

CULTURE TECHNOLOGIQUE

LA CONSERVATION DES DENRÉES ALIMENTAIRES CULTIVÉES EN CLIMAT CHAUD ET HUMIDE

Premier CIT
Yaoundé, 5-10 novembre 1979

ASSOCIATION DES UNIVERSITÉS PARTIELLEMENT OU ENTIÈREMENT
DE LANGUE FRANÇAISE

Montréal

Paris

Dakar

CULTURE TECHNOLOGIQUE

LA CONSERVATION DES DENRÉES ALIMENTAIRES CULTIVÉES EN CLIMAT CHAUD ET HUMIDE

ACTES
DU PREMIER COLLOQUE INTERNATIONAL
DE TECHNOLOGIE (CIT)
Yaoundé, 5-10 novembre 1979

Les textes n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

ISBN 2-920021-06-0
Dépôt légal — 4^e trimestre 1980
Bibliothèque nationale du Québec

SOMMAIRE

INTRODUCTION		5
ALLOCUTIONS	MM. Anomah Ngu	11
	Michel GUILLOU	13
	Jacques RENOUX	19
	F. A. GANDJI	21
I		
• Les aléas post-culturaux	Yvon de LUCA	29
• Intérêt de techniques de préservation. Le cas du traitement chimique des denrées stockées	Jacques DEUSE	45
• Amélioration des techniques et méthodes de protection des denrées récoltées	Mohamadou LY et Aliou DIOP	85
• La protection chimique des récoltes au Sénégal	Mohamadou LY	99
• Quelques aspects des problèmes posés par la conservation du maïs dans les hauts plateaux de l'Ouest	Emmanuel FONGANG	115
• Contribution à la recherche d'une méthodologie appropriée à l'estimation des quantités de vivres conservées en milieu rural et des pertes subies pendant cette conservation au Burundi	Alain MERTENS	129
II		
• Développement des techniques de conservation des denrées alimentaires et amélioration de l'état de nutrition des populations rurales en Afrique ...	Jean-Claude DILLON	145
• Évaluation de la valeur nutritionnelle des aliments en particulier des protéines ...	Yves LOZANO	163
• À propos des techniques traditionnelles de conservation des produits alimentaires au Cameroun	J. ELANG	181
• Revue de techniques traditionnelles de préparation de légumineuses à graine dans le sud-Togo — sud Bénin	Assion G. LAWSON	187
• Préservation des stocks de niebé sans résidus: l'huilage des grains comme technique améliorée de conservation traditionnelle	Assion G. LAWSON	193
• Influence des techniques traditionnelles de préparation sur la valeur nutritionnelle du manioc et du sorgho	J. C. FAVIER	195
• Le manioc et l'intoxication chronique au cyanure. Une enquête sur trois ethnies camerounaises	Stella Chinwe Efosi Nwigwe	225
• Conservation de la valeur nutritionnelle de la graine de coton utilisée en alimentation humaine	André CORNU	229
• Évolution au cours de la conservation des potentialités nutritionnelles de quelques espèces d'ignames cultivées au Cameroun	Serge TRECHE	247
• Note sur le pentosane et la panification des produits tropicaux	Jean MEUNIER	275
III		
• Conservation par le froid des denrées alimentaires cultivées en climat chaud et humide	Didier VOKAER	291
• Théorie du séchage — Intérêt et pratique des capteurs plans — Technologie des séchoirs agricoles solaires — Intérêt des solutions polyvalentes	Michel FOURNIER	335

• Polyvalence d'une unité de séchage. Méthodologie de conception	Dany GRIFFON	361
• Les unités de stockage des céréales au Cameroun	Ruben MBON	377
• Le séchage solaire à l'institut de physique météorologique «H. Masson» de la faculté des sciences de l'Université de Dakar	Gérard MADON	387
• Pertes sur les ignames au cours du stockage. Causes et méthodes de lutte	K. FOUA BI, K. D. BABACAUH et M. DEMEAUX	395
• Expérience de l'utilisation du froid sur l'igname en Côte d'Ivoire	Ouattara SINDON	413
• La conservation des produits alimentaires, perspectives solaires au Mali	Modibo DICKO	417
RECOMMANDATIONS DU COLLOQUE		421
LISTE DES PARTICIPANTS		425

LA CONSERVATION DES DENREES ALIMENTAIRES CULTIVEES EN CLIMAT CHAUD ET HUMIDE

En collaboration avec l'Université de Yaoundé, le Groupement d'études et de recherches pour le développement de l'agronomie tropicale (GERDAT), l'Agence de coopération culturelle et technique (ACCT) et avec le concours du ministère français de la Coopération, du Commissariat à l'énergie solaire (COMES), de l'Université des Nations Unies (UNU) et de l'UNICEF, l'AUPELF a organisé les 5-10 novembre 1979 à Yaoundé son premier colloque international sur le thème de la conservation des denrées alimentaires cultivées en climat chaud et humide.

* * *

Dans la recherche d'une amélioration des conditions de l'alimentation, problème crucial des pays en développement et singulièrement de plusieurs pays africains, différentes solutions ont déjà été mises en oeuvre. Pour faire face notamment au déficit alimentaire, on a cherché à accroître les surfaces cultivées, à augmenter les rendements et le nombre des récoltes annuelles en introduisant des variétés sélectionnées. Ces améliorations considérables connaissent généralement leurs limites. Celles-ci tiennent essentiellement à la progression démographique dans les pays en développement, qui est à l'origine du fossé qui se creuse entre les productions et les demandes de denrées alimentaires. Comblé le déficit par des importations s'avère une solution d'autant moins réaliste qu'il s'agit souvent de denrées mal connues (le blé par exemple) par les communautés rurales concernées.

Une solution plus réaliste consiste à s'attaquer au problème des pertes, très importantes au niveau des systèmes post-cultureux. Le premier objectif du colloque était donc d'analyser ces pertes à tous les maillons de la chaîne post-culturelle, de la moisson à l'ingestion même de l'aliment, et leurs causes : les aléas post-cultureux.

Les pertes avant et pendant le stockage sont très élevées. La recherche d'une meilleure adéquation des technologies rurales traditionnelles ainsi que les moyens de lutte phytosanitaire ont fait l'objet d'échanges très intéressants.

Il ne suffit cependant pas d'assurer une alimentation suffisante en quantité ; encore faut-il en préserver la qualité nutritionnelle. Cette dernière est directement liée à l'amélioration des techniques de

conservation, de transformation des denrées, mais aussi des préparations culinaires.

Les participants ont également étudié les intéressantes possibilités qu'offrent les technologies modernes de conservation, celles en particulier qui utilisent l'énergie solaire.

Enfin, les différents aspects de la conservation après-récolte ont été étudiés et cette diversité même a été très appréciée.

La quasi totalité des pays de l'Afrique noire francophone était représentée par près de quatre-vingts participants. Ce brassage universitaires-chercheurs des instituts a permis, aux uns comme aux autres, de prendre conscience qu'un travail en commun était indispensable.

La nécessité de créer un réseau inter-africain de scientifiques a été vivement ressentie par les chercheurs africains qui ont élu un comité scientifique inter-africain dont la mission sera d'assurer le suivi du colloque : de détecter et d'encourager les projets de recherche existants ; de favoriser la constitution d'équipes régionales et inter-Etats afin de mettre en commun les résultats obtenus et présenter une structure cohérente de dialogue avec des équipes de chercheurs déjà organisées existant dans les pays du Nord.

Ce comité a tenu sa première réunion en avril 1980 à Dakar, au Bureau africain de l'AUPELF.

Les membres du comité ont présenté les expériences déjà engagées dans chacun de leur pays constituant l'amorce de l'indispensable recensement des travaux déjà entrepris sur les technologies traditionnelles de conservation. D'autre part, un inventaire localisé de ce type de technologie sera mené dans un village ou un groupe villageois représentatif. Enfin, il s'agira d'étudier puis de mettre en oeuvre les conditions d'une étude plus générale, à l'échelle d'une région ou d'un pays tout entier.

Le comité a également étudié les aspects scientifiques et logistiques de deux colloques à venir concernant l'un la conservation des tubercules et l'autre la conservation des légumineuses.

Des recommandations présentées par les participants, se dégagent plusieurs points essentiels.

L'inventaire systématique des méthodes traditionnelles de conservation des tubercules, des céréales et des légumineuses devrait figurer en bonne place dans les programmes de recherche et les efforts déjà entrepris dans ce sens seront à encourager.

L'existence de principes toxiques résiduels connue depuis longtemps chez certaines denrées — le manioc par exemple — a été confirmée.

Dans un souci de préservation de la qualité nutritionnelle, les études scientifiques et socio-économiques menées sur cette question devront être poursuivies d'une manière approfondie.

L'utilisation des pesticides classiques s'est avérée fructueuse dans certains cas de cultures à grande échelle et dans les milieux non ruraux. Par contre, au niveau des villages, des techniques et produits locaux sont recommandés parce que mieux acceptés et présentant moins de risques pour les populations. Cela nécessite un important effort de recherche sur les produits naturels et autochtones.

L'insuffisance de cadres et techniciens compétents en laboratoire et sur le terrain, constitue un handicap sérieux pour la mise en oeuvre de toute solution dans ce domaine de l'après-récolte. Ces questions devraient être insérées dans les programmes d'études et de stages.

Parallèlement, il est vivement souhaitable de renforcer la coopération universitaire et scientifique en encourageant, par exemple, les conventions et les accords interuniversitaires sur ces questions, au niveau régional certes, mais aussi avec des laboratoires étrangers (programmes sur l'écologie et la biologie des *bruchidés* notamment).

Le Comité scientifique inter-africain se compose de :

- MM. Inezdane Alzouma (Université de Niamey, Niger)
- Kouahou Foua-Bi (E.N.S.A., Abidjan, Côte d'Ivoire)
- Siméon Kabre Tibo (Université de Ouagadougou, Haute Volta)
- Mohamadou Ly (I.S.R.A.- C.N.R.A., Bambey, Sénégal)
- Ruben Mbon (Office céréalier de Garoua, Cameroun)
- Nazaire Nkouka (Centre ORSTOM Brazzaville, Congo)

ALLOCUTIONS

ALLOCUTION DE M. ANOMAH NGU

Vice-chancelier de l'Université de Yaoundé

Monsieur le Président, Mesdames, Messieurs, c'est pour moi un très grand honneur que d'avoir à inaugurer ici aujourd'hui les travaux de ce premier colloque international de technologie portant sur la *Conservation des denrées alimentaires cultivées en climat chaud et humide*, organisé par l'Association des universités partiellement ou entièrement de langue française (AUPELF), en collaboration avec le ministère français de la Coopération et l'Université de Yaoundé.

Qu'il me soit permis, au nom de Monsieur le Chancelier et en celui de tous les sociétaires de notre Université, de vous adresser un souhait de bienvenue sur notre campus.

Très sensible à l'insigne honneur que vous lui avez fait en la choisissant pour être le siège de ce premier colloque international, l'Université de Yaoundé vous exprime, par mon intermédiaire, sa profonde reconnaissance.

Elle se réjouit d'accueillir en ce jour les éminents hommes de science que vous êtes et apprécie hautement la présence dans ces assises de Messieurs le Président Guillou, président de l'Université de Paris Val-de-Marne, et André Jaumotte, président de l'Université libre de Bruxelles, vice-présidents de l'AUPELF.

La tenue de ce premier colloque dans un pays du tiers monde est significative à plus d'un titre. Elle répond à une longue attente et suscite de grands espoirs.

En effet, pour résoudre le problème de la faim dans le monde, voici de nombreuses années déjà que l'amélioration des techniques culturales et l'utilisation rationnelle des engrais figurent en bonne place parmi les recommandations des experts alors que les techniques de conservation des denrées alimentaires sous nos latitudes semblent être l'objet d'une moindre sollicitude.

Or, en dehors de certaines régions comme le Sahel où la nature est particulièrement hostile, ce dont nos populations souffrent le plus souvent n'est pas le manque absolu de produits alimentaires mais plutôt leur incapacité à pouvoir conserver durablement les denrées alimentaires qu'elles produisent tant bien que mal.

Dès lors, outre que nos paysans ont des difficultés à se constituer des réserves en prévision des aléas de toutes sortes, leur insertion dans le circuit du marché vivrier s'avère être une gageure compte tenu de leur incapacité d'assurer l'écoulement d'une bonne partie de leur production avant qu'elle ne se détériore.

Je ne me permettrais pas d'épiloguer davantage sur le thème de vos travaux, mais la lecture du programme de ce colloque montre déjà votre souci de traiter en profondeur le problème de la conservation des denrées alimentaires puisque vous envisagez de rechercher les moyens à mettre en oeuvre pour garantir une récolte de qualité et les dispositions à prendre pour que les produits alimentaires puissent garder toute leur valeur nutritive.

Messieurs les membres du Comité scientifique international, Messieurs les participants, nous espérons que ce colloque sera pour tous une plateforme d'échanges fructueux entre universités mais aussi l'occasion d'une ouverture vers l'extérieur, représenté ici par des centres de recherche et des organismes d'Etat.

Je souhaite vivement que vos réflexions débouchent sur la définition des travaux à mener en commun au sein de chaque pays mais aussi et surtout entre les quatorze pays ici représentés.

On a souvent reproché au monde universitaire de vivre en vase clos, loin des préoccupations de la société. Avec ce colloque, vous prouvez qu'il n'en est rien et que nos jeunes universités choisissent délibérément des voies de recherche proches des réalités quotidiennes afin de mieux contribuer au développement de nos pays.

En vous remerciant de votre tolérance pour la diction approximative de l'anglophone que je suis, vous me permettrez, Mesdames, Messieurs, de vous réitérer, à tous, nos souhaits de bienvenue dans notre campus et dans notre ville.

Je m'en remets à Monsieur le Professeur Eben Moussi et à Monsieur le Professeur Claude Marty, coordonnateurs du colloque sur le plan local, pour faire en sorte que votre manifestation soit une grande réussite.

ALLOCUTION DE M. MICHEL GUILLOU

Président de l'Université Paris — Val-de-Marne
Président du groupe de réflexion de l'AUPELF en matière de technologie
Vice-président de l'AUPELF

Monsieur le Secrétaire général de l'Université, Messieurs les Doyens et Directeurs, Messieurs et Mesdames les participants, chers collègues, permettez-moi tout d'abord au nom du recteur Paul Lacoste, président, et de Maurice Beutler, secrétaire général de l'Association des universités partiellement ou entièrement de langue française (AUPELF), de remercier les autorités camerounaises et plus particulièrement le ministère de l'Education et l'Université de Yaoundé d'avoir accueilli ici au sein de l'Université, dans le cadre de l'Ecole nationale supérieure polytechnique le Premier *Colloque international de technologie de l'AUPELF* auquel l'Association, pour des raisons que je vais me permettre d'évoquer, attache une importance essentielle et prioritaire. Cette priorité, l'AUPELF a tenu à l'affirmer en chargeant les deux vice-présidents membres de son groupe permanent de réflexion en matière de technologie, Monsieur le Président Jaumotte et moi-même, d'être présents parmi vous cette semaine et de la représenter.

Je vous prie Monsieur le Vice-chancelier de bien vouloir transmettre à Monsieur le Chancelier Mbella Mbappe l'expression de la reconnaissance du comité scientifique international d'organisation du colloque pour avoir bien voulu apporter à l'AUPELF la collaboration de l'Université de Yaoundé.

Mes remerciements vont aussi aux membres du comité scientifique national camerounais et à ses coordinateurs, Monsieur le Professeur Eben Moussi, directeur du Centre universitaire des sciences de la santé, élu l'année passée lors de l'Assemblée générale de Bordeaux comme membre du Conseil d'administration de l'AUPELF et Monsieur le Professeur Marty, directeur de l'Ecole nationale supérieure polytechnique qui accueille le colloque dans ses murs. Ils ont, en acceptant cette lourde et difficile mission, permis l'organisation matérielle de la rencontre.

Nous exprimons toute notre gratitude à l'Agence de coopération culturelle et technique, à l'Université des Nations-Unies, au ministère français de la Coopération, au COMES, au GERDAT et à l'UNICEF pour le concours qu'ils nous ont apporté.

C'est en 1976, au début du mandat de Monsieur le Recteur Sy, recteur de l'Université de Dakar, président en exercice de l'AUFELF, et sous son impulsion que le Conseil d'administration m'a chargé d'animer en son sein un Groupe de réflexion en matière de technologie auquel ont bien voulu participer Monsieur Bouraoui, directeur de l'Institut scientifique et technique de l'Université de Tunis, Monsieur le Président Jaumotte, président de l'Université libre de Bruxelles, vice-président de l'AUFELF, Monsieur le Recteur Makany, secrétaire général de l'Association des universités africaines (AUA), Monsieur le Recteur Martin, recteur de l'Université de Sherbrooke.

Les travaux de ce groupe vont conduire successivement à l'organisation des Premières Journées internationales de technologie, en décembre 1977 à Dakar, sur le thème *Pédagogie africaine en technologie*, à la création du service Culture technologique dirigé par le professeur Jacques Renoux, à la décision de l'Assemblée générale tenue à Bordeaux du 26 novembre au 2 décembre 1978 de donner à la coopération interuniversitaire et au dialogue des cultures en matière de technologie une priorité dans le triennat 1978-1981. Un programme sera adopté, le groupe de réflexion en matière de technologie étoffé par l'entrée de Monsieur le Professeur Eben Moussi et du Professeur Cau, président de l'Université de Grenoble I ; le bureau de l'AUFELF sera élargi par l'élection d'un vice-président chargé du programme Culture technologique.

Pourquoi cette priorité et cette volonté de l'AUFELF de dynamiser la coopération dans le domaine technologique entre les universités membres ? La réponse s'analyse à partir d'une prise de conscience du concept de culture technologique et de ses rapports avec le développement.

Si l'on désigne par le concept global et synthétique de culture l'ensemble des valeurs, institutions, techniques et modes de comportement qui se transmettent à l'intérieur d'une communauté, il faut bien admettre que le vingtième siècle fait une large part à la technologie. L'histoire des hommes ne se dissocie pas de leur aventure technologique. Il suffit de replacer l'aventure technologique de l'humanité dans la perspective historique pour dégager la technologie du "ghetto" où peut-être trop d'intellectuels et de responsables sont enclins à la confiner. Il serait vain d'imaginer un ordre mondial nouveau si l'on ignorait l'incidence qu'est susceptible d'y provoquer l'intervention de technologies nouvelles : solaires, informatiques, biologiques et médicales entre autres, comme il serait erroné d'oublier le rôle qu'aujourd'hui assument les technologies dominantes.

La culture technologique est donc bien une dimension de la modernité que toute société doit assumer aujourd'hui en fonction de ses valeurs culturelles et de son génie propre. Il est d'ailleurs probable que, de ce point de vue, les pays développés n'ont pas assez mesuré les conséquences culturelles de l'aventure technologique moderne,

aisément démontrées par des études socioculturelles comparatives. L'application harmonieuse de la science et de la technologie au développement implique, par conséquent, que soient trouvées les voies permettant à chaque pays de prendre en charge une démarche progressive, et sans rupture profonde par rapport à son substrat culturel, l'élaboration d'une culture technologique spécifique.

Il est bien certain que le transfert sans discernement d'une technologie porteuse des valeurs culturelles de la société qui l'a conçue vers une société qui ne l'a pas engendrée et n'en ressent pas immédiatement le besoin, provoque tensions et rejets. Il faut prendre conscience d'une dure réalité : chaque société doit trouver en elle-même les chemins lui permettant d'assumer sa modernité.

Le développement de technologies endogènes reflétant la culture technologique traditionnelle d'une société donnée et celui de technologies appropriées au projet de promotion collective de chaque pays, alliés à un transfert de technologie raisonnable respectant ou s'adaptant à la réalité socio-économique de chaque société, constituent des éléments d'action possibles vers la maîtrise d'une culture technologique assumée. Toutefois, cette démarche ne sera possible que dans la mesure où la formation permet à chacun à la fois une prise de conscience de son savoir-faire acquis et des possibilités d'évolution que procurent le savoir scientifique et le savoir-faire technique.

L'épanouissement d'une culture technologique originale en harmonie avec une société dont elle respecte les valeurs culturelles traditionnelles, projet essentiel de promotion collective d'une société, implique avant tout la formation à tous niveaux d'hommes du développement capables d'assumer à la fois leur culture propre et la culture technologique d'aujourd'hui nécessaire à l'essor économique de leur pays. Dans cette optique, l'effort de formation concerne aussi bien le milieu rural qu'industriel, l'enseignement primaire, secondaire, supérieur général et professionnel. Il suppose une pédagogie appropriée toujours appuyée sur la réalité socio-économique du pays concerné, susceptible non seulement de transmettre le savoir et le savoir-faire des pays industrialisés, mais capable aussi et surtout d'initier dans les pays en développement une créativité et une innovation endogènes en matière de savoir-faire technique.

L'urgence qui s'attache à la formation des hommes du développement apparaît clairement. Sa mise en oeuvre passe par la création, le développement et l'enracinement de structures universitaires nationales, ainsi que l'utilisation contractuelle des systèmes éducatifs des pays développés par les pays en développement. Cette dernière forme de coopération permet à un pays de disposer des formations qu'il ne peut satisfaire. Elle assure de plus, pour les besoins du développement, l'ouverture indispensable sur l'extérieur et en particulier sur d'autres techniques et cultures technologiques.

Dans le cadre du nouvel ordre économique international et du dialogue des cultures, en dépassant la dichotomie coopération technique et économique / coopération culturelle et universitaire, il faut mettre en place une nouvelle coopération conçue en fonction et en faveur du développement, à la hauteur du défi posé par le monde contemporain. Là, se trouve vraisemblablement pour les Etats et les organisations internationales l'argument d'une réflexion quant aux formes nouvelles de leur action pour le développement.

Le phénomène technologique, qui s'impose à la société de notre temps, prend une ampleur telle, dans ses conséquences culturelles et son implication dans tout processus de développement, que l'université ne peut l'ignorer.

Dans une nation, et tout particulièrement dans les pays en développement, l'université au sens large et moderne du terme est certes un foyer de réflexion mais elle se doit aussi d'être un centre de créativité où s'élabore une science et une technologie au service de l'homme. Chaque communauté humaine doit pouvoir apporter sa contribution à l'acquis de la science universelle et participer à l'acquisition du savoir-faire technique ; elle doit, de plus, pouvoir accéder à la maîtrise de son développement, en assumant sa culture technologique par la rationalisation des technologies endogènes, la création de technologies appropriées, l'acquisition raisonnable des technologies importées. Ces trois volets du développement sont les clés de voûte de l'épanouissement d'une culture technologique originale en harmonie avec une société dont elle respecte les valeurs culturelles traditionnelles.

Il importe que l'université en assurant la formation des cadres, et en particulier des cadres techniques, qu'implique le développement, en mettant en oeuvre des recherches technologiques appropriées parallèlement à un effort de valorisation de l'existant, soit à la hauteur du défi posé ; ce creuset irremplaçable de l'effort créatif de développement de chaque nation.

Communauté d'universités, l'AUPELF se devait de présenter un programme de coopération interuniversitaire mettant à la disposition de chaque université membre la compétence en matière de savoir et de savoir-faire de l'ensemble afin de favoriser la réflexion et l'action des universités et d'aider à l'émergence d'une formation des hommes et d'une recherche en matière technologique capable de répondre aux exigences et d'induire le développement.

L'AUPELF a établi à Bordeaux, lors de son Assemblée générale de 1978, un programme qui répond à ces recommandations et qui comporte plusieurs volets.

Le premier volet est un volet de réflexion. L'AUPELF organise chaque trois ans des Journées internationales de technologie. Les premières ont eu comme thème *Pédagogie africaine en technologie*, les secondes en 1980 auront probablement pour thème *Culture technologique, formation et développement*. Il s'agit là de réfléchir à la problématique de la relation entre technologie et société.

Elle met en place, dans le cadre d'une revue internationale de technologie, un instrument permettant la publication de la problématique de la culture technologique assumée. Cela suppose d'abord la possibilité de publier des études sur les conséquences de l'aventure technologique moderne, sur la culture des sociétés développées. On n'a pas assez mis en évidence les conséquences de l'électricité, de l'électronique, des transistors sur la vie de tous les jours des hommes.

Une deuxième finalité de cette revue internationale de technologie sera d'étudier les problèmes que pose la technologie à la société, que pose le transfert de technologie, que posent les technologies endogènes, que pose l'énergie par rapport à la société. Enfin, cette revue sera une tribune pour parler de formation et pour comparer, pour informer sur les expériences qui sont poursuivies pour mettre sur pied des formations adaptées à un développement technologique.

Un deuxième volet de ce programme est la tenue de colloques thématiques à facture technologique. L'objectif est de rassembler pour une technologie intéressant un ensemble régional et, par conséquent, pour des technologies appropriées, de rassembler les hommes appartenant au milieu universitaire, scientifique, gouvernemental et économique, afin que se tisse un réseau de compétences et qu'il y ait une prise de conscience de leur solidarité, ces colloques devant déboucher sur une relation permanente de type associatif.

L'AUPELF en s'appuyant sur l'ensemble de la communauté d'universités qu'elle représente peut également contribuer à des actions de consultation en matière d'ingénierie pédagogique.

Apte à dresser l'inventaire des compétences en matière de technologie de l'enseignement supérieur des pays partiellement ou entièrement de langue française, l'AUPELF doit faire connaître et mobiliser pour le développement le réseau des potentialités des institutions membres (hommes, équipes, laboratoires, institutions de recherche, etc.) et favoriser les échanges interuniversitaires visant à mettre en commun les expériences déjà acquises.

Ce colloque est le premier CIT et en l'organisant sur le thème *Conservation des denrées alimentaires cultivées en climat chaud et humide*, l'AUPELF est au coeur de son engagement. L'Association souhaite participer à l'institution d'une coopération régionale dans ce domaine si essentiel des technologies appropriées que sont les

technologies post-récoltes pour les récoltes tropicales. La lutte contre la faim, l'obtention d'une nourriture saine et suffisante pour l'ensemble de la population sont des priorités pour les prochaines décennies. Les solutions à apporter pour répondre aux besoins ne procèdent pas seulement d'une augmentation de la production alimentaire mais passent aussi, et dans le court terme en particulier, par une amélioration des conditions de conservation et de stockage.

Je ne doute pas que cette rencontre permette de progresser.

PRESENTATION DU COLLOQUE

par Jacques Renoux
Directeur du service de Technologie de l'AUPELF
Professeur à l'Université de Paris XII

Permettez-moi de vous présenter très rapidement la démarche qui a conduit l'AUPELF à l'élaboration du thème de ce colloque et aux finalités de cette rencontre sur la *Conservation des denrées alimentaires en climat chaud et humide*.

C'est à l'issue des Journées internationales de technologie de Dakar, qui se sont déroulées en décembre 1977, que le tout jeune service de technologie de l'AUPELF a reçu une triple mission :

- faire et diffuser l'inventaire des technologies locales africaines, ce que nous sommes en train de faire par le biais de notre service de technologie à Dakar ;
- organiser des colloques thématiques interafricains, ce que nous faisons aujourd'hui ;
- favoriser et soutenir la création de sociétés scientifiques interafricaines, ce que nous allons essayer de mettre sur pied.

A la demande des universitaires africains, lors de la dernière Assemblée générale de l'AUPELF à Bordeaux, en décembre 1978, de nombreux universitaires exprimaient par la voix de la commission "Culture technologique et développement", leurs propositions pour le thème de ce premier colloque, à savoir l'étude d'un des problèmes fondamentaux posés en pays en développement, une nourriture suffisante et saine pour l'ensemble de la population.

Au cours de la deuxième conférence des Nations unies sur la science et la technique au service du développement (2^e CNUSTED), qui s'est tenue à Vienne l'été dernier, de nombreux gouvernements africains ont d'ailleurs mis cette analyse au programme de leurs soucis prioritaires. En effet, une nutrition saine, on le sait maintenant, conditionne non seulement la croissance physique, mais également le développement intellectuel. En particulier, il semble probable que la malnutrition *in utero* et pendant les deux premières années de la vie, qui correspondent à la formation des divisions des neurones, et surtout à la mise en place des connexions internes neuronales, sont la cause de déficiences irréversibles parce que de nature anatomique. Les experts nous diront que, globalement, le déficit alimentaire mondial est en voie de régression. Ceci est vrai sans doute, mais le bilan porte essentiellement sur

des denrées alimentaires comme le blé, qui d'une part ne sont pas dans les habitudes alimentaires de nombreux pays en développement et, d'autre part, nécessitent un pouvoir d'achat élevé. Il importe donc d'augmenter les possibilités de consommation des productions locales. Cette augmentation passe soit par une extension des cultures, un accroissement de leur rendement ou bien encore et c'est le but de ce colloque, une amélioration de la conservation sur place des produits locaux de consommation courante, en utilisant des moyens compatibles avec les ressources nationales. C'est pourquoi le Comité scientifique international a été amené à définir les trois axes qui sont proposés à votre réflexion :

- les aléas post-cultureux ;
- la conservation de la valeur nutritive des denrées alimentaires ;
- les technologies de conservation en milieu rural africain par le froid et le séchage, en particulier à partir de l'énergie solaire.

Ce colloque thématique, réunissant sur un sujet d'actualité des chercheurs d'horizons divers, universités, instituts, organismes de recherche, opérations de développement rural, permettra un brassage des idées et une confrontation des expériences nationales. Toutefois, les échanges, issus d'un colloque, sont ponctuels par essence mais leur portée pourra être élargie par leur diffusion dans la revue internationale de technologie de l'AUPELF "Culture technologique".

Enfin, afin de prolonger le bénéfice de ces échanges, ceux-ci pourraient se renouveler au sein de structures scientifiques régionales ou sous-régionales qui, palliant l'isolement des chercheurs africains, leur permettraient de bénéficier par le truchement de liens permanents, de l'expérience de leurs collègues.

