux de DAIBER et al (1973) et a étudié l'effet du maltage sur la composition en protéines et en acides aminés du grain de sorgho.

Mis à part les travaux sur le sorgho, quelques études traitent du maltage d'autres céréales. Citons en particulier LINEBACK et al. (1977) qui ont étudié l'influence de la germination du blé, de l'avoine et du mil perlé sur l'activité  $\alpha$  amylasique et la dégradation de l'amidon. Ils soulignent que malgré une activité assez importante, la dégradation enzymatique de ces trois céréales est relativement faible.

Il semble qu'en ce qui concerne le mil, la présence d'inhibiteur amylasique ait été mise en évidence par CHANDRAESEKHER et al. (1981). Cet inhibiteur peut être éliminé par un traitement à la pepsine. Dans le cas du sorgho CHUKWURA et MULLER (1982) ont montré que l'acide tannique était un inhibiteur de l'activité amylasique.

Quelques travaux enfin, ont été conduits pour comparer des activités amylasiques de céréales tropicales avec l'orge. Citons JAIN et DATE (1975) qui ont comparé orge, sorgho et mil malté. Ils mettent en évidence que le pouvoir amylasique se développe, plus vite pour le sorgho et pour le mil, mais que cette activité diminue après 32 heures alors que pour l'orge elle continue à croître après 72 heures. Ces travaux confirment ceux de SHEORAIN et WAGLE (1973) qui ont pu vérifier que l'activité  $\beta$  amylasique du mil et de l'orge évoluait comme l'illustre la figure suivante.

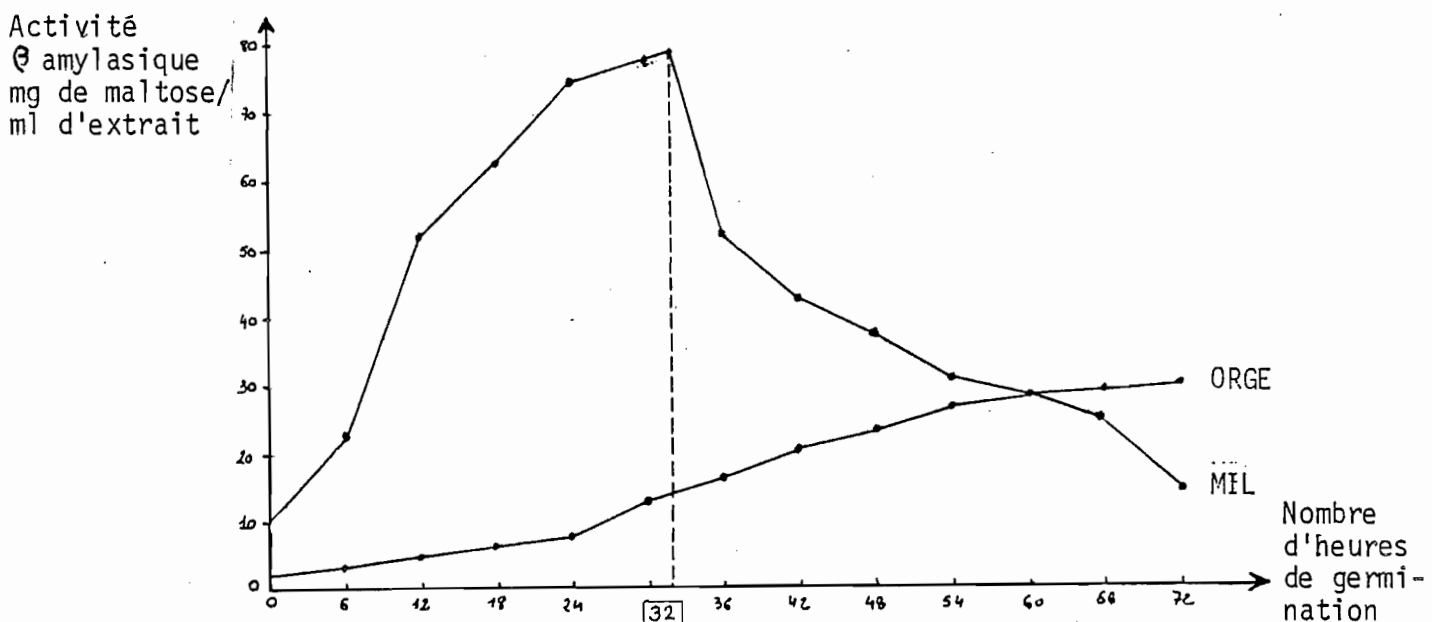


Figure N° 34 : Evolution comparée de l'activité  $\beta$  amylasique de l'orge et du mil

3.2.2.3.2. Une source enzymatique non conventionnelle : le Munkoyo

3.2.2.3.2.1. Classification des enzymes amylolytiques

La chimie enzymatique a considérablement évoluée depuis que PAYEN et PERSOZ ont isolé en 1833 la première diastase du malt. Ces auteurs étaient loin de penser que les travaux qui allaient suivre leur découverte conduiraient BARWALD (1971) à recenser 55 "diastases" différentes dans l'orge et le malt.

Cette prolifération d'enzymes ne permet plus aujourd'hui de se contenter d'ajouter le suffixe "ase" ou "ine" aux noms d'un substrat pour identifier son catalyseur biologique spécifique. Aussi, bien que les noms consacrés par l'usage comme maltase, uréase, pepsine ou papaïne soient encore largement utilisés, ils cachent une classification systématique introduite par l'Union Internationale de biochimie en 1961. Ainsi, les enzymes responsables de la dégradation de l'amidon classées sous le vocable "glucosidases" sont inventoriées sous la rubrique E.C. 321. Trois groupes distincts permettent de les identifier en fonction de leur spécificité à hydrolyser les liaisons  $\alpha(1-4)$  ;  $\alpha(1-6)$  ou à la fois les liaisons  $\alpha(1-4)$  et  $\alpha(1-6)$  des chaînes d'amylose et d'amylopectine.

Le tableau suivant, publié par MERCIER (1982), donne les caractéristiques de ces enzymes, conformément à la dernière nomenclature officielle des enzymes de 1978.

Tableau n°X : CARACTERISTIQUES DES ENZYMES DEGRADANT L'AMIDON

Enzymes	Origine	Poids moléculaire	pH optimum d'action	Type de liaison hydrolysée	Type d'attaque	Plus petit substrat	Produits terminaux de dégradation de	
							l'amylose	l'amylopectine
$\alpha$ -amylase (E.C.3.2.1.1)	— Salive humaine — Pancréas de porc — Aspergillus oryzae — Bacillus subtilis — Malt d'orge	— 51 000 52 000 96 500 59 000	6.9 6.9 5.5 - 5.9 6.0 4.7 - 5.4	$\alpha(1-4)$	endo		Glucose Maltose	$\begin{array}{c} \text{O} \\   \\ \text{O}-\text{O}' \\   \quad   \\ \text{O} \quad \text{O} \\   \quad   \\ \text{O}-\text{O}' \end{array}$
$\beta$ -amylase (E.C.3.2.1.2)	Végétaux — patate douce — orge Microbienne	200 000 80 000 160 000	4.5 - 6.0 5.2 5.0 - 7.5	$\alpha(1-4)$	exo	$\text{O}-\text{O}'-\beta$	Chaînes à nombre Glucose Pair Impair Traces de glucose Maltose Maltose	Maltose- $\beta$ -dextrine limite
Pullulanase (E.C.3.2.1.41)	Bactérienne	145 000	6.0	$\alpha(1-6)$	endo	$\begin{array}{c} \text{O} \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{O}-\beta \end{array}$	néant	Chaînes linéaires
Isoamylase (E.C.3.2.1.63)	Bactérienne	95 000	3.5	$\alpha(1-6)$	endo	$\begin{array}{c} \text{O} \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{O}-\beta \end{array}$	néant	Chaînes linéaires
Amyloglucosidase ou Glucosyl- amylase (E.C.3.2.1.3)	Bactérienne	95 000	4.5	$\alpha(1-4)$ $\alpha(1-6)$	exo	$\text{O}-\beta'$	Glucose	Glucose

### 3.2.2.3.2.2. Les enzymes amylolytiques d'origine microbienne

Bien que les enzymes d'origine végétale soient les premières à avoir été étudiées, c'est la découverte dans les années 1950-1960 de nombreuses enzymes amylolytiques microbiennes qui a provoqué le spectaculaire développement de la sucrochimie de l'amidon.

C'est en particulier, les américains FRENCH et KNAPP (1950) qui ont trouvé les premières enzymes microbiennes provenant du genre Rhizopus capable d'hydrolyser simultanément les liaisons  $\alpha$  (1-4) et  $\alpha$  (1-6). Puis d'autres équipes ont mis en évidence cette spécificité dans de très nombreux souches de microorganismes et tout particulièrement dans les moisissures d'Aspergillus Niger. Ces amyloglucosidases encore appelées glucoamylases, glucamylases ou  $\gamma$ amylases hydrolysant aussi bien l'amylose que l'amylopectine, ont conduit à la mise en évidence d'autres enzymes amylolytiques d'origine microbienne.

Ainsi, les enzymes spécifiques des liaisons  $\alpha$  (1-4) comme l' $\alpha$  amylase du malt que l'on croyait bien connaître est à présent extraite industriellement de Bacillus Licheniformis et reste stable à très haute température ( $105^\circ - 110^\circ$ ) et à pH neutre (6,0 - 6,5). La  $\beta$  amylase longtemps extraite de l'orge ou de la patate douce connaît aussi des homologues microbiennes chez Bacillus Polymyxa, Bacillus Cereus ou chez certaines espèces de Streptomyces et de Pseudomonas. Son intérêt par rapport à celles d'origine végétale est sa facilité de purification et son action à des températures ( $60^\circ - 70^\circ$  C) et à des pH (7 - 7,5) plus élevés que ceux des équivalents végétaux.

De même, les enzymes spécifiques des liaisons  $\alpha$  (1-6) sont produites par les microorganismes. Aussi, bien que la R-enzyme déramifiante ait été mise en évidence dès 1951 chez la pomme de terre par l'équipe anglaise de HOBSON (1951), c'est la découverte en 1961 par BENDER et WALLENFELS (1961) d'une enzyme similaire issue d'Enterobacter Aerogenes qui a suscité le plus grand nombre de travaux. Purifiée et cristallisée par MERCIER et al (1972) elle fut appelée Pullulanase en raison de son aptitude à produire du maltotriose à partir du pullulane, un  $\alpha$  glucane produit par la levure Pullularia pullulans et constitué par des séquences de maltotriose reliées entre elles par des liaisons  $\alpha$  (1-6). Depuis, ces travaux, d'autres enzymes analogues ont été découvertes dans Echerichia Intermedia, Streptococcus Mitis et certaines espèces de Streptomyces. Une autre enzyme déramifiante à spécificité complémentaire de la Pullulanase a aussi été découverte à partir d'une culture d'une espèce de Pseudomonas par le japonais HARADA et al. (1968). Puis GUNJA-SMITH et al. (1970) ont isolé la même spécificité chez Cytophaga. Cette nouvelle enzyme appelée isoamylase, alliée à la Pullulanase complète à 100% les actions dextrinisante et saccharifiante des  $\alpha$  et  $\beta$  amylases. Cette complémentarité a été largement utilisée au Japon par la firme HAYASHIBARA pour la production industrielle de sirop riche en maltose.

Il convient encore de mentionner que grâce à la découverte d'une glucose-isomérase produite à partir de Bacillus coagulans par les Danois de la firme NOVO depuis 1974, la production de sirop à haute teneur en fructose a fait faire un pas considérable à la sucrochimie moderne.

Enfin, cette brève revue des enzymes amylolytique serait incomplète si l'on ne citait l'amylase de Bacillus Macerans qui conduit à l'obtention des fameuses dextrines dites de SHARDINGER composées de 6 ou 7 unités anhydroglucose reliées en  $\alpha$  (1-4) sous forme cyclique. Ces  $\alpha$  dextrines sont capables de former des complexes en formant les vitamines liposolubles K<sub>3</sub> et D<sub>3</sub> en les rendant ainsi plus stables. Elles sont également proposées comme support d'arômes alimentaires.

En résumé, on constate que les récentes découvertes des enzymes microbiennes ont en quelques années permis de préparer industriellement du glucose, du fructose, du maltose, des maltotrioses, des malto-dextrines et dans divers domaines des industries alimentaires et chimiques (OSTERGAAD - 1982) et bien sûr, tout particulièrement dans les industries de boissons PILNIK (1982).

### 3.2.2.3.2.3. Les enzymes de l'Eminia Polyadenia : "Munkoyo"

Certes, le monde microbien est immense et les enzymes qu'il peut produire présente beaucoup d'intérêt, mais nous voudrions insister ici sur les richesses potentielles du monde végétal non encore étudié. Lui aussi est immense et il est loin d'avoir été épuisé. Notamment en milieu tropical, de nombreuses espèces végétales renferment des complexes enzymatiques qui pourraient eux aussi contribuer à la diversification de la sucrochimie moderne. C'est dans cet esprit que nous voulons présenter à présent les enzymes d'Eminia que nous avons signalées dans le chapitre relatif au pluralisme technologique. Il nous paraît utile à ce niveau de présenter les quelques études qui concerne cette papilionacée.

#### ★ Description botanique

Du point de vue botanique, cette papilionacée de la famille des "Phaseolaea" comprend plusieurs variétés.

HAMAN (1954), dans la flore du Congo-Belge et du Rwanda - Urundi), signale au genre Eminia cinq espèces :

E. Antennulifera Taub  
E. Harmsiana de Wild  
E. Holubii Taub  
E. Major Harms  
E. Polyadenia Hauman

dont l'aire de dispersion a été étudiée par BERNIER (1960). Elles sont toutes situées en Afrique Tropicale.

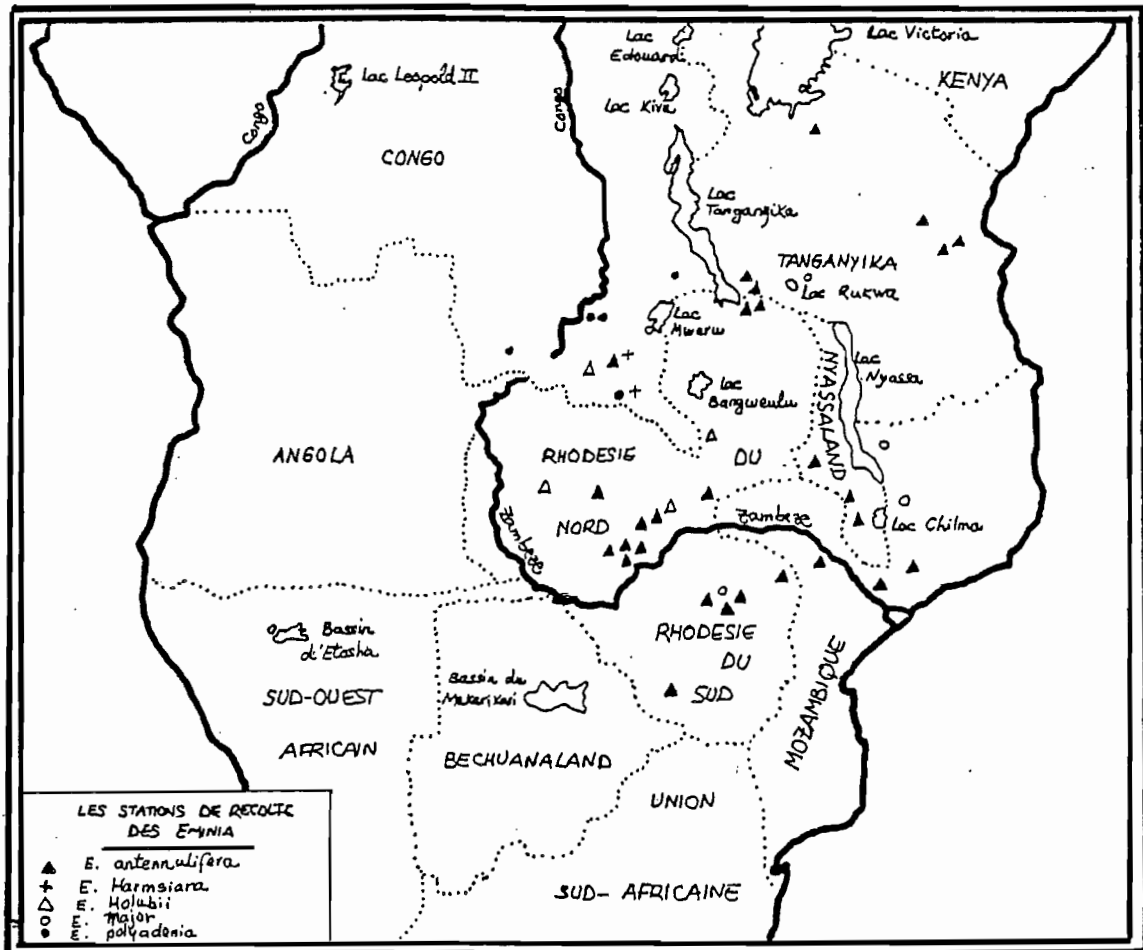


Figure N° 35 : Aire de dispersion du genre *Eminia* - d'après BERNIER G. (1960).

La description botanique donnée dans la flore du Congo Belge précitée pour la variété *E. Polyadenia* Hauman est la suivante :

"Herbe puissante à souche épaisse ; tige dressée peu ou pas ramifiée atteignant au moins 1 m de haut et 8 mm de diam., fistuleuse à la base, à fortes crêtes longitudinales, à entre-noeud médian de + 7 cm de long, d'abord pubescente puis presque glabre. Feuilles à stipules triangulaires, aiguës, de 7 mm de long et 1 mm de large ; pétiole de + 6 cm de long et rachis de 2 cm de long, tous deux pubescents ; folioles à stipelles de 2-4 mm de long ; pétiolule de 4 mm de long ; limbe obovale, elliptique à subrhomboïde, brièvement atténué vers la base arrondie, plus longuement vers le sommet, à bords nettement et régulièrement ondulés-crênelés, de 7-10 cm de long et 3-4,5 cm de large, les latéraux nettement plus courts que les médians et très asymétriques, concolores, assez coriaces, glabres en dessus, couverts en dessous de longs poils blancs couchés dans le sens des nervures secondaires, celles-ci assez en relief au nombre de + 6 paires. Inflorescences axillaires simples en apparence, souvent interrompues vers le bas entre des fascicules subsessiles de 3-5 fleurs ; les terminales en panicules parfois très amples atteignant 40 cm de long, à rameaux + divergents, portant de courts fascicules denses, pluriflores, assez espacés les uns des autres.

Fleurs en bouton subsessiles, puis à pédicelle de 5-6 mm de long ; bractées subcalycinales ovales, se terminant en une arête glanduleuse à son sommet, de 6-7 mm de long dont 2,5-3 pour l'arête et 2-3 mm de large, velues à la face externe ; calice de 12-13 mm de long dont 3 pour le tube, à 4 segments, le supérieur un peu plus long que les autres présentant 5 arêtes, les latéraux 2-3, l'inférieur 3-5, couvert de longs poils gris ou jaunâtres ; corolle rose pâle ou violacée ; étendard à limbe ovale ou suborbiculaire, échancré au sommet, à peine auriculé, montrant 2 faibles gibbosités, de 15 mm de long dont 2 pour l'onglet et 11-13 mm de large ; ailes à 1-2 auricules presque filiformes, de 15 mm de long dont 3 pour l'onglet et 3 mm de large ; carène de même dimension ; ovaire à longs poils dressés ; style filiformes, de 12 mm de long, velu jusqu'à la 1/2. Gousses oblongues, plates, légèrement rétrécies entre les graines, de 20 mm de long et 8-9 mm de large, couvertures de poils roux. Graines suborbiculaires-trigones, aplaties, à arête aigüe, de  $\pm$  4 mm de diam., chagrinées".

Distribution : Haut-Katanga (Kasambi, route Pweto-Baudouinville : ROBYNS 2043 holotype ; Parc Nat. Upemba : VAN MEEL in G. de WITTE 6822).

Habitat : Savanes arborées  $\pm$  marécageuses. En fleurs en avril-juin.

Noms vernaculaires : Monkoe, Monkoje (dial. Kiluba) ; Totuntuba (dial. Kilemba).

Usage : les racines servent à préparer une boisson."

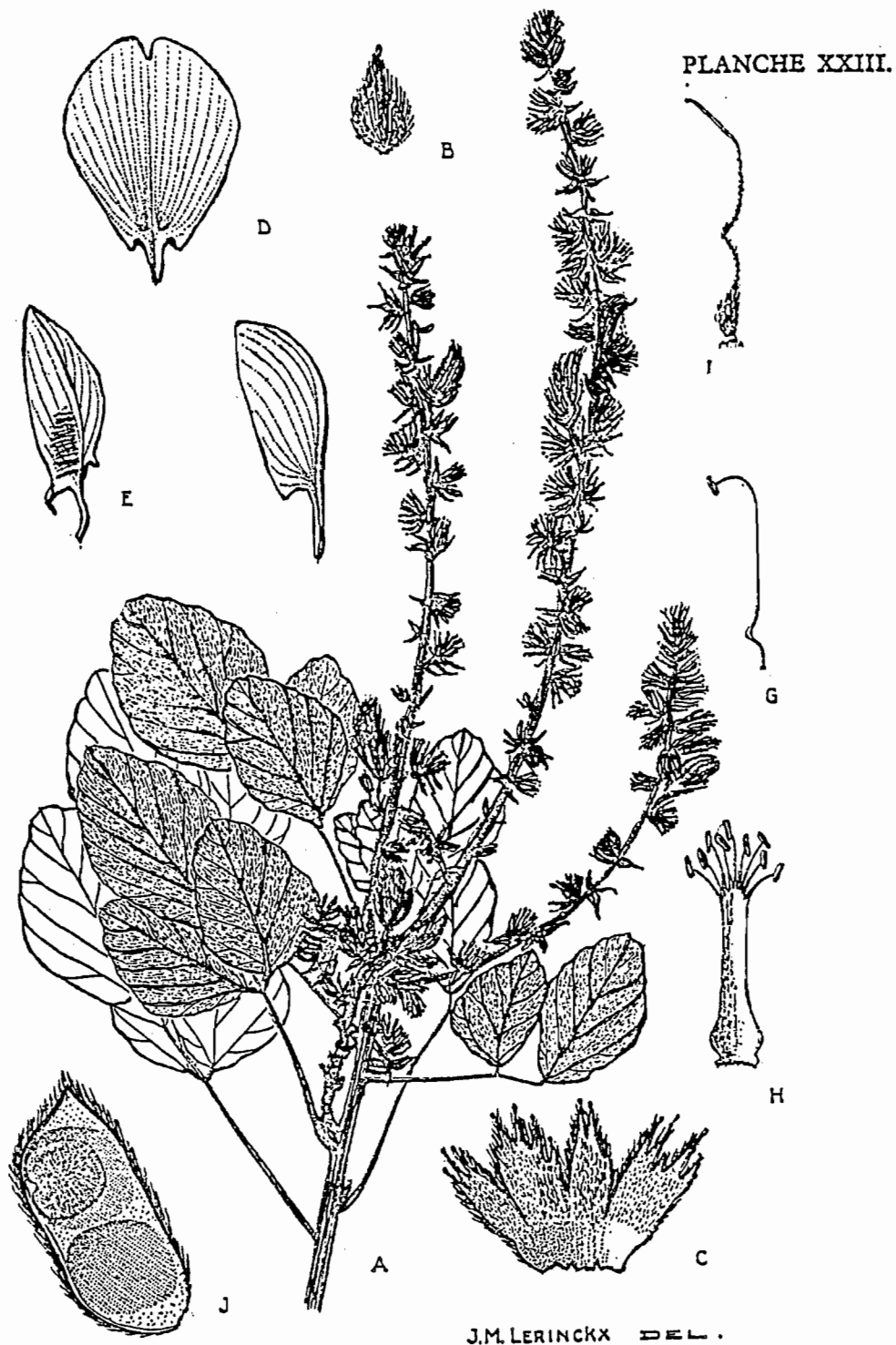


Figure N° 36 : *Eminia polyadenia* Hauman

A. Rameau florifère et fructifère (X 1/2) - B. Bractée, face externe (X 2) - C. Calice étalé, face interne (X 2) - D. Etendard, face interne (X 2) - E. Aile, face externe (X 2) - F. Moitié de carène, face interne (X 2) - G. Etamine vexillaire (X 2) - H. Tube staminal étélé (X 2) - I. Gynécée (X 2) - J. Valve de gousse et graine (X 2) - D'après ROBYNS 2043.

Source : HAMAN (1954) Flore du Congo Belge et du Rwanda-Urundi VOL. VI. page 254.



★ Etudes réalisées  
.....

Bien que créée en 1891 par TAUBERT puis décrite botaniquement par E. de WILDEMAN (1903) dans ses "études sur la flore au Katanga". Il faut attendre la présentation par ROBIJNS A.W. d'une note de POOT (1954) lors d'une séance publique de l'Institut Royal Colonial Belge pour entendre parler du Munkoyo, du nom vernaculaire Swahili donné aux racines de l'espèce Eminia. La même année THOMSON (1954) signale dans deux enquêtes alimentaires réalisées en Zambie la préparation d'une bière Munkoyo utilisant ces racines. Néanmoins, ni POOT, ni THOMSON ne réussirent à interpréter correctement les propriétés hydrolysantes des racines de cette plante. Il faut attendre BERNIER et LAMBRECHTS (1959) et surtout BOUILLENNE-WALRAND et BOUILLENNE (1959) pour que le terme amyolyse soit utilisé. Ces derniers auteurs ont d'ailleurs déposé le 30 novembre 1959 à Liège un brevet sur l'utilisation de "Ferments enzymatiques amyolytiques extraits de la plante dénommée Eminia (diverses espèces)".

Extrait à l'acétone, le ferment baptisé "Eminiase" était préparé à partir de la variété E. polyadenia et présentait un pouvoir enzymatique de 839,50 degrés Lintner (1). BERNIER (1960, 1961 b.) signale quant à lui que E. Antennulifera, E. Holubii et E. Polyadenia ont la propriété d'hydrolyser un empois d'amidon en maltose.

Dans une autre étude, BERNIER (1961 a.) travaillant sur E. Holubii Taub décrit la structure anatomique des racines et l'étude histochimique qu'il pratique fait apparaître une accumulation importante de protéines dans les cellules du phellogène de ces racines. Il propose alors d'assimiler ces protéines au complexe enzymatique amyolytique caractéristique des Eminia qui, dit-il, se "synthétise" et s'accumule dans cette partie des racines et dont la concentration va en diminuant au fur et à mesure qu'on s'éloigne du phellogène.

(1) Analyse confiée par Madame BOUILLENNE à l'Institut Emile Gryson du centre d'enseignement et de recherches des industries alimentaires et chimiques.

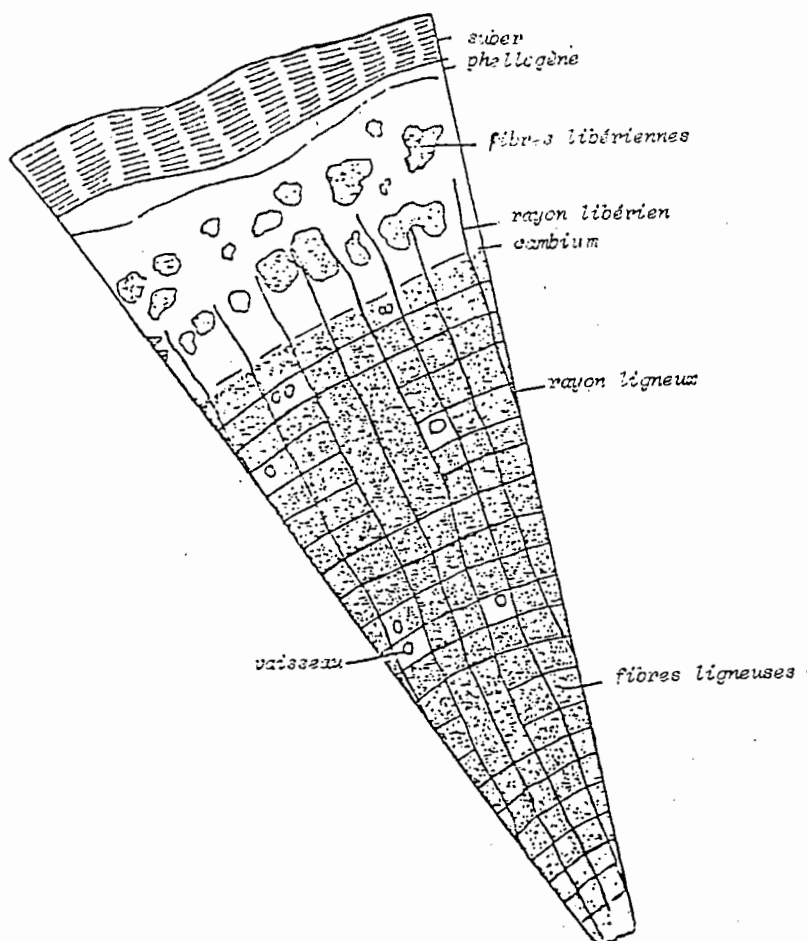


Figure N° 37 : Schéma d'une coupe transversale dans la racine d'*Eminia*  
D'après BERNIER (1961.a.).

Il faut attendre alors Avril 1973 pour que le Munkoyo soit à nouveau étudié. D. GRIFFON (1973) lance en effet au ZAIRE, au sein du Centre de Recherches Industrielles en AFRIQUE Centrale (CRIAC), une étude sur le terrain, il transpose en laboratoire la technologie traditionnelle puis entreprend une série d'études plus spécifiques sur les caractéristiques amylolytiques des racines d'*Eminia*. Les résultats qui ont donné lieu à la rédaction de deux rapports d'évolution (GRIFFON, 1974-1975) sont synthétisés dans la présente contribution SKELTON et al (1973) publie au ZAIRE, une petite étude sur les propriétés amylolytiques de l'*Eminia*. En 1976, GRIFFON et al (1976) déposent un brevet pour le compte du CRIAC devenu Institut de la Recherche Scientifique (IRS) et présentent un projet de développement du procédé à l'échelle pilote. D. GRIFFON (1976) poursuit les travaux jusqu'au stade fermentation de la boisson et cherche à sélectionner la levure dominante existante dans la boisson traditionnelle.

Cependant du fait de la rotation des hommes, l'équipe précitée éclate en Septembre 1976 et les travaux s'arrêtent. Ils ne reprennent à notre connaissance qu'en 1978 en FRANCE, au sein du Laboratoire de Biochimie Appliquée dirigé par le Professeur METCHE à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires de NANCY où TIENDREBEOGO (1978) présente les activités comparées du malt et du Munkoyo. GRIFFON et al (1979) lancent un projet de recherche sur les alternatives technologiques d'hydrolyse du manioc où ils évoquent l'intérêt de poursuivre les études sur le Munkoyo. TIENDREBEOGO (1981) complète alors l'étude des systèmes amylolytiques de l'Eminia en axant les travaux sur la comparaison des amylases immobilisées du malt et du munkoyo. Ces travaux sont alors complétés par ROVEL, METCHE, GRIFFON (1982), et exposés lors du Symposium International sur l'utilisation des enzymes qui s'est tenu en Mai 1982 à VERSAILLES. Parallèlement, GRIFFON et al (1982b) achèvent le programme de recherche sur les alternatives technologiques pour l'hydrolyse du manioc et en présente les résultats à ABIDJAN à un congrès FAO (GRIFFON, 1983). Les résultats de ces différents travaux sont repris et synthétisés dans la présente contribution.

Une étude de MUNYANGANIZI (1982) relatant les travaux qu'il a conduit en Belgique, mais semblant ignorer les études du CRIAC de Lubumbashi et celle de l'INPL de Nancy, propose le nom de "Munkoyase" pour désigner les enzymes amylolytiques de l'Eminia.

Depuis, aucune publication sur le sujet n'est venue compléter les connaissances du complexe enzymatique des racines de Munkoyo.

#### 3.2.2.4. Immobilisation in situ des amylases du malt et du Munkoyo

Pour clore cette brève analyse bibliographique sur les enzymes d'Eminia, il convient de mentionner ici que la structure fibreuse des racines de Munkoyo nous a paru pouvoir constituer le support naturel pour fixer in situ les protéines natives. L'idée de fixation d'une enzyme sur support inerte est déjà très ancienne puisque HEBERT et SCRIBAN (1973) citent les travaux de NELSON et GRIFFIN (1916) qui absorbaient l'invertase sur du charbon actif. Pourtant, ce n'est qu'à partir des années 60, que sous l'impulsion des équipes de KATCHALSKI et al (1960) en ISRAEL et de MANECKE (1962) en ALLEMAGNE, les travaux se multiplient. Les techniques d'immobilisation peuvent se répartir en quatre types : enzymes piégées dans un réseau, enzymes encapsulées, enzymes liées par adsorption ou enzymes liées par covalence. Dans le premier cas, l'idée est simple, il s'agit d'inclure le biocatalyseur dans les cavités d'un réseau tridimensionnel qui l'empêche de sortir, mais qui autorise l'entrée des molécules du substrat à transformer BERNFELD et al (1963) proposent des gels de polyacrylamide. DINELLI (1972) propose le piégeage dans une fibre d'acétate de cellulose. De nombreuses enzymes invertase,  $\beta$  galactosidase, glucosidase ont ainsi été immobilisées. (TSHIBAKA, 1979).

La micro-encapsulation développée par CHANG et al (1968) sur l'uréease utilise une capsule semi perméable de collodion. KATAJIMA et al (1969) immobilise cette enzyme dans des capsules de polystyrène, d'éthyl cellulose, ou de silicone.

Les deux autres techniques d'immobilisation utilisent un procédé physique, mais impliquent des réactions chimiques de fixation.

L'adsorption est sans doute la technique la plus ancienne et la plus simple, mais c'est la technique d'immobilisation par liaison covalente qui prédomine. De nombreux travaux y ont été consacrés. Signalons en particulier ceux de AXEN et al (1971) sur les supports de type Séphadex où le bromure de cyanogène est utilisé pour activer les groupes hydroxyles de polyholosides. Signalons aussi, ceux de TRAUB et al (1969) qui emploient des échangeurs d'anions du type diethylaminoethyl cellulose (DEAE) et ceux de LILLY et al (1966) qui utilisent des échangeurs cationiques telle que la carboxymethyl cellulose (CM).

IL est intéressant à ce niveau de faire le parallèle entre la racine de Munkoyo riche en cellulose naturelle utilisée empiriquement par les populations du Shaba et les efforts que les chercheurs ont développés pendant des années dans des laboratoires équipés pour tenter de greffer des enzymes sur des celluloses modifiées de type DEAE cellulose ou CM cellulose.

Il est intéressant aussi de constater qu'en raison des contraintes imposées par le génie enzymatique, qui limite la mise en oeuvre des enzymes aux réactions à une seule étape, c'est à présent les immobilisations de cellules entières de microorganismes qui connaissent le plus grand nombre de travaux. Les principaux intérêts de cette méthode sont d'éviter l'étape d'extraction et de purification de l'enzyme que l'on veut faire agir, de réduire ainsi son instabilité en la maintenant dans son environnement cellulaire et de pouvoir mener une réaction multi-étape faisant intervenir une séquence d'enzymes.

Il semble bien que c'est effectivement une séquence enzymatique qui soit mise en oeuvre dans le cas des fibres de Munkoyo.

Les différentes méthodes d'immobilisation des cellules entières concernent toujours l'agglomération et la réticulation, l'inclusion dans un gel, l'encapsulation dans une membrane ou l'adsorption sur support solide et par extension, la formation de liaisons covalentes entre le microorganisme et son support solide.

Nous signalons tout particulièrement, les travaux sur la réticulation de POULSEN et ZITTAN (1976) qui immobilise Bacillus coagulans pour sa glucose isomérase en traitant pendant une heure à 25° C les cellules avec du glutaraldehyde. Cependant, cette méthode s'accompagne presque toujours d'une baisse du métabolisme des microorganismes. Aussi, les procédés d'immobilisation des cellules entières sont encore à améliorer comme le souligne LEBESQUE et DUBREUIL (1983). L'immobilisation de séquences enzymatiques végétales sur leur propre support est donc d'un intérêt certain qui nous l'espérons sera développé. Puisse cette étude sur le Munkoyo y contribuer.

### 3.3. MATERIELS ET METHODES

Pour conduire notre recherche sur la saccharification enzymatique des substrats amylicés tropicaux, en termes d'alternatives technologiques, nous avons retenu deux approches possibles. La première met en oeuvre le système enzymatique des céréales tropicales qu'il convient de développer par maltage de ces céréales. La seconde utilise directement la capacité amylolytique d'un système enzymatique non conventionnel, celui du Munkoyo.

Nous présentons dans ce chapitre le matériel utilisé et les méthodes d'évaluation retenues tant pour les techniques de maltage des céréales tropicales que pour le brassage des amylicés à l'aide des sources enzymatiques définies.

#### 3.3.1. Tests de maltage des céréales tropicales -----

Nous avons travaillé sur différents types de céréales tropicales. Toutefois, pour mettre au point les modes de maltage et les méthodes d'évaluation des malts obtenus, nous avons essentiellement utilisé une variété de sorgho dont l'approvisionnement était facile, puisqu'elle est cultivée dans le Sud-Ouest de la France. Il s'agit du Sorgho Argence. Puis, nous avons adapté le mode de maltage aux variétés sélectionnées en Afrique par l'ISRA (Institut Supérieur de la Recherche Agronomique) de Bambey au Sénégal.

Le maltage étant constitué d'un ensemble d'opérations conduisant à la stabilisation d'un grain ayant subi une germination, nous avons été amené à mettre au point une méthode d'évaluation de la faculté germinative du Sorgho Argence, en nous inspirant largement des méthodes utilisées par les sélectionneurs de semence.

Une semence de céréale est un fruit sec indéhiscant (caryopse). Elle est constituée d'un embryon, séparé de ses réserves par le scutellum. Les réserves sont stockées dans l'albumen. (Voir figure N° 38).

Une semence mûre est en état de vie ralentie et incapable de germer dans un tel état de déshydratation. Lorsque la graine se trouve en présence d'eau, les cellules peuvent reprendre leur activité métabolique qui dépend étroitement de la présence d'oxygène et de la température. La germination peut être considérablement ralentie, voire stoppée, par un excès d'eau. La température agit sur la vitesse d'imbibition mais ne modifie pas la teneur en eau finale de la graine.

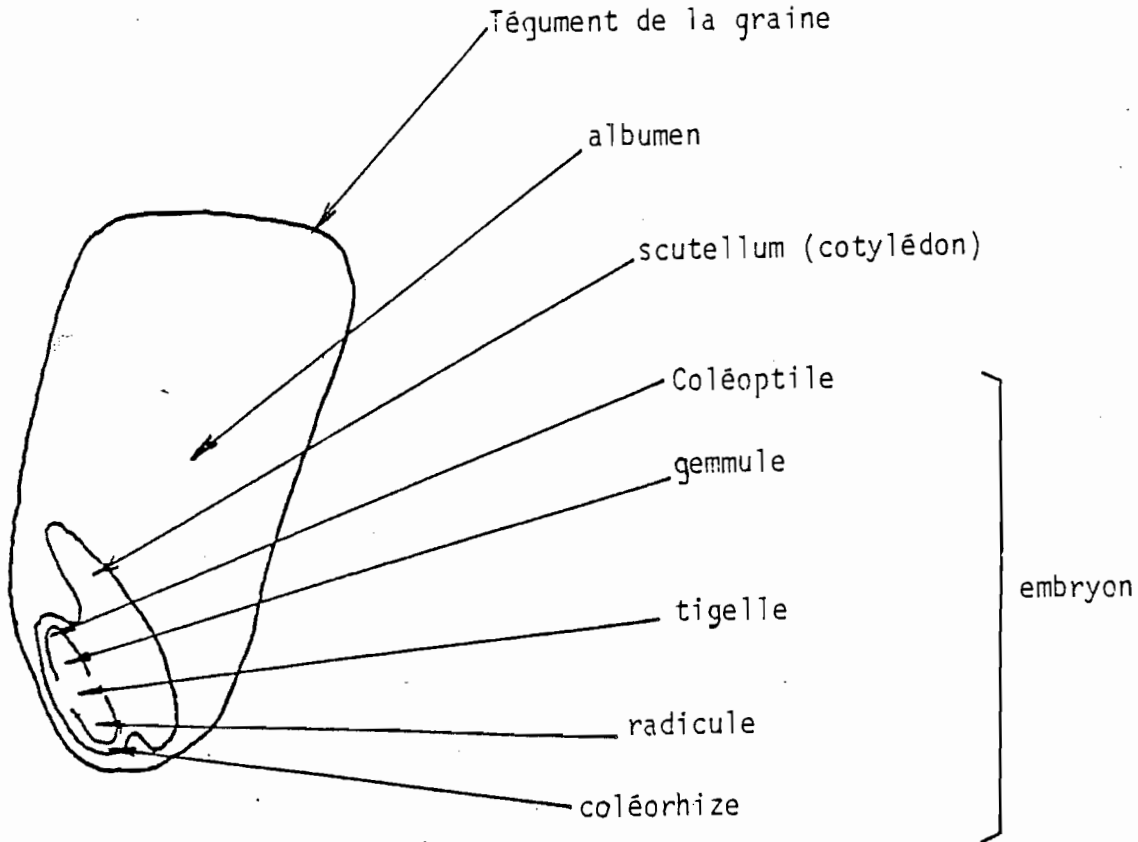


Figure N° 38 : Coupe schématique d'un caryopse de sorgho

3.3.1.1. Tests d'absorption en eau et faculté germinative

Les graines sont mises à tremper pendant 5, 10, 15, 24, 30 et 48 heures à des températures de 20° C, 25° C, 30° C et 35° C.

Au temps considéré, les graines sont égouttées et essorées entre deux papiers filtre.

On mesure alors le pourcentage d'absorption en eau en gramme pour 100 grammes de poids de matière initiale.

On détermine alors la faculté germinative des graines.

La température choisie pour le test est de 20° C. Des lots de 100 graines, prélevés de manière à être représentatifs de l'ensemble, sont déposés dans des boîtes de Pétri, entre deux disques de papier filtre imbibés d'eau.

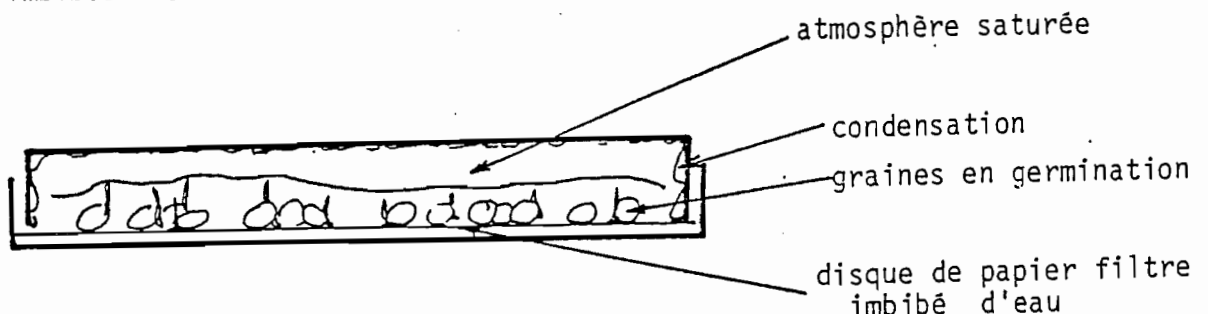


Figure N° 39 : Détermination de la faculté germinative

Les observations suivantes sont pratiquées :

- à 72 heures pour l'énergie germinative
- à 120 heures pour la capacité germinative.

Au bout de 72 heures de germination, on compte le nombre de graines germées. Le chiffre trouvé, exprimé en pourcent de graines, indique l'énergie germinative. Les graines qui n'ont pas germé sont remises dans les mêmes conditions 48 heures supplémentaires, au bout desquelles on compte les graines germées. Le chiffre trouvé, augmenté de l'énergie germinative, donne la capacité germinative.

### 3.3.1.2. Modes de maltage

#### ● Sorgho Argence

Pour tenter de conduire au laboratoire un maltage des céréales obtenues en tenant compte

- des observations faites par B. BOUGOUMA (1982) lors de l'enquête effectuée au Burkina-Faso auprès des dolotières,
- des éléments bibliographiques fournis par NOVELLIE (1962.a),

nous avons été amenés à effectuer plusieurs essais de maltage en suivant les caractéristiques concernant les facteurs qui peuvent affecter les germinations.

- . l'imbibition = trempe
- . l'oxygénation = retournement et arrosage
- . la température

Les méthodes retenues ont été les suivantes

#### ■ La trempe

Deux types de trempe ont été conduites :

#### A : trempe normale

- 1°) 24 heures d'immersion complète à température ambiante
- 2°) 30 minutes d'égouttage à température ambiante

#### B : trempe alternée

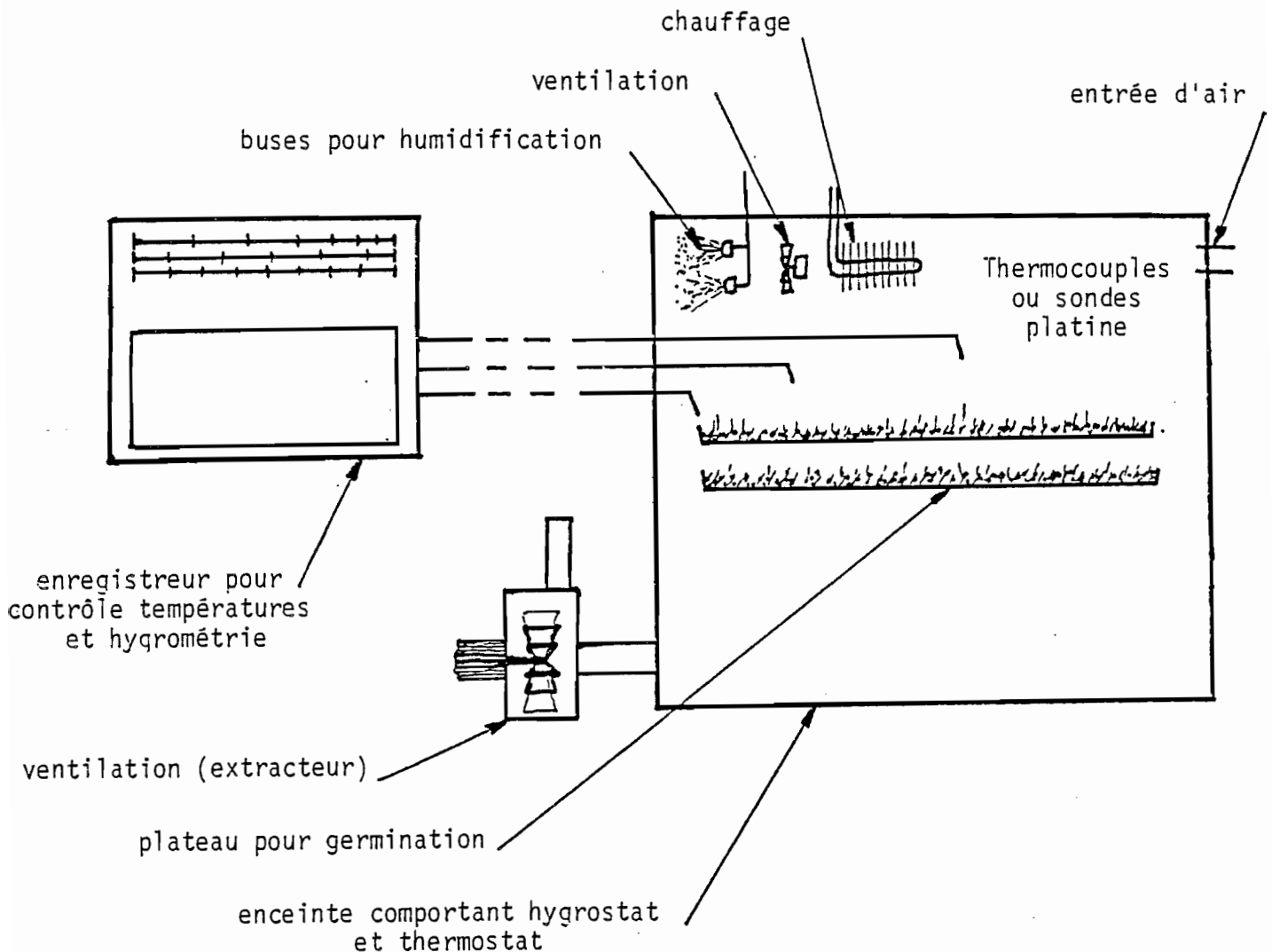
Les étapes sont les suivantes

- 1°) 18 heures d'immersion complète à température ambiante
- 2°) 3 heures à l'air libre à température ambiante
- 3°) 3 heures d'immersion à température ambiante
- 4°) 30 minutes d'égouttage à température ambiante

■ La germination

On laisse se développer la graine pendant 4 jours dans une enceinte à température réglable (20 à 30° C) et dans une atmosphère maintenue à saturation (100 % d'humidité relative) par humidification et circulation d'air. On pratique au cours de cette germination des arrosages, des retournements et des mises en tas.

Le matériel utilisé pour conduire cette germination, représenté sur la figure suivante nous a cependant confronté à de nombreux problèmes de régulation de température et de circulation d'air.



*Figure N° 40 : Schéma d'appareillage utilisé pour la germination des céréales à malter.*



■ Le séchage

Il est effectué par convection d'air chaud à 50° C pendant 24 heures dans cette même enceinte.

■ Le dégermage

Il est pratiqué par frottement des graines les unes contre les autres puis la séparation graines - germes est effectuée par tamisage.

Le tableau suivant représente le plan de l'étude du maltage que nous avons retenu pour la variété Sorgho Argence. Neuf modes de maltage (indiqués en chiffre romain) ont été définis. On a fait varier les différents paramètres précités et conduit en parallèle un maltage de type traditionnel observé par B. BOUGOUMA (1982) au BURKINA-FASO.

TABLEAU N° XI : MODES DE MALTAGE - SORGHO ARGENCE

PRINCIPAUX GROUPES DE MALTS		T	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
OPERATIONS	MODES										
TREMPE	Normale	●	●	●	●			●		30	
	Alternée					●	●		●		30
Germination à 22-25°C (nuit-jour) 4 jours	1/jour arrosages	●	●	●	●						
	2/jour.				●	●	●	●		30	30
	1/jour retournements			●		●					
	2/jour				●		●	●	●	30	30
mise en tas	le 1er jour							●	●		
	le 4eme jour de germination	●									
séchage	40°C température	●									
	50°C		●	●	●	●	●	●	●	●	●
	2 retournements	●									

mode T = traditionnel (BURKINA-FASO)

NOTE : Les carrés portant l'indication 30 concernent des opérations qui se sont déroulées à 30° C donc à plus haute température qu'habituellement (22-25° C).

● Autres variétés de céréales tropicales

Les variétés étudiées sont les suivantes :

- 5 variétés de sorgho appelées par l'I.S.R.A.
  - . sorgho X
  - . sorgho CK 612 AX 68-29
  - . sorgho CE 151 262
  - . sorgho CE 145-66 V
  - . sorgho 73-13
- 2 variétés de mil dénommées
  - . mil X
  - . mil A<sub>4</sub>-24
- 1 variété de maïs dénommée
  - . maïs BDS

La description du matériel végétal qui nous a été fournie par les sélectionneurs de l'ISRA de Bambey est résumée ci-après :

1. Un HYBRIDE noté X, sans précision. Nous pensons en l'absence de plus amples informations qu'il s'agit des semences disponibles sur le marché local ou en milieu rural. Cet hybride a sans doute été obtenu à partir des sélections de l'ISRA et de variétés localement répandues.
2. VARIETE 612 A X 68-29  
Les hybrides 612 A X 68-29, 612 A X 73 - 208 et 612 A X 75 - 14 sont vulgarisables..

Cependant, un programme de création de nouveaux hybrides obtenus à partir de lignées andro stériles partiellement africaines est en cours. Un matériel plus performant de meilleure qualité adapté sera sans nul doute obtenu.

Description du matériel

CK 612 A X 68-29

CK 612 A lignée mâle - stérile  
Combine Kafir des U.S.A.

68-29 numéro donné à Bambey à la lignée IS 2948 de la collection mondiale

Caractéristiques agronomiques

- cycle semi-maturité 90 à 95 jours
- non photosensible
- hauteur 125 à 135 cm
- feuillage anthocyané
- port dressé
- panicule demi-compacte, glumes beiges non aristés\*
- grain blanc, sans couche brune vitrosité 2
- poids de 1000 graines : 25 à 30 grammes.

3. VARIETE CE 151-262

Origine

Lignée sélectionnée au SENEGAL sous le numéro CE 151-262 A1 - P1 - A1 et tirée du croisement CE 90 X 73-71

Vocation

Culture pluviale d'hivernage au SENEGAL pour les sols Deck de la zone centre Nord à 500 - 700 mm de pluviométrie.

Caractéristiques Taxonomiques et Morphologiques

Race : Caudatum

Anthocyane : Tan (absence de pigments anthocyanés rouges)

Forme et compacité de la panicule : elliptique semi-compacte

Aristation : absence

Couleur du grain : blanc

Poids de 1000 graines : 24 grammes

Texture de l'endosperme : partiellement corné (vitrosité 2, échelle Bono)

Couleur de l'endosperme : blanc

Couche brune : absence

Caractéristiques Agronomiques

Hauteur de la plante : 110 cm

Cycle semis-épiaison : 65 jours

Photosensibilité : insensible

Exsertion paniculaire : bonne

Résistance à la verse : bonne

\* aristés : pourvus d'une arête terminale, se dit aussi des limbes foliaires  
GUINOCHE - Botanique Fondamentale - MASSON - P. 85

Comportement phytopathologique

- assez bonne résistance aux maladies foliaires
- assez bonne résistance aux moisissures des grains

Potentiel de rendement

- Moyenne avec pluviométrie à plus de 500 mm (2 essais) 37 qx/ha
- Moyenne avec pluviométrie entre 400 et 500 mm (5 essais) 19 qx/ha
- Moyenne avec pluviométrie entre 300 et 400 mm (5 essais) 6 qx/ha

4. VARIETE CE 145-66 V

Origine

Lignée sélectionnée au SENEGAL sous le numéro CE 145-66 V - A1 et A2 et tirée du croisement 68 - 19 X Naga White

Vocation

Culture pluviale d'hivernage au SENEGAL pour les sols Deck de la zone Centre Nord à 500 - 700 mm de pluviométrie.

