



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

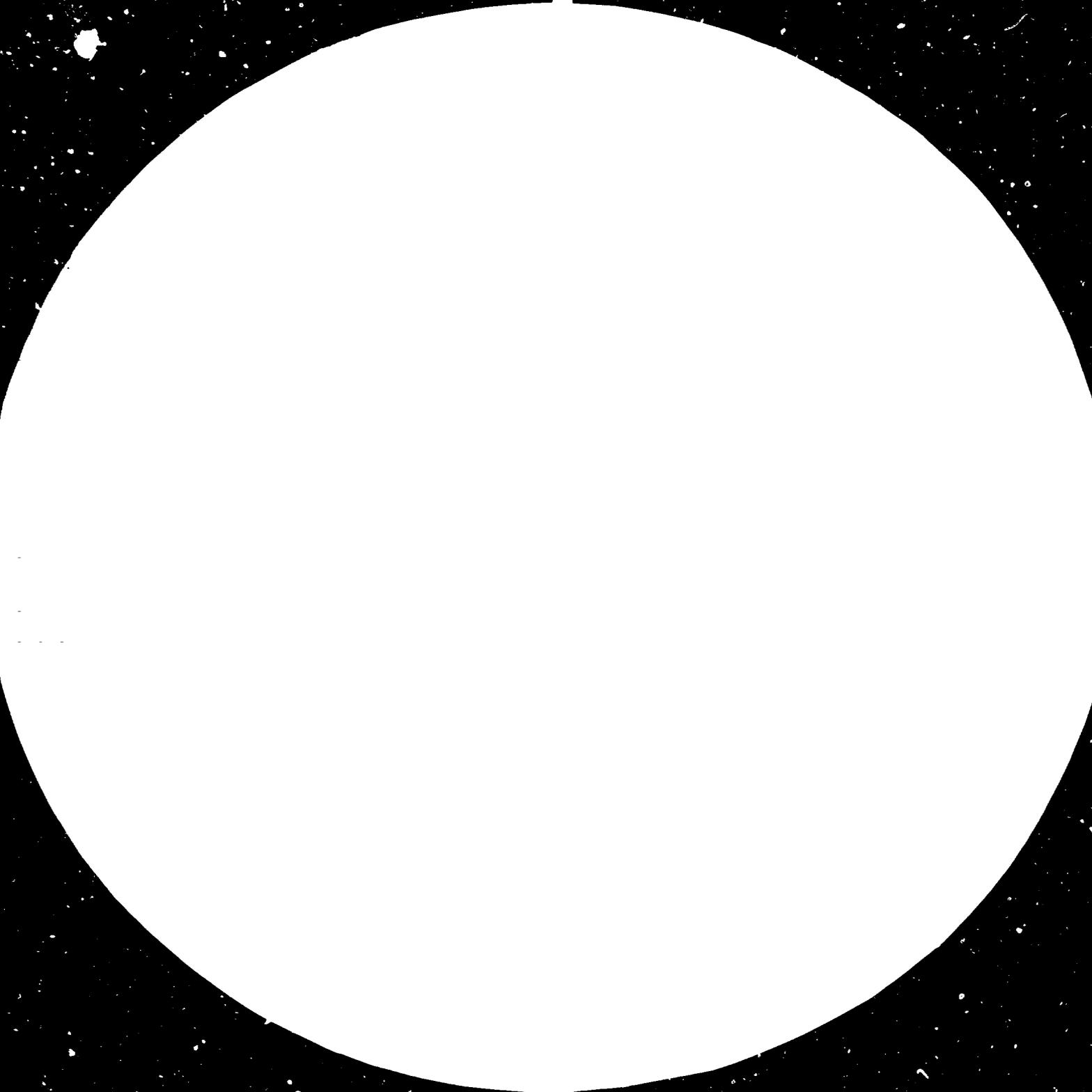
FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

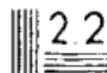




2.8



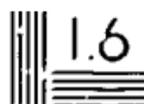
3.2



3.6



4.0



ANSI PRACTICE METHOD FOR MEASURING THE RESOLUTION OF VIDEO DISPLAY TERMINALS

ANSI INC. 1100 17th ST. N.W. WASHINGTON, D.C. 20036

Copyright © 1983 by International Brotherhood of Machine Operators

Published by International Brotherhood of Machine Operators, 1100 17th St. N.W., Washington, D.C. 20036

11867-F

Distr. LIMITEE
UNIDO/IS.336
7 septembre 1982

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

FRANCAIS
Original : ANGLAIS

APPLICATION DE LA BIOTECHNOLOGIE ET DU GENIE GENETIQUE
AUX METHODES AFRICAINES DE FABRICATION D'ALIMENTS FERMENTES*

par

Keith h. Steinkraus**
Consultant de l'ONUFI

603448

* Traduction d'un document n'ayant pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

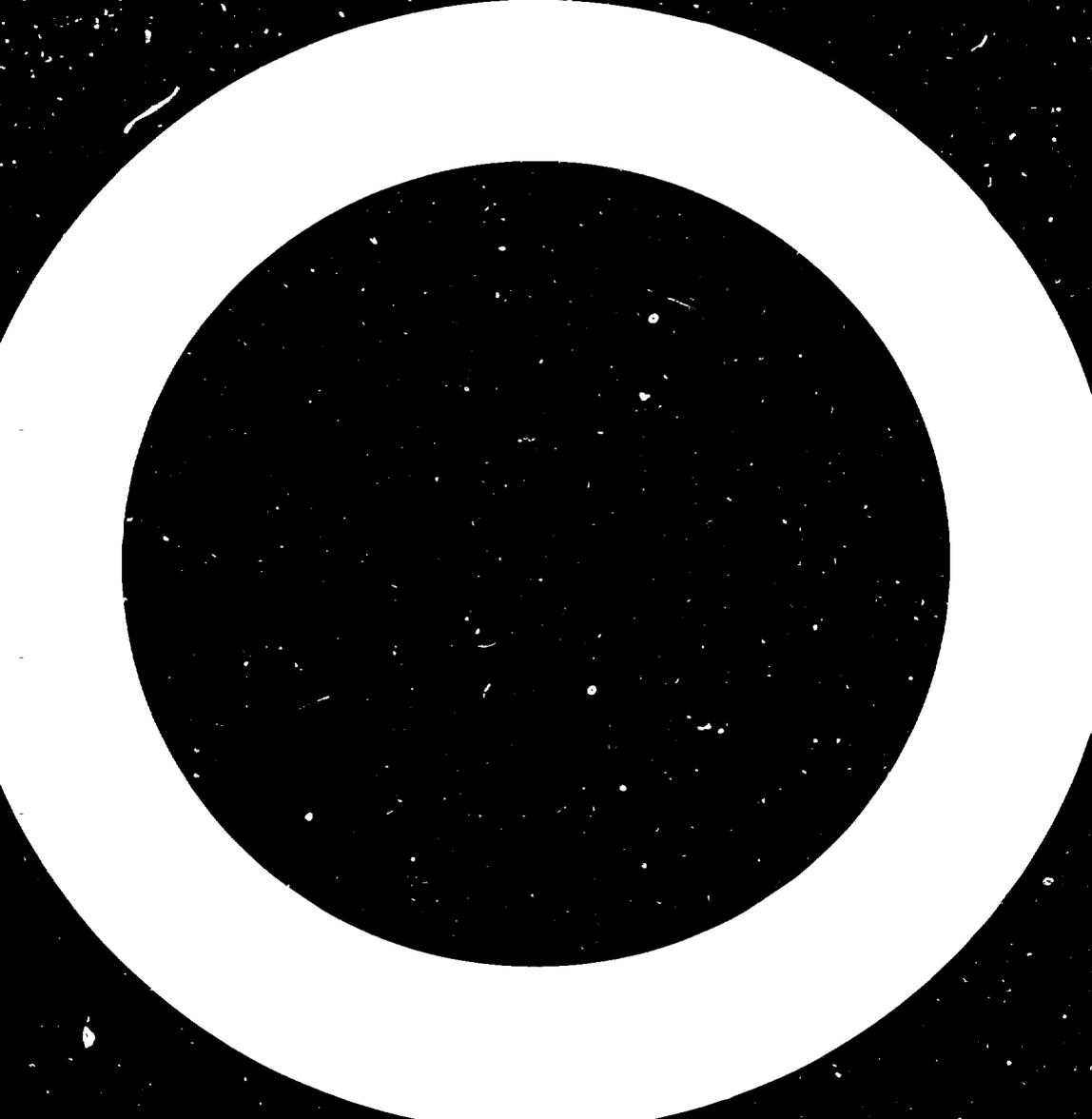
Les opinions exprimées dans ce rapport sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles du Secrétariat de l'ONUFI.

** Professeur de microbiologie et de science de l'alimentation, Institut de science des aliments de l'Université Cornell, Geneva/Ithaca, New York, Etats-Unis.

V.82-30116

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
RESUME.	3 - 5
RECOMMANDATIONS	5 - 8
I. INTRODUCTION.	8
II. LE GENIE GENETIQUE.	9 - 13
III. FERMENTATIONS ALIMENTAIRES.	14 - 19
REFERENCES.	20
APPENDICE :	
QUELQUES EXEMPLES D'ALIMENTS FERMENTES AFRICAINS	21 - 38
A. BIERE DE SORGHO FERMENTEE	21 - 23
B. L'OGI NIGERIAN (PAP).	24
Figure 1.	25
Figure 2.	26
C. GARI.	27 - 31
REGULATION DES PROCESSUS.	31 - 32
Figure 3.	33
Figure 4.	34
D. LE MAHEWU SUD-AFRICAIN.	35 - 36
PRODUCTION DE MAHEWU CONCENTRE (25 % de solides).	36 - 37
Figure 5.	38
REFERENCES.	39 - 40



RESUME

1. Le génie génétique et la biotechnologie, conjugués aux transformations rapides qui interviennent dans le domaine des microprocesseurs et des ordinateurs, provoquent actuellement une révolution dans l'agriculture, la production vivrière, le traitement et la conservation des produits alimentaires, comme dans les sciences de la santé et dans la recherche scientifique. Les micro-organismes, la microélectronique et les microprocesseurs sont au coeur de ces innovations. Cette nouvelle technologie pouvant être très utile aux pays africains, il faudrait les aider à se doter des moyens nécessaires pour l'assimiler et la mettre en oeuvre. Une des nouvelles techniques, la production de protéines unicellulaires (ou microbiennes) pourrait permettre une augmentation sensible de la production d'aliments pour les animaux et des ressources vivrières. Les protéines unicellulaires peuvent être obtenues à partir de dérivés du pétrole, méthanol ou méthane, du gaz de torche, des excédents de fécule ou de mélasse, des déchets lignocellulosiques, et même du monoxyde de carbone. La production de protéines unicellulaires n'exige pas de terre arable. Elle exige du carbone à bas prix pour l'énergie et de l'azote inorganique pour la synthèse des protéines. A l'heure actuelle, en raison du prix élevé du pétrole, la production de protéines unicellulaires à partir de ce substrat est peu économique, excepté là où existent des installations de déparaffinage du pétrole ou de brûlage des sous-produits gazeux. Néanmoins, si l'on parvient à utiliser efficacement des substrats lignocellulosiques pour leur production, les protéines unicellulaires pourront devenir un élément important de l'alimentation animale, ce qui permettra de consacrer à l'alimentation humaine une grande partie des céréales et des légumineuses actuellement utilisées pour nourrir les animaux.