Ce premier colloque, outre son intérêt scientifique, aura donc le mérite de permettre à des chercheurs souvent fort éloignés l'un de l'autre de nouer et concrétiser des contacts fructueux pour les programmes d'aujourd'hui et de demain.

ALLOCUTION DE CLOTURE DE M. F.A. GANDJI

Directeur général de l'ONAREST

Monsieur le Vice-Président de l'AUPELF, Honorables Délégués, Mesdames et Messieurs, je voudrais exprimer ici ma gratitude à l'AUPELF, en particulier à Monsieur le Professeur et collègue Michel Guillou, et aux organisateurs de cette importante rencontre sur le thème *Conservation des denrées alimentaires cultivées en climat chaud et humide* pour m'avoir fait l'insigne honneur de présider la clôture de presque une semaine des travaux d'une envergure à la fois spécifique et générale, conceptuelle et pratique, enfin, nationale et internationale.

Je me réjouis également de souligner la portée réelle de l'allocution d'introduction de Monsieur le Vice-Président de l'AUPELF qui, non seulement a tracé le cadre et l'esprit dans lesquels devaient se dérouler les échanges de vue et de connaissances au cours des travaux, mais aussi s'est évertué à définir de manière magistrale le concept de la culture technologique qui replace l'homme simultanément dans son contexte culturel de développement et dans le concert des cultures internationales avec leurs technologies essentiellement endogènes.

Par ailleurs, il me semble hautement valable de noter avec satisfaction que l'AUPELF, en introduisant dans ses activités déjà débordantes sa participation effective à la recherche des solutions au problème moderne des transferts de technologie, a finalement retrouvé son équilibre en complétant son champ d'actions dans la coopération internationale.

Cependant, pour apprécier l'originalité des colloques internationaux de technologie de l'AUPELF, il convient de les replacer, d'une part dans une perspective historique, d'autre part dans l'ensemble des activités du service Culture technologique.

Fondée depuis près de vingt ans, l'AUPELF, communauté regroupant des universités très diverses d'Afrique, d'Amérique du Nord et d'Europe, a pour objectifs majeurs le développement de la coopération internationale dans l'enseignement supérieur, la mise en contact des hommes et des idées, le dialogue des cultures.

De par la diversité de ses membres, l'AUPELF se devait d'apporter sa contribution à la recherche d'un nouvel ordre international et à l'instauration d'un véritable dialogue Nord-Sud. Parmi les rencontres qui ont préparé la deuxième Conférence des Nations

unies sur la science et la technique au service du développement, organisée à Vienne en août 1979, les Journées internationales de technologie, organisées par l'AUPELF à Dakar en décembre 1977, ont largement contribué à mieux cerner les besoins en matière de technologie et les solutions que peut apporter la communauté universitaire francophone.

Dans le but de favoriser l'émergence des préoccupations technologiques au sein des universités, l'AUPELF s'est dotée d'un nouvel outil : le service Culture technologique.

Il s'agit d'étudier les conditions de l'environnement et du transfert de la technologie, mais aussi et surtout de promouvoir les technologies endogènes dans la perspective du développement. Ce nouveau concept de "culture technologique" prend en compte les relations entre les sociétés et leur technologie. Ainsi, pour être efficace, une technologie doit être compatible avec la culture des sociétés où elle est mise en oeuvre. La formation des hommes apparaît comme l'une des conditions essentielles pour réaliser cette adéquation.

Parmi ses activités, le service Culture technologique organise une série de colloques régionaux portant sur des thèmes précis concernant le développement. Ces colloques répondent à des besoins qui ont été exprimés lors des Journées internationales de technologie de Dakar.

Ces colloques internationaux de technologie de l'AUPELF se tiennent en Afrique. Le Cameroun a eu l'honneur d'abriter le premier de ces colloques, à l'Université de Yaoundé, sur la *Conservation des denrées alimentaires cultivées en climat chaud et humide*, le second se tiendra à l'Université de Ouagadougou sur la *Valorisation énergétique des végétaux et des déchets agricoles*.

Les colloques internationaux de technologie sont l'occasion d'un large échange de vue entre les spécialistes des différents pays, universitaires et chercheurs d'autres organismes. Ils devraient susciter des actions de coopération interrégionale sur des thèmes scientifiques et technologiques précis intéressant le développement.

Si le colloque de Yaoundé a été une réussite sur le plan des échanges entre spécialistes de différents pays, il a aussi permis de mettre en évidence plusieurs données scientifiques et technologiques importantes notamment :

- le problème du déficit alimentaire mondial et la nécessité de le combler par une réduction des pertes post-culturelles ;
- l'ampleur des pertes et la nécessité de les évaluer de façon précise ;

- l'existence de moyens efficaces pour combattre les parasites ; à court terme, les pesticides semblent bien être la seule solution possible à l'heure actuelle ;
- la nécessaire valorisation et rationalisation des technologies traditionnelles.

D'autre part, ces rencontres ont mis l'accent sur plusieurs problèmes restant à traiter, notamment :

- l'étude de la conservation des qualités nutritionnelles dans les préparations traditionnelles ;
- l'étude de l'énergie solaire et de ses applications prometteuses pour le séchage des denrées ;
- l'étude des possibilités offertes par le froid pour la conservation des denrées périssables, en particulier les tubercules.

Voilà, en résumé, à mon sens, la contribution appréciée à sa juste valeur, mais combien importante, des travaux qui se sont déroulés à l'Université de Yaoundé du 5 au 9 novembre 1979, dans le domaine de la conservation des denrées alimentaires cultivées en climat chaud et humide. Les résultats de vos discussions, concrétisés dans un certain nombre de recommandations, serviront, j'en suis sûr, de point de départ à d'autres études futures relatives au même secteur qui a été au centre de vos préoccupations pendant votre bref séjour au Cameroun.

Permettez-moi, au nom des autorités camerounaises, de remercier Monsieur le Recteur Paul Lacoste, président, et Monsieur Maurice Beutler, secrétaire général de l'Association des universités partiellement ou entièrement de langue française (AUPELF) d'avoir bien voulu que le premier colloque international de technologie de l'AUPELF se tienne à l'Université de Yaoundé.

Nos remerciements vont aussi aux membres du Comité scientifique national et à Monsieur le Professeur Marty, directeur de l'Ecole nationale supérieure polytechnique, qui ont mis à l'oeuvre tout ce qui était en leur pouvoir pour assurer la réussite de cette rencontre.

Nous exprimons notre gratitude à l'Agence de coopération culturelle et technique, à l'Université des Nations-Unies, au ministère français de la Coopération, au Commissariat à l'Energie solaire, à l'UNICEF et au Groupe d'études et de recherches pour le développement de l'agronomie tropicale (GERDAT) pour le concours et l'appui qu'ils ont apportés au succès de cette conférence.

Nous remercions également Monsieur le Chancelier de l'Université de Yaoundé qui a bien voulu ouvrir ses portes à cette rencontre scientifique et technique de très haute valeur.

THÈME I

LES ALÉAS POST-CULTURAUX

EXPOSÉS INTRODUCTIFS

LES ALEAS POST-CULTURAUX

(critères, particularités, préservations, suggestions)

par Yvon de Luca

I. INTRODUCTION

Notre but en abordant ce thème, est d'appréhender avec vous une solution originale concernant la réduction du déficit alimentaire que subit le Sud face au Nord. En effet, plus qu'ailleurs, une *créativité permanente et originale* est possible dans vos pays et c'est vous, Mesdames et Messieurs les Universitaires, qui en êtes le ferment.

Comme pour toute réalisation, développer des potentialités agricoles, alimentaires, réclame d'être *informé* pour efficacement *produire, préserver, conserver*.

Pour *l'information*, nous avons souligné en mars 1978 au Séminaire international du GASGA à Londres, la difficulté de son recueil, et sa faiblesse quant aux pertes post-culturelles, d'où la nécessité de susciter son développement, et le dépôt obligatoire à son sujet, de toute publication nationale, dans un centre bibliographique d'Etat.

Pour le deuxième point : la *production*, nous avons aussi en 1978, proposé pour l'horizon 1985, le développement actif de travaux sur les variétés locales améliorées, en privilégiant l'effort sur les phases post-culturelles et la mise en place d'un service phytosanitaire multinational.

Ce colloque veut aborder certains aspects de la conservation par technologies avancées, de la valeur nutritive des céréales, protéagineux, racines et tubercules. Or les technologies de *conservation* ne s'appliquent qu'aux produits préservés de toutes altérations, ce sera l'objet de nos propos.

Y. DE LUCA, Chaire d'écologie animale et zoologie agricole,
ENSA Montpellier

Nous définirons la *préservation* des récoltes, comme les actions palliant les conséquences des aléas *post-cultureaux*, eux-mêmes bilan de corrélations d'écofacteurs naturels et artificiels, encourues par la denrée, de la récolte pendante à la table du consommateur. Ces corrélations s'inscrivent en dommages séquentiels, exprimés en perte, qu'une protection préventive et curative autochtone et originale peut amenuiser à chaque étape post-culturelle : *récolte, transport, conservation, commercialisation et utilisation.*

II. ALEAS POST-CULTURAUX

1. Critères

a) Causes des agressions

Les aléas post-cultureaux comportent des agressions liées à des *causes naturelles* exacerbées ou contrecarrées par des *causes artificielles.*

Les premières sont :

- . *abiotiques* : mécaniques, physiques, chimiques ;
- . *ou biotiques* : destruction trophique ; agression physiologique ; pollution, par faune et flore cryptogamique (cosmopolite ou spécifique).

Les secondes sont :

- . *anthropiques* : culturelle (comportement lié aux us et coutumes), et technique (méconnaissance ou inadéquation des technologies appliquées aux denrées de la récolte à la consommation).

Par ailleurs, à chaque séquence post-culturelle, ces facteurs causaux se transforment en écofacteurs corrélés à l'environnement et leur pression fluctuante s'accroît de difficultés spécifiques à vos pays : éoclimats nombreux, comportement très différencié des végétaux (plusieurs récoltes annuelles possibles), polyvoltinisme des ravageurs, contexte économique et humain fortement régionalisé...

b) Types d'agressions

Quant à l'ampleur du bilan des pertes occasionnées par les aléas, elle n'est pas négligeable, puisque peut être ainsi anéanti le bénéfice d'une récolte pendante si chèrement conquise.

En effet, deux types de dommages s'inscrivent sur denrées et matériels :

- . des *déprédations* d'emblée définitive : *accidents* (verse, égrenage, déhiscence, brisures, coloration, échaudage, brûlure, germination) et *agressions* (destruction biochimique : dégradation de protéines et réduction de lipides ; physiologique : échauffement ; et trophiques action de ravageurs : primaires ; secondaires : détritiphages ; voire tertiaires : parasites, nacrophages).
- . des *dépréciations*, à gravité amenuisable : détérioration physique (température, humidité) et contamination biotique par impuretés et souillures cryptiques animales et végétales, nuisantes, toxiques voire pathogènes.

c) Résultat des agressions

Ces dommages astreignent :

- . *l'économie de l'individu* : pertes directes (quantitatives et qualitatives de denrée) et indirectes (déficit de production, déficit agricole) ;
- . *et l'économie de la nation* : déficit socio-économique (avec chute de production élevant les prix, déséquilibrant la productivité et entraînant un déficit social).

En passant, soulignons à ce sujet l'incohérence d'un pourcentage même approché des pertes - comme nous aurons l'occasion d'en citer - pour des dommages si fluctuants : dans leur cause, intensité, impacts, en l'absence de méthodologie analytique appliquée à l'écosystème de telle ou telle denrée.

2. Particularités des aléas

Considérons maintenant quelques-unes des particularités de ces aléas, suivant la *région écologique*, la *denrée* et les *impacts anthropiques*.

a) Région écologique

Parmi les facteurs abiotiques d'une *région écologique*, quelle que soit durée ou époque des impacts, plus que les critères édaphiques, les niveaux (qualitatifs et quantitatifs) et l'interdépendance des données climatiques la caractérisant, orientent spécifiquement les agressions. Aussi sont-elles toutes maximales en climat chaud et humide ; celles par arthropodes dominantes en région chaude et sèche ; et celles d'origine cryptogamique ou fermentaire les plus dangereuses et les plus fréquentes en lieu frais et humide.

b) Denrée

Quant à la *denrée végétale*, elle influence l'ampleur des aléas post-cultureux par ses caractéristiques *culturelles* et *botaniques*, et le particularisme de ses *séquences post-culturelles*.

Du point de vue *culturel*. L'implantation (intrinsèque : écartement, couverture ... et extrinsèque : topographie) d'un peuplement végétal, détermine son originalité écoclimatique dans un environnement donné et oriente donc les variations écofactorielles jouant sur la récolte. Ceci du reste permet de comprendre quant aux agressions, le rôle spécifique des critères propres de la plante face aux facteurs fluctuants de l'environnement.

En effet, si la récolte est un bilan culturel, la denrée récoltée, d'une certaine façon est l'indice biotique instantané d'un milieu évolutif. Or, l'analyse montre que les *particularités botaniques* de végétaux différents : céréales, légumineuses, tubercules, agissent sur les risques encourus (époque, ampleur, qualité de l'agression), leurs critères spécifiques et même variétaux (tels que certains aspects morphologiques : port, développement ...) ayant localement un impact important quoique mal défini face aux agressions.

- . Pour les céréales vivrières, les risques principaux sont dus à l'insuffisance de résistance génétique. A 25% de taux de pertes pondérales, elles ne sont plus humainement consommables, or le pourcentage de pertes post-culturelles varie de 10 à 20% (avec 10 à 37% pour le riz en Asie du Sud-Est ; et pour le maïs en Malawi 10% au bout de neuf mois avec des variétés locales à grains durs et fanes enveloppantes, contre 30% pour celles améliorées, et 90% pour des variétés à grains tendres faiblement protégés par les fanes). Que dire alors des innombrables cas locaux méconnus !
- . Pour les protéagineux, plus difficiles à conserver que les céréales, par suite des insectes et des microorganismes, on a les mêmes écarts de taux de perte, mais une moyenne plus élevée. En effet, une faible infestation par Bruchidés (Col.) au champ, constitue une source de contamination entraînant des pertes ultérieures importantes, tant quantitatives que qualitatives (destruction trophique, nuisance organoleptique, fermentation amylique ...) Que dire de cas particuliers trop connus : niébé, arachide ...!
- . Pour les racines et tubercules, 20% est le taux minimum des experts, avec dégâts d'emmagasinage par moisissures et bactéries sur lésions de coupe ou d'arrachage, suivies pour des températures trop élevées ou trop basses de conservation, d'autres causes d'accidents (déperdition respiratoire et hydrique, etc.). Selon les régions, certaines espèces de tubercules atteignent en deux mois des pourcentages de pertes pondérales si incroyables que je n'oserais les citer (p.m.90%)!

- Quant aux *séquences post-culturelles* enfin, nous intégrerons aisément dans le processus général qui suit (sans nous arrêter sur les exemples) et pour chacune des cinq étapes chronologiques de la récolte pendante à la table du consommateur, les dommages particuliers liés aux espèces ou variétés culturelles en cause :
 1. *la récolte*, avec l'ensemble de ses soins : *moisson, battage, séchage, nettoyage*, essuie deux types d'incidents : naturels et techniques :
 - à la moisson, dominant les agressions naturelles : une différence de maturité induit selon l'époque et la durée de la moisson, des accidents plus ou moins exacerbés : verse par vent ; coloration par lumière ; surmaturité, échaudage, chute de grains, déhiscence de gousses par chaleur ; clivage du paddy et infestation du maïs avec le soleil ; germination en pourriture sur pied avec pluie ou humidité ; dégât par oiseaux, rongeurs, insectes, etc.
 - dans les soins ultérieurs de la récolte, prévalent les fautes de technicité. Inadaptation technologiques du *ramassage ; arrachage* et *décorticage* insuffisants à la main et cause de perte pondérale au sol ; *battage* (au pied des animaux avec souillures ; ou au fléan augmentant les grains brisés ; plus sujets aux altérations biotiques) ; *séchage* trop ou pas assez rapide à l'approche des pluies, avec germination, moisissures, champignons, bactéries ; *nettoyage* autorisant (par manque d'hygiène, négligence, sous équipement) des impuretés et souillures.
 2. *le transport*, du champ au lieu de conservation est inexistant, insuffisant, inadapté :
 - dans ses *capacités* (insalubres par : poussières ou tabous tolérant les ravageurs ; ou mal protégées contre : chaleur, humidité et déprédateurs).
 - et ses moyens de *transfert* trop lents facilitant les altérations biotiques et abiotiques ;
ou de *manutention* respectant ni chargement, ni arrimage, source de renversement, éventration, fuite, coulage.
 3. *la conservation*, familiale ou de groupe, a une gestion : *sanitaire* (protection et contrôle de qualité), de *transformation* (découpage, broyage, polissage, mouture, précuisson) et de *présentation* (pesage, emballage, scellage, étiquetage) subissant des accidents techniques, oh combien multiples :
 - par absence : de *contrôle* évolutif de la denrée ou de *protection* préventive de celle-ci (rancidité, échauffement, infestation) ;

- par ignorance : *méthodes de transformation* (polissage excessif, mouture mal dirigée ...) ou de *traitement*
- par inadaptation des capacités de stockage dans leur *conception* (emplacement, volume, protection) et surtout leur *gestion* (recoins, conditionnement des tas ...).

4. Pour la *commercialisation*, il en va de même que précédemment.

- au conditionnement : l'estimation volumétrique ou pondérale est inadéquate (boîte de conserve !) ; l'emballage et surtout le scellage des capacités, insuffisants, autorisent une infestation permanente ;
- à la distribution : marché local et circuit de vente sont sans protection hygiénique, ni publicité sur les risques encourus suffisante !

5. Quant à *l'utilisation* enfin, les pertes résultent de déficience technique qualitative :

- pour le producteur, absence de normes standards de référence à la valeur alimentaire ou à la propreté (souillures et impuretés) ;
- pour le consommateur, surtout en ce qui concerne l'évolution technologique de la femme, méconnaissance des possibilités d'emploi vis-à-vis de leurs qualités intrinsèques : valeur, conservation, goûts des mets traditionnels ou nouveaux.

c) Impacts anthropiques

Avant de conclure ces données sur les aléas post-cultureaux, soulignons en sus des causes dues à la *région* et à la *denrée*, le rôle des *impacts anthropiques*.

Des us et coutumes non adaptés à un "savoir faire" trop rapide (souvent du reste non régionalisé dans ses applications) et certaines conditions humaines locales, entraînent simultanément au développement, des distorsions culturelles. Citons les acceptations, voire protections de ravageurs ; tabous de refus alimentaire ; erreurs culturelles (maintien de récolte pendante en conditions climatiques défavorables) et techniques (méthodes locales mal adaptées de préservation, ou archaïsme technologique du séchage, battage, conservation ...) ne s'appliquant plus aux variétés cultivées.

Tout ceci, loin d'être négligeable, accentue par manque d'information, l'importance des déficits.

Cet aperçu rapide des aléas post-cultureaux, fait ressortir la spécificité et l'ampleur des impacts déficitaires, liés dans l'ambiance écologique locale, aux critères de la denrée, surtout pressions de ses séquences post-cultureales, subissant les contraintes anthropiques locales. De sorte qu'en conclusion, pour résorber prioritairement les pertes des étapes post-cultureales les plus exposées dans chaque cas, nous pouvons affirmer le rôle indispensable de la *maîtrise analytique dans une ambiance humaine donnée, de tous les facteurs du milieu et du végétal, pour une région, et par séquence de type de récolte.*

Or, c'est vous Mesdames et Messieurs, toujours motivés par les analyses intuitives à structure complexe, déclenchant par réflexe une hypothèse, qui êtes certainement dans ce domaine, les maîtres d'oeuvre les mieux habilités à en définir les contraintes.

III. MOYENS DE PRESERVATION

Face à ces problèmes post-cultureaux, quels sont les moyens possibles pour diminuer les pertes dans le cheminement de la récolte, du champ à la table ? Malgré l'importance du déficit alimentaire et du taux de pertes, et quoique les jeunes nations doivent faire face aux contraintes inhérentes aux pays en développement (insuffisance d'infrastructures et de possibilités de financement), en pays africain plus qu'ailleurs, les solutions sont riches de promesses.

En effet, quels que soient le végétal et le milieu, il existe au moins quatre possibilités peu onéreuses de *préserver* la denrée des aléas de chaque séquence post-cultureale :

- . *rechercher la perfectibilité technologique locale;*
- . *améliorer l'hygiène à tous moments;*
- . *susciter l'intérêt des techniques de préservation* : dissuadantes quant au milieu ; répulsives, antiappétantes ou létales visant les déprédateurs;
- . de plus, une réduction des impacts peut aussi être obtenue par une *information permanente* à tous niveaux, déclenchant la méfiance quant aux risques encourus, et l'exemple quant aux précautions à appliquer (particulièrement pour les séquences *récolte-transport*, les moins privilégiées, comme nous l'avons vu, dans l'attention qu'on leur porte). Citons au hasard certaines actions à faible impact financier.

1. Valoriser la technologie locale

On peut, sans frais, utilement améliorer le *travail local de récolte* :

- le choix du moment opportun de la *moisson* peut minimiser les agressions de surexposition aux conditions météoriques ;
- la rigueur et la vitesse d'un séchage adéquat, pallier les pertes par humidité ;
- un battage adapté, réduire les pertes et brisures ;
- un nettoyage soigné, supprimer les contaminations par impuretés et souillures.

Au transport de même, qui d'entre vous n'a pas réagi devant les inconséquences constatées de manutention (chargement et arrimage) ?

Dans les deux cas, s'il est inutile de vanter l'intérêt de vulgariser un tel type d'information, on se doit de souligner l'importance du choix, de la forme, et de la voie la mieux appropriée pour le faire.

2. Améliorer l'hygiène

Pour *l'hygiène*, développer une hantise de la propreté, serait l'action la plus payante en pays africain, où le fléau permanent du champ à la table est la *poussière*, d'origine minérale, parfois phytosanitaire, mais surtout biotique, résultant de négligences dont les impacts corrélatifs sont méconnus.

Ainsi, on a comme impacts :

- sur hommes et animaux : nuisance des poussières allergogènes d'arthropodes : toxicité de celles de champignons ; pathogénéicité des charges bactériennes véhiculées par les insectes, ou des souillures de rongeurs (fèces rendues pulvérulentes par chaleur ou mouture, vectrices de salmonelloses ; urines imprégnant les farines, agent de leptospiroses ictérohémorragiques ...)
- sur denrées : altérations sanitaires diverses (mécanique : poussière minérale ; biologique : 50 000 débris animaux aux cent grammes de farine de maïs africain, pour dix en Europe) ;
- sur matériels : colmatage et perturbations des silos enterrés, par cadavres et déjections d'arthropodes et rongeurs.

Les conséquences en sont catastrophiques :

- . pour *l'homme* : haute mortalité infantile par aliments souillés ;
- . pour la *denrée* : mévente par barrières douanières et refus d'importation de produits végétaux pulvérulents (pensons aux épices) ;
- . quant à *l'environnement*, son auto-contamination croissante entraîne des risques écoclimatiques (température, humidité relative) d'altération des matériels de transport et de gestion (silo) .

Or l'hygiène, acte gratuit et résultat de réflexion, peut vraiment soulager les deux séquences récolte-transport les plus souillées, par propagation des consignes simples telles que :

- éviter la stagnation de récolte sur sol humide ou non dépoussiéré ;
- refuser les capacités (bâts, pirogues, sacherie, caisses ...) de propreté douteuse, dont les parois non lisses et les recoins, permettent accès et abris aux ravageurs (rongeurs surtout) ;
- combattre en tous lieux les résidus et les dépôts de récolte rémanents ou plus ou moins odorants ;
- contrôler enfin par tous moyens, l'évolution physicobiochimique de la récolte, comme celle de la santé d'un enfant !

En conclusion, une propreté permanente contre toute contamination, basée sur une hygiène préventive, par dépoussiérage (pelletage, criblage) avec ventilation naturelle et surtout destruction des déchets provenant : de la denrée (support de faune spécifique), des matériels (attrait de faune occasionnelle) ou des abords (abri de faune accidentelle de l'environnement) réduirait fortement dans l'immédiat et à moindre frais, les incriminations constatées.

3. Susciter l'intérêt des techniques de préservation

Quant aux *techniques* de préservation, elles visent surtout les trois dernières séquences post-culturelles : *conservation - commercialisation - utilisation* .

A ce propos, les pays les plus développés tendent à implanter leur arsenal phytosanitaire préventif et curatif, qu'il s'agisse :

- de fumigants à tension de vapeur : faible (pyrethrinoides ou esters phosphoriques), ou forte (bromure de méthyle, phosphore d'hydrogène, tétrachlorure de carbone et dichloréthane) ;
- ou de substances de contact plus ou moins persistantes (type malathion, chlorophyrifos et pyrimiphosméthyl).

Or, ces ingrédients nécessitent l'emploi de techniques, matériels et produits d'utilisation, localement difficile, car créant des contraintes particulières :

- d'approvisionnement, sur le plan infrastructure de la chaîne livraison-transport-commercialisation, de la frontière au champ du cultivateur ;
- d'application, par manque d'information, de pratique et surtout de matériels ;
- de financement, nécessitant d'exporter des devises faibles, pour obtenir des produits de pays à devises fortes ;
- de pollution enfin, due à certains ingrédients, par absence de législation phytosanitaire ponctuelle locale, et de cadre juridique de contrôle sanitaire des denrées traitées.

Autant d'éléments décourageants quant à l'avenir de vos possibilités de décision. Or, vous possédez de riches potentialités en ingrédients autochtones, minéraux et végétaux, source de recherches exaltantes sur le plan appliqué, préventif et curatif, loin d'être exploitées, par carence d'inventaire ou de vulgarisation. Ces ingrédients variables avec les ethnies, utilisés de temps immémoriaux, ont leur efficacité, même si la transmission faussée de leur emploi, souvent du reste plus ou moins volontairement par leur propre détenteur, fait sourire le non initié au lieu de l'inciter à rechercher les réalités. Citons au hasard les plus intéressants dans l'éventail de ces produits :

dissuadants : les huiles végétales brutes, telle l'huile d'arachide, la poudre de rhizome d'*Acorus calamus* L (Aracés) ;

répulsifs : les grains de *Piper nigrum* L (Pipéracés) ;

antiappétants : tous les organes d'*Azadirachta indica* (L) (Méliacés) ;

létaux : attapulгите, balles de riz pulvérisées.

Tous, ingrédients naturels, ne nécessitant pas de préparation industrielle, à prix modique, faible taux d'emploi (3% en poids), non polluant, souvent bivalent (insecticide et insectifuge). Or, il serait souhaitable que les plus prometteurs soient comparés localement dans un centre commun à plusieurs régions écologiques semblables, pour vulgariser le plus efficace des plus employés par diverses ethnies. Ceci motiverait sur place des recherches, propagerait des coutumes locales améliorées, et vulgariserait des ingrédients autochtones mieux acceptés que ceux de synthèse importés, qui changent les pratiques traditionnelles, en plus de leurs difficultés d'emploi : obtention, transport, cherté.

4. Vulgariser l'information

Par ailleurs, à la base de toute contrainte nuisant à la réduction des pertes, se situe l'*information*, qui dérive d'une *connaissance*, appuyée sur une *recherche*, permettant une bonne *vulgarisation*.

- Du point de vue *connaissance*, on constate la gêne des pouvoirs publics à planifier une lutte, devant leur impuissance à estimer valablement :
 - . ce qui a été fait par ailleurs ;
 - . l'importance quantitative et qualitative des dommages liés aux différentes phases post-culturelles d'une culture ;
 - . et la rentabilité financière de la réduction des pertes face :
 - au coût des structures d'emmagasinage à créer et de celui des techniques de traitement à développer ;
 - au déficit dû à la cherté de produit de synthèse rare, ou à la non implantation d'installations à investissements privés ;
 - et aux bénéfices résultant de la meilleure qualité des denrées, de la diminution de leur importation et de l'accroissement de leur exportation.
- Du point de vue *recherche appliquée*, on ressent l'absence d'orientation pratique et de planification de thèmes prioritaires à mettre en route, assorti du reste d'une éventuelle insuffisance de personnel qualifié (ingénieur de travaux, technicien supérieur).
- Enfin, du point de vue *vulgarisation*, apparaît le besoin en formateurs de personnel qualifié (techniciens post-culturels et phytosanitaires) susceptibles d'induire cette vulgarisation et d'informer l'agriculteur.

En définitive, si des moyens autochtones originaux existent, pour enrayer les pertes post-culturelles et le déficit alimentaire, par une perfectibilité du travail et des techniques locales, basées sur les recherches et la vulgarisation de vos potentialités nationales de préservation, quel type d'orientation peut-on envisager ?

IV. UNE SOLUTION POSSIBLE

Face à ces contraintes, trois objectifs sont donc à maîtriser :

formateur : former des formateurs, cycloformer des techniciens et recycler ingénieurs, universitaires et hauts fonctionnaires, sur les problèmes techniques à impact national ;

informateur : renseigner et motiver des recherches nationales à tous niveaux ;

créateur : mise en place d'organismes appropriés aux structures locales, elles-mêmes optimisées en fonction des ethnies à toutes fins utiles.

Une solution réaliste pourrait être basée sur une coopération multilatérale des potentialités universitaires du Nord et du Sud.