Caractéristiques Taxonomiques et Morphologiques

Race : Caudatum

Anthocyane : Tan (absence de pigments anthocyanés rouges)

Forme et compacité de la panicule : elliptique semi-compacte

Aristation : absence

Couleur du grain : blanc

Poids de 1000 graines : 16 grammes

Texture de l'endosperme : presque farineux (vitrosité 1 échelle Bono)

Couleur de l'endosperme : blanc

Couche brune : présence

Caractéristiques agronomiques

Hauteur de la plante : 170 cm semis en juillet

Cycle semis-épiaison : 67 jours

Photosensibilité : très légère sensibilité

Exsertion paniculaire : bonne

Résistance à la verse : légère sensibilité

Comportement phytopathologique

- assez bonne résistance aux maladies foliaires
- assez bonne résistance aux moisissures des grains

Potentiel de rendement

- Moyenne avec pluviométrie à plus de 500 mm (2 essais) : 35 qx/ha
- Moyenne avec pluviométrie entre 400 et 500 mm (5 essais) : 19 qx/ha
- Moyenne avec pluviométrie entre 300 et 400 mm (5 essais) : 9 qx/ha

5. VARIETE 73-13

Origine

Lignée introduite reçue à l'Université de Purdue (USA) sous le numéro IS508

Vocation

Culture irriguée d'hivernage sur le fleuve Sénégal

Caractéristiques taxonomiques et morphologiques

Race : Caudatum

Anthocyane : présence de pigments anthocyanés rouges

Forme et compacité de la panicule : elliptique semi-compacte

Aristation : présence

Couleur du grain : jaune

Poids de 1000 grains : 25 grammes

Texture de l'endosperme : partiellement corné (vitrosité 2, échelle Bono)

Couleur de l'endosperme : jaune

Couche brune : absence

Caractéristiques Agronomiques

Hauteur de la plante : 150 cm

semis en juillet

Cycle semis-épiaison : 60 jours

Photosensibilité : insensible

Exsertion paniculaire : bonne

Résistance à la verse : bonne

Comportement phytopathologique

Peu d'informations disponibles en raison de la faible incidence des maladies cryptogamiques en culture irriguée d'hivernage sur le fleuve Sénégal.

Potentiel de rendement

- Maximum 58 qx/ha
- Moyenne (17 essais) 43 qx/ha

TABLEAU N° XII : RESUME DES CARACTERISTIQUES DU MATERIEL VEGETAL

SORGHOS	PIGMENTS (authocyanes)	POIDS DE 1000 GRAINS		VOCATION
		FICHES TECHNIQUES IRAT	MESURES EXPERIMENTALES	
X	?	?	36.6 - 39	?
612 A X 68 - 29	+ (feuilles)	25 - 30 g	33 - 34	irrigation hivernage
CE 145 - 66 V	-	16 g	19	pluvial hivernage
CE 152 - 262	-	24 g	24	"
73-13	+	25 g	35,3	irrigation hivernage

6. COMMENTAIRES

- On considère généralement que la saison d'hivernage dans la région de Bambey s'étend des premiers jours de juillet à la mi-octobre.

La vitrosité des grains reçus est numéroté en fonction des critères proposés par BONO (1).

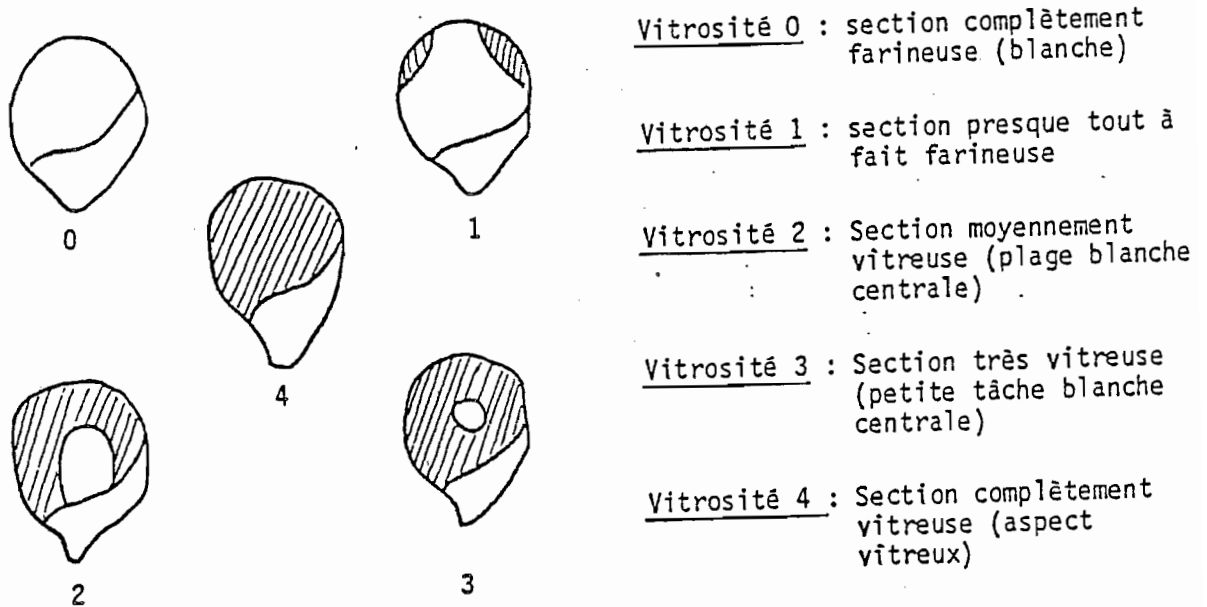


Figure N° 41 : Vitrosité du sorgho - Echelle BONO -

(1) Communiqué par M. SAPIN -IRAT- Institut de Recherche en Agronomie Tropicale MONTPELLIER

Le grain est sectionné dans le sens de la longueur, du sommet à la base, et dorso-ventralement.

En pratique, on sectionne 10 ou 20 grains et on fait la moyenne.

Exemple : 2 3 2 3 2 3 2 3 2 3

$$(5 \times 2) + (5 \times 3) = 25$$

$$25/10 = \text{vitrosité } 2,5$$

- Aucune fiche ne nous est parvenue pour l'instant sur les 2 mils notés respectivement X (sans précision à rapprocher sans doute du sorgho X) et A4-24.
- Aucune fiche ne nous est parvenue pour le maïs noté BDS (blanc de Séfa).

Les modes de maltage retenus pour ces différentes variétés de céréales tropicales, consignés dans le tableau suivant tiennent compte des résultats obtenus sur Sorgho Argence ainsi que des résultats des tests d'absorption en eau et de la détermination des énergies et capacités germinatives définies comme précédemment.

TABLEAU N° XIII : MODES DE MALTAGE - AUTRES VARIETES DE CEREALES TROPICALES.

Nature des malts	Sorgho X	CE 145-66 V	73-13	CE 151-2625	12 AX 68-23	Maïs BDS	Mil X	Mil A4 24
N° des malts	69	68	67	70	71	66	73	72
Poids (g)	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	500	500
Trempe	Dans 2 litres d'eau 24 heures 24° C							
Germination	Jour 1 à 15h 00		Début de l'opération de germination (25° C)					
	Jour 2 à 15h 00		1 arrosage + 1 retournement				(24° C)	
	Jour 3 à 9h 00		1 arrosage + 1 retournement				(22° C)	
	Jour 3 à 15h 00		1 arrosage + 1 retournement				(24° C)	
	Jour 4 à 9h 00		1 arrosage + 1 retournement				(22° C)	
	Jour 4 à 15h 00		1 arrosage + 1 retournement				(24° C)	
	Jour 5 à 9h 00		1 arrosage + 1 retournement				(22° C)	
Séchage	Jour 6 à 17h 00		Début de séchage à 50° C					
	Jour 7 à 17h 00		Fin de séchage à 50° C					

### 3.3.1.3. Méthodes d'évaluation des malts obtenus

Les évaluations ont porté sur les différents groupes de malts obtenus en application des modes de maltage précités. Elles ont essentiellement consisté à mesurer les activités amylolytiques. Cependant, pour les essais portant sur le Sorgho Argence, nous avons voulu mesurer l'influence du mode de maltage sur les freintes en amidon et en azote du grain.

#### Freintes au maltage sur Sorgho Argence

Ces évaluations ont été faites en dosant les teneurs en amidon et en azote des malts dégermés. Ramenées à la matière sèche, ces mesures mettent en évidence les consommations des réserves amyloacées et azotées en fonction des modes de trempage, de retournement et d'arrosage retenus.

Les détails des méthodes analytiques utilisées pour ces dosages sont consignés en annexe de ce document. La teneur en amidon a été calculée à partir du dosage du glucose formé après hydrolyse à l'aide d'une glucose-oxydase. Le dosage du glucose est effectué par auto-analyseur Technicon II. Cette méthode analytique est celle couramment utilisée par le laboratoire d'analyses organiques et biochimiques (A.O.B.) du CIRAD à qui nous avons confié les déterminations. Les dosages d'azote, conduits également par ce laboratoire ont été effectués par la méthode KJELDAHL. La minéralisation est pratiquée sur un "system D - Técator" ; la distillation est effectuée avec le "distilling unit KJECTEC" de Tecator et la titration est conduite avec un pH mètre Tacussel asservi à une chaîne de titration.

#### Mesure des activités amylolytiques

Les différents groupes de malts, aussi bien sur sorgho Argence que sur les céréales sélectionnées par l'ISRA de Bambey ont été évalués en mesurant leur activité totale  $\alpha + \beta$  amylases.

De façon à pouvoir envisager une comparaison des activités enzymatiques entre les essais de saccharification conduits tant au Centre de Recherches de Lubumbashi au ZAIRE par GRIFFON (1974-1975), qu'au laboratoire de Biochimie Appliquée de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires de NANCY par TIENDREBEOGO (1978-1981), nous avons retenu pour ces mesures d'activité enzymatique la méthode de NOETLING et BERNFELD (1948) modifiée par BENDELOW (1963).

Cette méthode, dont le détail est consigné en annexe, permet par lecture au spectrophotomètre à 505 nm de mesurer par colorimétrie la réaction qui s'opère entre les sucres réducteurs dus à l'action hydrolytique combinée des  $\alpha$  et  $\beta$  amylases sur l'amidon soluble d'une part et l'acide 3-5 dinitro-salicylique (D.N.S.) d'autre part. Elle permet également une détermination de l'activité  $\alpha$  amylasique seule, en procédant à l'inhibition de la  $\beta$  amylase par le traitement de l'extrait enzymatique avec une solution saturée de chlorure phénylmercurique.



L'expression de l'activité enzymatique se fait en traduisant la lecture de la densité optique, en milligrammes de maltose libéré par 2 ml de solution enzymatique. Une gamme de solutions de référence établie avec du maltose pur et un blanc, dans lequel l'extrait enzymatique est remplacé par 2 ml d'eau distillée permet de tracer une courbe d'étalonnage.

D'après cette méthode, une unité d'activité amylolytique est définie comme étant la quantité d'enzyme qui libère 1 mg de maltose par unité de temps.

Dans nos travaux sur les malts, nous avons préféré exprimer cette activité en milligrammes de maltose libérés par milligrammes de matière sèche du malt étudié.

Nous avons vu dans l'analyse bibliographique, la limite des méthodes analytiques pour cette détermination et la nécessité pour les auteurs d'adapter leur méthode à leur cas particulier en retenant des unités diverses. Degrés Lintner (°L), degré WINDISH-KOLBACH (°WK) ou Kaffircorn Dextrin Units (KDU).

Rappelons toutefois, que BENDELOW propose les relations suivantes :

#### Expression en degrés LINTNER (°L)

$$y = 166,42 x - 40,34$$

avec  $y = °L$

$x = \text{mg de maltose} / \text{mg de solution enzymatique de malt}$

#### Expression en unités de dextrinisation (U.D.)

$$y_1 = 56,11 x_1 - 9,94$$

avec  $y_1 = \text{U.D.}$

$x_1 = \text{mg de maltose} / \text{mg de solution enzymatique de malt.}$

Nota : il n'est pas précisé dans cette relation si l'humidité du malt est prise en compte.

### 3.3.2. Tests de brassage des amylacés tropicaux

Pour respecter notre démarche méthodologique, notre objectif était ici de vérifier les capacités d'une source enzymatique de référence, à savoir le malt d'orge, à hydrolyser des quantités croissantes d'amidons issus de substrats tropicaux ; puis d'effectuer les mêmes opérations avec des malts de substitution.

Nous avons dans ce sens été amenés à définir des conditions générales de brassage en utilisant du malt d'orge puis à adapter les diagrammes thermiques de brassage à la saccharification des amidons tropicaux sous des formes variées (gari, fécula de manioc) (1).

(1) Voir en annexe les analyses de composition de ces matières premières amylacées.

### 3.3.2.1. Conditions générales de brassage

#### ● Le brassin conventionnel

Afin d'obtenir des tests comparatifs, nous avons voulu reproduire en laboratoire le "brassin conventionnel" défini par l'European Brewery Convention (EBC) qui s'effectue comme suit :

- . peser 50 grammes de malt (mouture conventionnelle) dans des pots à malt, puis empâter avec 200 ml d'eau distillée à 45° - 46° C, en agitant avec une baguette de verre pour éviter la formation de grumeaux. Les pots à malt sont placés aussitôt dans le bain marie à 45° C et les agitateurs sont branchés,
- . maintenir le bain d'empâtage pendant 30 minutes à 45° C,
- . faire alors monter la température de 1° C/min. pendant 25 min.
- . ajouter alors 100 ml d'eau à 70° C,
- . mesurer la vitesse de saccharification dès ce moment,
- . maintenir cette température pendant une heure, puis ramener le pôt à température ambiante en 10 - 15 minutes,
- . rincer les agitateurs - sécher l'extérieur des pots et compléter le contenu à 450 grammes,
- . agiter énergiquement le contenu du pôt avec une baguette et verser la totalité sur un filtre,
- . repasser la première portion du filtrat (100 ml). Arrêter la filtration quand la drêche n'est plus recouverte, ou dans le cas d'une filtration lente après 2 heures.

Schématisé sur la figure suivante, ce brassage conventionnel a été modifié en fonction des moyens disponibles en laboratoire.

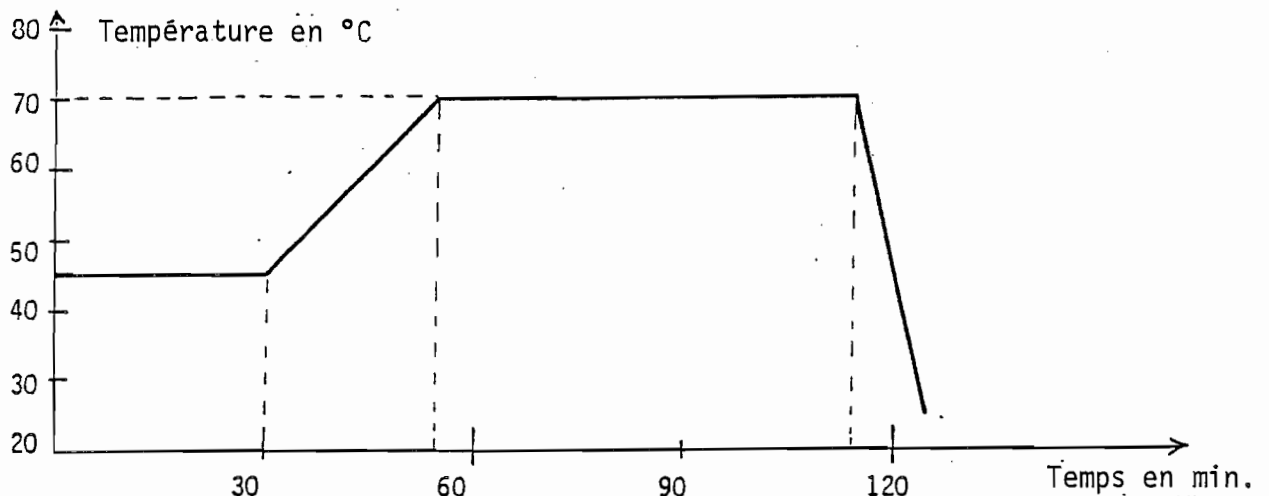


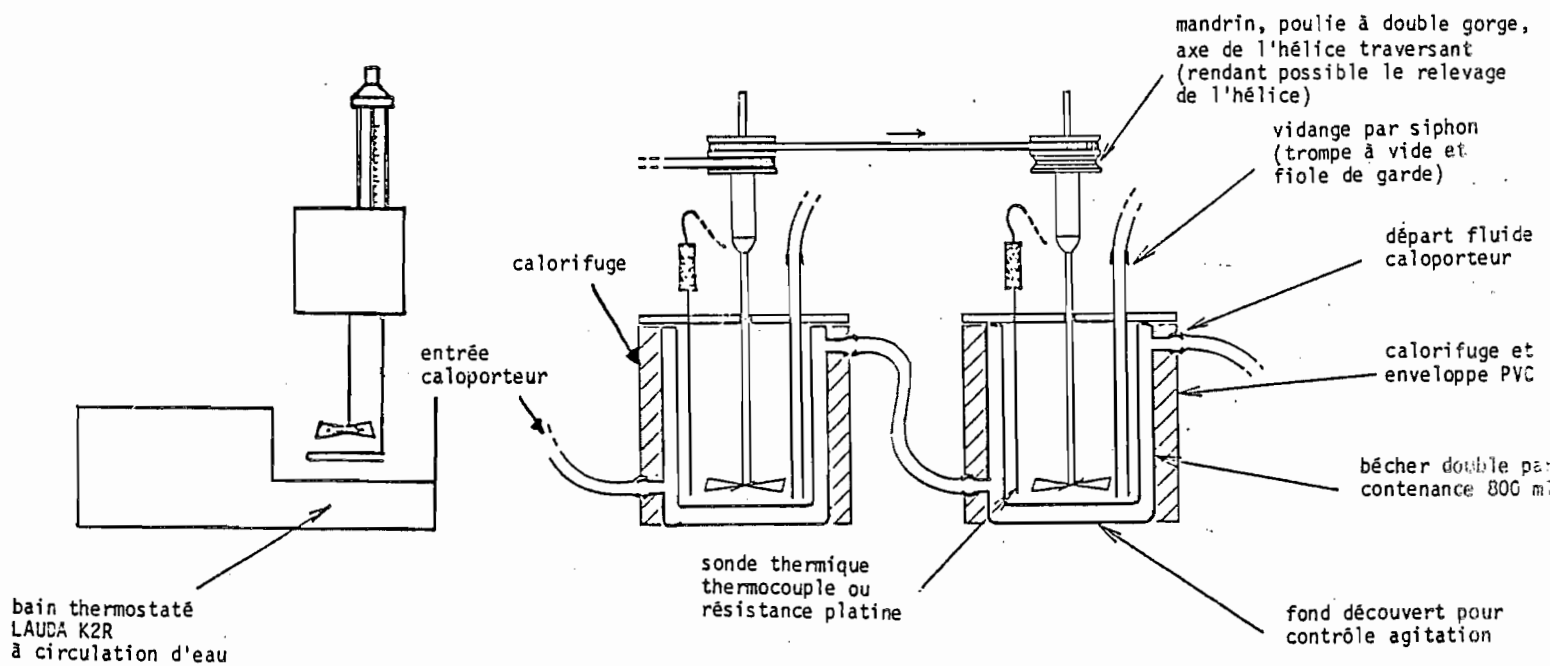
Figure N° 42 : Diagramme thermique du brassin conventionnel

### Conduite du diagramme thermique

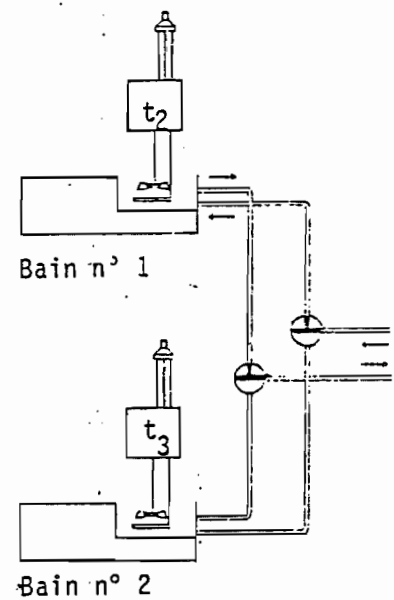
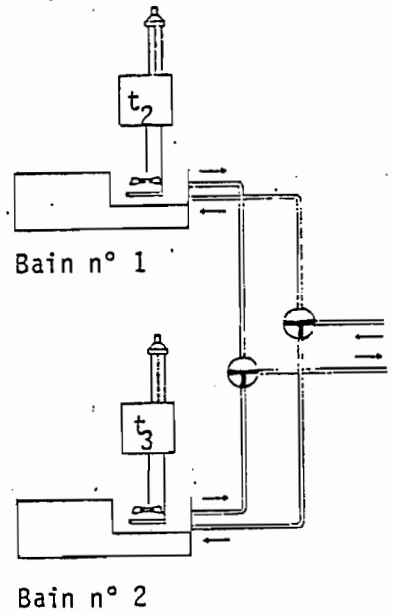
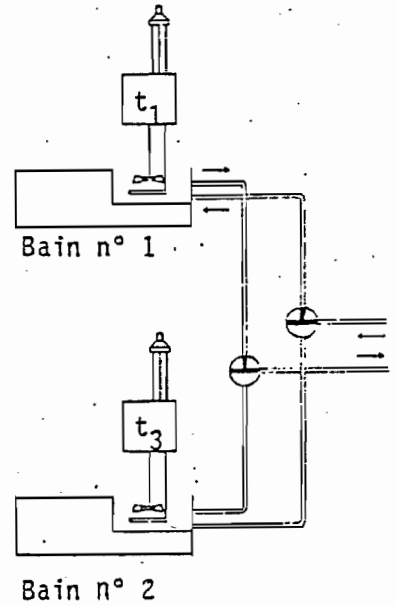
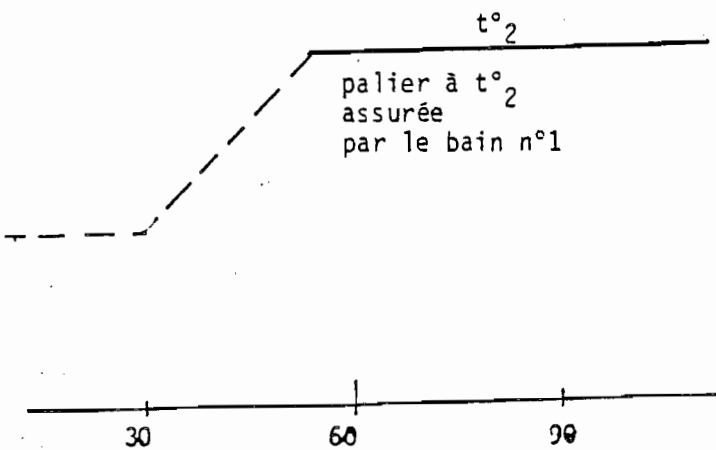
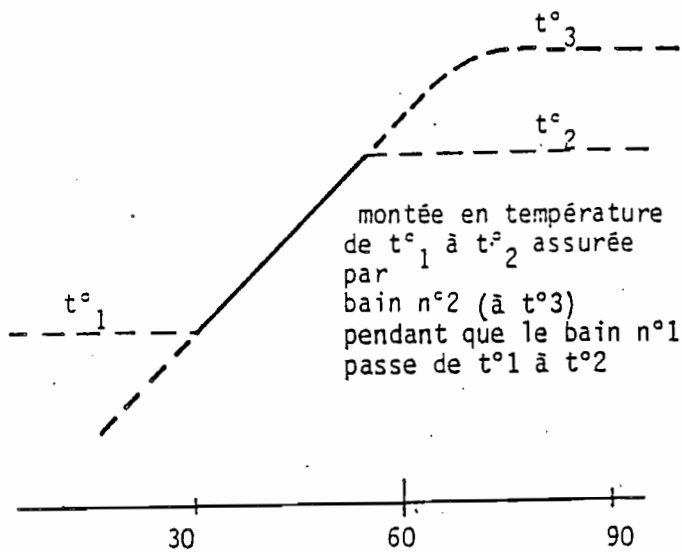
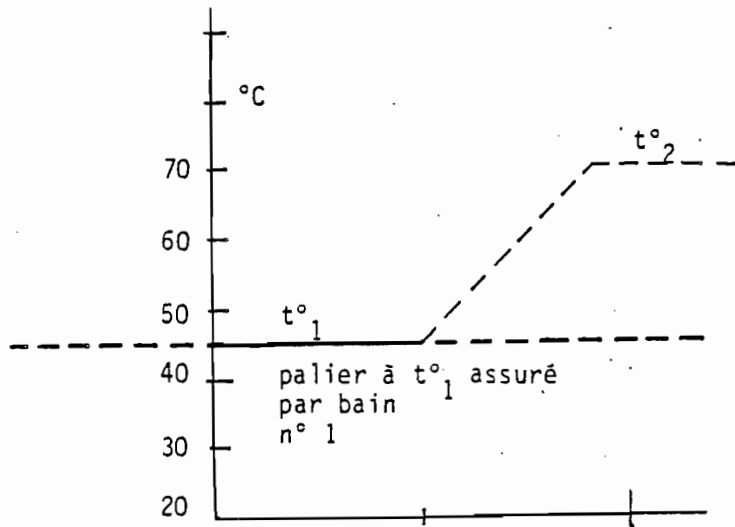
La conduite du diagramme thermique nous a amené à employer le matériel suivant :

- deux bains thermostatiques de type LAUDA K2R à circulation d'eau. L'un assure la montée en température par affichage d'un point de consigne supérieur à la température choisie, tandis que l'autre est réglé sur la température choisie. En passant de l'un à l'autre, au moyen de vannes 3 voies, on arrive à une certaine souplesse.
- deux béciers double parois permettant la circulation du liquide caloporteur, calorifugés et munis chacun
  - . d'un agitateur à hélice
  - . d'une sonde thermique
  - . d'une canule de vidange par siphonage, reliée à une trompe à vide.

Ce montage explicité ci-après, nous a permis d'effectuer différents diagrammes thermiques.



*Figure N° 43 : Matériel employé pour la réalisation des brassins*



— Trait gras : température du bain utilisé - diagramme réel  
 — Trait fin : diagramme théorique

Figure N° 44 : Système de chauffage à deux bains thermostatés

### 3.3.2.2. Adaptation des diagrammes de brassage

#### ● Facteurs influençant le déroulement du brassin

Les principaux facteurs étant susceptibles d'avoir une influence sur l'amylolyse en cours de brassage ont été étudiés. Il s'agit des paramètres suivants :

- granulométrie de la mouture du malt
- diagramme thermique
- pH du brassin
- qualité de l'eau de brassage
- rapport enzymes - substrat.

Ces différents paramètres ont été étudiés sur le malt d'orge puis adaptés aux malts de substitution en fonction des résultats obtenus.

#### a) la granulométrie de la mouture du malt

Afin de déterminer la mouture la mieux adaptée à notre étude, nous avons réalisé trois brassins correspondant chacun à un type de mouture :

- . mouture fine = refus nul au tamis à maille de 0,5 mm
- . mouture moyenne = refus nul au tamis à maille de 1 mm
- . mouture grossière = refus nul au tamis à maille de 2 mm

Les moutures fines et moyennes ont été réalisées avec le broyeur à couteaux IKA-WERK.(1).

La mouture grossière est réalisée par un concassage au broyeur à cylindre.

#### b) adaptation des diagrammes thermiques

Dans le but de favoriser l'action diastasique du malt sur des quantités croissantes d'amidon à liquéfier et à saccharifier, nous avons été amenés à tester différents diagrammes et à utiliser les techniques des trempes. Ces différents diagrammes sont décrits ci-après.

##### ■ Diagramme 1 : (voir figure n°45)

- . quantité totale de versement : 50 g (constitués de malt, ou malt plus amidon, ou malt plus manioc et ses dérivés).
- . volume d'eau 300 ml

L'empâtage est réalisé sur la totalité, soit 50 g/300 ml, l'ensemble est porté à 45° C - 15 minutes.

---

(1) Broyeur d'analyse IKA Z00 W à 20 000 t/mm  
Constructeur : JANKE et KUNKEL - IKA WERK  
D 7813 STAULEN in Breisgau

Trempe 1/3 du volume à 90° C - 15 minutes (soit 100 ml) -  
Mélanger aux 2/3 (conservés à 45° C) la température de  
l'ensemble est ainsi portée à 65° C puis maintenue à  
cette valeur 20 minutes.

Remarque : à cette température, il y a action optimale de la  
β amylase et 1/3 de la masse du brassin a été empesée.

Trempe 1/3 du volume à 90° C - 10 minutes (soit 100 ml) -  
Mélanger aux 2/3 restant à 65° C dans la cuve matière.  
De 65° C la température de l'ensemble passe à 75° C. Elle  
est maintenue 30 minutes.

Remarque : c'est au cours de cette période, qu'agit avec  
le maximum d'efficacité l'α amylase, complétant ainsi la  
dégradation des chaînes d'amidon.

Refroidissement rapide - complément à 450 g - filtration.

#### ■ Diagramme 2 : (voir figure n° 46)

Dans le présent diagramme, une partie du malt sert à  
maintenir l'amidon liquéfié au cours de l'empâtage. On  
essaie de parfaire la liquéfaction par :

- . un empesage de la totalité de l'amidon étranger au malt
- . des paliers de températures prolongés à 65° et 75° C.

La masse d'amidon "exogène" est donc préparée dans les  
meilleures conditions pour l'hydrolyse par le malt de  
la cuve matière.

Quantité d'eau : 5 ml/g pour l'amidon de manioc  
15 ml/g pour le malt

Empâtage : totalité de l'amidon et 10 % du malt d'une part  
et 90 % restant du malt d'autre part.

Chaudière à trempe : chauffer à 75° C, à raison de 1° C/minute.  
Maintenir à cette température 2 à 3 minutes. Laisser  
refroidir à 65° C.  
Réchauffer immédiatement à 90° C et maintenir pendant 5 minutes.

Mélanger au malt empâté qui a été maintenu à 45° C pendant  
20 minutes dans la "cuve matière". La température de l'en-  
semble doit être proche de 65° C. Elle est maintenue pendant  
20 minutes.

La seconde trempe est conduite de manière identique au  
1er diagramme.

■ Diagramme 3 : (voir figure n° 47)

Mêmes quantités d'eau, d'amidon et de malt.

Empâtage : même mode opératoire qu'au diagramme 2. Après refroidissement de la chaudière à trempe, la température de 65° C est maintenue 2 à 3 minutes. Les 10% de malt sont additionnés en deux temps, ce qui ramène la température à 55° C. La seconde trempe est supprimée. Le passage de 65° C à 75° C s'effectue à raison de 1° C/minute.

■ Diagramme 4 : (voir figure n° 48)

Mêmes quantités d'eau, d'amidon et de malt. que pour le diagramme 3.

Les paliers de température sont prolongés en cours de l'empâtage et modifiés comme suit.

5 minutes à 75° C  
10 minutes à 65° C  
15 minutes à l'ébullition

Cuve matière : passage au palier à 75° C à raison de 1° C/minute.

■ Diagramme 5 : (voir figure n° 49)

Identique au diagramme 4. Au cours de l'empâtage dans la chaudière à trempe le refroidissement est assuré par un nouveau versement de 10% de malt empâté à 45° C.

■ Diagramme 6 : (voir figure n° 50)

Identique au diagramme 4. Les paliers de température sont supprimés dans la chaudière à trempe. L'ébullition de 15 minutes est conservée en fin de trempe.

c) le pH

Les pH optimum en cours de brassage doivent se situer pour le malt d'orge entre 5,2 et 5,7. Lorsque le pH du substrat empâté ne correspond pas à l'optimum (dans le cas de la féculle de manioc) on est amené à pratiquer une correction de pH à l'aide de soude 2N.

Trois valeurs de pH ont été testées sur les brassins contenant de 25 à 60 % d'amidon de manioc. Il s'agit des valeurs suivantes : 5,2 - 5,5 - 5,7 -

d) la dureté de l'eau

Nous avons voulu tenir compte de cette influence, bien connue des brasseurs, dans nos essais. En particulier, nous avons voulu mettre en évidence l'action des ions  $Ca^{++}$  sur les amylases en comparant des brassins fait à l'eau permutée et des brassins fait en mélangeant eau permutée et eau de conduite dont la dureté est voisine de 35° F.

e) le rapport enzyme - substrat

Afin d'optimiser l'hydrolyse de l'amidon, nous avons essayé d'utiliser au maximum le potentiel enzymatique dont nous disposions avec le malt d'orge. La concentration en enzyme restant constante, nous avons fait varier la concentration en substrat par adjonction croissante d'amidon. Dans une optique technologique, nous avons remplacé le rapport enzymes - substrat par le rapport brut malt d'orge - amidon.

Les critères d'appréciation sont :

- . la vitesse de saccharification (test à l'iode)
- . la teneur finale du moût en sucres réducteurs (voir méthode chromatographique en annexe)
- . la facilité de manipulation du brassin en fonction de la viscosité.
- . la facilité de manipulation du brassin

Mode opératoire

- . quantité de malt d'orge : 2 g
- . diagramme thermique n° 6
- . pH : 5,2
- . gamme standard confectionné pour l'analyse des sucres réducteurs par la méthode à la néocuproïne.

glucose 10 %  
maltose 70 %  
maltotriose 20 %

En fonction de l'origine de l'amidon (gari, fécule de manioc), les meilleurs rapports enzymes - substrats varient. Pour déterminer la limite au-delà de laquelle se manifestait l'inhibition du pouvoir diastasique du malt d'orge par l'excès de substrat, nous avons employé de l'amidon soluble MERCK. Puis, nous avons testé le gari et la fécule de manioc. de façon à vérifier notre approche en terme d'alternatives. Toutefois, pour des raisons de fiabilité des matières premières nous avons choisi une fécule de manioc plutôt qu'une farine ou qu'un gari.



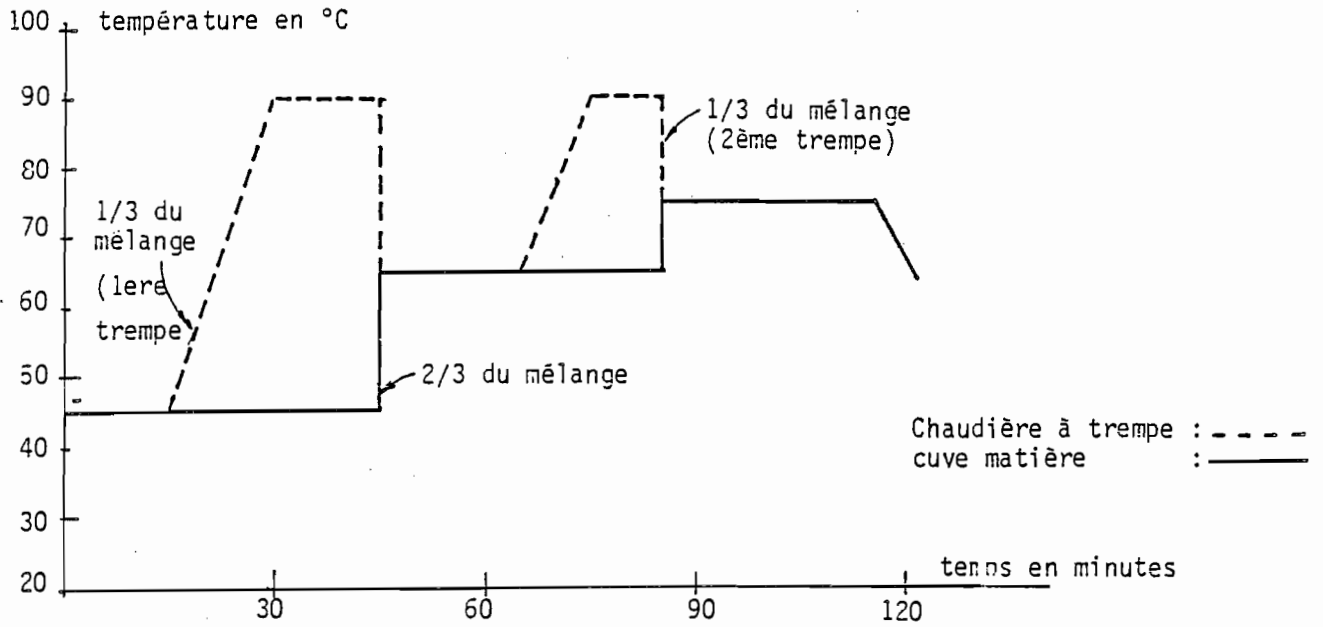


Figure N° 45 : Diagramme n° 1

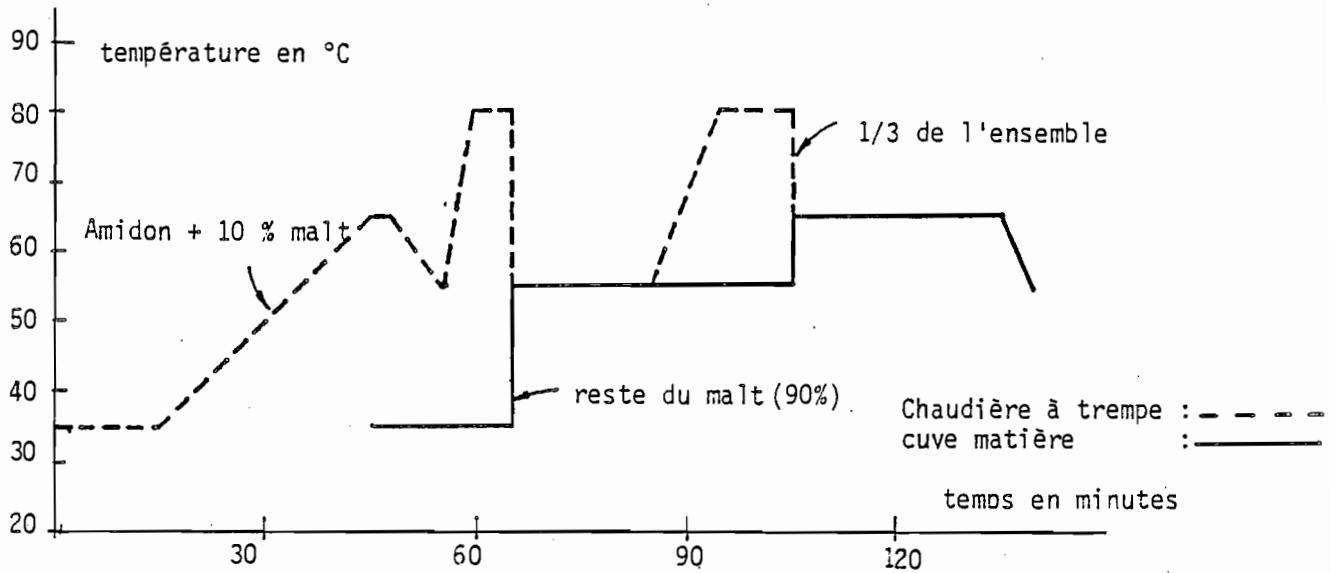


Figure N° 46 : Diagramme n° 2

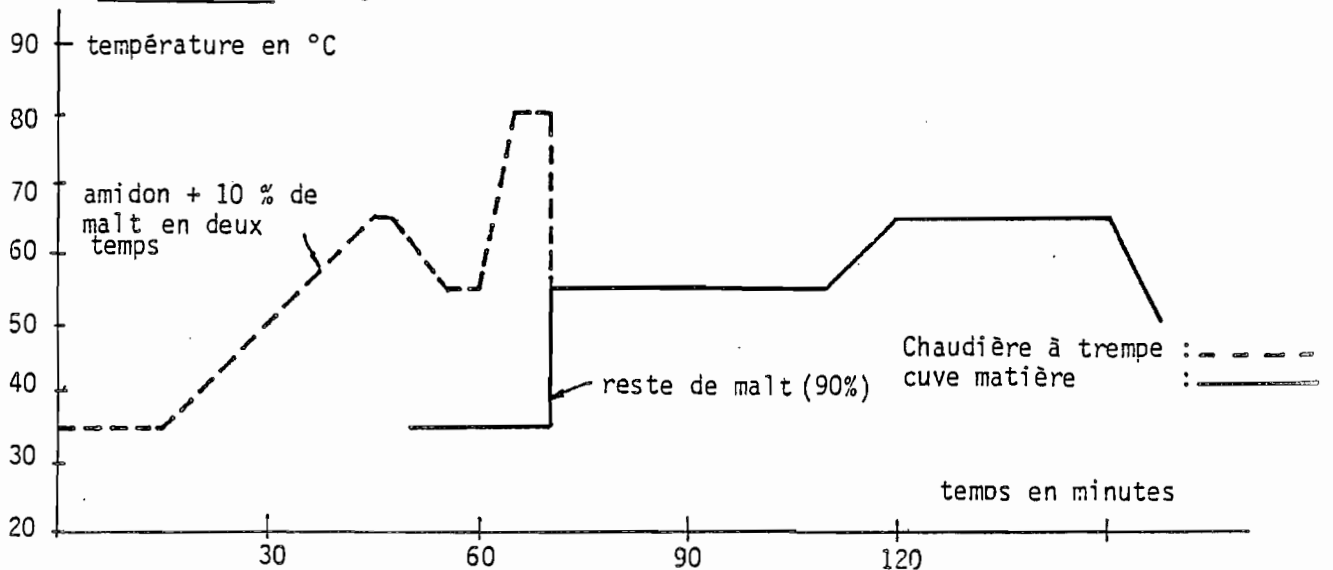


Figure N° 47 : Diagramme n° 3

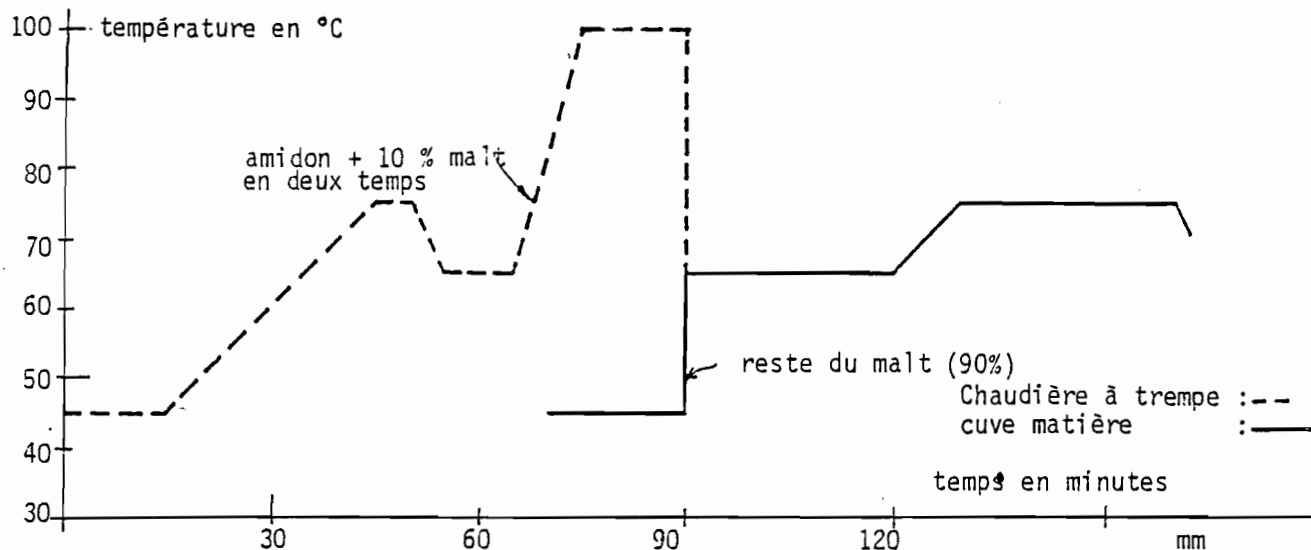


Figure N° 48 : Diagramme n° 4

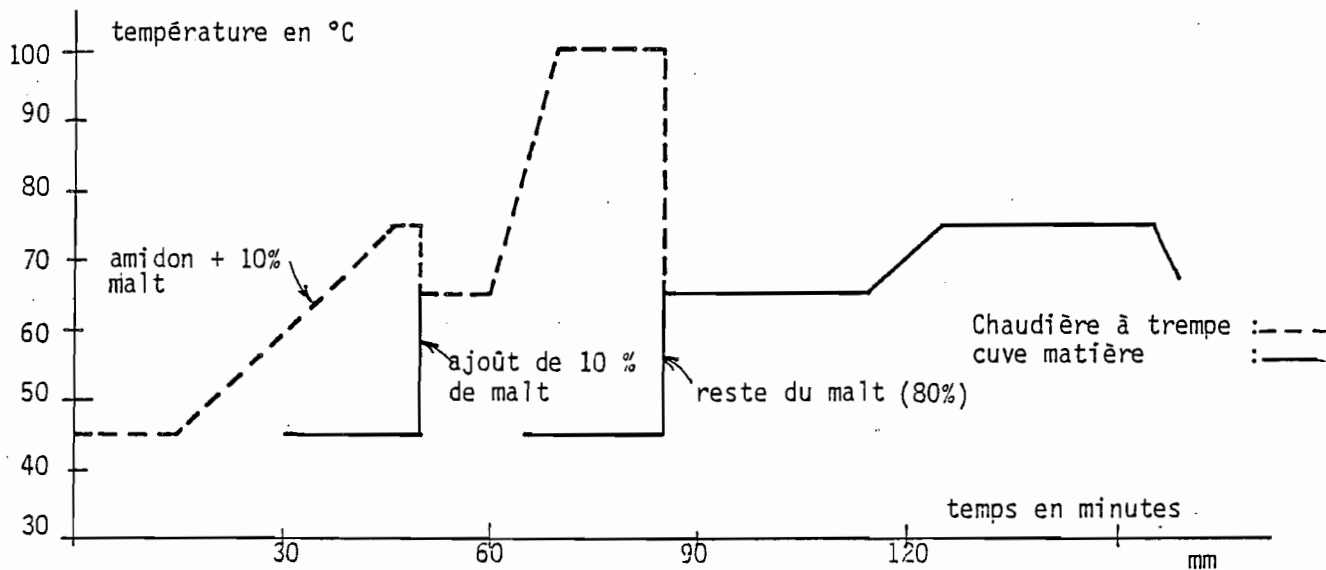


Figure N° 49 : Diagramme n° 5

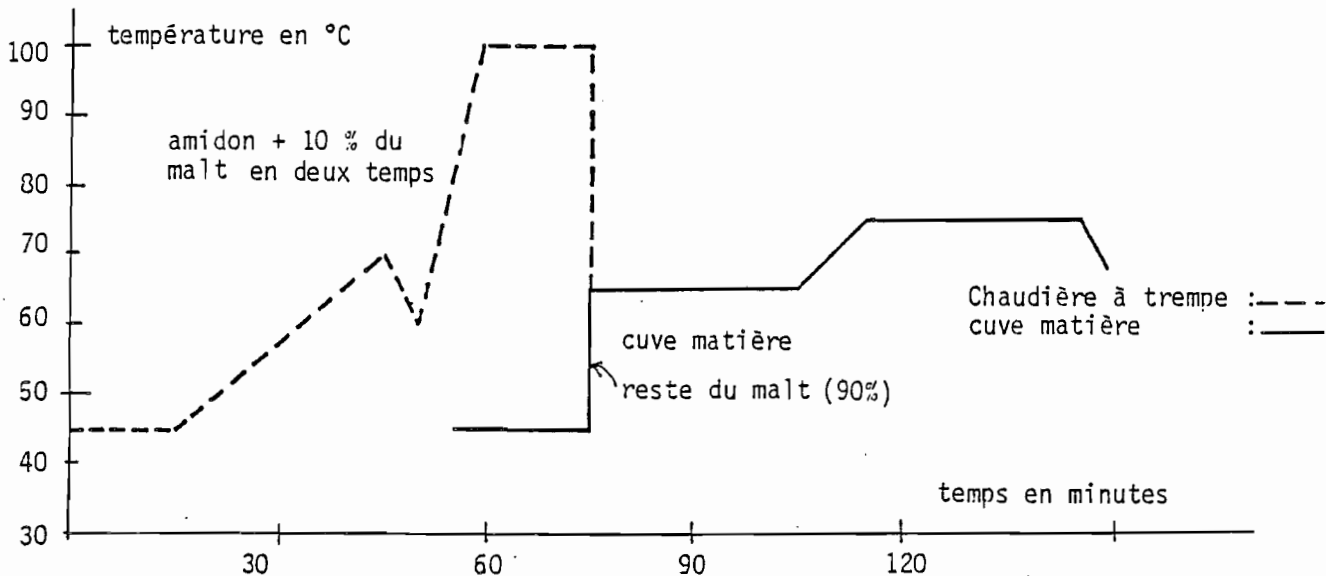


Figure N° 50 : Diagramme n° 6

### 3.3.3. Système amylolytique non conventionnel : le Munkoyo

Dans les paragraphes consacrés à la connaissance des pratiques traditionnelles et des technologies autochtones de saccharification, nous avons accordé une place toute particulière au Munkoyo. Dans l'analyse bibliographique, nous avons donné les références des travaux qui ont porté sur cette boisson et sur l'étude des propriétés enzymatiques des racines d'Eminia.

Il convient à présent de préciser les techniques d'extraction, de purification et de caractérisation biochimiques des enzymes développées par ces racines.

Ces travaux ont été conduits dans un premier temps au ZAIRE où nous avons pu mettre en évidence les activités enzymatiques des racines fraîches, caractériser les sucres formés au cours d'une hydrolyse de substrats amylicés et entreprendre une purification préliminaire des enzymes pour étudier quelques unes des propriétés biochimiques de l'Eminia. Ultérieurement, l'étude a été poursuivie en FRANCE avec une comparaison des activités enzymatiques du malt d'orge et du Munkoyo. Enfin, une étude complémentaire du système amylolytique a été entreprise pour immobiliser les amylases du malt et du Munkoyo.

#### 3.3.3.1. Détermination des activités amylolytiques du Munkoyo

##### ● Préparation des échantillons

Les racines fraîches "Munkoyo Mulaba" (identifiées par le Professeur MALAISSE (1) comme étant "Eminia Polyadenia Haumann") sont brossées, écorcées et défibrées.

Les fibres sont découpés en fragments de quelques centimètres de longueur.

Les échantillons ainsi débités et non utilisés immédiatement sont soit conservés tel quel en sachets plastiques de 250 grammes et placés au réfrigérateur à 4° C, soit lyophilisés. Les échantillons lyophilisés ont pu être conservés plus de 2 ans à 4° C et ont servi aux études menées en FRANCE.

##### ● Essais d'hydrolyse enzymatique

L'activité amylolytique des racines d'Eminia est d'abord vérifiée par transposition au laboratoire de la technologie traditionnelle en utilisant un substrat amylicé local : la farine de manioc. Cette technologie qui conduit à la préparation d'un empois épais de farine de manioc avant introduction des fibres de racines est modifiée pour permettre un brassage en milieu liquide de la façon suivante.

(1) Professeur de botanique à l'Université Nationale du ZAIRE (U.NA.ZA).

On met en suspension dans l'eau à 30° C une farine de manioc et on ajoute 10% en poids de fibres de racines en maintenant une agitation constante. Des diagrammes thermiques de brassage sont testés avec ou sans pratique de "trempes". La saccharification est contrôlée par le test à l'eau iodée. Le moût est séparé des drêches et des fibres de racines d'Eminia par filtration sur buchner sous un faible vide (60 mm Hg). Les drêches sont lavées à l'eau chaude à 75° C et les eaux de lavage sont additionnées au premier jus. Le dosage des sucres réducteurs est fait par la méthode titrimétrique de BERTRAND au  $\text{KMnO}_4\text{-N}/10$ .

### 3.3.3.2. Méthodes d'obtention et d'identification des sucres

Des moûts sucrés sont préparés avec de l'amidon MERCK de la façon suivante :

40 grammes d'amidon sont transformés en empois avec 200 ml d'eau à ébullition. On laisse refroidir cet empois à 50° C et on rajoute 1,5 litre d'eau distillée à 50° C. On introduit alors 20 grammes de racines défibrées qui provoquent une liquéfaction immédiate ; puis on suit le diagramme thermique suivant :

- 15 minutes à 50° C,
- Chauffage de 50 à 65° C à raison de 1° C/min = 15 minutes
- Stationnement à 65° C - 30 minutes
- Chauffage de 65 à 75° C (1° C/mn) = 10 minutes
- Stationnement à 75° C - 20 minutes

Le jus sucré est séparé des racines d'Eminia qui sont lavées avec 4 fois 50 ml d'eau chaude à 75° C. Les eaux de lavage sont additionnées au premier jus.

Le jus sucré de couleur jaunâtre est alors additionné de 8 grammes de charbon actif et porté à ébullition pendant 10 minutes sous agitation constante, puis filtré sur une couche de kieselguhr de 1 cm d'épaisseur sous un vide de 60 mm de Hg (trompe à eau).

Le jus sucré clair est introduit dans un ballon piqué et soumis à concentration dans un évaporateur rotatif relié à une pompe à vide autorisant un vide poussé de 20 mm Hg. On fait circuler dans le réfrigérant un mélange frigorigène (alcool + eau) à 5 - 6° C.

L'évaporation est arrêtée lorsqu'il reste environ 100 ml de sirop. Ce sirop est alors versé dans une capsule métallique puis introduit dans une étuve sous vide et soumis aux conditions suivantes :

- 60° C pendant 12 heures sous 20 mm Hg,
- 90° C pendant 2 heures sous 20 mm Hg.

Le sucre obtenu qui a cristallisé est utilisé pour effectuer les analyses d'identification.

Celles-ci ont porté sur

- \* la mesure du pouvoir rotatoire spécifique par polarimétrie,
- \* les réactions d'identification des sucres qui en milieu acide et en présence de divers phénols donnent des réactions colorées, à savoir :
  - . réaction générale des sucres : réaction de Molish,
  - . réaction de différenciation des mono et dissacharides : réaction de Barfoed,
  - . réaction des pentoses : phloroglucine,
  - . réaction des sucres réducteurs : réaction de Fehling  
réaction au miroir d'argent  
réaction de Nylander
- \* les caractérisations par l'obtention d'osazones en fonction
  - . du temps de formation des osazones,
  - . du point de fusion de ces osazones,
  - . de l'analyse microscopique des osazones dont les cristaux ont des formes spécifiques pour chaque sucre
- \* les analyses par chromatographie en phase gazeuse.