2. Les protéines unicellulaires sont en général des protéines microbiennes obtenues à partir de substrats non comestibles. Il y a en Afrique beaucoup d'aliments fermentés que l'on peut considérer comme résultant de la production de protéines unicellulaires ou protéines de la biomasse microbienne à partir de substrats comestibles. Des études beaucoup plus poussées devraient être entreprises au sujet de ces aliments fermentés indigènes en vue de déterminer les micro-organismes essentiels, la nature des modifications microbiennes, biochimiques et nutritives qu'ils opèrent et les procédés de fermentation optimaux permettant à la fois de conserver aux aliments les meilleures qualités organoleptiques et la valeur nutritive la plus élevée possible, d'assurer leur conservation et de

continuer à les offrir à bas prix aux consommateurs. A cet égard, des aliments comme le gari, préparé à partir de manioc, revêtent une importance particulière. De saveur agréable, le gari est assez riche en calories, mais il est extrêmement pauvre en protéines. En cultivant des micro-organismes appropriés sur le manioc, on peut accroître notablement la teneur en protéines de l'aliment et donc son importance en tant que source d'éléments nutritifs essentiels.

3. Les applications potentielles du génie génétique à la production d'aliments sont nombreuses. L'utilisation de certaines techniques de génie génétique permettant de transférer des gènes fixateurs d'azote à des plantes telles que le maïs, qui normalement ne fixent pas cette substance, réduirait les besoins en engrais coûteux. Grâce à la sélection végétale, on peut créer des variétés à teneur en protéines plus élevée, ce qui améliore la valeur nutritive de l'aliment, ainsi que des variétés plus résistantes aux maladies et aux insectes, ce qui rend moins nécessaire l'utilisation de pesticides coûteux. Là où on cultive des légumineuses, le génie génétique devrait permettre de produire efficacement et à bas prix des rhizobiums à inoculer dans les semences au moment de la plantation. Il est probable que des organismes fixant l'azote peuvent être introduits dans les racines du sorgho et du millet, ce qui permettrait d'utiliser moins d'engrais chimiques. Il faudrait étudier dans chaque pays les micro-organismes, tant symbiotiques que non symbiotiques (libres) qui fixent l'azote. Grâce à ces micro-organismes, il serait moins nécessaire d'avoir recours à des engrais chimiques coûteux. Les micro-organismes indigènes qui existent dans les sols africains, dans les racines ou les nodules des plantes africaines et dans les aliments fermentés africains constituent une ressource précieuse, en grande partie inexploitée. Qui sait combien d'antibiotiques nouveaux, de grande utilité, ils permettront de fabriquer ? Combien d'entre eux fixent l'azote ? Combien produisent des quantités inhabituelles d'acides aminés tels que la lysine et la méthionine ? Combien pourraient servir à produire des vitamines ou des enzymes ? Les souches qui se sont adaptées à un environnement semi-aride peuvent être très différentes de celles que l'on trouve dans les régions tropicales humides. Combien aussi de ces micro-organismes pourraient s'avérer extrêmement utiles pour de futures applications du génie génétique ? Partout où cela est possible et chaque fois que cela est possible, il faudrait déterminer les caractéristiques des souches microbiennes indigènes africaines et incorporer ces souches dans les collections internationales de cultures telles que la Fédération mondiale des collections de cultures (WFCC) et le Centre mondial de données (Microbiological Resource Center (MIRCEN)) de l'Université du Queensland, Brisbane (Australie).

4. L'Afrique est riche aussi en résidus lignocellulosiques, tels que la bagasse ou les résidus de la noix de coco, du manioc, de l'ananas, du café, du sisal, et en sous-produits de l'industrie alimentaire, mélasse par exemple, qui pourraient être transformés en produits utiles. En Inde et en Chine, on utilise depuis longtemps les déchets humains et animaux pour obtenir par fermentation du méthane servant à la cuisson des aliments. Ces déchets peuvent tout aussi bien être utilisés comme source de combustible en Afrique. Les résidus de la production du méthane sont utilisables comme engrais et la digestion initiale détruit les germes pathogènes et les parasites, ce qui rend moins risquée l'utilisation des déchets humains comme engrais. Les excédents de manioc ou de mélasse peuvent facilement être convertis en alcool éthylique ou en autres produits précieux tels que les protéines unicellulaires. Les déchets lignocellulosiques comme la paille peuvent facilement être utilisés pour la culture de champignons comestibles comme il a été amplement démontré en Asie du Sud-Est. Les meules usées sont d'excellents agents d'amendement et apportent de l'azote au sol.

5. La découverte d'un édulcorant des protéines, la "taline" extraite d'un fruit d'Afrique occidentale Thaumatococcus daniellii, peut s'avérer très intéressante du point de vue commercial. La "taline" est 2 500 fois plus sucrée que le saccharose et l'on a prouvé qu'elle n'était pas toxique. Elle peut donc être utilisée pour sucrer un grand nombre d'aliments et en particulier les aliments pauvres en calories qui prennent de plus en plus d'importance dans le monde occidental surnourri.

RECOMMANDATIONS

6. Dans chaque pays, le ministère de l'agriculture et le ministère de la santé devraient désigner chacun un ou plusieurs scientifiques chargés de coordonner le progrès des applications du génie génétique et de la biotechnologie. Les deux personnes ou les deux équipes désignées devraient collaborer étroitement et coordonner les efforts visant à développer les applications du génie génétique dans le domaine de la production agricole et de l'industrie alimentaire et dans le domaine de la médecine et de la santé.

7. Si, comme il a été recommandé à l'ONUDI, un centre international pour le génie génétique et la biotechnologie est créé, chaque pays devrait, si possible, y envoyer en stage un ou plusieurs spécialistes de la microbiologie, de la génétique ou de la biologie moléculaire.

8. Chaque pays devrait envoyer des étudiants dans des établissements universitaires tels que la Stanford University ou le Massachusetts Institute of Technology (MIT) pour y recevoir une formation spécialisée dans tous les domaines de la biochimie, de la génétique, de la biologie moléculaire et de la microbiologie qui ont un rapport avec le génie génétique et la biotechnologie. A leur retour, ces étudiants pourraient constituer le noyau d'un centre de génie génétique et de biotechnologie créé dans le pays.

9. Dans chaque pays, il faudrait étudier de façon approfondie les aliments fermentés indigènes en vue de déterminer la nature et la fonction des micro-organismes ou des séries de micro-organismes indispensables à la fermentation. Une fois identifiés, ces micro-organismes devraient être incorporés dans les collections de la Fédération mondiale des collections de cultures (WFCC) et du Centre mondial de données de l'Université du Queensland, Brisbane (Australie).

10. Dans chaque pays, il faudrait étudier attentivement les méthodes indigènes de fermentation du point de vue biotechnique, en vue de moderniser, de développer et finalement d'industrialiser la production d'aliments fermentés. On parviendra ainsi à produire efficacement des aliments de qualité, possédant une valeur nutritive optimale, à commercialiser dans les centres urbains.

11. Chaque ministère de l'agriculture devrait, si cela n'a pas déjà été fait, créer une division des micro-organismes symbiotiques et non symbiotiques qui fixent l'azote. Cette division devrait isoler et identifier les souches et les classer en fonction de leur capacité à fixer l'azote. Il faudrait cultiver les souches de rhizobium liées à chacune des plantes légumineuses cultivées dans le pays, les conserver sous forme viable et les distribuer aux agriculteurs, ce qui réduirait les besoins en engrais azotés et permettrait d'accroître le rendement de ces cultures.

12. Dans chaque ministère de l'agriculture, il devrait y avoir une division chargée de promouvoir une utilisation plus efficace des déchets de l'agriculture et de l'industrie alimentaire ou des sous-produits excédentaires : paille, mélasse, lait de coco, déchets de la transformation du manioc, etc. Cette division superviserait aussi l'installation de générateurs de biogaz utilisant des déchets humains, animaux et autres.

13. Il est recommandé que l'ONUJI (Section de la mise au point et du transfert des techniques/Division des études industrielles) joue le rôle d'agent de liaison et de centre d'échange d'informations pour ce qui concerne les activités menées dans chaque pays dans le domaine du génie génétique et de la biotechnologie. Si les scientifiques désignés par les ministères de l'agriculture et de la santé entretiennent des relations avec l'ONUJI, l'ONUJI pourra publier un bulletin grâce auquel chacun sera informé des innovations.

14. Il est recommandé que les pays d'Afrique se mettent en relation, s'ils ne l'ont déjà fait, avec les responsables suivants des Microbiological Resources Centers (MIRCENS) du programme UNEP/UNESCO/ICRO :

1. Professeur S.O. Keya, Rhizobium MIRCEN, Département de pédologie et de botanique, Université de Nairobi, Boîte postale 30197, Nairobi (Kenya);
2. Professeur A.Y. Gibriel, Biotechnology MIRCEN, Université Ain Shams, Faculté d'agriculture, Shobra-Khaima, Le Caire (République arabe d'Egypte),
3. Professeur V.B.D. Skerman, World Data Centre MIRCEN, Département de microbiologie, Université du Queensland, St. Lucia, Brisbane, Queensland 4067 (Australie);
4. Professeur C.G. Heden, Biotechnology MIRCEN, Département de bactériologie, Karolinska Institutet, Fack, S-104 01 Stockholm (Suède);
5. Professeur P. Atthasampunna, Fermentation, Food and Waste Recycling MIRCEN, Institut thaïlandais de recherche scientifique et technique, 196 Phahonyothin Road, Bangken, Bangkok 9 (Thaïlande);
6. Professeur C.A. Rolz, Biotechnology MIRCEN, Division de recherche appliquée, Institut centraméricain de recherche et de technologie industrielle (ICAITI), Ave. La Reforma 4-47 Zone 10, Apartado Postal 1552, Guatemala.

15. Les MIRCENS sont un programme mondial ayant pour objectif de conserver des collections de gènes microbiens et de permettre aux pays en développement d'y avoir accès.

Ils ont pour mission de :

- a) Constituer l'infrastructure d'un réseau mondial au sein duquel des laboratoires coopéreraient au niveau régional et interrégional pour la gestion, la distribution et l'utilisation de la collection de gènes microbiens;

- b) Intensifier les efforts relatifs à la conservation, dans les pays en développement, de micro-organismes et en particulier de collections de gènes de rhizobium, pour les besoins de l'agriculture;
- c) Favoriser la mise au point de nouvelles techniques peu coûteuses adaptées à la région;
- d) Promouvoir les applications de la microbiologie susceptibles de renforcer les économies rurales;
- e) Servir de centres de formation de personnel et de diffusion de connaissances microbiologiques.