1. Articulation du projet

L'articulation des orientations de cette nouvelle forme de coopération comporterait :

- à l'échelon nation africaine, une étroite collaboration gouvernement-université :
 - . les premiers réclamant aux seconds par sollicitation d'utilisateurs (entreprises locales, industriels, grossistes, exportateurs, etc.) et surtout par l'intermédiaire d'un bureau interministériel sur les pertes économiques : des *rapports spécifiques ou généraux* (corrélations déficitaires liées à telle denrée végétale à l'échelon régional, cause des pertes lors de la commercialisation de tel produit, impact national des aléas concernant telle culture ...) voire des *études ou projets* concernant des besoins en formation, information, création ;
 - . l'université ou les universités nationales sollicitées, élaboreraient alors des *sujets de thèse multidisciplinaire*, faisant appel à un groupe d'étudiants intéressés par le thème, chargés chacun en ce qui le concerne dans sa spécialité d'une donnée du rapport (en effet, tout ce qui a été fait dans ce domaine à ce jour, reste trop ponctuel à tous niveaux, et manque de vue d'ensemble, par carence d'avis de groupe ayant travaillé le même sujet mais sur des voies différentes).
- A l'échelon Coopération Nord-Sud, prise en charge en Europe de boursiers à court terme (trois mois maximum), donc plus nombreux, permettant aux intéressés (après dialogue et entente interuniversitaire) de venir recueillir un appui analytique de recherches (suggestions et préparation d'enquête). Les rapports individuels, objet de la thèse collective, étant obligatoirement établis dans les pays d'origine sous la responsabilité d'universitaires autochtones, qui orienteraient judicieusement en fonction des conditions locales, les transferts d'enquête et les schémas de travaux élaborés par l'étudiant en Europe.

2. Intérêts

L'intérêt de cette suggestion permettrait :

- d'éclairer les gouvernements sur l'importance relative de thèmes régionaux ou nationaux ressentis, pour lutter contre la faim ;
- de valoriser les potentialités universitaires, au profit de la dynamique nationale ;
- d'orienter, en sus du fondamental, les thèses universitaires sur des thèmes appliqués ;
- d'encourager le travail d'équipe local, régional, national et multinational ;
- de susciter la création motivée : d'emplois locaux de formateurs et informateurs et d'organismes d'utilité publique adaptés aux conditions du milieu ;
- enfin, d'augmenter le pouvoir d'achat de l'individu et les réductions de pertes financières d'Etat.

V. CONCLUSION

En conclusion, Mesdames et Messieurs les Universitaires, pour amender les aléas post-culturels, base de tant de déséquilibres nationaux, c'est à vous qu'incombe, en agissant auprès de vos gouvernements, d'offrir vos possibilités d'enquêtes, source d'information, de vulgarisation et de créativité, et de susciter des demandes d'objectifs prioritaires désirables, afin de compléter et d'enrichir votre apport national en potentialités de thèses fondamentales, de l'ajout utilitaire de thèmes appliqués, profitant à tous, et que vous êtes seuls habilités à mener à bien.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

ANONYME.

— Séminaire Ouest africain sur le rôle des volontaires dans le stockage des grains au niveau de la ferme et du village (Cotonou 1974). — G.T.Z. (Office allemand de la coopération technique), 1975. — 267 p.

ANONYME.

— *La réduction des pertes d'aliments après récolte*. Co AG/77/6. (Comité de l'agriculture 4^e session, Rome 20-28 avril 1977, point 6 de l'ordre du jour provisoire). — FAO, ronéoté, 1977. — 24 p.

ANONYME.

— *Les insectes et les acariens de céréales stockées*. — Paris : AFNOR, 1978. — 238 p.

ANONYME.

— *Post harvest food losses in developing countries* (contents : aspect cultural et socio-économique, estimation des pertes, céréales et protéagineux, périssables, poissons, éducation, formation, recommandations), 1978. — 206 p.-Commission on International Relation (JH 214) ; National Academy of science, National Research Council, 2101 Constitution Avenue, Washington DC 20418, Etats-Unis.

DITCHER DAVID.

— *Manual on improved farm and village level grain storage methods*. — G.T.Z. (Office allemand de la coopération technique), 1978. — 245 p.

HARRIS K.L., LINDBLAD D.J.

— *Post harvest grain lost assessment methods*. — American Association of Cereal Chemists. — 1978. — 193 p.

LUCA Y. de.

— "Agrobiocoenoses, possibilités écologiques déductibles en zoologie agricole de leur observation". — *Bulletin Association des naturalistes de l'enseignement agricole* (Lycée agricole, Montpellier), n° 13, octobre 1971, pp. 45-54.

LUCA Y. de.

— "Conséquences faunistiques de l'action humaine sur les écosystèmes". — *Bulletin Association des naturalistes de l'enseignement agricole* (Lycée agricole, Montpellier). N° spécial, juin 1972, pp. 1-23.

LUCA Y. de.

— "Technique culturale en lutte écologique contre les déprédateurs". — *Bulletin Association des naturalistes de l'enseignement agricole*, (Lycée agricole, Montpellier). N° spécial, 1973, pp. 1-18.

LUCA Y. de.

— "Notions d'écologie appliquée en agriculture (analyse, impacts, conséquences, possibilités)". — *Bulletin Association des naturalistes de l'enseignement agricole* (Lycée agricole, Montpellier), N° spécial, 1973, 63 p.

LUCA Y. de.

— "Ecologie des denrées stockées (milieu, peuplement, agressions)". — *Bulletin Association des naturalistes de l'enseignement agricole*, (Lycée agricole, Montpellier). — N° spécial, novembre 1975, 40 p. (65 réf.)

LUCA Y. de.

— "Ecological notions in crop loss assessment". — *FAO Plant protection bulletin*, vol. XXIII, n° 1, 1975, pp. 1-3.

LUCA y. de.

— "Déficit alimentaire. Pertes agricoles et protection phytosanitaire dans le monde (constatations, suggestions). — *Agronomie tropicale*, tome XXXIII, 2, 1978, pp. 195-198.

LUCA Y. de.

— "Les pertes post-culturelles de productions céréalières et protéagineuses (conférence introductive faite au séminaire organisé par le TPI à Londres, mars 1978). (De la nature du problème, types de pertes, causes des pertes, données sur les pertes, nécessité d'obtention de données plus précises, conclusions)". — *Agronomie tropicale*, tome XXXIII, 2, 1978, pp. 175-182.

LUCA Y. de.

— *Impuretés et souillures d'origine animale dans les denrées végétales pulvérulentes* (critères, impacts, détection, contrôle, législation, perspective). — Paris (35 rue du Général Foy, 75008) : APRIA, 1979. — 80 p. (200 réf.).

LUCA Y. de.

— *Ingrédients naturels de préservation des denrées stockées dans les pays en voie de développement* (produits minéraux, produits végétaux, produits animaux, dissuasifs, antiappétants, répulsifs, létiaux). — JATBA, 1979. — 22 p. (75 réf.). Sous presse.

MORRIS R.F.

— *Post harvest losses in developing countries* (A bibliography)
(contents : general food losses and control, methodology, general grain losses, maize, rice, wheat, other grains, pulses, fruit and vegetable, roots and tubers, fish, specific food loss reduction procedures, training for food loss reduction ...). — 1978. — 356 p. — Commission on International Relation (JH 214). National Academy of Science. National Research Council, 2101 Constitution Avenue, Washington D.C. 20418, Etats-Unis.

SCHULTEN G.G.M.

— "Losses in stored maize in Malawi (C. Africa) and work undertaken to prevent them". — *Eppo bulletin* (2), 1975, pp. 113-120.

INTERET DE TECHNIQUES DE PRESERVATION LE CAS DU TRAITEMENT CHIMIQUE DES DENREES STOCKEES

par Jacques Deuse

INTRODUCTION

Cet exposé introductif fait suite à celui de M. de Luca qui a introduit le thème dans son chapitre 3 relatif à l'intérêt des techniques de préservation.

Le but de la lutte contre les parasites des produits stockés est de protéger et conserver les stocks soit en tuant les insectes à tous leurs stades de développement, oeufs, larves, pupes et adultes, soit en évitant l'infestation des produits stockés. En même temps, il faut éviter des dommages quelconques aux produits traités, et employer un procédé tout à fait sans risque pour les personnes qui s'occupent de la désinfestation et également les consommateurs qui, plus tard, mangent les produits soit à leur état brut, soit transformés.

Il existe plusieurs méthodes pour tuer les insectes. Voici une brève description de chacune.

- Par la chaleur : en Amérique et au Canada, on chauffe les moulins entre 40° C et 50° C afin que les insectes soient tués. Ce procédé est très ancien. Il est appliqué en minoterie depuis le XVIIIe siècle.
- Par le froid : dans ces mêmes pays, on ouvre les moulins pendant l'hiver, quand la température est inférieure à zéro degré centigrade pendant vingt-quatre ou trente-six heures. L'exposition au-dessous de 10°C provoque la mort des insectes. En plus, de ce procédé simple, il existe toutes les méthodes classiques de réfrigération.

JACQUES DEUSE, chef du service phytopharmaceutique, IRAT, Centre GERDAT, Montpellier, co-secrétaire du GASCA (Groupe pour l'assistance du stockage des grains en Afrique)

- Par le choc mécanique : il existe un appareil appelé *entoleter*. Cet appareil est employé dans les moulins pour désinfecter la farine avant l'emballage. Il jette avec beaucoup de force les grains ou la farine contre une surface dure et tous les insectes à tous les stades sont tués par le choc (énergie de la centrifugation) . Il existe aussi un autre type modifié d'*entoleter* avec lequel on trie les grains avant de les moulin. On aspire les fragments des insectes avant qu'ils ne passent dans les moulins. Ce type est très utile si on veut éviter que des morceaux d'insectes soient présents quand les grains passent dans le broyeur à cylindres.
- Par suffocation : le stockage des produits agricoles en l'absence d'air est très connu dans le monde et est applicable pour le stockage de très grande quantité de céréales ainsi que pour la conservation de farine. Au Kenya, par exemple, le gouvernement vient de construire une unité de stockage hermétique pour 1 000 000 de sacs de maïs (90 000 tonnes). En Amérique du Sud, à peu près deux millions de tonnes de blé et de maïs sont ainsi stockés sous le sol.

Les insectes meurent par insuffisance d'oxygène qui est, en conditions hermétiques, très vite consommé par les grains eux-mêmes, les insectes et les spores de champignons que l'on trouve en relative abondance dans les grains.

- Par les rayons gamma : les insectes sont facilement tués ou stérilisés par les rayons gamma. La méthode n'a pas encore été mise au point sur le plan industriel, mais des unités pilotes ont été construites en Turquie, aux États-Unis. Au Mali, on tente d'appliquer cette méthode pour la désinfestation du poisson séché.
- Par l'emploi de courants à haute fréquence : ceux-ci provoquent néanmoins dans les masses exposées, une augmentation de température qui, si la durée d'exposition doit être longue, risque de provoquer des modifications de qualité dans cette masse.
- Par l'emballage des produits : cette méthode est strictement une méthode de protection. Les insectes ne peuvent infester les produits à cause de l'emballage résistant à leur pénétration. Par exemple, l'emploi de sacs polyéthylène ou aluminium pour emballer les farines. En Gambie, par exemple, il est interdit d'importer de la farine de blé, si elle n'est pas emballée dans un emballage résistant aux insectes.
- Par traitement chimique : c'est assurément la méthode la plus employée actuellement, mais l'addition de produits chimiques n'est pas sans danger pour l'homme. Aussi, y a-t-il lieu d'être très prudent dans l'addition des substances chimiques dans les denrées alimentaires.

Cette dernière méthode fait l'objet du présent exposé qui doit être considéré comme un complément au récent ouvrage *Les insectes et les acariens*¹. Nous y donnons un ensemble de "compléments tropicaux" et notamment une actualisation des données concernant les insecticides utilisés sous les tropiques.

I. ELEMENTS DE PHYTOPHARMACIE

Généralités

La phytopharmacie est une science qui a pour objet l'étude des produits et préparations destinés à la protection des végétaux, à l'exclusion des engrais et des amendements. Cette science récente se situe à un carrefour complexe de disciplines, tel l'entomologie, la phytopathologie, l'agronomie, etc.

La phytopharmacie est intimement liée à la phytiatrie, art du diagnostic des maladies ou des affections des plantes cultivées. C'est une science en pleine expansion qui nécessite un effort constant de mise à jour de la part du phytopharmacien. Les tendances actuelles de la phytopharmacie vont dans le sens de la recherche de pesticides spécifiques (ou sélectifs) afin d'éviter des brusques ruptures d'équilibre biologique.

On appelle "produit phytopharmaceutique" toute matière susceptible de présenter une action utile dans la lutte contre les ennemis des végétaux.. On réserve le nom de préparations phytopharmaceutiques à toute formulation dans laquelle une matière utile est associée à d'autres matières qui facilitent ou améliorent son action ou son usage.

1. Classification des pesticides

Les produits phytopharmaceutiques sont souvent appelés "pesticides" sous l'influence du vocabulaire américain. On divise communément les pesticides en :

¹ *Les insectes et les acariens*. Scotti et coll. ITCF et AFNOR, 1978.

- insecticide : substance ou préparation destinée à la destruction des insectes et par extension à celle d'autres invertébrés
- fongicide : substance ou préparation destinée à combattre les champignons parasites
- herbicide : substance ou préparation destinée à la destruction des plantes nuisibles aux cultures
- rodenticide : substance ou préparation destinée à la destruction des rongeurs
- nématocide : substance ou préparation destinée à combattre les nématodes parasites, soit libres, soit dans la plante
- bactéricide : substance ou préparation destinée à combattre les bactéries parasites
- acaricide : substance ou préparation destinée à la destruction des acariens.

2. Fabrication des pesticides

Le produit idéal devrait avoir une efficacité maximum contre le ravageur, animal ou végétal ; une phytotoxicité nulle ; être d'une manipulation facile ; révéler ses qualités physico-chimiques dès la mise en solution ; et être économique à l'usage.

Pour arriver à un tel produit, il faut synthétiser ou analyser des milliers de produits chimiques. Ce travail s'appelle le *screening test* et il est surtout le fait de l'industrie privée. Le prix de revient moyen d'un nouveau pesticide en Amérique est de U.S. \$ 687 000. Ce prix comprend les frais de synthèse, les tests biologiques, les essais en serre, la conception d'une usine pilote, les frais de brevet et enfin les études toxicologiques.

Ces nouveaux produits chimiques possèdent un nom systématique établi en tenant compte des règles de l'Union internationale de chimie pure et appliquée. Ils possèdent également un nom commun normalisé suivant les règles de l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

Les produits techniques purs font l'objet de préparations qui ont pour but de fournir une matière relativement fine, facilement utilisable, à haut potentiel pesticide qui se présentera sous une forme aisément transportable et se conserve parfaitement.

3. Constituants des pesticides

Toute matière présentée comme pesticide contient une série de constituants, soit une ou plusieurs matières actives et un ou plusieurs adjuvants (surfactants).

Ces adjuvants sont ajoutés à la matière active de base en vue d'améliorer son action, son emploi ou ses propriétés. Les divers types d'adjuvants sont :

- | | |
|----------------------|---|
| 1) des mouillants | 6) des solvants |
| 2) des dispersants | 7) des absorbants |
| 3) des stabilisants | 8) des charges solides ou des diluants liquides |
| 4) des émulsionnants | 9) des colorants |
| 5) des adhésifs | 10) des parfums |

4. Description des principales formules

4.1. Formules pour préparation de solutions

4.1.1. Composition

a) La matière active.

b) Les adjuvants :

- les solvants : le solvant le plus utilisé est l'eau. Pour préparer des solutions concentrées à diluer dans l'eau, on doit nécessairement utiliser un solvant miscible à l'eau : éthanol, méthanol, acétone, dioxane, glycols. Les solutions concentrées destinées à être diluées par les solvants organiques, volatils ou non (butane, propane, gaz, oil, etc) doivent être préparées dans un solvant miscible ou diluant ;

- les mouillants : ce sont des substances qui possèdent la propriété d'abaisser la tension superficielle du milieu liquide qui les contient. On les appelle communément des "tensio-actifs". On en distingue trois types différents :

1er type : tensio-actifs anioniques : savons (palmittates, stéarates, aléates alcalins), huiles sulfonées

2e type : tensio-actifs cationiques : ammonium quaternaire

3e type : tensio-actifs non ioniques : esters de stéarates de polyglycols.

La dose en mouillant dans une formule est telle que lors de la préparation la dose en tensio-actifs ne dépasse pas 0,5 pour mille (seuil économique) ;

- les polyphosphates : hexamétaphosphates - pyrophosphates
les versenes ou sequestrenes (éthylènediaminotétra -
acétates de sodium ou trinitrilacétates de sodium).

4.2 Formules pour préparation des bouillies

4.2.1. Description

Le produit se présente sous deux formes pulvérulentes :

- il se disperse immédiatement dans l'eau : poudres dispersables ou mouillables ;
- il s'y disperse après agitation avec addition progressive d'eau : poudres empâtables .

La préparation de ces poudres se fait de deux façons :

- mélange simple : broyage
blutage (tamis vibrants)
- mélange par absorption

4.2.2. Composition

- toxique de base
- l'excipient : diluant de base

4.2.3. Principaux excipients

- matières siliceuses : kaolins, silicates argileux complexes
bentonites, argiles très fines
kieselguhrs, diatomites ou terres
de diatomées
talc (lamellaires ou globulaires)
- matières salines : craie
gypse

Certaines impuretés dans les diluants solides peuvent être cause "d'inactivation"

- par réactivité : influence du fer sur les organo-chlorés
influence de l'alcalinité sur les matières saponifiables
- par absorption
- par phytotoxicité.

4.3. Formules pour préparation des émulsions

Emulsion : milieu constitué par de petites gouttelettes d'un liquide dispersé dans un autre liquide non miscible au premier.

On distingue une phase dispersée et une phase continue ou dispersante.

On appelle agents dispersants ou émulsionnants les substances qui provoquent la séparation en petites gouttes ; ce sont aussi des matières tensio-actives.

On appelle émulsion auto-émulsionnable, une solution qui par dilution dans une phase étrangère se résout en émulsion.

4.4. Formules sèches

Les poudres à poudrer : elles diffèrent des poudres mouillables par l'adjonction de charges lourdes destinées à améliorer la fluidité de la masse et leur permettre un bon écoulement dans les tuyères.

Composition : matière premières
toxique de base
matières de charge

4.5. Formules en granulés

L'insecticide est dissous dans un solvant non phytotoxique à point éclair élevé ; la solution est pulvérisée sur des granules absorbants, préalablement classés au tamis.

4.6. Formules en aérosols

Les aérosols sont des suspensions de fines particules solides ou de fines vésicules liquides dans un gaz, l'air en l'occurrence.

4.7. Formules pour fumigation

Elles se présentent sous forme de :

- gaz sous pression en bouteille de gaz
- liquide (fumigant à température d'ébullition basse)
- solide : en général, formulation réagissant avec l'humidité atmosphérique (acide cyanhydrique, hydrogène phosphoré)
- cristaux ou de flacons qui subliment en donnant des vapeurs fumigantes (paradichlorobenzène, naphtaline, etc.)

4.8. Formules diverses

4.8.1. Peintures insecticides (*insecticidal lacquers*)

Ces formules sont utilisées dans des endroits où l'on désire avoir une persistance très longue de l'insecticide (cuisines, hôpitaux, navires, etc.). En général, on emploie comme diluant une résine synthétique (principalement urée-formaldéhyde). Dans ce cas les insecticides les plus employés sont le D.D.T. et la dieldrine, le propoxur.

4.8.2. Plaquettes insecticides

Le dichlorvos peut être inclus dans des plaquettes de plastique qui relâchent progressivement l'insecticide dans l'air (Plaquette Vapona R Shell).

4.8.3. Papiers ou serpentins insecticides

Ceux-ci dégagent l'insecticide lorsqu'ils brûlent (*mosquito coils*).

4.8.4. Appâts attractifs

Il existe divers appâts contenant un insecticide pour attirer les insectes, principalement les mouches.

5. Méthode de préparation et de dilution des insecticides

Généralités

La plupart des insecticides étant sous une forme concentrée, il est donc nécessaire d'effectuer une dilution avant l'emploi. L'insecticide peut se trouver principalement sous forme de poudre mouillable (P.M.) ou d'émulsion (S.E.). Le diluant peut être l'eau ou un solvant organique (fuel, pétrole, etc.) suivant le type d'utilisation.

5.1. Compatibilité des insecticides

Si l'on mélange un ou plusieurs insecticides entre eux, il y a lieu de voir si le mélange est compatible.

5.2. Normes d'application

Il importe de toujours vérifier si les normes d'application sont respectées, c'est-à-dire que les quantités de matières actives épandues soient conformes aux valeurs données dans le tableau 1.

Tableau 1.

Doses d'insecticides conseillées pour la lutte contre les parasites des denrées emmagasinées ou pour l'incorporation directe au grain

Matière active	Dose conseillée g.m.a/100 kg grain (1)	Taux des résidus autorisés dans les farines p.p.m. (2)	Traitements locaux g.m.a/m ² (3)	Sacherie g.m.a./m ²
Lindane *	0,5	1	0,1	0,1
Malathion * +	0,8	2	0,5	0,5
Pyréthrine +	1	1,3	0,1	0,1
Bromophos **	0,8 à 1,2			
Carbaryl 0	0,8			
Dichlorvos (DDVP) 0	2,5			
Zeidane (DDT) X			1,00-1,50	1,00-1,50
Diazinon X			1,00	
Gardona (R) Shell 0				
Dieldrine X			0,5	0,5
Fenitrothion 0				
Propoxur			1,00-2,00	1,00-2,00
Baythion (R) Bayer			0,1 -0,2	0,1 -0,2

* Autorisé par le ministère français de l'Agriculture

** Autorisé par le ministère britannique de l'Agriculture

+ Emploi recommandé par la FAO

0 En expérimentation

X Interdite sur denrées alimentaires - autorisée pour le traitement des semences

(1) g.m.a-gramme, matière active - (2) p.p.m.- parties de matière active dans un million parties de farine - (3) g.m.a/m²- gramme, matière active par mètre carré

5.3. Tableaux pour la préparation des insecticides

5.3.1. Tableau 2 : pour réaliser une solution de 100 litres

% en m.a nécessaire dans la bouillie	% en m.a. (1) dans le concentré commercial (P.M.) ou S.E. (2)					
	75	50	40	25	20	
0,1 %	133.3	200	250	400	500	grammes
0,075 %	100.0	150	187.5	300	375	concentré
0,05 %	66.5	100	125	200	250	pour 100
0,01 %	13.3	20	25	40	50	litres d'eau

Le tableau 2 est destiné à trouver la quantité des produits commerciaux à diluer. Elle se calcule comme suit :

Soit par exemple 100 litres de bouillie aqueuse titrant 0,1 % (1 partie pour 1000) de m.a. à préparer à partir d'une préparation commerciale à 40%. Il faut donc pour 100 litres d'eau, 100 g de m.a. à 40 %. La quantité de produit commercial à utiliser sera de :

un concentré à 40 % contient 40 g de m.a. par 100 g de produit commercial

pour 1 g de m.a. il faut 40 fois moins $\frac{100}{40}$ de produit commercial

pour avoir 100 g de m.a. il faut 100 fois plus :

$$100 \frac{100 \times 100 \text{ g}}{40} = 250 \text{ g de produit commercial}$$

-
- 1. m.a. = matière active
 - 2. p.m. = poudre mouillable
 - s.e. = solution émulsionnable

5.4. Exemples de préparation et dilution d'insecticides

5.4.1. Exemple :

Une poudre mouillable concentrée contient 25 % de malathion, nous voudrions préparer une pulvérisation contenant 1,5 g de matière active, et appliquer à la dose de 4,5 litres par 10 m². Nous avons 100 m² à pulvériser, combien d'insecticide concentré devons-nous employer ?

Calcul : dans 100 g de poudre mouillable à 25 % m.a. il y a 25 g de m.a.

1000 ml de la pulvérisation contiennent 1,5 g de matière active.

La quantité totale de la pulvérisation dont nous avons besoin est : $\frac{4,5 \times 100}{10} = 45$ litres

1000 ml (1 litre) de la pulvérisation contient 1,5 g de m.a., donc 45 litres contiennent $1,5 \times 45 = 67,5$ g de matière active.

Comme 100 g de poudre concentrée contiennent 25 g de matière active, pour avoir 67,5 g de matière active, il faut : $100 \times 67,5 = 270$ g de poudre mouillable à 25 % de m.a.

Donc, 270 g de poudre à 25 % de malathion sont mélangés avec 45 litres d'eau pour préparer un liquide contenant 1,5 g/l de matière active.

5.4.2. Exemple :

Comment prépare-t-on 15 litres d'une pulvérisation contenant 1 % de P/V (poids/volume) de m.a. à partir d'un concentré émulsionnable à 50 % ?

Calcul : 100 ml de la pulvérisation contiennent 1 g de matière active.

15 000 ml (15 litres) de la pulvérisation contiennent : $\frac{1 \times 15\ 000}{100 \times 1} = 150$ g m.a.

50 g de matière active sont contenus dans 100 ml de concentré émulsionnable.

150 g de matière active sont présents dans : $\frac{100 \times 150}{50 \times 1} = 300$ ml de concentré émulsionnable.

Donc, 300 ml de concentré émulsionnable à 50 % sont nécessaires pour préparer 15 litres d'une pulvérisation contenant 1 % P/V.

5.4.3. *Exemple :*

Quelle quantité de malathion poudre à 0,5 % est-il nécessaire d'ajouter à 1 tonne d'arachides en coques pour avoir un mélange de 8 millièmes (c'est-à-dire 8 parties de matière active de malathion dans 1 000 000 parties d'arachides) ?

Calcul : 1 000 000 parties de grain doivent contenir 8 parties de malathion

1 000 000 tonnes de graines doivent contenir 8 tonnes de malathion

Donc, 1 tonne de graines doit contenir $\frac{8}{1\ 000\ 000}$

tonnes de malathion = $\frac{8 \times 1\ 000 \times 1\ 000}{1\ 000\ 000} = 8$ g de malathion

0,5 g de malathion sont présents dans 100 g de poudre, donc : 8 g de malathion sont présents dans $\frac{100}{0,5} \times \frac{8}{1}$ g de poudre = 1 600 g = 1,6 kg de poudre.

Donc, 1,6 kg de malathion à 0,5 % réparti dans 1 tonne d'arachides en coques donne un mélange à 8 p.p.m.

5.4.4. *Exemple :*

Il faut traiter par nébulisation un magasin de 40 000 m³, en employant un brouillard de DDVP à 1 % P/V, au débit de 1,7 litre de brouillard par 300 m³. Quelle quantité de DDVP à 75 % P/V concentré emploierons-nous pour traiter tout le magasin ?

Calcul : Pour 300 m³, nous employons 1,7 litre de liquide dilué, donc, pour 40 000, nous employons :

$$\frac{1,7}{300} \times \frac{40\ 000}{1} = 226 \text{ litres de liquide dilué.}$$

226 litres de DDVP 1 % sont nécessaires pour faire le traitement.

100 ml DDVP de liquide dilué contiennent 1 g DDVP de matière active. Donc, 226 000 (226 litres) dilués contiennent :

$$\frac{1}{100} \times \frac{226\ 000}{1} \text{ g} = 2\ 260 \text{ g DDVP}$$

Tableau 5.
Caractères physicochimiques et biologiques des matières actives utilisées
pour la protection des denrées entreposées

Nom matière active	Poids moléculaire (g)	Tension de vapeur à 20°C (mmHg)	Dose létale médiane par ingestion chez le rat (DL 50 mg/kg)	Fabricant
Dichlorvos	221	$1,2 \times 10^{-2}$	56-80	Nombreux
Tétrachlorvinphos	366	$4,2 \times 10^{-8}$	4 000-5 000	Shell
Iodofenphos	413	8×10^{-7}	2 100	Ciba-Geigy
Bromophos	366	$1,3 \times 10^{-4}$	3 750-6 100	Cela-Merck
Pyrimiphos-méthyl	305	1×10^{-4}	2 050	I.C.I.
Chlorpyriphos-méthyl	323		2 140	Dow
Phoxime	298	1×10^{-4}	2 170	Bayer
Malathion	330	$1,25 \times 10^{-4}$	2 800	Cyanamid
Bioresméthrine	-	-	8 600	Roussel-Uclaf
Lindane	290,9	$9,4 \times 10^{-6}$	88	Nombreux
Carbaryl	201,2	5×10^{-3}	850	Union Carbide
Fénitrothion	-	6×10^{-6}	500	Nombreux
Propoxur	-	3×10^{-6}	100	Bayer
Pyréthrine naturelle	-	-	200	Nombreux

Le concentré contient 75 % de matière active.
75 g de m.a. DDVP sont présents dans 100 ml de
liquide concentré, donc 2260 g de matière active
DDVP sont présents dans :

$$\frac{100 \times 2260 \text{ ml}}{75} = 3 \text{ 013} = 3 \text{ litres } 13 \text{ ml.}$$

Donc, pour faire le traitement, 3 litres 13 ml
de DDVP 75 % doivent être dilués avec 222 litres
87 ml de solvant (par exemple huile ou pétrole)
pour préparer 226 l de DDVP 1 %.

II. CARACTERISTIQUES DES INSECTICIDES UTILISES POUR LA PROTECTION DES STOCKS

Nous avons classé les insecticides en deux grandes catégories,
relatives à leur principal usage : ceux qui sont utilisés pour le traite-
ment des denrées entreposées et ceux qui le sont pour le traitement des
locaux de stockage. Les tableaux 5 et 6 qui suivent donnent les princi-
pales caractéristiques des insecticides utilisés pour la protection des
denrées entreposées en climat tropical.

2.1. Insecticides pour le traitement des denrées entreposées

2.1.1. Insecticides utilisés seuls

LINDANE

Le lindane est l'isomère gamma de l'hexachoro-1,2,3,4,5,6
cyclohexane ou HCH (BHC en anglais). Il appartient au groupe des insec-
ticides organochlorés. A l'inverse du HCH, le lindane est pratiquement
sans odeur. Il se volatilise facilement du fait de sa tension de vapeur
élevée. Il est stable à l'air, au gaz carbonique, à la lumière, à la
chaleur, aux acides forts ; il est instable en revanche en présence
d'alcalis. Le lindane agit sur les insectes par contact direct, par
inhalation et également par absorption.