Ces analyses ont été effectuées sur un chromatographe GIRAVION-DORAND à ionisation de flamme. Les sucres sont préalablement transformés en dérivés triméthylsilylés selon la méthode de SWEETLEY et al (1963) préconisée par R. NUNNIKOVEN et al (1970) dans laquelle 10 mg de sucre à étudier sont mis en solution dans 1 ml de pyridine anhydre. On ajoute 0,2 ml d'HMDS (hexamethyldisilane), puis 0,1 ml de TMS (Trichloro methylsilane). Il se forme un léger précipité blanc de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . On peut injecter le surnageant tel quel, mais pour éviter la traînée de pyridine, on évapore et on reprend par du  $\text{CHCl}_3$ . Les colonnes de chromatographie utilisées ont été préparées au laboratoire avec les caractéristiques suivantes :

- . qualité du tube : acier inoxydable,
- . longueur : 3 m
- . diamètre : 1/8
- . support : chromosorb W, AW, HMDS (1) 80 - 100 mesh.
- . phases stationnaires : OV<sub>1</sub> 3% ou OV<sub>17</sub> 4% (2)

Le phase stationnaire est solubilisée dans un excès de chloroforme et mélangée avec le support poreux. L'ensemble est alors introduit dans un évaporateur rotatif sous vide jusqu'à ce qu'il soit parfaitement sec. La colonne est remplie de façon homogène mise en spirale puis introduite dans le four du chromatographe où elle subit une maturation à 355° C pendant 48 heures sous courant d'azote.

(1) Chromosorb blanc, lavé aux acides et traités à l'hexaméthyl disilane.  
(2) Phases stationnaires préconisées par NUNNIKOVEN et al. op. cité et HONOLD G.R., HOBBS W.E. (1974)

- . les analyses chromatographiques ont été conduites pour
  - . mettre en évidence la longueur de la chaîne carbonée (mono ; di ; tri saccharides),
  - . identifier les mono et disaccharides par mesure des distances de rétention et par étalonnage interne
  - . quantifier par mesure des surfaces des pics de rétention, les différents sucres présents.
- . la chromatographie sur papier

L'étude d'identification des sucres formés par action d'un extrait brut de Munkoyo sur de l'amidon soluble a été complétée en France par un contrôle rapide au moyen d'une analyse chromatographique sur papier Whatman 3M.

La méthode utilisée a été la suivante : 1 ml d'extrait enzymatique est mélangé à 2 ml d'empois d'amidon. Après 5 minutes de réaction, on bloque l'action enzymatique avec une solution d'acide trichloracétique à 10% (P/V). Le solvant utilisé est un mélange composé d'acétates d'éthylpyridine-eau dont le rapport en volume est 10-4-3. La migration dure 20 heures.

La révélation des sucres se fait alors en trois temps :

- a) réactif de pulvérisation obtenu en ajoutant 0,1 ml d'une solution aqueuse saturée de nitrate d'argent à 20 ml d'acétone
- b) solution d'hydroxyde de sodium 0,5 N dans l'éthanol
- c) immersion du chromatogramme dans une solution d'hydroxyde d'ammonium 6 N. Puis on lave le papier à l'eau distillée pour éliminer l'excès d'hydroxyde d'argent qui a été dissout.

### 3.3.3.3. Préparation d'extraits enzymatiques, purification et mesures

#### physico-chimiques caractéristiques

##### ● Préparation d'un extrait enzymatique concentré sec

Les morceaux de fibres des racines fraîches sont mis à tremper dans un tampon phosphate de sodium 0,05 M à pH 7, pressées légèrement et agitées à froid pendant 6 heures. L'extrait est ensuite filtré sur une couche de Kieselguhr.

Le filtrat aqueux, maintenu à 15° C est additionné de sulfate d'ammonium par petites fractions successives pour atteindre 90 % de saturation ( 1 ). Cette opération dite de relargage, préconisée par ALEXANDER et BLOCK (1960), conduit à l'obtention d'un précipité protéique. Après 2 heures de réaction, ce précipité est récupéré par centrifugation à froid et mis en solution dans un volume minimal d'eau distillée. Cette solution est dialysée dans des tubes de cellophane contre de l'eau distillée pour éliminer le sulfate d'ammonium retenu par le précipité. La solution est alors lyophilisée et fournit une poudre brune amorphe qui manifeste une forte activité amylolytique.

Les essais de décoloration de la poudre brune en faisant appel aux propriétés absorbantes du charbon actif ou du sulfate de baryum se sont avérés négatifs. Aussi, nous avons utilisé l'extrait enzymatique d'Eminia coloré pour l'étape de purification complémentaire par chromatographie d'adsorption sur colonne. L'extrait sec d'Eminia est conservé à froid et à l'abri de la lumière.

#### ● Purifications complémentaires et mesures caractéristiques

Une chromatographie d'adsorption sur colonne d'hydroxyapatite est réalisée sur l'extrait d'Eminia précédent.

Compte-tenu des moyens disponibles au laboratoire, nous avons choisi comme adsorbant ce phosphate basique de calcium recommandé par TISELIUS et al. (1956) et SKELTON (1968) pour le fractionnement de solutions protéiques de faible poids moléculaire. La préparation du support est délicate et lors du remplissage des colonnes il faut éviter des pressions hydrostatiques supérieures à 70 cm de solution tampon pour éviter les risques de fissures.

L'extrait d'Eminia est élué par percolation au moyen de cinq tampons phosphate à pH 7 dont les concentrations molaires respectives sont 0,005 ; 0,006 ; 0,12 ; 0,25 ; 0,50 (80 ml sont percolés pour chaque concentration).

La colonne est munie d'un réfrigérant et l'opération est maintenue à 17° C. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- . longueur : 56 cm
- . diamètre : 1,8 cm
- . quantité d'adsorbant : 25 grammes

L'élué par palier permet de recueillir 5 fractions différentes sur lesquelles on a pu mesurer quelques caractéristiques :

- . le coefficient d'absorption à la longueur d'onde des protéines : 280 nm,
- . l'activité enzymatique par la méthode de BENDELOW (1963) au moyen du réactif acide 3-5 dinitro - salicylique, comme dans le cas du malt.

Sur ces fractions présentant la plus forte activité enzymatique on a pu étudier quelques propriétés biochimiques en

- . étudiant l'influence de la température et celle du pH sur l'activité enzymatique
- . déterminant la constante de Michaelis (Km)

(1) Soit 74 grammes de sulfate d'ammonium pour 100 ml de solution.

3.3.3.4. Comparaison des activités enzymatiques du malt et du Munkoyo

De façon à compléter et à enrichir les essais précités, conduits au ZAIRE, des travaux complémentaires ont été réalisés à NANCY. Les méthodes d'extraction et de purification retenues pour comparer l'ensemble des activités enzymatiques du malt et du munkoyo sont les suivantes :

● Extraction des amylases  $\alpha$  et  $\beta$

La méthode qui a été retenue pour ces extractions, comme étant celle conduisant aux activités spécifiques les plus élevées est celle décrite par LABERGE et MEREDITH (1971) pour l'extraction des amylases du malt. Elle consiste à mélanger 75 g de farine de malt ou de munkoyo avec 210 ml de tampon citrate trisodique 0,1 M, et contenant du  $\text{CaCl}_2$   $10^{-3}$  M et du thioglycerol  $10^{-3}$  M. Le tampon est ajusté à pH 6. Le mélange est homogénéisé sous azote pendant cinq minutes, puis centrifugé à 9 000 g pendant vingt minutes. On filtre le surnageant sur laine de verre, tandis que le culot de centrifugation est repris par 135 puis 130 ml du même tampon citrate trisodique. On mélange tous les filtrats puis on dialyse pendant trois jours contre un tampon acétate 0,02 M ajusté à pH 4,75 et contenant du thioglycérol  $10^{-3}$  M et du  $\text{CaCl}$   $10^{-3}$  M comme précédemment. Le tampon est renouvelé trois fois au cours de cette période. La dialysat est centrifugé à 9 000 g pendant vingt minutes. Le surnageant rassemble les activités amylolytiques.

● Séparation et purification des amylases

Les séparations et purifications des extraits amylolytiques ont été réalisées par chromatographie sur colonne de carboxyméthyl-cellulose (CMC<sub>32</sub> Whatman).

L'élution initiale de l'extrait enzymatique est effectuée à l'aide d'un tampon acétate de sodium 0,02 M à pH 4,75 contenant du  $\text{CaCl}_2$   $10^{-3}$  M et du thioglycérol  $10^{-3}$  M. Le débit est de 1,25 ml par minute. L'opération se déroule à 5° C. Puis, on utilise un gradient de concentration en ion sodium variant de la concentration initiale 0,02 M à 0,75 M.

La colonne utilisée a les dimensions suivantes :

- . longueur : 90 cm
- . diamètre : 3,2 cm
- . quantité de gel : 50 g

Les différentes fractions recueillies sont analysées par spectrophotométrie à 280 nm pour déterminer leur teneur relative en protéines.



● Dosage des activités amylasiques

Comme précédemment pour le dosage des activités amylasiques des malts d'orge ou de sorgho, la méthode employée est celle de BENDELOW (1963). L'activité  $\alpha$  amylasique est déterminée après inhibition de la  $\beta$  amylase par traitement de l'extrait total au moyen d'une solution saturée de chlorure phenylmercurique. La mesure de l'activité  $\beta$  amylase se fait par différence entre activité totale et activité  $\alpha$ .

De façon à fournir des résultats comparables entre les activités amylasiques du malt et du munkoyo, nous avons eu recours au dosage préalable des protéines de l'extrait enzymatique. La méthode de LOWRY et al (1952) a été retenue. Elle permet de lire au spectrophotomètre à 650 nm les densités optiques dues à la réaction des protéines avec le réactif de FOLIN. Une gamme de référence, établie par réaction des albumines bovines sur le même réactif permet de tracer une courbe d'étalonnage pour des concentrations comprises entre 0 et 1 mg de serum albumine par ml de solution protéique.

● Autres activités enzymatiques étudiées.

Bien que l'étude des amylases constitue l'essentiel du travail comparatif entre malt et munkoyo, il convient de souligner la mise en évidence d'autres glucohydrolases dans le malt et le munkoyo. Il s'agit des laminarases,  $\beta$  glucanases, dextrinases.

- Activité laminarasique

Rappelons que la laminarase dégrade la laminarine qui est un composé formé exclusivement d'unités glucose liées en  $\beta$ 1-3. Ce polysaccharide linéaire est dégradé par la laminaribiase en sucres simples assimilés par les levures. L'activité laminarasique a été mesurée par la méthode colorimétrique de SOMOGYI (1945) reprise par HODJE et al (1962).

- Activité  $\beta$  glucanasique

Rappelons que les endo  $\beta$  glucanases sont des enzymes qui hydrolysent les chaînes de  $\beta$  glucane et entraînent une diminution rapide de la viscosité du moût.

La structure primaire des  $\beta$  glucanes est constituée d'unités glucose reliées entre-elles par des liaisons  $\beta$ 1-3 et  $\beta$ 1-4. Ceux sont des constituants importants de la paroi cellulaire de l'orge. De nombreux auteurs s'y sont intéressés et ont proposés des méthodes d'extraction puis de dosage de l'activité  $\beta$  glucanasique.

Les techniques d'extraction de PREECE et al (1952), MEREDITH et al (1955), SCOTT (1972) et KUMADA (1975) ont été reprises et adaptées au cas du munkoyo par TIENDREBEOGO (1978).

La détermination de l'activité endo  $\beta$  glucanasique utilisée a été celle liée à la variation de viscosité d'un substrat de  $\beta$  glucanes par une solution enzymatique de malt ou de munkoyo. Un viscosimètre à écoulement capillaire de diamètre 0,78 mm a été utilisé.

### Activité dextrinasique

Rappelons que les dextrinases complètent l'action saccharifiante des amylases en hydrolysant les liaisons  $\alpha$ 1-6 qui supportent les ramifications des chaînes d'amylopectine de la molécule d'amidon.

Plusieurs auteurs proposent des méthodes de détermination de l'activité dextrinasique. BACK et al (1948) font état d'une technique fondée sur le dosage des sucres fermentescibles formés à partir d'une solution standard de dextrines limites grâce aux extraits enzymatiques à tester, portés à la température de 30° C pendant 1 heure. KNEEN et al (1948) mesurent eux le pouvoir réducteur des produits formés au cours d'une réaction similaire mais à 50° C pendant 2 heures. MANNERS et al (1969) ont choisi de mesurer la densité optique d'une solution de pullulane (composé d'unité de maltotriose) après 2 heures et demi d'incubation de ce substrat à 37° C en présence d'extrait enzymatique.

Dans ce travail, la technique retenue, celle de GREIG (1963) consiste à déterminer les sucres réducteurs formés par action de la solution protéique dont on désire mesurer l'activité dextrinasique limite sur une solution à 1% de dextrines limites préparée dans un tampon acétate 0,05 M à pH 4,6. La réaction est conduite à 20° C pendant 6 heures. Bloqué par 2 ml d'une solution d'acide 3-5 dinitrosalicylique et plongé dans un bain marie bouillant pendant 5 minutes, le mélange réactionnel de couleur orangée est dilué avant d'y effectuer les mesures de densité optique au spectrophotomètre à 505  $\mu$ m. La courbe d'étalonnage établie en maltose pour le dosage des activités amylasiques est utilisée pour exprimer l'activité mesurée en  $\mu$  moles de maltose par milligrammes de protéines.

#### 3.3.4. Techniques d'immobilisation des amylases

La similitude enregistrée entre les activités amylasiques du malt et du munkoyo, augmentée par l'observation faite sur la conservation assez exceptionnelle de l'activité des racines de munkoyo, nous ont conduit à penser qu'il pouvait être intéressant de vérifier dans quelle mesure il serait possible d'immobiliser les protéines au sein des fibres ligno-cellulosiques de cette racine. Ceci nous a conduit à expérimenter les méthodes applicables à la fixation sur support inerte. Comme signalée dans l'étude bibliographique, plusieurs supports apparaissent possibles.

Nous avons mis en oeuvre plusieurs techniques d'immobilisation basées sur la fixation covalente, l'inclusion et l'encapsulation.

A cette fin, les racines de munkoyo sont coupées en morceaux de 5 cm de longueur, puis congelées dans la neige carbonique. Elles sont ensuite écrasées dans un mortier et enfin broyées dans un homogénéiseur. Les grains de malt sont broyés dans les mêmes conditions.

- Traitement au glutaraldehyde

Les fragments ainsi préparés sont trempés dans une solution de glutaraldehyde à diverses concentrations (1 à 3,5 % v/v) dans un tampon acétate (0,2 M à pH 4,75) pendant 4 jours à 4° C. Ils sont ensuite lavés abondamment à l'eau distillée pour éliminer l'excédent de glutaraldehyde et enfin séchés à l'air ambiant.

- Inclusion dans un gel de carraghenanes

20 grammes de fragments sont dispersés dans 20 ml de solution de NaCl à 9g/l à 37° C. On ajoute 1,24 grammes de carraghenanes dissous dans 40 ml de cette solution. Le mélange est refroidi à 10° C pendant 30 mn. Le gel formé est transféré dans une solution de KCl 0,3 M pour le durcir, puis il est fragmenté en particules de 3 mm de diamètre. A 2 g de particules, on ajoute 100 mg de gélatine et 20 ml de glutaraldehyde 0,2 M. Le mélange est alors agité pendant une heure à 37° C, puis on élimine l'excès de glutaraldehyde en lavant le gel à l'eau distillée.

- Traitement par un mélange épichlorhydrine - glutaraldehyde

Nous avons pensé qu'il était possible d'utiliser l'épichlorhydrine pour fixer les protéines sur leur support naturel (TAKATA et al 1977). Nous avons traité les fragments de fibres de munkoyo et les grains de malt par un mélange d'épichlorhydrine (2,5 % v/v) et de glutaraldehyde (3 % v/v) en solution dans le tampon acétate 0,2 M à pH 4,75 contenant du CaCl<sub>2</sub> 0,001 M et du thyoglycérol 0,001 M. Après 48 heures d'immersion les fibres sont lavées à l'eau distillée et séchées à l'air libre. Dans le cas du malt, le traitement est appliqué au grain entier, sous vide afin d'éliminer l'air occlus et de faciliter la pénétration des réactifs.

- Processus expérimental

7 g de matériel enzymatique sec (traité ou non) sont introduits dans un réacteur tubulaire de 11,5 ml maintenu constamment à 40° C. Le dispositif est drainé de bas en haut à l'aide d'une pompe péristaltique à débit constant (1,5 ml/mn). Le substrat est une solution tamponnée d'amidon soluble (tampon acétate à pH 5,3). A la sortie du réacteur on détermine la teneur en protéines et en sucres réducteurs.

3.4. RESULTATS

3.4.1. Malt de référence et brassage des amylicés tropicaux  
-----

De façon à aboutir à une proposition d'alternative technologique d'hydrolyse, nous avons entrepris une série de tests capables de définir les conditions générales du brassage en utilisant le malt d'orge.

Les résultats de ces tests sont présentés ci-après.

3.4.1.1. Influence de la granulométrie du malt

Les premiers brassins, réalisés avec du malt pur en suivant le diagramme thermique du brassin conventionnel nous ont permis de déterminer l'influence de la finesse de la mouture du malt. Nous avons dosé à cet effet la teneur du moût en extrait, en fin de brassage, ainsi que les sucres réducteurs totaux en utilisant la méthode à la néocuprine (voir méthode analytique en annexe).

Le dosage des sucres réducteurs récupérables dans les eaux de lavage (deux fois 50 ml d'eau chaude à 70° C) nous a permis d'ajuster la méthode de broyage.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

TABLEAU N° XIV - INFLUENCE DE LA GRANULOMETRIE DU MALT

N° des brassins	Finesse des particules en mm			% d'extrait g/100 ml	Rendement g/100 g M.S.	Sucres réducteurs totaux (g/100 ml)	
	x < 2	x < 1	x < 0,5			moût	Eau de lavage
1	x			7, 69	64, 8	3, 68	0, 72
2	x			8, 30	69, 9	3, 72	0, 80
3		x		8, 35	70, 3	4, 01	0, 59
4		x		8, 36	70, 4	4, 13	0, 57
5			x	8, 46	71, 3	4, 17	0, 72
6			x	8, 52	71, 8	4, 15	0, 67

Rappels : 1) Le rendement en matière sèche ( $R_s$ ) est calculé à partir du rendement en matière fraîche ( $R_f$ ) suivant l'expression

$$R_s(\%) = \frac{100}{\text{teneur en matières sèches du malt } (\%)} \times R_f$$

Le rendement réel sur la matière fraîche est le rapport de la somme des matières dissoutes, au brassage, dans le volume total du brassin, sur le poids du malt, soit :

$$R_p(\%) = \frac{E_v \times V}{K}$$

avec

K = poids de la prise d'essai en kg  
 V = volume total du brassin en litre  
 E<sub>v</sub> = pourcentage d'extrait dans le moût en g/100 ml

2) La teneur en extrait est obtenue en mesurant la densité du moût au pycnomètre et en reportant cette valeur sur les tables d'extrait de GOLDINER et KLEMANN.

Discussions : la mouture la plus fine donne les meilleurs résultats en rendement. Cette mouture est aussi la plus facile à obtenir en utilisant le broyeur de laboratoire IKA WERK. Toutefois, on remarque que la teneur en sucres réducteurs totaux des eaux de lavage augmente si la mouture est trop fine. Aussi, dans la suite des essais, nous avons été amenés à déterminer un temps optimum de broyage de 20 secondes par prise de 15 g de malt. Dans ces conditions, la répartition pondérale au tamisage est la suivante.

TABLEAU N° XV : REPARTITION PONDERALE DE LA MOUTURE DU MALT

Finesse des particules x en mm	% des particules
x < 0,2	59
0,2 < x < 0,5	33
x > 0,5	8

3.4.1.2. Influence du diagramme thermique pour le brassage du manioc

Le brassin conventionnel ne travaille que par infusion.

Pour favoriser la gélification de l'amidon de manioc nous avons été amenés à rechercher un diagramme thermique utilisant la méthode des "trempes".

En utilisant le test rapide de contrôle de saccharification à l'eau iodée, nous avons pu retenir les diagrammes n° 3, 4, 5 et 6 comme ceux assurant une saccharification rapide du manioc. Tant que le pourcentage de versement en manioc ne dépasse pas 60% le test à l'iode est négatif en moins de 10 minutes.

Pour retenir le diagramme thermique le plus approprié, nous avons fixé le versement en manioc (sous forme de gari) à 40% et nous avons mesuré le % d'extrait en fin de brassage.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

TABLEAU N° XVI : INFLUENCE DU DIAGRAMME THERMIQUE POUR LE BRASSAGE DU MANIOC

Diagramme thermique utilisé	Versement en g/100 g de malt	% Extrait g/100 ml	Temps de saccharification min
N° 3	40	8,6	< 10
N° 4	40	7,4	< 10
N° 5	40	8,3	< 10
N° 6	38,5	8,9	< 10

Discussion : Le diagramme N° 6 donne les meilleurs résultats. Nous avons retenu en conséquence ce diagramme pour les essais relatifs à la détermination du rapport maximal enzyme/substrat.

3.4.1.3. Influence du pH

Le brassage du manioc (sous la forme "gari") nous a permis de vérifier qu'en fonction de la qualité de manioc introduite dans le brassin, le pH du moût diminuait. Ce fait s'explique aisément car le manioc utilisé, mis en solution dans l'eau distillée affiche un pH acide de 4,5. Rappelons en effet que si le manioc est généralement alcalin, le "gari" est un produit issu d'une technologie traditionnelle mettant en oeuvre une fermentation lactique.

Nous avons effectué une série de brassins avec le diagramme thermique N° 3 en rajustant à la soude le pH du moût aux valeurs suivantes : 5,2 ; 5,5 ; 5,7.

Les résultats obtenus sont les suivants :

TABLEAU N° XVII : INFLUENCE DU PH DU MOUT POUR LE BRASSAGE DU MANIOC

Quantité de gari dans le versement en %	Sucres réducteurs en g/litre		
	pH 5,2	pH 5,5	pH 5,7
40	23,68	23,49	-
50	23,49	23,29	-
60	23,10	22,81	23,70
65	23,20	22,05	23,60
70	22,53	19,84	20,67
75	22,24	19,26	18,96
80	20,03	20,80	15,30
85	20,41	18,70	14,20

Discussion : Ces résultats visualisés sur la figure suivante montrent que les sucres réducteurs obtenus avec la série à pH = 5,2, présentent la différence la plus faible entre un brassin à 40% de substrat amylacé de manioc et un brassin à 85%. Plus on s'éloigne du pH = 5,2, plus cet écart augmente. On en déduit que ce pH est le plus favorable à la saccharification du "gari".

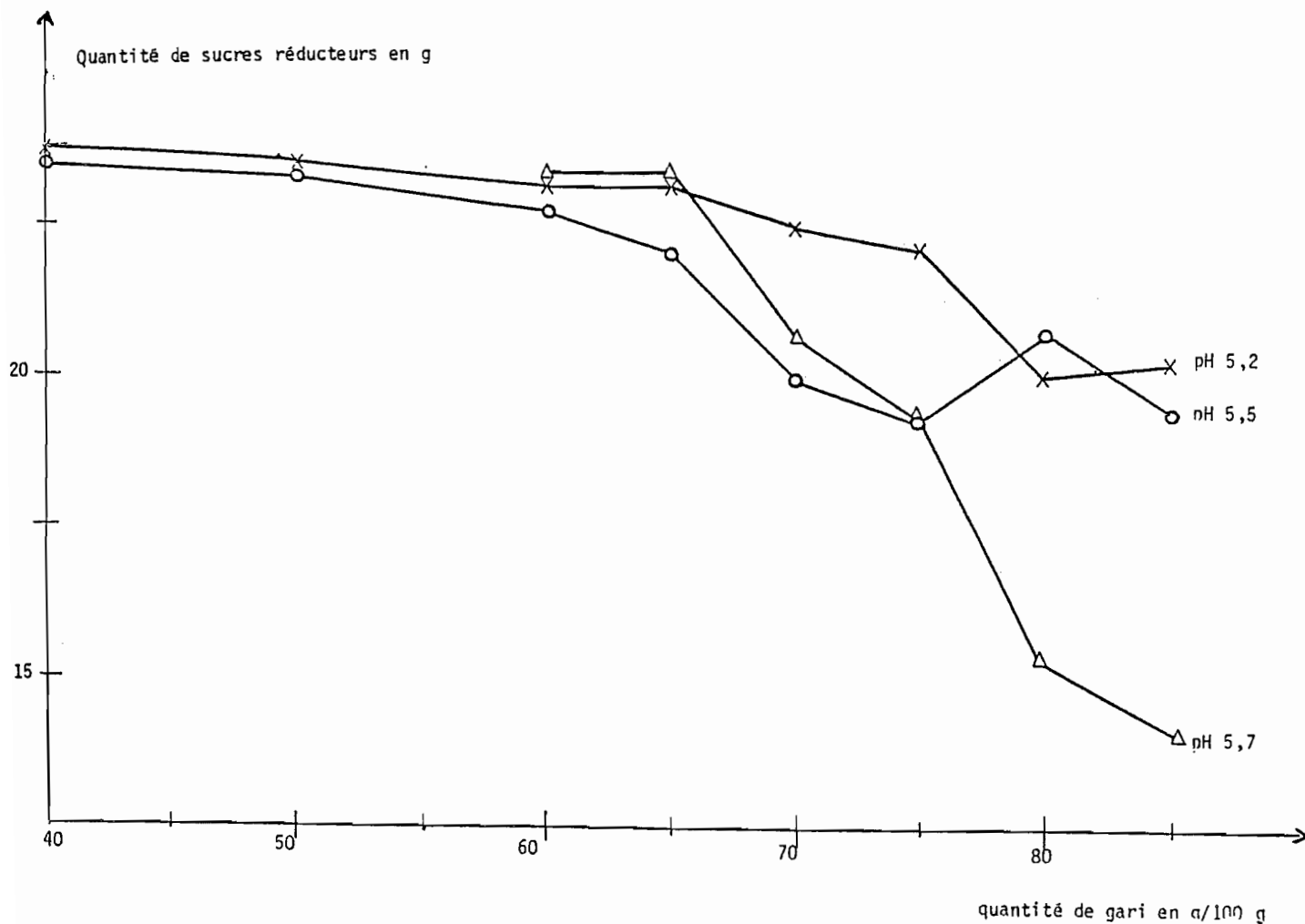


Figure N° 51 : Influence du pH du moût pour le brassage du manioc

#### 3.4.1.4. Influence de la dureté de l'eau de brassage

Les essais visant à mettre en évidence l'influence de la dureté de l'eau de brassage ont consisté à tester les trois diagrammes thermiques N° 4, 5 et 6 avec des eaux de brassage de deux types.

Eau A : eau permutée sur résine échangeuse

Eau B : mélange eau permutée - eau de ville à 35° F (V/V)

Les brassins ont été conduits à pH 5,2 .

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :



TABLEAU N° XVIII : INFLUENCE DE LA DURETE DE L'EAU DE BRASSAGE

Diagrammes thermiques utilisés	Quantité de gari dans le versement en g/100 g	Sucres réducteurs totaux en g/l	
		eau A	eau B
4	40	25,40	24,36
	60	24,50	23,83
	75	19,30	23,82
	80	17,90	22,20
5	40	24,30	22,85
	60	23,20	24,46
	75	20,80	23,10
	80	20,50	21,66
6	38,5	25,00	24,80
	56,6	26,85	23,80
	69,7	26,30	19,35
	74	25,80	23,85

Discussion : Bien que les différences enregistrées entre les essais puissent ne pas sembler significatives, il convient de constater que :

- 1) la supériorité du diagramme N° 6 pour le brassage du manioc est confirmé.
- 2) la quantité de sucres réducteurs totaux formés avec l'un quelconque des trois diagrammes diminue dès que l'on dépasse un pourcentage de versement en gari de 60% si l'on travaille avec de l'eau permutée (eau A) alors qu'avec un mélange d'eau permutée et d'eau de ville (eau B) la diminution de la teneur en sucres réducteurs ne semble intervenir qu'à partir de 75% de versement en gari. Toutefois, le créneau 60-75% aurait mérité d'être affiné, car le test à l'eau iodée reste positif après 10 minutes à 75° C.

Ces résultats sont visualisés sur la figure suivante :

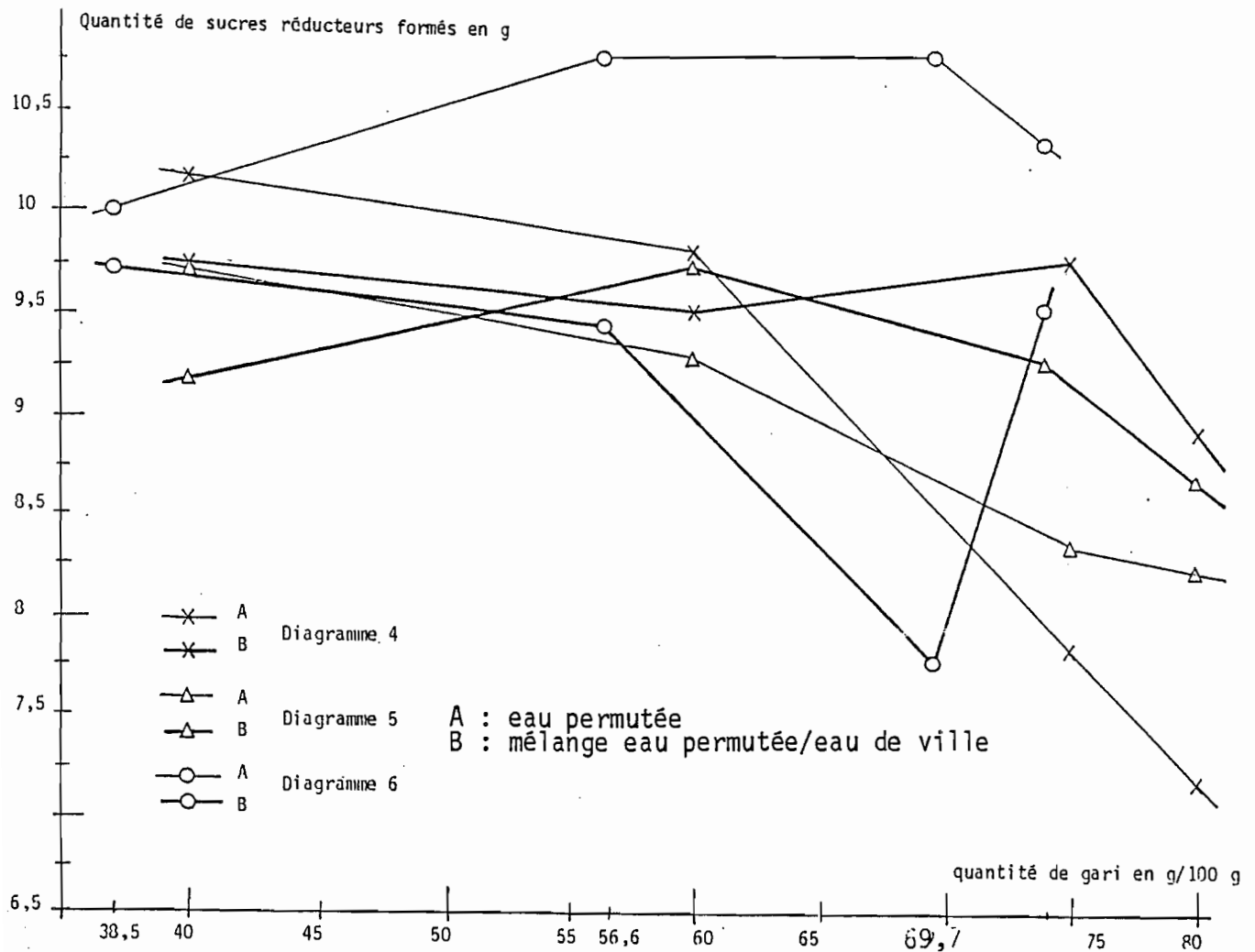


Figure N° 52 : Influence de la dureté de l'eau de brassage

3.4.1.5. Influence de l'origine de l'amidon dans le rapport enzyme - substrat

Dans des conditions de brassage similaire à savoir :

- quantité de malt : 10 grammes,
- diagramme thermique N° 6,
- pH ajusté à 5,2,
- eau de brassage de type B,

nous avons voulu mettre en évidence la limite d'action saccharifiante du malt. Nous présentons ci-après les résultats obtenus.

TABLEAU N° IX : INFLUENCE DE L'ORIGINE DE L'AMIDON

Quantité d'amylacés dans le versement		Sucres réducteurs formés en g/l	
en g	en %	Gari	Fécule
0	0	3,2	3,2
10	50	6,1	-
20	66,7	9,7	24,7
40	80	14,2	40,3
60	85,7	25,9	59,5
80	88,9	-	65,7
100	90,9	42,3	78,2
120	92,3	51,4	89,3
170	94,4	63,8	-
200	95,25	54,6	146,7
250	96,15	-	177,0

Discussion : On note que pour un versement de gari de 170 g, il semble apparaître un point d'inflexion, alors que dans le cas de la fécule aucun point d'inflexion n'a pu être mis en évidence et que la relation demeure linéaire. Au dessus de 95% d'amidon dans le versement, la viscosité du substrat se révèle peu propice à la manipulation. On note également une grande variation en valeur absolue pour les sucres réducteurs formés. Il convient de mentionner également qu'à partir de 120 grammes d'amidon pour 10 g de malt, la saccharification n'a jamais été complète. Le test à l'iode reste en effet positif au delà de 30 minutes.

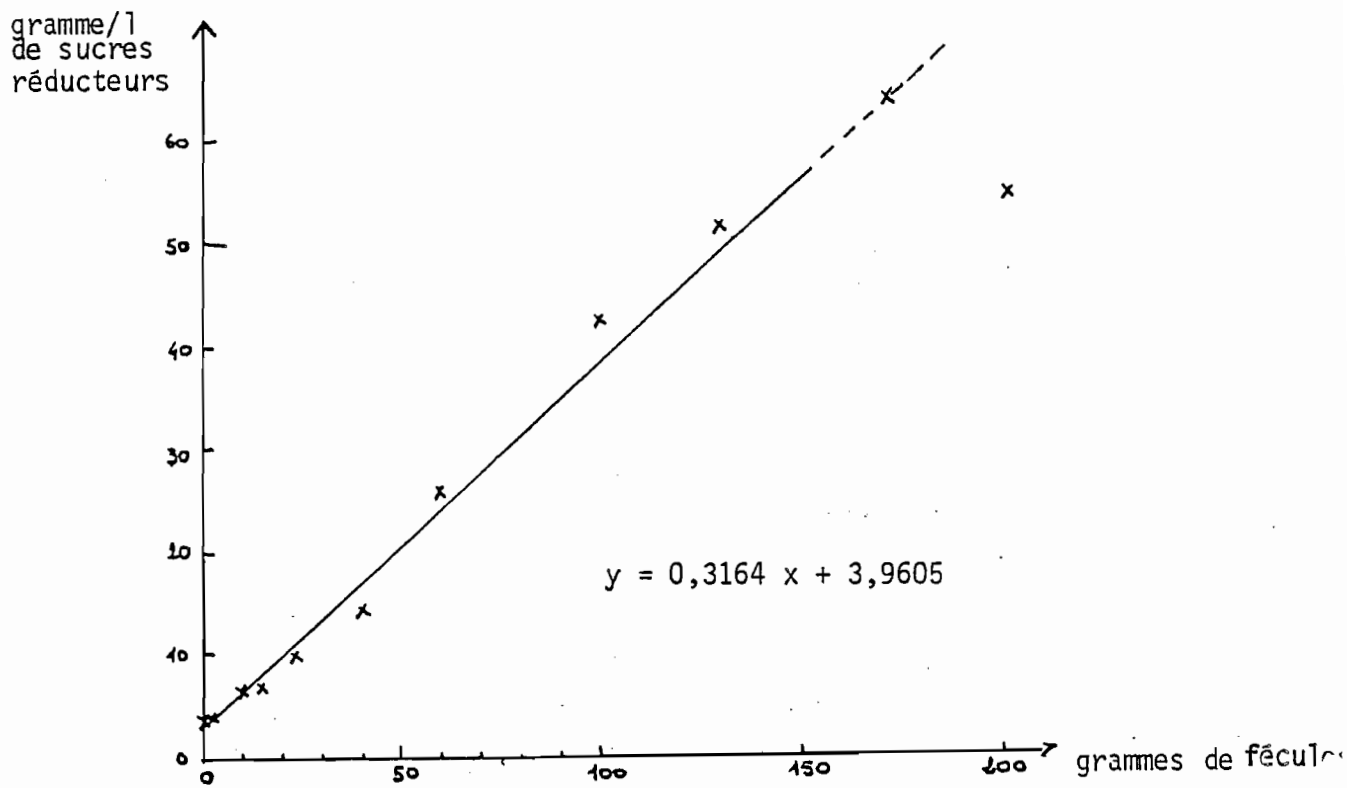


Figure N° 53 : Influence du rapport enzyme - substrat (série gari)

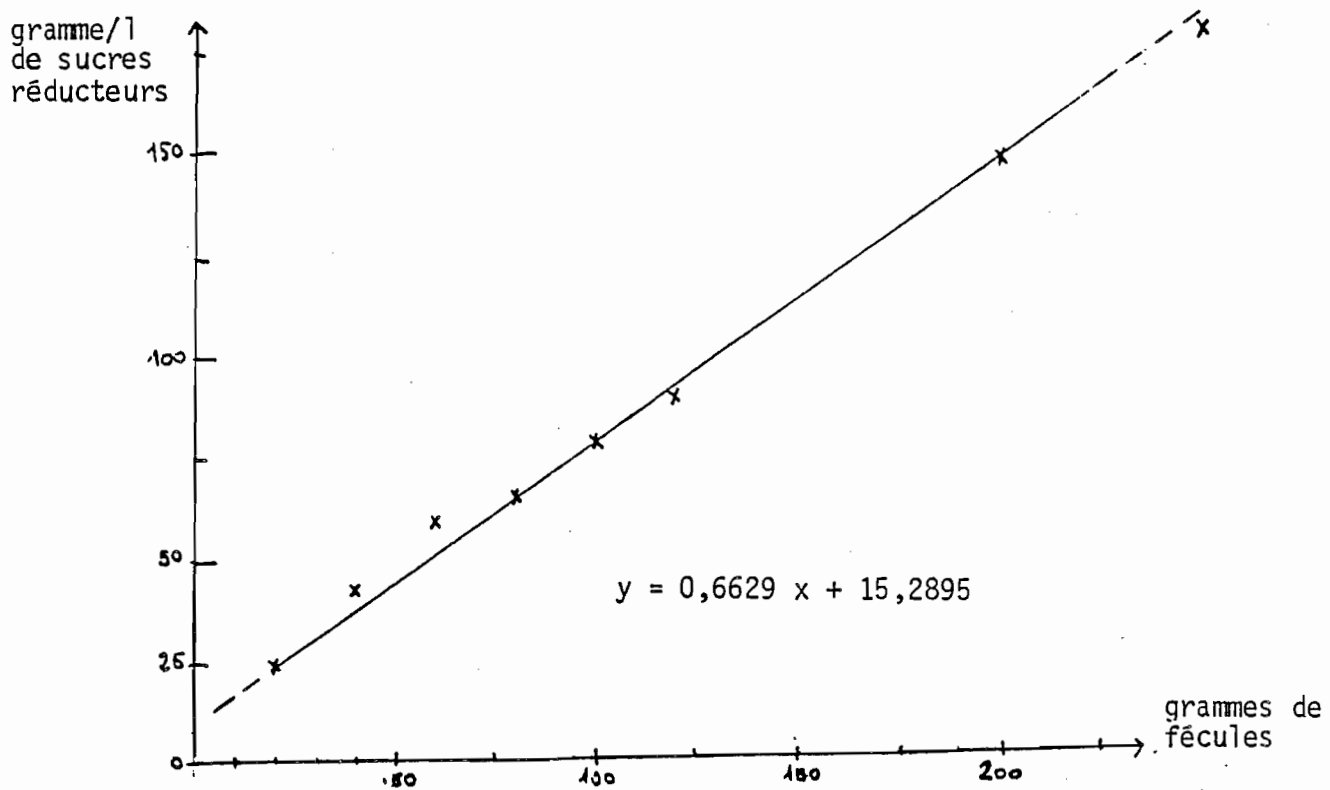


Figure N° 54 : Influence du rapport enzyme - substrat (série fécule de manioc).

3.4.1.6. Conclusion des tests de brassage du manioc avec le malt d'orge.

Les tests que nous venons de présenter, nous ont permis de définir les conditions générales de brassage du manioc sous forme "gari" et "fécule", avec du malt d'orge.

Bien que les résultats quantitatifs soient difficiles à interpréter, cette série de tests et d'analyses nous permet de proposer une alternative technologique à l'hydrolyse enzymatique du manioc.

On peut en effet retenir qu'avec :

- . le diagramme thermique n° 6 (voir figure n° 50)
- . un pH ajusté à 5,2
- . une incorporation de malt en deux temps

on peut conduire une saccharification totale d'un amidon de manioc en moins de 10 minutes à 75° C jusqu'à une valeur de 60% d'amidon de manioc pour 40% de malt. Cette proportion dans le versement en chaudière peut être considérablement accrue, si l'on travaille sur une fécule de manioc. Le facteur limitant est essentiellement la viscosité du substrat à l'empâtage.

En guise de conclusion à cette série de tests de brassage du manioc, il apparaît opportun de mentionner l'intérêt économique que pourrait apporter cette alternative, à l'échelle industrielle dans les procédés de brassage des bières de type occidental. Nous prendrons pour illustrer ce propos le cas de la brasserie BRALIRWA au RWANDA que nous avons pu approcher (D. GRIFFON - 1981). Il faut noter en effet que dans un petit pays comme le RWANDA, cette brasserie a produit en 1980 quelques 71 millions de bouteilles de bière et importé pour ce faire 7 200 tonnes de malt, 1 000 tonnes de riz et 500 tonnes de sucre de canne. Les seules importations de grains crus et succédanés au brassage représentaient à cette époque une sortie en devise de l'ordre de 130 millions de francs Rwandais. (A titre de comparaison, le salaire journalier d'un ouvrier agricole est de 100 F Rw). En incorporant dans la limite légale des amylicés locaux comme le manioc en lieu et place des céréales importées, l'économie substantielle en devises permettrait de mieux rémunérer le travail au champ.

Nous pensons que sans modification notable des caractéristiques organoleptiques de la bière produite, et sans difficultés majeures au brassage, l'alternative dont les résultats précités confirment la faisabilité pourrait contribuer à la réhabilitation du manioc dans de nombreux pays producteurs.

### 3.4.2. Malts de substitution et brassage des amylicés tropicaux

---

De façon à pouvoir proposer une alternative technologique au malt d'orge dans la conduite d'un brassage d'amylicés tropicaux, nous présentons ci-après les résultats des tests de maltage des céréales tropicales que nous avons conduits. Nous présenterons d'abord les résultats des essais réalisés sur Sorgho Argence, puis ceux sur les autres variétés de céréales tropicales. Nous donnerons enfin les modifications à apporter aux diagrammes de brassage à utiliser.

#### 3.4.2.1. Maltage des céréales tropicales

- Résultats sur sorgho Argence

- Tests d'absorption en eau et faculté germinative

La figure suivante illustre les résultats obtenus aux différentes températures

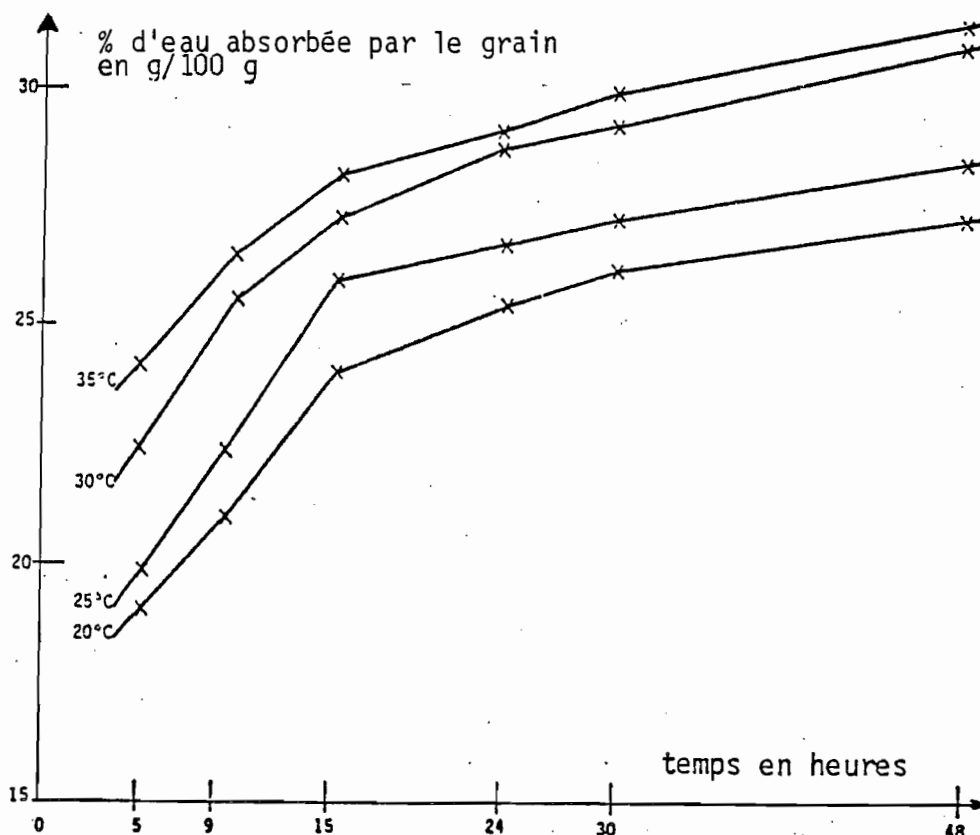


Figure N° 55 : Isothermes d'absorption en eau des graines

La faculté germinative (72% de graines germées après 72 heures) et la capacité germinative (75% de graines germées après 120 heures) du Sorgho Argence sont restées faibles.

Ce piètre résultat, confirmé par le laboratoire de L'Institut Français des Boissons et de la Brasserie-Malterie (IFBM) auquel nous avons demandé des essais de micro-maltage sur sorgho Argence, indique clairement l'importance de la sélection variétale dans les études de maltage des céréales. Bien que nous ayons eu connaissance de ces résultats assez tôt, qui pouvaient déjà laisser supposer une faible activité enzymatique du malt, nous avons poursuivi les essais de maltage, car l'objectif visé sur sorgho Argence était de définir des conditions générales de maltage pour proposer une alternative technologique complète.

- Freintes au maltage

Les différents modes de maltage du sorgho Argence exposés au chapitre matériels et méthodes (voir tableau synthétique n° XI) nous ont permis d'obtenir neuf groupes de malt. Sur sept d'entre eux, les mesures du poids des germes et les analyses sur la teneur en amidon et en azote sont repris dans le tableau suivant. Les valeurs indiquées expriment la moyenne des essais effectués sur chaque groupe de malt.

TABLEAU N° XX : COMPOSITION DU MALT DE SORGHO ARGENCE

Mode de l'opération	Nombre d'essais	Poids des germes en g/100 g	Analyse du malt dégermé		
			Amidon en g/100 g	Azote en g/100 g	mat. sèche en g/100 g
Groupe I Trempé normale 1 arrosage/jour	8	7,2	71,8	1,62	92
Groupe II Trempé normale 1 arrosage/jour + 1 retournement	15	5,06	72,5	1,49	92,6
Groupe III Trempé normale 2 arrosages + 2 retournements	6	7,91	70,2	1,52	92,7
Groupe IV Trempé alternée 1 arrosage 1 retournement	2	7,5	73,2	1,47	92,5
Groupe V Trempé alternée 2 arrosages 2 retournements	5	7,4	70,8	1,46	92,8
Groupe VI Trempé normale 2 arrosages - 2 retournements 1 mise en tas	3	8,93	70,6	1,49	93,5
Groupe VII Trempé alternée 2 arrosages 2 retournements 2 retournements 1 mise en tas	6	7,56	73,1	1,50	92,5

Discussion : Les résultats ci-dessus semblent témoigner le fait que la fréquence des arrosages et des retournements soit bénéfique à la formation du germe. Cette interprétation est confirmée par le dosage de l'amidon. L'utilisation des réserves amylacées du grain augmente avec le nombre d'arrosage et de retournement. Ce phénomène est toutefois moins sensible lorsque l'on pratique des trempes alternées. On peut cependant espérer que le développement des amylases du grain soit concomitant à l'utilisation des réserves amylacées.

La mise en tas, qui semble bénéfique à la formation du germe lorsque l'on utilise la trempe normale, provoque un échauffement du grain et son asphyxie partielle, néfaste à son développement lorsque l'on utilise la technique des trempes alternées.

L'histoire du maltage du sorgho, comparée à l'histoire du maltage de l'orge est encore bien incomplète ; en particulier l'influence des grains vêtus, protecteurs de la plantule lors des retournements mériterait d'être étudiée pour le sorgho.

- Dosage des activités amylolytiques totales

L'évaluation des groupes de malts de sorgho Argence obtenus a porté sur la mesure de l'activité amylosique totale suivant la méthode de BENDELOW (1963).

Déterminées à 20° C et mesurées au spectrophotomètre à 505 nm, ces activités sont exprimées en mg de maltose produits par 2 ml de solution enzymatique. Par calcul, elles sont ramenées à la concentration de 1 mg de malt par ml de solution enzymatique, en utilisant le graphe suivant calibré en mg de maltose pour 2 ml de solution enzymatique.

TABLEAU N° XXI : GAMME ETALON ET CALIBRATION DU GRAPHE EN EQUIVALENT MALTOSE

Gamme étalon en mg de maltose	Densité optique lue			Densité moyenne
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	
0,1	0,06	0,05	0,05	0,053
0,2	0,12	0,10	0,10	0,106
0,4	0,24	0,21	0,20	0,216
0,6	0,35	0,34	0,34	0,343
0,8	0,45	0,45	0,45	0,450
1,0	0,57	0,55	0,55	0,556
1,2	0,66	0,67	0,67	0,666
1,4	0,80	0,77	0,77	0,780
1,6	0,88	0,87	0,87	0,873
1,8	0,95	0,94	0,94	0,943
2,0	1,02	1,04	1,04	1,033



Les valeurs moyennes nous ont permis de tracer le graphe suivant :

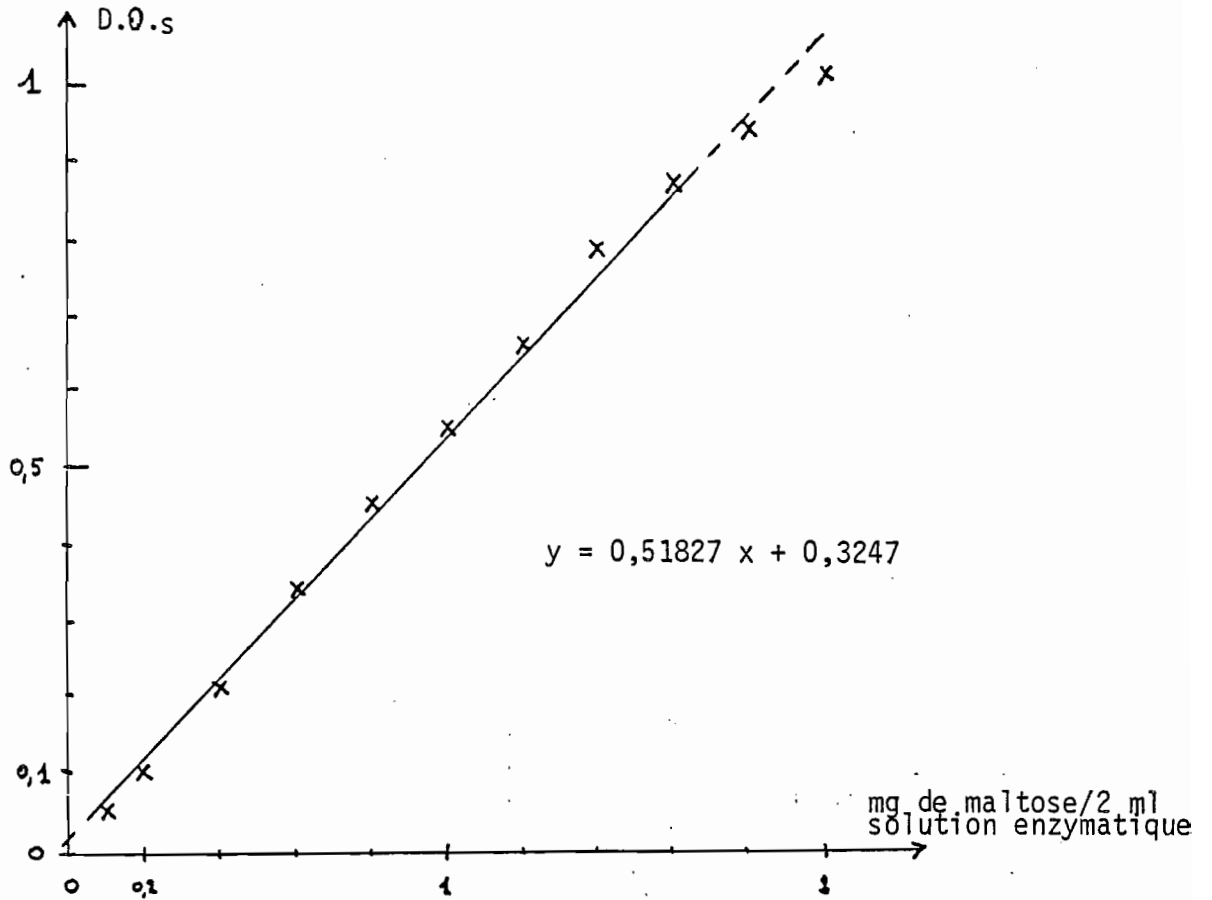


Figure N° 56 : Graphe de calibration - détermination du pouvoir amylasique du malt de sorgho Argence.

Les mesures d'activités amylasiques des différents groupes de malt exprimées dans le tableau suivant sont les moyennes des différents dosages et sont transformés en mg de maltose par mg de malt sec. Elles sont indiquées également en valeur relative par rapport au malt d'orge utilisé comme source enzymatique de référence.