I. INTRODUCTION

16. La superficie totale des terres cultivables dans le monde ne peut être accrue de manière significative et on assiste à une régression permanente des terres cultivées du fait de la désertification, phénomène qui frappe tout particulièrement le continent africain. Etant donné que la population mondiale aura vraisemblablement doublé en l'an 2000, la consommation alimentaire par habitant ne pourra que très difficilement être maintenue à son niveau actuel. En fait, elle risque même de diminuer dans l'Afrique sud-saharienne. Quels sont les moyens qui pourraient être mis en oeuvre afin d'enrayer cette diminution inquiétante de la production et de la consommation alimentaire ? Tout d'abord, il conviendrait de mettre davantage l'accent sur la sélection de plantes offrant une plus grande résistance naturelle aux insectes et aux parasites et une plus grande valeur nutritive. Il faudrait également insister davantage sur l'utilisation d'agents pathogènes naturels pour la lutte contre les insectes. Deuxièmement, il conviendrait de généraliser l'utilisation des nouvelles hormones de croissance qui accélèrent la croissance des jeunes animaux ou augmentent la production de lait et de développer la fabrication des vaccins et l'usage des antibiotiques pour lutter contre les maladies des animaux et aussi pour favoriser une croissance rapide. Le génie génétique fournira vraisemblablement les instruments nécessaires à la réalisation de tels changements. La part de la production alimentaire détruite sous l'action des insectes, des rongeurs et des microbes se situe entre 25 % et 60 %. Une partie au moins de ces pertes pourrait être évitée en utilisant des méthodes appropriées pour la récolte et le traitement de la récolte. Les techniques de fermentation, très répandues en Afrique, peuvent être utilisées pour accroître la production alimentaire, grâce à la production de protéines unicellulaires à partir de substrats non comestibles ou de protéines de la biomasse microbienne à partir de substrats comestibles, et aussi pour transformer ou conserver les denrées alimentaires. Les aliments fermentés tels

que l'ogi nigérian, l'uji kenyan, le mahewu sud-africain, le gari nigérian, le kenkey ghanéen et la bière de sorgho (bantoue) occupent une place importante dans le régime alimentaire et la plupart de ces fermentations peuvent être améliorées et développées.

II. LE GENIE GENETIQUE

17. Des micro-organismes fossiles ont été trouvés dans des roches vieilles de 3,5 milliards d'années et il est probable que toute la vie sur la terre s'est développée à partir de micro-organismes. La vie, sous toutes ses formes, dépend sans aucun doute dans une large mesure des micro-organismes qui recyclent constamment le carbone, l'azote, l'oxygène et le soufre dans l'environnement.

18. Il y a cent ans, on ne savait pas grand-chose sur les bactéries, les levures, les moisissures, les algues, les protozoaires et les virus; mais, depuis lors, les savants ont étudié attentivement aussi bien les effets bénéfiques des micro-organismes que leurs effets néfastes, tels que les maladies des animaux et des plantes, la décomposition des aliments, etc. Un progrès considérable a été réalisé lorsque les spécialistes de la biologie moléculaire et de la génétique microbienne ont découvert la base biochimique du code génétique de toutes les cellules, l'acide désoxyribonucléique (ADN). L'ADN dirige la synthèse de toutes les protéines (et par conséquent de tous les enzymes), contrôlant ainsi la structure physique, la croissance et la reproduction. Plus récemment, des savants sont parvenus à synthétiser des molécules d'ADN en laboratoire et à mettre au point une méthode permettant de combiner ces séquences codées de nucléotides à l'ADN des cellules qui peuvent ainsi fabriquer certains produits utiles à l'homme et appréciés sur le marché. La technique consistant à ajouter des gènes à des micro-organismes unicellulaires est appelée génie génétique. En raison de l'intérêt commercial potentiel du génie génétique, des entreprises commerciales ont été créées, dont certaines dans le cadre d'accords d'association conclus avec de grandes universités.

19. Dans les pays développés, on pense que le génie génétique va déboucher, dans les années qui viennent, sur une nouvelle industrie génératrice de milliards de dollars. Les pays en développement doivent donc s'intéresser à cette nouvelle technologie, s'ils ne veulent pas que certains de ses avantages potentiels leur échappent.

20. Comment le génie génétique et la biotechnologie peuvent-ils devenir utiles aux pays en développement d'Afrique ? L'ONUDI a recherché, de manière très active, les voies et moyens grâce auxquels ces nouvelles techniques pourront être mises à leur service. Le génie génétique permet d'accroître la production alimentaire en modifiant la constitution génétique des plantes, en incorporant des gènes fixateurs d'azote dans les plantes céréalières qui, de ce fait, ne nécessitent plus autant d'engrais, en améliorant la résistance des plantes aux insectes, en rendant l'agriculteur moins dépendant de pesticides importés dangereux et en agissant sur la valeur nutritionnelle des aliments grâce à l'incorporation d'ADN synthétique qui provoque la production d'acides aminés essentiels tels que la lysine et la méthionine. On espère également pouvoir un jour produire des organismes "artificiels" mieux capables qu'aujourd'hui de décomposer par hydrolyse la lignine et la cellulose, ce qui permettra de libérer les énormes quantités de glucose actuellement "emprisonnées" dans la cellulose; ce glucose pourra servir à la fabrication de produits fermentés utiles.

21. Le génie génétique est une science très complexe et relativement coûteuse, impliquant une collaboration étroite entre microbiologues, biochimistes, généticiens et spécialistes de la biologie moléculaire, et exigeant un matériel d'analyse informatisé très perfectionné et toute une série de produits chimiques et biochimiques relativement onéreux.

22. Jusqu'ici le génie génétique a permis surtout de produire des protéines (polypeptides) et notamment des hormones, des enzymes, des anticorps et des vaccins. Un bon exemple, à cet égard, est l'insuline, indispensable pour le maintien en bonne santé des diabétiques. L'insuline peut être extraite de pancréas humains ou animaux, synthétisés chimiquement, produite par des cellules de pancréas en culture de tissus ou bien obtenue par fermentation microbienne en utilisant des cellules génétiquement modifiées. Pour déterminer le meilleur procédé industriel, il est nécessaire d'analyser le coût des matières premières, des opérations de récupération et de purification, de la main-d'oeuvre et des équipements et de s'assurer que l'insuline obtenue peut être injectée à des patients humains. Les méthodes de fermentation permettent actuellement d'obtenir un gramme environ d'insuline pour 2 000 litres, alors que 16 grammes de pancréas animal en fournissent la même quantité. L'insuline synthétisée génétiquement doit encore être homologuée par la Food and Drug Administration des Etats-Unis avant de pouvoir être utilisée pour le traitement de patients. Des essais cliniques devront être effectués afin de prouver que ce produit est à la fois sûr et efficace.

23. Parmi les autres produits que l'on s'efforce de fabriquer au moyen des techniques du génie génétique, citons : l'hormone de croissance humaine utilisée contre la décalcification osseuse, l'hormone parathyroïde également utilisée pour le traitement de l'ostéoporose, les antigènes utilisés pour la fabrication de vaccins, l'interféron utilisé pour le traitement d'infections virales ou de cancers, ainsi que les anticorps utilisés pour le traitement de diverses maladies.

24. L'industrie alimentaire a été la première à recourir à la biotechnologie. On estime qu'il existe 700 entreprises dans le monde qui utilisent des méthodes de fermentation pour fabriquer toute une gamme de produits. Initialement, on utilisait les moisissures, les levures et les bactéries pour les fermentations. Depuis quelques années, on utilise des cellules de plantes et d'animaux provenant de cultures de tissus. Dans des conditions déterminées, il est possible de fabriquer d'importantes quantités de cellules présentant des caractéristiques uniformes. Jusqu'à une période récente, la méthode utilisée pour fabriquer un produit donné consistait à rechercher un organisme produisant ce même produit. C'était le cas pour bon nombre d'antibiotiques, dont la pénicilline et la streptomycine, par exemple. Grâce au génie génétique, on peut maintenant "façonner sur mesure" les cellules afin de leur faire fabriquer des composés qu'elles n'auraient pu produire naturellement. Par exemple, on peut coder Escherichia coli, bactérie intestinale commune, avec de l'ADN synthétique pour lui faire produire de l'insuline, de l'interféron, de l'hormone de croissance humaine, des protéines à teneur accrue en acides aminés essentiels ainsi que des enzymes présentant un intérêt particulier du point de vue scientifique et commercial.

25. Des gènes fixateurs d'azote ont été transférés dans des levures, ce qui a ouvert la voie à la production d'engrais azotés par fermentation. Toutefois, il convient également de noter que l'on a découvert que certains aliments fermentés selon les méthodes traditionnelles, tels que le tempeh indonésien, contiennent un fixateur naturel de l'azote, Klebsiella pneumoniae. Il faudrait continuer à étudier les organismes de ce type afin de déterminer s'il ne serait pas possible de les produire de manière efficace par fermentation et d'en tirer de l'azote pour les engrais et d'autres produits, K. pneumoniae, par exemple, produit aussi de la vitamine B-12.

26. Jusqu'ici, le génie génétique n'a pas permis de produire des antibiotiques non protéiques. Toutefois, les techniques de mutation de la structure génétique des micro-organismes producteurs originels ont permis d'accroître considérablement la production d'antibiotiques.

27. Les micro-organismes et les techniques de fermentation sont manifestement les éléments de base requis pour l'utilisation du génie génétique et de la biotechnologie. La flore microbienne indigène d'un pays et ses techniques de fermentation actuelles peuvent ainsi servir de point de départ pour la mise en oeuvre de ces nouvelles technologies.

28. Pour disposer des compétences nécessaires, chaque pays devra prévoir l'envoi d'un certain nombre de jeunes scientifiques dans des centres de génie génétique où ils seront formés aux techniques de pointe dans ce domaine. Il a été recommandé à l'ONUDI de créer un Centre international pour le génie génétique et la biotechnologie (CIGGB) afin d'assurer la formation du personnel des pays en développement. Ce centre jouera un rôle très important dans la diffusion des techniques de génie génétique et de biotechnologie dans le monde en développement.

29. L'application de la biotechnologie et du génie génétique a pour condition préalable, dans chaque pays ou région, une réévaluation des quantités totales disponibles et des coûts prévisibles des matières premières : hydrocarbures, gaz de torche, déchets lignocellulosiques (bagasse, paille, déchets humains et animaux, etc.) et sous-produits de l'industrie de transformation alimentaire tels que les mélasses, l'eau de noix de coco, la fécule de manioc et les résidus de la transformation du manioc. La plupart de ces renseignements sont peut-être déjà disponibles au ministère de l'agriculture. Les matières premières actuellement utilisées pour la production alimentaire ne devraient pas être incluses dans la liste, puisqu'il existe déjà dans de nombreuses régions une pénurie de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux. La possibilité de produire des protéines unicellulaires dans un pays dépendra de l'existence de substrats de carbone bon marché, hydrocarbures ou hydrates de carbone. Si, dans l'alimentation animale, on remplace, ne serait-ce qu'en partie, les céréales et les légumineuses par des protéines unicellulaires, on accroît la quantité de céréales et de légumineuses disponibles pour l'alimentation humaine et l'utilisation des protéines unicellulaires peut permettre aussi d'augmenter la production animale et, partant, la proportion de viande dans le régime alimentaire.

30. Si l'on dispose de déchets humains et animaux, on peut produire du combustible de cuisson au moyen de générateurs de gaz de fermentation. Ces générateurs, qui se sont révélés très utiles en Inde et en Chine, permettent de remédier à la pénurie, fréquente, de combustible de cuisson et les déchets qui ont servi de matière première peuvent encore être utilisés comme engrais.

31. On peut obtenir à partir de la fermentation d'excédents de mélasses ou de féculs de manioc bon marché de l'alcool, des protéines unicellulaires ou d'autres produits pouvant être vendus sur le marché intérieur ou à l'exportation. Et, en fait, bien que l'éthanol soit le produit principal, les cellules résiduelles de levure deviennent un produit intéressant en tant qu'ingrédient de l'alimentation humaine ou animale.