Formulations . poudre (0,25 % à 1,35 % m.a.)
. émulsion et poudre mouillable (de 20 % à 90 % m.a.)
. formules pour sublimation, bâtonnets, comprimés,
manchons combustibles, papiers imprégnés.

Tableau 6.

Doses d'insecticides conseillées pour la lutte contre les parasites des denrées entreposées

Nom matière active	Dose en g m.a./ 100 kg grain	Taux de résidus auto- risés (ppm) du Codex- alimentarius	Traitement locaux g m.a./100 m3	Sacherie et murs g m.a./m2
Dichlorvos	1	2	7,5	1
Tétrachlorvinphos	3,6	-	-	
Iodofenphos	-	-	-	1
Bromophos	0,8-1,2	10	3,2	1,8
Pyrimiphos-méthyl	0,4	10	7-10	0,2
Chlorpyriphos-méthyl	0,25	10		
Phoxime				0,1-0,2
Malathion	0,8	8	4	0,5
Bioresméthrine	0,15	5		
Lindane	0,5	0,5	4	0,1
Carbaryl	0,8			
Fénitrothion	3	10		
Propoxur	-	-	-	1-2
Pyréthrine naturelle	1	3	10	0,1
Diazinon	-	-	-	1

MALATHION

$C_{10}H_{19}O_6PS_2$ ou (diméthoxy-thiophosphorylthio) - 2 succinate d'éthyle.

Cet insecticide organo-phosphoré, d'origine américaine (American Cyanamid), agit par contact, ingestion et vapeurs sur insectes et acariens. Il possède l'inconvénient de dégager une odeur très désagréable. Stable en présence de la lumière et instable en présence d'humidité. Peu soluble dans l'eau (145 ppm). Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 2 800 mg/kg.

PYRETHRINES

- *d'origine naturelle*

Ce sont des substances organiques d'origine végétale extraite de *pyrethrum sp.* Ces substances que l'on retrouve dans les formulations commerciales sont souvent associées à des substances dites synergiques, comme le butoxyl de pipéronyl, qui augmentent considérablement leur efficacité. A l'air, elles sont rapidement oxydées et inactivées. Elles se décomposent également à la lumière et perdent ainsi leur pouvoir insecticide. Elles sont décomposées également en milieu alcalin.

Formulations : . poudre à poudrer souvent en association avec le lindane et le malathion
 . émulsions pour les pulvérisations sur les grains ou les parois des locaux et de la sacherie
 . formules destinées à la nébulisation des locaux en association avec le lindane ou le malathion.

- *Les pyrèthrine de synthèse*

Il en existe de très nombreuses au stade de la recherche (voir chapitre 2.2.2.). Nous ne retiendrons que la bioresmethrine.

BIORESMETHRINE

$C_{22}H_{26}O_3$ ou (+)-trans-diméthyl-2 propène-1 yl-3 cyclopropane-carboxylate (benzyl-5 furyl-5) méthyle.

Cet insecticide d'origine anglaise (Nat. Res. and devpt. Co.) est un pyrèthrine de synthèse se présentant sous forme d'un liquide jaune légèrement visqueux. Insoluble dans l'eau, il est très soluble dans la plupart des solvants organiques et se décompose rapidement à l'air et à la lumière. Il agit par contact, ingestion et inhalation. Son action peut être renforcée par un synergiste du type pipéronyl butoxyde. Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 8 600 mg/kg. Toxique pour les poissons et les abeilles.

BROMOPHOS

$C_8H_8O_3SPCl_2$ Br ou thiophosphate de 0,0-diméthyle et de 0-(bromo-4 dichloro-2, 5 phényle).

Cet insecticide acaricide organo-phosphoré d'origine allemande (Celamerck), qui contient un atome de brome, agit par contact et surtout par ingestion (en inhibant la cholinestérase comme tous les esters phosphoriques). Il est très stable et très peu soluble dans l'eau (40 ppm). Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 3 750 à 7 700 mg/kg. Non dangereux pour les abeilles, toxique pour les poissons.

CHLORPYRIPHOS-METHYL

$C_7H_7Cl_3NO_3PS$ ou thiophosphate de 0,0-diméthyle et de 0-(trichloro-3,5,6 pyridyle-2).

Cet insecticide d'origine américaine (Dow Chemical Cy) appartient au groupe des organo-phosphorés. Il se présente sous la forme de cristaux blancs, stables en conditions neutres, instables en conditions acides et basiques, pratiquement insolubles dans l'eau (4 ppm). Il agit par contact, ingestion et inhalation sur un grand nombre d'insectes (charançons, *tribolium*, sylvains ...) et acarien (*tyroglyphus* etc.) parasites des grains stockés. Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 2 140 mg/kg.

DICHLORVOS

$C_4H_7Cl_2O_4P$ ou phosphate de (dichloro-2, 2 vinyle) et de diméthyle.

Cet insecticide du groupe des esters phosphoriques, d'origine allemande (Bayer) et suisse (Ciba), a été longtemps connu sous le sigle DDVP. Il se présente sous la forme d'un liquide incolore à ambré, à odeur aromatique. Soluble à 1 p. cent dans l'eau, il agit par inhalation et surtout par contact et présente une action de pénétration. Doté d'une action de choc très élevée. Toxicité : très dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 80 mg/kg.

PHOXIME

$C_{12}H_{15}N_2O_3PS$ ou [(diéthoxythiophosphoryloxy) imino] - 2 phényl-2 acétonitrile.

Cet insecticide d'origine allemande (Bayer) appartient au groupe des organo-phosphorés. Il se présente sous la forme d'un liquide jaune, stable en conditions acides. Il agit par contact et ingestion. Sa solubilité dans l'eau est très faible : 7 ppm. Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 2 170 mg/kg.

PYRIMIPHOS-METHYL

$C_{11}H_{20}N_3O_3PS$ ou thiophosphate de O-(diéthylamino-2 méthyl-6 pyrimidinyle-4) et de O,O-diméthyle.

Cet insecticide d'origine britannique (ICI) appartient au groupe des organo-phosphorés. Il se présente sous la forme d'un liquide de couleur jaune paille, pratiquement insoluble dans l'eau (5ppm), soluble dans la plupart des solvants organiques, hydrolysé en conditions fortement acides et alcalines. Il agit par contact et par vapeur et possède une légère action systémique. Cet insecticide a une action sur les coléoptères, pucerons et acariens. Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 2 050 mg/kg.

2.1.2. Insecticides utilisés en mélange

De nombreux mélanges existent, citons les plus importants :

DICHLORVOS + CHLORPHYRIPHOS-METHYL

DICHLORVOS + MALATHION

DICHLORVOS + MALATHION + PYRETHRINES

MALATHION + PYRETHRINES

Utilisation : traitement des grains stockés.

2.2. Insecticides pour le traitement des locaux de stockage

2.2.1. Insecticides utilisés

Aux insecticides cités ci-dessus s'ajoutent les suivants :

CARBARYL

$C_{12}H_{11}NO_2$ ou N-méthylcarbamate de naphthyle-1.

Cet insecticide du groupe des carbamates d'origine américaine (Union Carbide Chemical) anciennement appelé "Sévin", agit par contact et par ingestion. Pratiquement insoluble dans l'eau (40 ppm), stable à la lumière et à la chaleur. Sa persistance d'action est de l'ordre de quinze à vingt et un jours. Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 850 mg/kg.

Utilisé aux Philippines et en Syrie.

DIAZINON

$C_{12}H_{21}O_3N_2PS$ ou thiophosphate de 0,0-diéthyle et d'0-(isopropyl-2 méthyl-6 pyrimidyle-4).

Cet insecticide organo-phosphoré, d'origine suisse (Geigy) est très peu soluble dans l'eau (40 ppm). Il agit par contact, ingestion et légèrement en profondeur sur insectes et acariens. Stable en milieu alcalin, et lentement hydrolysé. Toxicité : moyennement dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 300 à 850 mg/kg. Utilisé en Jamaïque, à Bahrein, en Israël.

IODOFENPHOS

$C_9H_8Cl_2IO_3$ PS ou thiophosphate de 0-(dichloro-2,5 iodo-4 phényle) et de 0,0-diméthyle.

Cet insecticide-acaricide d'origine suisse (Ciba) agit par contact et ingestion sur les différents insectes des locaux et en particulier les mouches dans les étables, et les moustiques. Insoluble dans l'eau (2ppm), stable en milieu neutre, faiblement acide ou basique, instable en milieu alcalin ou fortement basique. Sa persistance d'action est de l'ordre de trois mois. Il peut être mélangé avec les produits à blanchir à condition que la préparation soit neutre. Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 2 100 mg/kg. Utilisé au Nigéria et au Sénégal.

PROPOXUR

$C_{11}H_{15}NO_3$ ou 2-isopropoxy-phényl-N-méthylcarbamate.

Cet insecticide d'origine allemande (Bayer) du groupe des carbamates agit par contact et ingestion. L'effet initial est rapide et l'effet résiduel extrêmement long. Possède un excellent *flushing effect* (réaction des parasites vivant cachés, de quitter immédiatement leurs refuges après un traitement dirigé sur ceux-ci). Toxicité : dangereux. DL 50 : 90 mg/kg. Utilisé au Sénégal, en Jamaïque, à Bahrein.

2.2.2. Etat des recherches dans le domaine des insecticides pour la protection des denrées entreposées

Peu de recherches sont effectuées dans ce domaine car les formalités administratives pour obtenir l'autorisation d'emploi d'un pesticide sur denrées entreposées sont très onéreuses. Néanmoins, dans les années à venir on assistera probablement à une utilisation croissante des pyréthrinoïdes de synthèse dont plusieurs sont en expérimentation sous les tropiques.

Enfin, toutes les substances chimiques provoquant des modifications du comportement (phéromones, séménomes, etc.) ou de la physio-

logie (antichitinisant, bloqueur de mues, etc.) seront très certainement testées car sous les tropiques les normes d'infestation des stocks resteront encore longtemps moins sévères que dans les pays développés. C'est dire que la présence de quelques insectes n'est pas un handicap pour le commerce national et qu'une lutte au cours du stockage peut s'envisager alors qu'en Europe la lutte est essentiellement préventive. Sous les tropiques la lutte est à la fois préventive et curative. C'est ainsi que la lutte biologique, nécessitant la présence de l'insecte et de son parasite inconcevable en Europe est tout à fait réaliste sous les tropiques et peut être un excellent moyen de lutte préventive dès la récolte (peu mécanisée) et très économique pour le paysan.

Insecticides au niveau de la recherche

a) Pyréthrinoïdes

Les pyréthrinoïdes ont été synthétisés en prenant comme modèle les pyréthrines naturelles, utilisées comme insecticides depuis des millénaires en Extrême-Orient. Les pyréthrinoïdes peuvent avoir une action de choc extrêmement rapide sur les insectes ou un effet létal qui s'apparente à celui des insecticides organo-phosphorés. Ces produits ont en général une très faible toxicité et une faible persistance qui en font des insecticides de choix pour l'utilisation dans les habitations. Actuellement, une dizaine de pyréthrinoïdes sont introduits sur le marché et notamment les stéréoisomères les plus actifs. Tout récemment ont été décrites les propriétés de la perméthrine. Ce pyréthrinoïde avec ses isomères garde une faible toxicité mais sa persistance à la lumière en fait un insecticide rémanent dont l'emploi va certainement prendre une grande extension, dès qu'il sera fabriqué industriellement. Le tableau ci-après donne la liste des plus importants. Seule la bioresméthrine est autorisée pour l'instant pour la protection des denrées stockées.

La toxicité des principaux pyréthrinoïdes est la suivante :

	DL 50 en mg/kg per os sur rat	Source
Alléthrine	770	Elliot (1971)
Bioalléthrine	1 030	Verschoyle et Barnes (1972)
S. Bioalléthrine	680	Roussel-Uclaf
Resméthrine	1 400	Elliot (1971)
Bioresméthrine	8 000	Elliot (1971)
Cisméthrine	100	Elliot (1971)
Bioéthanométhrine	100	Elliot et al. (1973)
Perméthrine	1 500	Elliot et al. (1973)
Pyréthrine I	420	Barnes et Verschoyle (1972)
Tétraméthrine	5 200 (1)	Nishizawa (1971)

Tableau 7.
Insecticides pyréthrinoïdes

Noms communs	Noms chimiques
Alléthrine	= dl-cis-trans chrysanthémate de dl-alléthrolone
Bioalléthrine	= d-trans chrysanthémate de dl-allétrolone = d-trans alléthrine
Bioalléthrine D	= d-trans chrysanthémate de d-allétrolone = S. Bioalléthrine
Bioperméthrine	= d-trans 2,2-diméthyl-3-(2,2-dichloro- vinyl) cyclopropane carboxylate de 3 phénoxy-benzyl = NRDC 147
Bioresméthrine	= d-trans chrysanthémate de benzyl-5 furylméthyl-3 = d-trans NRDC 104 = NRDC 107
Cisméthrine	= d-cis chrysanthémate de benzyl-5, furylméthyle-3 = NRDC 119 = RU 12.063
d-Cis-perméthrine	= d-cis 2,2-diméthyle-3-(2,2-dichloro- vinyl) cyclopropane carboxylate de 3- phénoxy-benzyl = NRDC 167
NRDC 106	= d-trans chrysanthémate dicarboxylique monoéthylester = RU 12.061
Perméthrine	= d.l-cis-trans 2,2-diméthyl-3-(2,2-di- chlorovinyl) cyclopropane carboxylate de 3-phénoxybenzyl = NRDC 143
Resméthrine	= dl-cis-trans chrysanthémate de benzyl- 5, furylméthyl-3 = NRDC 104
RU. 11.679	= d-trans éthanochrysanthémate de benzyl- 5, furylméthyle-3
S. Bioalléthrine	voir Bioalléthrine D
Tétraméthrine	= dl, cis-trans chrysanthémate de 3,4,5, 6-tétrahydroptthalimidométhyl = Néopynamine = Phthalthrine
Tétraméthrine d-trans	= d-trans chrysanthémate de 3,4,5,6- tétrahydroptthalimidométhyl

Sachant que la DL 50 per os pour le rat est pour le parathion voisine de 10 mg/kg et pour le D.D.T. de l'ordre de 200 mg/kg, on peut constater la faible toxicité de tous les pyréthri-noïdes qui, de plus, se dégradent rapidement à la lumière, exception faire pour la perméthrine.

Synergistes des pyréthrines et des pyréthri-noïdes : on peut augmenter l'action insecticide des pyréthrines et des pyréthri-noïdes en leur associant certains composés. Cette découverte date de 1940-1942, époque à laquelle EAGLESON vérifia que l'huile de sésame accroissait l'efficacité des pyréthrines naturelles. L'élément actif fut bientôt découvert et le nom de Sésamine lui fut donné. Depuis, de nombreux autres synergistes furent découverts dont les principaux sont les suivants, accompagnés du nom de l'organisme qui obtint le brevet :

Butoxyde de pipéronyl	: Fairfield Chemical Division (Etats-Unis) Wellcomme Foundation [Cooper] (Grande-Bretagne)
Sésoxane	: Shulton Fine Chemical Ins. (Etats-Unis)
Sulfoxyde	: Boyce Thomson Institute (Etats-Unis)
Bucarpolate	: Statford Allen and Son, Ltd (Grande-Bretagne)
Safroxane	: Takasago Perfumery Co. Ltd (Japon)
M.G.K. 264	: Mc Laughlin Gormley King Co. (Etats-Unis)
S. 421	: B.A.S.F. (Allemagne fédérale)

Il est à noter que l'emploi de synergistes n'est pas un impératif avec certains pyréthri-noïdes de synthèse.

b) Diflubenzuron

Commercialisé sous le nom Dimilin^R. Il s'agit de C₁₄H₉N₂O₂F₂Cl ou 1-(2,6-difluorobenzol)-3-(4-chlorophényl) urée. Cet insecticide d'origine hollandaise (Philips-Duphar) est insoluble dans l'eau (0,2 ppm) et peu volatil. Stable sur le feuillage, sa dégradation dans le sol varie suivant la teneur en matière organique. Le diflubenzuron est essentiellement un larvicide d'ingestion. Il perturbe le dépôt de chitine dans la cuticule en provoquant des lésions graves du tissu endocuticulaire. Les larves, qui ne sont pas tuées ou paralysées immédiatement, meurent au moment de la mue suivante, la cuticule ne pouvant résister à la tension musculaire et à la turgescence pendant la mue. Du fait de son mode d'action particulier, il n'a pas ou peu d'action sur les insectes adultes et la faune auxiliaire. Toxicité : peu dangereux. DL 50 pour le rat par ingestion : 4 650 mg/kg.

Cet insecticide est au stade de l'expérimentation pour les insectes des denrées stockées.

c) Etrimfos

$C_{10}H_{17}N_2O_4$ PS ou nom systématique : 0-(6-éthoxy-é-éthyl-4-pyrimidinyl) 0,0 - diméthyle phosphorothioate.

Cette insecticide d'origine suisse (Sandoz) a une toxicité faible DL 50 : 1 800 mg/kg.

Ce nouvel insecticide est pour l'instant expérimenté pour la protection des denrées stockées.

2.2.3. Applicateur d'insecticides nouveaux ou peu utilisés pour la protection des stocks

a) Générateurs d'aérosols

Ces appareils épandent des liquides anhydres ou aqueux. Les plus connus sont ceux désignés sous le nom de "bombe aérosol". Leur capacité est variable mais ne dépasse pas, en général, un litre. En appuyant sur un bouton placé à la partie supérieure du cylindre-réservoir, on permet au gaz liquéfié de s'échapper en entraînant l'insecticide. C'est l'appareil idéal pour le traitement spatial de petits locaux de stockage ou peu accessible (menuiserie).

Afin de ne pas surdoser les insecticides, on respectera avec soin les conditions d'emploi : temps de pulvérisation en fonction du volume à traiter, vérifier si les denrées alimentaires peuvent être traitées directement ou peuvent être admises dans les locaux traités. Certaines bombes contiennent un gaz inflammable (propane désodorisé) ; dans ce cas, éviter l'emploi de la bombe près d'une flamme.

A côté de ces "dispenseurs" d'aérosol, on peut placer les générateurs d'aérosol mettant en oeuvre soit la chaleur, soit un mécanisme plus ou moins compliqué mû par un moteur. Ces modèles sont en général importants et permettent de traiter rapidement de très grandes surfaces, souvent peu accessibles (toiture d'entrepôt).

b) Évaporateurs en matière plastique

Il s'agit des plaquettes ou diffuseurs au dichlorvos ; principalement une plaquette pour $12m^3$ est efficace dans les pièces non ventilées, mais qu'il est nécessaire de disposer d'une plaquette pour $5m^3$ dans les pièces ventilées. Très peu utilisés à l'échelle commerciale ; par contre, à l'échelle familiale, ces évaporateurs permettent de lutter principalement contre les lépidoptères.

c) Spirales fumigènes

Les spirales fumigènes principalement anti-moustiques ou *coils*, sont largement utilisées depuis de nombreuses années dans l'Asie du sud-est, au Moyen-Orient, en Argentine. Leur emploi a gagné récemment l'Afrique. Au niveau familial, il peut permettre la destruction des lépidoptères.

La plus ancienne fabrication est la suivante : les fleurs de pyrèthre séchées et moulues sont mélangées à de la sciure de bois pulvérisée. On ajoute du nitrate de potassium et de l'eau afin de faire une pâte. Par pression, on fabrique les spirales et on laisse sécher.

Une autre formule est la suivante :

- fleurs de pyrèthre moulues : 100 parties en poids
- pâte semi-liquide de farine : 50 parties en poids
- sciure moulue : 30 parties en poids
- nitrate de potassium : 10 parties en poids

La sciure la plus utilisée est celle de *Machillis thunbergii* qui contient un polysaccharide qui forme une sorte de gomme lorsqu'elle est humidifiée.

A la place de fleurs de pyrèthre on peut utiliser du marc de pyrèthre, c'est-à-dire ce qui reste après extraction des pyréthrinés. La règle essentielle est de respecter la teneur de 0,3 % à 0,5 % de pyréthrinés, cette dernière concentration étant préférable. Plus récemment, les pyrétrinoïdes ont été utilisés à la place des pyréthrinés.

d) Sublimateurs

Ce mode d'émission d'insecticides a un point commun avec les fumigènes: une source de chaleur contrôlée. Les sublimateurs sont surtout conçus pour la sublimation du lindane. La source de chaleur est soit une plaquette de "Meta", soit une résistance électrique. Actuellement, le même mode de sublimation est adopté à la distribution de pyrétrinoïdes.

On ne saurait trop insister sur la qualité de l'appareil mis en oeuvre dans l'épandage des insecticides : fonctionnement, débit. De la qualité de la distribution de l'insecticide dépend le succès de l'opération. King Kagaku K.K. propose (Brevet japonais 721.3080-R, 1968) de placer la préparation sublimale sur une plaque résistante à la chaleur. La chaleur est produite par un réseau continu qui brûle sous la plaque. Il existe des évaporateurs électriques très efficaces, la température étant parfaitement réglée.

2.2.4. Formulation

Jourdon (1976)² définit ainsi le rôle de la formulation comme étant de rendre aisément utilisables et le plus efficaces possible les principes biologiquement actifs provenant de la synthèse chimique ou biologique.

Il existe un grand nombre de formulations et, parmi les plus récentes, une semble prometteuse pour la protection des stocks : la microencapsulation.

Le concept de microencapsulation est bien connu et plusieurs techniques ont été présentées dans la littérature technique, faisant l'objet de plusieurs brevets³⁻⁴. Le procédé de microencapsulation repose sur le principe classique de polycondensation interfaciale selon lequel une pellicule polymétrique peut être formée à l'interface de deux liquides non miscibles chacun contenant un des monomères de la réaction.

Pour obtenir une spécialité microencapsulée, on disperse en gouttelettes fines dans l'eau, une phase organique contenant la matière active et un des monomères de la réaction. Ensuite, on ajoute dans le système l'autre monomère de la réaction qui est soluble dans l'eau. La polycondensation a lieu instantanément à l'interface des gouttelettes et forme ainsi une pellicule enfermant la matière active.

Ces capsules peuvent être récupérées en poudre sèche puisque le produit final sera appliqué en suspension dans l'eau. Il est préférable de préparer une formulation concentrée de poudre mouillable en suspension dans l'eau en ajoutant les composants nécessaires après un tamisage éliminant les grosses capsules.

- *Mécanisme d'action* : l'avantage principal du procédé de microencapsulation provient du fait qu'il ne change point la nature ou l'activité biologique du produit phytosanitaire encapsulé.

² Jourdon, L. *Phytiatrie-Phytopharmacie*. 1976. 25, 107-122.

³ Ranney, M.W. *Microencapsulation Technology*. Noyes Development Corporation, Parj Rudge, N.J., 1969.

⁴ Sliwka, W. "Microencapsulation". *Angewandte Chemie*, International Edition, vol. 14, n° 8, aug. 1975.

C'est la capsule qui, par un phénomène tout à fait physique, règle l'action du produit, tant du point de vue de la toxicité que du point de vue de l'activité résiduelle, ou efficacité.

Le mécanisme est compliqué et malgré les recherches effectuées, il n'est pas très précisément défini.

Dans les grandes lignes, on peut assimiler la capsule à un petit réservoir de matière active et la paroi de la capsule à une membrane poreuse à travers laquelle cette matière active peut sortir lentement vers l'extérieur par un procédé de filtration ou de diffusion, ou une combinaison des deux.

Pendant le stockage et la manutention, les capsules sont suspendues dans l'eau. La paroi joue le rôle d'une membrane poreuse, séparant deux liquides non miscibles. Il n'y a donc pas de possibilité de transport de matière à travers la paroi, et la matière active demeure ainsi dans la capsule sans subir aucune dégradation physique ou chimique.

En réalité, comme il n'existe pas de cas d'insolubilité absolue, il y aura toujours une quantité très faible de produit solubilisé dans l'eau qui échappe à l'encapsulation.

Ce mécanisme protège les mammifères (animaux et humains) d'une grave exposition au produit toxique libre par voie dermale ou orale.

Appliquée dans le champ, après évaporation de l'eau, la matière active se libère progressivement à l'extérieur. Son activité biologique et sa dégradation commencent alors seulement.

L'augmentation de persistance de la matière active dépend donc de la vitesse relative des deux phénomènes de libération et dégradation. C'est celui qui est le plus lent qui détermine le résultat.

Si le taux de dégradation est plus haut que le taux de libération, on assiste à une augmentation de persistance très importante. Si par contre, le taux de la libération est plus haut que le taux de dégradation, on ne voit pas de bénéfice important.

Il est donc indispensable de bien choisir les propriétés des capsules pour obtenir un produit microencapsulé valable.

- *Avantages de la microencapsulation :*

- . réduction de toxicité
- . augmentation d'action résiduelle
- . augmentation d'efficacité
- . volatilité réduite.

Tableau 8.
Choix des formulations et normes d'application

Nature du contenant	Formulations conseillées	Normes d'application
Surface poreuse brique, ciment, béton, argile, bois non peint, etc.	Poudre mouillable (P.M.)	5 litres de bouillie/100 m ²
		10 " ")si la surface
		20 " ")est très poreuse
Surface non poreuse Métal, plastique, bois peint, etc.	Concentré émulsionnable (C.E.)	2,5 litres de bouillie/100 m ²
	Concentré autosuspensible (C.A.)	
Surface cartonnée (carton, boîte, etc.)	Concentré émulsionnable	2,5 litres de bouillie/100 m ²
Dénrée en vrac au champ ou sur aire d'entreposage	Poudre à poudrer (0,5 à 5 % m.a.)	10 kg/ha pour protection des récoltes au champ (préstockage)
		0,5 à 2 kg/tonne en mélange avec les grains

Pour l'instant, cette nouvelle formulation n'a pas encore été expérimentée pour la protection des stocks.

2.2.5. Normes techniques d'application des pesticides pour la protection des denrées entreposées.

Nous donnons ci-dessous quelques recommandations qu'il est nécessaire de suivre lorsqu'on a la charge de la protection d'un stock de denrées.

a) *Etablissement des normes de stockage*

- volume et surface du contenant (magasin, silo, tas, grenier, etc.)
- volume et surface du contenu (grain, graines, tourteau, farine, etc.)

b) *Etablissement des conditions du traitement*

- choix matière active en fonction du parasite cible
- choix de la formulation en fonction
 - . mode d'application (pulvérisation, nébulisation, sublimation, poudrage, etc.)
 - . qualité du contenant (étanchéité, état des murs, ventilation, etc.)
- choix des formulations et normes d'application : voir le tableau 8.

III. LA TOXICOLOGIE DES PESTICIDES ET DES FUMIGANTS

3.1. Précautions générales à prendre lors de l'emploi des pesticides

3.1.1. Au cours de la détention

Conserver les produits dans leur emballage d'origine, toujours muni d'une étiquette, dans des locaux frais fermant à clé et à l'écart de tout aliment de l'homme et du bétail. Ces locaux doivent être frais et ventilés pour éviter l'accumulation possible de vapeurs toxiques. S'assurer que le local n'est pas surchauffé.

3.1.2. Au moment de l'emploi

a) *Manipulations préliminaires des produits liquides*

Dans la mesure du possible, on n'ouvrira les récipients qu'après s'être muni de gants de caoutchouc ou d'un chiffon afin d'éviter tout contact avec le produit concentré. Le récipient sera ensuite rincé avec de l'eau fraîche et non avec la solution à pulvériser.

b) Manipulations préliminaires des produits sous forme de poudre

On tiendra compte de ce que certaines poudres toxiques sont très pulvérulentes. Il faut donc toujours ouvrir les emballages sans brusquerie. Pour les poudres à poudrer, ainsi que lors de la désinfection des semences, certaines de ces poudres étant pulvérulentes, le port d'un masque sera nécessaire au moment du versement de la poudre dans la poudreuse ou dans le tambour de désinfection.

c) Que faire des emballages vides ?

En principe, il est recommandé de détruire, quelle que soit leur valeur marchande, les récipients. En aucun cas, il ne faut laisser des récipients entamés sur le terrain. Les objets ayant servi à la dilution (cuillères, récipients, mesures) seront abondamment rincés après chaque emploi.

3.1.3. Au cours des applications

Seuls les adultes en bonne santé doivent s'occuper de la pulvérisation des produits toxiques ou du poudrage.

Il est recommandé d'employer un vêtement de protection, un chapeau, des lunettes protectrices le cas échéant, des gants en caoutchouc dans le cas des produits très toxiques, et aussi de porter sur le visage un écran protecteur ou un tissu pour couvrir le nez et la bouche. En fait, il faut être informé du danger qu'il y a à traiter sans prendre des précautions élémentaires.

Avant de commencer un traitement, on doit s'assurer qu'il n'y a ni hommes, ni animaux domestiques sur la surface à traiter. La pulvérisation et le poudrage ne doivent pas être pratiqués par vent fort. Eviter de fumer et de manger pendant l'opération. Ne pas souffler les ajutages obstrués avec la bouche. Eviter de garder des denrées alimentaires, des boissons et du tabac à proximité de la superficie traitée.

Si le liquide de pulvérisation ou la poudre est répandu sur la peau, il faut l'essuyer tout de suite, laver la peau au savon et à l'eau. Eviter de pulvériser en période de grand soleil, commencer par exemple le traitement de bonne heure le matin ou en fin d'après-midi. Si une personne donne le moindre signe d'intoxication, elle doit immédiatement être éloignée de la zone traitée. Il est recommandé d'établir un roulement afin que les manipulateurs n'effectuent les traitements que pendant des demi-journées.