TABLEAU XXII : ACTIVITES AMYLASIQUES DU MALT DE SORGHO ARGENCE

Groupe de malt analysé	Nombre d'essais	Matière sèche g/100 g	Activités amylasiques totales 5 min à 20° C	
			en mg de maltose par mg de malt sec	en valeur relative par rapport malt d'orge
Malt d'orge Source de référence	3	95	0,553	100
Malt de sorgho Argence				
Groupe I	7	92,0	0,183	33
Groupe II	15	92,5	0,234	42,3
Groupe III	6	92,7	0,127	23
Groupe IV	2	92,6	0,218	39,4
Groupe V	6	92,8	0,213	38,5
Groupe VI	3	93,5	0,184	33,2
Groupe VII	6	92,5	0,164	29,6
Groupe VIII	2	93,6	0,150	27,1
Groupe IX	2	93,4	0,092	16,6

Discussion : Les mesures d'activité enzymatique des différents lots de sorgho Argence confirment d'une façon générale que la variété utilisée conduit à un malt de faible pouvoir amylolytique. Ces analyses auraient sans doute méritées d'être complétées pour doser la seule activité  $\alpha$  amylasique en inhibant l'activité  $\beta$  au moyen de chlorure phénylmercurique. Toutefois, ces résultats permettent d'effectuer les remarques suivantes :

- . Les méthodes de maltage que l'on a voulu tester, largement inspirées des méthodes traditionnelles de maltage des sorghos à bière en Afrique ne sont pas parfaitement adaptées à une graine déjà acclimatée à nos régions tempérées comme l'est la variété Argence. En particulier, la germination haute température (30° C) ne semble pas convenir à cette variété.
- . La méthode analytique pour la détermination des activités enzymatiques n'est pas bien adaptée aux dosages des faibles activités. Il conviendrait sans doute de préparer une gamme étalon de concentration inférieure pour essayer de mieux couvrir la plage des activités de cette variété de sorgho.

Les tests pratiqués et les mesures effectuées permettent toutefois de confirmer les tendances observées dans les tests de germination précédents à savoir :

- . La production d'amylase semble être favorisée par les arrosages et les retournements au cours de la germination
- . Les trempes alternées, n'apportent pas un accroissement significatif à l'activité enzymatique mesurée. Elles semblent cependant conduire à une plus grande régularité des malts obtenus
- . La mise en tas n'apparaît pas favorable à l'augmentation de l'activité enzymatique
- . La germination haute température ne convient pas à cette variété de sorgho.

● Résultats sur les autres variétés de céréales  
Tropicales

- Tests d'absorption en eau et faculté germinative  
.....

Les résultats des tests d'eau absorbée par les graines des cinq variétés de sorgho fournies par l'ISRA de Bambey sont représentés pour quatre températures différentes (20° C, 25° C, 30° C, 35° C) sur les deux figures suivantes :

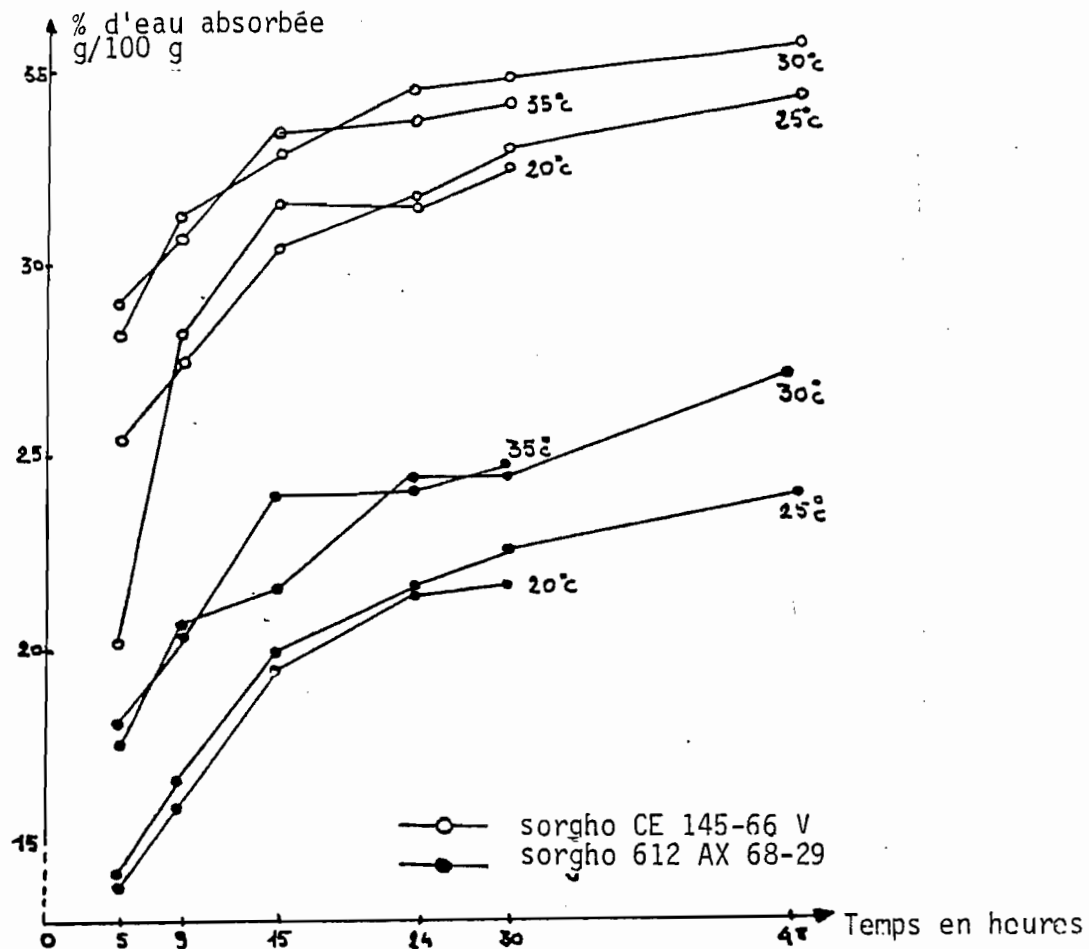


Figure N° 57.a. : Isothermes d'absorption en eau - deux variétés sorghos ISRA - Bambej.

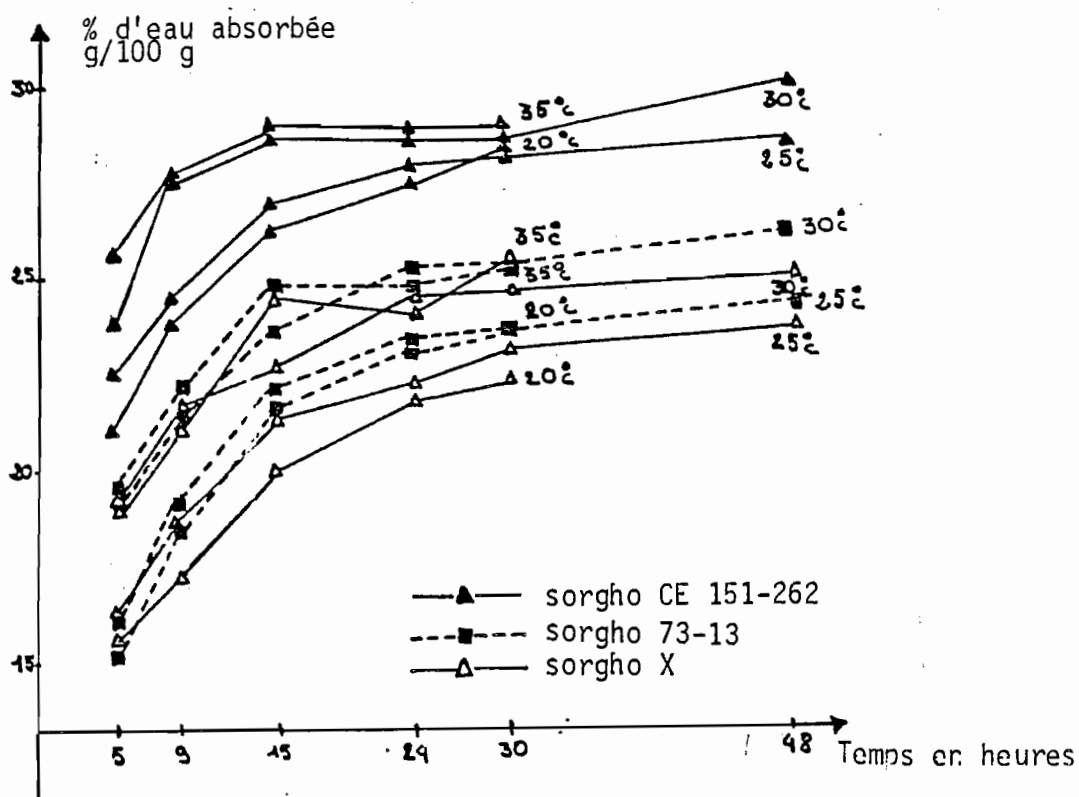


Figure N° 57.b. : Isothermes d'absorption en eau - trois variétés sorghos ISRA - Bambej.

Les résultats des tests d'absorption en eau pour les deux variétés de mil et pour l'échantillon de maïs BDS également fournies par l'ISRA sont illustrés par les deux figures suivantes pour les mêmes températures que précédemment.

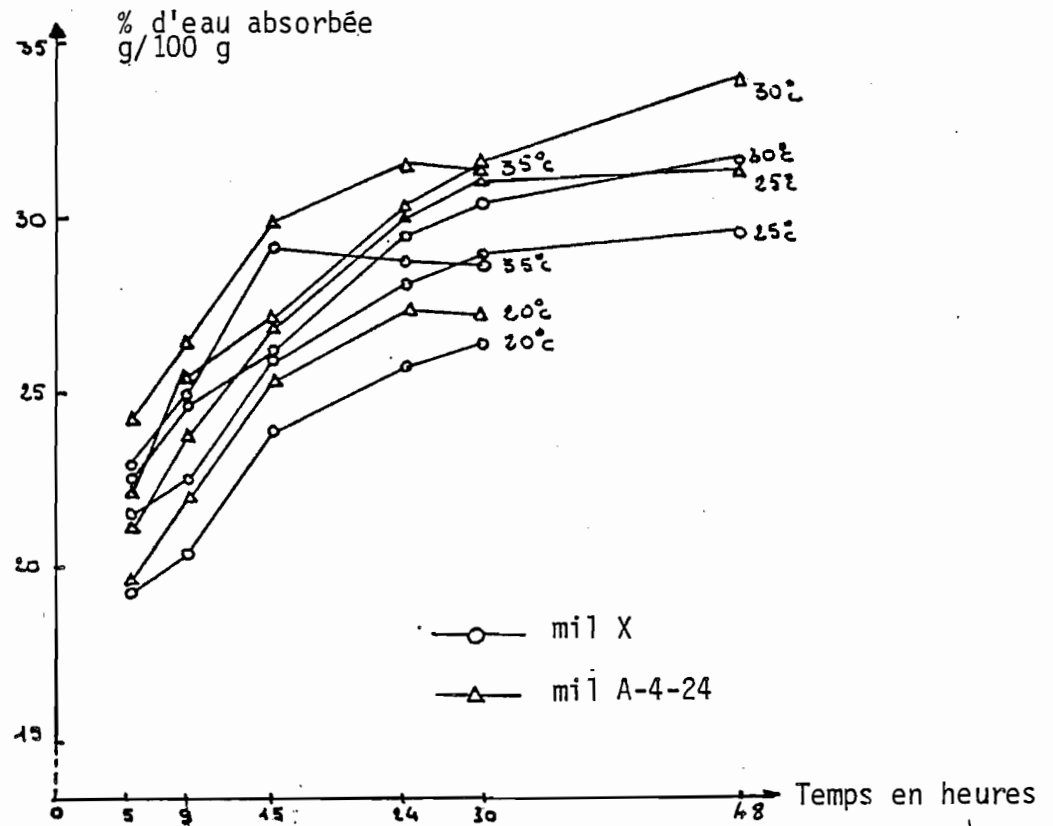


Figure N° 58 : Isothermes d'absorption en eau - deux variétés de mil - ISRA - Bambej.

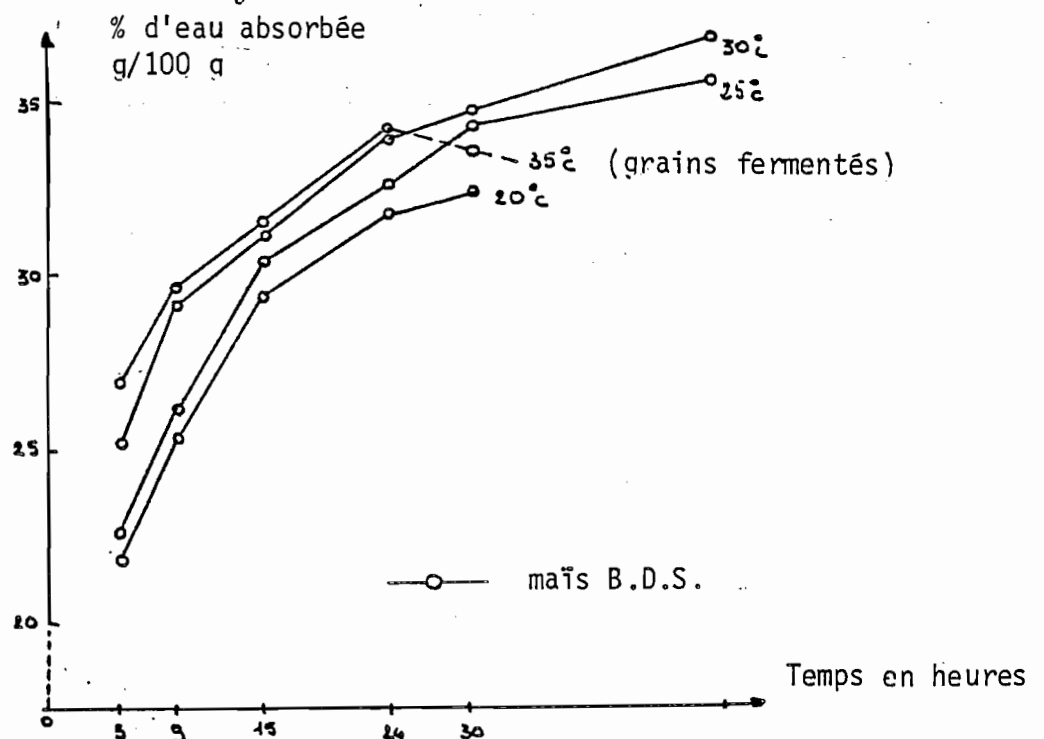


Figure N° 59 : Isothermes d'absorption - Maïs B.D.S. - ISRA - Bambej.

Les valeurs relatives à la détermination des facultés et capacités germinatives de ces différentes variétés de céréales tropicales, exception faite pour le maïs B.D.S., où les grains ont fermenté avant les 72 premières heures, sont reproduites dans le tableau suivant :

TABLEAU N° XXIII : FACULTE ET CAPACITE GERMINATIVES DES CEREALES TROPICALES - DIVERSES VARIETES DE SORGHO ET DE MIL

Variétés des céréales étudiées	Faculté germinative après 72 heures à 20°C en % de graines germées	Capacité germinative après 120 heures à 20°C en % de graines germées
Sorgho X	95	99
Sorgho 612 AX 68-29	98	100
Sorgho CE 145-66 V	85	90
Sorgho CE 151-262	< 75	100
Sorgho 73-13	98	100
Mil X	95	95
Mil A <sub>4</sub> - 24	85	85

Ces résultats bien supérieurs à ceux obtenus sur la variété sorgho Argence, laissent à penser que les semences en provenance de l'ISRA Bambey sont plus aptes à la germination et en conséquence à la formation en cours de maltage d'un système enzymatique plus actif.

- Dosage des activités amylolytiques totales

En fonction des tests d'absorption d'eau, de l'examen des températures de trempage les plus favorables à la germination des grains et des conditions générales de maltage définies précédemment sur sorgho Argence, nous avons retenu un mode de maltage unique pour les diverses céréales tropicales étudiées.

Les conditions rappelées au chapitre matériels et méthodes ont conduit à des malts sur lesquels nous avons déterminé l'activité amylolytique totale suivant la même méthode que pour les malts d'orge et de sorgho Argence.

Les résultats, ramenés par calcul à des valeurs comparables (même concentration des solutions enzymatiques) sont exprimés ci-après en milligrammes de maltose formés par milligramme de malt sec. La même courbe d'étalonnage avec des teneurs de 0,2 à 2 mg de maltose pour 2 ml de solution enzymatique, a été utilisée. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

TABLEAU N° XXIV : ACTIVITES AMYLOLYTIQUES DES MALTS DE DIVERSES VARIETES DE CEREALES TROPICALES

Variétés de malt	Nbe d' essais	% de matière sèche	Activités amylasiques totales 5 min à 20° C	
			en mg de maltose par mg de malt sec	en valeur relative par rapport au malt d'orge
Rappel Malt d'orge	3	95	0,553	100
Rappel Malt de sorgho Argence Groupe II	15	92,5	0,234	42,3
Essai sur un malt traditionnel du BURKINA-FASO	3	93,7	0,339	61,3
Sorgho X	2	93,3	0,175	31,6
Sorgho 612 AX 68-29	2	93,2	0,222	40,1
Sorgho CE 145-66V	2	93,1	0,143	25,8
Sorgho CE 151-262	2	93,5	0,005	-
Sorgho 73-13	2	92,8	0,563	102,7
Mil X	2	93,5	0,308	55,7
Mil A <sub>4</sub> -24	2	92,7	0,186	33,6
Maïs B.D.S.	2	93,7	0,098	17,7

- Discussion des résultats sur le maltage des  
.....  
céréales tropicales  
.....

Bien que nous ne possédions que peu de renseignements sur les semences de céréales tropicales que nous avons maltées, nous constatons que les différents résultats enregistrés nous permettent de classer les différentes variétés en fonction de leur aptitude à être utilisées comme malt de substitution au malt d'orge.

Le classement par ordre décroissant de substituabilité s'établit comme suit :

1. Sorgho 73-13
2. Sorgho traditionnel
3. Mil X
4. Sorgho-Argence
5. Sorgho 612 AX 68-29
6. Mil A<sub>4</sub>-24
7. Sorgho X
8. Sorgho CE 145-66 V
9. Maïs B.D.S.
10. Sorgho CE 151-262

Ce classement permet de faire les commentaires suivants :

. Les dolotières du BURKINA-FASO sont d'imminentes biotechnologues. Elles savent de façon empirique sélectionner des variétés de sorghos qui témoignent de bonnes activités amylolytiques. Nous n'avons malheureusement aucun renseignement d'ordre agronomique sur la variété de sorgho ayant servi à la fabrication de ce malt traditionnel. Nous savons seulement qu'il s'agit d'un sorgho rouge. Il est intéressant de noter que la technologie de maltage utilisée par les dolotières, bien que rudimentaire conduit à un malt de bonne valeur brassicole.

. Seule la variété de sorgho 73-13 a permis d'obtenir un malt de pouvoir amylolytique comparable à celui de notre malt d'orge servant de référence.

. Il apparaît nécessaire d'améliorer les recherches sur les qualités des sorghos à usage brassicole pour pouvoir proposer une véritable alternative à l'orge malté. Nous avons dans ce sens proposé à l'IRAT (1) qui travaille au BURKINA-FASO sur les manipulations génétiques de différentes lignées de sorgho à usage alimentaire, d'étendre sa recherche aux sorghos rouges et de tenir compte pour leurs critères de sélection de critères technologiques, comme l'aptitude au maltage. Il conviendrait à la lumière des travaux de NOVELLIE et collaborateurs sur les malts de sorgho utilisés en AFRIQUE DU SUD pour le brassage du Kaffir-Beer, d'entreprendre pour d'autres régions africaines des essais culturels sur les sorghos rouges. Il y a là un champ de recherche excessivement large qui pourrait cependant en tenant compte des approches développées dès 1901 par la SECOBRA (2) sur les orges de brasserie européennes, aboutir à une sélection de sorgho de substitution.

(1) IRAT : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières.

(2) SECOBRA : Société d'Etudes et d'Encouragement à la Culture des Orges de Brasserie.



. Notre contribution apparaît bien modeste dans le domaine de la substituabilité de l'orge de brasserie par des variétés africaines de sorghos ou de mils. Elle n'a aucune autre prétention que celle de faire prendre conscience aux agronomes de l'intérêt qu'il y a à poursuivre des travaux de sélection variétale des céréales tropicales, non seulement pour accroître les rendements à la production ou la résistance des maladies, mais encore pour les adapter à leurs utilisations finales. En ce sens, les critères technologiques de la sélection sont à étudier.

### 3.4.2.2. Adaptation des diagrammes de brassage aux céréales tropicales

#### ● Cas du sorgho Argence

De façon à poursuivre notre recherche en termes d'alternatives technologiques, il convenait de vérifier l'influence des principaux paramètres pouvant intervenir au cours du brassage, sur les activités amylolytiques des céréales maltées. Les résultats devant permettre de proposer un diagramme thermique de brassage approprié à la saccharification des substrats amylolytiques tropicaux, nous avons testé :

- . l'influence du pH
- . l'influence de la température
- . l'influence de la concentration initiale de l'extrait enzymatique

Les résultats obtenus sur la variété sorgho Argence, et représentés sur les figures suivantes proviennent uniquement des essais entrepris sur le meilleur des groupes de malt obtenus, à savoir ceux du groupe II.

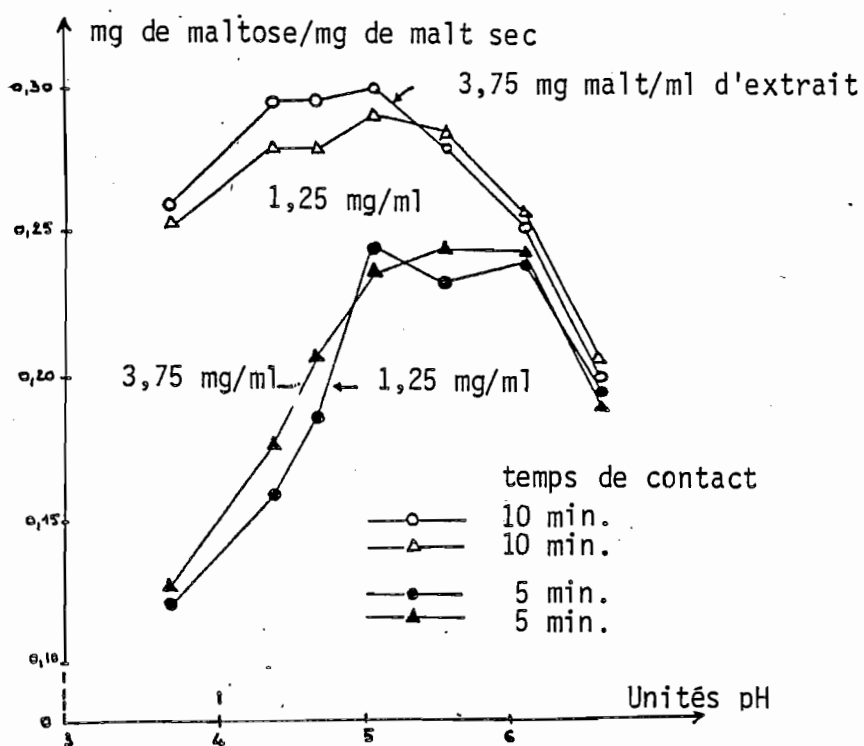


Figure N° 60 : Influence du pH et de la concentration initiale de l'extrait enzymatique sur l'activité amylolytique totale (Sorgho Argence)

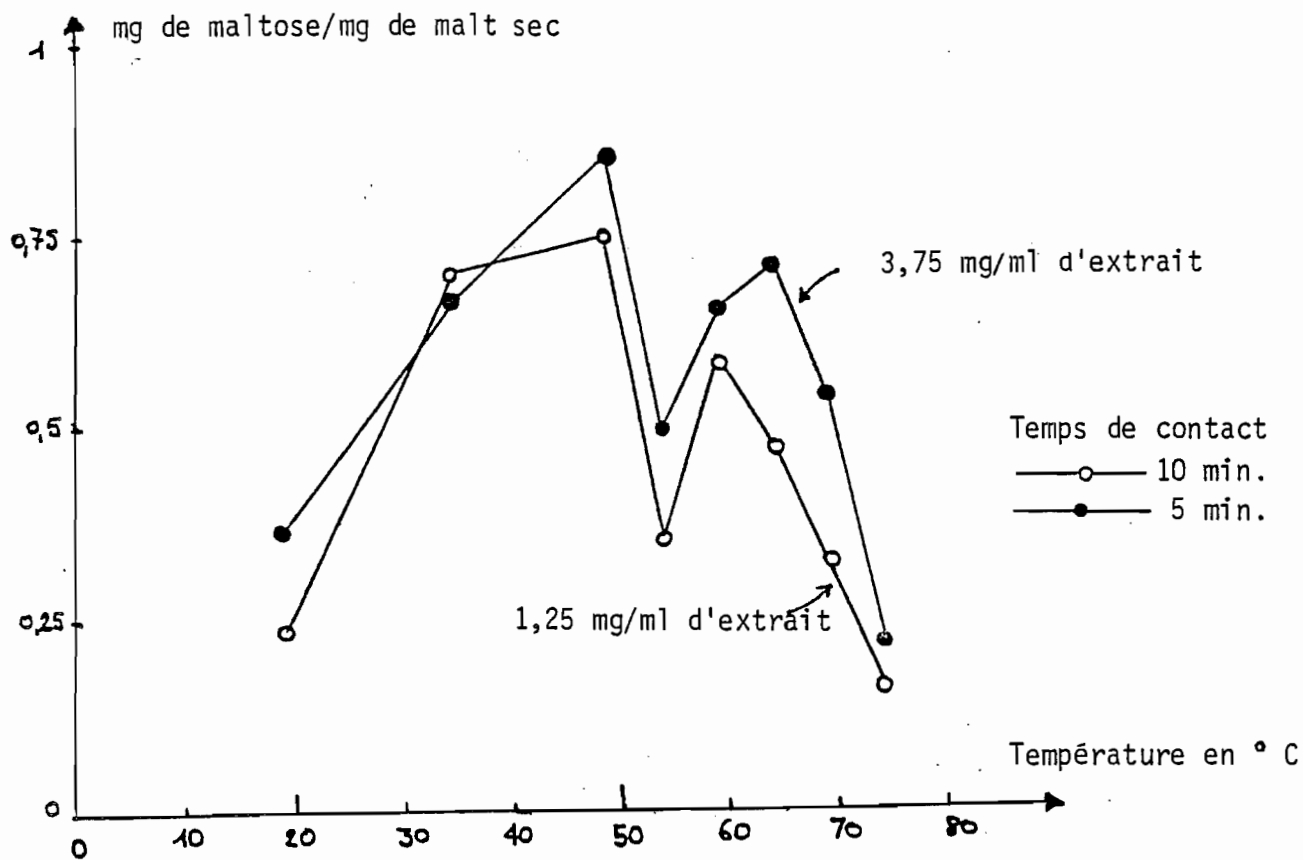


Figure N° 61 : Influence de la température et de la concentration initiale de l'extrait enzymatique sur l'activité amylasique (sorgho Argence)

Ces résultats obtenus lors d'essais conduits à pH 5,2 mettent en évidence une double zone d'activité amylasique, avec une rupture systématique d'activité pour 55° C (à différentes concentrations initiales et pour des temps de contacts entre enzyme et substrat variables).

Nous avons essayé de préciser cette observation en effectuant sur trois essais le dosage de la seule activité  $\alpha$  amylasique, en inhibant la  $\beta$  amylase comme le préconise BENDELOW (1963) par le chlorure phenylmercurique.

Les résultats obtenus pour les mêmes lots de malt (sorgho Argence malt 39, 43 et 66) n'ont pas permis d'expliquer cette rupture d'activité à 55° C. Ils permettent cependant de penser que l'activité amylasique entre 55 et 65° C est essentiellement due à l' $\alpha$  amylase. On en déduit en conséquence que l'activité  $\beta$  amylasique est plus marquée pour les températures inférieures à 50° C.

Les résultats de ce dosage de l'activité  $\alpha$  amylasique sont reportés sur la figure suivante où nous rappelons les valeurs de l'activité totale pour la même concentration initiale de l'extrait enzymatique (1,25 mg/ml d'extrait) et pour le même temps de contact entre l'extrait enzymatique et le substrat (5 minutes). La corrélation n'est pas excellente toutefois, il convient de rappeler que la courbe d'activité totale représente une valeur moyenne sur 15 essais, alors que la courbe d'activité  $\alpha$  amylasique ne reflète qu'une valeur moyenne de 3 essais.

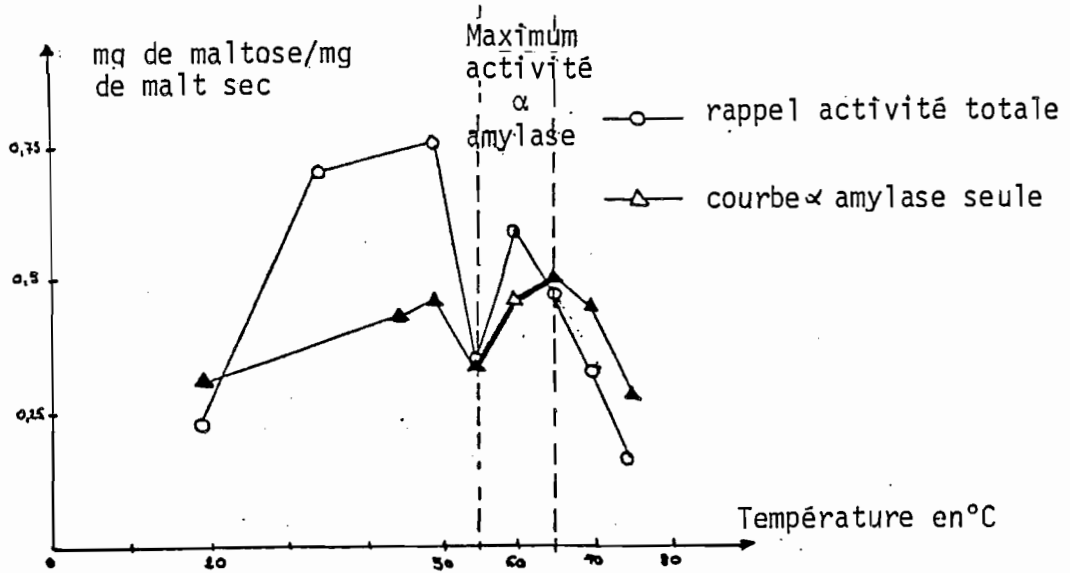


Figure N° 62 : Influence de la température sur l'activité alpha-amylasique (sorgho Argence)

Pour tenir compte des résultats précédents, nous avons adaptés le diagramme de brassage utilisé pour le malt d'orge au malt de sorgho Argence. Nous avons pour cela travaillé sur des brassins "pur malt", avec le diagramme décrit par la figure suivante.

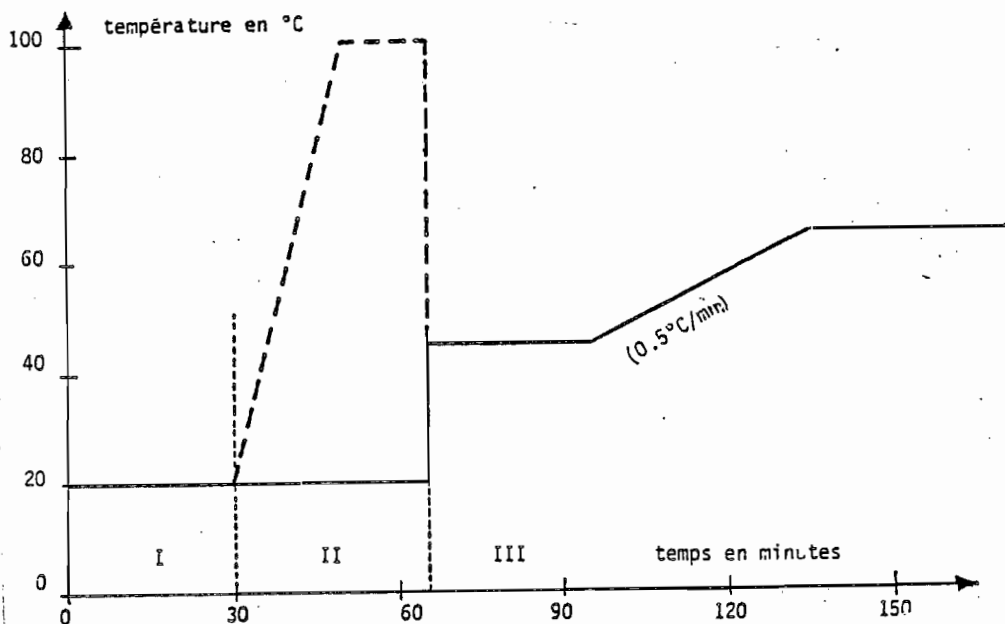


Figure N° 63 : Diagramme thermique utilisé pour tester les malts de sorgho Argence - Diagramme A.

Ce type de diagramme se décompose en trois parties qui sont :

a) Extraction des amylases. Elle se pratique à température ambiante (20° C). Le malt broyé est mis en présence de 6 fois son poids en eau soit 50 grammes de malt pour 300 ml d'eau. Une agitation lente est assurée pendant les 5 premières minutes, puis une décantation a lieu. Le dépôt en fin de période I (30 mm) représente environ 40 % du volume total.

b) Le dépôt, contenant donc la majeure partie de l'amidon est porté à ébullition (trempe) où il stationne 15 minutes. Le surnageant (60% du volume total du brassin) contient lui, la plus grande partie des amylases extraites. Il est maintenu à 20° C.

c) Au retour de trempe, la température du brassin est de 45° C. Il est maintenu à cette température à l'aide du bain thermostaté pendant 30 minutes, puis une élévation de température de 0,5° C/mn le porte à 65° C. La saccharification est contrôlée au test à l'iode. Elle n'est complète qu'après 60 minutes à cette température.

Dans les conditions de cette expérience, le dosage des sucres réducteurs contenus dans le moût affiche en moyenne 117 g/l (les valeurs extrêmes ont été 116,30 et 117,90 g/l).

● Autres variétés de céréales tropicales

En tenant compte des résultats précédents, nous avons entrepris de doser les activités totales sur l'ensemble des variétés de semences fournies par l'ISRA de Bambey. Nous donnons ci-après sous forme de tableau synthétique les résultats moyens des essais effectués en rappelant l'activité à 20° C et en indiquant celle correspondant à la plus forte activité enregistrée.

TABLEAU XXV : RESUME DES ACTIVITES AMYLASIQUES DES MALTS ETUDIES

Variétés de malt	Activité à 20° C en mg de maltose / mg malt sec	Activité totale maximale à τ° C en mg de maltose / mg malt sec
Rappel orge	0,553	1,170 (50°C)
Sorgho X	0,176	0,720 (60°C)
Sorgho 612 AX 68-29	0,222	1,150 (60°C)
Sorgho CE 145-66	0,143	0,474 (60°C)
Sorgho CE 152-262	0,005	0,314 (70°C)
Sorgho 73-13	0,563	1,860 (60°C)
Sorgho Argence Lot II	0,234	0,748 (50°C)
Sorgho traditionnel	0,339	0,820 (60°C)
Mil X	0,308	0,840 (60°C)
Mil A <sub>4</sub> -24	0,186	0,820 (60°C)
Maïs B.D.S.	0,098	0,560 (65°C)

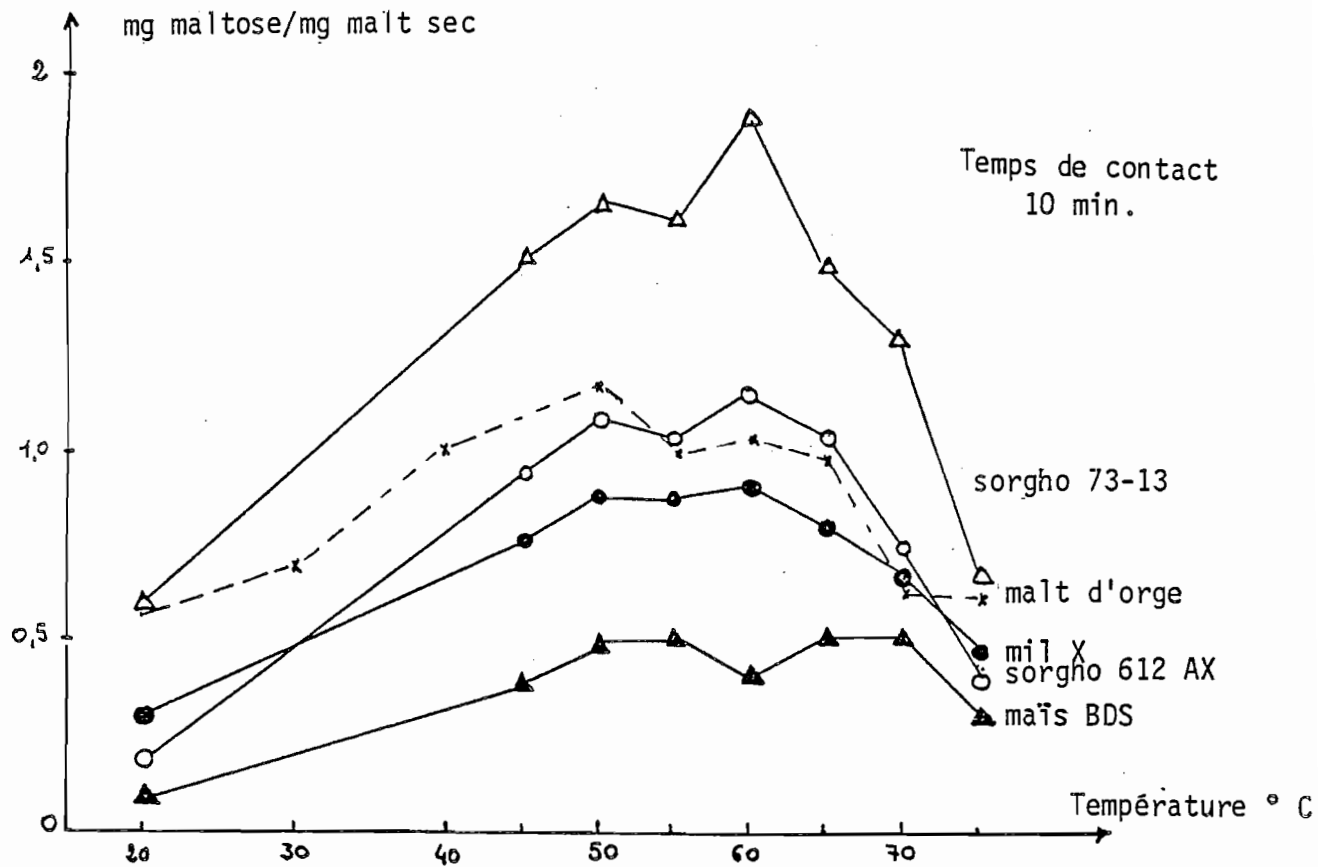


Figure N° 64 : Influence de la température sur l'activité amylasique totale. Etude de quelques variétés de malts tropicaux.

Cette figure permet de suivre l'influence de la température sur quelques unes des variétés de céréales tropicales étudiées. Nous avons choisi :

. les deux meilleures variétés de sorgho, à savoir :

- + sorgho 73-13
- + sorgho 612 AX 68-29

. la meilleure variété de mil, à savoir :

- + mil X

. l'unique variété de maïs à savoir BDS

En pointillé, sur la figure précédente, nous avons fait apparaître le profil de l'activité amylasique de l'orge malté qui nous a servi de source enzymatique de référence. Il faut toutefois interpréter cette courbe avec beaucoup de prudence, car les essais sur l'orge ont été réalisés avec une concentration initiale de l'extrait enzymatique de 0,5 mg de malt par ml d'extrait, alors que les extraits enzymatiques des céréales tropicales ont été obtenues pour une concentration initiale de 1,25 mg/ml.

Toutefois, ces résultats permettent de confirmer la bonne activité amylasique du sorgho 73-13. Pour compléter ces observations, nous avons entrepris une adaptation du diagramme thermique de brassage, d'abord sur des brassins pur malt, puis sur des brassins supplémentés à la fécule de manioc.

Pour les brassins pur malt, nous avons retenu le même type de diagramme que celui pratiqué pour le malt de sorgho Argence (cf. diagramme A, figure N° 63). Les tests de saccharification et les dosages des sucres réducteurs dans les moûts ont conduit aux résultats suivants après 10 min. à 65° C.

TABLEAU N° XXVI : DOSAGE DES SUCRES REDUCTEURS CONTENUS DANS LES MOUTS DE BRASSINS PUR MALT.

Types de malt	Quantité de malt en g	Volume final du brassin	Test de saccharification après 10 min	Sucres réducteurs libres g/l
Sorgho 73-13	50	330	+	103,3
Sorgho CE 145-66V	50	300	-	78,9
Sorgho X	50	300	±	94,1
Sorgho CE 151-262	50	280	-	53,1
Sorgho 612 AX 68-29	50	300	+	89,4

Ces résultats confirment encore la supériorité du sorgho 73-13 aussi, est-ce uniquement sur cette variété de sorgho que nous avons conduits les essais de saccharification des brassins supplémentés avec de la fécule de manioc.

D'abord le même diagramme thermique que celui utilisé pour les brassins pur malt de sorgho 73-13 a été appliqué, la fécule de manioc étant dispersée à 20° C et ajoutée à la trempe. Nous avons pris soin de rectifier le pH basique provoqué par la mise en solution de la fécule de manioc et de conduire le brassage à pH 5,2.

Les résultats enregistrés pour les tests de saccharification et les dosages des sucres réducteurs sont repris dans les tableaux suivants :

TABLEAU N° XXVII: TEST DE SACCHARIFICATION DES BRASSINS DE SORGHO 73-13  
SUPPLEMENTE EN MANIOC - DIAGRAMME A -

Numéro des brassins	Malt de sorgho g	Eau ml	Fécule de manioc g	Eau ml	Proportion de manioc %	Tests de saccharification après 10 min
14	10	60	10	60	50	+
15	10	60	15	90	60	+
16	10	60	23,3	140	70	+
17	10	60	40	240	80	-
18	10	60	90	540	90	-

En fin de brassage, la totalité du brassin est portée à ébullition pendant deux minutes, puis le moût est filtré à chaud pendant 30 minutes. Le dosage des sucres réducteurs effectué sur le filtrat a donné les résultats suivants

TABLEAU N° XXVIII: DOSAGE DES SUCRES REDUCTEURS DANS LES MOUTS DE SORGHO 73-13  
SUPPLEMENTES EN MANIOC (Diagramme A).

Numéro des brassins	Quantité de malt g	% de fécule de manioc g	Volume final du brassin ml	Volume du moût après 30 min. de filtration ml	Sucres réducteurs en g/l
14	10	50	92	63	125,1
15	10	60	135	97	107,9
16	10	70	194	148	102
17	10	80	255	-	120,5
18	10	90	585	450	93,4

Les tests de saccharification n'ayant pas donné de résultats positifs après 10 minutes au palier à 65° C, nous avons voulu tester un autre diagramme de brassage qui tienne compte d'une montée fractionnée en température au cours de la trempe de façon à faciliter la liquéfaction de l'empois d'amidon.

Ce diagramme est présenté sur la figure suivante.

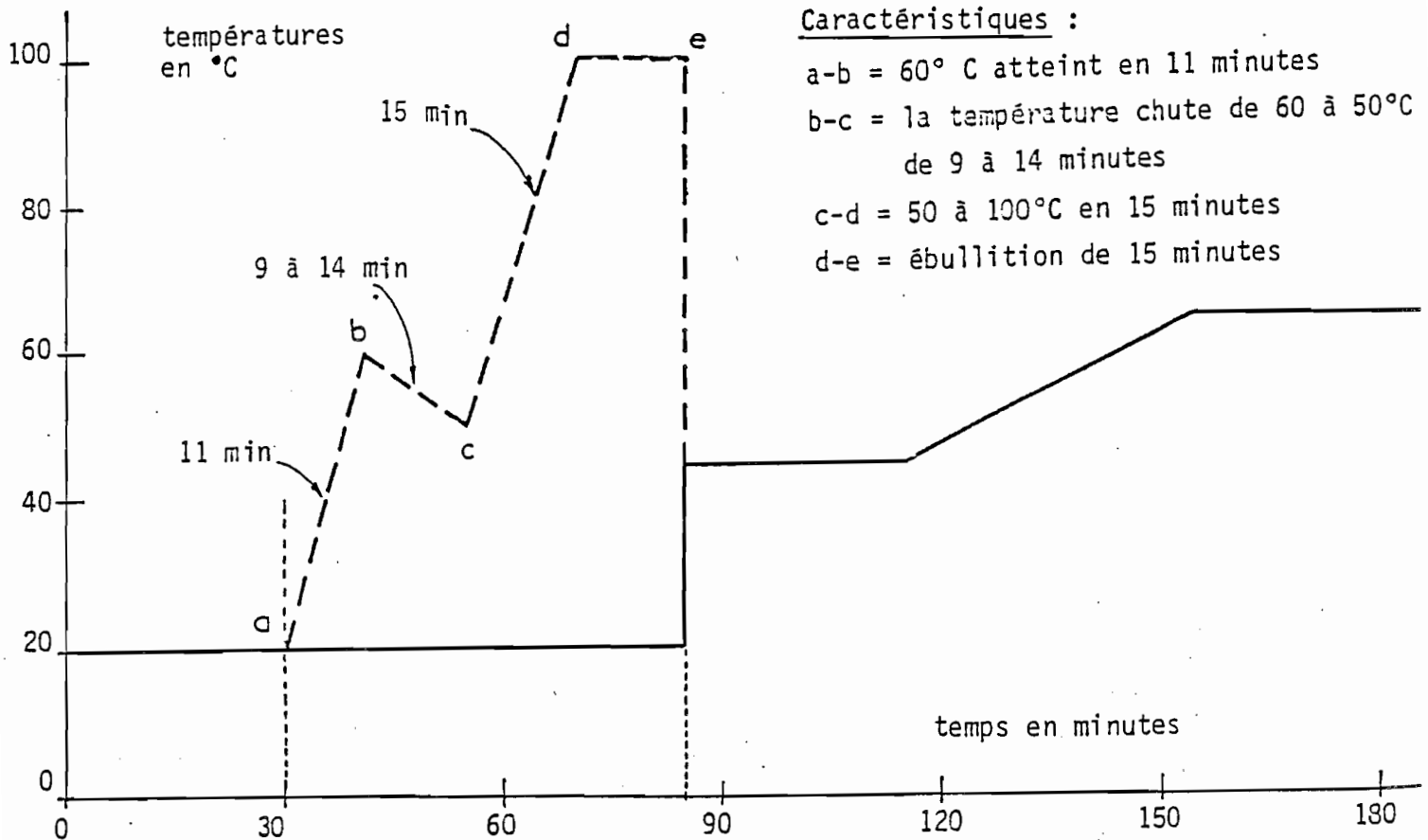


Figure N° 65 : Diagramme thermique avec montée fractionnée en température de la trempe. Diagramme B.

Avec ce diagramme les tests de saccharification de la féculé de manioc sont positifs jusqu'à 80% de versement en féculé.

Le tableau suivant illustre ces résultats :



TABLEAU N° IXXX : TEST DE SACCHARIFICATION DES BRASSINS DE SORGHO 73-13  
SUPPLEMENTES EN MANIOC - DIAGRAMME B -

Numéro des brassins	% fécule de manioc	Quantité de sorgho/eau		Quantité de manioc fécule/eau		Tests de saccharification après 10 min.
		g	ml	g	ml	
19	70	10	60	23,3	140	+
21	80	10	60	40	240	+
23	90	10	60	90	540	±
32	90	10	60	90	360	±
33	93,75	10	60	150	600	±

En fin de brassage, le brassin est porté à ébullition puis, filtré à chaud pendant 30 minutes comme précédemment. Le dosage des sucres réducteurs effectués sur le filtrat a donné les résultats suivants :

TABLEAU N° XXX : DOSAGE DES SUCRES REDUCTEURS DANS LES MOUTS DE SORGHO 73-13  
SUPPLEMENTES EN MANIOC - DIAGRAMME B -

Numéro des brassins	Quantité de malt g	% de fécule de manioc	Volume final du brassin ml	Volume du mout après 30 min. de filtration ml	Sucres réducteurs en g/l
19	10	70	184	140	116,5
21	10	80	292	250	111,2
23	10	90	585	523	96
32	10	90	400	336	168,9
33	10	93,75	480	226	140,3

L'influence d'une montée fractionnée de la température au cours de la trempé apparaissant favorable à la saccharification, nous avons finalement retenu une alternative de brassage de la féculé de manioc avec un malt de sorgho 73-13, où l'on accentue le palier à 70° C au cours de la trempé.

Ce diagramme C, représenté sur la figure n° 66 a permis d'obtenir une saccharification totale (contrôle simple à l'eau iodée) en 10 minutes à la fin du brassage.

Caractéristiques de la trempé :

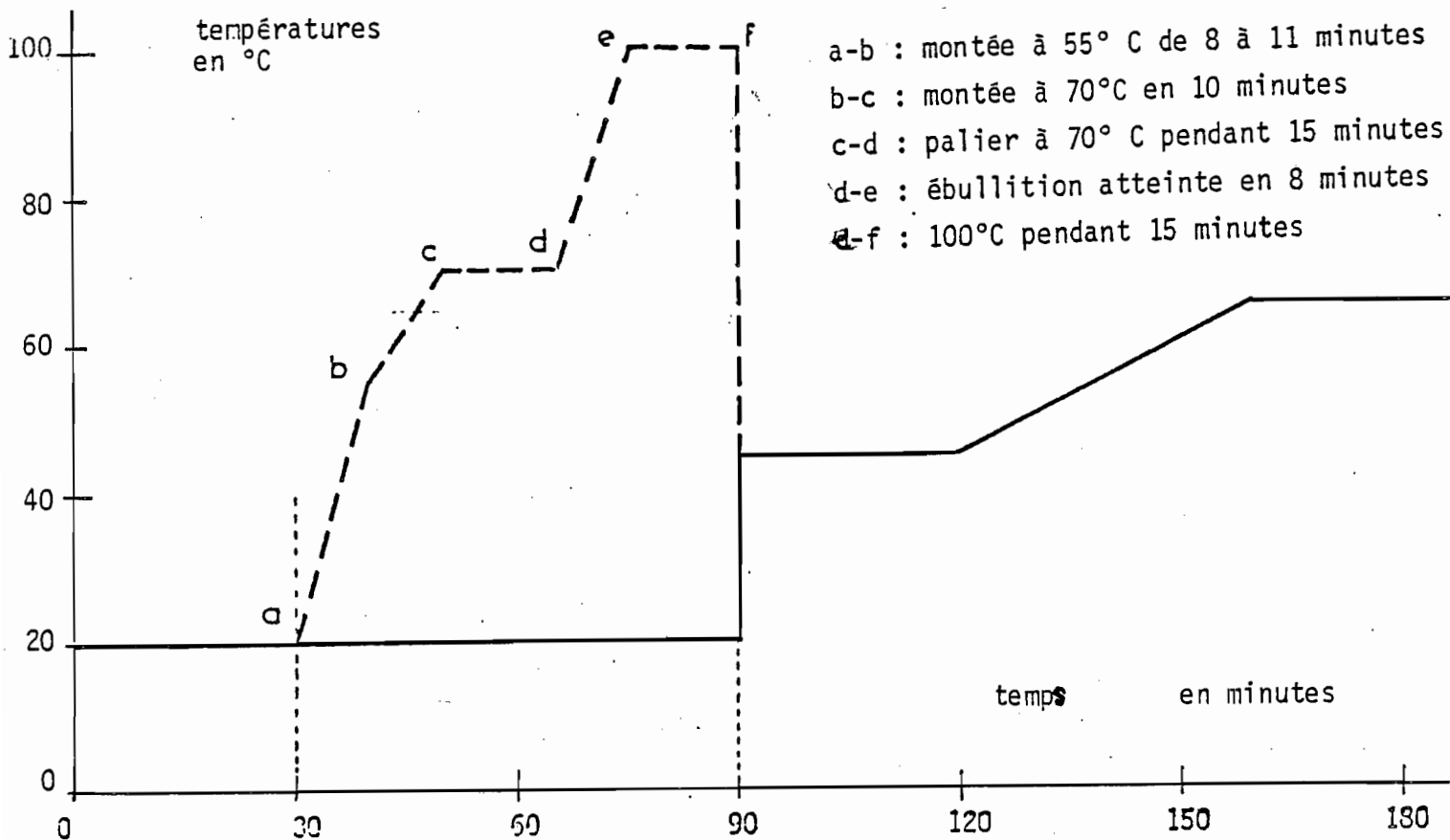


Figure N° 66 : Diagramme thermique avec montée fractionnée de la trempé et palier à 70° C - DIAGRAMME C -

Comme précédemment, après ébullition et filtration à chaud, la teneur du moût en sucres réducteurs libres est déterminée.

Les deux tableaux suivants reprennent les résultats des tests de saccharification et de dosage des sucres réducteurs.

TABLEAU N° XXXI : TESTS DE SACCHARIFICATION DES BRASSINS DE SORGHO 73-13  
SUPPLEMENTES EN MANIOC - DIAGRAMME C -

Numéro des brassins	% féculé de manioc	Quantité de sorgho/eau		Quantité de manioc féculé/eau		Tests de saccharification après 10 min.
		g	ml	g	ml	
20	70	10	60	23,3	140	+
22	80	10	60	40	240	+
24	90	10	60	90	540	+

TABLEAU N° XXXII : DOSAGE DES SUCRES REDUCTEURS DANS LES MOUTS DE SORGHO 73-13  
SUPPLEMENTES EN MANIOC.- DIAGRAMME C -

Numéro des brassins	Quantité de malt g	% de féculé de manioc	Volume final du brassin ml	Volume du mout après 30 min. de filtration ml	Sucres réducteurs en g/l
20	10	70	184	136	116,5
22	10	80	296	212	127,7
24	10	90	585	344	122,6

### 3.4.2.3. Conclusion

La recherche d'alternative à la saccharification des amylicés tropicaux au moyen de céréales tropicales maltées nous a conduit à la proposition d'un mode de maltage et d'un diagramme de brassage capables d'hydrolyser jusqu'à 90% de fécule de manioc.

Ce résultat est encourageant. Toutefois, nous sommes conscients des travaux qu'il reste à entreprendre pour proposer une alternative technologique d'hydrolyse réellement opérationnelle.

Le programme de recherche devrait se poursuivre en particulier pour :

- sélectionner les céréales tropicales les plus aptes au maltage,
- optimiser la conduite de l'opération de maltage afin de développer une activité enzymatique optimale,
- extraire et purifier les enzymes obtenues,
- améliorer la technologie de brassage en fonction des résultats précédents.
- etc ...