32. Les techniques de génie génétique comportent toujours une fermentation au cours de laquelle le micro-organisme "manipulé" est mis en culture pour produire la substance désirée. Ainsi, les fermentations alimentaires africaines, en particulier celles qui ont déjà été industrialisées (ogi et gari nigériens, mahewu sud-africain et bière bantoue) constituent une base à partir de laquelle le génie génétique pourra être développé.

33. Il conviendrait d'identifier les micro-organismes essentiels qui agissent dans chacune des fermentations alimentaires indigènes et de déterminer les changements biochimiques, nutritionnels et organoleptiques qui se produisent dans le substrat sous l'action microbienne.

34. Les micro-organismes les plus aptes à produire des acides organiques tels que les acides lactiques, citriques ou acétiques, des acides aminés essentiels tels que la lysine ou la méthionine, des vitamines telles que la thiamine, la riboflavine ou la vitamine B-12, ou encore des enzymes tels que l'amylase, la protéase, la lipase ou le pectinase peuvent servir de base pour la fabrication à l'échelle industrielle de produits destinés à la consommation intérieure ou à l'exportation. Dès que l'on a déterminé qu'un organisme se prêtait tout particulièrement à la production de produits commercialisables, il devient possible d'accroître l'efficacité de la production en sélectionnant les mutants.

35. Lorsqu'on a isolé, identifié et étudié les micro-organismes essentiels des fermentations traditionnelles et qu'on a analysé les produits, les conditions de croissance et l'enzymologie, il ne reste qu'un pas à faire pour optimiser chaque fermentation en vue de produire efficacement des aliments fermentés de haute qualité. Grâce aux données dont on dispose, on peut mettre au point relativement rapidement des procédés de fabrication en usine pilote (petite usine), puis passer à une production industrielle du niveau requis pour répondre aux besoins des grandes villes.

III. FERMENTATIONS ALIMENTAIRES

36. La fermentation est l'une des plus anciennes méthodes de transformation et de conservation des aliments destinés à l'homme et elle demeure l'une des plus économiques. Les pains fabriqués avec de la farine de blé ou de seigle et du levain constituent l'un des aliments de base dans les pays développés. Les Indiens ont mis au point un procédé de fermentation (Idli/Dosai indien) permettant de fabriquer un produit ayant la texture du pain avec du riz et des légumineuses. Ce procédé ne nécessite ni oeufs ni lait et sera probablement largement employé au cours des prochaines années. Il s'agit fondamentalement d'une fermentation lactique dans laquelle le micro-organisme essentiel est le *leuconostoc méésentéroïde*.

37. La plupart des êtres humains aiment la saveur de la viande, mais des millions de personnes n'ont pas les moyens d'acheter beaucoup de viande pour leur consommation. La fermentation de la sauce de soja/shoyu, utilisée en Asie, est un des procédés permettant d'obtenir des produits ayant la saveur de la viande à partir de substrats de céréales ou de légumineuses. Les micro-organismes essentiels sont *Aspergillus oryzae* qui fournit les enzymes amylolytiques et protéolytiques nécessaires à l'hydrolyse des amidons en sucre et des protéines en acides aminés et en peptides, une espèce de lactobacille qui produit de l'acide lactique et *Saccharomyces rouxii* qui produit de l'alcool au cours de la fermentation dans une saumure à forte teneur en sel. Autrefois, le maïs était utilisé comme substrat pour la production de sauces ayant un goût de viande. La noix de coco permet également d'obtenir des produits de ce genre. La production de sauces à saveur de viande est donc facilement réalisable en Afrique à partir de produits locaux.

38. Il convient de noter que c'est la fermentation de la sauce de soja/miso qui est à l'origine de l'importante et lucrative industrie internationale actuelle des enzymes ainsi que de l'énorme production de glutamate monosodique et de nucléotides utilisés comme agents de sapidité.

39. Les textures carnées sont également très recherchées par une grande partie de la population du globe. Les pays occidentaux industrialisés ont dépensé des centaines de millions de dollars pour fabriquer des aliments à texture carnée à partir de protéines végétales. Les principaux procédés utilisés sont l'extrusion d'isolats de protéines de céréales ou de légumineuses au travers de matrices en platine afin d'obtenir des fibres qui peuvent ensuite être traitées et transformées

en substituts de la viande, ou l'extrusion de pâtes de céréales ou de légumineuses pour obtenir des boulettes "à macher". En Angleterre, Rank, Hovis MacDougall ont mis au point un produit de substitution de la viande, qui est en fait à base de protéine unicellulaire, en cultivant dans de vastes réservoirs une moisissure comestible sur de l'amidon peu coûteux. Le mycélium de la moisissure est récupéré par filtration, puis on y incorpore des agents de sapidité et des graisses carnées; les produits ainsi obtenus sont utilisés dans l'alimentation à la place de la viande. C'est le mycélium de la moisissure qui donne la texture carnée.

40. Il est à noter cependant que les Indonésiens ont découvert il y a plusieurs siècles un procédé permettant de cultiver du mycélium de moisissure sur des fèves de soja. L'action de la moisissure transforme les fèves de soja décortiquées et partiellement cuites en un tourteau ayant la texture de la viande et qui, découpé en fines tranches ou en morceaux, peut remplacer la viande dans l'alimentation. Ce produit s'appelle "tempeh". Le procédé est peu coûteux et peut être mis en oeuvre au niveau du village ou de chaque foyer. Le "tempeh" a une teneur en protéines au moins aussi élevée que la viande et, grâce à sa texture, il enrichit le régime alimentaire des Indonésiens. Son prix le met à la portée de tous. De plus, étant donné que la fermentation permet de ramener le temps de cuisson des fèves de soja de six heures à cinq minutes (friture) ou à 10 minutes (dans de l'eau en ébullition), le "tempeh" est l'un des premiers aliments à cuisson rapide du monde. En outre, comme si toutes ces qualités ne suffisaient pas, sa fermentation lui apporte de la vitamine B-12. Cette vitamine est généralement fournie par les produits d'origine animale, tels que le lait ou la viande. Les végétariens peuvent être atteints d'anémie pernicieuse, car leur alimentation ne contient pas assez de vitamine B-12. Le "tempeh" produit en Indonésie renferme de la vitamine B-12 pour satisfaire les besoins nutritionnels si la teneur quotidienne de protéines est fournie par cet aliment.

41. Cela fait également plusieurs siècles que, grâce à la fermentation "tape ketan", les Indonésiens savent doubler la teneur du riz en protéines, en augmentant sélectivement de 15 % la teneur en lysine, acide aminé limitant, et en multipliant par trois la teneur en thiamine. Cet accroissement de la teneur en protéines est dû essentiellement à l'utilisation d'une partie de l'amidon pendant la croissance de la moisissure et de la levure en fermentation. Une fermentation analogue dite "tape ketella" permet de doubler ou même de quadrupler le contenu protéique du manioc pour le bénéfice nutritionnel du consommateur. On pourrait avoir recours à une fermentation similaire pour accroître la teneur protéique du manioc africain.

42. Tous ceux qui participent à la recherche sur les aliments fermentés indigènes reconnaissent que l'on a à peine commencé à prospecter la véritable mine d'informations disponibles sur d'autres aliments fermentés utilisés quotidiennement dans de nombreuses régions du monde relativement isolées. Il est indispensable de recenser tous les procédés existants, de déterminer quels sont les micro-organismes essentiels, d'étudier les modifications biochimiques subies par les protéines, les lipides, les vitamines et autres éléments des substrats, de déterminer les saveurs et les textures des aliments produits ainsi que les méthodes servant à les contrôler et, enfin, d'informer plus largement le monde des moyens permettant de cultiver des micro-organismes sur des substrats comestibles afin qu'ils fournissent une part plus importante des protéines et des éléments nutritifs dont l'homme disposera dans les années à venir.

43. Okafor (1981) a suggéré une série de mesures en vue d'améliorer les aliments fermentés consommés dans l'Afrique sud-saharienne. Le programme proposé était le suivant : 1) isolement et identification des micro-organismes intervenant dans les fermentations, 2) détermination du rôle joué par chaque micro-organisme, 3) sélection et amélioration génétique du ou des micro-organismes essentiels, 4) meilleure régulation de la fermentation, 5) amélioration des substrats bruts, 6) production en laboratoire d'aliments fermentés, 7) exploitation en usine pilote des procédés mis en oeuvre en laboratoire et 8) production industrielle des aliments fermentés.

44. Quatre aliments fermentés africains sont produits industriellement : la bière de kafir sorgho, l'ogi et le gari au Nigéria et le mahewu en Afrique du Sud. L'ogi est une bouillie aigre, de consistance onctueuse, dont le goût rappelle celui du yaourt et qui est obtenue par fermentation du maïs, du sorgho ou du millet. Cette fermentation est naturelle et un grand nombre de micro-organismes - moisissures, levures et bactéries sont présents au départ. Lactobacillus plantarum semble être le micro-organisme essentiel (Banigo et Muller, 1972). L. plantarum peut utiliser les dextrines après fermentation des sucres présents à l'origine. On a isolé Aerobacter cloacae, qui est peut-être partiellement responsable de l'accroissement de la teneur de l'ogi en riboflavine et en niacine, et on a montré que Corynebacterium sp. peut hydrolyser l'amidon et produire des acides organiques. Saccharomyces cerevisiae et Candida mycoderma contribuent à la saveur obtenue (Akinrele, 1970). Banigo et al (1974) ont suggéré d'injecter un mélange de Lactobacillus plantarum, Streptococcus lactis et Saccharomyces rouxii. Il est clair que l'ogi est le résultat d'une fermentation complexe dont les principaux agents n'ont pas encore été totalement identifiés.

45. Le gari nigérian se présente sous forme de granules amylacées. Il est obtenu à partir du manioc (Manihot esculenta) par fermentation acide de la pulpe rapée du tubercule, suivie d'une dessiccation par la chaleur (garification) qui gélatinise, semi-dextrinise et déshydrate la pulpe. Le gari est particulièrement intéressant parce que le manioc qui sert à le fabriquer est un des principaux aliments des populations pauvres. Il contient généralement moins de 1% de protéines et ne peut donc, à lui seul, satisfaire les besoins en la matière. Pour la consommation, on plonge le gari dans de l'eau bouillante, ce qui le transforme en une pâte malléable, semi-solide. Son volume triple au cours de la cuisson. Il s'agit donc d'un féculent aux caractéristiques fonctionnelles très particulières qui pourrait très bien être incorporé dans d'autres aliments.

46. Collard et Leu (1959) ont découvert que Corynebacterium sp. et Geotrichum candidum étaient les principaux agents de cette fermentation. Okafor (1977) a dénombré cinq genres de micro-organismes dans la fermentation du gari : Leuconostoc, Alcaligines, Corynebacterium, Lactobacillus et Candida. Seuls Leuconostoc, Candida et Alcaligines étaient présents en quantité significative, mais Alcaligines disparaissait au bout de deux jours. Les agents essentiels de la fermentation du gari semblaient donc être Leuconostoc et Candida. Ces études montrent combien il est difficile d'identifier les micro-organismes essentiels qui interviennent dans les fermentations naturelles mixtes. Il y en a souvent plusieurs qui agissent à tour de rôle, comme on l'a montré il y a plusieurs années pour la choucroute (Pederson et Albury, 1969).