3.1.4. Après l'emploi

Vider les récipients et le pulvérisateur et les rincer soigneusement. Vu le risque d'intoxication, ne jamais les rincer dans les mares, étangs, ravines, ce qui pourrait causer l'empoisonnement du poisson ou du bétail. Toute personne qui s'est occupée de la pulvérisation ou du poudrage doit changer de vêtements et se laver soigneusement au savon et à l'eau. Après usage, le pulvérisateur, le tuyau et les ajutages doivent être soigneusement nettoyés et rincés. De plus, des soins d'entretien vigilants doivent être apportés au matériel de protection qui comprendra au minimum les accessoires suivants dans le cas de l'emploi de pesticides très toxiques (agriculture avancée) :

- gants de caoutchouc ou plastique, fermant bien aux poignets
- lunettes de pulvérisation
- bottes en caoutchouc
- vêtement spécial de travail
- éventuellement, masque avec filtres à poussière et à gaz, couvrant le nez et la bouche.

Tous ces accessoires doivent être soigneusement et régulièrement nettoyés, en particulier les vêtements spéciaux car il peut se former à l'intérieur de ces derniers, un dépôt de produits qui représente un danger réel pour l'utilisateur.

Ces dernières précautions sont valables pour les entreprises de pulvérisation comme il en existe aux Etats-Unis et en Europe. Il est bien sûr prohibitif qu'un petit agriculteur s'équipe d'un tel matériel. Il devra y substituer surtout du bon sens et de l'esprit d'initiative. Dans cette optique, les agents vulgarisateurs ont un grand rôle à jouer en milieu rural.

3.2. Précautions générales à prendre lors de l'emploi des fumigants

3.2.1. Utilisation des respirateurs (masques à gaz)

Le masque à gaz est la partie la plus importante de l'équipement utilisé pour la protection des personnes se servant de fumigants. Lorsque les traitements de fumigation sont effectués d'une façon régulière, il est préférable que chaque opérateur dispose de son propre masque à gaz de manière à ce qu'il soit lui-même responsable de l'entretien de l'appareil assurant sa protection.

Il ne faut se servir pour les travaux de fumigation que de masques à gaz approuvés pour cet usage par le service ministériel intéressé du pays dans lequel on travaille ou dans lequel le masque a été fabriqué, par exemple par le ministère des Mines ou de la Santé publique.

Tableau 9.

Types de cartouches pour masques à gaz destinés à protéger
les voies respiratoires contre certains fumigants

Fumigant	Destination de la cartouche	Eléments actifs contenus dans la cartouche
Acrylonitrile, sulfure de carbone, tétrachlorure de carbone, chlorobromure d'éthylène, bichlorure d'éthylène, bromure de méthyle, naphthaline, trichloréthylène (de même que tout mélange de ces gaz, à condition que la concentration totale dans l'air ne dépasse pas 2 % en volume)	Vapeurs organiques	Charbon de bois activé
Chloropicrine, oxyde d'éthylène	Vapeurs organiques et gaz acides	Charbon de bois activé et soude caustique ou autre granulé alcalin
Acide cyanhydrique, anhydrique sulfureux	Gaz acides (on trouve sur le marché des cartouches spéciales pour le HCN)	Soude ou ponce caustique ou produit à base d'hydroxyde de bois activé
HCN, chloropicrine	Vapeurs organiques et gaz acides (on trouve sur le marché des cartouches spéciales destinées au mélange HCN-chloropicrine)	Charbon de bois activé et soude caustique ou autre granulé alcalin
Hydrogène phosphoré	Tous gaz	Mélange de divers absorbants

Généralement, l'approbation ministérielle couvre un ensemble complet, c'est pourquoi lorsqu'on achète des masques à gaz d'un certain type, il faut utiliser des cartouches de la même marque.

Dans un certain nombre de pays de langue anglaise, on utilise le terme "respirator" pour désigner un appareil couvrant toute la face, ou le nez et la bouche seuls, de sorte que le porteur ne puisse respirer que l'air filtré par le masque. Aux Etats-Unis et au Canada, ces appareils sont appelés également "gaz masks".

L'air respiré passe à travers un filtre qui retient certains éléments toxiques ou bien arrive par un tube prenant l'air en dehors du local fumigé. Il existe également deux types de masques à circuit fermé :

- appareil à réserve d'air, dans lequel de l'air comprimé est emmagasiné dans de petits cylindres (bouteilles) portés par la personne elle-même ;
- appareil à régénération, dans lequel de l'oxygène est produit dans une capsule spéciale sous l'action de la vapeur d'eau dégagée par la respiration.

Pour la plupart des travaux de fumigation, le type qui convient le mieux est celui à cartouche filtrante. Ces appareils sont généralement appelés masques à gaz du type industriel.

La cartouche de ces masques donne une protection suffisante pendant un temps déterminé lorsque la concentration des gaz toxiques dans l'air ne dépasse pas deux pour cent en volume. Cette cartouche contient un absorbant chimique ou physique qui retient les gaz toxiques contenus dans l'air respiré. Chaque cartouche est destinée à un certain gaz ou à un groupe de gaz. Il est de la plus haute importance de vérifier avant de commencer un travail de fumigation que la cartouche appliquée au masque est bien celle qui convient au gaz ou au mélange de gaz utilisé dans ce travail.

Pour certains travaux de fumigation, comme par exemple, pour l'aspersion de grandes masses de grains en vrac par des fumigants liquides, il peut être utile d'utiliser des masques prenant l'air en dehors du local fumigé ou des masques du type à circuit fermé. Pour la plupart des opérations, cependant, c'est le masque industriel qui convient le mieux.

Les respirateurs du type "à cartouche" sont de petits appareils contenant une ou deux cartouches chimiques filtrant la respiration nasale. Ces respirateurs ne donnent une protection efficace que pour les concentrations ne dépassant pas 0,1 pour cent en volume. Il ne faut les utiliser à aucun stade du travail de fumigation. Les masques contre les poussières ou destinés à protéger des aérosols insecticides ou fongicides ne donnent absolument aucune protection contre les fumigants. Au tableau 9, sont donnés les types de cartouches à utiliser pour les différents fumigants ou groupes de fumigants.

a) *Tympan perforés*

Les personnes ayant les tympan perforés peuvent, en portant un masque, absorber des vapeurs de fumigant par les oreilles par suite de la légère dépression qui se produit au moment de l'inspiration. Le fumigant absorbé ainsi sera expiré à l'intérieur du masque où une concentration toxique peut se former. Ces personnes peuvent généralement éviter ce danger en bouchant leurs oreilles avec du coton imbibé d'huile.

b) *Mode d'emploi et entretien des masques*

Des instructions détaillées sur la manière de régler, de mettre et de vérifier les masques sont données par les fabricants. Ces instructions imprimées se trouvent généralement dans la gaine du masque ou dans un autre endroit commode. Elles doivent être soigneusement étudiées au moment de l'achat et relues avant l'usage. Les chefs d'équipe doivent instruire les hommes nouvellement engagés sur le mode correct d'emploi des masques. Ceux qui n'ont pas porté de masque doivent subir un entraînement journalier pour acquérir une pratique suffisante. Cet entraînement doit être poursuivi jusqu'à ce que le nouvel opérateur puisse faire preuve d'une parfaite aisance dans la manipulation et l'usage du masque.

c) *Cartouches*

La cartouche est l'élément du masque qui extrait le gaz toxique de l'air respiré. Il importe de bien saisir aussi bien son fonctionnement que les limites de son action.

d) *Charge de la cartouche*

Les cartouches du type industriel dont l'usage est recommandé en fumigation peuvent contenir trois sortes de produits :

1. charbon de bois activé absorbant les vapeurs organiques, par exemple le bromure de méthyle, le bichlorure d'éthylène ou le tétrachlorure de carbone ;
2. des produits chimiques réagissant avec certains gaz, par exemple la soude caustique qui neutralise les gaz acides comme l'acide cyanhydrique et l'anhydride sulfureux ;
3. du coton ou un autre élément filtrant pour arrêter les poussières.

Comme nous l'avons déjà dit, les fabricants de masques préviennent que les cartouches n'assurent une protection efficace que si la concentration du gaz toxique dans l'air ne dépasse pas deux pour cent en volume. De plus, à cette concentration ou près de cette concentration maximum, plus grande que celle pratiquée normalement par fumigation et ayant une odeur caractéristique par exemple pour l'acide cyanhydrique ou la chloropicrine, l'opérateur est prévenu de la saturation

de la cartouche par la perception de l'odeur du fumigant utilisé. Le bromure de méthyle n'ayant pas d'odeur en concentrations relativement faibles, des précautions spéciales doivent être prises.

e) Mode d'emploi et entretien des cartouches

Le haut et le bas d'une cartouche neuve sont scellés. Les fabricants impriment une date limite sur l'étiquette, date à laquelle la cartouche doit être mise au rebut, même si les sceaux n'ont pas été brisés.

La réserve de cartouches doit être conservée en un endroit frais, sec, bien ventilé et à l'abri des gaz toxiques. Avant d'utiliser une cartouche, il faut prendre les précautions suivantes :

1. au moment où l'on fixe la cartouche sur le masque après avoir brisé le sceau supérieur, il ne faut pas oublier d'inscrire la date. Le mieux est de l'inscrire sur une petite étiquette en tissu que l'on attache au masque près de la cartouche. Cette étiquette peut servir également à enregistrer les temps d'utilisation de la cartouche ;
2. tant que la cartouche n'a pas servi, même si le bouchon est enlevé, elle peut être conservée pendant un an dans les conditions indiquées plus haut, après quoi elle doit être mise au rebut ;
3. avant de se servir du masque, il faut enlever le capuchon ou le sceau qui ferme l'entrée de l'air dans la cartouche. La date doit également être inscrite sur l'étiquette. Lorsque ce capuchon est enlevé, même si la cartouche n'a pas servi, elle doit être remplacée après six mois ;
4. après chaque opération de fumigation pendant laquelle on s'est servi du masque, la cartouche doit être mise immédiatement au rebut. Lorsque les opérateurs sont soumis au fumigant pendant leur travail, l'application du fumigant et l'aération doivent être considérées comme deux opérations séparées et la cartouche doit être remplacée après chacune d'elles.

Lorsque les opérateurs sont soumis à de faibles concentrations, par exemple pendant la phase d'aération ou de contrôle des locaux fumigés, la cartouche doit être remplacée après deux heures d'usage (contrôlées par l'étiquette). Une grande marge de sécurité doit être prise dans l'estimation des temps d'utilisation. La santé des opérateurs mérite bien qu'on lui sacrifie plusieurs cartouches, dont le prix est d'ailleurs assez bas. S'il y a le moindre doute sur le temps d'utilisation d'une cartouche, elle doit être mise au rebut.

5. lorsqu'une cartouche est mise au rebut, il faut inscrire sur l'étiquette l'indication indélébile et claire "rebut" ou autre avertissement équivalent. Elle doit être jetée immédiatement de façon à ce que personne ne puisse la reprendre et la réutiliser ;
6. les cartouches dont l'emballage apparaît endommagé doivent être considérées comme mauvaises et rejetées. Un coup sur la boîte métallique peut déplacer les produits contenus et créer un vide permettant aux gaz toxiques de traverser la cartouche ;
7. l'eau endommage la cartouche. Elle peut pénétrer à l'intérieur du masque par le tuyau de raccord. Il faut donc protéger la cartouche lorsqu'on nettoie et désinfecte le masque.

f) Vérification du masque avant usage

Avant de pénétrer dans une atmosphère contaminée ou d'entreprendre une opération pour laquelle le port du masque est nécessaire, il faut s'assurer également que le masque fonctionne correctement du point de vue mécanique.

Eléments à vérifier .

1. La cartouche est-elle du type voulu ?
2. La concentration maximum possible en fumigant ne dépasse-t-elle pas les limites d'absorption de la cartouche ? (Comme nous l'avons déjà indiqué, les cartouches du type industriel sont prévues pour une concentration du fumigant dans l'air ne dépassant pas deux pour cent en volume. Dans les tableaux que nous donnons pour les principaux fumigants, nous indiquons la valeur correspondante en grammes par mètre cube.)
3. La cartouche est-elle suffisamment fraîche pour donner la protection voulue ? Pour le savoir, il faut s'en reporter aux indications de l'étiquette attachée au masque.
4. La protection des voies respiratoires étant assurée, y a-t-il possibilité d'absorption de gaz par la peau ? (Cette question se pose surtout pour l'acide cyanhydrique mais se présente aussi pour les autres fumigants.)
5. Reste-t-il suffisamment d'oxygène dans l'atmosphère pour permettre une respiration normale à l'intérieur du masque ?
6. N'y a-t-il pas d'autres gaz nocifs en dehors des fumigants utilisés ? Les cartouches normales du type industriel utilisées en fumigation n'assurent pas la protection contre l'oxyde de carbone ou le gaz d'éclairage.

g) Vérification de l'étanchéité du masque

Après avoir mis le masque et avant d'entrer dans l'atmosphère contaminée, il est indispensable de vérifier que le masque s'applique bien sur le visage, ainsi que sa parfaite étanchéité. Cette vérification se fait de la manière suivante :

1. placer la main sans l'appuyer sur la prise d'air au bas de la cartouche et aspirer profondément. Si le masque est bien appliqué, on sent un fort courant d'air à l'entrée de la cartouche ;
2. lorsque la cartouche est raccordée au masque par un tuyau, pincer le tuyau fortement. Si le masque est bien appliqué et n'a pas de fuites il n'est pas possible d'aspirer de l'air ;
3. lorsqu'il n'y a pas de tuyau de raccord, appuyer la main sur la cartouche pour empêcher l'entrée de l'air. Si le masque est bien appliqué, l'aspiration de l'air devient impossible.

3.2.2. Utilisation des gaz avertisseurs

Des gaz avertisseurs sont quelquefois mélangés en faible proportion à certains fumigants. Le plus important de ces agents avertisseurs est la chloropicrine, que l'on ajoute aussi bien à l'acide cyanhydrique qu'au bromure de méthyle. Les gaz avertisseurs sont utiles pour donner l'alerte aux opérateurs ou aux autres personnes se trouvant à proximité du lieu où l'on procède à une fumigation.

Mais il convient de souligner énergiquement que les gaz avertisseurs ne possèdent pas les mêmes propriétés physiques que les gaz toxiques auxquels ils sont mélangés. Leur absorption est parfois plus rapide ; c'est ainsi qu'il peut arriver pendant une fumigation que la chloropicrine soit absorbée par de nombreux produits plus rapidement que le bromure de méthyle et la disparition de la chloropicrine du mélange peut créer une fausse impression de sécurité chez les personnes qui devraient être prévenues en cas de fuites ou d'autres dangers. De plus, il peut aussi arriver que les cartouches des masques à gaz retiennent le gaz avertisseur plus facilement absorbé, tout en laissant passer avec l'air inhalé les fumigants inodores tels que le bromure de méthyle.

Dans certaines conditions, il est possible d'utiliser efficacement la chloropicrine en tant que gaz de préavertissement dans des structures telles que des navires, où des passagers clandestins peuvent être dissimulés, ou bien dans des bâtiments de grande dimension dont l'inspection complète est difficile à réaliser. Le gaz de préavertissement est appliqué séparément de quinze à trente minutes avant le gaz fumigant principal. Pour la chloropicrine, employée comme gaz de

préavertissement, on a préconisé la dose de 6 g pour 100 m³. Ce produit peut être appliqué en imbibant de la quantité voulue un tampon d'ouate ou de laine de verre, posé dans un récipient plat et ouvert, lui-même placé devant un ventilateur en marche pour accélérer l'évaporation.

COMMUNICATIONS

AMELIORATION DES TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION DES DENREES RECOLTEES

par Mohamadou Ly et Aliou Diop

I. INTRODUCTION

La pénurie des denrées alimentaires est telle dans les pays du tiers monde, particulièrement dans les pays sahéliens, que tous les moyens sont recherchés pour accroître la production agricole et préserver les denrées des pertes de toute nature. Grâce aux développements de la technologie, aux progrès de l'agrochimie, il est possible aujourd'hui, en disposant des moyens nécessaires, de conserver dans les meilleures conditions toutes les denrées.

Conçues dans le cadre d'une économie d'autosuffisance, les méthodes traditionnelles de stockage ont assuré la subsistance des populations pendant des générations. Selon une enquête sur la technologie post-récolte effectuée au Sénégal par G. Yaciuk (1976), près de 80 % des populations rurales consomment les céréales qu'ils ont eux-mêmes produites. Ainsi, une grande proportion des cultures vivrières produites est stockée chez le paysan, au moins pendant un certain temps avant d'être consommée.

Cependant la politique de développement des cultures vivrières a entraîné un accroissement important de la production céréalière ces dernières années (960 000 tonnes de mil en 1978). Cette nouvelle situation s'ajoute aux problèmes déjà posés par la conservation des productions industrielles, principalement l'arachide, au niveau des grandes coopératives de commercialisation.

Compte tenu de ces nouvelles données, des efforts sont faits et doivent être maintenus pour réduire les pertes dans le processus post-récolte. Mais nous ne devons pas perdre de vue que nous devons aussi mettre à la disposition de nos populations une alimentation saine, d'autant plus que les sources de contamination naturelles, accidentelles ou provoquées indirectement par l'homme sont multiples. Parmi ces

MOHAMADOU LY et ALIOU DIOP, ingénieurs de recherches à l'ISRA, Centre national de recherches agronomiques (C.N.R.A.), Bambey, Sénégal.

contaminants, les résidus de pesticides méritent particulièrement notre attention à cause d'une part de la place des pesticides dans la protection des cultures et des denrées alimentaires, et d'autre part de leur toxicité.

Nous allons examiner dans cette communication l'évolution des structures de stockage au Sénégal et le problème posé par les résidus des pesticides.

2. EVOLUTION DES STRUCTURES DE STOCKAGE

2.1. Stockage coopératif et industriel

Pour les cultures industrielles comme l'arachide, le problème du stockage ne se pose qu'au niveau des coopératives de commercialisation et des grandes industries de transformation. L'Office national de coopération et d'assistance au développement (ONCAD), qui commercialise toutes les denrées produites ou importées, est la plus grande entreprise de stockage au Sénégal. Elle dispose de six cents seccos dont deux cent quarante en armatures métalliques et de dix huit magasins céréaliers de 2 000 t (Ly, 1979).

Ces infrastructures sont demeurées longtemps sans évoluer vers des méthodes assurant un stockage de meilleure qualité. Elles sont du reste très insuffisantes et inadaptées au stockage des céréales.

A côté de l'ONCAD, il y a les autres organismes, comme les meuneries (Grands Moulins, Sentenac) et les organismes d'aide comme CARITAS (600 t), le Commissariat à l'aide alimentaire (14 000 t en 1976) et le Catholic Relief Service.

2.2. Stockage chez le paysan

Compte tenu des quantités importantes de grains stockées chez le paysan même, plusieurs techniques de conservation des denrées ont été proposées. Ces techniques intéressent plus particulièrement le mil, la céréale par excellence en milieu rural mais qui, jusqu'au début des années 1960, n'était presque exclusivement stocké que sous forme d'épis. Mais la mise au point et les essais d'un premier prototype de batteuse à mil entrepris au C.N.R.A. de Bambey à cette époque, devait nécessairement s'accompagner d'une évolution dans les structures de stockage. C'est ainsi que plusieurs types de silos permettant le stockage des céréales en grains et leur traitement contre les insectes furent mis au point et vulgarisés avec plus ou moins de succès.

Entre 1960 et 1962, Bonlieu et al. (1964) réalisèrent les premiers essais au C.N.R.A. pour la conservation en grains du mil, du sorgho, du paddy et du niébé. Ces essais portèrent sur l'étude de silos cylindriques de 1,5 à 2 tonnes de capacité destinés aux paysans et d'un autre modèle de 14 tonnes destiné aux coopératives. Ces silos en tôle cintrée, ondulée, galvanisée ont été étudiés en comparaison avec le stockage en sacs qui était alors la seule méthode disponible pour le stockage en grains. Plusieurs traitements d'insecticides en poudre furent parallèlement étudiés.

Ces essais ont montré que les variations de température et d'humidité relative n'avaient pas d'effet néfaste sur le stockage des grains dans ces silos. Une des raisons à cela doit probablement être les très faibles taux d'humidité des grains au début des essais de stockage (inférieurs à 10 %).

L'Institut de technologie alimentaire introduisit par la suite le stockage hermétique en fûts de 200 ou 50 litres. Cette méthode de conservation est d'ailleurs en usage chez certains paysans, notamment en Casamance pour le stockage du maïs-grain et du paddy.

En 1971, des silos appelés "CARRERAS" furent mis au point au Centre national de recherches agronomiques (C.N.R.A.) de Bambey et testés dans les unités expérimentales de Koumbidia et Thyssé-Kaymor. Ces silos cylindriques en béton armé réalisés à l'aide d'agglomérats autocoffrants avaient une capacité de 3,5 m³ soit 2,8 tonnes de mil. Selon un devis estimatif établi par Deuse et Yaciuk (1974), les coûts de construction s'élevaient à 37 605 F CFA à cette époque.

En 1974, Pochtier, Richard et Yaciuk réalisèrent le premier modèle de silo-magasin. Il s'agit en fait, d'un petit magasin conventionnel en briques de ciment subdivisé en petites cellules individuelles permettant à plusieurs villageois de stocker ensemble leurs grains sous le même toit. Simple à construire et relativement peu coûteux, ce type de silo est appelé à connaître du succès auprès des paysans.

Ainsi des modèles de silos-magasins furent construits dans les villages de Layabé et Got dès 1975, à Ndiamsil près de Bambey en 1976 et dans plusieurs autres villages situés près des unités expérimentales ou stations de recherches. En 1977, une étude de la division stockage et de la cellule de liaison du projet USAID a montré que la conservation du mil en silo-magasin avec protection insecticide (bromophos en poudre à 2 % appliqué en surface) était possible pendant au moins sept mois sans pertes dues aux insectes ou aux rongeurs. De plus, les taux de résidus d'insecticide sur grain respectaient les normes établies par la FAO-OMS (Fall et al., 1979). Cette étude a aussi montré que pour un amortissement de huit ans et une capacité de stockage de 19 tonnes, les coûts de stockage, en plus des traitements insecticides, s'élevaient à 1,3 F CFA/Kg de mil.

En 1978, un modèle dérivé des silos-magasins fut introduit chez quelques paysans, au village de Ndiamsil notamment. Il s'agit tout simplement d'une cellule individuelle en briques munie d'un couvercle autour duquel est placé un caoutchouc assurant l'étanchéité du silo.

Dès l'année prochaine, le service de stockage et pesticide et celui de technologie post-récolte du C.N.R.A. de Bambey envisagent d'étudier une version améliorée des silos-magasins et des cellules individuelles en leur assurant plus d'étanchéité à la base avec différents coupe-vapeur, notamment des feuilles de polyéthylène 4 mil. directement installées sous le plancher en ciment. En effet, dans certains modèles de silos-magasins, on note la présence d'une couche de grains moisis à la base des cellules, à cause de remontée d'eau à travers la dalle de ciment.

Comme on peut le constater, pour être vulgarisables, les nouvelles techniques de stockage doivent être simples à construire, peu onéreuses et présenter un avantage financier évident pour le paysan. C'est ce principe fondamental que certaines techniques décrites plus haut n'ont pas respecté, d'où la cause principale de leur insuccès.

3. LA CONTAMINATION DES DENREES PAR LES RESIDUS DE PESTICIDES

Quand nous voulons protéger une culture ou une récolte contre des déprédateurs, nous déposons par un moyen approprié une certaine quantité de pesticides sur la culture ou la denrée. Ce pesticide doit rester en quantité suffisante le temps nécessaire pour éliminer ou maintenir les parasites à un niveau tolérable économiquement. L'idéal serait, qu'après la période de protection souhaitée, le pesticide disparaisse ou soit dégradé en des produits inoffensifs. Malheureusement, à de rares exceptions près, non seulement le pesticide ne disparaît pas, mais il engendre des métabolismes qui peuvent être toxiques. On appelle résidus de pesticides ces substances qui restent à l'état de traces sur ou dans les denrées alimentaires. Ces résidus sont à des concentrations très faibles dans les denrées, de l'ordre du millionième par partie.

Comment des quantités si petites peuvent-elles être dangereuses ?

Des études toxicologiques ont montré que l'absorption répétée à petites doses d'une substance toxique peut avoir à long terme des effets sur l'organisme. C'est ce que l'on désigne sous le terme de toxicologie chronique. Bien sûr, parce que les manifestations sont tardives et insidieuses, on aurait tendance à en minimiser la portée. Pourtant les tests de laboratoire et de nombreux exemples montrent que c'est une donnée dont il faut nécessairement tenir compte.

On peut se demander alors s'il est possible, tout en utilisant les pesticides, de ne pas subir les inconvénients que sont la présence des résidus ?

Cela est heureusement possible car on sait qu'il existe une concentration pour laquelle la consommation journalière et la vie durant la substance toxique ne provoque aucun effet décelable. C'est ce que l'on appelle la dose journalière acceptable (D.J.A.).

Il suffit alors de fixer la concentration de la substance toxique dans les denrées de telle manière que sa consommation journalière par l'homme soit en deçà ou au maximum égale à la D.J.A. Cette concentration maximum admissible est la tolérance. C'est une valeur légale fixée par chaque Etat et de plus en plus au niveau international, en se basant sur les bonnes pratiques culturelles, les habitudes alimentaires, la performance des appareils d'analyse.

Ainsi donc nous nous sommes fixés des repères, des seuils qui permettent d'utiliser les pesticides sans risque ou, en tout cas, avec le moindre risque possible. Le problème reste de savoir maintenant comment agir dans la pratique pour rester dans les normes établies.

1. Les nouvelles matières actives et les formulations correspondantes avant d'être mises sur le marché par les firmes productrices subissent des tests de toxicologie. Ceci permet déjà d'éliminer des substances trop toxiques ou peu sûres, de fixer en relation avec des laboratoires officiels spécialisés la dose sans effet et la dose journalière acceptable.

En même temps des essais sont menés sous l'égide de la FAO et de l'OMS pour fixer les tolérances sur les denrées ou les groupes de denrées à protéger.

2. Dans les conditions spécifiques de chaque pays, voire de régions dans un même pays, des essais de protection des cultures et de stocks sont menés. Ces essais portent sur la détermination des doses, les études de rémanence de dégradation, les conditions générales d'utilisation.

A ce niveau, il faut fixer les délais de carence, afin que les taux de résidus soient conformes aux normes internationales établies par le Comité du codex alimentarins de la FAO/OMS.

La maîtrise de toutes ces données, c'est-à-dire la connaissance des quantités de pesticides déposés, les vitesses de dégradation, les taux de résidus à un moment déterminé, implique des moyens d'investigations appropriés - ces moyens sont aujourd'hui essentiellement chimiques.

Bien sûr, il n'est ni nécessaire ni possible d'ailleurs, à l'heure actuelle, de prendre en charge la totalité de ces recherches. Même dans les pays industrialisés il existe une réglementation, les consommateurs et les autorités sont sensibles aux problèmes de contamination, à tel point que les firmes sont contraintes, avant de mettre sur le marché un produit, de procéder à toute une série de recherches, de contrôles pour présenter un produit "propre" et efficace.

Alors le problème se pose dans trois domaines :

- il faut faire face à la mise sur le marché de pesticides "tombés" dans le domaine public et qui peuvent être formulés dans des conditions peu sûres ;
- il faut, dans les conditions locales, en tenant compte du développement agricole atteint, tester l'utilisation des pesticides afin de fixer les délais de carence et les taux de résidus ;
- il faut pouvoir contrôler les niveaux des résidus dans les denrées alimentaires importées.

Dans ces trois domaines, nous devons pouvoir faire les investigations nécessaires. Par exemple, il est nécessaire et important pour un pays comme le Sénégal de connaître les résidus de pesticides dans les graines, l'huile et les tourteaux d'arachides. De même qu'il faut connaître le niveau des résidus sur les grains, la farine et le couscous de mil. Aujourd'hui, les cultures maraîchères se développent grâce aux traitements phytosanitaires, mais pourtant aucun contrôle n'est effectué.

Voilà quelques données concrètes que nous ne pouvons ignorer. Il y va de la santé de nos populations et de l'avenir de notre économie, ce qui est d'autant plus vrai que le Sénégal s'est engagé à respecter les normes FAO/OMS du codex alimentarins à partir de 1982.

Certains peuvent prétendre que c'est un luxe pour pays développé et que les résidus n'ont jamais été un problème et n'ont pas encore entravé un quelconque commerce. C'est complètement ignorer les données actuelles et vouloir faire la politique de l'autruche. De toutes les façons, au niveau du Sénégal, des analyses de résidus sont effectués

et on respecte les normes FAO/OMS. Et, en tout état de cause, le marché mondial est tel que les denrées alimentaires qui ne correspondent pas aux normes seront refusées ou dévaluées. Dans ce domaine, le cas de l'aflatoxine est un exemple.

Mais ne peut-on faire ces recherches et études dans des laboratoires étrangers spécialisés ?

Si, et c'est d'ailleurs ce qui se fait jusqu'à présent. Mais outre que cela pose des problèmes d'organisation (pour acheminer les échantillons dans de bonnes conditions et recevoir les résultats à temps) et de choix de laboratoire (impartialité, fiabilité des résultats), les objections majeures contre une telle démarche sont que les frais engagés directement ou indirectement pour de telles analyses à l'extérieur devraient être utilisés pour développer notre potentiel scientifique ; d'autre part, une telle démarche ne favorise pas la formation des cadres et la mise en place de structures nationales de recherche.

On peut se dire aussi, si cela pose tant de problèmes : pourquoi ne pas s'orienter vers des pesticides biodégradables ou biologiques ?

Cela est juste et c'est la tendance actuelle des recherches fondamentales en agrochimie. Mais il faut reconnaître que les possibilités d'utilisation de tels pesticides ne sont pas pour le court terme. En plus, leur emploi reste délicat et en tout cas ne peut exclure le recours à l'analyse chimique ou biochimique pour étudier leurs interactions avec les denrées. Il existe des méthodes de stockage physiques (froid, vide, rayons...) mais, non seulement ces moyens posent des problèmes spécifiques, mais ils ne permettent pas une protection à moindre frais comme avec les pesticides actuellement.