Ces travaux exigent une collaboration pluridisciplinaire entre agronomes, sélectionneur, biochimistes, technologues et doivent être menés en coopération avec les partenaires scientifiques des pays concernés. Ces derniers devront prendre en haute considération les acquis du savoir traditionnel et associer les utilisateurs potentiels aux travaux d'amélioration des technologies.

Déjà, les travaux présentés dans ce document, ont conduit l'IRAT\* à retenir un programme de sélection variétale des sorghos rouges à bière au BURKINA-FASO. Il convient d'être à même de fournir aux sélectionneurs des critères technologiques. Dans ce sens, le laboratoire d'Analyses Organiques et Biochimiques du CIRAD\*\* à Montpellier, maîtrise maintenant les techniques de dosage des activités enzymatiques et suite à ces travaux, a pu mettre au point des méthodes plus rapides et plus fiables que celles retenues pour les essais présentés dans ce chapitre.

\*IRAT : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières.

\*\*CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

### 3.4.3. Alternative enzymatique : le Munkoyo

Nous présentons ci-après les résultats des travaux décrits au chapitre Matériels et Méthodes sous le paragraphe 3.3.3. Ils concernent d'une part, des études conduites au Zaïre et d'autre part, celles poursuivies à Nancy.

#### 3.4.3.1. Tests d'hydrolyse d'une farine de manioc

Deux diagrammes de brassage d'une farine de manioc à l'aide des fibres de racines de Munkoyo ont été testés. Les caractéristiques de ces diagrammes, l'un sans pratique de trempes, l'autre avec une trempa unique sont visualisées sur les figures suivantes.

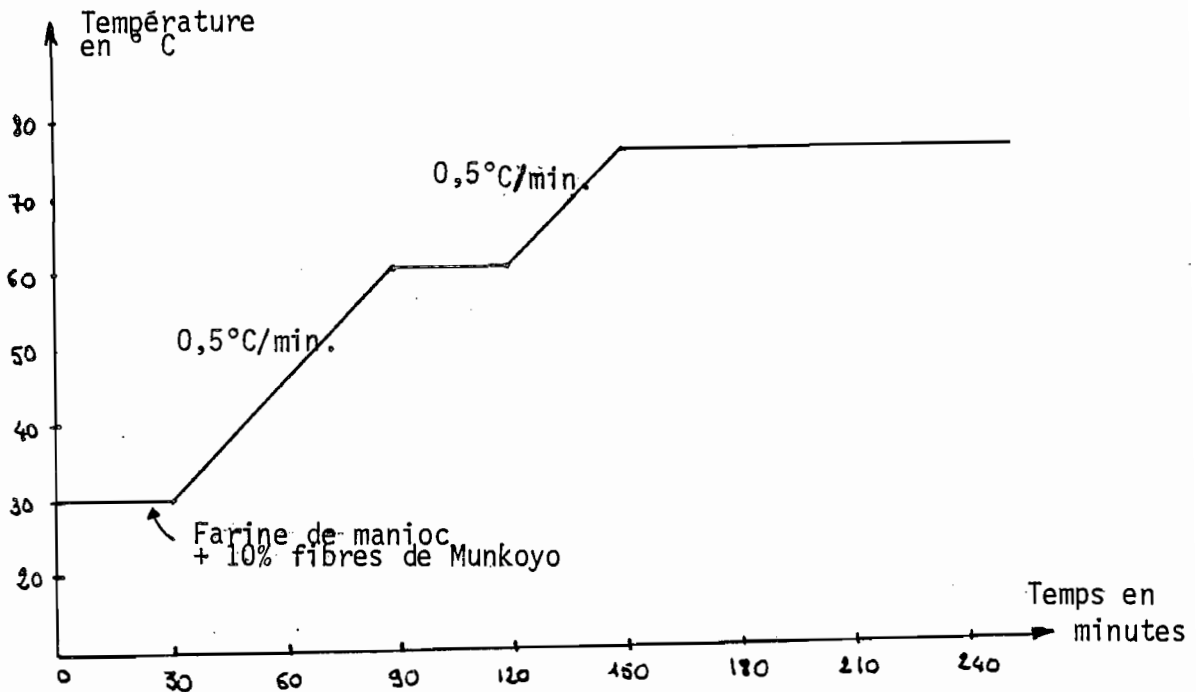


Figure N° 67 : Diagramme de brassage par infusion d'une farine de manioc avec des racines de Munkoyo - Diagramme N° 1 -

Avec ce diagramme, réalisé avec 200 grammes de farine dans un litre d'eau et après adjonction de 20 grammes de fibres de Munkoyo (12% d'humidité), le test de saccharification est resté largement négatif, même après quatre heures de palier à 75°C. Le dosage des sucres réducteurs totaux sur le moût filtré, pratiqué par titrimétrie suivant la méthode de BERTRAND a permis de calculer un rendement de transformation en sucre de 35% par rapport à la farine de manioc introduite (exprimé en matière sèche).

De façon à favoriser l'éclatement des granules d'amidon de la farine de manioc, un diagramme N° 2 avec une trempe a été réalisé.

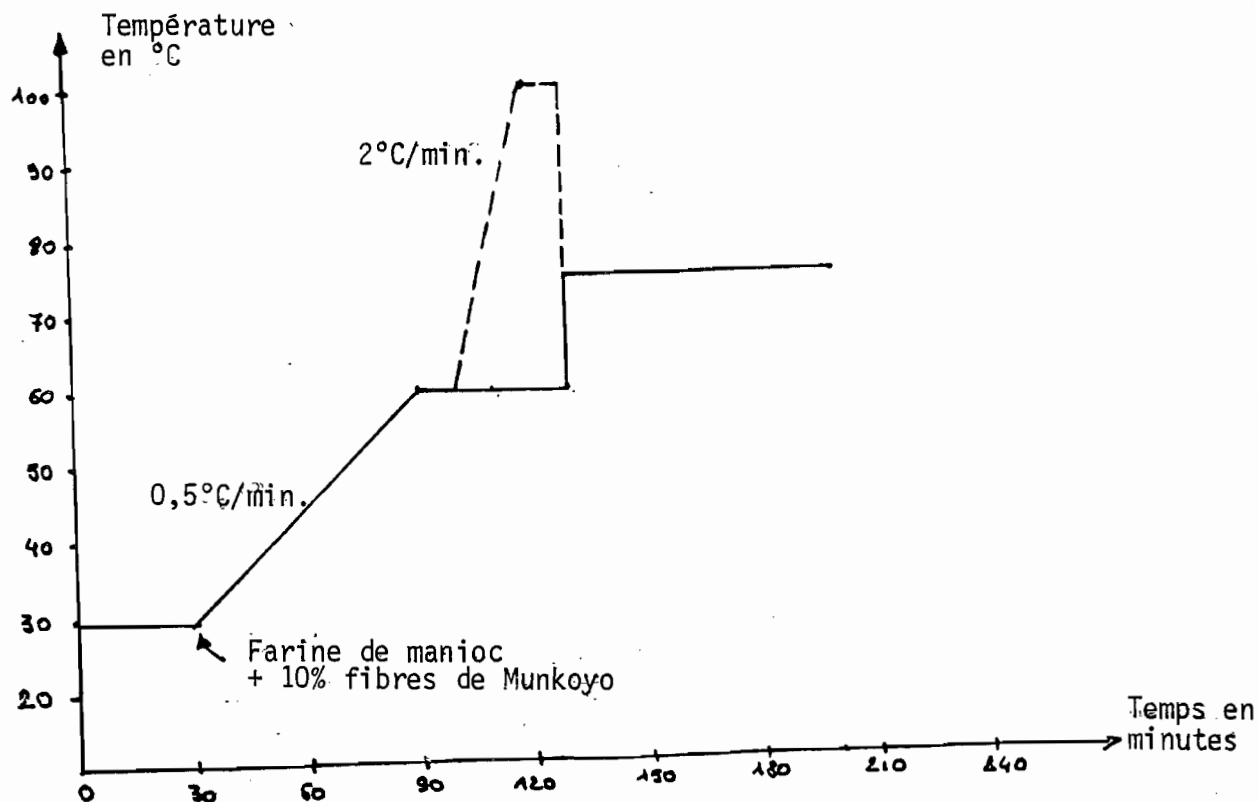


Figure N° 68 : Diagramme de brassage d'une farine de manioc avec des racines de Munkoyo - Diagramme N° 2 -

Avec ce diagramme, réalisé avec les mêmes proportions que précédemment, le test de saccharification a été positif après 20 minutes à 75° C.

Le dosage des sucres réducteurs sur le moût filtré, toujours selon la méthode de BERTRAND, n'a cependant donné un rendement de transformation en sucre que de 41% en poids par rapport au versement en farine de manioc (exprimé en matière sèche).

Nous avons suspendu ces essais de brassage du manioc pour essayer d'identifier les sucres obtenus.

3.4.3.2. Obtention et identification des sucres formés.

Pratiquée sur le l'amidon soluble MERCK, l'hydrolyse, telle que décrite dans le chapitre Matériels et Méthodes (paragraphe 3.3.3.2.) est poursuivie par une concentration sous vide et décoloration jusqu'à l'obtention d'un sucre cristallisé blanc. C'est sur ce sucre que nous avons effectués les réactions d'identification générale, les préparations d'osazones et les analyses chromatographiques dont nous donnons ci-après les résultats.

● Mesure du pouvoir rotatoire

Les mesures polarimétriques effectuées sur un appareil JOBIN-YVON en utilisant les sucres étalons disponibles au laboratoire ont conduit aux valeurs suivantes.

TABLEAU N° XXXIII : MESURES POLARIMÉTRIQUES DES SUCRES

Gamme étalon	Pouvoir rotatoire déterminé	Rappel normes littérature (CHAPON - 1966)
glucose	( $\alpha$ ) = 53° 1	52° 5
saccharose	( $\alpha$ ) = 66° 3	66° 5
maltose	( $\alpha$ ) = 128° 7	138° 3
Sucre obtenu	( $\alpha$ ) = 127° 4	-

Les écarts existants avec la littérature, en particulier pour le maltose peuvent être expliqué par le fait que le sucre disponible au Zaïre n'était pas un maltose pur pour analyse, mais pour usage bactériologique (produit MERCK).

On peut toutefois penser à la vue de ces résultats que le sucre obtenu à un pouvoir rotatoire spécifique comparable à celui du maltose.

● Réactions d'identification des sucres

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant.

TABLEAU N° XXXIV : IDENTIFICATION DES SUCRES

Gamme étalon	Réaction de MOLISH	Réaction de BARFOED	Réaction de SELIVANOFF	Réaction de FEHLING	Réaction de Miroir Ag	Réaction de NYLANDER
		monosaccharide aldose				
. glucose	+	+	-	+	+	+
. saccharose	+	-	+	-	-	-
. maltose	+	-	-	+	lent	+
Sucre obtenu	+	-	-	+	lent	+

L'échantillon du sucre obtenu est donc un dissaccharide réducteur comme le maltose.

● Préparation et caractérisation des osazones

Le phénomène qui conduit les sucres réducteurs à se combiner à la phénylhydrazine pour donner à chaud des cristaux jaunes vifs d'osazones a été utilisé. Ces cristaux apparaissent plus ou moins rapidement en fonction de la nature du sucre qui sert à leur préparation. Leurs formes et leur point de fusion sont des caractéristiques spécifiques des sucres qui leur ont donné naissance.

Le laboratoire ne possédant plus de chlorhydrate de phénylhydrazine, nous avons dû en assurer la synthèse avant d'obtenir les résultats consignés dans le tableau suivant.

TABLEAU N° XXXV : CARACTERISATION DES OSAZONES

Gamme étalon	Temps de formation des osazones	Points de fusion des cristaux d'osazones
. glucose	dans le bain marie	200° C
. saccharose	6 min	205° C
. maltose	25 min	198° C
Sucre obtenu	25 min 30	200° C



Cette détermination, complétée par l'étude microscopique des osazones obtenues, a mis en évidence une nouvelle fois la similitude entre le maltose et le sucre obtenu.

● Identification par chromatographie en phase gazeuse

Plusieurs chromatogrammes ont été réalisés pour identifier les différents sucres présents dans l'échantillon obtenu par hydrolyse de l'amidon avec les fibres de racines de Munkoyo.

Le chromatographe utilisé n'étant pas équipé d'un système permettant les analyses en programmation de température, les polysaccharides présents dans l'échantillon à étudier n'ont pas pu être identifiés avec précision.

Toutefois, à partir des chromatogrammes établis en isotherme, il a été possible de calculer la surface des pics obtenus et d'arriver à la composition suivante :

- glucose  $\alpha$  et  $\beta$  pour environ 2%
- maltose  $\alpha$  et  $\beta$  respectivement pour environ 38 et 40%
- polysaccharide non précisé pour environ 20%.

L'identification des mono et disaccharides a été confirmée par la technique de l'étalonnage interne.

Nous reproduisons ci-après les trois chromatogrammes qui illustrent cette identification par étalonnage interne avec du maltose MERCK à usage bactériologique.

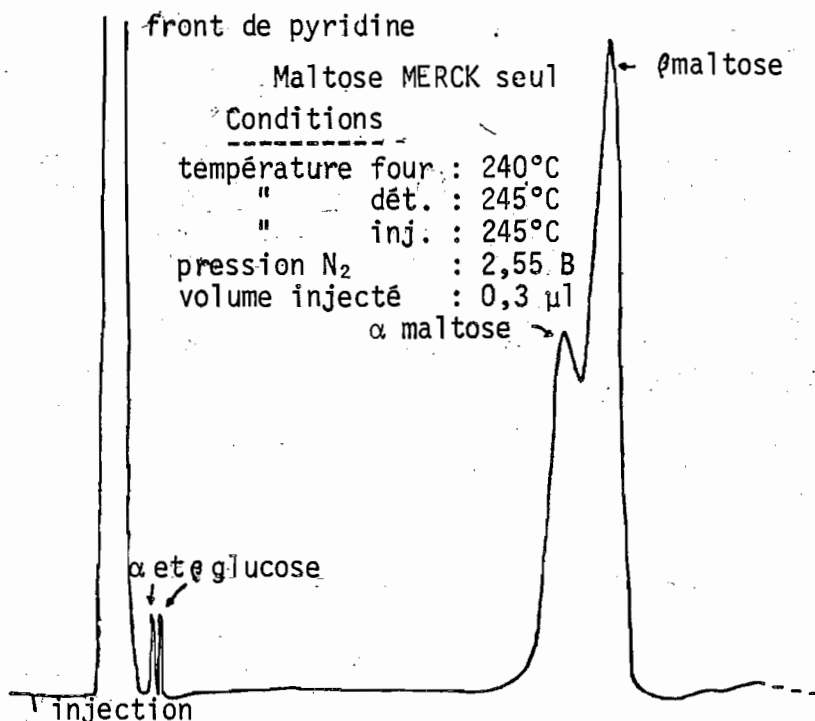


Figure N° 69.a. : Chromatogramme d'un maltose MERCK à usage bactériologique

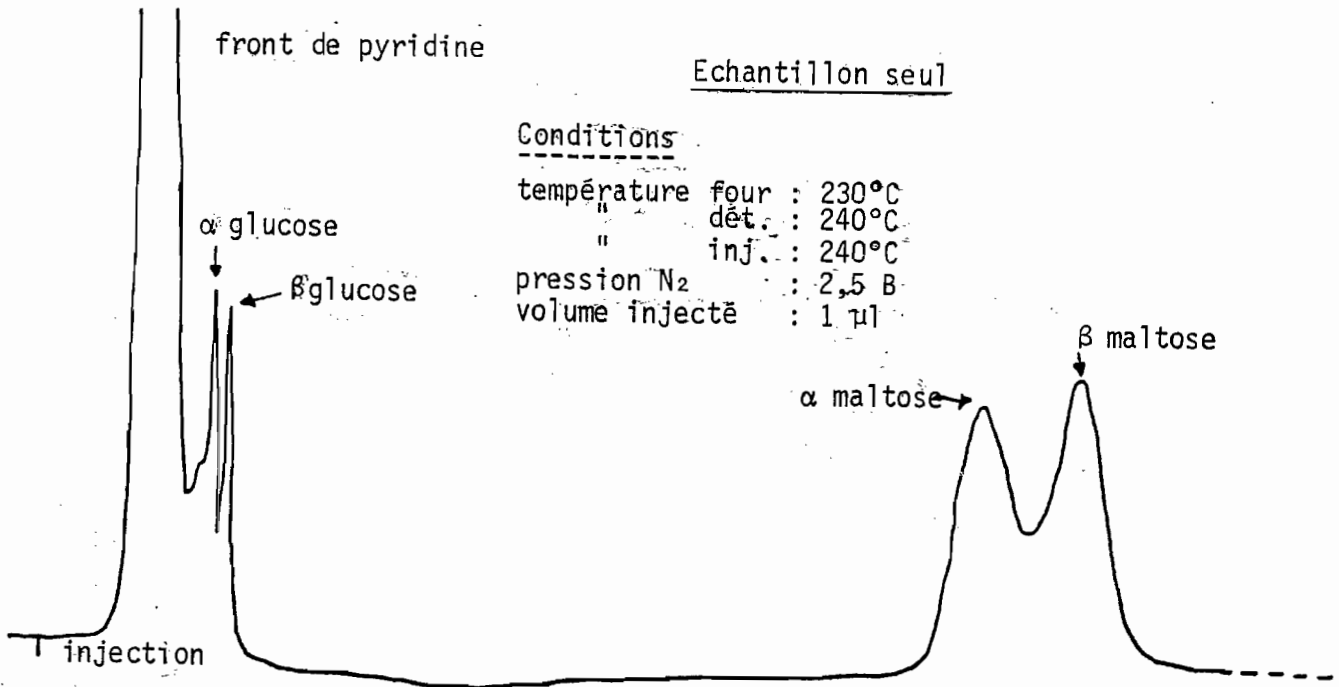


Figure N° 69.b. : Chromatogramme du sucre obtenu par action du Munkoyo sur de l'amidon soluble MERCK

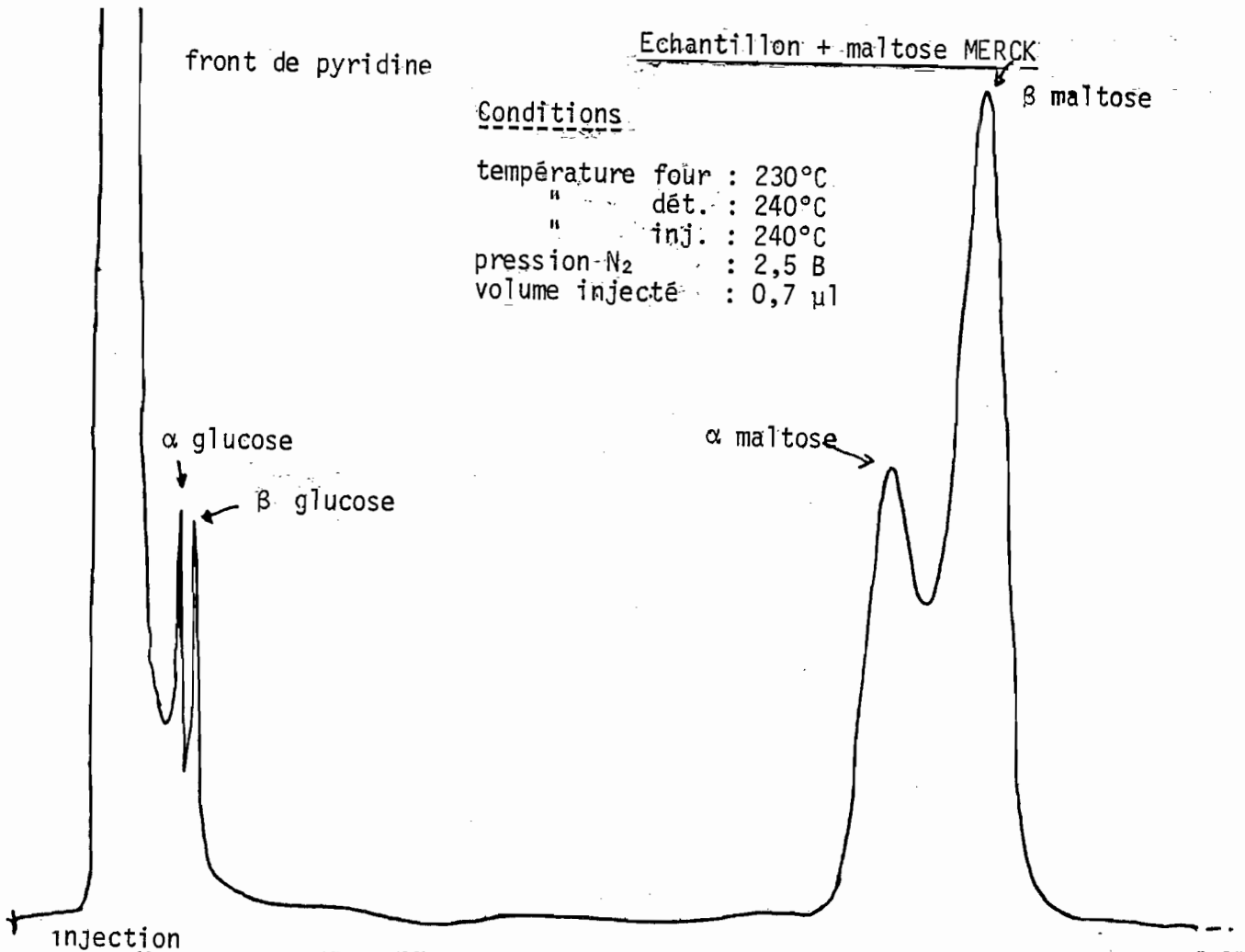


Figure N° 70 : Chromatogramme obtenu par mélange, du sucre obtenu par l'action du Munkoyo sur l'amidon soluble, avec du maltose MERCK à usage bactériologique.

● Identification par chromatographie sur papier

Bien que les résultats présentés ci-après aient été obtenus lors de l'étude comparative entre les systèmes enzymatiques du malt et du Munkoyo qui s'est déroulée à Nancy, ils permettent de compléter l'identification des sucres formés par action du Munkoyo sur l'amidon soluble.

Ils mettent en évidence aussi, comme on le verra au paragraphe 344 la similitude d'action saccharifiante du malt et du Munkoyo.

TABLEAU N° XXXVI : IDENTIFICATION DES SUCRES OBTENUS PAR ACTION DU MALT ET DU MUNKOYO SUR DE L'AMIDON SOLUBLE.

Sucres étalons	Taches	Valeur des Rf des taches obtenues
glucose	A	0,34
maltose	B	0,21
Sucres dus à l'action du Munkoyo sur l'amidon	A	0,34
	B	0,21
	C	0,15
	D	0,11
Sucres dus à l'action du malt sur l'amidon	A	0,34
	B	0,21
	C	0,15
	D	0,11

Cette chromatographie permet de confirmer la formation de glucose et de maltose (tâches A et B), par action du Munkoyo sur l'amidon. Les tâches C et D correspondent respectivement au maltotriose et à un polysaccharide de poids moléculaire plus élevé (dextrines).

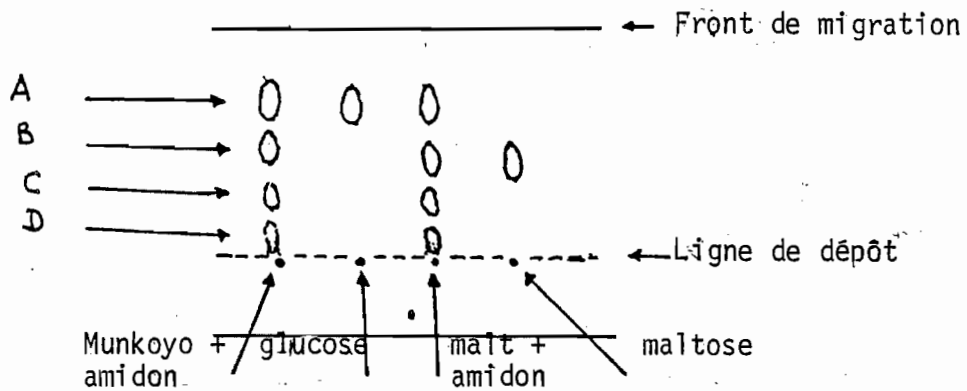


Figure N° 71 : Chromatogramme obtenu après relevation des sucres formés

3.4.3.3. Purification des amylases du Munkoyo

Le schéma de purification des amylases du système enzymatique du Munkoyo peut être résumé comme suit :

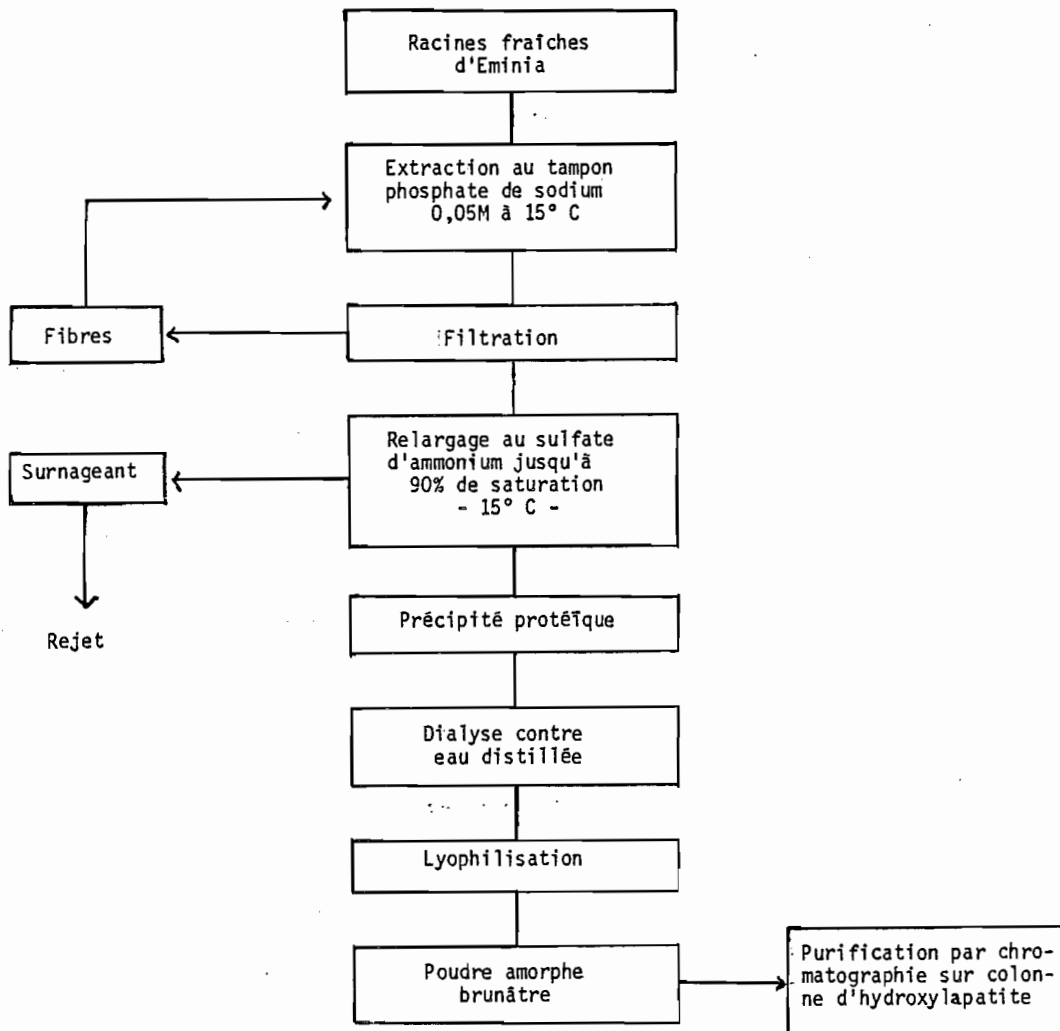


Figure N° 72 : Schéma de purification des amylases du Munkoyo

Remise en solution dans un tampon phosphate de sodium à pH 7, la poudre brunâtre riche en protéines, montre une bande d'absorption spécifique entre 260 et 270 nm. Ce spectre d'absorption aux U.V. réalisé au spectrophotomètre JOBIN YVON est reproduit sur la figure suivante. Dans le but de calibrer l'appareil, nous avons réalisé parallèlement le spectre déjà connu du L-tryptophane pur qui révèle une absorption maximale en solution dans l'eau à 280 nm.

Le spectre obtenu confirme celui obtenu par BOUILLENE et al. (1959).

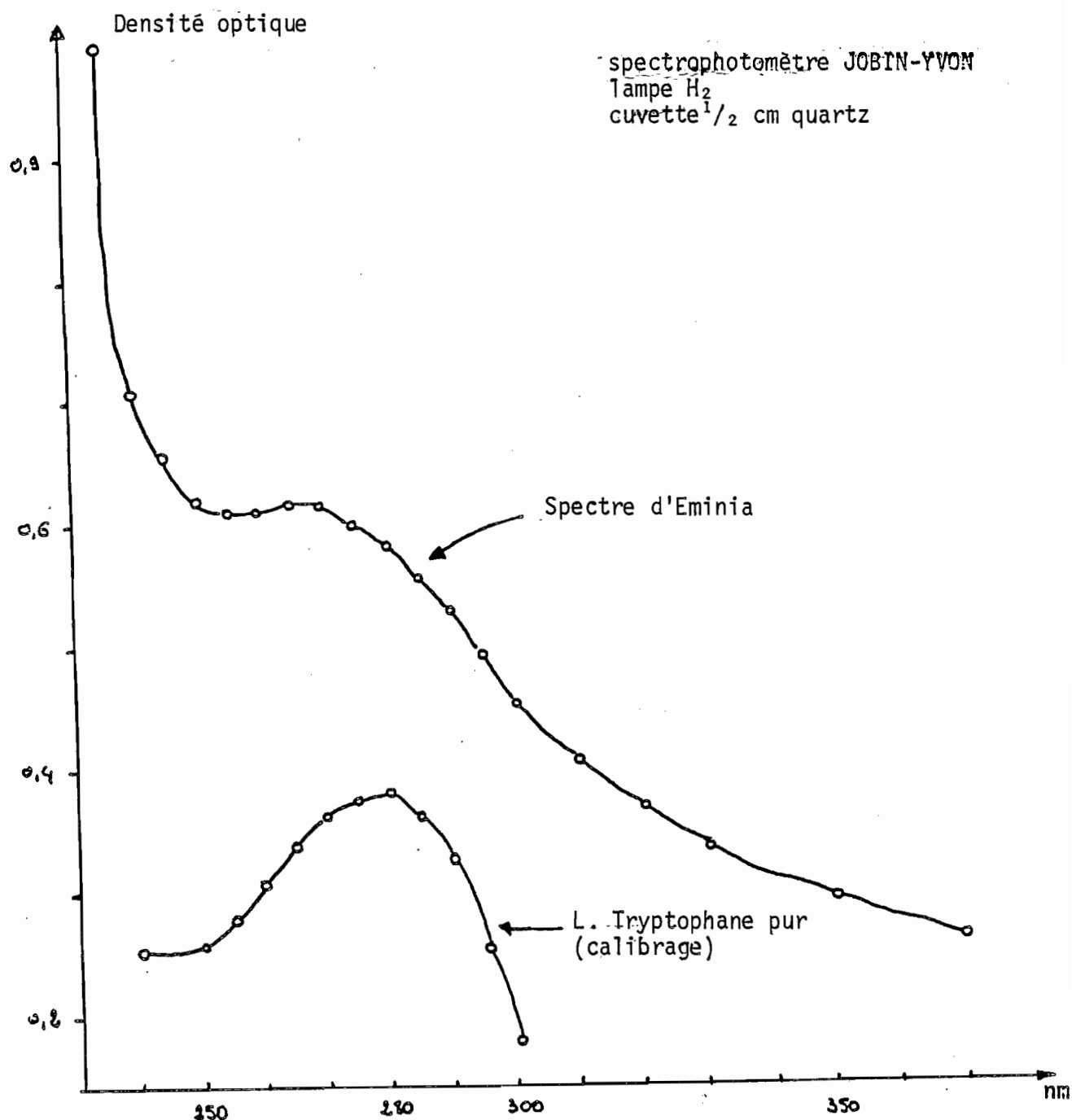


Figure N° 73 : Spectre d'absorption d'un extrait enzymatique d'Eminia.

200 mg de poudre d'extrait enzymatique sont introduits au sommet de la colonne de chromatographie, remplie d'hydroxylapatite. La percolation démarre avec 80 ml de tampon phosphate de sodium 0,005 M; puis 0,06 M ; 0,12 M ; 0,25 M et 0,5 M. Elle a été réalisée à pH constant (7,0) et à 17° C. L'absorption à 280 nm lue sur 36 fractions de 10 ml chacune, recueillies manuellement, nous a permis de relever 5 pics d'absorption, reproduits sur le chromatogramme suivant.

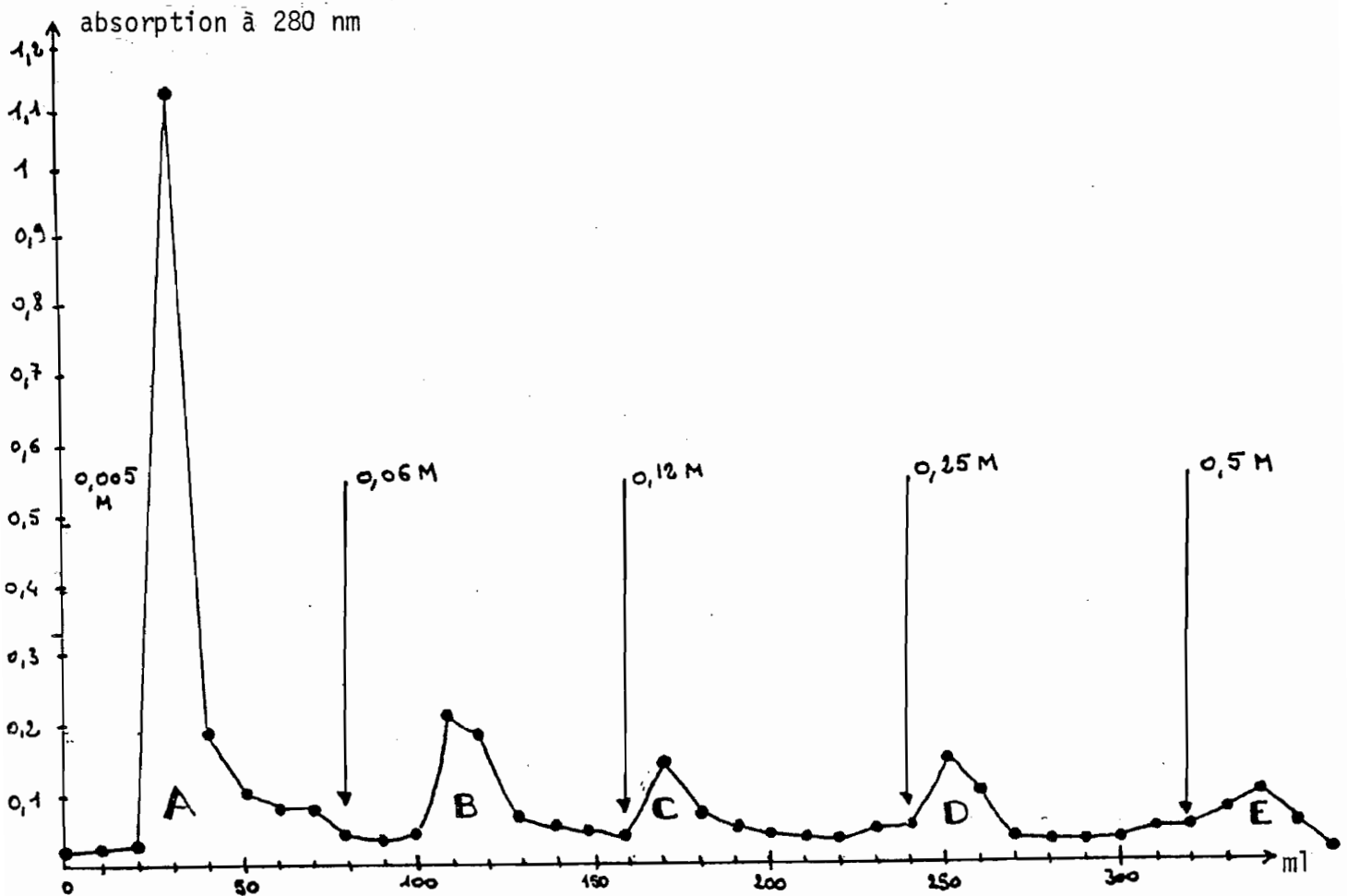


Figure N° 74 : Chromatogramme des fractions recueillies sur colonne d'hydroxylapatite

Le pic A, constitué de fractions colorées, absorbe fortement les U.V. à 280 nm, pourtant il ne présente aucune activité amylolytique.

Les pics B et C présentent eux une activité amylolytique comparable.

Les pics D et E ne présentent pas d'activité amylolytique.

Pour vérifier le degré de purification des amylases dans les deux fractions B et C, nous avons dosé l'activité enzymatique suivant la méthode de BENDELOW (1963), mais pour pouvoir exprimer une comparaison entre les extraits bruts et ces fractions chromatographiques nous avons été contraints de mesurer la teneur en azote des différents produits. Nous exprimons alors l'activité enzymatique en mg de maltose produit par mg de protéines ( $N_2 \times 6,25$ ) et par minute .

Le tableau suivant permet de comparer les activités enzymatiques mesurées en fonction du degré de purification. Nous avons pu comparer ces activités à un malt utilisé à la brasserie de LUBUMBASHI sur lequel nous avons procédé à une extraction au tampon phosphate de sodium après mouture.

TABLEAU N° XXXVII : ACTIVITES ENZYMATIQUES D'EXTRAITS DE MUNKOYO A DIFFERENTS STADES DE PURIFICATION.

Nature de l'extrait enzymatique	Teneur en protéines en mg/mg de matières sèches	Activités spécifiques mesurées	
		en mg de maltose par mg de mat. sèc. 20° C - 10 min	en mg de maltose par mg de protéines par minute
Extraits bruts au tampon phosphate			
. sur fibres de Munkoyo	0,025	0,65	2,6
. sur farine de malts	0,018	0,35	1,9
Extrait de Munkoyo après relargage au sulfate d'ammonium	0,023	0,76	3,3
Extrait de Munkoyo prélevé sur les fractions actives du pic B après chromatographie	0,00236	0,23	9,7

Ces résultats montrent que la technique de purification par chromatographie sur colonne d'hydroxylapatite permet d'obtenir des activités enzymatiques de l'ordre de 4 fois plus importante dans les fractions actives recueillies que dans l'extrait brut au tampon phosphate. Ils montrent également que l'extrait de Munkoyo est légèrement plus actif qu'un extrait de malt obtenu dans les mêmes conditions. Toutefois, ils ne permettent pas de confirmer les résultats de BOULLIENE et al. (1959) qui arrivait à un pouvoir enzymatique pour le Munkoyo 7 à 8 fois supérieur au pouvoir enzymatique du malt.

Nous avons voulu tester l'influence des traitements thermiques et des variations de pH sur ces fractions actives en les soumettant pendant 30 minutes à diverses températures et pendant 1 heure à différents pH.

Les résultats obtenus, exprimés en valeurs relatives apparaissent sur le tableau suivant :

TABLEAU XXXVIII : INFLUENCE DES TRAITEMENTS THERMIQUES ET DES VARIATIONS DE pH SUR LES EXTRAITS ENZYMATIQUES DES FRACTIONS ACTIVES (PIC B)

Conditions de température °C	Activité enzymatique relative en %	Condition de pH	Activité enzymatique relative en %
20	76,9	2	3,6
30	95,4	3	45,2
40	100,0	3,5	45,8
45	100,0	4	43,6
50	84,6	4,5	50,0
55	72,8	5	98,4
60	54,6	5,5	100,0
65	24,6	6	100,0
70	14,9	6,5	96,3
80	3,2	7	84,2
		8	62,6
		9	6,3



Ces résultats permettent de vérifier que l'extrait enzymatique est assez sensible à des traitements thermiques supérieurs à 50°C. En effet, l'activité résiduelle est de l'ordre de 50% après 30 minutes à 60°C et quasi nulle après traitement à 70°C. Cependant, les extraits obtenus peuvent être considérés comme suffisamment thermostables pour des conditions d'utilisation en milieu tropical.

De plus, le système enzymatique présent dans le Munkoyo est peu sensible aux effets de variation de pH. En effet, il conserve une bonne activité même après séjour en milieu nettement acide (pH 3) ou légèrement alcalin (pH 8).

Enfin, pour donner une première caractéristique biochimique de cette fraction (Pic B) active, nous nous sommes attachés à déterminer la constante de MICHAELIS.

Rappelons que cette constante, caractéristique d'une enzyme donnée est définie comme étant la concentration du substrat qui correspond à la moitié de la vitesse maximale de la réaction enzymatique qui lui est associée.

Les résultats apparaissent sur la courbe caractéristique suivante et mettent en évidence un  $K_m$  de 3,1 mg d'amidon/ml.

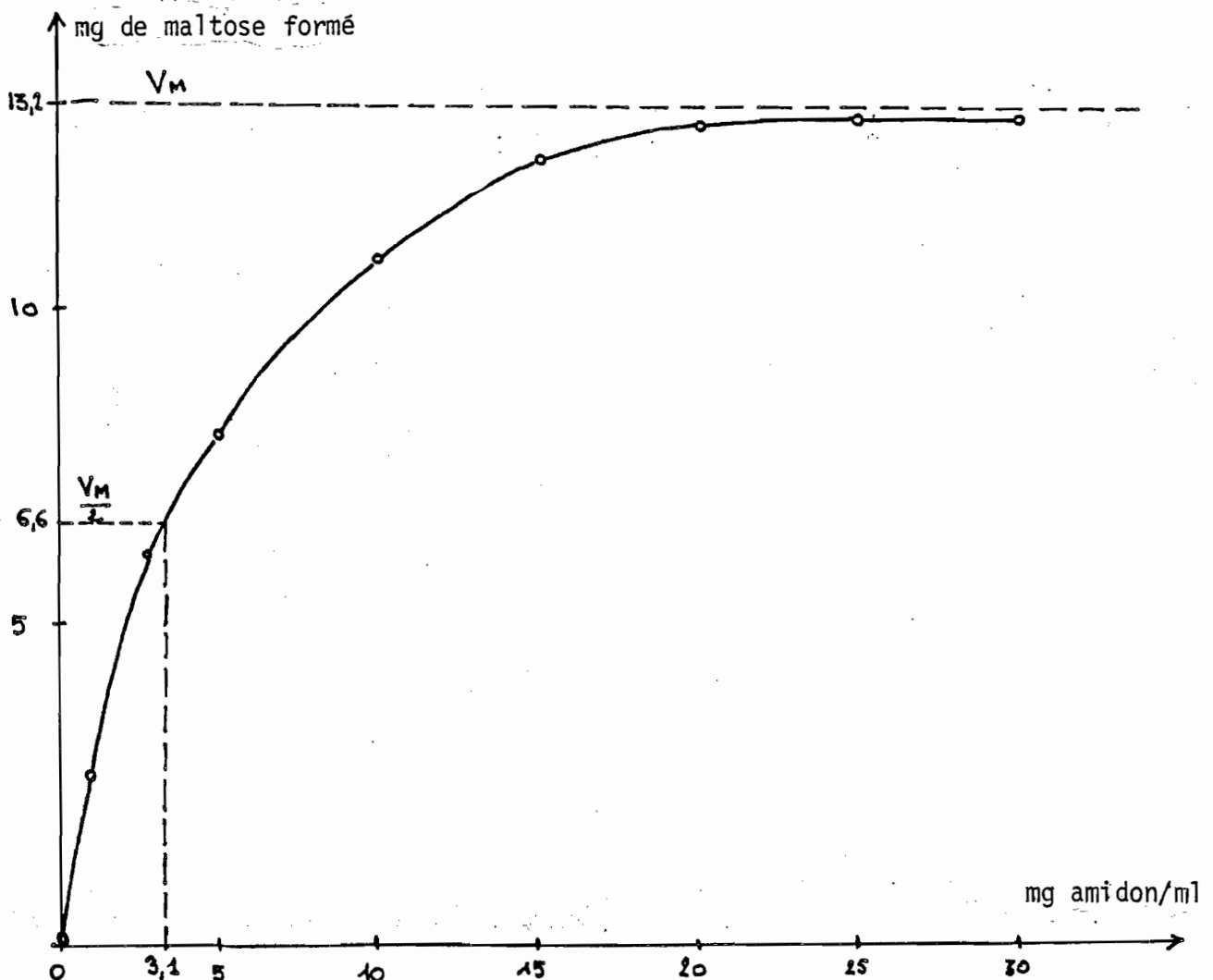


Figure N° 75 : Détermination de la Constante de MICHAELIS d'un extrait enzymatique de Munkoyo.

### 3.4.4. Activités comparées des systèmes enzymatiques du malt et ----- du Munkoyo -----

#### 3.4.4.1. Activités amylasiques

Les essais précités ont pu être repris et complétés à Nancy pour comparer le système enzymatique du Munkoyo à celui de notre source enzymatique de référence : le malt d'orge.

Dans ce sens, les extraits enzymatiques du Munkoyo ont été obtenus comme mentionné au chapitre Matériels et Méthodes au paragraphe 3.3.4.4. Les mesures des activités amylolytiques qui ont porté sur les  $\alpha$  et  $\beta$  amylases et qui sont exprimées en micromoles de maltose formées par un milligramme de protéines et par minute ont été obtenues à partir des deux graphes de calibrage suivants :

- pour le dosage des protéines

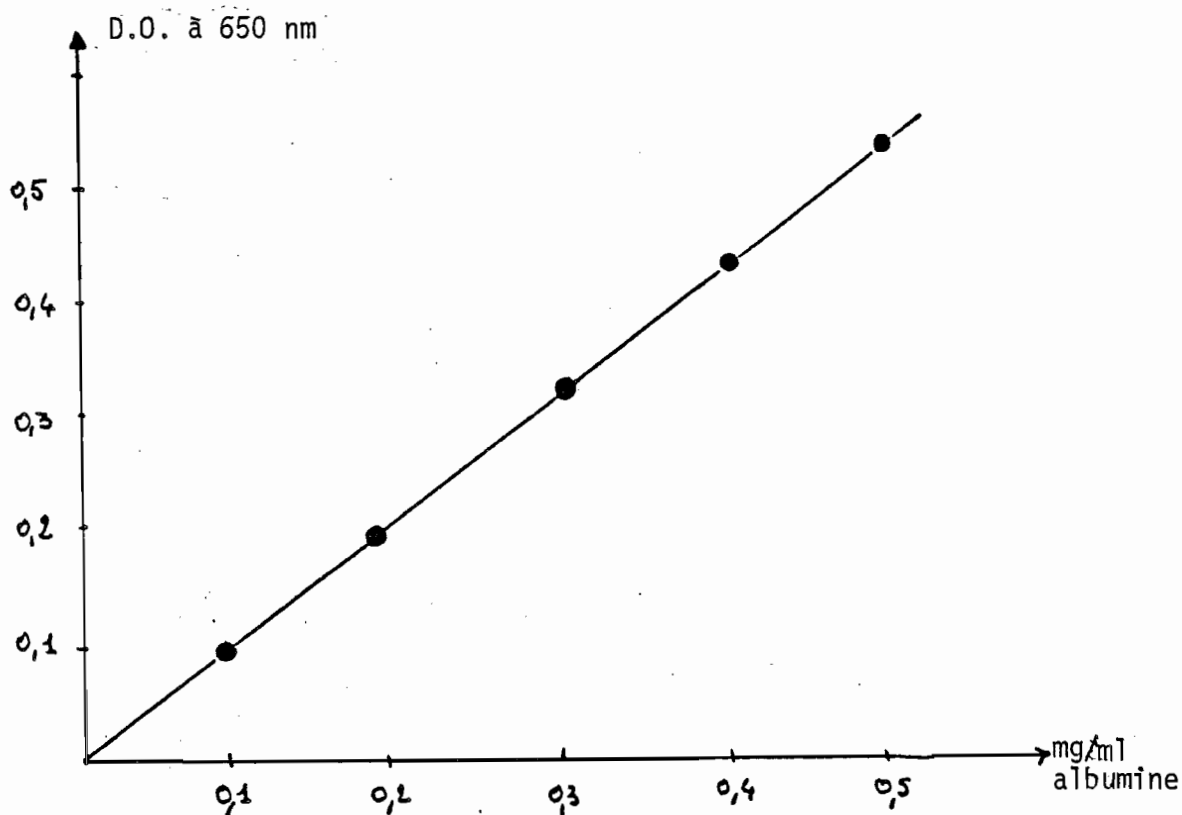


Figure N° 76 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des protéines (méthode de LOWRY).

- pour le dosage des activités amylasiques

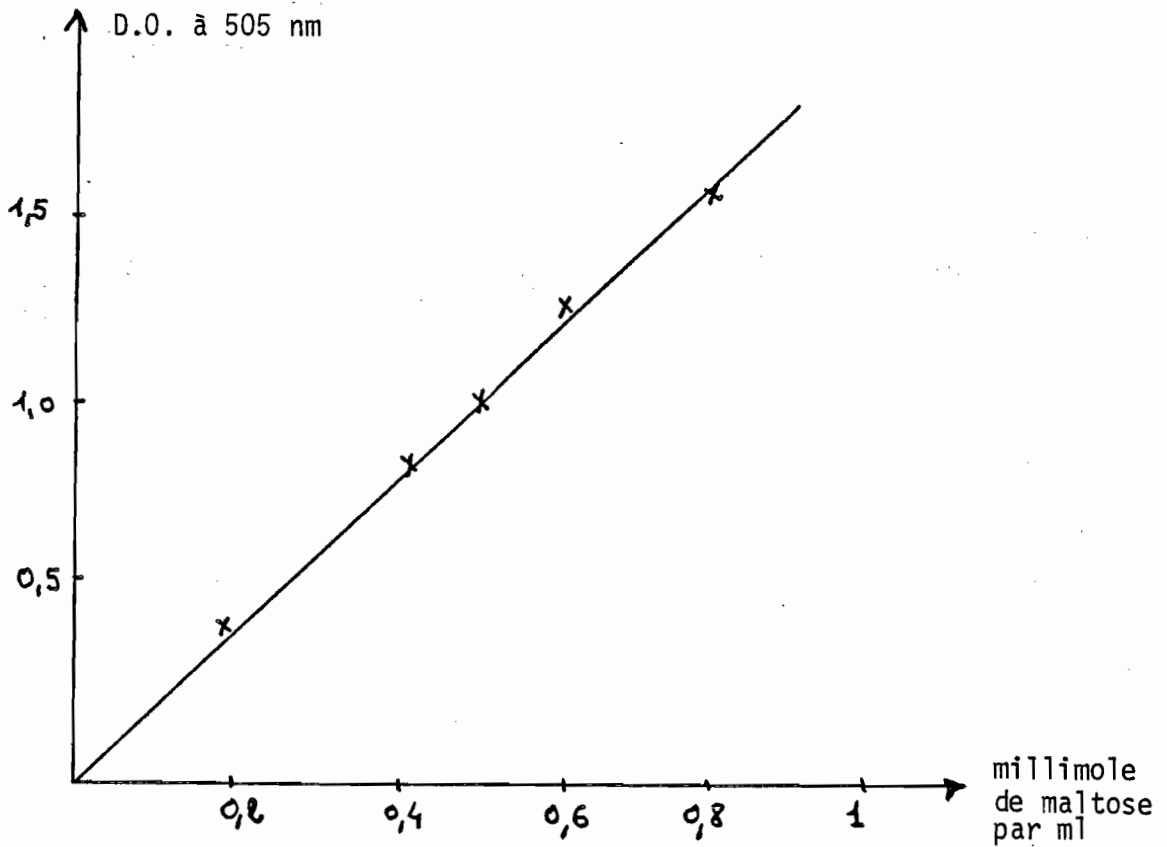


Figure N° 77 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des sucres réducteurs formés (méthode de BENDELOW).

Les résultats obtenus, présentés ci-après proviennent, pour le malt de mesures effectuées sur la variété ARAMIR, pour le Munkoyo d'échantillons de fibres préparés au Zaïre, lyophilisées, transportées et conservées en France au réfrigérateur à 4° C.

TABEAU N° XXXIX : ACTIVITES SPECIFIQUES DES AMYLASES D'EXTRAITS BRUTS DE MALT ET DE MUNKOYO

Source enzymatique	Malt			Munkoyo		
Teneur en protéines des extraits bruts en mg/ ml		1,7			2,25	
en % de M.S.		1,1			1,50	
Activités spécifiques	$\alpha$	$\beta$	totale	$\alpha$	$\beta$	totale
en $\mu$ moles de maltose par mg de protéines/min	1,05	2,27	3,32	1,00	2,25	3,25
en mg de maltose par mg de protéines/min	0,36	0,77	1,13	0,342	0,77	1,11

Pour tenter une comparaison entre les résultats obtenus en France et ceux obtenus au Zaïre et présentés dans le tableau N° XXXVII, nous avons exprimé ci-dessus les activités en mg de maltose formés. Cette comparaison reste toutefois très délicate. En effet, si la méthode analytique pour la détermination des activités totales est identique, l'expression en fonction de la teneur en protéines ne l'est pas puisque dans un cas les protéines ont été calculées à partir d'une analyse d'azote par la méthode de KJEDHAL et dans l'autre cas, par la méthode de LOWRY. De plus, les équipements analytiques sont bien sûrs différents, les graphes d'étalonnage sont eux aussi différents et les matières premières utilisées ne sont pas rigoureusement les mêmes. Enfin, les techniques d'extraction brutes sont sensiblement différentes. Ces éléments expliquent les variations enregistrées. Toutefois, les ordres de grandeurs sont similaires.

Les résultats obtenus en France montrent en particulier que dans les extraits bruts, les activités spécifiques des  $\beta$  amylases sont nettement supérieures à celles des  $\alpha$  amylases et cela aussi bien pour le malt que pour le Munkoyo. Ces deux sources enzymatiques semblent donc présenter une grande similitude. C'est ce que nous avons voulu préciser d'abord au niveau des activités amylasiques seules, en purifiant les amylases, ensuite au niveau des autres activités enzymatiques décelables dans le malt et le Munkoyo.