47. Il existe de nombreux autres éléments fermentés en Afrique. La fermentation de certains est complexe. C'est le cas, par exemple, du kende, aliment de base au Ghana, obtenu par fermentation de boules de pâte de maïs. Les grains de maïs sont lavés, trempés dans de l'eau pendant 12 à 48 heures, finement moulus, humidifiés, puis la mouture est tassée dans des fûts, où elle subit une fermentation anaérobie pendant un à trois jours. Une partie de la pâte en fermentation est cuite puis mélangée à la pâte restante; la mixture obtenue est façonnée en boules d'environ 9 cm de diamètre ou en cylindres que l'on entoure de feuilles de bananier sèches et que l'on cuit à l'eau bouillante (Christian, 1966; Nyako, 1977). La fermentation du kenkey est entièrement naturelle. Au départ, les grains de maïs renferment diverses moisissures (Aspergillus, Penicillium et Rhizopus) qui, avec un coccus gram-négatifs et catalase-positif sont les principaux agents au début de la fermentation. Les champignons disparaissent de même que, au bout de

deux jours, les cocci gram-négatifs. Les cocci gram-positifs, catalase négatifs producteurs d'acides (probablement Leuconostoc) apparaissent au bout d'environ neuf heures et leur nombre atteint un maximum entre 24 et 36 heures. On note la présence de Lactobacillus brevis et d'autres lactobacilles ainsi que d'Acetobacter. Les levures, y compris Saccharomyces, apparaissent le deuxième jour à la surface de la boule de pâte et elles forment une épaisse couche gluante au bout de quatre jours. C'est dans cette couche que se trouve concentré le goût caractéristique du kenkey (acide diacétique et acétique, plus acide butyrique). De nouvelles recherches seront nécessaires pour déterminer la nature et les caractéristiques des micro-organismes qui jouent un rôle essentiel dans la fermentation du kenkey, mais on découvrira peut-être que certains ont des qualités exceptionnelles qu'il vaudra la peine d'exploiter au moyen de la biotechnologie.

48. Si l'on adopte le programme proposé par Okafor (1981), on pourra améliorer très sensiblement les aliments fermentés indigènes, tels que le kenkey (meilleure qualité, plus grande valeur nutritive, temps de fermentation probablement moins long). L'étude des capacités de synthèse des micro-organismes essentiels permettra peut-être d'en découvrir certains particulièrement aptes à produire des enzymes, des acides aminés essentiels, des vitamines, des antibiotiques ou d'autres substances présentant un intérêt commercial potentiel. Ce type d'étude stimule également la recherche microbiologique. Tous ces travaux ouvriront la voie à des études de génie génétique.

49. Dès que l'on commence à étudier les fermentations indigènes en laboratoire, il est possible d'utiliser des dispositifs de contrôle micro-électroniques et des microprocesseurs. L'opération la plus simple est évidemment la mesure du pH, puis son contrôle dans le substrat en fermentation. On peut également facilement surveiller et contrôler la température. Si l'aération est importante, il peut être utile de surveiller la teneur en oxygène à l'aide d'électrodes. Au stade de l'usine pilote, la régulation micro-électronique devient un élément essentiel à chaque phase du processus. Selon le type de fermentation, il peut être souhaitable de contrôler la teneur en oxygène et en gaz carbonique, le pH, la température, l'humidité (des fermentations à l'état solide), etc. Au stade de la production industrielle, les dispositifs de contrôle électroniques deviennent très importants. Dans les unités modernes de production à grande échelle de protéines d'origine unicellulaire, on peut suivre presque toutes les phases du processus sur un tableau de contrôle central. De tels procédés ne sont possibles

que grâce à la microbiologie moderne. Un pays devenu capable de produire des protéines unicellulaires dans de grands fermenteurs aérés qui permettent une régulation de la température, du pH et de l'oxygène est prêt à passer au stade du génie génétique et de la biotechnologie.

50. En conclusion, on peut donc dire que le génie génétique et la biotechnologie se développent extrêmement rapidement et qu'une collaboration internationale s'impose si l'on veut que les pays en développement puissent contribuer au progrès de ces nouvelles techniques et en tirer profit. L'ONUDI joue déjà un rôle important dans le transfert desdites techniques aux pays en développement. Parallèlement, il est essentiel que les pays africains évaluent leurs ressources actuelles dans le domaine de la fermentation. La production d'aliments fermentés a une longue histoire en Afrique. Les micro-organismes agents des fermentations et les procédés employés, notamment dans le cas des fermentations déjà industrialisées, pourront être utilisés avantageusement pour des applications du génie génétique et de la biotechnologie. La mise en oeuvre des nouvelles techniques sera beaucoup plus facile si des scientifiques africains peuvent être envoyés au Centre international pour le génie génétique et la biotechnologie pour y recevoir une formation spécialisée.

REFERENCES

- Akinrele, I.A. (1970). Fermentation studies on maize during the preparation of a traditional African starch-cake food. *Journal of Scientific Food Agriculture* 21: 619-625.
- Banigo, E.O.I. and Muller, H.G. (1972a). Manufacture of Ogi (a Nigerian fermented cereal porridge): comparative evaluation of corn, sorghum and millet. *Journal of the Canadian Institute of Food Science and Technology* 5: 217-221.
- Banigo, E.O.I., deMan, J.M. and Duitschaeffer, C.L. (1974). Utilization of High-lysine corn for the manufacture of ogi using a new, improved processing system. *Cereal Chemistry* 51: 559-572.
- Christian, W.F.M. (1966). Fermented Foods of Ghana. Présenté au Colloque sur la science des aliments et la technologie alimentaire. Accra, Ghana (mai 1966).
- Collard, P. and Levi, S. (1959). A two stage fermentation of cassava. *Nature* 183: 620-621.
- Nyako, K.O. (1977). Kenkey - a fermented staple in Ghana. Symposium on Indigenous Fermented Foods (SIFF). Bangkok, Thailand. Nov. 21-26.
- Okafor, N. (1977). Microorganisms associated with cassava fermentation for gari production. *Journal of Applied Bacteriology* 42: 279-284.
- Okafor, N. (1981). A scheme for the improvement of fermented foods of Africa south of the Sahara. In: *Global Impacts of Applied Microbiology*. S.O. Emejuiwe, O. Ogunbi and S.O. Sanni, Editors. Academic Press.
- Pederson, C.S. and M.N. Albury (1969). The sauerkraut fermentation. *New York State Agricultural Experiment Station Bulletin* 824. Geneva, New York 14456.

APPENDICE

QUELQUES EXEMPLES D'ALIMENTS FERMENTES AFRICAINS

A. BIÈRE DE SORGHO FERMENTÉE

1. La bière de sorgho d'Afrique du Sud, appelée aussi bière bantoue, est un exemple de bière primitive, encore fabriquée comme bière de ménage, mais également produite en grandes quantités, un milliard de litres par an selon les estimations, dans des brasseries municipales (Hesseltine, 1979; Steinkraus, 1979). La bière bantoue est une boisson alcoolique, effervescente, de couleur brun rosé, ayant une saveur analogue à celle du yoghourt acide, et la consistance d'un bouillon léger. Elle est opaque à cause de sa teneur en éléments non dissous, grains d'amidon, levures et autres micro-organismes. Elle n'est ni houblonnée, ni pasteurisée et on la consomme lorsque la fermentation est encore active. Dans la fabrication de la bière bantoue, les opérations essentielles sont le maltage, le trempage, l'acidification, la cuisson, la saccharification, la clarification et la fermentation alcoolique. Dans le procédé indigène la bière bantoue est fabriquée par lots de 115 à 180 litres dans de grands récipients.

2. Pour malter les grains de sorgho, de maïs ou de millet ou bien d'un mélange de ces différents grains, on les trempe dans l'eau pendant un ou deux jours, on déshydrate et on laisse la graine germer pendant cinq à sept jours jusqu'à ce que la plumule apparaisse nettement. Le grain germé est alors séché au soleil et on le laisse mûrir pendant plusieurs mois. Après quoi, on le concasse et on l'empâte jusqu'à obtention d'un gruau fin, on le cuit, on le refroidit et on ajoute une petite quantité de malt non cuit qui fournira des amylases et aussi des levures pour la fermentation ultérieure. Des quantités approximativement égales de grains maltés et non maltés sont empâtées dans de l'eau froide et dans de l'eau bouillante, et les deux maisches sont mélangées de façon à obtenir une température favorable à la saccharification, à l'acidification et à la fermentation des levures. Le premier jour, on fait incuber le mélange. Le deuxième jour, on le cuit et on le refroidit, le troisième et le quatrième on ajoute à nouveau du malt non cuit; le cinquième, on clarifie le brassin en le faisant passer dans un tamis grossier pour éliminer les enveloppes. La bière est alors prête à être consommée (Platt, 1964).

3. Dans le procédé indigène, la saccharification, l'acidification et la fermentation alcoolique s'opèrent plus ou moins simultanément, sans addition de cultures pures. Dans le procédé industrialisé (Novellie, 1968), il existe deux fermentations distinctes : la saccharification qui s'accompagne d'une acidification par l'acide lactique, et la fermentation alcoolique. L'acidification se fait en maintenant le mélange de malt, de sorgho et d'eau à une température de 48 à 50 °C pendant 8 à 16 heures, de façon à obtenir l'acidité requise, c'est-à-dire un pH de 3,0 à 3,3 avec une acidité totale de 0,3 à 1,6 % (0,8 % en moyenne) pour l'acide lactique. Ce "moût acide" représente environ un tiers en volume du produit final. C'est de l'acidification que dépend le reste des opérations de fermentation, y compris l'empâtage, ainsi que le corps de la bière et sa teneur en alcool (Novellie, 1966a, 1966b). Pour l'ensemencement, on n'utilise pas de cultures pures, de bactéries d'acide lactique, mais on prélève 10 % de chaque lot de "moût acide" pour ensemercer le lot suivant (van der Walt, 1956). Le malt acidifié est amené dans la chaudière au moyen d'une pompe et dilué avec deux volumes d'eau. On ajoute un succédané, en général du gritz de maïs, et l'on fait bouillir le moût pendant deux heures. On refroidit le moût cuit épais jusqu'à 60 °C, on y ajoute le malt saccharifié et on laisse reposer le mélange pendant une heure et demie à deux heures. Le moût maintenant plus fluide est refroidi à 30 °C et ensemercé avec une levure haute de Saccharomyces cerevisiae. On utilise de la levure sèche produite localement et on l'empâte avant l'ensemencement. On ne récupère pas la levure qui est consommée avec la bière. On fait passer le moût ensemercé dans des filtres grossiers, presses à vis ou centrifugeurs à paniers, pour éliminer les enveloppes. On fait alors fermenter le moût pendant 8 à 24 heures. La fermentation se poursuit dans les récipients dans lesquels la bière est vendue. Ces récipients, uniques en leur genre, laissent s'échapper le gaz en excédent. De grandes quantités de bière bantoue sont livrées directement aux débits de boissons qui la vendent comme bière de tonneau.