Le dernier argument pour minimiser le problème des résidus dans les pays tropicaux, c'est de dire que sous l'effet de la lumière, de la chaleur et de l'humidité les pesticides se dégradent et qu'en fait le problème des résidus ne peut plus se poser. C'est un argument séduisant à priori mais il serait nécessaire de le vérifier. En tout cas, des pays comme l'Australie procèdent à des analyses de résidus. Nous pensons qu'il faut avoir à l'esprit que les pesticides destinés aux pays chauds sont adaptés par leurs formulations et leurs méthodes d'applications pour contrecarrer justement l'effet de la chaleur et de l'humidité. Et puis, même si un pesticide se dégrade rapidement, sait-on pour autant à quelles nouvelles substances il donne naissance ?

On peut dire en dernier lieu, qu'avec de bonnes pratiques agricoles, en utilisant les produits agropharmaceutiques dans les meilleures conditions (produits appropriés, doses correctes, respect des délais de carence...), on aura des récoltes et des denrées alimentaires saines.

A supposer que l'on puisse accéder à un tel résultat sans l'analyse chimique, quelle garantie pouvons-nous donner en ce qui concerne les denrées que nous importons ? La réglementation internationale en matière de résidus de pesticides est telle qu'il appartient à chaque pays de vérifier la qualité des produits qu'il importe. C'est en vertu de ce principe que les pays occidentaux arrivent à refouler les marchandises qui ne répondent pas à leurs normes ou aux normes internationales. C'est ainsi que les pays occidentaux ont proscrit la plupart des pesticides organochlorés et que nous sommes obligés d'en tenir compte à cause de nos exportations.

Seuls des moyens de contrôle adéquats peuvent nous garantir que les denrées que nous importons sont en accord avec les règles internationales sur les résidus de pesticides. Cela est nécessaire quant on sait que la sévérité des pays industrialisés en matière de contamination des denrées alimentaires peut favoriser le déversement sur nos pays de marchandises refoulées ailleurs.

Examinons maintenant brièvement les données qu'il faut avoir à l'esprit quand on veut faire l'analyse des résidus.

Analyser un résidu, c'est déterminer la nature et la qualité de traces éventuelles de pesticides sur ou dans un substrat végétal, animal ou minéral. En plus des moyens de base nécessaires dans tout laboratoire de chimie analytique, il faut des moyens spécifiques pour extraire et purifier les matières actives afin de pouvoir effectuer la détermination. Parce que l'analyse des résidus est complexe, il faut nécessairement définir les orientations souhaitées et estimer les besoins avant de faire des options.

Qu'est-ce qui sera prioritaire ou quelle part prendra :

- a. la recherche
étude de rémanence, délais de carence, de résidus
- b. le contrôle
respect des délais de carence, des tolérances
- c. le règlement de litiges.

Une fois ces grandes orientations prises, il sera possible de s'équiper en conséquence. Il existe différentes méthodes d'analyse et des appareils de toutes performances, spécifiques ou polyvalents que l'on peut choisir en fonction de ses moyens et de son problème. Il reste que les appareils sont souvent coûteux, demandent un service après vente correct, un personnel qualifié et expérimenté pour en tirer la moindre satisfaction. Car il ne faut pas croire qu'il suffit d'avoir les appareils en place pour que tout soit résolu. Ce qui rend le problème délicat, c'est que sous le vocable anonyme d'analyse de résidus se cachent des problèmes de santé publique, des problèmes

commerciaux. Trouver un taux de résidus à tel ou tel niveau, cela signifie protéger ou exposer une population, refouler ou non des marchandises, exclure ou non du marché une spécialité phytopharmaceutique que l'on a mis des années à mettre au point. L'analyse des résidus, comme toute analyse de traces, est délicate. Il faut tenir compte des méthodes expérimentales, de la prise des échantillons, de la méthode d'analyse et de l'interprétation des résultats. Mais elle est réalisable dans nos pays, il suffit de se donner les moyens.

Nous avons essayé dans ce bref exposé de donner une idée du problème des résidus de pesticides et de la nécessité d'en tenir compte dans toute politique d'utilisation rationnelle des pesticides. Ceci non pas pour être alarmiste mais pour ramener les choses à leur juste proportion. On connaît l'importance des pesticides dans la défense des cultures, on connaît aussi les effets qui peuvent en découler. Nous vous convions tout simplement à prendre les mesures nécessaires pour pallier ces effets éventuels. Il suffit de prendre conscience du problème et de s'organiser au niveau de nos Etats, voire mieux au niveau de nos organismes régionaux pour le résoudre. Au Sénégal, des efforts sont faits dans ce sens mais il faudrait voir dès maintenant le problème au niveau régional afin de mieux canaliser l'aide internationale et de mettre en commun les moyens matériels et humains. Nous vous convions à réfléchir sur le problème et à faire des recommandations concrètes.

GLOSSAIRE

Les pesticides sont des substances toxiques. Cette toxicité peut se manifester principalement de deux manières :

a) Toxicité aiguë

L'absorption de la substance toxique provoque un effet immédiat. Cette toxicité est mesurée par la dose létale pour 50 % des animaux d'expérience (DL50). Cette forme de toxicité est due le plus souvent à des accidents et elle est plus fréquente au niveau industriel. Elle est pratiquement impossible avec les résidus des pesticides. Par contre, on en tient compte dans l'agriculture à cause du gibier, de la faune, des poissons et des abeilles. Elle peut se manifester indirectement à cause de l'accumulation de certains toxiques le long de la chaîne alimentaire.

b) Toxicité chronique

L'absorption répétée de la substance toxique, par petites doses, provoque à long terme des troubles ou des lésions. Les résidus de pesticides, l'exposition continuelle aux pesticides provoquent cette forme de toxicité. Son action insidieuse et tardive (qui peut se manifester même sur la descendance) en fait le problème le plus important dans l'utilisation des pesticides, et d'ailleurs elle fait l'objet d'expérimentations longues et onéreuses.

DOSE SANS EFFET

C'est la dose de la substance toxique qui, administrée sur une longue période (deux ans ou plus), n'apporte aucune modification décelable sur l'état ou le comportement des animaux d'expérience par rapport aux témoins. La détermination de la dose sans effet, donnée fondamentale en toxicologie, suppose la maîtrise de plusieurs facteurs : choix des animaux, conditions d'expérimentations et d'analyse.

DOSE JOURNALIERE ACCEPTABLE (D.J.A.)

Dose de substance toxique que l'homme peut prendre sa vie durant dans son alimentation sans aucun risque décelable - c'est une donnée toxicologique qui est fonction de la nature chimique de la substance. Dans sa détermination il est tenu compte de la dose sans

effet, des animaux d'expérience et de la durée de l'expérience.

$$D.J.A. = \frac{D \times P}{A \times B \times C} \text{ mg/Kg de corps vif/jour}$$

D = dose sans effet en mg/Kg de corps vif

P = poids moyen d'un individu 60 Kg

A = coefficient de sécurité tenant compte des animaux d'expérience

A = 10 si les cobayes sont des rats

A = 100 si les cobayes sont des chiens

B = coefficient de sécurité tenant compte de la durée de l'expérimentation.

B = 100 si les expériences ont duré deux ans au moins

B = 500 si les expériences ont duré moins de deux ans

C = quantité d'aliments ou de groupes d'aliments consommés
par jour = 0,4 Kg

Ces coefficients sont employés pour tenir compte de l'extrapolation de données obtenues sur des animaux mis dans des conditions contrôlées à l'homme qui vit dans des conditions plus diversifiées. Il faut dire aussi qu'en établissant la D.J.A. on suppose que l'homme *consomme sa vie durant des aliments contenant toujours* la substance toxique, ce qui n'est certainement pas le cas.

TOLERANCE

La quantité de résidus de pesticides ou de substances dérivées permise sur ou dans une denrée ou un groupe de denrées à un stade déterminé. Elle est fixée au niveau national ou international en tenant compte du niveau des résidus résultant de bonnes pratiques agricoles et de la performance des méthodes d'analyse. Suivant les pays il est tenu compte soit des valeurs maximales de résidus ou des valeurs moyennes.

La tolérance est exprimée en partie par millionième ppm.

LIMITE MAXIMALE ADMISSIBLE

Notion équivalente à la tolérance, mais se rapportant à des résidus apportés accidentellement sur ou dans les denrées alimentaires (pollution atmosphérique, effets de dérive, précédents cultureaux...)

DOSE EFFICACE

Dose minimum assurant la protection de la culture ou des denrées pendant une période déterminée.

REMANENCE

Durée d'efficacité d'un pesticide.

DELAIS DE CARENCE

Période nécessaire entre le dernier traitement et la récolte (ou le désilage) pour avoir le niveau de résidus tolérés.

BONNES PRATIQUES CULTURALES

Utilisation des pesticides dans les conditions préconisées et réglementaires, en particulier, le respect des doses et des délais de carence.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BONLIEU A., NICOU R., TOURTE R.

— "La conservation des récoltes au Sénégal. Essais sur le mil, sorgho, paddy, niébé". — *Agronomie tropicale*, n° 1, janvier 1964.

BRESSAU G.

— *Problems associated with residue data obtained from food control activities in relation to maximum residue limits and to the acceptability of food* / I.U.P.A.C. Advances in Pesticide Science, Zurich, 1978. — London : Pergamon Press.

COCHRANE William P. et WHITNEY Wayne.

— *The canadian check sample program on pesticide residue analysis. Reliability and performance* / I.U.P.A.C. Advances in Pesticide Science, Zurich 1978. — London : Pergamon Press.

DEUSE J., YACIUK G.

— Fiche technique pour la construction du silo "IRAT" et la conservation dans les silos "IRAT". 1974.

FALL M., HERNANDEZ S., LY M.

— "Essai de protection des stocks de mil traditionnel en milieu paysan au Sénégal". (Communication au Congrès sur la lutte contre les insectes en milieu tropical, Marseille 13-16 mars 1979.)

FAO / OMS.

— "Résidus de pesticides dans les produits alimentaires". (Rapport de la réunion conjointe FAO/OMS). 1966-1968-1969-1970 1971-1972-1973 et 1975.

FAO / OMS.

— "Limites maximales internationales recommandées pour les résidus de pesticides". (Commission du codex alimentaire CAC/RS 65, 1974, 4e série.)

FRANLEY John P. et DUGGAN Réo E.

— *Techniques for deriving realistic estimates of pesticides intakes.* - I.U.P.A.C. Advances in Pesticide Science, Zurich, 1978. — London : Pergamon Press.

FREED V.H., CHIOU C.T. et HAQUE.

— "Chemodynamics, transport and Behavior of chemicals in the environmental Health". — *Environmental Health perspectives*, vol. XX, 1977.

HORWITZ William.

— *The inevitability of variability in pesticide residues analysis* / I.U.P.A.C. Advances in Pesticide Science, Zurich, 1978. — London : Pergamon Press.

LY M.

— *La protection chimique des récoltes au Sénégal*. — Bambey, Sénégal : ISRA-CNRA, avril 1978.

LY M., KANE A.

— *Réflexions des chercheurs de l'ISRA et de l'ITA sur l'implantation d'un laboratoire d'analyse de résidus de pesticides au Sénégal*. — Sénégal : Institut de technologie alimentaire, 1979.

MATSUMARA Fumio, BOUSH G.M., MISATO T.

— *Environmental toxicology of pesticides*. — New York : London ; Academic Press, 1977.

PAYNTER O.E. et SCHMITT R.

— The "Acceptable Daily Intake" as a quantified Expression of the Acceptability of pesticide residues / I.U.P.A.C. Advances in Pesticide Science, Zurich 1978. — London : Pergamon Press.

VIEL G.

— Un décret interministériel fixera prochainement "les tolérances de résidus chimiques dans les produits agricoles". *Agriculture*, n° 334, juillet-août 1970.

YACIUk G.

— Communication personnelle.

YACIUk G. et YACIUk A. D.

— *Discussions des résultats de l'enquête sur la technologie post-récolte en milieu paysan au Sénégal*. — Bambey, Sénégal : ISRA-CNRA, 1977.

LA PROTECTION CHIMIQUE DES RECOLTES AU SENEGAL

par Mohamadou Ly

L'objet de notre communication sera de montrer la place et l'importance du stockage et de la protection chimique des récoltes, d'une part, dans l'économie du Sénégal et, d'autre part, dans la technologie post-récolte. Nous décrivons les moyens et les méthodes utilisés pour la protection des récoltes, les méthodes d'expérimentations et les différents problèmes que posent l'utilisation des insecticides.

* * *

Située dans la zone sahélo-soudanaise, le Sénégal a une superficie de 200 000 km² pour une population de cinq millions d'habitants. Le climat est dominé par une saison sèche de neuf mois et une saison des pluies de trois mois (juillet - août - septembre). Les précipitations sont très faibles dans le Nord et très importantes dans le Sud.

La population du Sénégal, relativement jeune, est à vocation essentiellement agricole. Les cultures occupent 3 000 000 ha (15 % de de superficie totale) et représentent plus de 50 % des exportations. L'arachide et le mil à eux seuls font plus des deux tiers des superficies agricoles et 80 % de la valeur ajoutée brute du secteur agricole.

arachide	1 420 000 tonnes
mil - sorgho	620 000 tonnes
fiz paddy	116 975 tonnes
mais	43 000 tonnes
niébé	24 462 tonnes

production en 1974-1975 d'après rapport annuel du ministère du développement rural.

Le mil et le riz constituent la nourriture de base de la population, leur production restée longtemps insuffisante tend à s'améliorer. Néanmoins, le Sénégal importe encore du mil et surtout du riz (300 000 t de céréales sont importées par an dont deux tiers en riz).

MOHAMADOU LY, phytopharmacien, Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA)/CNRA, Bambey, Sénégal.

Pour assurer un apport de devises avec les arachides et faire face aux problèmes nutritionnels de nos populations, l'important n'est pas seulement d'améliorer les rendements, mais encore de bien gérer nos récoltes afin d'en tirer le maximum.

Tel est justement l'objectif de la technologie post-récolte qui regroupe toutes les techniques qui visent à mettre les récoltes sous des formes utilisables. Durant les transformations allant du champ à la "table" du consommateur, les récoltes subissent différentes pertes. Les unes inhérentes aux transformations mêmes, les autres aux actions extérieures du climat et des déprédateurs. Les effets des déprédateurs peuvent être particulièrement importants quand, à la tranquillité, au confinement, à l'abondance de nourriture, sont jointes une humidité et une température optimun. Dans le cadre de la lutte contre ces déprédateurs, nous allons vous entretenir de la protection chimique des récoltes en Sénégal. Nous traiterons successivement les points suivants :

- la protection des principales récoltes ;
- les structures de stockage ;
- le choix et l'expérimentation des insecticides ;
- les corollaires et les conséquences de l'utilisation des pesticides.

LA PROTECTION DES PRINCIPALES DENREES

L'arachide

La récolte de l'arachide commence en fin octobre. Aussitôt après le déterrement, il y a les opérations de séchage (moyettes-meules) battage, vannage et de mise en sacs. La durée de ces opérations dépend en grande partie des conditions climatiques et des moyens de travail dont disposent les paysans (ensoleillement, vert, nombre de sacs). Le séjour prolongé des arachides dans les champs occasionne les premières attaques des wangs (*Aphanus Sordidus*) et des bruches (*Caryedon Fuscus*). Ces infestations se développent dans les seccos et les centres de groupage.

On estime à 10-15 % le niveau des pertes aux champs. Dans les centres de groupage, en l'absence de protection, ces pertes peuvent atteindre 30 à 40 %. Et dans ces estimations, ne sont pas prises en compte les pertes qualitatives dont les plus importantes sont la perte de la teneur en huile et la présence d'aflatoxine dans les tourteaux.

Actuellement les arachides sont protégées par fumigation au niveau des centres de groupage avec le bromure de méthyle et le phosphore d'aluminium. Mais le traitement par poudrage, parce que moins onéreux et surtout moins dangereux, est le plus largement utilisé.

le bromophos 2 % à 500 g/tonne *sur les arachides d'huilerie et de semences.*

Fénotrothion 1,5 % à 2 000 g/tonne

Iodofenphos 1 % à 1 000 g/tonne.

La protection des semences d'arachides fait l'objet d'une attention particulière. Il est effectué un traitement aux champs avec du HCH 10 % à 2 000 g/ha contre les wangs. En moyenne 300 tonnes de HCH 10 % sont utilisés annuellement par le service semencier.

Les cultures vivrières

Depuis quelques années les recherches en protection des cultures vivrières stagnent. Cette situation doit évoluer très rapidement.

En milieu rural, où la plus grande partie de la production céréalière est stockée, les paysans restent encore réticents quant à l'utilisation des moyens chimiques pour la protection des récoltes, malgré les pertes enregistrées. Des moyens traditionnels comme la conservation par la fumée, la cendre, le sable, le mélange de grains sont utilisés.

Il faut noter l'introduction du stockage en sac plastique (30 Kg) avec du tétrachlorure de carbone (Trogocide R) et du stockage en fût métallique hermétique de 200 ou 50 l. Chaque année 25 à 30 000 sacs + Trogocides sont vendus à l'ONCAD et à la SODEVA. 671 fûts furent placés en milieu rural en 1976.

Dans les centres urbains, et surtout dans les structures de l'ONCAD, il est fait usage de la fumigation au phosphore d'aluminium et au bromure de méthyle.

Le bromophos (Nexion 2R) protège bien le mil à 500 g p.c/t et laisse des taux de résidus acceptables. Il commence à être largement utilisé.

Les autres cultures

Les problèmes de stockage restent entiers au niveau de presque toutes les cultures vivrières (maïs, niébé, manioc, etc). En cultures légumières, on devrait se pencher rapidement sur la conservation des oignons.

LES STRUCTURES DE STOCKAGE

L'ONCAD qui commercialise toutes les denrées produites ou importées est la plus grande entreprise de stockage du Sénégal. Elle dispose, dispersés sur tout le terroir, de 600 seccos dont 240 en armatures métalliques et de dix huit magasins céréaliers de 2 000 t. Ces infrastructures sont très insuffisantes et souvent peu adaptées et actuellement pour stocker le mil, l'ONCAD aménage des aires provisoires et loue des magasins. A côté de l'ONCAD, il y a les autres organismes, comme les céréaliers (Grands moulins, Sentenac) les organismes d'aide, Commissariat à l'aide alimentaire (14 000 t en 1976), CARITAS (600 t dans le Cap Vert) et le Catholic Relief Service (en milieu rural dans la région de Thiès).

Le stockage en milieu rural reste encore dans beaucoup de cas au stade traditionnel. Aussi un effort important doit porter sur la recherche de matériaux adaptés pour la réalisation de silos simples et peu coûteux. Diverses tentatives ont été faites dans ce sens (silos métalliques, silos Carreras...) et actuellement ce sont des silos greniers et des cellules en ciment qui sont en pré vulgarisation. Ils sont bien accueillis dans les milieux paysans où ils ont été expérimentés. Le problème du stockage reste le plus aigu dans le Sud du pays, avec la présence d'une forte humidité.

De tout temps, les paysans ont mis au point des moyens et des structures de protection de leurs récoltes qui répondaient à leur préoccupation majeure, à savoir assurer leur nourriture. Avec les nouvelles données, introduction de la monnaie, transfert interrégional des récoltes, la création de nouvelles utilisations (pain de mil, maïs et riz). L'IRAT doit nécessairement mettre en place des infrastructures plus adaptées. Mais, avant tout, il conviendra de faire une étude critique de celles qui existent déjà et de tenir compte des facteurs essentiels pour assurer un bon stockage. Parmi ces facteurs, les plus déterminants sont certainement ceux ayant rapport à l'état physique des denrées avant et pendant le stockage (intégrité, humidité, température).

CHOIX DES INSECTICIDES

Des expérimentations sont menées par les services de l'Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA) et l'Institut de technologie alimentaire (ITA), avec le concours financier de l'Office national de coopération et de développement (ONCAD). Ces recherches ont essentiellement pour objectif la sélection d'insecticides pour la protection des arachides contre le bruche (*Caryedon Fuscus*). Déjà les travaux menés depuis 1974 (J. Deuse, S. Hernandez) ont abouti à la vulgarisation du Nexion R (2 % bromophos), du Sumifène (1,5 % fénitrothion) et du Nuvanol (2 % Iodofenphos).

Actuellement nos travaux portent sur trois points essentiels.

a. La sélection de nouvelles spécialités, ce qui va permettre aux utilisateurs d'avoir un choix plus large et d'éviter d'éventuelles apparitions de phénomènes de résistances qui seraient dus à l'emploi rejeté et généralisé d'une même spécialité.

Sont à l'essai :

- 2 organophosphorés, le Damfin (2 % de métacryphos) et l'actellic (2 % de pyriniphosmethyl)
- 3 pyriéthrinoides, le Décis (0,05 % de Dècaméthrin), le Ripcord (0,2 % cyperméthrine) et le Sumicidin (0,1 % de Fanvalénate.)

b. Des essais de matières actives formulées avec des charges locales. La mise au point de supports adaptés, stables, trouvés sur place a pour but de réduire le prix d'achat des pesticides en les formulant sur place. Bien que ce ne soit pas l'objet de cette rencontre, nous pensons que c'est un point important qui devra retenir notre attention. Déjà le Nuvanol est formulé sur l'Attapulgate du Sénégal à la concentration de 2 %. Le Bromophos et le Fénitrothion sont en pré-vulgarisation à 2 % sur le gypse épuré.

c. La mise au point d'un système pour le traitement par pulvérisation liquide des arachides dans les centres de groupage de l'ONCAD. En effet, ces centres sont déjà dotés de bandes transporteuses et d'électricité qu'il faut mettre à profit. Ce système permettra un traitement plus homogène, plus rapide et avec plus de sécurité

d. Nous comptons étendre nos activités vers les directions suivantes :

- le traitement précoce des arachides dans les champs. Des essais ont déjà été menés dans ce sens entre 1967-1971 par les services de

l'IRAT. Nous pensons que tant qu'on n'aura pas donné des moyens au paysan pour évacuer rapidement ses arachides, le meilleur moyen de réduire les pertes reste le traitement précoce au champ ;

- effectuer des essais de protection des cultures vivrières, principalement le mil. Ces études demandent parallèlement la collecte d'un minimum de données biologiques (principaux insectes, stades sensibles) ;
- avec la collaboration de l'ITA nous pensons mener, dès l'année prochaine, des études sur l'évolution des pertes en poids en fonction du degré d'infestation sur les arachides et le mil.

LES EXPERIMENTATIONS

Dès le départ, les expérimentations sont faites à l'échelle semi-industrielle, les moyens dont nous disposons ne permettent point une approche plus spécifique. Donc c'est après l'étude des dossiers techniques que nous faisons un premier choix d'insecticides en fonction des données physicochimiques, biologiques, toxicologiques et éventuellement des résultats obtenus dans des pays d'écologie comparable.

En tenant compte des conditions d'emploi et des doses préconisées par les fournisseurs, une première série d'essais est effectuée sur des quantités d'arachides de l'ordre de quatre tonnes, pour déterminer l'efficacité sur le bruche par rapport à un témoin de références.

Dans une deuxième phase, sont précisées les doses et conditions d'utilisation exactes (dose, périodicité de traitement, influence des supports, rémanence). Ces essais portent sur 12 à 20 tonnes d'arachides.

Dans une troisième et dernière phase, nous procédons à une application dans les conditions réelles d'utilisation des insectes. A ce stade sont effectués des prélèvements d'échantillons pour des analyses de résidus. Les poudres insecticides sont incorporées aux arachides par mélange manuel avec des pelles et chaque essai dure trois mois entre début mars et fin juin. A la mise en place et chaque mois jusqu'au désilage, des échantillons sont prélevés en différentes profondeurs pour déterminer le taux de bruchage.

Ces différentes étapes nous permettent de choisir, au bout de quatre à six ans parmi la gamme de produits proposés, ceux répondant au mieux à nos besoins.

Il serait souhaitable qu'après une étude critique de cette méthodologie et un échange d'expériences, nous arrivions rapidement à harmoniser nos méthodes d'expérimentations, afin de pouvoir comparer nos résultats et profiter mutuellement des acquis des uns et des autres.

COROLLAIRES ET CONSEQUENCES DE L'UTILISATION DES PESTICIDES

L'emploi des pesticides doit toujours être considéré comme un des moyens visant à réduire les pertes dans les récoltes. Le choix de son emploi, par rapport aux autres possibilités, est toujours subordonné à son degré de toxicité et de rentabilité. La notion de rentabilité étant comprise dans un sens large, impliquant des données qui ne sont pas toujours mesurables.

Une fois que nous avons opté pour les pesticides, ce qui sera encore longtemps le cas, la mise en oeuvre des autres moyens étant plus onéreuse, il faut aussi mettre en place les moyens matériels et humains pouvant garantir leur utilisation dans des conditions rationnelles. Il ne nous appartient pas ici, et ce n'est pas notre but d'aborder les problèmes généraux d'utilisation des pesticides et des insecticides particulièrement (sécurité dans l'emploi et le stockage des pesticides, identification des ennemis à combattre, conditions de traitement etc.). Nous évoquerons tout simplement les problèmes spécifiques à la protection chimique des stocks et, plus particulièrement, les problèmes auxquels nous avons été confrontés.

- . Le premier problème est le manque de données biologiques pour déterminer les stades et les périodes sensibles des insectes, entre autres l'impossibilité d'effectuer des élevages de masse.
- . Le deuxième problème, lié au premier, est l'obligation technique de faire, à partir des spécialités commerciales proposées, des essais directement à grande échelle (1,5 à 4 tonnes). Il n'est pas possible aussi actuellement de connaître les effets des insecticides (dose, rémanence) sur les différentes générations d'insectes. Le taux de bruchage donne simplement une idée globale.

- . Le troisième problème est l'impossibilité de connaître la quantité de pesticides déposée et l'évolution de ce dépôt.
- . Le quatrième problème reste l'impossibilité de connaître le taux de résidu après la conservation et surtout au moment de la consommation.
- . Le cinquième problème, lié aux préoccupations de la technologie alimentaire et de la nutrition, est la connaissance des habitudes alimentaires, de la consommation journalière par habitant, pour les denrées de grande consommation ou les plus exposées aux traitements chimiques. Ces valeurs permettent, avec les données toxicologiques, de fixer des tolérances pour protéger nos propres populations.

Quand nous disons impossibilité, il faut comprendre absence de structures propres car il est évident que l'on peut toujours avoir recours aux prestations de service.

C'est ainsi que nos interprétations statistiques des taux de bruchage ont été effectuées par les services de l'IRAT jusqu'en 1977. Les analyses de résidus sont faites par les firmes de pesticides. Ce système a rendu certainement des services au début et même aujourd'hui encore, il constitue une bonne collaboration, mais nous pensons néanmoins que pour un travail plus efficace, et pour le développement d'un potentiel scientifique humain et matériel dans ce secteur, il est nécessaire de mettre en place des structures nationales, voire régionales.

C'est là justement, comme dans les méthodes d'expérimentation que je soulignais plus haut, que nos pays peuvent mettre en commun leurs expériences et leurs moyens pour faire face d'une façon rationnelle aux problèmes que pose l'utilisation des pesticides dans la protection des cultures et des récoltes en particulier. Il reste évident que la technologie post-récolte, comporte des branches dont la maîtrise semble plus importante que celle de l'utilisation des pesticides (décor-ticage, monture...). Mais encore une fois, la grande priorité reste de savoir s'il n'est pas nécessaire de protéger, contre les attaques des déprédateurs, les récoltes que des efforts continuels et importants permettent d'augmenter chaque année.

Insecticides des stocks de récoltes

Matière Active	Nom commercial	Firme	Destination	Dose	Observations
Propoxur	Baygon	Bayer	magasins de semence sacherie	2 g m.a/m ²	
Bromophos	Nexion CE 36	Cela Merck	magasins de denrées sacherie	1 g m.a/m ² 200 cm	trempage
	Nexion R2	Cela Merck	arachides céréales	5 g m.a/1/2 sac 10 g m.a/tonne	
Fenitrothion		Phylagro	semences arachides	30 g m.a/tonne	
Iodofenphos	Nuvanol	Ciba Ceigy	semences	10 g m.a/tonne	
Iodofenphos	2 % / attapulgite	Ciba Ceigy	semences	20 g m.a/tonne	
Phosphure d'aluminium	phostoxin	Bayer	toutes denrées rongeurs	3 à 6 g m.a/t 2 à 3 g m.a/t	très toxique
Bromure de méthyle	Dow Fume MC2	Procida	toutes denrées	30 à 80 g/tonne	Doses variables (denrées, insectes)
Coumafène (anticoagulants)	Baraki	Procida	rongeurs	200 à 300 g par endroits	appâts
Tétrachlorure de carbone	Trogocide	Phylagro	niébé	sac 18 g/28 kg	étanchéité nécessaire
HCH 10 %	HCH 10 %	Phylagro	arachides semences	200 g m.a/ha	au champ

FONGICIDES UTILISES SUR LES SEMENCES

Dose 200g p.c/100kg + par enrobage 300 cm³ eau

Formule 1 ONCAD

	(25 % TMTD
	{ +
Dielgranox	(25 % Dieldrine

Formule 2 ONCAD

	(25 % TMTD
	{ 25 % Aldrine
Aldigranox Holybdate	(27 % Molybdate d'ammonium

Formule 3 ONCAD

	(25 % TMTD
	{ 25 % Heptachlore
Thioral Heptachlore	

GRANOX

	(10 % Bénomyl
	{ 10 % Captafol
	(20 % Carbofuran.

TECHNIQUES ET INSECTICIDES RECOMMANDES
POUR LE STOCKAGE

GENERALITES

1. *Propreté*

Nettoyage des magasins, seccos, silos et des environs, absence d'abris pour les déprédateurs.

2. *Traitement des magasins, silos... environs*

a) magasins pour semences.