Pour effectuer les premières comparaisons, une séparation des amylases a été tentée par chromatographie sur colonne de carboxy-méthyl-cellulose (CMC<sub>32</sub> - Whatman). L'élution de la solution protéique déposée au sommet de la colonne a été réalisée par un tampon acétate de sodium avec un gradient de concentration compris entre 0,02 M et 0,75 M. Cette élution dont le débit a été de 35 ml/h a permis de mettre en évidence 5 fractions protéiques absorbant à 280 nm pour le Munkoyo et 6 fractions protéiques pour le malt.

Les figures suivantes illustrent ces résultats.

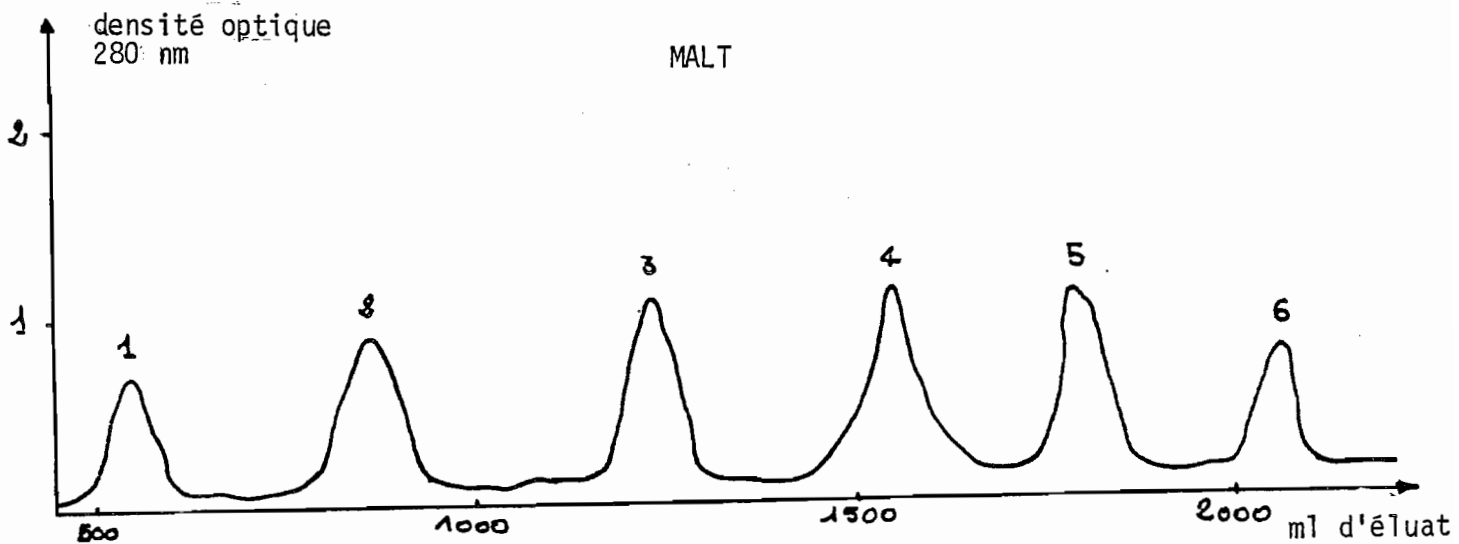


Figure N° 78 : Fractionnement des amylases du malt sur colonne CMC<sub>32</sub> - Whatman.

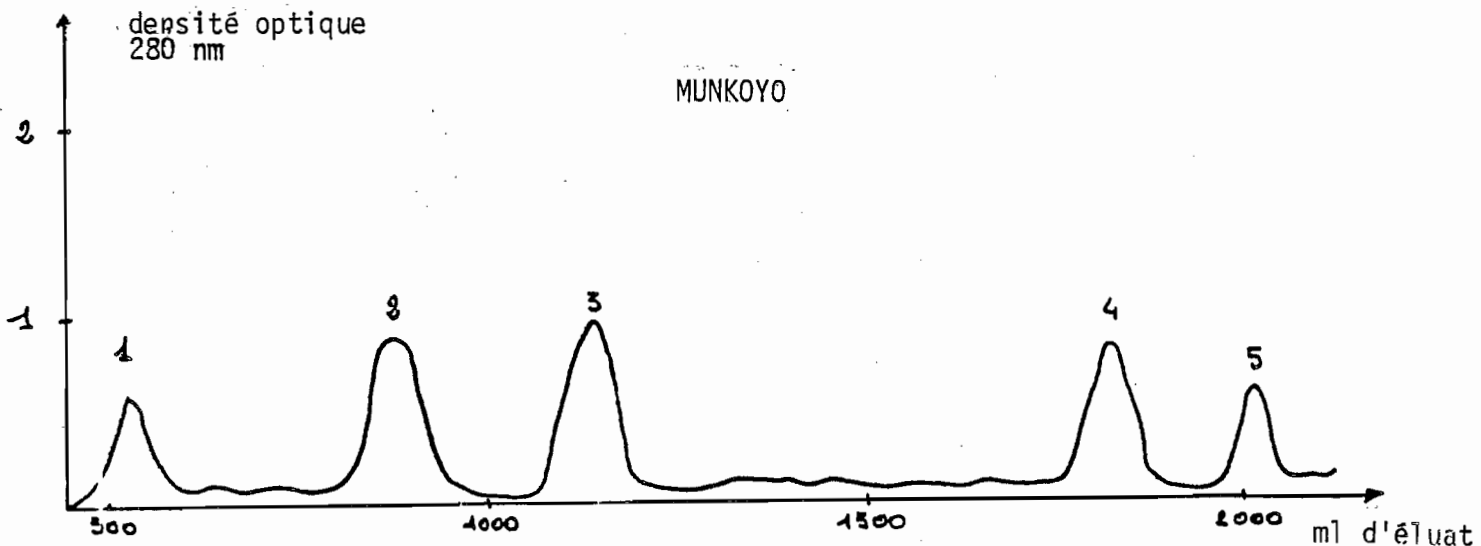


Figure N° 79 : Fractionnement des amylases du Munkoyo sur colonne CMC<sub>32</sub> - Whatman.

Pour chacune des fractions obtenues, la teneur en protéines et les activités spécifiques des amylases exprimées en micromoles de maltose par mg de protéines et par minute sont reproduites sur le tableau suivant .

TABLEAU N° LX : ACTIVITES SPECIFIQUES DES AMYLASES DU MALT ET DU MUNKOYO, FRACTIONNEES SUR COLONNE DE CARBOXY-METHYL-CELLULOSE (CMC<sub>32</sub>)

Source enzymatique	Malt			Munkoyo		
Teneur en protéines mg/ml d'éluat						
Fraction 1	1,00			0,85		
2	0,90			0,70		
3	0,80			0,75		
4	0,85			0,65		
5	0,10			0,09		
6	0,09			-		
Activités spécifiques en $\mu$ moles de maltose/ mg de protéines/min	$\alpha$	$\beta$	totale	$\alpha$	$\beta$	totale
Fraction 1	12,7	3,1	15,8	12,5	2,8	15,3
2	4,5	15,1	19,6	4,7	14,1	18,8
3	5,4	14,2	19,6	5,6	14,4	20,0
4	13,5	4,2	17,7	13,0	4,8	17,8
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-

Ces résultats montrent qu'aussi bien en ce qui concerne le malt qu'en ce qui concerne le Munkoyo, seules les 4 premières fractions présentent une activité amylolytique.

Ils mettent en évidence de plus que les activités totales sont multipliées par un coefficient 5 à 6 par rapport à l'extrait brut. Mais les activités  $\alpha$  amylasiques sont multipliées par 12 à 13 alors que les activités  $\beta$  amylasiques ne le sont que par un coefficient de l'ordre de 6.

Cette purification des amylases n'est toutefois pas complète puisque toutes les fractions actives renferment à la fois des activités  $\alpha$  et  $\beta$  amylasiques en proportions variables. Cependant les  $\alpha$  amylases apparaissent essentiellement dans les fractions 1 et 4 alors que les  $\beta$  amylases apparaissent dans les fractions 2 et 3.

La séparation des  $\alpha$  et  $\beta$  amylases du malt en deux fractions  $\alpha$  et en deux fractions  $\beta$  a déjà été observée par GREENWOOD et MAC GREGOR (1965). Ces résultats confirment donc leurs travaux. Ils permettent de plus de mettre en évidence une fois encore la grande similitude des systèmes enzymatiques du malt et du Munkoyo.

Les résultats précédents nous ont amené à comparer les conditions optimales de température et de pH d'une part des fractions riches en  $\alpha$  amylase et d'autre part aux fractions où l'activité  $\beta$  amylasique est dominante.

Les figures suivantes illustrent les résultats obtenus d'abord pour les variations de pH, ensuite pour les variations de températures.

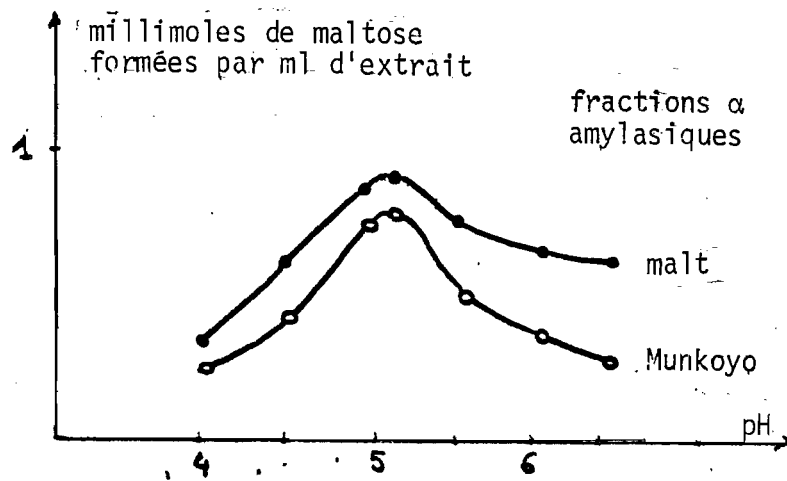


Figure N° 80 : Evolution de l'activité  $\alpha$  amylasique du malt et du Munkoyo en fonction du pH.

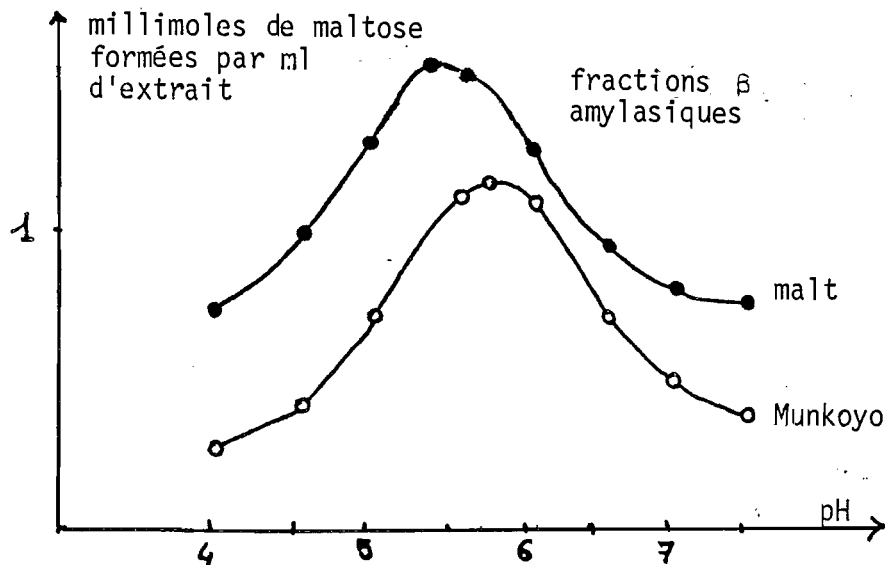


Figure N° 81 : Evolution de l'activité  $\beta$  amylasique du malt et du Munkoyo en fonction du pH.

Les activités  $\alpha$  amylasiques du malt et du Munkoyo présentent le même pH optimal (5,2), tandis que les activités  $\beta$  présentent un optimum à 5,3 pour le malt et 5,7 pour le Munkoyo.

Les résultats relatifs aux variations de température, montrent que les températures optimales des amylases du Munkoyo sont plus élevées que celles du malt, 67° C pour l' $\alpha$  amylase du malt contre 78° C pour celle du Munkoyo. Pour la  $\beta$  amylase du malt la température optimale enregistrée a été de 62° C et en palier 65-67° C pour le Munkoyo.

Ces résultats sont illustrés par les figures suivantes.

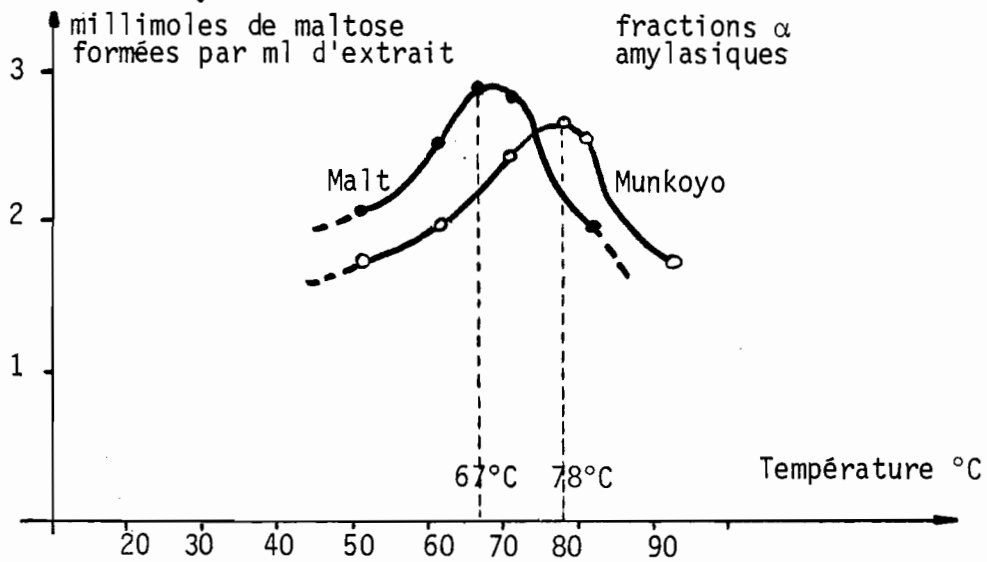


Figure N° 82 : Activités  $\alpha$  amylasiques des malts et du Munkoyo en fonction de la température.

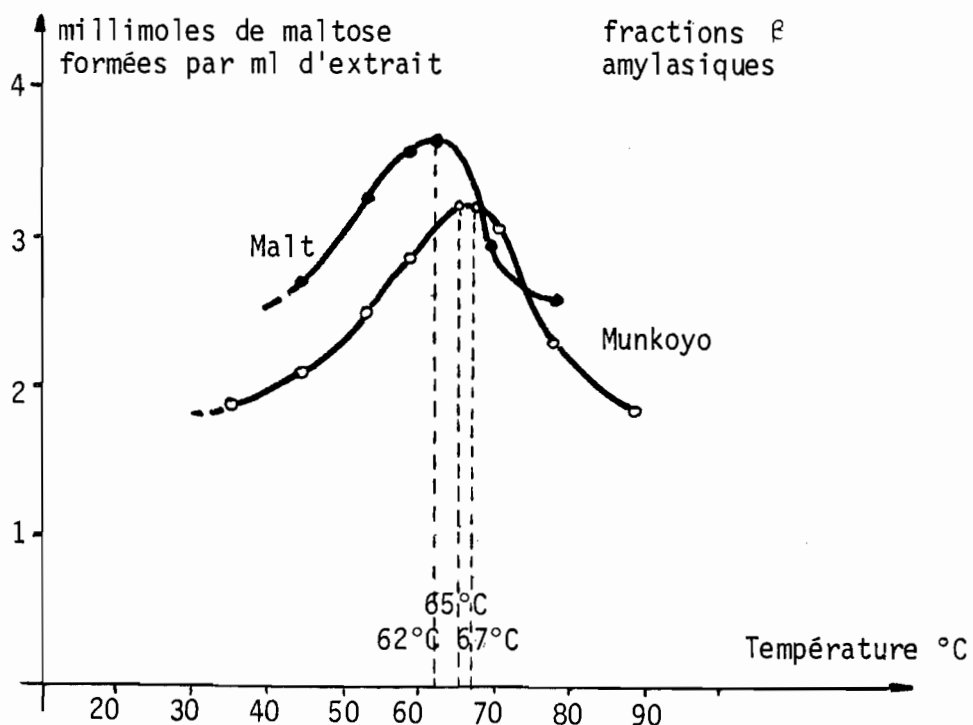


Figure N° 83 : Activité  $\beta$  amylasiques du malt et du Munkoyo en fonction de la température.



3.4.4.2. Autres activités enzymatiques comparées

Les comparaisons ont porté sur les activités dextrinasiques, endo $\beta$  gluconasiques et laminarasiques. Les résultats obtenus, en utilisant pour le dosage de l'activité laminarasique la courbe étalon calibrée en glucose et présentée ci-après, tendent à prouver que les deux échantillons de malt et de Munkoyo ont des systèmes enzymatiques très voisins.

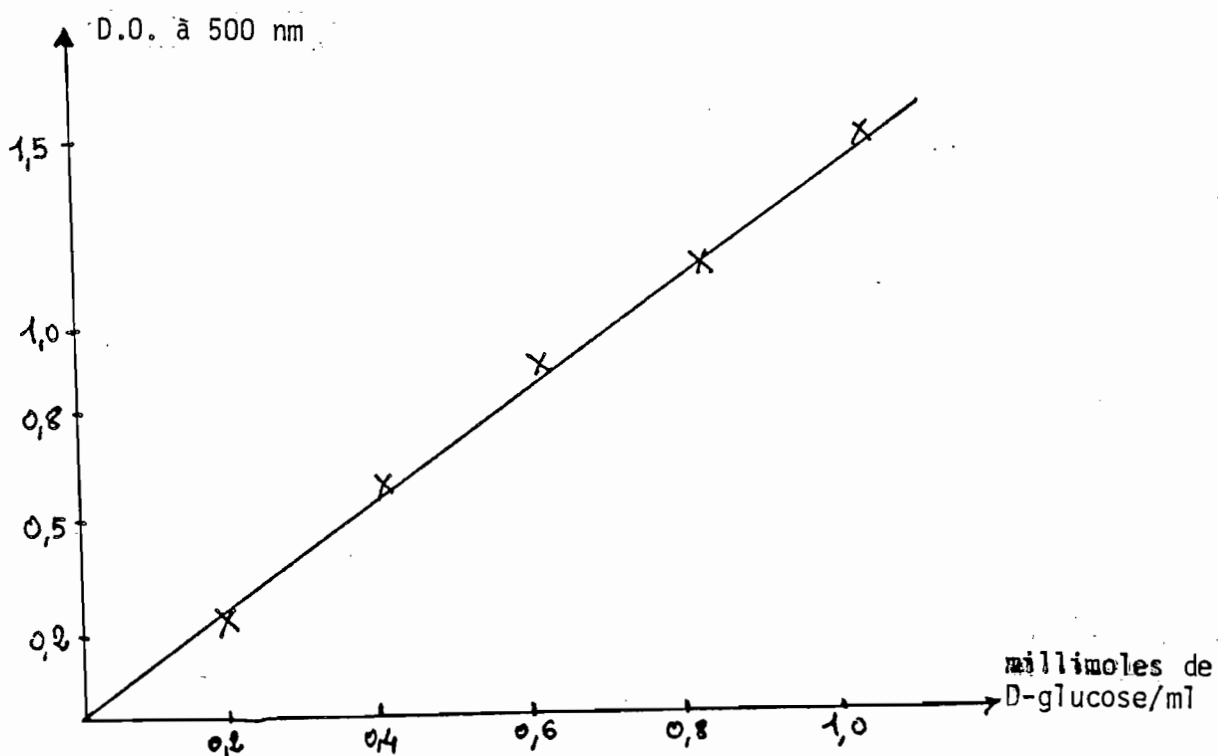


Figure N° 84 : Dosage du glucose formé  
Courbe d'étalonnage de la méthode de SMOGYI

Le tableau suivant met en évidence la similitude des résultats de la comparaison des activités étudiées.

TABLEAU N° XLI : COMPARAISONS DE QUELQUES ACTIVITES ENZYMATIQUES DU MALT ET DU MUNKOYO.

Type d'activité	Nombre de mesure	Valeur moyenne des activités	
		MALT	MUNKOYO
Dextrinasique en mg de maltose par mg de protéine	4	1,9	1,8
Laminarasique en mg de glucose par mg de protéine	4	0,8	0,85
Endo $\beta$ gluconasique par unité d'enzymes	4	4,7	4,9

#### 3.4.4.3. Conclusion

Ces études comparatives permettent de tirer un certain nombre de conclusions.

- les méthodes d'extraction, de purification et de mesure des activités enzymatiques des fibres de racines de Munkoyo, généralement appliquées au malt sont applicables.
- les  $\alpha$  et  $\beta$ , principales responsables de la transformation des amidons en sucres fermentescibles par la levure du bière présentent des activités très voisines dans le malt et dans les fibres des racines de Munkoyo.

On peut donc penser que l'utilisation du Munkoyo peut avantageusement remplacer un malt diastasique pour la transformation des grains crus en moût fermentescible.

L'alternative Munkoyo, ne peut toutefois être proposée qu'au stade de la saccharification des substrats amylacés pour remplacer le malt d'orge. Des études plus complètes, au niveau de la fermentation des brassins seraient à envisager.

Il est évident par ailleurs, qu'une alternative technologique Munkoyo à la saccharification des substrats amylics tropicaux ne peut pas être envisagée actuellement étant donné qu'il s'agit d'un produit de cueillette, sans culture intensive organisée. Il serait irréaliste de proposer une alternative technologique qui ne tienne pas compte de l'amont agricole.

De même que l'alternative malt de sorgho présentée précédemment ne peut s'envisager sans un travail des sélectionneurs, de même l'alternative Munkoyo ne peut pas être crédible tant que des études agronomiques ne se seront pas développées sur cette plante.

Les résultats présentés dans le prochain paragraphe en termes d'immobilisation in situ des amylases peut, nous l'espérons, inciter des agronomes à entreprendre des travaux sur les conditions culturales de cette papilionacée.

### 3.4.5. Propriétés amylolytiques des enzymes du malt et du Munkoyo après immobilisation

Suite aux résultats précédents, il nous a paru intéressant de fixer les enzymes responsables de l'activité amylolytique afin de stabiliser et de prolonger les durées d'utilisation des préparations enzymatiques de malt et de Munkoyo. Les résultats des traitements décrits au chapitre Matériels et Méthodes sont présentés ci-après.

#### 3.4.5.1. Traitement au glutaraldéhyde

Le traitement des racines de Munkoyo conduit à un ralentissement de la perte en protéines ainsi qu'à la stabilisation de la production de sucres réducteurs comme l'illustrent les figures suivantes :

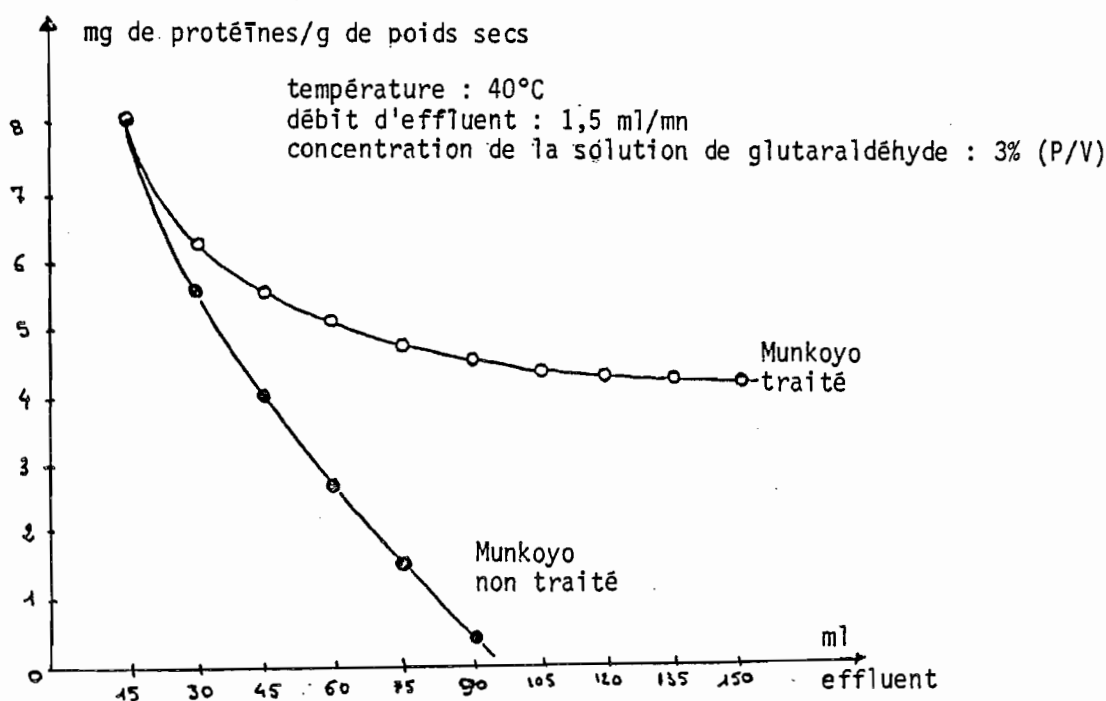


Figure N° 85 : Variations de la teneur en protéines dans le réacteur pour les fibres de Munkoyo traitées ou non traitées au glutaraldéhyde.

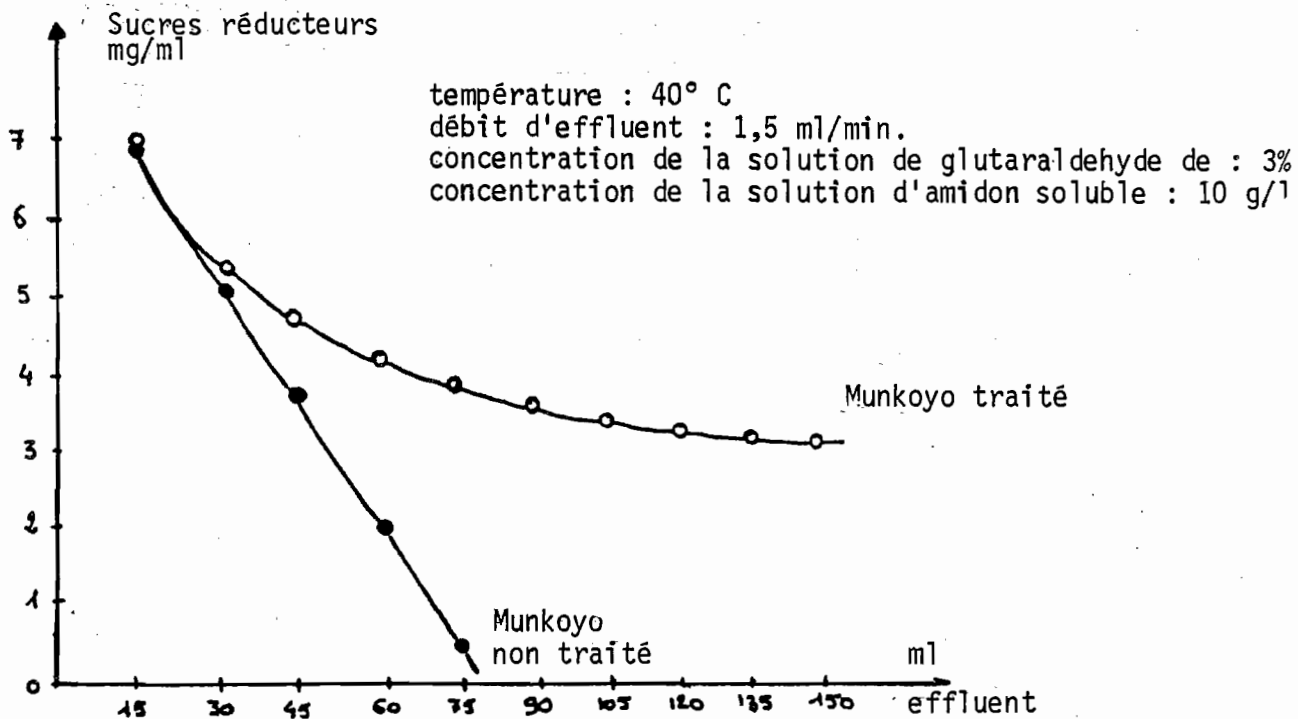
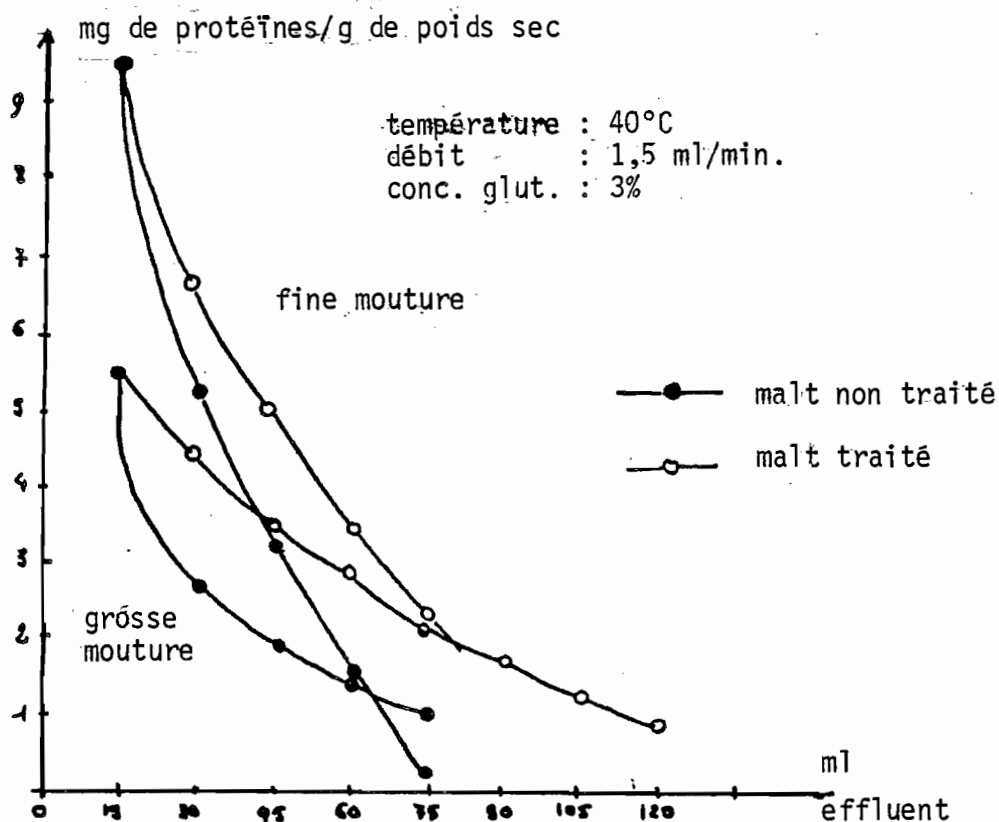


Figure N° 86 : Variation de la teneur en sucres réducteurs de l'effluent à la sortie du réacteur pour le Munkoyo traité ou non traité au glutaraldéhyde.

Ces résultats traduisent de manière très nette la rétention des enzymes amylolytiques et leur stabilité en fonction du nombre de réactions pratiquées avec la même préparation enzymatique. Chaque mesure a été effectuée après 10 min de réaction (soit 15 ml d'effluent). On constate que dès le 4<sup>ème</sup> cycle, la teneur en protéines insolubilisées ne baisse que lentement et semble se stabiliser à environ 60% de la teneur initiale. Parallèlement, l'évolution de la teneur en sucres réducteurs recueillis se stabilise pratiquement dès le 8<sup>ème</sup> cycle aux environs de 3 mg/ml ; soit plus de 30% de l'activité initiale.

Dans le cas des grains de malt où nous avons une structure beaucoup moins rigide que pour le Munkoyo, le traitement au glutaraldehyde seul s'est avéré beaucoup moins efficace. Malgré le traitement, l'amande riche en amidon subit une dégradation amylolytique. Nous avons essayé de travailler sur des moutures fines et grossières. Le profil des courbes obtenues pour le Munkoyo.

Avec la mouture fine, après la 5<sup>ème</sup> opération il n'y a pratiquement plus de protéines retenues aussi bien pour les échantillons traités que non traités. Dans le cas des moutures grossières, on observe une faible rétention des protéines et le maintien d'une certaine activité amylasique.



*Figure N° 87 : Variations de la teneur en protéines dans le réacteur pour les farines de malt (2 moutures traitées ou non traitées au glutaraldehyde.*

Ce résultat tend à montrer que la structure granuleuse d'une mouture grossière facilite la fixation des enzymes. Cependant, on conclut qu'une simple imprégnation du malt au glutaraldehyde est insuffisante.

Nous n'avons donc poursuivi l'étude de la fixation au glutaraldehyde que sur les fibres de Munkoyo où nous avons cherché à mettre en évidence l'influence de la température de la réaction enzymatique sur le rendement de transformation de l'amidon en sucres réducteurs.

Nous avons, dans ce sens, fait varier la température du bain-marie dans lequel se trouve immergé le réacteur.

En nous référant aux travaux précédents, nous avons retenus

- 67° C - température optimale de la  $\beta$  amylase du Munkoyo
- 80° C - température optimale de l' $\alpha$  amylase du Munkoyo.

La figure suivante illustre les résultats obtenus :

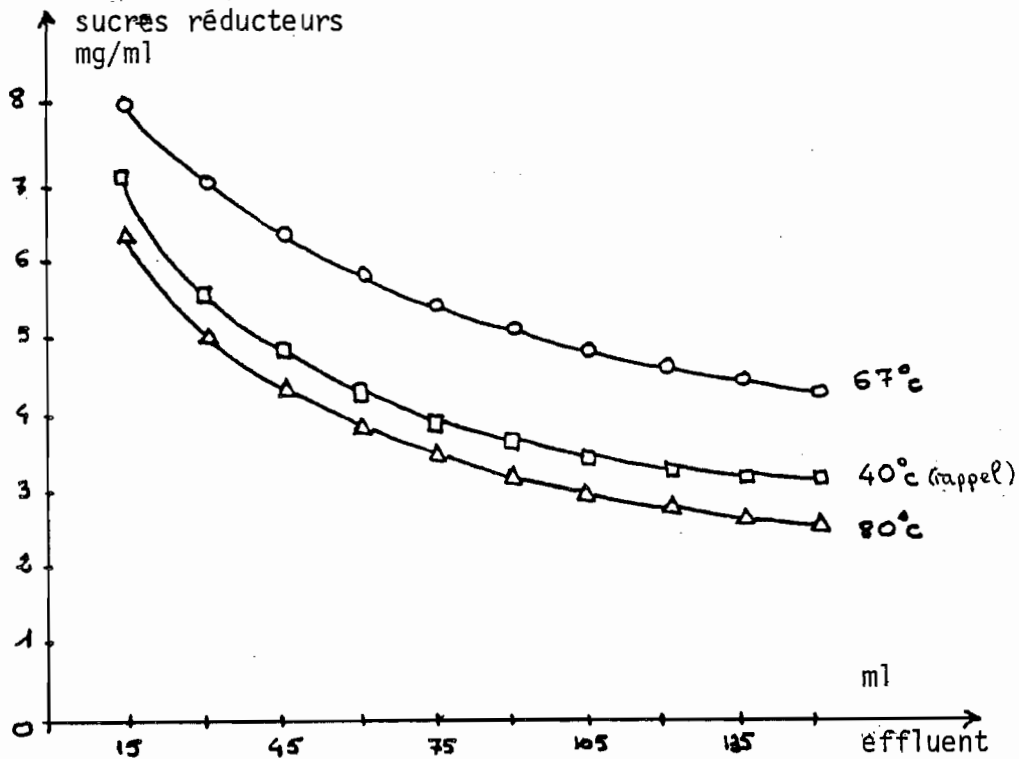


Figure N° 88 : Influence de la température de réaction sur la formation des sucres réducteurs obtenus avec du Munkoyo traité au glutaraldehyde.

Ces résultats montrent que c'est à 67° C que l'on obtient les concentrations en sucres réducteurs les plus élevés. A 80° C, on assiste à un entraînement plus important des protéines, mais qui est compensé en partie par une activation des  $\alpha$  amylases du Munkoyo.

#### 3.4.5.2. Inclusion dans un gel de carraghénanes

Pour tenter d'améliorer les résultats obtenus précédemment sur le malt, nous avons entrepris des essais d'inclusion de la mouture grossière du malt dans un gel de kappa carraghénanes et de gelatine, avant traitement au glutaraldehyde.

Nous avons utilisé cette méthode préconisée par TAKATA et al (1977) comme support de fixation pour Streptomyces phaeochromagenes. Dans ces conditions, ces auteurs ont réussi à maintenir en vie ces cellules pendant 150 jours et à préserver ainsi leur activité glucose isomérase qui se trouvait immobilisée.

Les résultats obtenus sur le malt en termes de protéines retenues à différentes températures sont présentés sur la figure suivante.

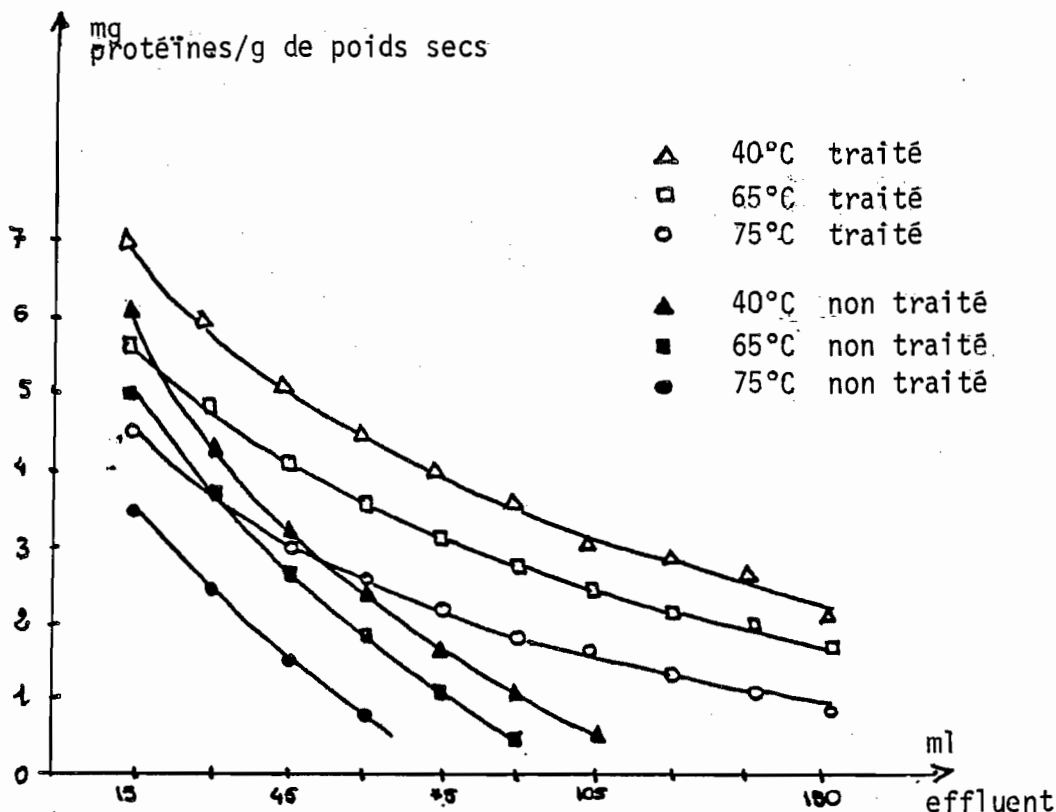


Figure N° 89 : Evolution de la teneur en protéines dans le réacteur pour les farines grossières de malt traitées ou non traitées au glutaraldehyde sur support de carraghénanes + gélatine (en fonction de la température).

Ces résultats bien que supérieurs à ceux obtenus avec un traitement direct au glutaraldehyde, n'ont pas répondu à notre attente. Aussi, nous sommes-nous tournés vers une technique de fixation covalente.

#### 3.4.5.3. Traitement par le mélange épichlorhydrine-glutaraldehyde.

Nous avons pensé en effet que l'épichlorhydrine déjà utilisée pour la fixation des tannins pouvait contribuer à la fixation des protéines sur les structures polysaccharidiques du malt.

Ce traitement tend à retenir efficacement les protéines sur leur support polysaccharidique.

Les résultats obtenus sont repris ci-après pour la teneur en protéines (figure 90) et pour la production en sucres réducteurs (figure 91) qui se trouvent accrues. De plus, la durée d'utilisation de la préparation enzymatique se trouve être considérablement prolongée.

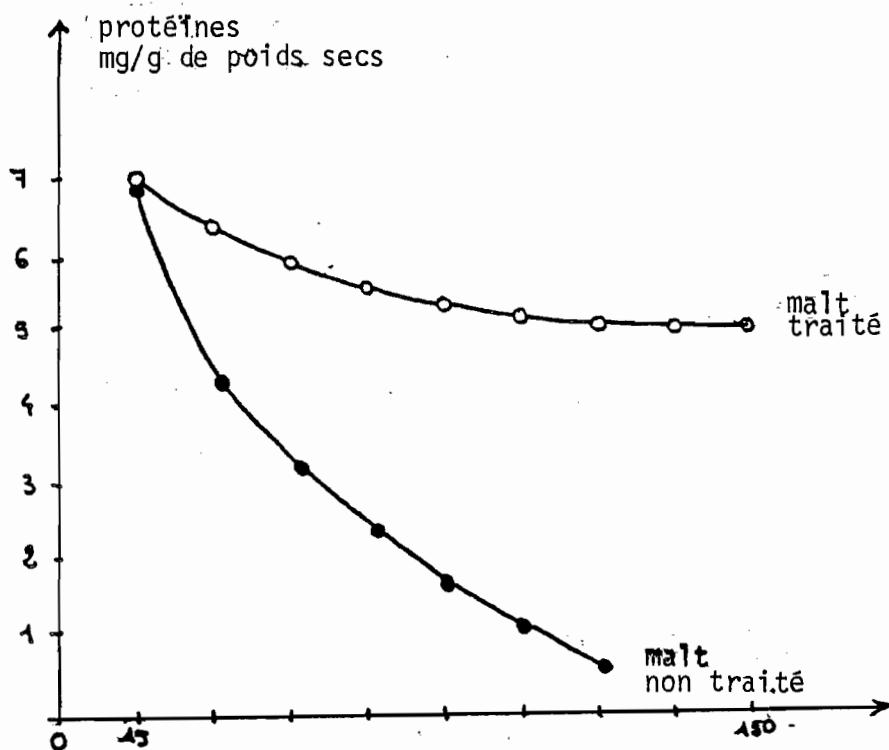


Figure N° 90 : Evolution de la teneur en protéines dans le réacteur pour le malt traité et non traité au mélange épichlorhydrine-glutaraldehyde.

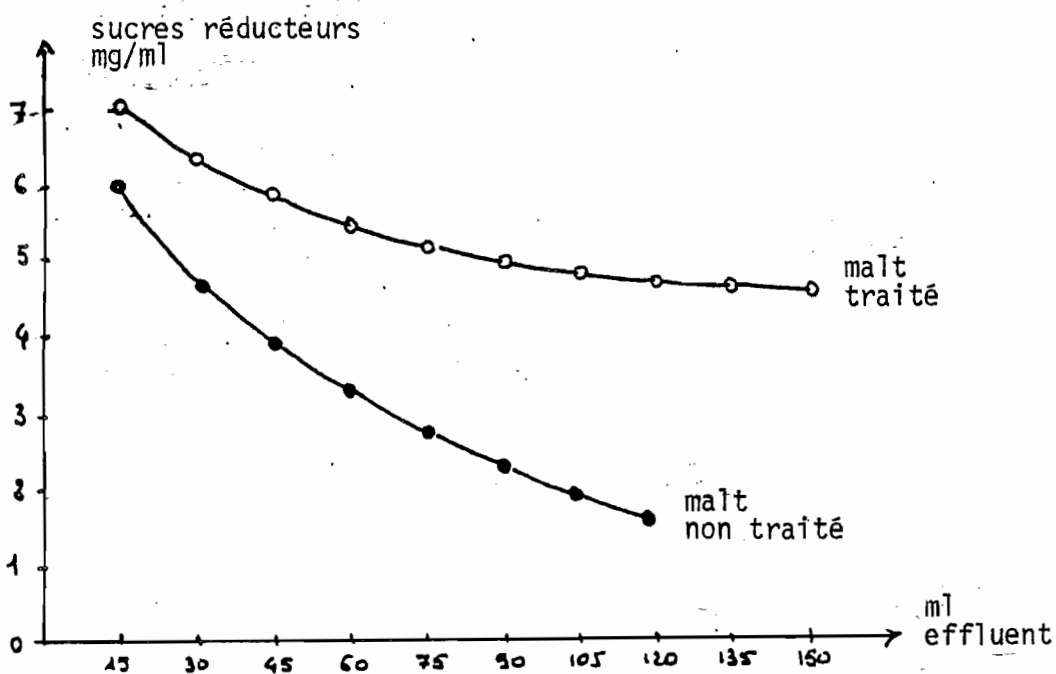


Figure N° 91 : Evolution de la teneur en eau en sucres réducteurs de l'effluent pour le malt traité et non traité au mélange épichlorhydrine-glutaraldehyde.



Cette préparation est également intéressante pour le Munkoyo. On assiste à une bonne stabilisation du rendement en sucres réducteurs. Après passage de 200 ml de substrat (amidon soluble à 20 g/l) la concentration en sucres réducteurs dans l'effluent se maintient au voisinage de 3 mg de sucre/ml.

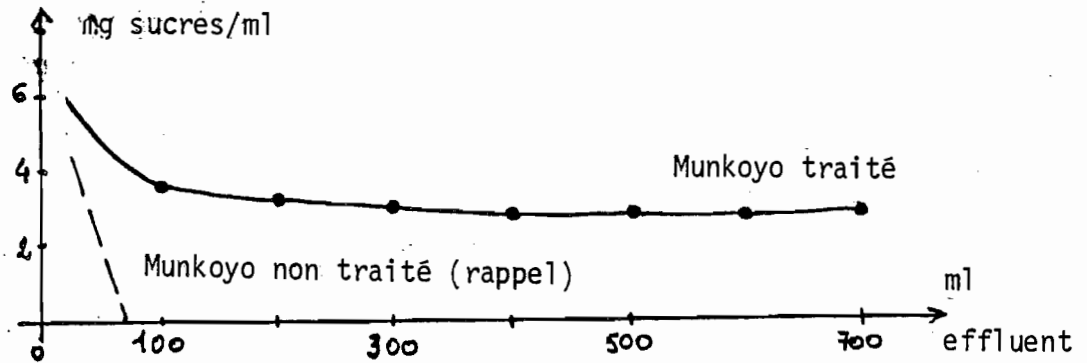


Figure N° 92 : Evolution de la teneur en sucres réducteurs de l'effluent à la sortie du réacteur pour le Munkoyo traité au mélange épichlorhydrine-glutaraldéhyde.

Toutefois, le taux de transformation du substrat reste faible ce qui laisse à penser que l'affinité du système enzymatique est faible pour l'amidon soluble.

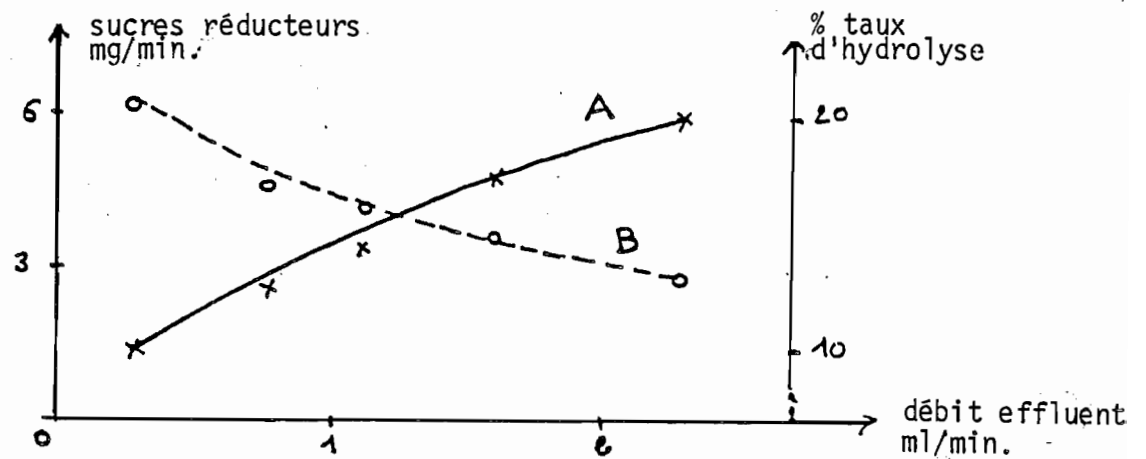


Figure N° 93 : Evolution en fonction du débit de la quantité de sucres réducteurs formés par minutes (A) et du taux d'hydrolyse de l'amidon (B).

Nous avons calculé ces constantes d'affinité apparentes pour les systèmes enzymatiques du Munkoyo traité sur l'amidon soluble. Elles sont de 49 g/l pour un débit de 0,75 ml d'effluent et de 86 g/l pour un débit de 2,25 ml/mn.

Par ailleurs, la variation de la température de 40 à 70° C montre que la production de sucres réducteurs diminue très vite au dessus de 60° C.

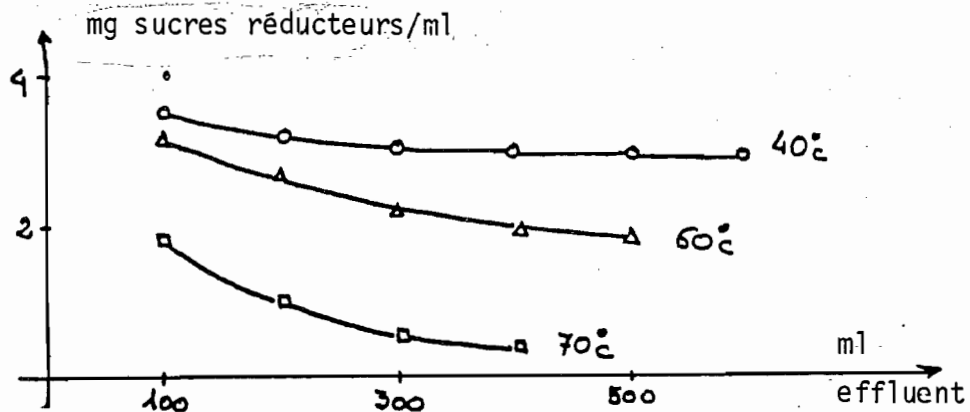


Figure N° 94 : Evolution de la teneur en sucres réducteurs formés en fonction de la température - cas du Munkoyo traité au mélange épichlorydrine-glutaraldehyde.

Or, nous avons vérifié que cette diminution d'activité n'était pas corrélée avec une perte plus importante en protéines. Nous avons donc pensé qu'il pouvait y avoir dénaturation du système enzymatique par le traitement au mélange épichlorydrine-glutaraldehyde. Plus particulièrement, nous avons pensé que seules les  $\beta$  amylases étaient encore actives dans le Munkoyo immobilisé par ce traitement et étaient dénaturées au dessus de 60° C.

Pour confirmer notre hypothèse, un dosage par HPLC des sucres réducteurs formés par le Munkoyo immobilisé de cette façon a montré que seul le maltose était présent. Par contre dans le cas de malt immobilisé avec cette technique, le dosage HPLC des sucres met en évidence dans l'effluent du maltose, du maltotriose et du glucose.

On est donc tenté d'affirmer que le mélange épichlorydrine-glutaraldehyde est moins dénaturant pour le malt que pour le Munkoyo.

Nous avons conduit une expérience complémentaire par inhibition des  $\alpha$  et  $\beta$  amylases du Munkoyo. L'EDTA est connu pour inhiber les activités  $\alpha$  amylasiques. Or, notre réacteur traité par une solution d'EDTA 0,007 M n'enregistre aucune variation de productivité. En revanche, un traitement par la N-éthylmaléimide 0,01 M, complexant connu pour bloquer les groupements -SH et donc inhiber les  $\beta$  amylases provoque une diminution importante de la quantité de sucres réducteurs entraînés dans l'effluent. On confirme ainsi que le traitement à l'épichlorydrine -glutaraldehyde est dénaturant pour la  $\beta$  amylase du Munkoyo.

#### 3.4.5.4. Encapsulation

Nous avons tenté d'encapsuler les systèmes enzymatiques du malt et du Munkoyo dans des capsules de gelatines (3 mm x 8 mm). Une fois remplies, les capsules sont traitées au glutaraldehyde (3%) pendant une heure et testées pour transformer une solution d'amidon à 10 g/l.

Comme on pouvait s'y attendre, le rendement d'hydrolyse de l'amidon est faible. Les enzymes diffusent difficilement.

Néanmoins, nous pensons qu'une amélioration de la porosité des capsules devrait permettre d'accroître les rendements actuels pour déboucher sur une productivité voisine de celles obtenues grâce aux traitements précédents. De nouveaux travaux sur l'immobilisation du malt et du Munkoyo seraient à reprendre.

#### 3.4.5.5. Conclusion

Les études comparatives entre systèmes enzymatiques du malt et du Munkoyo qui ont mis en évidence une grande similitude d'activité entre une céréale et une racine de papilionacée nous ont incité à tenter leur immobilisation sur leur support naturel.

Une recherche complémentaire sur l'immobilisation des amylases de malt extraites et purifiées serait à entreprendre en fixant ces amylases sur cellulose modifiée (DEAE et/ou CMC cellulose),

Il conviendrait d'évaluer l'intérêt d'un tel traitement par rapport à l'utilisation des amylases fixées naturellement sur les fibres du Munkoyo et dont l'immobilisation est nettement améliorée avec un traitement simple comme l'adjonction de glutaraldehyde. Dès lors, la finalité de cette recherche pourrait conduire à envisager des applications industrielles du Munkoyo en mettant en oeuvre des traitements de fixation complémentaires plus performants sans pour autant avoir recours à une extraction et une purification préalables des amylases.



## CONCLUSION



## CONCLUSION

Nous arrivons au terme de cette contribution qui s'inscrit dans l'immense champ d'investigation que représente la recherche d'une amélioration de la situation de dépendance que les pays du Sud subissent face à ceux du Nord.

Le lecteur attentif aura peut-être perçu les nouveaux équilibres qui sont proposés à notre réflexion dans la première partie de ce travail. Nous y avons souligné les erreurs commises en termes de développement par la mise en oeuvre d'une politique d'industrialisation dans laquelle la finalité sociale n'était pas prioritaire.