4. Les brasseries municipales produisent environ un milliard de litres de bière de sorgho par an (Novellie, 1976). La production de bière de ménage fabriquée selon des procédés indigènes est probablement aussi élevée encore maintenant. La bière de tonneau se vend pour l'équivalent de 8 cents des Etats-Unis le litre. Un litre de bière de sorgho en récipients de carton doublé de polyéthylène se vend pour l'équivalent de 12 cents, ce qui en fait probablement la bière de brasserie la moins chère du monde (Novellie, 1976).

5. L'amidon est un composant très important de la bière bantoue qui doit contenir à la fois de l'amidon gélatineux et de l'amidon non gélatineux pour que sa texture soit acceptable. L'amidon gélatineux contribue à maintenir l'amidon non gélatineux en suspension, ce qui rend la bière crémeuse et lui donne du corps (Novellie, 1966; Novellie et Schutte, 1961).

6. Novellie (1966c) indique que la teneur en thiamine, en riboflavine et en niacine des bières bantoues avait tendance à diminuer depuis quelques années. Cela est peut-être dû au fait que l'on utilisait traditionnellement plus de sorgho et moins de maïs. Dans le procédé traditionnel, on emploie généralement 4,9 parts de sorgho pour une part de maïs alors que les brasseries municipales peuvent n'utiliser qu'1,2 part de sorgho ou moins pour une part de maïs. Un aliment de base de la population sud-africaine est donc devenu beaucoup moins nutritif à cause de la modernisation des procédés de fabrication. La production de bière claire comme celle consommée en Occident aurait des conséquences encore plus sérieuses au point de vue nutritionnel.

7. L'industrialisation de la production de la bière bantoue a entraîné des modifications importantes dans le processus de fabrication. Le maltage est opéré avec plus de soin puisque le grain est prénettoyé, lavé puis trempé (Novellie, 1962a, 1962b, 1962c). La division du processus en deux étapes distinctes, l'acidification et la fermentation alcoolique, permet de mieux contrôler les deux étapes. L'acidification est opérée à une température de 48 à 50 °C, optimales pour les lactobacilles thermophiles qui achèvent ensuite l'acidification en 8 à 16 heures. L'ensemencement de chaque lot avec le "moût acide" provenant d'un lot précédent permet aussi de mieux contrôler cette étape du processus. L'acidification se poursuit jusqu'à obtention du pH voulu, c'est-à-dire 3,0 à 3,3. L'amylolyse s'effectue à 60 °C, température favorable pour que la saccharification de l'amidon lui donne la viscosité désirée et engendre les sucres utilisés par la levure pour produire de l'alcool. On utilise une culture sélectionnée de Saccharomyces cerevisiae pour ensemercer le moût, à une température de 30 °C, favorable à la fermentation alcoolique. Toutes ces modifications du procédé traditionnel de fabrication de la bière constituent des améliorations. Malheureusement, l'utilisation d'une quantité moindre de sorgho a eu pour effet de diminuer la valeur nutritive du produit. Cet inconvénient du procédé moderne devrait si possible être corrigé.

B. L'OGI NIGERIAN (PAP)

8. La méthode traditionnelle et la méthode industrielle de fabrication de l'ogi nigérian sont comparées dans les tableaux 1 et 2. Traditionnellement, l'ogi est préparé par petites quantités, deux ou trois fois par semaine. On fait tremper les grains de maïs nettoyés dans des récipients pendant un à trois jours. Les micro-organismes qui provoquent l'acidification se développent pendant ce temps. Le grain est ensuite concassé humide avec une pierre ou bien dans un mortier avec un pilon. Dans le procédé amélioré, on utilise des broyeurs à marteaux plus efficaces. Le grain concassé est empâté avec de l'eau et passé dans un tamis à mailles fines (300 à 880 microns). La mouture grossière non filtrée est lavée plusieurs fois à l'eau. On peut aussi laver la pâte en la faisant passer à travers un filtre en étoffe fixé sur un récipient. La pâte filtrée dépose et fermente pendant un ou deux jours à la température ambiante. Le sédiment fermenté est l'ogi, que l'on fait bouillir dans de l'eau ou dans de l'eau d'ogi (supernageant) pour obtenir le porridge d'ogi (pap). L'ogi non cuit est vendu enveloppé dans des feuilles, après élimination de l'eau en excédent. La stabilité du produit est inférieure à 30 heures s'il n'est pas réfrigéré.

9. Dans le procédé industrialisé (figure 2), le maïs sec est moulu en farine fine et on ensemence ensuite la pâte farine/eau avec un mélange de lactobacilles et de levure. On obtient ainsi une meilleure fermentation. La fabrication de soja-ogi constitue une autre amélioration. Le maïs est nettoyé, trempé, moulu humide et tamisé à la manière traditionnelle. Le soja est lui aussi nettoyé, décortiqué, cuit, moulu humide et tamisé dans un tamis à secousses (maille 72). On mélange les deux pâtes, on les fait fermenter, on les sucre et on les sèche au moyen d'un pulvérisateur atomiseur Niro. Le produit séché est aromatisé, enrichi de vitamines et d'éléments minéraux et emballé dans des sacs en polyéthylène pour la vente. L'addition de soja accroît beaucoup la teneur en protéines et la valeur nutritive.

FIGURE 1

FABRICATION TRADITIONNELLE DE L'OGI NIGERIAN (Baniyo et al, 1974)

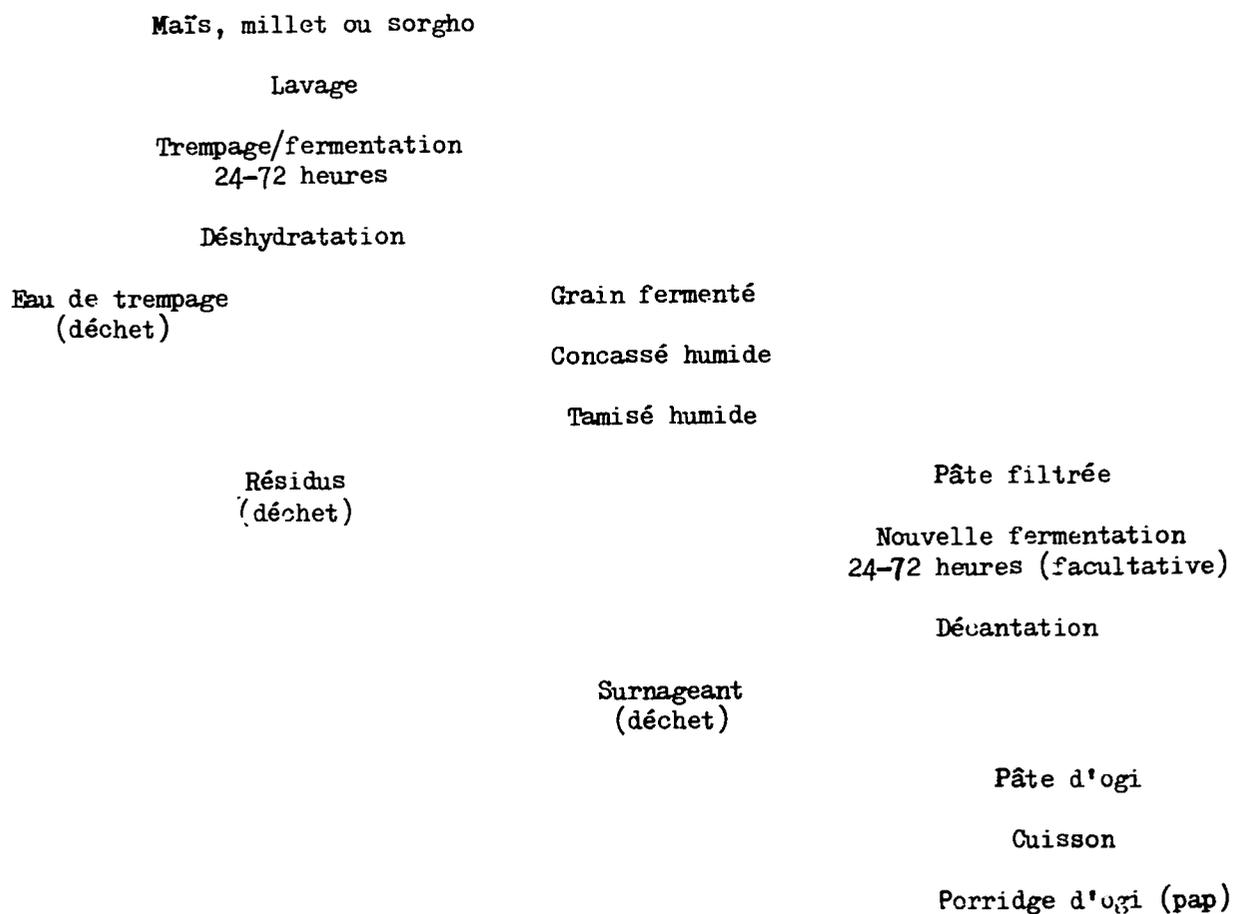


FIGURE 2

FABRICATION AMELIOREE DE L'OGI NIGERIAN (Banigo et al, 1974)

Maïs (ou millet ou sorgho)		
	Nettoyage	
	Trempage	
	Décorticage (moulin Palyi)	Séparation de l'air
Moulin à marteaux	Moulin à marteaux	Elimination des enveloppes
Rouleau concasseur	Rouleau concasseur	
Farine de grains de maïs non décortiqués	Farine de grains de maïs décortiqués	
Pâte	Pâte	
ou bien	ou bien	
Ensemencement	Cuisson	
Fermentation 32 °C 24-28 heures	Refroidissement	
Ogi non cuit	Fermentation 32 °C 24-28 heures	
Addition d'eau	Ogi (partiellement cuit)	Déshydratation
Ebullition	Addition d'eau	Ogi soluble
Porridge d'ogi	Ebullition	Addition d'eau
	Porridge d'ogi	Porridge d'ogi

C. GARI

10. Les figures 3 et 4 décrivent le procédé traditionnel de fermentation du gari et celui utilisé en usine pilote.

11. Le gari se présente sous forme de grains de féculé; il est obtenu à partir du manioc (Manihot utilissima, M. esculenta) par fermentation de la pulpe râpée qui est ensuite semi-dextrinisée, séchée et triée. Un produit voisin, la farine de manioc ou lafun, est obtenu en faisant tremper dans de l'eau pendant quelques jours des racines entières qui seront ensuite pelées, coupées, séchées pour en ramener la teneur en eau à 13 %, moulues et tamisées.

12. Le gari est surtout consommé sous la forme d'un aliment appelé eba. On plonge le gari dans de l'eau bouillante afin de faire gonfler la féculé, puis on travaille le mélange au pilon dans un mortier en bois pour obtenir une pâte semi-solide et malléable. On peut ajouter des ignames bouillies à la pâte afin de lui donner plus de goût. La bouillie épaisse est roulée avec les doigts en boulettes d'environ 10 à 30 g que l'on trempe dans un ragoût de légumes, d'huile de palme et de viande ou de poisson. La valeur nutritive dépend de la qualité du ragoût. Le gari constitue l'aliment de base de la plupart des personnes à faible revenu qui en consomment régulièrement (au moins deux fois par jour). On estime que 90 % de la population des Etats du sud du Nigéria (plus de 30 millions d'habitants) consomment régulièrement du gari au moins une à deux fois par jour. Il représente jusqu'à 60 % de l'apport calorique total en Afrique occidentale (Jones, 1959), les 40 % restants étant fournis par d'autres aliments tels que les ignames, le riz et le maïs. Un adulte consomme en moyenne 300 g de gari par repas.