Propoxur (Baygon) 2g m.a/200 cm³/m²

b) magasins pour denrées

Bromophos (Nexion EC 36) 1g m.a/200 cm³/m²

3. *Traitement de la sacherie et des appareils de manutention*

Bromophos (Nexion) 5g m.a/1/2 sac /trempage

Propoxur (Baygon) 10g m.a/1/2 sac /trempage

Bromure de méthyle (Dow-Fume MC2)

10 g/m³ + 40g/tonne/48 heures

4. *Etat physique des récoltes*

- . Avoir des récoltes saines (maturité, graines entières...)
- . Maintenir une humidité relative optimale.
- . Maintenir une température optimale.
- . Maintenir une bonne ventilation.

5. *Insecticides conseillés par production*

a) *arachides*

- Semences

Bromophos (Nexion 2R) 10g m.a/t

Fénitrothion (Sumifènes 1,5) 30g m.a/t

Iodofenphos (Nuvanol 1 %) 10g m.a/t

(Attapulgate 2 %) 20g m.a/t

Phosphure d'hydrogène (phostoxin) 2 à 6 g m.a/t

Bromure de Méthyle (Dow-Fume MC2) 10g/m³ + 40 g/t/48 h

- huilerie - bouche

Bromophos	10g m.a/t
Bromure de méthyle	10g/m ³ + 40g/t/48 h.
Phosphure d'hydrogène	2 à 6g m.a/t

b) *mil - sorgho - maïs*

Bromophos (Nexion 2R)	10g m.a/t
Bromure de méthyle	10g/m ³ + 40g/t/24 h.
Phosphure d'hydrogène	2 à 6g m.a/t

c) *niébé*

Bromophos (Nexion 2R)	10g m.a/t
Tétrachlorure de carbone (trogoicide R)	600g m.a/t
Bromure de méthyle	10g/m ³

d) *riz*

Bromophos (Nexion 2R)	10g m.a/t
Bromure de méthyle	10g/m ³ + 20g/t/24 h.

e) *traitement d'entretien*

Durant toute la période de stockage	
Bromophos (Nexion 2R)	
Couverture	2g m.a/m ²
Nébulisation	8g m.a/l/100 m ³

LUTTE CONTRE LES RONGEURS

Anticoagulants	appât	250g appâts par endroits
	poudre	de piste
Phosphure d'hydrogène		1 à 3/tonnes.

ANALYSES DE RESIDUS

1967	<i>*Fénitrothion</i>	(niébé)	(1 à 5 ppm/feuille 24 à 48 h après traitement)		
	Endosulfan	niébé	(0 à 1 ppm/grains 4 jours après traitement)		
1976	<i>*Fénitrothion</i>				
		arachides : coque	- 5,9	ppm	
		amande			
		avec pellicule	- 0,5124	ppm	
		amande			
		sans pellicule	- 0,1102	ppm	
		huile	- 1,158	ppm	
		tourteau	- 0,16	ppm	
1977	<i>Bromophos 2 % / talc</i>	arachides			
1977	<i>Bromophos 2 % / talc</i>	mil :			
		grain	7,13	ppm	
		farine	1,85	ppm	
1976	Iodofenphos				
	Support / poussière de mil		2,84	ppm coque	
			0,27	ppm amande + pellicule	
			0,06	ppm amande - pellicule	
	Support / talc		2,2 et 1,2	ppm huile	
			0,13 et 0,19	ppm tourteau	
1976	<i>*Atrazine (CE 500)</i>				

Jours \ Sol	0	27	57	119
0,1	0,1	0,16	0,03	0,02
10-30 cm	10,09	0,02	0,02	0,02

maïs : aucun résidu au moment de la récolte.

* ne concerne pas le stockage.
ppm partie par millionième.

QUANTITE DE PESTICIDE (ONCAD) EN TONNES METRIQUES

Pesticide Année	HCH 10 %	Nexion 2R	Fénitrothion 1,5	Nuvanol 1 %	Bromure de méthyle	Phostoxin N. comprimés	Raticides	Fongicides
1976 - 77	300	-	-	-	3	162.000 c	2	
1977 - 78	300	400	-	200	3	162.000	3	
1978 - 79	300	300	200	-	3	162.000	-	165

Formule 1 ONCAD

Dielgranox

(TMTD
(25 %
(Diéldrine
(25 %

Formule 2 ONCAD

Aldigranox Molybdate

(Aldrine 25 %
(TMTD 25 %
(Molbdate 27 %

Formule 3 ONCAD

Thioral

(TMTD 25 %
(Heptachlore 25 %

Granox

Captafol 10 %
Benomyl 10 %
Carbofuran 20 %

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BONLIEU A., NICOU R., TOURTE R.

– "La conservation des récoltes au Sénégal : essais sur le mil, sorgho, paddy, niébé". – *Agronomie tropicale*, 1964, pp. 7 à 44.

DEUSE J.

– Fiches techniques pour la protection des récoltes stockées (Doc-Multi). – Bambey - Sénégal : ISRA-CNRA, 1976.

FALL M., HERNANDEZ S., LY M.

– "*Essais de protection des stocks de mil traditionnel en milieu paysan*". – Bambey - Sénégal : ISRA-CNRA, 1979.

LY M.

– *Situation actuelle et perspectives d'avenir de la production chimique des stocks*. – 1978.

SOHED – Ministère plan et coopération, Sénégal.

– *Etude de réorganisation de la campagne arachidière*. – Tome I.

YACIUk G. et YACIUk A. D.

– "Enquête sur la technologie post-récolte en milieu paysan au Sénégal". – Bambey - Sénégal : Doc. ISRA-CNRA.

QUELQUES ASPECTS DES PROBLEMES POSES PAR LA CONSERVATION DU MAÏS DANS LES HAUTS PLATEAUX DE L'OUEST

par Emmanuel Fongang

I. DONNEES GENERALES

L'équipe de défense des cultures de la station IRAF de Dschang a entrepris depuis 1976 l'étude des problèmes posés par les pertes après récolte du maïs. La région prospectée est celle des "Hauts-Plateaux de l'Ouest". Il est apparu que le problème du séchage n'était pas préoccupant au niveau paysannal. Les récoltes de l'unique campagne (mars - juillet) sont mises à sécher dans le toit grâce au feu de bois et de la fumée domestiques. Cependant dans les pays Bamboutos, Mifi, Bamoun, le mode de séchage solaire à air libre ou solaire dans le toit des cases non enfumées est communément observé.

Les vrais problèmes de pertes post-récoltes se trouvent au niveau du stockage. Ici les dégâts dus aux champignons sont négligeables dans l'ensemble.

La presque totalité des pertes en cours de stockage reviennent aux insectes dont principalement le charançon du maïs *Sitophilus Zeamais* et le coléoptère des grains *Tribolium Castanaeum*. La première espèce citée est de loin la plus redoutable.

On a montré qu'au cours de six premiers mois de stockage les pertes atteignent 46 % sur les composites locaux et avoisinent 100 % sur les variétés nouvellement créées ou adaptées dont notamment l'important composite Z 290. Les diverses structures locales d'entreposage sont par ailleurs propices aux infestations par les charançons. Le paysan de l'Ouest semble peu doué pour les techniques de conservation des grains par rapport à son homologue du Nord.

Compte tenu de l'importance du problème du charançon liée à la diffusion de nouvelles variétés du maïs, l'objectif normal de l'IRAF aurait été la prise en compte dans les travaux de sélection et d'adaptation, de la résistance variétale du grain aux attaques de charançons.

E. FONGANG, entomologiste, Institut de recherches agricoles et forestières, [IRAF], station de Dschang, Cameroun.

En attendant, nous essayons de voir s'il est possible d'allonger sensiblement la durée de stockage tout en maintenant les structures locales d'entreposage. Celles-ci sont soumises aux traitements insecticides. Les résultats de cet objectif n'étant pas satisfaisants, nous en poursuivons un second qui est la mise au point de nouvelles techniques de conservation vulgarisables à court terme.

II. LA LUTTE CONTRE LES CHARANÇONS DANS LES GRENIERS TRADITIONNELS

2.1. Quelques éléments fournis par l'enquête

- Au niveau paysannal le maïs est séché et conservé exclusivement en épis non déspathés.
- La lutte chimique contre les charançons est assez répandue chez les paysans. Les produits les plus communs restent le malathion et le HCH, puisque plus facilement disponibles sur le marché local.
- Le séchage et la conservation en spathes constituent un moyen de lutte contre les charançons dans les cases enfumées.

2.2. Expérimentation insecticide

Il nous a fallu d'abord expérimenter les produits en notre possession, allant des plus anciens comme le malathion aux plus récents comme la décaméthrine dont la biodégradabilité serait remarquable.

Pour des raisons évidentes, le composite Z 290 a été choisi en priorité, comme matériel de base de nos essais.

2.2.1. Résultats de l'expérimentation en 1976/1977

Les résultats exprimés en pourcentage d'épis "sains" sont rassemblés dans le tableau A. Une modification a été portée aux habitudes traditionnelles, car nous avons stocké, cette première année, en épis déspathés.

Tableau A. % épis sains

Durée (jours)	Greniers Témoins	Greniers + Decis 10PPm	Greniers + Decis + 12,5PPm	Greniers + Malathion 10 PPM	Greniers + Malathion 12,5 PPM	Grenier + Malathion 15PPm
35	72,22	100,00	100,00	90,00	86,66	96,66
61	70,00	91,66	96,66	83,90	80,00	93,33
92	30,00	86,66	95,00	66,66	73,33	70,00
133	21,67	76,66	81,66	63,33	58,33	68,33
167	08,33	76,66	80,00	56,66	53,33	66,66
198	0,00	73,33	83,33	08,33	10,00	56,66
230	0,00	70,00	76,66	06,66	10,00	50,00
258	0,00	68,33	75,00	0,00	03,33	20,00
289	0,00	6,66	70,00	0,00	00,00	01,66

Les résultats n'ont pas été brillants. On a infesté artificiellement tous les greniers en les installant à proximité d'un élevage massif de charançons. Seule la Décaméthrine donne un résultat acceptable sur neuf mois. Les experts de PROCIDA, le Pr J. Lhoste notamment, ont émis des réserves quant à la dose employée qui apparaît très élevée. Nous avons réduit sensiblement celle-ci dans nos essais ultérieurs.

Le Malathion même à la dose de 15 ppm (%5 gma/quintal) apparaît inefficace à partir du quatrième mois. Les doses de 20 et 40 ppm ont assuré une protection correcte sur six et dix mois sur maïs grains en Inde (Bindra et al. 1975), la dose FAO/OMS étant de 10 ppm.

2.2.2. Résultats de l'expérimentation en 1977/1978

De nouveaux produits ont été essayés ; le maïs a été observé en grains, épis déspathés et non déspathés.

D'une manière générale les grains apparaissent moins infestés que les épis. Ceci semble à rapprocher de ce que l'un des deux principaux

"charançons", *Tribolium* sp. infeste fort peu les grains, son élevage étant difficile sur grain en laboratoire. Dans les épis par contre il reste le commensal de *Sitophilus zeamais*.

Le tableau suivant montre l'importance comparée des infestations sur grains et épis non traités (en % maïs sains).

Durée (Jours)	34	64	103	133	162	190	221	252	289
Epis déspathés	78,33	70,00	63,33	23,33	06,66	0,00	0,00	0,00	0,00
Grains	195,56	198,77	191,14	175,59	153,52	133,87	17,20	16,57	15,40

Dans un second essai on a suivi l'évolution des infestations sur les épis *non despathés* traités. Le tableau B résume les résultats obtenus.

Tableau B

Durée (Jours)	Epis témoins (Greniers témoins)	Epis traités au Phoxime à 0,8 %	Epis traités Decis 2,5 PPM	Epis traités Malathion 10 PPM	Epis traités au carbaryl 10 PPM	Epis traités au Pir.methyl actellie 6PPm
34	68,33	86,66	63,33	65,00	73,33	75,00
64	63,33	83,33	55,83	55,00	61,66	61,66
103	53,33	80,00	52,50	50,00	51,66	55,00
133	25,00	85,00	37,50	31,66	40,00	40,00
162	15,00	60,00	11,00	20,00	36,66	33,33
190	07,33	78,66	08,00	07,33	15,33	17,33
221	04,00	84,66	03,00	04,00	21,33	06,66
252	00,00	72,66	04,33	03,33	06,33	04,00
289	00,00	74,00	01,00	01,00	03,33	00,00

Il apparaît que seul le Phoxime¹ assure une protection satisfaisante des épis non déspathés sur neuf mois.

Malheureusement ce produit n'est toujours pas autorisé pour l'emploi direct sur denrées alimentaires bien qu'il soit recommandé pour le traitement des enclos, des sacs et des peaux. D'excellents résultats avaient été aussi obtenus au Sénégal sur les arachides en secco.

Dans un troisième essai, on a suivi l'évolution des attaques des épis cette fois déspathés. Aucun des produits aux doses recommandées ne s'avère efficace au delà du cinquième mois, exception faite du Baythion¹ et du Carbaryl. Le tableau C reproduit les résultats.

Tableau C % épis sains.

Durée (Jours)	Témoins	épis traités Decis	épis traités malathion	épis traités P.methyl Actellic	épis traités au Baythion à	épis traités Carbaryl 10 PPM
		2,5 PPM	10 PPM	6 PPM	0,4%	
34	78,33	88,33	95,00	93,33	100,00	95,00
64	70,00	73,33	90,00	88,33	99,33	90,00
103	63,33	60,00	85,00	85,00	98,66	86,66
133	23,33	40,00	81,66	83,33	98,33	83,33
162	06,66	33,33	73,33	76,66	95,60	75,00
190	0,00	38,66	50,66	33,33	93,33	80,00
221	0,00	16,66	29,33	14,00	88,33	72,66
252	0,00	12,00	04,00	0,00	86,66	77,33
289	0,00	0,00	01,00	0,00	81,66	75,33

Le Baythion reste remarquable. Malgré sa faible toxicité orale (DL50 orale sur rat supérieure à 2500mg/kg) n'a pas de tolérance de résidus. Puisqu'il est autorisé pour le traitement des enclos, des sacs et des peaux, nous avons pensé qu'il pourrait être indiqué pour le traitement des épis de maïs couverts par les spathes. De cette façon, la matière active n'entrerait pas en contact direct avec les grains tout en assurant une barrière contre la pénétration des

animaux dans les épis. Nous avons commencé d'expédier à Bayer-Allemagne des échantillons prélevés dans nos greniers pour analyse de résidus éventuels dans les grains. S'il se confirme que le produit ne traverse pas les spathes pour atteindre les grains, nous pourrions envisager de conseiller aux paysans de continuer à conserver leurs récoltes dans les greniers traditionnels avec un seul traitement au Baythion¹.

2.2.3. Expérimentation en 1978/1979

Les essais 1978/1979 ont consisté à confirmer l'efficacité du Baythion sur épis non déspathés, à essayer la décaméthrine à la dose de 5 ppm et à voir le rôle de la cendre de bois dans les greniers témoins. Le tableau D rapporte les résultats en % d'épis sains (moyenne de 2 greniers).

Tableau D

Durée (Jours)	Tém.	Témoin	épis nus	épis non								
	épis nus											
181/6 mois	63,48	131,73	100	198,41	6,34	39,67	188,88	161,90	166,66	63,42		
286/9 mois	0,79	120,03	100	193,25	0	15,86	192,06	134,12	167,45	50,79		

Il ressort de ce tableau que le Malathion et la Décaméthrine ne se distinguent pas à partir du six mois, respectivement sur maïs toutes formes et maïs en épis non déspathés. L'efficacité du Phoxime reste confirmée sur épis toutes formes. La Décaméthrine est assez remarquable sur les épis nus. La cendre sèche de bois pourrait être efficace sur les deux formes d'épis. On a montré en laboratoire que les épis restaient intacts aussi longtemps que possible chaque fois qu'ils étaient entièrement recouverts par la cendre. Celle-ci semble n'avoir aucun effet létal, mais agirait comme une barrière à toute pénétration de charançons.

III. REORIENTATION DES ESSAIS 1979 - 1980

Les essais antérieurs ont montré qu'aucun insecticide autorisé ne permet d'assurer la conservation satisfaisante du maïs sur l'année, dans les greniers traditionnels. L'imperfection de ceux-ci, comme matériels de stockage du maïs est évidente. Si le maïs est stocké avant toute infestation primaire, il est vite attaqué dès les premiers moments du stockage grâce aux multiples trous d'entrée des insectes.

Nous avons fabriqué cette année des caisses métalliques ou en bois, à fermeture quasi hermétique, de un mètre cube pouvant contenir 800 kg de grains (soit un peu plus du tonnage moyen stocké par le paysan). Une caisse revient à 23 000 francs. Les caisses "hermétiques" permettraient de réduire ou de supprimer les usages d'insecticides. Nous avons provisoirement maintenu les greniers en bambous pour les seuls épis non déspathés, traités au Phoxime¹.

Voir le tableau-protocole des essais 1979/1980.

Une nouvelle spécialité, le tetrachlorvinphos, a été obtenue : le Gardons vendu par Shell. Son innocuité totale est connue.

Les observations, pour les essais 1979/1980, seront trimestrielles et porteront comme par le passé, sur l'évolution des pertes en épis suivant deux orientations radiales et verticales du grenier. Il s'agit de préciser l'importance des pertes globales du grenier et l'importance de l'infestation de l'épi. Les épis sont classés en cinq classes :

- classe 0 = aucun grain de l'épi n'est évidemment infesté
- classe 1 = l'épi est attaqué au $\frac{1}{4}$
- classe 2 = l'épi est attaqué de moitié
- classe 3 = l'épi est attaqué au $\frac{3}{4}$
- classe 4 = l'épi est entièrement attaqué.

Sauf la classe 0, toutes les autres classes renferment les épis actuellement irrécupérables (3 et 4) ou potentiellement irrécupérables (1 et 2). Les vraies pertes qui intéressent le paysan, ce ne sont pas les pertes pondérales mais les pertes en épis. Ce qu'il veut connaître à un moment donné, c'est le nombre d'épis partiellement ou totalement infestés (et donc invendables) contenus dans son grenier.

Ceci justifie que nous ayons prioritairement axé nos pertes sur les épis. Cependant, pour un même matériel, pris dans les mêmes conditions de teneur en eau, il est aisé de lier les pertes en épis aux pertes pondérales. A partir de la fiche de relevé ci-après, un modèle de calcul est proposé.

¹ Voir renvoi page 126.

EVOLUTION DE L'INFESTATION DES EPIS (EN %)

Grenier n° 37

Traitement : Témoin absolu

Var. Z 290 non déspathé

Jours après stockage : 181

DISTRIBUTION VERTICALE	DISTRIBUTION RADIALE	EPIS INFESTES, CLASSE :					TOTAL RADIAL	TOTAL GENERAL
		0	1	2	3	4	"Sains"	"Gains"
Partie supérieure du grenier	épis périphériques	35,71	7,14	35,71	21,42	0	35,71	23,80
	épis intermédiaires	0	14,28	50,00	7,14	7,14	0	
	épis centraux	35,71	14,28	42,85	7,14	0	35,71	
Centre du grenier	épis périphériques	35,71	14,28	42,85	0	0	35,71	26,18
	épis intermédiaires	35,71	14,27	64,28	0	0	35,71	
	épis centraux	7,14	28,37	35,71	14,28	0	7,14	
Fond du grenier	épis périphériques	21,42	14,27	64,28	0	0	21,42	11,90
	épis intermédiaires	0	28,57	71,42	0	0	0	
	épis centraux	14,28	35,71	42,85	7,14	0	14,28	
Total vertical "Sains"		20,63	19,04	49,99	6,34	0,79		20,63

■ Eléments des calculs

- nombre moyen d'épis 290 pour 100 kg à 15 % humidité = 730

- poids moyen d'un épis classe 0 = 137 g
 classe 1 = 124,4 g
 classe 2 = 103,9 g
 classe 3 = 100,8 g
 classe 4 = 90 g

Poids total épis sains dans le grenier 37 (100 kg) à 20,63 %

$$\frac{100}{730} \text{ kg} \times 730 \times 20,63 = 20,63 \text{ kg}$$

- Nombre d'épis classe 1 = 730 x 19,04 = 139,0

. poids théoriques épis classe 1 = 0,137 x 139 = 19,043 kg
 . poids réel 0,1244 kg x 139 = 17,29 kg
 . perte pondérale sur épis classe 1 19,043 - 17,29 = 1,753 kg

- Nombre d'épis classe 2 dans ce grenier

$$730 \times 49,99 = 364,92$$

. poids théorique de ces épis = 0,137 x 364,92 = 49,99 kg
 . poids réel de ces épis = 0,1039 kg x 364,92 = 37,91 kg
 . perte pondérale sur épis classe 2 49,99 - 37,91 = 12,08 kg

- Nombre d'épis classe 3

$$730 \times 6,34 = 46,282 \text{ épis}$$

. poids théorique de ces épis = 0,137 kg x 46,282 = 6,34 kg
 . poids réel = 0,1008 kg x 46,282 = 4,66 kg
 . perte pondérale sur épis classe 3 6,34 - 4,66 = 1,68 kg
 . perte pondérale sur épis classe 4 0,137 kg x 5,76 = 0,79 kg
 . perte pondérale totale pour grenier n° 37

$$1,753 \text{ kg} + 12,08 + 1,68 + 0,79 = 16,30 \text{ kg}$$

On suppose que le poids des rafles reste constant tout au long des observations. De ce fait, les pertes pondérales seraient

essentiellement liées aux pertes en poids des grains. Ainsi, pour ce grenier témoin, nous pouvons dire que si le pourcentage des épis infestés est de 69,27 % les pertes pondérales sont de 16,30 %.

Ce modèle nous permet d'avoir une idée des pertes pondérales pour tous les traitements. Ces pertes varient en poids de 0 à 39,11 % au terme de 181 jours.

Du mode d'échantillonnage adopté, il n'est pas encore possible de tirer les renseignements quant aux distributions spatiales des infestations dans les greniers ; la suite des essais pourrait nous guider.

IV. CONCLUSION PARTIELLE

Après trois années d'expérimentations insecticides sur maïs stocké dans les structures locales, il ne paraît pas encore possible de proposer une méthode de conservation en milieu paysannal. Jusqu'ici une seule spécialité, le Phoxime assure une protection remarquable des épis non déspathés ; il ne pourra être proposé qu'à l'issue des récoltats d'analyse actuellement en cours¹. En réalité il faut insister sur le fait que le plus grand problème de conservation du maïs se situe au seul niveau du paysan. En effet, dans les grandes fermes et chez les grands producteurs de maïs les silos ou les caisses étanches et même les sacs de polyéthylène peuvent être facilement adoptés avec l'emploi des fumigants en tablettes.

Au niveau du village, le problème des infestations primaires et secondaires du maïs n'est pas tranché. De la sorte, même à l'aide des caisses étanches, il faudrait contourner les difficultés liées aux infestations primaires. En année normale cependant nous avons montré que l'espèce *Sitophilus zeamais* ne pénétrait que très rarement dans les épis dressés en champ, sur les récoltes très tardives. L'espèce *Tribolium castaeum*, par contre est présente dans les épis dès le stade grain laiteux. L'essentiel des infestations des greniers est d'origine secondaire, les principales sources étant les vieux entrepôts, les vieilles récoltes. A Dschang, 80 % des épis Z 290 sont infestés par *Sitophilus zeamais*, sur une parcelle à proximité immédiate de notre hangar de stockage, à plus d'un mois avant la récolte.

¹ Voir renvoi page 126.

Finalement il nous faudra attendre le dépouillement des essais de conservation dans les caisses "hermétiques" avec ou sans insecticides, pour être guidé sur les nouvelles orientations.

Si la littérature mondiale mentionne peu de cas de la résistance des grains aux charançons, ce problème devrait déjà être inclus parmi les thèmes possibles dans les travaux de sélection de l'IRAF. Mais, en attendant, on perdrait plus à rayer le composite Z 290 (comme le demandent les vulgarisateurs ONCAD) qu'à le diffuser davantage. Il resterait alors plutôt une question d'amélioration des structures de stockage pour laquelle nous guidera la suite de nos essais.

¹ Au moment où nous finissions ce propos, le délégué Bayer d'Allemagne nous a confirmé que le Baythion (Phoxime) n'est officiellement autorisé ni sur épis déspathés, ni sur épis non déspathés et qu'il serait inutile que leurs laboratoires procèdent aux analyses de résidus dans les grains des épis non déspathés. Curieusement ce produit est officiellement reconnu comme indiqué pour le traitement des sacs, des peaux et des entrepôts de denrées alimentaires. Il sera désormais rayé de nos expérimentations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASHMAN F.

- "An assessment of the value of dilute dust insecticides for protection of stored maize in Kenya". - *Journal of Applied Ecology*, 1969, 3, (1), pp. 176-179.

BINDRA O.S., SIDHU T.S.

- "Effectiveness of malathion as protectant for stored maize grains". - *Pesticides*, 1975, India 9 (9), pp. 23-26.

GILES P.H.

- *Observations in Kenya on the flight activity of stored products insects particularly sitophilus zea mais*. - *J. Stored Prod. Res.*, 1969, 4, pp. 317-329.

Le CONTE J., BOSSOU ASSOGBA C.

- "Le problème de la conservation de maïs en épis dans le sud Dahomey. Etude et développement de l'attaque par *Sitophilus oryzae* en champ et magasin". - *Agronomie tropicale*, 1963, 10 : 969-984.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

- *Post harvest Food losses in Developing Countries*. - Washington D.C. : National Academy of Sciences, 1978.

POINTEL

- "Essai et enquêtes sur greniers à maïs togolais". - *Agronomie tropicale*, 1969, Nogent, 24, pp. 709-718.

SCHULTEN G.G.M.

- "The 1971-1972 Survey on losses caused by insects of maize stored in local crib. Grain storage project". - Malawi : dec. 1969.
- June 1972.

CONTRIBUTION A LA RECHERCHE D'UNE METHODOLOGIE APPROPRIEE
A L'ESTIMATION DES QUANTITES DE VIVRES CONSERVEES
EN MILIEU RURAL
ET DES PERTES SUBIES PENDANT CETTE CONSERVATION
AU BURUNDI

par Alain Mertens

AVANT-PROPOS

Cette note technique a été rédigée à la demande des autorités de l'AUPELF (Association des universités partiellement ou entièrement de langue française), comme suite à la communication que le Burundi présenta lors du colloque organisé à Yaoundé (Cameroun), du 5 au 10 novembre 1979 sur le thème "Conservation des denrées alimentaires cultivées en climat chaud et humide". Cette note technique a fait l'objet d'une publication sous l'égide de l'AUPELF lors du colloque. Elle est reprise intégralement dans les pages qui suivent, après quelques petites améliorations de présentation et de texte.

La méthodologie décrite semble être unique dans son domaine, car ni la littérature anglophone (importante au sujet de la conservation des vivres en milieu rural) ni celle de langue française ne font état d'une telle technique méthodologique.

L'intérêt de cette description est le fait qu'elle est le fruit d'un travail en cours sur le terrain et non d'une vue de l'esprit, purement théorique

L'intérêt d'un tel travail sur le terrain, s'il est déjà grand au vu des résultats propres de l'enquête (courbes de l'évolution des quantités conservées, des achats, des ventes, des quantités utilisées pour les semailles, des quantités offertes et reçues, des pourritures, des quantités jetées à la volaille et enfin des quantités nécessaires à la consommation de la famille), son intérêt s'amplifie dans la mesure où il sert de support aux enquêtes traditionnelles effectuées

ALAIN MERTENS, ingénieur agronome socio-économiste. Institut des sciences agronomiques du Burundi (ISABU).

jusqu'ici sur des *chiffres non vérifiés*. Nous pensons tout particulièrement aux enquêtes sur les pertes de denrées en cours de conservation, les enquêtes nutritionnelles et médicales, les enquêtes de commercialisation basées sur les chiffres du milieu rural, les enquêtes sur la valeur nutritive des aliments en cours de conservation.

Cette note sera divisée en deux points principaux : les préliminaires à l'enquête et l'enquête proprement dite. Le terme "grenier" y sera étendu à toute forme de conservation (sacs, pots, paniers, etc.). C'est la raison pour laquelle nous nommerons ce travail "*enquête grenier*".

1. PRELIMINAIRE A L'ENQUETE GRENIER

1.1. Contacts officiels

Pour que l'enquête grenier soit réellement efficace, outre les indispensables contacts officiels, aux niveaux administratifs ministériel et local, il faut aussi et plus encore que le ou les ministères intéressés mettent à la disposition de l'enquête les *moyens logistiques indispensables* à son bon déroulement. Les prévisions budgétaires de l'enquête doivent être telles qu'elles permettent à ce travail de s'effectuer en souplesse (poste d'imprévus).

1.2. Inventaire des formes de conservation rencontrées en milieu rural

Ce travail, rarement entrepris même isolément, donne, le plus souvent, des *indications précieuses et scientifiques pour l'orientation future des recherches*. Nous conseillons donc de débiter l'enquête grenier par une première phase qui est d'inventorier toutes les formes de "grenier" rencontrées en milieu rural. Ce premier travail peut s'assortir de *recherches annexes* telles que calendriers cultureaux, dimension et forme des greniers, nombre de ceux-ci, endroit de mise en conservation (à l'intérieur ou à l'extérieur, à l'ombre ou au soleil), etc. L'ensemble de ces données de base peut déjà, à lui seul, préciser clairement les orientations des recherches ultérieures. La récolte de ces données font, par ailleurs, gagner un temps précieux dans les autres recherches.

Au Burundi, un travail analogue a été effectué et a fait l'objet d'une publication : *Contribution à l'étude de la conservation des denrées alimentaires en milieu rural au Burundi*, par A. Mertens et A. Autrique, Annexe no 1 du Rapport annuel de l'ISABU, 1977.