Cette contribution nous amène donc à modifier profondément le regard que nous avons appris à porter sur les capacités techniques des pays du Tiers-Monde et à reconnaître les avantages relatifs de la culture technologique ancestrale, face à la modernité et aux progrès calqués sur le monde industriel occidental.

Nous avons insisté sur la nécessité de connaître et de reconnaître la place des technologies autochtones dans le développement des sociétés qui les ont créées. Nous avons montré qu'il existe des alternatives technologiques, nous avons suggéré des améliorations possibles, nous avons évoqué les retombées scientifiques à en attendre.

A cet égard, nous avons développé des travaux sur deux types d'alternatives à la saccharification enzymatique des amylicés tropicaux :

- le maltage des céréales tropicales, techniquement possible en se référant aux acquis de l'industrie de la malterie conventionnelle, mais qui exige un travail de sélection variétale prenant en compte des critères technologiques d'aptitude au maltage. Une première retombée de notre contribution est la mise en oeuvre d'un programme de sélection des sorghos rouges au BURKINA-FASO.

- l'utilisation d'enzyme végétale non conventionnelle, présente dans les racines d'une papilionacée tropicale, le Munkoyo. Les travaux entrepris sur cette racine ont laissé entrevoir les possibilités d'utilisation d'enzymes immobilisées naturellement.

Les recherches d'adaptations des diagrammes de brassage d'amylicés tropicaux utilisant les principes enzymatiques des deux sources étudiées ont permis de montrer la similitude d'action amylolytique des céréales maltées et des fibres de Munkoyo.

Nous avons volontairement limité notre recherche d'alternative à l'obtention de jus sucré sans aller jusqu'au stade de la fermentation de ces jus. Toutefois, dans cette conclusion, il faut bien reconnaître que l'un des débouchés possibles de l'alternative technologique proposée concerne la préparation des boissons fermentées.

Or, on ne peut pas parler du mal développement de nombreux pays du Tiers-Monde, en Afrique tout particulièrement, sans aborder l'industrie de la bière.

Cette activité florissante, signe de "modernité" pourrait être un facteur de développement. Elle cache en fait une lutte acharnée entre les multinationales de la bière. Ces sociétés investissent pour accroître leur part du marché, mais ce faisant, elles maintiennent les pays dans lesquels elles s'implantent dans un état croissant de dépendance, aussi bien en termes de technologies, d'approvisionnement en matières premières et en biens d'équipement qu'en termes de capitaux. L'enjeu économique du développement est-il donc incompatible avec celui de la maîtrise des outils de production ?

Les dolotières du BURKINA-FASO par exemple, sont-elles vouées à la disparition pour raisons économiques ?

Si la concurrence que se livrent dolotières et brasseurs industriels apparaît favorable à la filière industrielle dans une analyse économique classique, c'est peut-être bien que les critères d'analyse économique utilisés veulent mettre en évidence cet intérêt.

Ne peut-on pas revoir ces critères d'analyse et mieux prendre en compte l'impact de la filière artisanale sur le pouvoir d'achat des populations concernées ?

Nous voudrions pour conclure notre recherche d'alternative montrer que le nouvel équilibre technologique suggéré par notre contribution et qui fait ressortir des intérêts micro-économiques, sociaux et culturels pour la filière artisanale peut aussi avoir un impact au niveau macro-économique.

Essayons d'analyser brièvement cet aspect en prenant l'exemple du DOLO au BURKINA-FASO qui a fait l'objet d'une étude particulièrement intéressante de TREILLON et GATTEGNO (1984).

Le DOLO, boisson autrefois réservée aux cérémonies rituelles est devenu aujourd'hui une consommation habituelle en ville. On la trouve en vente sur les places des marchés ou dans les "cabarets" attenant aux concessions des dolotières. Pour 50 F CFA, on vous propose unealebasse de 60 cl de DOLO. Cette boisson banalisée, dont la production annuelle représente près de 6 millions d'hectolitres continue à se développer, bien qu'elle rencontre de plus en plus la concurrence de la bière industrielle de type occidental fabriquée à partir de malt importé. La filière industrielle a connu un essor très important puisque ces cinq dernières années sa fabrication a triplé et atteint aujourd'hui une production annuelle de plus de 700 000 hectolitres fabriqués dans deux usines.

Certes, cette bière industrielle peut arguer, face au DOLO, d'une meilleure qualité hygiénique et représente un certain symbole de prestige social, mais sa production bénéficie surtout des aides étatiques diverses, en particulier les allègements fiscaux octroyés aux brasseries, qui permettent de fixer un prix à la consommation qui reste compatible avec le pouvoir d'achat des consommateurs urbains. Ce prix, qui a sans doute fortement contribué au développement de la filière est néanmoins nettement supérieur à celui du DOLO, avec la canette de 66 cl à 125 F CFA.



L'effet prix reste donc un élément d'explication au maintien de l'activité des dolotières ; mais l'analyse est incomplète. Essayons d'examiner les résultats au niveau national des activités de la filière artisanale et de la filière industrielle. En prenant un exemple de production annuelle de 500 000 Hl, l'étude précitée fait ressortir une valeur ajoutée nationale de  $62,5 \cdot 10^8$  F CFA pour la filière industrielle soit 1,6 fois plus que la filière artisanale. Elle nécessite toutefois des transferts à l'étranger qui la pénalise lourdement. L'étude de la répartition de cette valeur ajoutée nationale met en évidence la disparité des enjeux sociaux suivant qu'il s'agisse de l'industrie ou de l'artisanat.

En poursuivant l'analyse en termes d'impact sur le revenu des ménages et en acceptant le postulat "le DOLO est une bière", la différence de prix pratiquée à la vente entre le DOLO et la bière occidentale qui, ramenée à la même capacité de 66 cl, est de 80 F CFA, conduit à un manque à gagner pour les ménages achetant de la bière de  $60,5 \cdot 10^8$  F CFA. Inversement, c'est un avantage aux consommateurs de DOLO qui devrait être crédité à la valeur ajoutée nationale de la filière artisanale. Dès lors, inversant la tendance de l'analyse précédente, la filière DOLO représenterait une valeur ajoutée nationale 1,6 fois supérieure à celle de la filière bière industrielle.

Les résultats de cette analyse sont illustrés par la figure suivante.

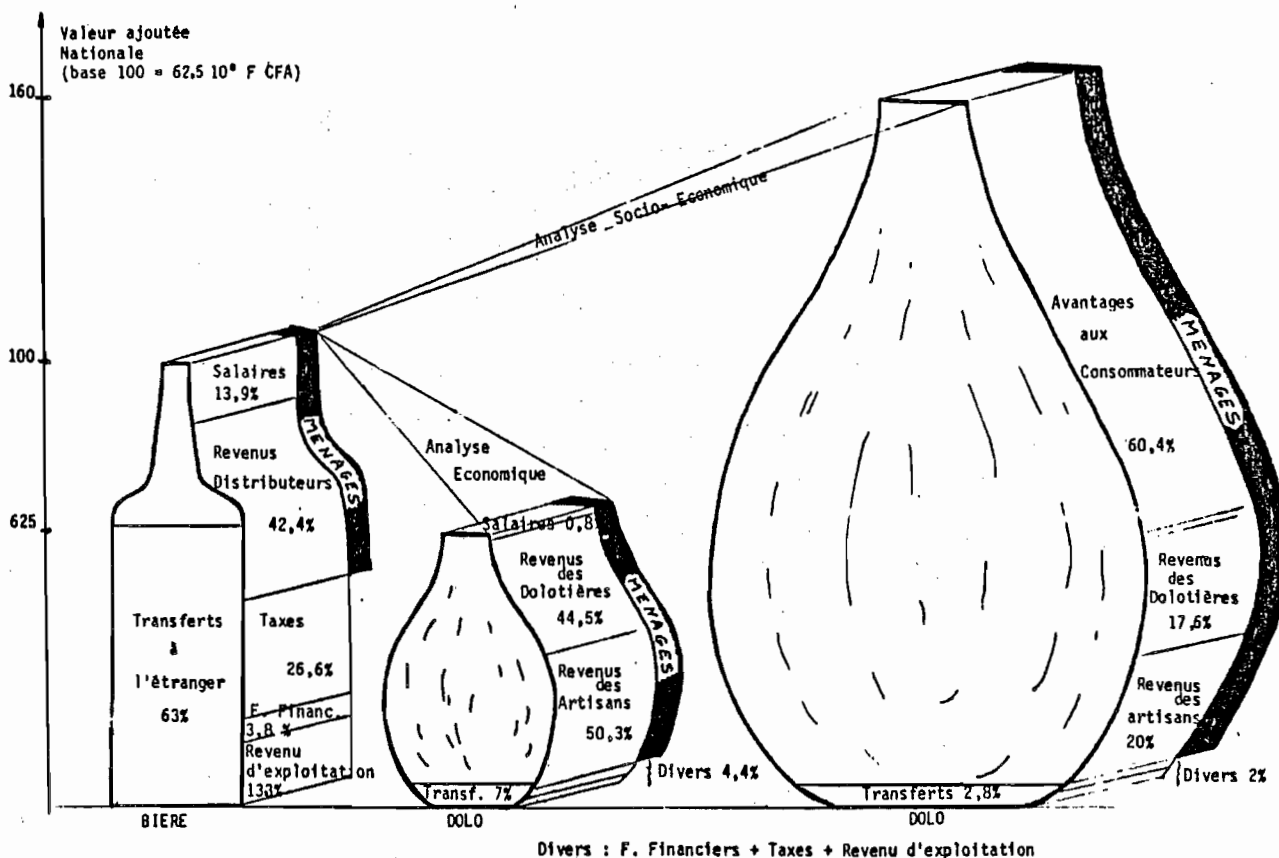


Figure N° 95 : Comparaison des valeurs ajoutées nationales des filières DOLO artisanal et bière industrielle.

Au travers de cette approche économique, qui mériterait sans doute d'être affinée, car la prise en compte des avantages aux consommateurs pose réellement le problème de la substituabilité des produits concernés, nous avons voulu conforter notre affirmation selon laquelle c'est la fonction de socialisation d'une technologie qui détermine son appropriation.

En particulier, les technologies liées à la nourriture et aux boissons doivent tenir compte de la fonction "social". L'aliment est sans doute le fait social le plus important des sociétés où les mots pénuries, disettes ou famines sont des réalités quotidiennes. Dans ces sociétés, plus qu'ailleurs, le partage de l'aliment a une signification symbolique. Les interdits alimentaires, toujours présents, en sont des témoins qui en marquent l'importance.

Il est bien difficile pour des technologues de se prononcer sur l'origine de ces tabous qui se perd dans la nuit des temps, mais nous devons comprendre avant d'imposer une nouvelle technologie que l'intention qui préside à ces coutumes est d'ordre social. C'est par un long et subtil échange d'aliments, c'est par une lente transmission des technologies que les enfants apprennent des parents à se situer dans le groupe et par conséquent à connaître les valeurs sociales des aliments et des technologies qui y sont associées.

N'importe qui ne saurait manger ou boire n'importe quoi, préparé n'importe comment par n'importe qui.

Cette attitude parfois préjudiciable sur le plan technique, sur le plan économique ou même sur celui de la santé, correspond avant tout à une valeur sociale qui fait que le Sénégalais n'est pas prêt à abandonner son couscous de mil, ni le Rwandais sa bière de banane plantain. Les technologies mises en oeuvre pour obtenir ces aliments et ces boissons existent et sont ancrées elles aussi dans la vie sociale. Elle ne peuvent être ni balayées, ni reléguées aux oubliettes, ni remplacées sans provoquer un déséquilibre social absurde et dangereux. Puisse l'attitude, développée dans cette étude, qui vise à les faire évoluer dans le respect des valeurs sociales qu'elles incarnent, conduite à un nouvel équilibre économique, technique, scientifique et culturel. Certes, face à l'ampleur de ces voeux, notre contribution reste bien modeste, mais souvenons-nous du proverbe chinois

*"Il vaut mieux allumer une chandelle que maudire l'obscurité"*

# BIBLIOGRAPHIE



A.C.C.T. - STEG : 1982

- \* - Le Manioc, sa culture, sa transformation -  
Edition ACCT - PARIS

ADRIAENS (E.L.) ; LOZET (F.) : 1951

- \* - Contribution à l'étude des boissons fermentées indigènes au RWANDA -  
Bull. Agric. du CONGO-BELGE - Vol. XLII n° 4 ; 934-949.

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 - Vol. XLV n° 1 ; 1-26.

ADRIAN (J.) ; JACQUOT (R.) : 1964

- \* - Le Sorgho et les mils en alimentation humaine et animale -  
Edition VIGOT - PARIS -

AISIEN (A.O) : 1982

- \* - Enzymic modification of sorghum endosperm during seedling growth  
and malting -  
J. Sci. Food Agric. (33) 754-759.

ALBERTO (J.) : 1958

- \* - A mandioca, sues derivades, preparos e usos -  
Gaz. Agric. Angola (3) 128-131.

ALEXANDER (P.) ; BLOCK (B.S.) : 1960

- \* - A laboratory manual of analytical methods of protein chemistry -  
Vol. I page 57; - Edition PERGAMON PRESS - LONDON -

ASHA (P.A.L.) ; WAGLE (D.S.) ; SHEORAIN (V.S.) : 1976

- \* - Effect of germination temperature on amylolytic and proteolytic  
activities of Bajra and Barley during germination -  
J. of Food Sci. and Techn. (13) 253-254.

AUCAMP (M.C.) ; GRIFF (J.T.) ; NOVELLIE (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) ; 449-456.

AXEN (R.) ; ERNBACK (S.) : 1971

\* - Eur. J. Biochem (18) 351-360. Cité par HEBERT et al : 1973  
Les enzymes immobilisées -

Bios (12) page 580.

BACK (T.M.) ; STARK (W.H.) ; SCALF (R.E.) : 1948

\* - Analyt. Chem. (20) 56. Cité par TIENDREBEOGO (1978) -

DEA - INPL - NANCY -

BANKS (W.) ; GREENWOOD (C.T.) : 1975

\* - Starch and its components -

Edition Edinburgh University Press ; EDINBURGH

BARWALD (G.) : 1971

Msch Brauerei 4 (24) 88-91 ; cité par HEBERT et al : 1973

\* - Les Enzymes immobilisées -

Bios (12) page 575.

BENDELOW (V.M.) : 1963

\* - Diastatic power. Total and  $\alpha$  amylase activities. Malt Application.

J. Inst. Brew (69) 467.

BENDER (H.) ; WALLENFELS (K.) : 1961

In biochem Z. (234) 79-95. Cité par MERCIER : 1982

\* - L'amidon et les enzymes en microchimie -

Ind. Alim. Agric. (99) n° 10

BERGERET (A.) : 1977

\* - Vers une plus large autonomie alimentaire du Tiers Monde -

Thèse Doctorat 3° cycle - Université de PARIS I -

BERNFELD (P.) ; VAN (L.) : 1963

Sciences (142) 678-679. Cité par HEBERT et al : 1973

\* - Les enzymes immobilisées -

Bios (12) page 580.

BERNIER (G.) : 1960

\* - L'aire de dispersion du genre *Eminia* Taub. (Munkoyo) et l'origine de son utilisation chez les bantus -

Bull. Acad. roy. de BELGIQUE - 5ème série (46) 8

BERNIER (G.) : 1961(a)

\* - Etude anatomique et histochimique des racines d'*Eminia* Taub.

Bull. Soc. Roy. Sciences LIEGE 30ème année (11-12) 489-495.

BERNIER (G.) : 1961(b)

\* - Les végétaux dans la vie quotidienne des populations rurales du Haut Katanga -

Revue de Botanique LEJEUNIA. Nouvelle Série n° 2 p 1-17.

BERNIER (G.) ; LAMBRECHTS (A.) : 1959

\* - Etude sur les boissons fermentées indigènes du Katanga -

Acad. Riy. des Sciences Colon. 8ème nouvelle série - Tome IX fasc. 7

BESSIS (S.) : 1979

\* - L'arme alimentaire -

Cahiers libres 357 - Edition MASPERO - PARIS -

BOTES (D.P.) ; JOUBERT (F.J.) ; NOVELLIE (L.) : 1967 (a)

\* - Purification and properties of sorghum malt  $\alpha$  amylase -

J. Sci. Food Agric. (18) 409-415.

BOTES (D.P.) ; JOUBERT (F.J.) ; NOVELLIE (L.) : 1967(b)

\* - Purification and properties of sorghum malt  $\beta$  amylase -

J. Sci. Food Agric. (18) 415-419.

BOUGOUMA (B.) : 1982

\* - La bière de sorgho -

In mémoire d'étudiant ENSIA-SIARC - Mission au BURKINA-FASO.

BOUILLENE-WALRAND (M.) ; BOUILLENE (R.) : 1959

\* - Sur l'isolement et les propriétés d'un nouveau complexe amylolytique puissant : l'Eminiasse ; extrait de *Eminia* Sp. -

Bull. Seances Acad. Roy. Sci. OUTRE-MER - Nouvelle Série n° 6 pages 1335-1355.

BRAND (D.D.) : 1943

\* - Tapioca from a Brazilian root -

Agriculture in the Americas - USDA (3) 93-96.

BRIGGS (D.E.) : 1963

- \* - Biochemistry of barley germination - Action of gibberellic acid on barley endosperm -

J. Inst. Brew. (69) 13-19.

BUTTON (A.H.) ; PALMER (M.) : 1974

J. Inst. Brew. 2 (80) 206-208. Cité par TIENDREBEOGO : 1978

DEA - INPL - NANCY -

CARROL (B.) VANDYK (J.W.) : 1952

- \* - The activity of  $\alpha$  amylase as determined by adsorption indicators -  
Sciences (116) N° 3007 pages 168-169

CHANDRASEKHER (G.) ; SURYAPRASAD (R.D.) ; THILLAISTHANAM (N.P.) : 1981

- \* - Natural plant enzyme inhibitors.  $\alpha$  amylase inhibitors in millets -  
J. Sci. Food Agric. (32) 9-16.

CHANG (T.M.) ; POZNANSKI (M.J.) : 1968

Nature (218) - 243 - Cité par HEBERT et al : 1973

- \* - Les enzymes immobilisées -  
Bios (12) page 580.

CHAPON (M.S.) : 1966

- \* - In travaux pratiques de chimie biologique -  
Faculté des sciences de NANCY.

CHAPUIS (C.) ; MONIN (J.) : 1983

- \* - La dormance de l'Orge -  
Bios (14) n° 6-7 - 74-79.

CHEFTEL (J.C.) ; CHEFTEL (H.) : 1984

- \* - Introduction à la Biochimie et à la Technologie des Aliments -  
Volume 1 page 134  
Edition Technique et Documentation LAVOISIER - PARIS -

CHEVASSUS-AGNES (S.) ; FAVIER (J.C.) ; JOSEPH (A.) : 1976

- \* - Technologie traditionnelle et valeur nutritive des bières de sorgho  
au CAMEROUN -  
Edition ORSTOM - PARIS-YAOUNDE -

CHUKWURA (E.N.) ; MULLER (H.G.) : 1982

- \* - Effect of tannic acid on a low tannin African sorghum variety in  
relation to carbohydrate and amylase -  
J. of Food Sci. (47) 1380-1381.

COOPER (J.M.) : 1963

- \* - Stimulants and narcotics -  
Cité in Handbook of south American Indians -  
Edition STEWARD - NEW-YORK - Pages 525-528.



DAIBER (H.K.) ; MELHERBE (L.) ; NOVELLIE (L.) : 1973

\* - Sorghum malting and brewing studies part 22 : the modification of sorghum malt -

Brauwissenschaft 7-8 (26) 220-248.

DAIBER (K.H.) : 1975

\* - Enzyme inhibition by polyphenols of sorghum grain and malt -

J. Sci Food Agric. (26) 1399-1411.

DAUSSANT (J.) : 1966 (a)

\* - Nouveaux résultats de recherches sur les analyses de l'orge -

Biotechnique n° 3 pages 2-25.

DAUSSANT (J.) : 1966 (b)(c)

\* - Etude des protéines solubles de l'orge et du malt par des méthodes immunochimiques -

Biotechnique n° 5 2-16.

Biotechnique n° 6 10-23.

DE CLERCK (J.) : 1962

\* - Cours de Brasserie -

Université de LOUVAIN

Institut Agronomique - Section Brasserie - Tome 1 et 2

Edition HEVERLEE - LOUVAIN - BELGIQUE

DE CLERCK (J.) : 1971

\* - Etude du Manioc comme grain cru au brassage -

Pet. J. du Brasseur (79) 480-481

DEKKER (M.) ; STEINKRAUS (K.T.) : 1983

\* - Handbook of indigenous fermented foods -

Edition Marcel DEKKER Inc. NEW-YORK -

DELPEUCH (F.) ; FAVIER (J.C.) ; CHARBONNIERE (R.) : 1979

\* - Caractéristiques des amidons de plantes alimentaires tropicales. Composition chimique -

Ann. Technol. Agric. (28) 809-826.

DELPEUCH (F.) ; FAVIER (J.C.) : 1980

\* - Caractéristiques des amidons de plantes alimentaires tropicales. Action de l'alpha amylase, gonflement et solubilité -

Ann. Technol. Agric. (29) n° 1 : 53-67.

DEVAUTOUR (H.) ; GRIFFON (D.) : 1985

\* - La conservation et la transformation alimentaire en AFRIQUE. Alternatives technologiques et emploi in l'Emploi en AFRIQUE -

Edition BIT-PECTA (à paraître) ADDIS-ABEBA -

DE WILDEMAN (E.) : 1903

\* - Documents pour l'étude de l'alimentation végétale de l'Indigène au  
CONGO - BELGE

Annales du Musée du CONGO - Série IV - fascicule 111 - pages 198-198 -  
BRUXELLES -

DINELLI (D.) : 1972

Process Biochem 99 (5) - 13. Cité par HEBERT et al : 1973

\* - Les enzymes immobilisées -

Bioch (12) page 576

DIOP CHEIK (A.) : 1979

\* - Nations Nègres et culture -

Présence Africaine 3<sup>e</sup> édition page 60.

DOS SANTOS (E.) : 1982

\* - Analyse du système de production familial du Manioc dans le Nord  
Est du BRESIL -

Travaux d'étudiant. IAM - MONTPELLIER

DUPRAT (F.) ; GALLANT (A.) ; GUILBOT (A.) ; MERCIER (C.) ; ROBIN (J.P.) :  
1980

\* - L'amidon dans les polymères végétaux, polymères pariétaux et alimentaires  
non azotés -

Edition B. MONTIES - GAUTHIER - VILLARS.

LUMONT (R.) ; MOTTIN (M.F.) : 1981

\* - Le mal développement en AMERIQUE LATINE -

Edition du SEUIL - Collection "L'histoire Immédiate" - PARIS -

DYER (T.A.) ; NOVELLIE (L.) : 1966

\* - Kaffircorn malting and Brewing Studies XVI. the distribution and  
activity of  $\alpha$  and  $\beta$  amylases in germinating kaffircorn -

J. Sci. Food Agric. (17) 449-456.

EKUNDAYO (J.A.) : 1977

\* - Nigérian Pito -

In Symposium on indogenous fermented food. BANGKOK. Cité in Handbook  
of Indogenous fermented food

Edition DEKKER - NEW-YORK -

EYER (F.) ; URION (E.) : 1968

\* - La bière art et tradition -

Edition ISTRAS - Imprimerie Strasbourgeoise - STRASBOURG -

ENARI (T.M.) ; MIKOLA (J.) : 1961

\* - Fractionation of barley albumins by chromatography on DEAE cellulose -  
Proceeding Eur. Brew. Convention - 8th congress - AMSTERDAM - page 62

FAPARUSI (S.I.) : 1970

\* - Sugar changes during the preparation of Burukutu beer -  
J. Sci. Food Agric. (21) 79-81

FAVIER (J.C.) : 1969

\* - Etude de la digestibilité in vitro de l'amidon de diverses plantes  
alimentaires du Sud CAMEROUN. Influence des transformations techno-  
logiques sur l'amidon de Manioc -

Ind. Alim. Agric. (86) n° 1 9-13.

FAVIER (J.C.) : 1973

\* - Valeur alimentaire de deux aliments de base Africain. Le Manioc et  
le Sorgho.

Thèse Doctorat es-sciences - USTL - MONTPELLIER - 25 Juin 1973 -

FAVIER (J.C.) ; CHEVASSUS-AGNES (S.) ; GALLON (G.) : 1971

\* - La technologie traditionnelle du manioc au CAMEROUN. Influence sur  
la valeur nutritive -

Ann. de la Nut. et de l'Alim. (25) n° 1 1-59.

F.C.C.F. : 1979

\* - Manuel de technologies appropriées -

Fondation Canadienne contre la Faim.

Edition Brace research - Institute - OTTAWA -

FRENCH (D.) ; KNAPP (W.) : 1950

J. Biol. Chem. (187) 463 - Cité par MERCIER : 1982

\* - L'amidon et les enzymes en microchimie -

Ind. Alim. Agric. (99) n° 10

GATTEGNO (I.) ; MUCHNICK (J.) : 1983

\* - La fabrication du Dolo en HAUTE-VOLTA et l'économie de bois de feu -  
Rapport de mission ALTERSIAL - ENSIA MASSY -

GATTEGNO (I.) ; HEBERT (J.P.) ; GRIFFON (D.) : 1984

\* - Bière et Dolo -  
Texte Maison des Sciences de l'Homme. PARIS - 24 Janvier 1984

GRABAR (P.) ; DAUSSANT (J.) : 1964

\* - Study of barley and malt amylases by immunochemicals methods  
Cereâl Chem. (41) 523.

GRACE (M.R.) : 1978

\* - Traitement du Manioc -  
Collection production végétale et protection des plantes n° 3  
Edition FAO - ROME

GRAESSER (F.R.) ; DAX (P.J.) : 1946

Wallerstein Lab. Comm. (9) 43 . Cité par SCRIBAN (R.) : 1966

\* - Nouveaux résultats de recherches sur l'orge -  
Biotechnique n° 3 page 2.

GREENWOOD (C.T.) ; Mac GREGOR (A.W.) : 1965

J. Inst. Brew. (71) 405. Cité par DAUSSANT (J.) : 1966

\* - Nouveaux résultats de recherches sur l'orge -  
Biotechnique n° 3 page 2

GREIG (C.G.) : 1963

J. Inst. Brew. (69) 412. Cité par TIENDREBEOGO : 1978  
DEA - INPL - NANCY -

GRIFFON (D.) : 1973

\* - Projet de recherche sur les boissons fermentées de production  
artisanale au ZAIRE -  
Document CRIAC - LUBUMBASHI - ZAIRE

GRIFFON (D.) : 1974

\* - Rapport d'évolution de la recherche sur les boissons fermentées de  
production artisanale n° 1

Document CRIAC - LUBUMBASHI - ZAIRE

1975

\* - Rapport d'évolution n° 2 -

Document CRIAC - LUBUMBASHI - ZAIRE

GRIFFON (D.) : 1976

\* - Les boissons fermentées de production artisanale.

Revue Sciences Techniques Informations n° 7-8  
Edition I.R.S. - LUBUMBASHI - ZAIRE

GRIFFON (D.) : 1979

\* - Activités villageoises de conservation et de transformation des produits agricoles en COTE d'IVOIRE -

Rapport de mission BIT-PECTA - ADDIS-ABEBA

GRIFFON (D.) : 1980

\* - Pari sur une démarche appropriative. Difficultés de l'introduction de technologies intermédiaires et richesse d'une technologie traditionnelle ; témoignage sur la COTE d'IVOIRE et le ZAIRE -

In Nourrir autrement.

Edition Ministère de la Coopération, série technologie et développement.  
PARIS -

GRIFFON (D.) : 1981 (a)

\* - Technologies appropriées à la transformation des produits agricoles au ZAIRE -

Edition BIT-PECTA - ADDIS-ABEBA

GRIFFON (D.) : 1981 (b)

\* - Technologies appropriées à la transformation des produits agricoles au BURUNDI -

Edition BIT-PECTA - ADDIS-ABEBA

GRIFFON (D.) : 1981 (c)

\* - L'impact des technologies appropriées sur l'emploi au RWANDA -

Rapport sectoriel in le defi de l'emploi pour le RWANDA  
Edition BIT/PECTA - ADDIS ABEBA -

GRIFFON (D.) : 1983

\* - Savoir traditionnel et hydrolyse enzymatique du Manioc -

Texte Congrès FAO sur le Manioc - ABIDJAN - Novembre 1983 -

GRIFFON (D.) : 1984

\* - Les DOM : Relai technologique -

Rapport de Mission aux ANTILLES - GERDAT/CEEMAT - MONTPELLIER -

GRIFFON (D.) ; (MINA (C.) ; NGUBA (W.E.) ; TSHIBAKA (M.) : 1976

\* - Texte pour le dépôt d'un brevet sur les utilisations des enzymes du MUNKOYO -

IRS - LUBUMBASHI - KINSHASHA -

GRIFFON (D.) ; HEBERT (J.P.) ; NIKIEMA (K.) : 1979

\* - Alternatives technologiques pour l'hydrolyse enzymatique du Manioc -  
Déclaration d'Intention DGRST - PARIS -

GRIFFON (D.) ; DEVAUTOUR (H.) : 1982

\* - Technologies appropriées dans les industries de transformation  
alimentaires et de conservation des fruits. Etude sur 8 pays  
Africains -

Edition BIT-PECTA - ADDIS-ABEBA

GRIFFON (D.) ; HEBERT (J.P.) ; DUMAS (J.C.) ; BOUGOUMA (B.) ;

LECUYER (I.) : 1982

\* - Alternatives technologiques pour l'hydrolyse enzymatique du Manioc -  
Rapport de fin d'études DGRST - Décision n° : 80-7-0410 - PARIS -

GRIFFON (D.) ; GAUTHIER (P.) : 1984

\* - Industrialisation agro-alimentaire en PVD. Technologies appropriées  
et réduction d'échelle. Application à la transformation du Manioc -

Texte Salon du GIA - PARIS - Novembre 1984

GUILBOT (A.) : 1961

\* - Etat actuel de nos connaissances sur certains aspects de la physioco-  
chimie de l'amidon -

Ind. Agric. Alim. (78) - 205-218.

GUILBOT (A.) ; MERCIER (C.) : 1962

\* - Répercussions sur la digestibilité de l'amidon, des modifications de  
sa structure physico-chimique au cours de ses transformations techno-  
logiques. -

Ind. Agric. Alim. (79) 939-947.

GUNJA SMITH (Z.) ; MARSHALL (J.J.) ; MERCIER (C.) ; SMITH (E.E.) ;

WHELAND (W.J.) : 1970

Febs letters 2, (12) -101-105. Cité par MERCIER : 1982

\* - L'amidon et les enzymes en sucrochimies -

In Ind. Alim. Agric. (99) n° 10

HAMAN (L.) : 1954

\* - "Phaseoleae" -

In flore du CONGO-BELGE et du RWANDA - URUNDI - pages 253-257

Edition INEAC - Volume VI - BRUXELLES -

HARADA (T.) ; YOKOBAYASHI (K.) ; MIKASI (A.) : 1968

Applied Microbiol. 1439-1444. Cité par MERCIER : 1982

\* - L'amidon et les enzymes en sucrochimie -  
In Ind. Alim. Agric. (99) n° 10

HARKISHOR (K.M.) : 1977

\* - Kenyan sugar cane wine muratino -

Symposium on Indegenous fermented food. BANGKOK. Cité in handbook of indegenous  
fermented food.

Edition DEKKER - NEW-YORK -

HARRIS (G.) : 1962

Cité in Barley and malt.

Edition COOK-ACADEMIC PRESS - NEW-YORK -

HEBERT (J.P.) ; SCRIBAN (R.) : 1973

\* - Les enzymes immobilisées, leurs utilisation, rôle possible en brasserie -  
Bios (12) 574-580

HELL (B.) : 1983

\* - L'homme et la Bière -

Edition J.P. GYSS - STRASBOURG -

HODJE (J.E.) : 1958

\* - Hydrolysis of the amylopectins from various starches with beta-  
amylase -

Cereal Chemistry (25) n° 1 19-30

HODJE (J.E.) ; HOEREITER (B.T.) : 1962

\* Methods in carbohydrates chemistry -

Page 386 - Cité par TIENDREBEOGO : 1978

DEA - INPL - NANCY -

HOBSON(P.N.) ; WHELAN (W.J.) ; PEAT (S.) : 1951

J. Chem. Soc. LONDON - 1451. Cité par MERCIER : 1982

\* - L'amidon et les enzymes en sucrochimie -

In Ind. Alim. Agric. (99) n° 10

HONOLD (G.R.) ; HOBBS (W.E.) : 1974

Journal of chromatographie (90) 345-349

HOPKINS (R.H.) ; HIND (L.) ; DAY (F.E.) : 1934

J. Inst. Brew. (40) 445. Cité par SCRIBAN (R.) : 1966

\* - Les amylases au maltage -

Biotechnique (3) page 24

HORN (P.J.) ; SCHWARTZ (H.M.) : 1961

\* - Kaffircorn malting and brewing studies - IX - Amino-acid composition of kaffircorn grain and malt -

J. Sci. Food Agric. (12) 457-459

HUART (P.) ; LECLANT (J.) : 1972

\* - Problèmes archéologiques entre le Nil et le Sahara -

In etudes Scientifiques - Edition I.H.S. - LE CAIRE -

JAIN (A.K.) ; DATE (W.B.) : 1975

\* - Relative amylase activity of some malted cereals grains -

J. of food Sci. and Techn. (12) 131-137.

JEQUIER (N.) : 1982

\* - Technologies appropriées. Problèmes et promesses -

Edition OCDE - PARIS -

JONES (W.O.) : 1959

\* - In Manioc in AFRICA -

Edition Stanford University Press - STANFORD -

KATACHALSKI (E.) ; SILMAN (I.H.) : 1960

Ann. Rev. Biochem. (35) 873-908. Cité par TSHIBAKA : 1979.

Thèse INPL - NANCY -

KATAJIMA (M.) ; MIYANO (S.) ; KONDO (A.) : 1969

Chem. Abstract. (70) 26. Cité par HEBERT et al : 1973

\* - Les enzymes immobilisées -

Bios (12) page 580.

KETITU (A.O.) ; OGUNMODEDE (B.K.) ; FALASE (A.O.) ; OMOLULU (A.) : 1977

\* - Chemical studies on some Nigerian carbonated and alcoholic beverages - Food Chemistry - Vol. 2 n° 4 - pages 273-277.

KHAN (A.) ; KOLTE (A.V.) ; SHIRALKAR (N.D.) : 1977

J. Food Sci. and Techn. (14) 275. Cité par NOVELLIE : 1977

\* - Beer from sorghum in South Africa -

Proceeding of the symposium on sorghum and millet.

Edition Trop. Product. Institute - LONDON -

KIRSOP (B.H.) : 1953

\* - Rapid method of estimating the activity of  $\beta$  amylase in barley extracts -

J. Inst. Brew. (59) n° 5 , 378-381.



KLOPPER (W.J.) : 1969

Bull. Anc. LOUVAIN 2 (55) 57-67. Cité par NIELSEN : 1971

\* - Brewing with barley - a review. In proceeding of the 13th congress of European brewery convention - AMSTERDAM -

KLOPPER (W.J.) ; DON (J.R.) : 1961

Brawelt 101 (38) 786. Cité par SCRIBAN (R.) : 1966

\* - Les amylases au maltage -  
Biotechnologie n° 33 page 21

KNEEN (E.) : 1944-1945

Cereal chem. (21) 304 et cereal chem. (22) 112. Cité par NOVELLIE (L) : 1959. In

\* - Kaffircorn malting et brewing studies -

KNEEN (E.) ; SANDTEDT (R.M.) : 1941

Cereal Chem. (18)237. Cité par NOVELLIE (L).: 1959 In

\* - Kafficorn malting and brewing studies -

KNEEN (E.) ; MILLER (B.S.) ; SANDTEDT (R.M.) : 1942

Cereal Chem. (19) 11. Cité par NOVELLIE (L) : 1959 In

\* - kaffircorn malting and brewing studies -

KNEEN (E.) ; SPOERL (J.M.) : 1948

Proceeding Amer. Soc. Brew. Chem. (20). Cité par TIENDREBEOGO : 1978  
DEA - INPL - NANCY -

KUMADA (J.) : 1975

Brauwissenchaff (20) 125-185. Cité par TIENDREBEOGO : 1978  
DEA - INPL - NANCY -

LABERGE (D.E.) ; MEREDITH (W.O.S.) : 1968

In J. Inst. Brew. (75) 19. Cité Par TIENDREBEOGO : 1981  
Thèse INPL - NANCY -

LANCASTER (P.A.) ; INGRAM (J.S.) ; LIM (M.Y.) ; COURSEY (D.G.) : 1982

\* - Traditional cassava-based foods. Survey of processing techniques -  
Economic Botany (36) n° 1 12-45.

LEBESQUE (Y.) ; DUBREUIL (P.) : 1983

\* - Cellules Immobilisées -  
Biosciences Vol. 2 (7) 107-113.

LECOINTE (P.) : 1922

\* - La culture et la préparation du Manioc en AMAZONIE -  
Revue Botanique Appli. Agric. Colon. (2) 331-337.

LE DEUNFF (Y.) : 1983

\* - Mise en évidence de l'influence bénéfique de l'alcool ethylique en solution aqueuse sur la levée de dormance des orges -

C.R. Acad. Sc. - PARIS - Série III (296) 433-436.

LE DEUNFF (Y.) ; DARIO (J.P.) ; ESPEJEL (D.) : 1984

\* - Influence de quelques composés chimiques sur la levée de dormance de l'orge de brasserie -

Bios (15) n° 1-2 ; 31-36.

LENOIR (C.) ; CORBINEAU (F.) ; COME (D.) : 1983 (a)

\* - Principales caractéristiques de la dormance de l'orge de brasserie -

Bios (14) n° 4 24-29.

LENOIR (C.) ; CORBINEAU (F.) ; COME (D.) : 1983 (b)

\* - Recherches sur les mécanismes de la dormance de l'orge et de son élimination -

Bios (14) n° 10 27-34

LESTRANG (de) (M.T.) : 1981

\* - La consommation de la bière de mil à ETYOLO, village Bassari du SENEGAL Oriental -

In Objets et Mondes - Revue du Musée de l'Homme - Tome 21 Fasc. 3.

LILLY (M.D.) ; HORNBY (W.E.) ; CROOK (E.M.) : 1966

Biochem. J. (100) 718-723. Cité par HEBERT et al : 1973

\* - Les enzymes immobilisées -

Bios (12) page 580.

LINEBACK (D.R.) ; POMPIPOM (S.) : 1977

\* - Effects of germination of wheat, oats and pearl millet on alpha-amylase activity and starch degradation -

Die Stärke (39) n° 2 52-60

LINKO (M.) ; EKLUND (E.) ; ENARI (T.M.) : 1965

\* - Use of unmalted barley in brewing. Proceeding of the 10th congress of the European Brewery Convention - STOCKHOLM - pages 105-120.

LOVELACE (C.E.A.) : 1977

\* - Estimation of nutrient content of two ferment beverage from ZAMBIA Opaque maize beer and Munkoyo -

Symposium on indogenous fermented foods. BANGKOK. Cité in Hanbbok of Indegenous fermented foods.

Edition DEKKER - NEW-YORK -

LOWRY (M.T.) ; ROBBINS (G.S.) ; OLSON (W.J.) ; DICKSON (A.D.) : 1952

Proceeding of the European Brewery Convention (21) 457.

Mac GREGOR (A.W.) : 1978

J. Am. Soc. Brew. Chem. 1(36) 1-50.

MALASSI S (L.) : 1979

\* - Economie agro-alimentaire - tome 1 . Economie de la consommation  
et de la production agro-alimentaire -  
Edition CUSAS - PARIS -

MANECKE (D.J.) : 1962

In enzyme Engineering - Pages 185-187  
Edition WILEY Interscience

MANNERS (D.J.) ; MARSHALL (J.J.) : 1969

J. Inst. of Brewing (75) 550.

MARQUIS (F.X.) : 1979

\* - Transformation et consommation du Manioc en AFRIQUE \_  
Coll. Travaux d'étudiant n° 14 ENSIA-MASSY.

MBUGUA (S.K.) : 1977

\* - Munkoyo consumption survey in ZAMBIAN towns and cities -  
Symposium on indigenous fermented food - BANGKOK - Cité in handbook of  
indigenous fermented food.  
Edition DEKKER - NEW-YORK

MERCIER (C.) : 1968

\* - Contribution à l'étude de la structure du grain d'amidon au moyen  
de méthodes physiques et enzymatiques -  
Thèse de Doctorat Es-Sciences - Faculté des Sciences PARIS -

MERCIER (C.) : 1982

\* - L'amidon et les enzymes en sucrochimie -  
Ind. Alim. Agric. (99) n° 10 - 787-796

MERCIER (C.) ; FRANTZ (M.) ; WHELAND (W.J.) : 1972

Eur. J. Biochem. (26) 1-19. Cité par MERCIER : 1982  
\* - L'amidon et les enzymes en sucrochimie -  
Ind. Alim. Agric. (99) n) 10.

MEREDITH (W.O.S.) : 1965

\* - Combined action of  $\alpha$  and  $\beta$  amylases in saccharification -  
Proceeding of the A.S.B.C. (5) 10

MEREDITH (W.O.S.) ; BASS (E.J.) : 1955

Cereal Chem. (32) 374. Cité par TIENDREBEOGO : 1978  
DEA - INPL - NANCY -

METRAUX (A.) : 1963

\* - The Tupinamba. Tribes of Eastern Bolivia and the madeira headwaters -  
Cité in handbook of South American Indians.  
Edition STEWARD - NEW-YORK -

MOLL (M.) : 1979

- \* - Analysis and composition of barley and malt -  
Brewing Science - Vol. I pages 29-43  
Edition POLLOCK

MONTALDO (A.) : 1979

- \* - La Yuca o mandioca -  
Inst. Interamer. Cienc. Agric. SAN-JOSE - COSTA-RICA -

MONTET (P.) : 1946

- \* - La vie quotidienne en EGYPTE au temps de Ramses -  
Edition HACHETTE - PARIS -

MORCOS (S.R.) ; HEGAZI (S.M.) ; EL-DAMHOUGY (S.T.) : 1973

- \* - Fermented foods of common use in EGYPT. The chemical composition  
of bouza and its ingredients.  
J. Sci. Food Agric. (24) 1157-1162.

MORCOS (S.R.) : 1977

- \* - Egyptian Bouza -  
Symposium on indigenous fermented food. BANGKOK - Cité in Handbook  
of indigenous fermented food.  
Edition DEKKER N-Y.

MUCHNICK (J.) ; VINCK (D.) : 1984

- \* - Technologies autochtones de transformation du Manioc -  
Edition PUF - techniques Vivantes - PARIS -

MUNYANGANIZI (B.) : 1982

- \* - Etude de l'extraction et de l'activité de la Munkoyase - Amylase  
du Munkoyo (Eminia Taub) -  
Ind. Alim. Agric. (99) n° 9 , 719)721

NAGO (K.M.) : 1982

- \* - Programme de recherche et d'amélioration des technologies autochtones -  
Document Université Nationale du BENIN - COTONOU -

NELSON (V.M.) ; GRIFFIN (F.G.) : 1916

- J. Amer. Chem. Soc. (38) 1109. Cité par HEBERT et al : 1973
- \* - Les enzymes immobilisées -  
Bios (12) page 57

NIELSEN (E.B.) : 1971

- \* - Brewing with barley and enzymes -  
A review.  
Proceedings of the 13th congress of the European Brewery convention.  
ESTORIL - Pages 149-170.

NIRMALA (N.) ; KRISHNAPPA (K.G.) ; GHOSH (K.G.) ; SHARMA (T.R.) : 1977

\* - Minimising dry matter loss in malting of sorghum and maize.-

J. of Food Sci. and Techn. (14) 275-277.

NOETLING (G.) ; BERNFLED (P.) : 1948

Helv. Chim. Acta (31) p. 286

Cité par BENDELOW : 1963 - J. Inst. of Brew (69) 467-472.

NORRIS (R.V.) ; VISWANATH (B.) : 1923

Agric. J. India (18) 362. Cité par NOVELLIE (L) in Kaffircorn malting and brewing studies.

NOVELLIE (L.) : 1956

\* - Kaffircorn malting and brewing studies. II The Kaffircorn - Diastatic units -

J. Sci. Food Agric. (7) 105-109 NOVELLIE (L) : 1959

NOVELLIE (L.) : 1959

\* - Kaffircorn malting and brewing studies III - Determination of amylases in Kaffircorn malt. -

J. Sci. Food Agric. (10) 441-449.

NOVELLIE (L.) : 1960(a)

\* - Kaffircorn malting and brewing studies IV - The extraction and nature of the insoluble amylases of kaffircorn malts -

J. Sci. food Agric. (11) 408-421.

NOVELLIE (L.) : 1960(b)

\* - Kaffircorn malting and brewing studies V - Occurrence of  $\beta$  amylase in kaffircorn malts.

J. Sci. food Agric. (11) 457-471.

NOVELLIE (L.) : 1962(a)

\* - Kaffircorn malting and brewing studies XI - Effects of malting conditions on the diastatic power of kaffircorn malt.

J. Sci. food Agric. (13) 115-120

NOVELLIE (L.) : 1962 (b)

\* - Kaffircorn malting and brewing studies XII - Effect of malting conditions on malting losses and total amylase activity -

J. Sci. food Agric. (13) 121-124

NOVELLIE (L.) : 1962 (c)

\* - Kaffircorn malting and brewing studies XIII - Variation of diastatic power with variety, season, maturity and age of grain.

J. Sci. food Agric. (13) 124-126

NOVELLIE (L.) : 1963

- \* - Bantu beer : Food or beverage ?  
Food Industries in South Africa (16) 28

NOVELLIE (L.) : 1966 (a)

- \* - bantu beer : popular drink in south Africa.  
Inst. Brewer and Distiller (1) 27-31.

NOVELLIE (L.) : 1966 (b)

- \* - Kaffircorn malting and brewing studies XIV - Mashing with kaffircorn malt - Factors affecting sugar production -  
J. Sci. food Agric. (17) 354-361.

NOVELLIE (L.) : 1966 (c)

- \* - Biological ennoblement and kaffir beer.  
Food Technol. (20) 1607-1608

NOVELLIE (L.) : 1968

- \* - Kaffir beer brewing, ancient art and modern industry -  
Wallerstein Lab. Comm. (31) 17-29.

NOVELLIE (L.) : 1976

- \* - beverages from sorghum and millets -  
In symposium : Proc. Int. Assoc. for Cereal Chem. pages 73-77.

NOVELLIE (L.) : 1977

- \* - Beer from sorghum in south Africa -  
In proceeding of the symposium on sorghum and millets for human food  
pages 73-77 - Edition Tropical Product Institute - LONDON -

NOVELLIE (L.) ; SCHUTTE (R.H.) : 1961

- \* - Kaffircorn malting and brewing studies X - The susceptibility of sorghum starch to amylolysis -  
J. Sci. Agric. (12) 552-559.

NUNNIKUOVEN (R.) ; GREGOIRE (J.) : 1970

- \* - Dosage des sucres par chromatographie gazeuse -  
GIRDELOGRAMME n° 3 - SURESNES -

NUMMI (M.) ; VILHUNEN (R.) ; ENARI (T.M.) : 1965

- Proceedings of Eur. Brew. Conv. 10th Congress STOCKHOLM. Cité par  
DAUSSANT (J) : 1966
- \* - Nouveaux résultats de recherche sur les analyses de l'orge -  
Colloque de la Maule - Biotechnique (3) page 4.

O'DONOVAN ; NOVELLIE (L.) : 1966

- \* - Kaffircorn malting and brewing studies XV - Amino acid composition of kaffircorn grain and malt -  
J. Sci. Food Agric. (17) 457-459.

OSBORNE (T.B.) : 1895

The proteids of barley - J. Amer. Chem. Soc. (17) 539.

OSTERGAAD (J.) : 1982

\* - Enzymes in the carbohydrates industry  
Symposium International sur l'utilisation des enzymes en technologie  
Alimentaire - VERSAILLES - Mai 1982  
Edition LAVOISIER - Tec. et doc. - PARIS -

OTOLE (A.): 1959

\* - Les boissons fermentées de l'UBANGUI - CHARI -  
Liaisons BRAZZAVILLE (67) 34-42.

PEETERS (E.G.): 1971

\* - L'alimentation au cours des âges -  
In le Guide de la Diététique. Edition GERARD et C<sup>2</sup> - VERVIER - BELGIQUE -

PENNINGTON (C.W.): 1963

\* - The Tarahumar of Mexico -  
Univ. of UTAH PRESS - SALT lake City. Cité in Hanbook of indegenous  
fermented food - Edition DEKKER - NEW-YORK -

PENNINGTON (C.W.): 1969

\* - The tepehuan of Chihuahua -  
Univ. of UTAH PRESS - Salt lake City. Cité in Handbook of indegenous  
fermented food.  
Edition DEKKER - NEW-YORK -

PERISSE (J.); ADRIAN (J.); REBAT (A.); LE BERRE (S.) : 1956

\* - Etude in vivo et in vitro de la digestibilité du Manioc sous différentes  
formes -  
Ann. Nut. Alim. (10) n° 2 ; 13-21

PERISSE (J.); ADRIAN (J.); REBAT (A.); LE BERRE (S.) : 1959

\* - Bilan nutritif de la transformation du sorgho en bière au TOGO -  
Ann. Nut. Alim. (13) N° 1 , 1-15.

PERROUX (F.) : 1981

\* - Le sommet de Cancun. Une nouvelle chance malgré tout -  
Journal le Monde du 20 Octobre 1981 - PARIS -

PERTEN (H.) : 1964

\* - Application of the falling number method for evaluation of amylase  
activity -  
Cereal Chem. (41) 127-140

PFENINGER (G.B.); SCHUR (F.); WIEG (A.J.) : 1972

\* - Beer from maize -  
Proc. Eur. Brew. Conv. (13) 171 - ZURICH -

PILNIK (W.) : 1982

\* - enzymes in the beverage industry -

Symposium international sur l'utilisation des enzymes en technologie  
alimentaires - VERSAILLES - Mai 1982 -

Edition LAVOISIER - Tec. et Doc. - PARIS -

PLATT (B.S.) : 1955

\* - Some traditional alcoholic beverages and their importance in indigenous  
African communities -

Pro. Nut. Soc. (14) 115-124

PLATT (B.S.) : 1964

\* - Biological ennoblement : improvement of the nutritive value of foods  
and dietary regimens by biological agencies -

Food Techn. (18) 662-670

PLATT (B.S.) ; WEBB (R.A.) : 1946

\* - Fermentation and human nutrition -

Proc. Nut. Soc. (4) 131-140

PLATT (B.S.) ; WEBB (R.A.) : 1948

\* - Microbiological protein and human nutrition -

Chem. Ind. n° 7 - Fév. : 88-90

POLLOCK (J.R.A.) ; POOL (A.A.) : 1958

J. Inst. Brew. (64) 151. Cité par SCRIBAN (R.) : 1966 -

\* - Les amylases au maltage -

Biotechnique (3) page 19

POOT (A.) : 1954

\* - Le Munkoyo. Boisson des indigènes Bapende (Katanga) -

Bull. Sences Inst. Roy. Col. Belge. Vol. XXV - Pages 385-385

POULSEN et ZITTAN : 1976

\* - In method in enzymology -

Vol. 44 page 809 - Edition MOSBACH - Academic Press - NEW-YORK -

PREECE (I.A.) ; MACKENZIE (K.G.) : 1952

J. Inst. Brew. (58) 353 - Cité par TIENDREBEOGO : 1978

DEA - INPL - NANCY

RAJAGOPAL (M.V.) : 1977

\* - Production of beer from cassava -

J. Food Sci. (42) n° 2 Pages 532-533

RAUX (J.) : 1940

\* - The use of Manioc in brewing -

J. Inst. Brew. (46) 63

REYNVAAN (J.) : 1954

\* - Cassave produkten -

LANDBOUWNIEUWS (4) - 7. Cité in LANCASTER et al : 1982, in traditional  
cassava based fermented food. Economic Botany (36) n° 1 12-45.



REYNVAAN (J.) ; VOS (L.) : 1954

\* - Cassave produkten -

De Surinaamse Landbouw. (2) 202-208. Cité in LANCASTER et al : 1982,  
in traditional cassava fermented food. Economic Botany (36) n° 1 pages  
12-45.

ROLLIG (W.) : 1970

\* - Das bier im alten Mesopotamien - Gesellschaft für die Geschichte und  
das Branvesens -

E.V. Institut für GARUNGSGEWERBE und Biotechnologie - BERLIN -

ROBELO (A.C.) : 1948

\* - Dictionario de Aztequismes -

Cité in handbook of Indegenous fermented foods. Edition DEKKER - NEW-YORK -

ROTHSCHILD (D.) : 1971

\* - Push button beer at Congella -

Food Industries of South Africa (24) n° 11 : 19

ROUSE (I.) : 1963

\* - The Carib -

Cité in Handbook of South American Indians - Edition STEWARD - NEW-YORK -

ROVEL (B.) ; METCHE (M.) ; GRIFFON (D.) : 1982

\* - Immobilisation in situ d'amylases de diverses origines végétales pour  
la saccharification de l'amidon -

In symposium international sur l'utilisation des enzymes en technologie  
Alimentaire - VERSAILLES - Mai 1982 - Edition LAVOISIER - Tec. et Doc.  
PARIS -

SANDECREN (E.) ; KLANG (M.) : 1950

J. Inst. Brew. (51) 313. Cité par GRABAR et al : 1964

\* - Study of Barley and malt amylases -

Cereal Chem. (41) 523.

SALETAN (L.T.) : 1968

Wallerstein Lab. Comm. 104, 31, 33. Cité par NIELSEN : 1971

\* - Brewing with barley - a review -

In proceeding of the 13th congress of European Brewery convention -  
AMSTERDAM -

SALLANS (H.R.) ; ANDERSON (J.A.) : 1939

Can. J. Research (17) 361. Cité par SCRIBAN (R.) : 1966

\* - Les amylases au maltage -

Biotechnique (3) page 15.

SCHUMACHER (E.F.) : 1978

\* - Small is beautiful -

Edition du SEUIL - Collection Points n° 105 - PARIS -

SCHWARTZ (H.M.) : 1956

\* - Kaffircorn malting and brewing studies I - The kaffircorn beer  
brewing industry in south Africa -

J. Sci. Food Agric. (7) 101-105.

SCHWERIN (K.H.) : 1971

\* - The Bitter and the sweet - Some implications techniques for preparing  
Manioc.