13. Les ustensiles nécessaires pour la préparation domestique du gari sont un couteau pour retirer les couches extérieures du manioc, une râpe pour transformer les racines en poudre, un sac pour exprimer le liquide de la pulpe râpée et une poêle pour frire la pulpe partiellement séchée. Le gari est surtout fabriqué à partir de la grosse racine du manioc, dont la partie centrale pulpeuse est comestible. On retire les deux couches extérieures, c'est-à-dire la peau marron, ressemblant à du papier, et la couche blanchâtre, ressemblant à du cuir, ce qui entraîne une perte de 30 % du poids de matières solides. La partie fibreuse centrale est râpée avec la partie pulpeuse.

14. Traditionnellement, le gari est préparé à la maison par les femmes avec des racines de manioc achetées ou cultivées sur place; le procédé employé est lent et peu hygiénique (figure 3). Il faut utiliser les racines récoltées dans les 48 heures, sinon la biodégradation les rend impropres à la préparation du gari.

15. Les racines sont pelées avec des couteaux de cuisine tranchants afin de retirer la partie centrale, qui peut parfois prendre une couleur mauve. Les racines pelées sont râpées finement avec des feuilles d'aluminium percées à l'aide de clous et fixées sur des cadres en bois. Le râpage est parfois effectué à l'aide d'un broyeur installé dans un endroit central du village. La pulpe râpée est placée dans des sacs en chanvre, qui sont fermés et comprimés à l'aide de lourdes pierres ou de bois. Les sacs sont laissés à l'extérieur pendant un maximum de quatre jours afin que la purée puisse sécher et fermenter.

16. La pulpe fermentée est à demi sèche (environ 60 % d'humidité) et dure. A l'aide de tamis fabriqués localement avec des feuilles de palmier, on retire les fibres épaisses qui sont ensuite jetées. Les grains plus fins sont grillés dans des poêles en fer chauffées à environ 120 °C au contact du feu. Un morceau de calebasse sert à retourner la pulpe pour l'empêcher d'attacher. La température atteinte est suffisante pour semi-dextriniser l'amidon et pour ramener la teneur en eau à environ 20 %. Les habitants de certaines régions du Nigéria préfèrent le gari jaune obtenu en ajoutant une petite quantité d'huile de palme pendant la cuisson de la pâte. Une fois cuit, le gari est à nouveau tamisé et conservé dans des cuvettes en émail pour être vendu aux intermédiaires.

17. Etant donné que de plus en plus souvent le mari et la femme travaillent tous les deux, qu'il est difficile de collecter et de transporter des quantités de manioc suffisantes pour satisfaire la demande d'une population urbaine en croissance rapide et que les prix augmentent en conséquence, la nécessité de moderniser l'ensemble du système de production apparaît de plus en plus clairement. L'Institut fédéral de recherche industrielle d'Oshodi à Lagos (Federal Institute of Industrial Research, Oshodi - FIIRO) a effectué les premières recherches sur la fermentation du manioc et il a pu mettre au point et faire construire une usine pilote pour la production du gari, usine

qui a servi de modèle aux installations plus importantes implantées par la suite dans d'autres régions du pays. L'Agence pour l'élaboration des projets (Projects Development Agency - PRODA), située à Emagu dans l'Etat d'Anambra au Nigéria, a également construit une usine pilote. Fondamentalement, la méthode adoptée est une amélioration de la méthode traditionnelle (figure 4) (Akinrele et al, 1971).

1) Préparation de la racine

18. On utilise la variété amère du manioc (qui renferme plus de 100 grammes de cyanure d'hydrogène par kilo de pulpe) et, de préférence, des plantes de un à deux ans. Dans les 48 heures qui suivent la récolte, on enlève les extrémités des racines qui sont ensuite débitées en morceaux de 15 à 20 cm environ à l'aide de couteaux tranchants. Les racines sont ensuite placées dans une machine à éplucher.

2) Epluchage

19. La machine à éplucher, qui ressemble à une cuve de bétonnière, est un tambour excentré, abrasif à l'intérieur. Les morceaux de manioc arrivent dans le tambour par un large toboggan terminé par une grille coulissante. Une pompe à haute pression fournit l'eau nécessaire. L'épluchage est réalisé en trois minutes par l'action combinée du revêtement abrasif et du frottement des racines de manioc les unes contre les autres dans le tambour qui tourne à 40 tours/mimute. L'eau emporte les épluchures. Les pertes sont de 25 à 30 % en poids, mais peuvent atteindre 40 % si l'opération dure trop longtemps. Les racines pelées sont déversées pour inspection sur des plateaux roulants où, si besoin est, l'épluchage est terminé à la main.

3) Râpage

20. Les racines pelées sont transférées dans une machine à râper (type TM-3, fabriquée par Robert Friess K-G, Landmaschinenfabrik, Stuttgart) équipée de lames tournantes d'une longueur efficace de 2,5 cm. Au moins 70 % en poids de la bouillie ainsi obtenue, dont le contenu en eau a été ramené à environ 50 %, doit être retenu par un tamis à maille de 0,058 cm, mais doit passer à travers des mailles de 0,25 cm. De la liqueur de manioc provenant d'une bouillie fermentée de trois jours est préalablement mélangée avec la pulpe râpée dans un mixer Adelphi (Preston, Angleterre) dans la proportion d'un litre de liqueur pour 45 grammes de pulpe, ce qui permet de ramener le temps normal de fermentation de 4 jours à 24 heures.

4) Fermentation

21. La fermentation du manioc est l'une des phases les plus importantes de la préparation du gari. La pulpe râpée est amenée dans un silo cylindrique en fibre de verre dont la surface intérieure est recouverte de plastique lisse. La forme conique de la base, qui est équipée d'une grille réglable, facilite le prélèvement de bouillie à des fins de contrôle et l'évacuation des gaz.

22. La fermentation est anaérobique. Le jus de manioc ayant fermenté trois jours, que l'on utilise pour l'ensemencement, renferme des micro-organismes dans leur phase stationnaire initiale. Le goût aigre caractéristique souhaité est obtenu quand la valeur du pH atteint $4,0 \pm 0,15$ avec une acidité totale (acide lactique) d'environ 0,85 %.

5) Déshydratation

23. La bouillie en fermentation est transférée manuellement dans une centrifugeuse équipée d'une cuve de 53 cm (type 86, Broadbent Huddersfield, Angleterre) qui permet d'obtenir un gâteau dont la teneur en eau a été ramenée à 47-50 %. La pulpe peut également être placée dans des sacs en nylon et déshydratée dans une presse hydraulique (Newell Dunford, Angleterre). L'expérience a montré que la centrifugeuse à cuve n'est pas très efficace. Il faut environ 10 à 15 minutes pour traiter une cinquantaine de kilos de bouillie, selon l'âge du manioc. En général, il est difficile de déshydrater le manioc quand celui-ci a plus de 18 mois. L'utilisation d'une presse à vis d'Archimède pourrait permettre de réduire les coûts de manutention et d'exploitation.

6) Granulation

24. Le gâteau est filtré et désintégré dans un granulateur à tamis en continu (Jackson et Croquette No 4, Kek manufacture) équipé d'un tamis de type BS 10 pour éliminer les déchets. Les déchets sont récupérés séparément, séchés, et vendus avec les peaux de manioc séchées au soleil comme aliment pour bétail.

7) Garification

25. La "garification" consiste à faire griller le gâteau dans un four rotatif (type Newell Dunford) chauffé extérieurement par un manchon à circulation d'air chaud. La bouillie de manioc se gélatinise partiellement quand la température au centre du four atteint 250-280 °C. Le "garificateur" se présente sous la

forme d'un tube en acier inoxydable équipé d'un rateau rotatif qui décolle la pulpe de manioc en train de gélatiser pour l'empêcher d'adhérer aux parois et de brûler. La gélatinisation suppose un transfert de chaleur important et un faible transfert de masse. Cette phase est essentielle pour que le gari gonfle de manière satisfaisante. La pulpe contient environ 40 % d'eau et la température de gélatinisation (80 °C) doit être atteinte en 15 minutes, c'est-à-dire avant que la surface des particules de gari commence à sécher.

8) Séchage

26. La bouillie gélatinisée passe par un vibreur et tombe dans un séchoir à volet d'un mètre de long et de 0,78 cm de large, chauffé directement. Contrairement à la garification, le séchage nécessite un transfert de chaleur peu important et un transfert de masse élevé. Après refroidissement, le gâteau durci ne renferme plus que 8 % d'eau.

9) Broyage et emballage

27. Le gari froid est injecté dans un broyeur à disque (Bentall Corn Mill), broyé puis passé au travers d'un tamis BS. No 14. La farine fine non retenue par le tamis BS. No 18 est emballée séparément en tant que farine de gari; elle est généralement consommée mélangée à des haricots rouges dans un ragout à l'huile de palme.

REGULATION DES PROCESSUS

28. La fermentation et la grillade sont les étapes les plus importantes de la production de gari. Il faut donc les contrôler pour obtenir un produit acceptable. Le matériel utilisé doit être en plastique, en acier inoxydable ou en aluminium parce que le fer décolore la pulpe.

29. Il faut au moins quatre jours pour que la fermentation naturelle permette d'obtenir l'acidité souhaitée (0,85 % d'acide lactique), mais seulement 24 heures si l'on utilise une liqueur fermentée vieille de trois jours. Le processus se déroule de façon optimale à une température d'environ 35 °C; l'exposition au soleil et le brassage fréquent de la pulpe accélère la fermentation (Akinrele, 1963). Le manioc produit sa propre

liqueur au cours de la fermentation, et il n'est donc pas nécessaire d'ajouter de l'eau. Si la température ambiante n'est pas comprise entre 25 et 35 °C ou si les bassins de fermentation sont très grands, il faut veiller à maintenir la température de la bouillie. Il faut également permettre l'évacuation des gaz. Il semblerait que la plupart des gaz, à savoir HCN, H₂ et CO₂ s'échappent par la gargouille conique d'où un peu de jus s'égoutte en permanence. Le bâtiment devrait être suffisamment aéré pour prévenir l'intoxication par le cyanure.

30. Les phases de garification et de séchage conditionnent la capacité de gonflement ainsi que la durée de conservation. Dans l'eau froide, le gari devrait au moins tripler de volume.

FIGURE 3

PRODUCTION TRADITIONNELLE DU GARI NIGERIAN (Okafor, 1977)

Laver et éplucher les racines de manioc

Râper la partie centrale pulpeuse

Mettre la pulpe obtenue dans un sac en tissu
(humidité 60-65 %)

Exprimer l'eau et laisser fermenter de 12 à 96 heures en comprimant
(humidité 50 %)

Mélanger avec de l'huile de palme (optionnel)

Sécher et griller (garifier dans des poêles en fonte à 80-85 °C)

Tamiser (mailles de 10-100)

Emballer

FIGURE 4

PROCEDE UTILISE EN USINE PILOTE POUR LA PRODUCTION DU GARI NIGERIAN
(Akinrele et al, 1971)

Racines de manioc

Eplucher

Râper
(broyeur à marteau)

Laisser fermenter dans des réservoirs

Comprimer ou placer en centrifugeuse pour éliminer l'eau

Transformer en granulés et passer
au travers d'un tamis BS 10
Gélatiniser et griller (garification)

Chauffer à 80 °C

Passer au travers d'un tamis BS 18

Farine de gari

Broyer les granulés plus gros et les passer
au travers d'un tamis BS 14

Gari

D. LE MAHEWU SUD-AFRICAIN

31. Le Mahewu (magou) est une boisson traditionnelle non alcoolisée, à base de maïs, d'un goût aigre, très appréciée par les populations bantoues d'Afrique du Sud. Il est fabriqué dans les villages selon des méthodes traditionnelles de fermentation spontanée. Des entreprises industrielles et des sociétés minières en produisent également, à une plus grande échelle, pour la consommation de leurs ouvriers. Le mahewu contient 8 à 10 % de solides, avec un pH d'environ 3,5 et une acidité de 0,4 à 0,5 % (acide lactique). Il peut également être produit sous forme concentrée ou en poudre sèche, ce qui réduit son volume et facilite sa distribution sur le marché.