In annual meeting Am. Anthropol. Assoc. NEW-YORK

SCOTT (R.W.) : 1972

J. Inst. Brew. (78) 179 - Cité par TIENDREBEOGO : 1978

DEA - INPL - NANCY -

SCRIBAN (R.) : 1951

\* - Les protides de l'Orge, du Malt et du Moût -

Thèse de Doctorat - Université des Sciences - LILLE -

SCRIBAN (R.) : 1962

\* - Détermination des activités amylasiques du malt. Méthode rapide -

Brasserie (194) 25

SCRIBAN (R.) : 1965

\* - Les amylases de l'orge et du malt -

Brasserie (221) 67.

SCRIBAN (R.) : 1966

\* - Les amylases au maltage - Activités amylasiques -

Biotechnique (3) 18-25

SERVIER (J.) : 1980

\* - L'homme et l'invisible -

Edition Imago - PARIS -

SHEORAIN (V.S.) ; WAGLE (D.S.) : 1973

\* - Beta Amylase activity in germinated Bajra and Barley varieties -

J. of food Sci. and Techn. (10) 184-186

SKELTON (G.S.) ; 1968

\* - Column chromatography of papaya proteinases on hydroxylapatite -  
J. Chromatography (35) 283-286.

SKELTON (G.S.); KABILWA (M.) ; KABUYA (T.) : 1973

\* - La purification et l'étude de quelques propriétés biochimiques d'une  
amylase E. Polyadenia H -  
Rev. Univ. Nat. ZAIRE - Vol. XXVII pages 93-96.

SOMOGYI (M.) : 1945

\* - J. Biol. Chem. (160) - 61. Cité par TIENDREBEOGO : 1978  
DEA - INPL - NANCY

STEWART (J.H.) : 1963

Handbook of South American Indian  
Edition STEWARD - NEW-YORK -

SWEELEY (C.C.) ; BENTLEY (R.) ; MAKITA (M.) ; WELIS (W.W.) : 1963

J. Am. Chem. Soc. (85) 24-97. Cité par NUNNIKOVEN et al : 1970  
\* - Dosage des sucres par chromatographie gazeuse -  
In Girdelogramme n° 3 - SURESNES -

TABOADA (J.) ; ULLOA (M.) HERRERA (T.) : 1977

\* - Microbiological studies on Tesguino, a fermented maize beverage  
consumed in Northern and Central MEXICO -  
Symposium on indigenous fermented foods - BANGKOK - Cité in Handbook  
of Indigenous fermented foods -  
Edition DEKKER - NEW-YORK -

TAKATA (I.) ; TESWYA (T.) : 1977

Journal of solid phase biochemistry - Vol. 2 n° 3 - Cité par TIENDREBEOGO :  
1981 -  
Thèse - INPL - NANCY -

TAYLOR (J.R.N.) : 1983

\* - Effect of malting on the protein and free Amino nitrogen composition  
of Sorghum -  
J. Sci. Food Agric. (34) 885-892.

TEGNENE (Y.M.) : 1957

\* - Production of ethiopian talla -  
Ethiopian ethnological Society - Bulletin n° 7 -

TIENDREBEOGO (F.) : 1978

\* - Etude comparative des activités enzymatiques du malt et de la racine de Munkoyo -

DEA - Institut National Polytechnique de Lorraine - NANCY -

TIENDREBEOGO (F.) : 1981

\* - Etude des systèmes amylolytiques de Eminia Polyadenia et des propriétés enzymatiques des amylases immobilisées du malt et du Munkoyo -

Thèse de 3° cycle - Institut National Polytechnique de Lorraine - NANCY -

THOMAS (D.) ; MONIN (J.) : 1983

\* - Possibilités germinatives des grains de différentes lignées d'orge -  
Bios (14) n° 6-7, 72

THOMSOM (B.P.) : 1954

\* - Two studies in African Nutrition -

Edition MANCHESTER UNIVERSTY PRESS - MANCHESTER -

TIHON (L.) : 1934

\* - A propos de quelques boissons fermentées indigènes -

Bull. Agric. du CONGO-BELGE - Vol. XXV n° 1 - 129-134

TISELIUS (A.) ; HJERTENS (S.) ; LEVIN (O.) : 1956

Arch. Biochem. biophy. (65) - 132. Cité par STELTON : 1968

In J. Of chromat. (35) 283-286

TRAORE (B.) : 1984

\* - Cannette de bière ou calabasse de Dolo -

In le Monde Diplomatique - Mars 1984 -

TRAUB (A.) ; KAUFMANN (E.) ; TEITZ (Y.) : 1969

Ann. Biochem. (28) 469. Cité par HEBERT et al : 1973

\* - Les enzymes immobilisées -

Bios (12) page 580.

TREILLON (R.) ; MUCHNICK (J.) : 1981

\* - La revalorisation des technologies autochtones, un nouvel axe de coopération scientifiques -

Document ALTERSIAL - ENSIA-MASSY -

TREILLON (R.) ; GATTEGNO (I.) : 1984

\* - Cigarettes contre calebasse ou une comparaison économique des bières industrielles et bières artisanales au BURKINA-FASO -

In Nourrir les Villes en Afrique Saharienne  
ALTERSIAL - ORSTOM - CERED - 15 Novembre 1984 - PARIS

TSHIBAKA (M.) : 1979

\* - Essais d'inclusion d'une préparation enrichie en beta glucose dans des gels de polyacrylamide -

Rapport de DEA - INPL - NANCY -

ULLOA (S.) ; ULLOA (M.) : 1973

\* - Alimentos fermentados de maiz consumidos en MEXICO y otros países Latino- Americanes -

Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. (34) 423-457.

VISWANATH (B.) ; SURYANARAYANNA (M.) : 1925

J. Inst. Brew. (31) 425. Cité par NOVELLIE (L.) : 1959. In

\* - Kaffircorn malting et brewing studies -

VOGEL (S.) ; GOBEZIE (A.) : 1977

\* - Ethiopian Tej -

Symposium on indigenous fermented foods - BANGKOK - Cité in Handbook of indigenous fermented foods.  
Edition DEKKER - NEW-YORK -

VON HAGEN (V.W.) : 1949

\* - The bitter Cassava eaters -

Nat. Hist. (58) 120-124

VON-HOLD (N.M.) ; BRAND (J.C.) : 1960

\* - Kaffircorn malting and brewing studies VI et VII -

J. Sci. Food Agric. (11) 463-471.

WATSON (T.G.) ; NOVELLIE (L.) : 1974

\* - Extraction of sorghum vulgare and hordeum vulgare glucosidase -

Phyto chemistry (13) 1037-1041

WILLIAM (D.J.) : 1959

\* - In Manioc in Africa -

Edition STANFORD UNIVERSITY PRESS - STANFORD - USA -

YOMO (H.) : 1960

J. Ferm Assoc. JAPAN (18) 600 . Cité par SCRIBAN (R.) : 1966

\* - Les amylases au maltage -

Biotechnique (3) page 18









ANNEXE I

ANALYSES DE QUELQUES MATIERES PREMIERES UTILISEES



A) ORGE MALTEE

En provenance des Malteries CHEVALIER - MARTIN, le malt diastatique utilisé pour les essais comparatifs avec les malts de céréales tropicales était composé des variétés suivantes :

- variété Berenice        85%
- variété Aramir        13%
- variété Bérac        2%

Bien que conditionné dès la réception en sachet aluminium sous vide, l'analyse chimique témoigne d'une légère évolution après un an de stockage.

	Analyse chimique fournie par la malterie 25/11/80	Analyse chimique fournie par le laboratoire de l'ENSAIA 27/11/81
Humidité %	4,6	5
Protéïnes totales % M.S.	10,8	11,2
Protéïnes solubles % M.S.	4,3	-
Indice Kolback à 45° C	39,5	36,5
Pouvoir diastatique W.K.	370	300
Extrait % M.S. fine mouture	81,6	81,3
grosse mouture	80,0	-

B) CEREALES TROPICALES

Les essais de maltage ont été effectués sur différentes variétés de céréales tropicales.

Les conditions générales de maltage ont été mises au point sur une variété de sorgho disponible en métropole et commercialisé sous le nom de Sorgho Argence par SUD-CEREALES.

Puis la méthode de maltage a été utilisée sur 5 variétés de sorgho, 2 variétés de mil et une variété de maïs obtenu auprès de l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agronomique) de Bambey. Les caractéristiques communiquées par l'ISRA peuvent être résumées dans le tableau suivant :

Type de céréales	Variété	Couleur du grain	Vitrosité sur l'échelle de BONO	Poids de 1000 grains
SORGHO	X	blanc	2	35
SORGHO	CK 612 AX 68-29	blanc	2	25
SORGHO	CE 151-262	blanc	2	24
SORGHO	CE 145-66 V	blanc	1	16
SORGHO	73-13	jaune	2	25
MIL	X	-	-	-
MIL	A <sub>4</sub> -24	-	-	-
MAIS	B.D.S.	-	-	-

C) MANIOC

La source amyliacée utilisée pour les essais de saccharification a été le manioc :

- sous la forme de gari,
- sous la forme de fécula
- sous la forme de racines fraîches.

L'analyse de composition du gari a donnée les résultats suivants (laboratoire A.O.B. CIRAD).

- humidité	10%
- amidon	70%
- hemicellulose	14,7%
- cellulose	1,7%
- lignine	0,5%
- lipides	0,3%
- autres	2,8%
	<hr/>
	100%

La fécula de manioc fournie par les établissements TIPIAK était accompagnée d'une fiche technique que nous pouvons comparer à l'analyse chimique effectuée au laboratoire A.O.B. du CIRAD.

	Fiche technique	Analyse au laboratoire
Humidité	13,5 ± 1,5 %	12,4 %
Matières sèches	86,5 ± 1,5 %	-
Glucides	85 à 87%	83,6 %
Lipides	0,01% max.	0,23%
Protéïnes	0,05% max.	0,07%
Fibres et cendres	0,3% max.	3,7%

Les racines fraîches utilisées étaient fournies par l'IDESSA de BOUAKE (COTE D'IVOIRE) et de diverses variétés.

Les analyses de composition effectuées sont fournies par les tableaux suivants.

ANALYSES DES TUBERCULES FRAIS DU MANIOC

Variété tubercule	Poids tub. frais (g)	Poids tub. épluché (g)	Rendement (%)	% matière sèche
CB <sub>1</sub>	828	611	73, 8	41, 26
CB <sub>2</sub>	995	761	76, 5	35, 4
TA 24 <sub>1</sub>	908	703	77, 42	42, 66
TA 24 <sub>2</sub>	1 024	808	78, 90	41, 42
TA 49 <sub>1</sub>	675	546	80, 9	39, 46
TA 49 <sub>2</sub>	997	785	78, 7	34, 11
BONOUA BLANC <sub>1</sub>	1 007	685	68, 0	36, 07
BONOUA BLANC <sub>2</sub>	782	648	82, 8	40, 62
BONOUA ROUGE <sub>1</sub>	746	498	66, 75	42, 9
BONOUA ROUGE <sub>2</sub>	730	546	74, 8	42, 39
H 58	1 525	1 260	82, 6	34, 43
TABOUKA	2 353	1 283	54, 5	39, 5
KATAOLI <sub>1</sub>	1 114	} 1 253	63, 6	{ 49, 8
KATAOLI <sub>2</sub>	856			

(Suite)

	Hemi-celluloses	Lignine	Cellulose	"Cendres"
TA 49 Tuberc. 1	4, 89	0, 43	1, 86	1, 04
Tuberc. 2	4, 78	0, 69	1, 95	0, 34
TA 24 Tuberc. 1	5, 63	0, 36	1, 53	0, 48
Tuberc. 2	4, 52	0, 41	1, 45	0, 67
KATAOLI				
Tuberc. 1	4, 43	0, 28	1, 30	0, 28
Tuberc. 2	3, 66	0, 36	1, 37	0, 47
TABOUKA	12, 93	0, 54	1, 82	0, 74
CB Tuberc. 1	4, 68	1, 04	2, 27	1, 04
Tuberc. 2	7, 47	1, 02	1, 62	0, 41
H 58	7, 87	0, 68	1, 97	0, 56
BONOUA BLANC				
Tuberc. 1	3, 16	0, 98	1, 64	0, 67
Tuberc. 2	6, 25	0, 93	1, 30	0, 50
BONOUA ROUGE				
Tuberc. 1	-	-	-	-
Tuberc. 2	7, 02	0, 91	1, 86	1, 08

FIBRES - Résultats exprimés en % du poids sec - méthode de VAN SOEST

(Suite)

	Hydroxy- méthyl Furfuro1	Saccharose	Fructose	Galactose	Xylose	Glucose	TOTAL
TA 49							
Tub. 1	< 0,03	3,00	1,21	0,04		1,17	5,42
Tub. 2	< 0,03	5,81	2,00			2,02	9,83
TA 24							
Tub. 1	< 0,03	2,52	2,27			2,45	7,24
Tub. 2	< 0,03	2,89	2,63	< 0,03		2,73	8,25
KATAOLI							
Tub. 1	< 0,03	2,20	0,95			0,89	4,04
Tub. 2	< 0,03	2,07	0,97			0,90	3,94
TABOUKA	< 0,03	2,35	0,60			0,64	3,59
CB							
Tub. 1	< 0,03	2,29	3,27			2,79	8,35
Tub. 2	< 0,03	3,02	3,46	< 0,03		2,46	8,97
H 58	< 0,03	2,91	2,13	0,05		2,27	7,36
BONOUA BLANC							
Tub. 1	< 0,03	4,27	4,29	0,07	< 0,03	3,79	12,42
Tub. 2	< 0,03	3,27	1,72	0,04		1,99	7,02
BONOUA ROUGE							
Tub. 1	< 0,03	3,04	1,50	0,05		1,50	6,09
Tub. 2	< 0,03	2,82	1,80	0,04		1,86	6,52

SUCRES - Résultats exprimés en % du poids sec.



ANNEXE II

METHODES ANALYTIQUES



Les méthodes d'analyses suivantes ont été employées pour connaître la composition biochimique des matières premières du moût et des produits d'hydrolyse en général. Elles sont couramment employées au laboratoire d'analyses organiques et biochimiques du CIRAD :

1 - Détermination de la matière sèche :

L'échantillon est broyé finement puis mis à l'étuve pendant 3 heures à 110°C et une heure au dessiccateur pour refroidissement avant pesée.

2 - Détermination de la teneur en amidon :

L'échantillon est broyé finement, 50 mg sont hydrolysés avec 10 ml HCl 0,32 N à 110°C pendant plusieurs heures (à déterminer suivant l'échantillon et la teneur en amidon)\*

L'hydrolysat est alors filtré puis neutralisé par 40 ml Na OH 0,08 N. Le dosage du glucose formé par hydrolyse acide se fait par la glucose oxydase sur auto-analyseur TECHNICON II

Ex : Manioc : 5 h, sorgho : 5 h... Dans le cas des drêches celles-ci sont préalablement séchées à 110° C.

Calculs :

Masse de l'amidon = masse du glucose X 0,9 X nombre de résidus glucose formés par hydrolyse

3 - Détermination de la cellulose, hémi-cellulose, lignine d'après la méthode de VAN SOEST

3-1 Principe : elle consiste en des attaques successives de l'échantillon réduit en poudre, par des solutions à base de détergents, d'acides ou d'oxydants, qui solubilisent progressivement les composants glucidiques. Des filtrations lavages et séchages successifs, suivis de pesée du résidu sec permettent d'évaluer la perte subie au cours de l'attaque.

### 3-2 Mode opératoire :

#### 32-1 Extraction NDS (1)

\* à chaud 95° C pendant 1 h sur 1 g d'échantillon - Remarque lorsque celui-ci contient une forte proportion d'amidon et risque de colmater le filtre par formation d'un empoids, on a intérêt à faire précéder cette première extraction d'une attaque à l' $\alpha$  amylase.

\* filtrer, laver à l'eau chaude pour éliminer les mucilages, séchage à l'acétone, puis à l'étuve (cf Mat. sèche).

\* pesée.

#### 32-2 Extraction ADS (2)

\* à chaud 95° C pendant 1 h sur le résidu, filtration, lavage, rinçage, pesée, comme lors de l'extraction NDS. La différence pondérale donne les hémicelluloses.

#### 32-3 Extraction LS-DS (3)

\* à froid pendant 90 minutes filtration

\* à froid avec la DS jusqu'à ce que la cellulose apparaisse bien blanche, lavage, séchage, pesée. La différence pondérale donne le poids de lignine.

#### 32-4 Extraction à H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

\* à froid à l'acide sulfurique à 72 % pendant 3 heures, filtration, séchage, pesée. La différence pondérale donne le poids de cellulose.

Par une calcination au four à 500° C, pendant 3 heures, on élimine les matières organiques résiduelles. Le poids de cendres que l'on trouve alors, est le plus souvent inférieur aux poids de matières minérales que l'on obtiendrait par une calcination de l'échantillon total, les éléments minéraux solubles ayant été entraînés lors des premières extractions.

L'ensemble de la manipulation est réalisé sur un banc d'extraction FIBERTEC SYSTEM M 1020 HOT EXTRACTOR TECATOR et sur un banc d'extraction à froid du même système.

Composition des solutions pour la méthode de VAN SOEST

REACTIFS :

(1) NDS : Neutral Detergent Solution

- EDTA (Ethylène diamine tétra-acétique)  
 $C_{10}H_{14}N_2O_8Na, 2 H_2O$  18,61 g
- Tétraborate disodique  
 $Na_2B_4O_7, 10 H_2O$  6,81 g
- Sulfate monosodique de lauryl  
 $C_{12}H_{25}Na O_4S$  30,00 g
- 2 Ethoxyéthanol  
 $C_4H_{10}O_2$  10 ml
- Phosphate acide de sodium  
 $Na_2HPO_4$  4,56 g
- eau distillée q. s. p. 1 l

(2) ADS : Acid Detergent Solution

- Bromure de triméthylammonium céthyl  
 $C_{19}H_{42}Br N$  20,00 g
- Acide sulfurique concentré  
 $H_2SO_4$  27,8 ml
- Eau distillée q. s. p. 1 l

(3) LS : Lignine Solution

2 vol/1 vol permanganate de potassium, lignine  
buffer solution.

- $KMnO_4$  saturé 50,00 g
- Sulfate d'argent  $Ag_2 SO_4$  0,50 g
- Eau distillée q. s. p. 1 l

- LS

nitrate ferrique $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$	6,00 g
nitrate d'argent $\text{Ag NO}_3$	0,15 g
acide acétique $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$	500 ml
alcool butylique tertiaire	400 ml
acétate de potassium	5 g
eau distillée	q. s. p. 1 l

DS : Déminéralisation solution

acide oxalique $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	50 g
éthanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	700 ml
acide chlorhydrique concentré $\text{HCl}$	50 ml
eau distillée	250 ml

4 - Détermination des lipides

L'extraction se pratique sur 1 g d'échantillon broyé finement, 30 minutes par de l'hexane à ébullition à reflux.

Rinçage pendant 30 minutes à l'hexane à ébullition.

Évaporation au rotavapor. Le pot d'extraction est séché à l'étuve à 110° C pendant 2 heures. La différence pondérale entre le pot vide, et sec et après extraction évaporation et séchage donne le poids de matières extraites à l'hexane assimilés aux lipides totaux.

La manipulation est réalisée sur un extracteur RAFATEC de TECATOR.

5 - Détermination des matières azotées

Elle est faite par la méthode de KJELDAHL

- prise d'essai ; 300 mg d'échantillon finement broyé



En présence de solutions tampons borates, les sucres forment des complexes anioniques qui sont alors séparés par une résine échangeuse d'anions.

Les complexes borates de sucres sont élués par augmentation graduelle du pH et de la force ionique du milieu éluant.

Les sucres sont détectés après leur dérivation post-colonne.

En présence d'acide sulfurique concentré, les sucres se déshydratent en furfural et donnent avec les phénols (ici l'orcinol) des produits de condensation colorés :

- la coloration est enregistrée à 435 nm
- la quantification des sucres est faite en fonction des surfaces des pics d'un échantillon comparées aux surfaces des pics d'un standard connu élué au préalable.

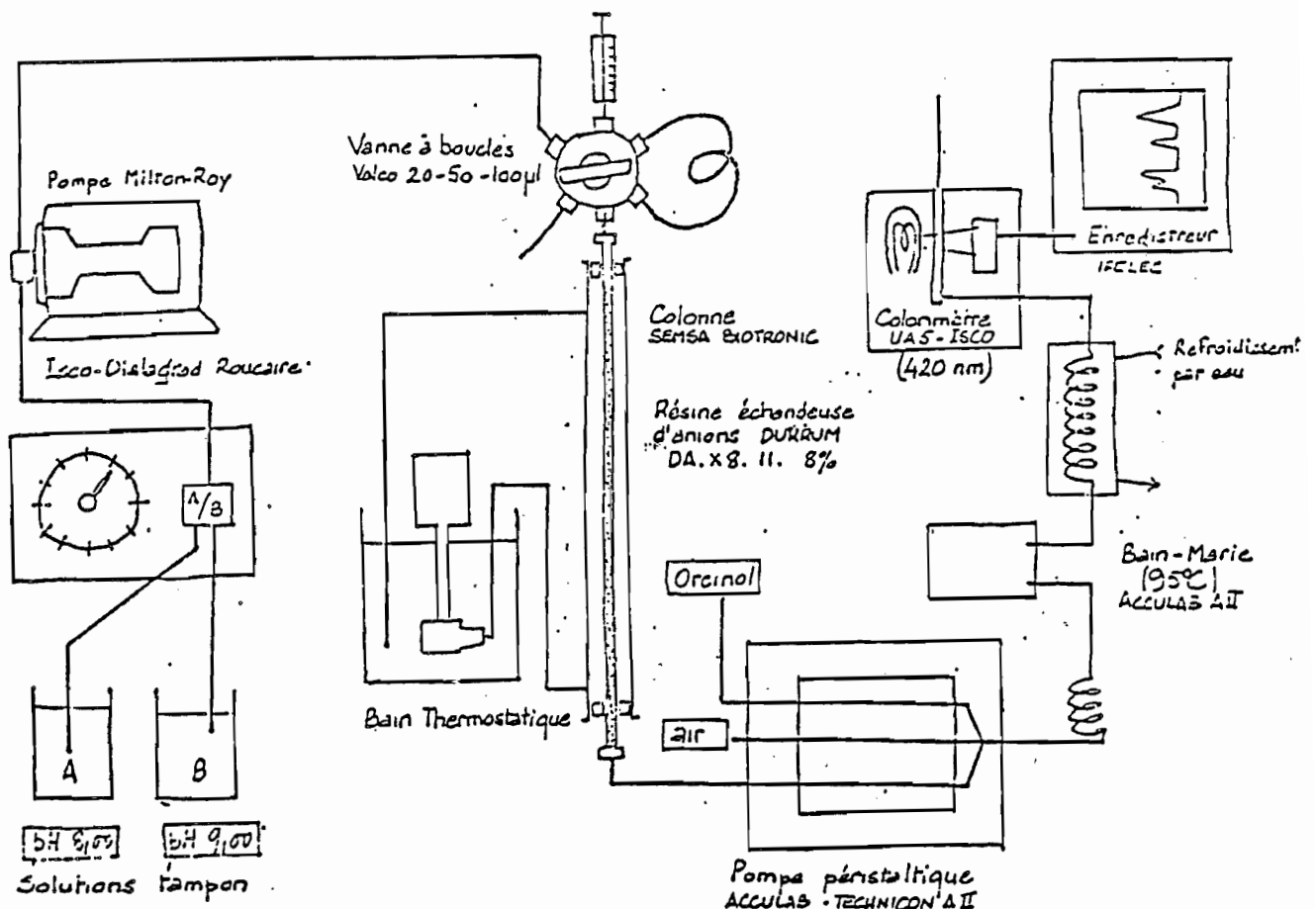
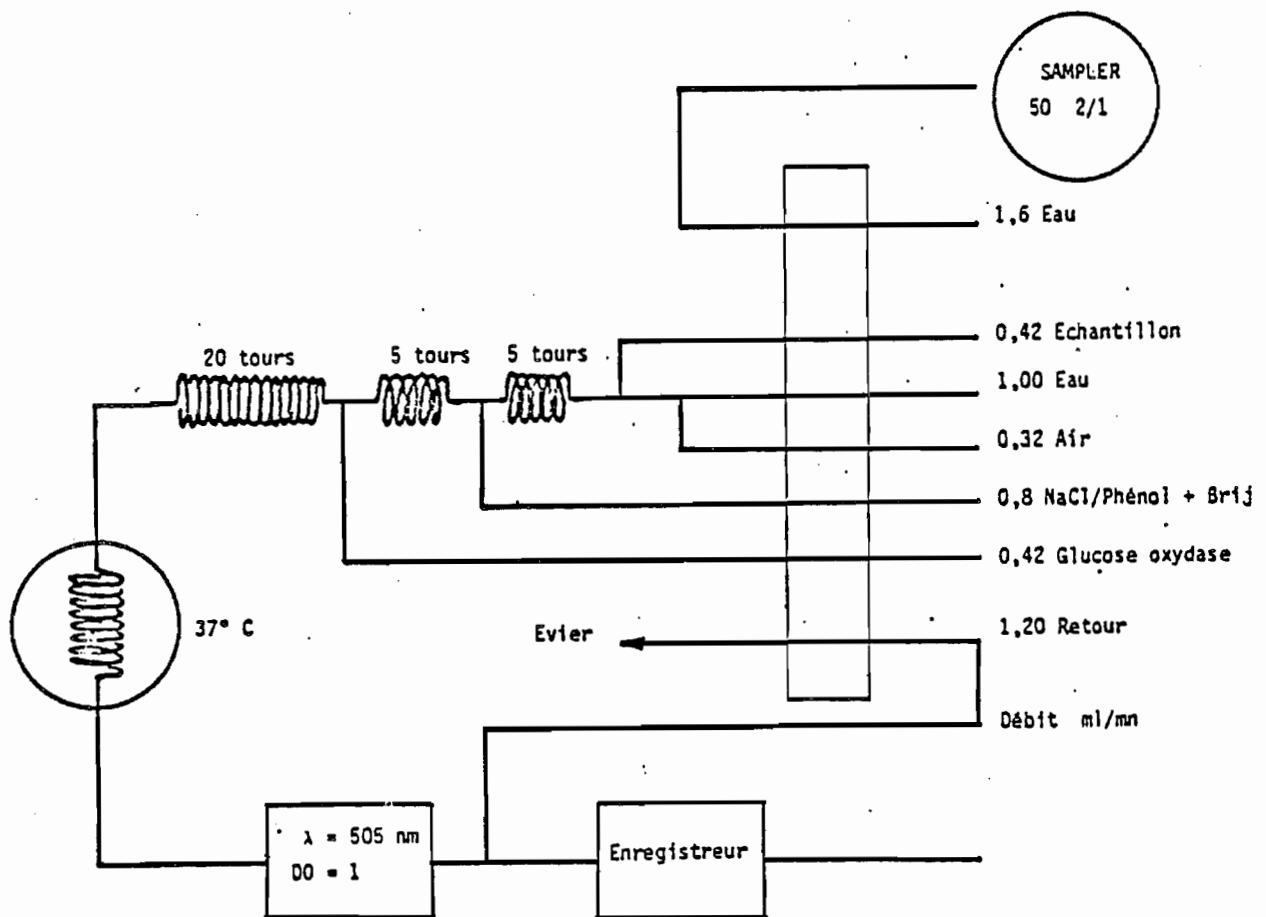


Schéma de montage pour chromatographie des sucres.



L'extraction des sucres est pratiquée par ébullition à reflux pendant 1 heure dans l'éthanol dilué. L'extrait contient des glucides des acides aminés, des acides organiques. Les acides aminés sont retenus par passage sur résines échangeuses de cations et les acides organiques sur colonne échangeuse d'anions. Les groupes OH des sucres, trop faiblement ionisés ne sont pas retenus. L'évaporation du solvant se pratique à 40° C. Le résidu est repris dans 20 ml d'eau chaude.



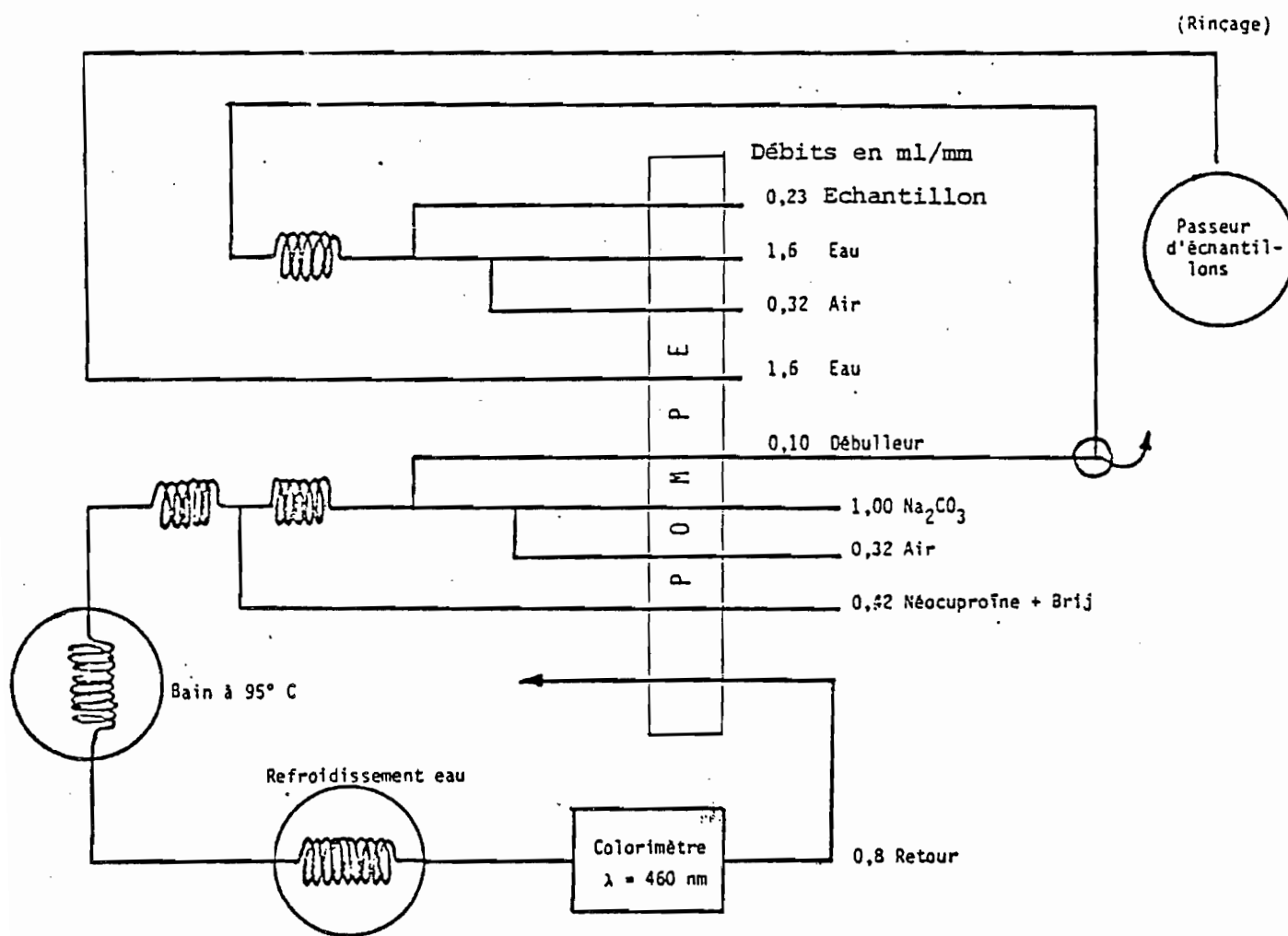
Manifold pour Auto-Analyser TECHNICON II pour la méthode de dosage du glucose à la glucose-oxydase.

NOTE : Ce même manifold sert au dosage de l'amidon après hydrolyse acide.

7 - Détermination quantitative des sucres réducteurs libres :

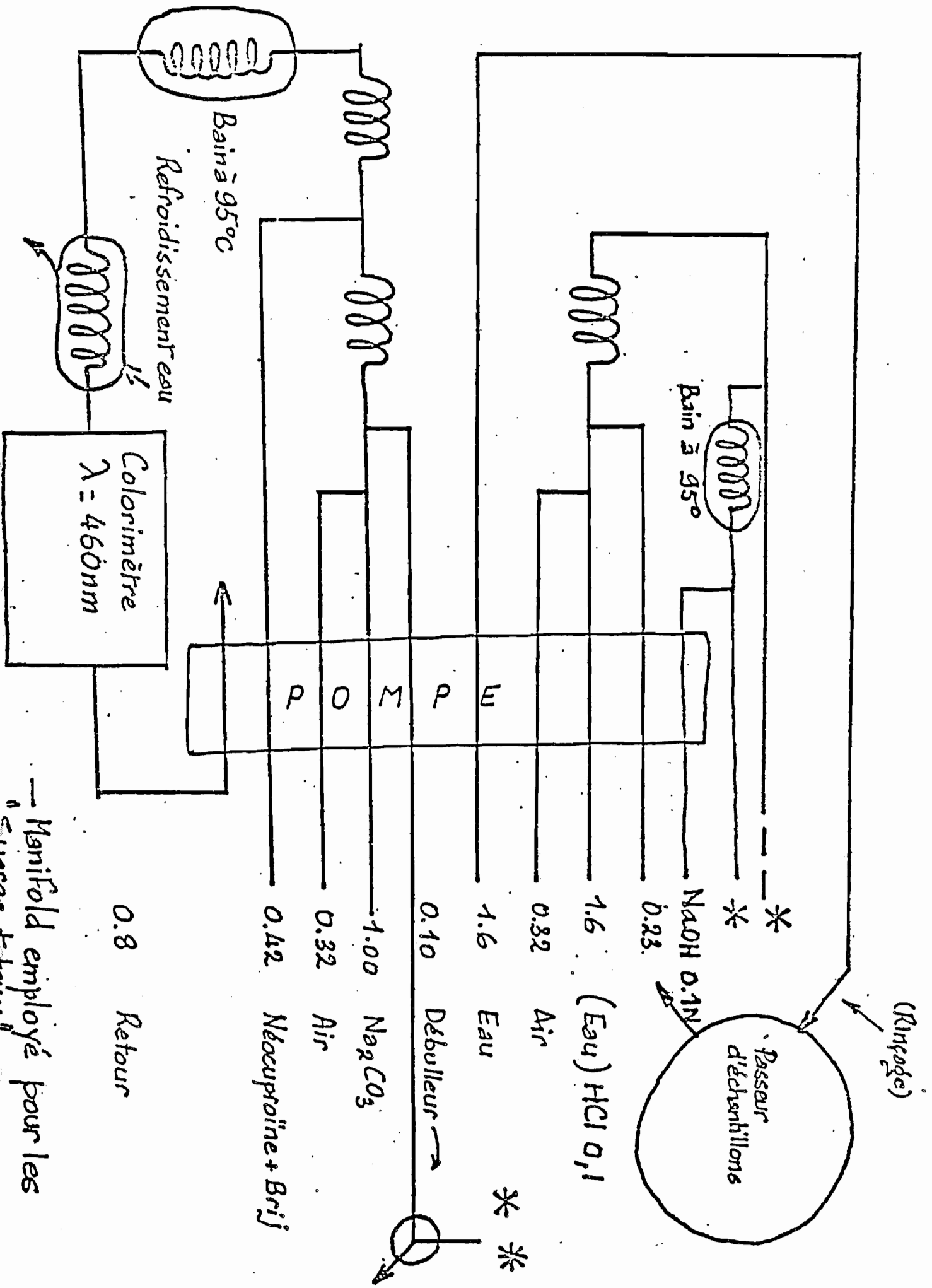
Elle est effectuée par la méthode à la néocuproïne par colorimétrie à 460 nm (sulfate de cuivre et diméthylphénantroline); à 95° C, pour donner une coloration jaune deux gammes étalons ont été utilisées :

- \* gamme fructose - glucose
- \* gamme maltose, maltotriose, glucose (pour les moûts).



Manifold utilisé pour doser les sucres réducteurs libres.

**NOTE :** Les sucres totaux peuvent être dosés avec le même manifold après adjonction d'une bobine pour hydrolyse acide



— Manifold employé pour les sucres totaux

8 - Pouvoir diastasique total et activité  $\alpha$  amylasique (BENDELOW : 1965)

8-1 Réactifs

81-1 Le substrat d'amidon

5 g d'amidon sec sont mis en pâte avec un peu d'eau froide, puis versé dans 400 ml d'eau bouillante - laisser à ébullition 2 mn, puis refroidir. Ajouter 10 ml de solution tampon (41 g acétate de Na anhydre + 30 ml acide acétique glacial dans 1 litre d'eau).

81-2 Solution acide 3-5 dinitro-salicylique :DNS

1 g d'acide 3-5 DNS est humidifié avec un peu d'eau. On ajoute en remuant constamment, 20 ml de NaOH 2 N. On dilue avec 50 ml d'eau, puis, on ajoute 30 g de tartrate double de Na et K qui se dissolvent.

La solution est amenée à 100 ml avec de l'eau distillée, puis est filtrée sur papier Whatmann n° 1 puis mis en bouteille fermée.

81-3 Chlorure de phényl mercurique (PMC)

Préparer une solution aqueuse saturée (ici : 2 g/l).

81-4 Chlorure de sodium

Préparer une solution 0,5 % aqueuse.

8-2 Procédés pour les 2 déterminations :

Activité diastasique totale

Activité  $\alpha$  amylasique

82-1 Extraction du malt

Le malt moulu est extrait pendant 2 h 30 mn avec une solution de NaCl (0,5% aqueuse) à 20° C.

Agitation toutes les 20 mn

12,5 g de malt pour 250 ml de NaCl  
ou  
5 g de malt pour 100 ml de NaCl

La solution est filtrée pendant 30 mn.

### Mode opératoire

A 150 g de farine de malt, on ajoute 800 ml de solution aqueuse d'acétate de calcium à 0,2 % et 0,2 ml de N-octanol. On centrifuge à 9 000 g à température 4°C pendant 10 minutes, puis on ajoute 15 ml de solution à nouveau au surnageant que l'on centrifuge à 15 000 t/mn à 4° C pendant 15 mn.

La solution obtenue constitue l'extrait enzymatique.

### 82-3 Extraction au sulfate d'ammonium

#### Mode opératoire

On a une solution aqueuse d'extrait enzymatique (extraction en 2 h 30 minutes avec une solution NaCl 0,5 % à 20° C - température ambiante).

1 - Mesurer le volume de l'extrait enzymatique.

Ajouter la quantité de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  nécessaire pour une concentration de 430 g/l (55 % de saturation).

Centrifuger à la température de 0 - 4° C.

Conserver ce 1er surnageant.

2 - Récupérer le culot avec la même quantité d'eau distillée qu'au départ.

Précipiter comme précédemment :  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  à 65 % de saturation  
Centrifuger dans les mêmes conditions.

Récupérer le surnageant.

3 - Précipiter le 1er + le 2ème surnageant à 80 % de saturation de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  soit 561 g/l.

Centrifuger et récupérer le culot.

4 - Le culot est repris alors dans 3 fois le volume initial.

5 - Dialyse.

NOTE : Enzymes solubles dans le milieu à 60 %  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + enzymes insolubles à partir de 80 % de saturation en  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

#### 82-4 Détermination de l'activité diastasique totale

- 2 ml d'extrait de malt sont dilués à 200 ml avec de l'eau permu-tée H<sub>2</sub>O distillée.
- 2 ml de cette solution diluée (qui contient l'équivalent de 1 mg de malt) seront utilisés pour l'hydrolyse de l'amidon.

Cette hydrolyse se fait dans des tubes test de 20 x 150 mm.

Une série de tubes contenant chacun 2 ml de solution de malt dilué est maintenue à 20° C dans un bain thermostaté.

La réaction diastasique démarre en ajoutant 1 ml de la solu-tion d'amidon tempérée à 20° C dans les 2 ml de solution de malt. Le tube est agité pendant 5 secondes pour bien mélanger les réactifs.

On stoppe la réaction au bout de 5 mn (chronométrées) par adjonc-tion de 2 ml de DNS très rapidement en soufflant par la pipette et on agite vigoureusement.

En pratique, on travaille sur une série de 10 échantillons ; les tubes tests sont portés dans un bain d'eau bouillante et chauffés pendant 5 mn exactement.

Le panier contenant les tubes est alors plongé dans un bain d'eau glacée où il reste 3 mn.

On prépare aussi un blanc : 2 ml d'eau remplace la solution enzy-matique de malt.

Chaque tube est alors dilué avec 20 ml d'eau. On fait la lecture au spectro-colorimètre à 505 nm. Le résultat est exprimé en mg de maltose formé pour 1 mg de malt ou dans des unités qui en découle : degré Lintner.

Auparavant, on aura établi un graphe calibré avec du maltose pur.

#### 82-5 Détermination de l'activité $\alpha$ amylasique

5 ml d'extrait de malt sont mis dans une fiole jaugée de 200 ml, on rajoute 10 ml de chlorure phényl mercurique (PMC).

On laisse au repos, à température ambiante pendant 20 mn. On amène le volume à 200 ml avec de l'eau distillée (cette solution contient 2,5 mg de malt pour 2 ml).

Puis le procédé est identique à la détermination de l'activité diastasique totale : soit 2 ml de cette solution d'extrait de malt maintenue

à 20° C, on ajoute 1 ml de solution d'amidon (tempérée à 20° C), la réaction est stoppée après 5 mn (chronométrée) par 2 ml de DNS, chauffage dans 4 bains bouillants pendant 5 mn, refroidissement dans le bain glacé pendant 3 mn.

Dilution avec 20 ml d'eau distillée

Lecture au spectro-colorimètre à 505 nm.

#### 82-6 Calibration du graphe en maltose

Une série de solution de maltose est préparée de façon à ce que 2 ml de solution contiennent de 0,4 à 2 mg de maltose anhydre. Dans le colorimètre, on placera une quantité convenable de réactif contenant :

- 2 ml de solution de maltose (de 0,4 à 2 mg/2 ml)
- 1 ml de solution d'amidon
- 2 ml de réactif DNS

On chauffe ce mélange et on le refroidit comme lorsque l'enzyme est présent, et on prépare aussi un blanc (2 ml d'eau distillée remplace la solution de maltose).

Lecture au spectrocolorimètre à 505 nm.

On trace alors un graphe :

D.O. à 505 nm en fonction des mg de maltose dans la gamme pour 3 ml de solution (3 ml de solution = 2 ml solution de maltose + 1 ml solution d'amidon).

#### 82-7 Le calcul des activités

##### \* Activité diastasique totale

L'échantillon d'enzyme de malt : 2 ml contient l'équivalent de 2,5 mg de malt. L'activité est exprimée en mg de maltose formé (référence au graphe calibre).

Les mg de maltose formés peuvent être convertis en degrés Lintner suivant l'équation  $x = 166,42 y - 40,34$  que l'on pourra commodément porter sur un graphe.

\* Activité  $\alpha$  amylasique

Elle peut s'exprimer également en mg de maltose formé par 1 mg de malt en multipliant les mg de maltose formés par 0,4 (car on part de 2,5 mg de malt) (Référence au graphe calibré).

L'échantillon d'enzyme de malt : 2 ml contient l'équivalent de 2,5 mg de malt.

D'où l'activité de l'enzyme exprimée en mg de maltose formé par 2,5 mg de malt et traduit en unité de dextrinisation à 20° C par l'équation :

$$x = 55,11 y - 9,94$$

82-8 Activité  $\beta$  amylasique

Elle est obtenue par différence entre :

- activité totale mg maltose/mg malt
- activité amylasique mg maltose x 0,4/2,5 mg de malt.

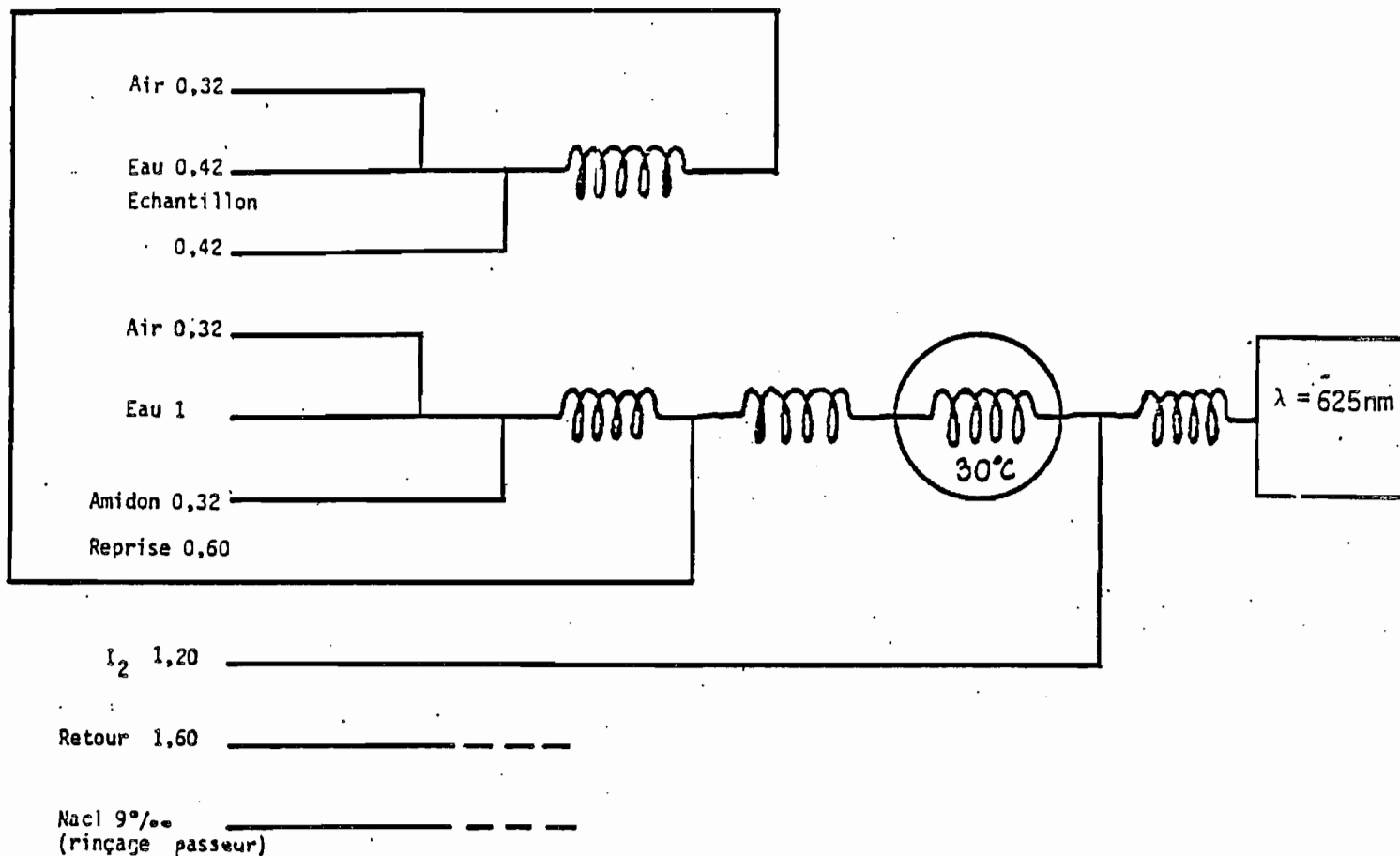
Tous les résultats doivent être corrigés en fonction de l'humidité du malt utilisé.

8-3 Dosage automatique

Cette méthode bien que non employée pour exprimer les résultats de cette étude, a été mise au point au cours des essais suite aux problèmes constatés pour mesurer les activités amylasiques.

Elle est à présent employée en routine au laboratoire A.O.B. du C.I.R.A.D.





Manifold utilisé pour le dosage des amylases.

\* Extraction : 100 mg de l'échantillon finement broyé + 20 ml de sérum physiologique dans un tube à hydrolyse non bouché. Agitation toutes les 20 minutes au VORTEX pendant 4 heures. Filtration - Conservation au congélateur.

\* Gamme étalon : Solution mère : 100 UI/ml dans du sérum physiologique - conservation au congélateur.

Solution fille : décongeler QSP une solution à 10 UI/ml avec du sérum physiologique.

Gamme 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 1 - 1,5 - 2 UI/ml.

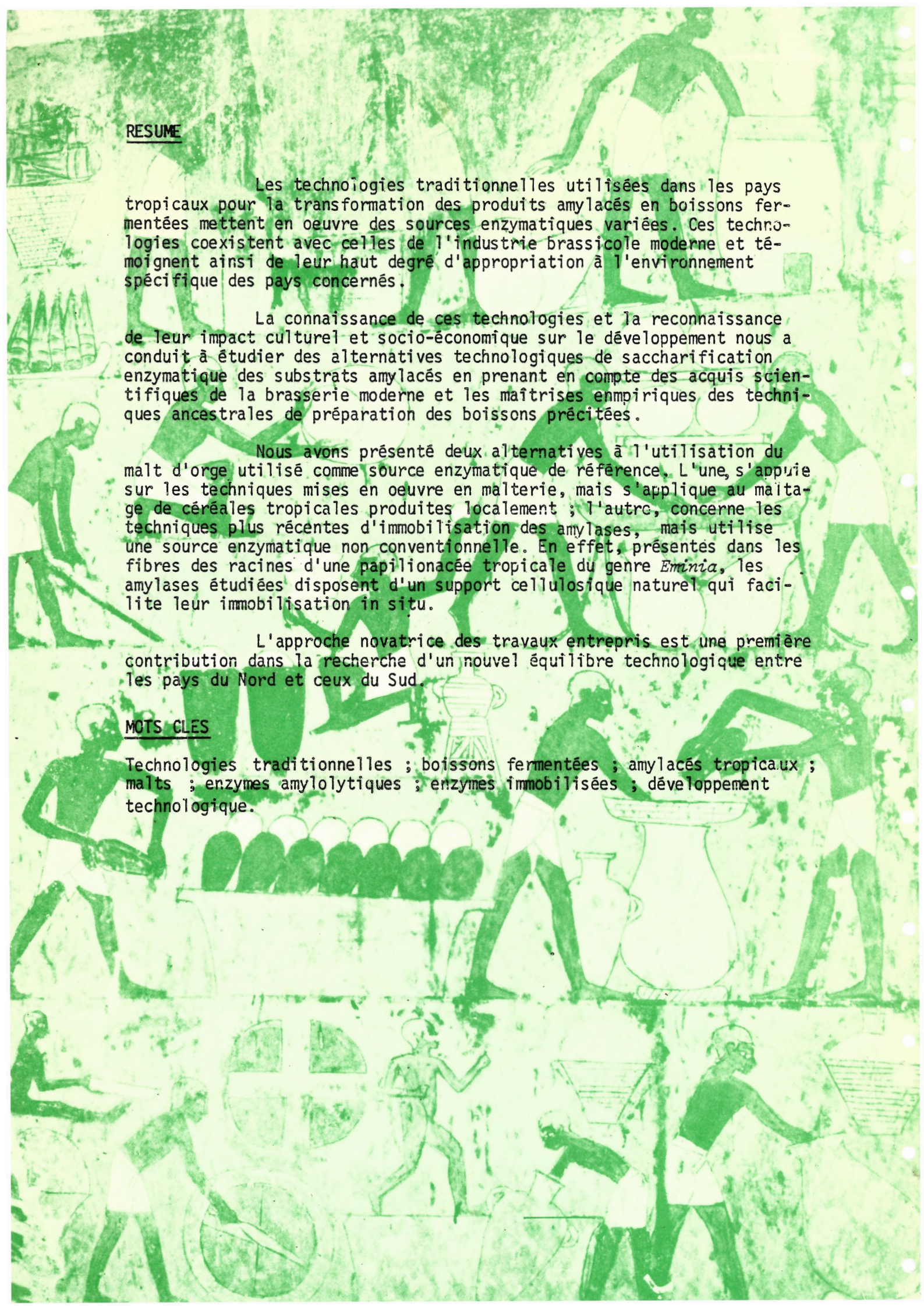
(UI = Unité Internationale d'activité enzymatique).

Les analyses chromatographiques en phase gazeuse pour la détermination des sucres ont été effectuées après silylation des échantillons.

Mode opératoire

- 10 mg de sucres
- 1 ml de pyridine anhydre
- 0,2 ml HMDS (Hexamethyl Disilazane)
- 0,1 ml TMCS (Trimethyl Chlorosilane)

Laisser 5 minutes à température ambiante dans un flacon de petit volume hermétiquement fermé (chauffer quelques minutes à 75° C si la diffusion n'est pas complète). Il se forme un léger précipité de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  blanc. On injecte le surnageant dans la colonne chromatographique. On peut éviter la traînée de pyridine en évaporant et en reprenant par  $\text{CHCl}_3$ .

The background of the page is a detailed illustration in a traditional African style, showing various scenes of brewing and food preparation. It includes figures carrying baskets, people working with large pots, and individuals using traditional tools. The style is reminiscent of ancient Egyptian or African rock art, with a focus on human activity and labor.

## RESUME

Les technologies traditionnelles utilisées dans les pays tropicaux pour la transformation des produits amylicés en boissons fermentées mettent en oeuvre des sources enzymatiques variées. Ces technologies coexistent avec celles de l'industrie brassicole moderne et témoignent ainsi de leur haut degré d'appropriation à l'environnement spécifique des pays concernés.

La connaissance de ces technologies et la reconnaissance de leur impact culturel et socio-économique sur le développement nous a conduit à étudier des alternatives technologiques de saccharification enzymatique des substrats amylicés en prenant en compte des acquis scientifiques de la brasserie moderne et les maîtrises empiriques des techniques ancestrales de préparation des boissons précitées.

Nous avons présenté deux alternatives à l'utilisation du malt d'orge utilisé comme source enzymatique de référence. L'une, s'appuie sur les techniques mises en oeuvre en malterie, mais s'applique au maillage de céréales tropicales produites localement ; l'autre, concerne les techniques plus récentes d'immobilisation des amylases, mais utilise une source enzymatique non conventionnelle. En effet, présentés dans les fibres des racines d'une papilionacée tropicale du genre *Eminia*, les amylases étudiées disposent d'un support cellulosique naturel qui facilite leur immobilisation in situ.

L'approche novatrice des travaux entrepris est une première contribution dans la recherche d'un nouvel équilibre technologique entre les pays du Nord et ceux du Sud.

## MOTS CLES

Technologies traditionnelles ; boissons fermentées ; amylicés tropicaux ; malts ; enzymes amylytiques ; enzymes immobilisées ; développement technologique.