32. Le mahewu traditionnel, produit d'une fermentation spontanée, s'obtient en mélangeant de la farine de maïs et de l'eau dans une proportion de 450 g de maïs environ pour 3,8 litres d'eau (ce qui représente 8 à 10 % de solides) en faisant bouillir le mélange jusqu'à cuisson complète (approximativement une heure et demie), en laissant refroidir et en ajoutant une petite quantité de farine de froment (environ 5 % du poids de la farine de maïs). La farine de froment est utilisée pour l'ensemencement et elle apporte aussi des facteurs de croissance pour la fermentation spontanée. C'est là la différence essentielle entre l'ogi et le mahewu qui, par ailleurs, peuvent être considérés comme des produits similaires. Lorsque le mahewu a étéensemencé, on le laisse fermenter dans un endroit chaud pendant 36 heures environ, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'il ait pris le goût aigre souhaité.

33. Schweigart et al (1960) ont décrit une méthode améliorée permettant de produire du mahewu dans des conditions contrôlées (figure 5) : la farine de froment est ajoutée à la bouillie de maïs délayée en tant que source de facteurs de croissance, mais le mélange est ensuiteensemencé soit avec Lactobacillus delbrückii, soit avec Lactobacillus bulgaricus, puis chauffé à 45 °C afin d'assurer une fermentation rapide et uniforme.

34. Hesseltine (1979) a décrit une méthode récente de production industrielle du mahewu en Afrique du Sud. On utilise comme substrat du maïs blanc broyé grossièrement. L'ensemencement se fait à l'aide d'un mélange de cultures pures qui ont été isolées dans le mahewu traditionnel et cultivées sur une farine entière de froment grossièrement moulue. Pour cuire la farine de maïs diluée, qui contient environ 9 % de solides, on la fait bouillir pendant une heure et on la laisse chauffer pendant 45 minutes encore. Cette

bouillie de maïs épaisse doit ensuite être refroidie (47-52 °C), puisensemencée avec la levure. La fermentation se fait dans des citernes d'une contenance de 1 000 gallons (4 540 litres) dans lesquelles la température n'est pas contrôlée; elle dure de 22 à 24 heures et le pH diminue se situant entre 3,65 et 3,95 en fin d'opération. Le mahewu fermenté est mélangé avec de la farine de soja dégraissée, du sucre, du petit lait ou du babeurre en poudre et de la levure. Des additifs sont incorporés afin d'améliorer la valeur nutritive du produit. Le mélange est ensuite séché au moyen d'un atomiseur, de manière à ramener le taux d'humidité à 3,5-4 %; il peut se conserver pendant un an au moins. Pour préparer le mahewu, on ajoute de l'eau à cette poudre (environ 9 % de solides).

PRODUCTION DE MAHEWU CONCENTRE (25 % de solides)

35. Lorsque le mahewu est commercialisé dans des régions éloignées, il est préférable de réduire sa teneur en eau en le préparant sous une forme plus concentrée. La teneur normale en solides peut ensuite être rétablie, au moment de la consommation, en diluant le mahewu concentré avec la quantité d'eau requise. Une autre possibilité consiste à sécher le mahewu pour le transformer en poudre (Van der Merre, Schweigart et Cachi, 1964; Schweigart et al, 1960).

36. Plusieurs méthodes de séchage classiques peuvent être employées pour le mahewu, mais deux seulement semblent adéquates pour la production à grande échelle, à savoir le séchage par atomisation, comme dans le cas du lait, ou dans un séchoir rotatif, comme dans le cas de la purée de pomme de terre ou d'autres pâtes similaires. Le séchage dans des plateaux à circulation d'air chaud présente plusieurs inconvénients : la couche de mahewu doit être brisée par une opération mécanique au cours du processus, le séchage est lent et le mahewu devient brun, même si l'on maintient la température à 50 °C.

37. Le séchage par atomisation ou dans un séchoir rotatif du mahewu contenant 8 % de solides ne pose aucun problème technique si le mahewu est homogène. Pour obtenir cette homogénéité, il suffit de passer le mahewu dans un broyeur colloïdal.

38. Schweigart et al (1960) ont utilisé en laboratoire le sécheur-atomiseur "Nito" pour les opérations de séchage expérimentales; la température de l'air aspiré se situait entre 190 et 210 °C et celle de l'air rejeté entre 90 et 110 °C. La capacité de ce sécheur était approximativement de trois pintes (environ 1,4 l) par heure pour le séchage du mahewu contenant 8 % de solides.

39. En ce qui concerne le séchage par séchoir rotatif, des expériences ont été réalisées avec un seul petit tambour sécheur de 12 pouces de diamètre (environ 30 cm).

40. Le tambour trempait dans un bac et tournait à une vitesse de 1,2 tour/mminute. Avec une pression de vapeur de 30 livres par pouce carré (environ 2 kg par cm²), la capacité du tambour sécheur, pour un mahewu d'une teneur en solides de 8 %, était de 12 à 13 pintes (6,8 à 7,3 l) par heure.

41. En raison de son taux d'acidité élevé, le mahewu ne peut être séché qu'à l'aide d'appareils fabriqués avec des matériaux résistant aux acides. Du fait de l'extrême viscosité du mahewu concentré, la teneur en solides ne pouvait dépasser 25 % pour le séchage avec l'atomiseur de laboratoire. Il en sera probablement de même avec les appareils de plus grande taille utilisés dans l'industrie. Les séchoirs ordinaires à double tambours, comme ceux qui sont employés pour la fabrication du lait en poudre, ne sont d'aucune utilité dans le cas d'un mahewu hautement concentré. Avec un séchoir rotatif de laboratoire, la teneur en solides ne devait pas dépasser 9 %. La poudre de mahewu préparée à partir du mahewu obtenu par fermentation spontanée a un goût désagréable et sa durée de conservation est extrêmement brève (deux jours).

42. Lorsque le mahewu est séché par atomisation, c'est-à-dire à une température ne dépassant pas 45 °C, des modifications enzymatiques peuvent se produire, l'hydrolyse des graisses par exemple, ce qui provoque le rancissement du produit. Apparemment l'action enzymatique est inhibée lorsqu'on ajoute une solution-tampon, puisque les mahewus tamponnés peuvent être conservés au moins un an sans rancir.

FIGURE 5

PRODUCTION INDUSTRIELLE DU MAHEWU (Schweigart et al, 1960)

Farine de maïs

+

Eau

Bouillie
(8 % de solides)

Stériliser
15 minutes à une pression de 15 livres par pouce carré
(environ 1 kg par cm²)

Refroidir

Ensemencer
avec de la farine entière de froment (fermentation naturelle)
(5 % en poids de la bouillie de maïs)
Chauffer à 30-35 °C

ou

Ensemencer avec
Lactobacillus delbrueckii (culture pure)
Chauffer à 45 °C

Laisser fermenter
jusqu'à obtenir un pH de 3,5 à 3,9

Mahewu

REFERENCES

- Akinrele, I.A. (1963). Further studies on the fermentation of cassava. Research Report No. 20 of the Federal Institute of Industrial Research. Oshodi, Nigeria.
- Akinrele, I.A. (1970). Fermentation studies on maize during the preparation of a traditional African starch-cake food. *J. Sci. Food Agric.* 21: 619-625.
- Akinrele, I.A., M.I.O. Eco, and F.O. Olatunji. (1971). Industrial specifications for mechanized processing of cassava into gari. Technical Memorandum No. 26 of the Federal Institute of Industrial Research, Oshodi, Nigeria.
- Banigo, E.O.I., J.M. deMan and C.L. Duitschaever. (1974). Utilization of high-lysine corn for the manufacture of ogi using a new, improved processing system. *Cereal Chem.* 51: 559-572.
- Hesseltine, C.W. (1979). Some important fermented foods of mid-Asia, the Middle East, and Africa. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 56: 367-374.
- Jones, W.O. (1959). Manioc in Africa. Stanford University Press, Menlo Park, California.
- Novellie, L. (1962a). Kaffircorn malting and brewing studies. XI. Effect of malting conditions on the diastatic power of kaffircorn malt. *J. Sci. Food and Agr.* 13: 115-120.
- Novellie, L. (1962b). Kaffircorn malting and brewing studies. XII. Effect of malting conditions on malting losses and total amylase activity. *J. Sci. Food and Agr.* 13: 121-124.
- Novellie, L. (1962c). Kaffircorn malting and brewing studies. XIII. Variation of diastatic power with variety, season, maturity and age of grain. *J. Sci. Food and Agr.* 13: 124-126.
- Novellie, L. (1966a). Bantu beer-popular drink in South Africa. *Int. Brewer and Distiller.* 1: 27-31.
- Novellie, L. (1966b). Kaffircorn malting and brewing studies. XIV. Mashing with kaffircorn malt. Factors affecting sugar production. *J. Sci. Food and Agr.* 17: 354-361.
- Novellie, L. (1966c). Biological ennoblement and kaffir beer. *Food Tech.* 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. *Proc. Int. Assoc. for Cereal Chem. Symposium.* pp. 73-77.

- Novellie, L. and R.J. Schutte. (1961) Kaffircorn salting and brewing studies. X. The susceptability of sorghum starch to amylolysis. *J. Sci. Food and Agr.* 12: 552-559.
- Okafor, N. (1977a). - Nigerian gari. Symposium on Indigenous Fermented Foods (SIF). Bangkok, Thaïlande. Novembre 21-27.
- Okafor, N. (1977). Microorganisms associated with cassava fermentation for gari production. *J. Appl. Bacteriol.* 42: 279-284.
- Platt, B.S. (1964). Biological ennoblement: Improvement of the nutritive value of foods and dietary regimens by biological agencies. *Food Tech.* 19: 662-670.
- Schweigart, F., W.E.L. Van Bergen, S.G. Wiechers, and J.P. De Wit. (1960). The production of mahewu. South African Council for Sci. and Industrial Res. C.S.I.R. Research Report No. 167. Pretoria, Afrique du Sud.
- Steinkraus, K.H. (1979). Nutritionally significant indigenous foods involving an alcoholic fermentation. In "Fermented Foods Beverages in Nutrition" pp. 35-59. (Gastineau, C.F., Darby, W.J., and Turner, T.B., eds.) Academic Press, New York & London.
- van der Merwe, A. Le R., F. Schweigart and V.A. Cachia. (June 1964) and (January 1965). (Sonderdruck). Mahewu - its industrial production and its value as a nutrient. Vitalstoffe zivilisationskrankheiten. 7 pages. Non paginé.