1.3. Choix des sites à étudier

L'enquête grenier est très exigeante en temps et en contrôle (importance de la fiabilité des résultats...). Aussi nous pensons qu'il faut *limiter les régions* pour le temps du démarrage de l'enquête, aux régions prioritaires ou aux régions qui présentent le plus d'intérêt au niveau national (milieu rural isolé ou à proximité d'un centre urbain plus ou moins important, niveau de consommation ou de conservation typique, etc.). Trois régions nous paraissent être un maximum pour débiter, ce qui ne veut pas dire qu'en cours d'enquête (après un an par exemple) d'autres régions s'ajoutent aux premières ou les remplacent. Pour autant que possible, on choisira parmi les *régions naturelles* du pays (et non les régions administratives) celles qui seront observées.

Au Burundi, sur neuf régions naturelles, seuls le Kirimiro, le Mugamba et l'Imbo ont été retenus.

1.4. Durée de l'enquête

Nous préconisons *deux années d'observation, de manière à obtenir ou non confirmation des résultats* des saisons culturales de la première année. Cette prudence est justifiée par le fait que les aléas climatiques ne sont pas contrôlables et qu'une saison observée peut être exceptionnellement bonne ou mauvaise et fausser ainsi les interprétations des résultats.

Si les résultats observés diffèrent trop par rapport à une fourchette de variation que l'on peut se fixer, on s'astreindra à prolonger l'enquête une troisième année. Ce n'est qu'à ce prix que l'on peut obtenir un travail de qualité. Ce n'est que dans les années qui suivent l'enquête grenier que des coups de sonde sur une seule saison culturale pourront être effectués. Ces coups de sonde ont un intérêt évident pour évaluer les variations subies par le milieu rural. Ceci est particulièrement vrai dans les pays à fort pourcentage d'autosubsistance (vulnérabilité des stocks). Les coups de sonde peuvent être effectués tous les cinq ou dix ans suivant le degré de finesse que l'on s'impose pour l'évaluation permanente du travail.

Au Burundi, le travail est en cours depuis une année et le rapport définitif devrait être publié vers la fin 1980.

1.5. Choix des denrées à observer

Les denrées principales conservées dans le milieu doivent être observées. Suivant l'intérêt apporté à l'enquête grenier par les autorités, les denrées secondaires feront aussi partie de l'enquête.

Au Burundi, l'enquête recueille les données pour le maïs, le haricot et le sorgho, denrées principales, de même que pour le petit pois, le froment, le riz, l'éleusine, l'arachide et le soja, denrées secondaires et souvent régionales.

1.6. Choix de l'échantillon des familles à enquêter

Le nombre de familles à enquêter doit être représentatif de la région de manière à extrapoler les résultats recueillis à l'ensemble de la région.

Nous préconisons d'établir *l'échantillon au $\pm 1/100$* . Le choix des familles se fera de manière aléatoire (pour autant que faire se peut).

Lors des coups de sondages ultérieurs et sur la base des résultats recueillis lors de la première enquête grenier, il est possible de diminuer l'échantillon au $1/1000$, en fonction de la fiabilité des résultats du premier travail.

Au Burundi, comme il s'agit d'un travail exécuté en primeur, il nous a paru prudent de gonfler légèrement notre échantillon. Les familles sont choisies par l'administration communale (absence de fichier de la population qui permettrait le tirage aléatoire des familles) de façon à ce que :

1. les familles soient représentatives (ni trop riches, ni trop pauvres)
2. les familles soient disposées en circuit.

Ainsi, deux cent quarante familles sont choisies dans chaque région naturelle. Ces familles sont choisies à raison de cent vingt dans une commune et cent vingt dans l'autre, non conjointe, de manière à permettre un auto-contrôle de l'enquête.

Chaque lot de cent vingt familles est disposé de manière à former un circuit de ± 5 km/jour et de $\pm 40-60$ km/15 jours (voir point 1.7 Rythme des passages).

1.7. Rythme des passages

Les observations recueillies dans l'échantillon se font de manière itérative, de façon à ce qu'aucun des événements agronomiques puisse échapper à l'enquête. Ainsi les pics observés pour les semailles, les dons offerts ou reçus, les achats, les ventes, etc. ne peuvent pas être "oubliés" à cause de passages trop espacés. Nous pensons qu'une durée de quinze jours entre chaque passage est une bonne périodicité pour remplir les exigences de précision de l'enquête grenier.

Au Burundi, chaque enquêteur observe dix familles par jour, pendant deux semaines, puis recommence les observations dans le même lot de cent vingt familles de quinze jours en quinze jours.

1.8. Personnel utilisé dans l'enquête grenier

- a) les enquêteurs : ils doivent pouvoir *comprendre ce qu'on leur demande* et surtout pouvoir l'exécuter ; pour ce faire, nous préconisons de travailler avec des personnes ayant fréquenté l'école pendant \pm 8-10 ans. Si la formation est plus faible, le personnel éprouve des difficultés de compréhension. Si la formation est plus poussée, des difficultés surgissent au niveau social car le personnel devient trop exigeant au niveau du confort et du style de vie par rapport à ce que le milieu rural peut offrir ;
- b) le contrôleur : d'une formation plus élevée que les enquêteurs, celui-ci doit avant tout *fournir* un travail de confiance (*aller sur le terrain*, ce qui n'est pas évident partout et pour tout le monde...). Son travail consiste à se rendre chaque semaine dans le site fréquenté par les enquêteurs et à contrôler le travail effectué par ceux-ci ; il est nécessaire que contrôleur et enquêteurs ne *puissent* se rencontrer sur le terrain ; le contrôleur précède ou suit l'enquêteur d'un jour ou deux, passe en revue les feuilles observées par l'enquêteur et ramène au bureau central ses observations pour les confronter avec celles de l'enquêteur. Les jours de contrôle varient de semaine en semaine pour éviter les "habitudes". Un contrôleur peut ainsi contrôler six enquêteurs par semaine.

Un cycle de formation (technique de groupe) d'environ une semaine est nécessaire pour former les enquêteurs et le contrôleur.

Au Burundi, six enquêteurs sont utilisés pour l'enquête grenier (deux enquêteurs dans chacune des trois régions). Le contrôle de l'enquête est effectué par le responsable du Département socio-économie rurale, en attendant un contrôleur formé pour ce travail.

1.9. Matériel nécessaire à l'enquête grenier

Le matériel utilisé pour l'enquête au Burundi est le suivant : vélo, balance type pèse-personne, malette, feuilles d'enquête, pot de couleur blanche à l'eau, pinceau, mètre-ruban, imperméable et bottes. En général, il s'agit de matériel peu sophistiqué, rustique et adapté aux conditions du milieu rural.

1.10. Feuilles d'enquête utilisées pour la récolte des données au Burundi

1. feuille d'inventaire des "greniers" (1 par famille)
2. feuille d'inventaire familial (1 par famille)
3. feuille d'observation pour les produits (1 par produit)

Chacune des feuilles est remplie ou contrôlée chaque quinzaine comme indiqué dans la procédure*.

2. L'ENQUETE PROPUREMENT DITE

2.1. Procédure

- a) l'enquêteur indique à la couleur blanche un numéro code (voir l'annexe, feuille n.1) sur tous les greniers rencontrés. Les numéros sont rafraîchis en cours d'enquête si le besoin s'en fait sentir. Les nouvelles acquisitions de greniers sont transcrites au fur et à mesure de leur apparition sur la feuille d'inventaire des greniers. Ceci permet de suivre tous les greniers individuellement de quinze en quinze jours ;
- b) il prend ensuite les dimensions de tous ces greniers afin de pouvoir par la suite calculer la capacité maximale de conservation des familles. Ces mensurations serviront aussi, lors du dépouillement, à calculer le poids des denrées contenues dans des greniers qu'il n'est pas possible de peser directement (au lieu du poids de la denrée, l'enquêteur est tenu de prendre alors la hauteur de la denrée contenue dans le grenier dont on connaît les dimensions). C'est le cas des greniers trop remplis et de dimension trop vaste ;

* Nous envoyons le lecteur à l'annexe pour un exemple des feuilles utilisées au Burundi.

- c) il fait l'inventaire des membres de la famille présents pendant la quinzaine écoulée en marquant d'une croix la présence, d'un "A" l'absence, éventuellement de "x jours" le temps de présence de l'individu. De plus une distinction est faite pour les adultes (+ de 15 ans) et les enfants (- de 15 ans). Ceci est fait non seulement pour les parents et leurs enfants, mais aussi pour les visiteurs éventuels et pour les travailleurs en service dans la famille et vivant comme elle des produits conservés ;
- d) pour chaque produit conservé ou faisant l'objet d'achat ou de dons, il est procédé au pesage (ou au mesurage) de la denrée ; ensuite, les questions sont posées à propos des éventuels achats/ventes, dons offerts/reçus, quantité utilisée pour les semailles, pour nourrir la volaille, les quantités jetées pour cause de pourriture et enfin les quantités consommées. Toutes ces données sont prises pour la dernière quinzaine.

L'originalité et la valeur de la méthodologie consistent précisément au mesurage précis des observations de manière itérative.

2.2. Spécificité de la procédure pour certains produits conservés

Certains produits sont difficiles à mesurer ou peser du fait même de leur mode de conservation :

- a) le maïs : il est souvent mis à conserver suspendu aux solives du toit, le long des murs de la case, sur claies, dans les arbres, etc. Dans ces cas, un "?" est mis dans la case réservée au poids (à la mensuration). Au fur et à mesure de sa consommation (vente), les poids sont notés. Ce n'est donc, dans ce cas, qu'à posteriori qu'il est possible de reconstituer le stock initial ;
- b) l'arachide : elle est parfois conservée en gousse dans des pots de terre dont l'ouverture est scellée à l'argile. La prise d'échantillon est donc impossible à effectuer dans ces cas ;
- c) le sorgho : il fait l'objet dans certaines régions d'un intense commerce sous forme de bière. Les coefficients de transformation doivent d'abord être établis pour pouvoir connaître les quantités de grain utilisées lors de la germination puis du brassage dans les familles concernées ;

- d) divers : d'autres méthodes sont nécessaires pour connaître le poids de denrée initial utile à certaines transformations. La liste de ces méthodes serait fastidieuse à donner dans cette courte note.

2.3. Prise d'échantillon de denrées conservées

En vue des études annexes (voir point 2.4.) les prises d'échantillon sont effectuées de la manière suivante :

- une quantité déterminée est prélevée de manière aléatoire dans les greniers (de 100 à 500 gr.) ; une étiquette au numéro code de la famille est adjointe dans le sachet afin de pouvoir la retrouver ultérieurement,
- la périodicité des prises est déterminée par les utilisateurs des échantillons (tous les mois, par exemple, dans x familles, au hasard),
- le remboursement de l'échantillon s'effectue par une quantité double de semences équivalentes, saines, loyales et de qualité agronomique réputée supérieure à la qualité du milieu rural. Le remboursement s'effectue en fin de saison culturale ou à la soudure, ou à la période des semailles,
- l'analyse des échantillons est effectuée par les utilisateurs de ceux-ci.

Un point spécial doit être souligné au niveau du remboursement : il appartient à l'utilisateur des échantillons d'acheter les semences réservées au remboursement, de conditionner les semences, de les protéger au niveau phytosanitaire et enfin de participer à la distribution et au transport des échantillons, afin de laisser à l'enquête grenier toute la liberté de se réaliser sans cette charge supplémentaire.

2.4. Etudes annexes

Comme nous l'avons dit, l'intérêt de ce travail réside aussi dans le fait qu'il sert de support à des études annexes. Celles-ci sont les suivantes au Burundi :

- évolution des prix des greniers
- durée de vie des différents greniers
- évolution des prix des denrées en milieu rural (à l'achat et à la vente)
- évolution saisonnière de l'utilisation de la main-d'oeuvre en milieu rural
- estimation des pertes dues aux parasites en cours de conservation (l'utilisateur est le Département de la défense des végétaux de l'ISABU)

- étude de l'évolution de la présence d'*aspergillus flavus*, agent responsable d'un pré-cancer du foie chez l'humain (l'utilisateur est la Faculté de médecine de l'Université Officielle du Burundi).

D'autres études annexes peuvent se concevoir. Nous pensons notamment aux suivantes :

- commercialisation des produits vivriers au niveau des producteurs dans le milieu rural
- enquête nutrition dans le milieu rural
- enquête revenu familial dans le milieu rural
- étude qualitative des aliments en cours de conservation
- etc.

2.5. Dépouillement

Actuellement au Burundi, le dépouillement des 300 000 chiffres par quinzaine se fait de manière manuelle (!) par tranche de six mois (voir feuilles d'enquête).

Il va de soi que l'utilisation de l'informatique et ses méthodes de codage des résultats serait à même de permettre le dépouillement (fiable) de tous les résultats.

Nous irons plus loin en disant qu'une telle enquête ne peut se concevoir sans un dépouillement moderne des résultats recueillis. La décision de l'achat du matériel nécessaire au dépouillement reste cependant liée aux priorités que le gouvernement s'impose.

Le dépouillement s'effectue denrées par denrées.

Lorsque les résultats sont cohérents, ils sont étendus au niveau de la région.

Les résultats régionaux constituent une base importante pour une étude du type "potentialités des régions naturelles du pays".

2.6. Difficultés rencontrées pour la bonne marche de l'enquête

- a) difficultés traditionnelles aux niveaux administratifs (soutien efficace),
- b) au niveau enquêteur (salaire, turn-over), technique (contraintes nombreuses, contrôle, dépouillement), etc.
- c) les difficultés rencontrées pour surmonter la méfiance de la population s'amenuisent au fur et à mesure des passages, pour autant que l'enquêteur reste correct envers les familles enquêtées.

THÈME II

**LA CONSERVATION
DE LA VALEUR NUTRITIVE
DES DENRÉES ALIMENTAIRES
APRÈS RÉCOLTE**

EXPOSÉS INTRODUCTIFS

DEVELOPPEMENT DES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES DENREES ALIMENTAIRES ET AMELIORATION DE L'ETAT DE NUTRITION DES POPULATIONS RURALES EN AFRIQUE

par Jean-Claude Dillon

INTRODUCTION

Le développement d'un pays nécessite de toute évidence la satisfaction des besoins nutritionnels fondamentaux de sa population. En parcourant les différents pays d'Afrique d'expression française, on constate l'immensité des efforts déployés en vue d'améliorer l'état de nutrition des populations, tout spécialement celui des groupes vulnérables que sont les enfants et les femmes enceintes. Partout, on retrouve les objectifs prioritaires d'augmenter la production agricole, d'améliorer l'environnement sanitaire, de diffuser les soins de santé de base dans les régions rurales reculées et d'éduquer les mères de famille. Et pourtant, malgré tous ces efforts, on déplore aujourd'hui encore qu'une certaine fraction de la population rurale présente des manifestations cliniques de malnutrition chronique.

L'Université des Nations Unies dans le cadre de son Programme mondial contre la faim, s'est vue confier par l'Assemblée des Nations Unies, le mandat d'étudier ces problèmes de malnutrition et surtout de travailler à l'élaboration de solutions appropriées.

L'une des premières solutions préconisées consiste à promouvoir l'amélioration des techniques de conservation et de transformation des denrées alimentaires au niveau du village.

Afin d'orienter ces actions de développement au niveau d'un continent aux aspects géographiques, climatologiques, ethnographiques si divers tel que l'Afrique, il apparaît fondamental de s'appuyer sur les données de la situation alimentaire présente en Afrique de l'Ouest, car de cette évaluation découleront les solutions d'ordre technologique les plus appropriées.

JEAN-CLAUDE DILLON, Centre de recherche en nutrition, Université Laval,
Québec

I. BILAN DE LA SITUATION ALIMENTAIRE EN AFRIQUE DE L'OUEST

En reprenant les données concernant la production agricole ainsi que les résultats des enquêtes de consommation alimentaire effectuées en Afrique de l'Ouest, il est possible de se faire une idée assez précise de ce qu'est la consommation calorique et la consommation en protéines par habitant en milieu rural.

Nous sommes contraints de nous limiter aux nutriments les plus importants ; mais pour être complète, cette revue devrait également porter sur les apports en minéraux, en particulier le fer, et en vitamines dont on sait qu'ils sont déficitaires dans une portion significative de la population rurale.

1.1. Consommation calorique

La quasi totalité des calories de la ration journalière est apportée par neuf plantes vivrières amylacées : céréales, racines ou tubercules. A chaque grande zone agroclimatique correspond une zone de culture prédominante et donc de consommation alimentaire prédominante. C'est la nature et la composition de ces aliments de base qui conditionnent en grande partie l'état de nutrition des populations rurales. Nous allons donc passer brièvement en revue les grandes caractéristiques de la géographie alimentaire de l'Afrique de l'Ouest.

Parmi les céréales, *mil et sorgho* apportent plus de 50 % des calories de la ration journalière dans la zone sahélienne et constituent la base de l'alimentation en région soudanienne.

Le *fonio* exige peu d'humidité et parvient à croître sur des sols très pauvres tels que ceux du Fouta Djallon ou des plateaux Jos au Nigeria. Arrivé à maturité avant mil et sorgho, il prend une grande importance en période de soudure.

Le *riz* est le constituant principal de la ration alimentaire en région guinéenne ainsi que dans les régions inondées du Niger. Il faut remarquer que le Sénégal et la Gambie importent aujourd'hui de grandes quantités de riz qui tendent à remplacer le mil traditionnel dans cette région.

Le *maïs* est bien adapté à la zone sud-guinéenne et sud-soudanienne ainsi que dans la plaine côtière du Bénin. Il demande plus d'humidité que mil et sorgho et exige un sol plus fertile. De ce fait, il ne peut être cultivé dans les zones sahélienne et soudanienne sèches, sauf en zones inondées.

Tableau 1.
Surfaces cultivées par pays (1950)

	Mais	Mil et sorgho	Riz	Manioc	Igname	Taro	Banane plantain	Patate rouge	Aire cultivée correspondant à 100 (en 1000 ha)
Mali	8	100	17	1	-	-	-	1	1270
Haute-Volta	14	100	1	-	-	-	-	-	1293
Niger	-	100	-	-	-	-	-	-	1342
Sénégal	2	100	6	4	-	-	-	1	774
Guinée	12	67	100	16	-	12	-	13	353
Côte d'Ivoire	49	45	100	72	67	8	43	2	220
Bénin	100	33	2	57	26	-	-	2	311
Togo	74	100	6	25	26	-	-	1	169
Cameroun	22	100	1	9	4	8	5	1	672

La superficie cultivée relative au produit vivrier le plus important est exprimé par le nombre 100; les autres nombres expriment la grandeur proportionnelle des surfaces correspondant aux cultures indiquées en haut de la colonne.

Source: Johnston (1958).

Parmi les tubercules et racines, le *manioc* tend à devenir l'aliment de base d'une grande partie de l'Afrique tropicale en raison de son fort rendement calorique à l'hectare, des facilités qu'il offre pour le stockage et de sa résistance à la sécheresse.

L'*igname* a constitué pendant longtemps l'aliment de base d'une large fraction de la population de l'Afrique de l'Ouest et le demeure pour certains groupes ethniques, mais la place de ce tubercule dans l'alimentation a perdu de son importance.

Le *taro* est une source de calories non négligeable (jusqu'à 20 % des calories quotidiennes) dans les régions de culture de café et de cacao.

Enfin, la *banane plantain* constitue jusqu'à 40 % de l'apport calorique dans la région littorale de la Côte-d'Ivoire et du Ghana.

Le tableau 1 donne une vue par pays des surfaces cultivées en 1950. Ce survol de la géographie alimentaire de l'Afrique de l'Ouest permet de dégager une conclusion générale : en dehors des périodes de soudure, la production des plantes vivrières est telle qu'il n'existe pas de déficit calorique en Afrique de l'Ouest, toutefois, cette constatation doit être tempérée par deux observations : d'une part, l'existence d'une zone sahélo-soudanienne où sévit un déficit calorique saisonnier, d'autre part, une large zone où la qualité des protéines qu'apportent ces plantes amylacées est médiocre comme nous allons le voir ci-après.

1.2. Consommation protéique

1.2.1. Protéines végétales apportées par les céréales, racines et tubercules

En raison de l'importance quantitative des féculents, ceux-ci constituent la source majeure de protéines dans la ration quotidienne. La teneur en protéines des plantes amylacées est très variable et passe de 1,3 % pour le manioc à 11 % pour le sorgho et le mil ainsi que le montrent les tableaux 2, 3 et 4. Si l'on établit le rapport entre les calories d'origine protéique et les calories totales d'origine amylacée de la ration journalière, on constate que l'Afrique de l'Ouest se répartit en trois zones.

La *zone sahélienne*, où les protéines constituent 9 à 11 % des calories totales du fait de l'alimentation céréalière prédominante. Dans cette région, la malnutrition protéique est plutôt rare chez le jeune enfant.

Tableau 2.
Teneur en protéines (en % des calories)
des principales plantes vivrières.

Blé (taux d'extraction 70-80%)	12,1
Sorgho	10,6
Millet	10,2
Fonio	7,4
Maïs	7,3
Riz	7,2
Igname	6,0
Taro	4,5
Patate douce	4,2
Plantain	3,1
Manioc	1,3

Sources: FAO - Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique. FAO, 1970.

Tableau 3.
Valeur nutritive des principales graines de céréales (pour 100 g de partie comestible).

	Cal.	Prot.	$\frac{\text{Prot.}}{1000 \text{ cal.}}$	Calcium	Fer	A	B ₁	B ₂	PP	C
Mil	348	11.7	33.6	28	4	200	.33	.15	2.1	(s)
Sorgho	343	10.1	29.4	39	4.2	200	.41	.15	4.0	(s)
Maïs (farine)	363	8.4	23.1	5	1.2	300	.18	.08	.6	(s)
Riz (blanc)	360	6.7	18.6	10	.9	(s)	.08	.03	1.6	(s)

Source: Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique FAO/1970.

Tableau 4.

Valeur nutritive des principales racines, tubercules et fruits à féculé (pour 100 g de partie comestible)

	Cal	Prot g	Lip g	Glu g	A β Car.Equiv.	B ₁ mg	B ₂ mg	PP mg	C mg	Ca ⁺⁺ mg	Fer
Igname	119	1,9	0,2	27,8	10	0,11	0,02	0,3	6	52	0,8
Taro	102	1,8	0,1	23,8	tr.	0,10	0,03	0,8	8	51	1,2
Patate rouge	49	4,6	0,2	10,2	5870	0,10	0,28	0,9	70	158	6,2
Manioc cuit	124	0,9	0,1	29,9							
Banane plantain	135	1,2	0,3	32,1	780	0,08	0,04	0,6	20	8	1,3

Source: Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique FAO/1970.

Tableau 5.
 Consommation quotidienne des protéines (en grammes par habitant) dans les différentes régions du globe

Régions	Céréales	Racines et tubercules	Légumineuses et noix	Fruits et légumes	Viande, oeuf poisson, lait	Total
Afrique	31,3	5,2	8,5	1,9	12,1	61
Antilles	21,4	3,3	8,3	2,2	22,8	58
Amérique Centrale	31,6	0,5	11,9	2	22,8	58
Amérique du Nord	15,9	2,5	4,1	4,9	70,7	98,2

La zone guinéenne et sud-soudanaïenne, où l'apport est de 5 à 9 %. Ce sont les régions du riz, celles de l'igname où la consommation du manioc est limitée, et les régions du maïs. Il faut y inclure la région du Cap Vert où le riz d'importation a remplacé le mil traditionnel et où le manioc s'est récemment implanté.

La zone littorale, où le taux de protéines apportées par les céréales et surtout les tubercules est très bas : 2 à 4 %. C'est la région du manioc, du taro et du plantain. C'est aussi la région où l'on observe les cas les plus typiques de malnutrition protéique pouvant aller jusqu'au kwashiorkor. Si l'on ne tient compte que des protéines végétales qu'apporte la ration dans cette région, on pourrait s'étonner de ne pas observer plus de cas de malnutrition protéique parmi les populations rurales. Cette situation s'explique par l'existence de sources de protéines complémentaires qui prennent ici une importance capitale.

1.2.2. Sources de protéines complémentaires

1.2.2.1. Protéines animales

Les protéines animales sont peu consommées en Afrique. Le tableau 5 montre que cette consommation ne dépasse pas 12,1 g/jour et qu'elle est l'une des plus faibles du globe. Toutefois, dans la région sahélienne et chez certains groupes ethniques, le lait constitue une source notable de protéines. Par ailleurs, le poisson constitue une source de protéines de choix pour les populations du littoral dont l'apport en protéines d'origine végétale est très faible.

1.2.2.2. Protéines végétales des légumineuses

Les légumineuses (niébè, pois Bambara, arachide, soja) étant donné leur richesse en protéines (voir tableau 6) revêtent une importance toute particulière. Malheureusement, leur consommation souvent saisonnière, demeure limitée surtout si on la compare à celle d'autres pays tropicaux. En effet, elle se limite à 8,5 g/jour en Afrique alors qu'elle atteint 11,5 g/jour en Amérique centrale. L'une des raisons en est la difficulté de conserver les légumineuses après la récolte car elles sont très vulnérables à l'attaque des insectes, en particulier les Bruchidés.

1.2.3. Apport total en protéines

En cumulant les différentes sources de protéines animales et végétales, on peut dégager le profil de l'apport quantitatif en protéines totales. L'Afrique se répartirait en quatre zones.

Tableau 6.

Composition des principales graines de légumineuses (composition pour 100 g de partie comestible)

Nom commun	Calories	Protéines	Lipides	Glucides	Calcium mg	Fer mg	B ₁ mg	B ₂ mg	PP mg
Niébé (<i>Vigna unguiculata</i>)	340	23	1,5	60	76	5,7	0,90	0,15	2
Arachide (<i>Arachis hypogea</i>)	540	23,2	43,3	23,4	52	1,9	0,84	0,12	16
Pois Bambara (<i>Voandzeia subterranea</i>)	365	18	6	60	190	5,2	0,30	0,10	2
Soja (<i>Glycine max</i>)	380	38	18	30	208	6,5	1,1	0,30	2
Pois Chiche (<i>Cicer arietinum</i>)	376	19,2	6,2	61,2	149	7,2	0,40	0,18	1,6

Source: Table de composition des aliments pour l'Afrique FAO/1970.

La zone sahélienne, où l'alimentation est à base de céréales, de lait ou de poisson. Le taux de protéines dépasse 14 % des calories totales. On peut donc considérer que ce régime est riche en protéines.

La zone soudanaïenne, où l'alimentation est à base de céréales et de légumineuses. Les apports protéiques se situent entre 12 et 13 % des calories totales et sont donc comparables à ceux des pays industrialisés.

La zone sud-soudanaïenne, zone du riz, de l'igname et du maïs, où les apports sont marginaux, se situant entre 10 et 12 %.

La zone littorale, qui s'étend de la Guinée au Nigéria, où les populations rurales ne reçoivent guère plus de 10 % des calories sous forme de protéines, ce qui est considéré comme insuffisant. Dans cette région, manioc, taro et plantain constituent l'alimentation de base.

1.2.4. Qualité des protéines

Cette représentation de la répartition des apports en protéines serait certes incomplète si l'on s'en tenait à l'aspect purement quantitatif. Il est bien connu que la composition en acides aminés est très variable d'une protéine à l'autre. Aussi est-il impératif d'étudier dans quelle mesure ces diverses protéines sont adaptées aux besoins nutritionnels de l'individu et capables de satisfaire intégralement ses besoins.

Les comités d'experts FAO/OMS successifs ont longuement débattu ce que l'on doit considérer comme étant la protéine idéale, idéale en ce qu'elle répond aux besoins de l'organisme humain. Pour les huit acides aminés essentiels, la protéine idéale, dont la composition est proche de celle de l'albumine de l'oeuf, aurait la composition indiquée au tableau 7.

Ainsi en comparant la composition en acides aminés d'une protéine quelconque à celle de la protéine de référence, on peut identifier rapidement l'acide aminé limitant l'utilisation optimale de la protéine.

Les céréales sont pauvres en lysine mais relativement riches en acides aminés soufrés, cystine et méthionine. Millet et fonio sont exceptionnellement riches en acides aminés soufrés. Le riz a une composition plus équilibrée que celle des autres protéines, ce qui le rend plus avantageux que les autres céréales sur le plan nutritionnel malgré sa plus faible teneur en protéines.

Tableau 7.
Teneur en acides aminés du blé additionné de pois chiches (mg/g N)

Acides aminés	Blé	Pois chiche	67 % Blé/ 33 % pois chiche	Composition d'acides recommandés par l'OMS mg/g N
Lysine	179	428	304	340
Thréonine	185	235	209	250
Méthionine et cystine	253	139	196	220
Leucine	417	468	443	440
Isoleucine	204	277	241	250
Valine	276	284	280	310
Phénylalanine et tyrosine	469	541	505	380
Tryptophane	68	50	59	60

Les légumineuses sont exceptionnellement riches en lysine mais par contre sont pauvres en acides aminés soufrés. De là l'intérêt de compléter l'alimentation sahélienne à base de céréales par des légumineuses (tableau 6).

Les acides aminés limitants dans les racines et tubercules comprennent outre les acides aminés soufrés, l'isoleucine.

Si l'on trace la cartographie alimentaire africaine, du point de vue des apports en acides aminés essentiels, on constate que quatre acides aminés se trouvent en quantité limitante dans l'alimentation : la lysine en zone sahélienne, la cystine et la méthionine en zone de manioc et d'igname (Guinée) et l'isoleucine en zone de taro, de manioc et de riz (Côte d'Ivoire, Nigeria).

2. IMPACT ESCOMPTE DE L'AMELIORATION DES TECHNIQUES DE CONSERVATION SUR L'ETAT DE NUTRITION DES POPULATIONS

Ainsi que nous l'avons vu, les enquêtes nutritionnelles et de consommation alimentaire permettent de déceler, région par région, les insuffisances et déséquilibres de la ration alimentaire et à partir de ce bilan, d'orienter les efforts de production et de conservation des cultures vivrières dans le but de corriger la situation.

A la lumière des données très schématiques que nous avons dégagées, l'amélioration des techniques après récolte que l'on sera amené à préconiser différera assez radicalement selon les zones agro-climatiques.

En zone sahélienne et soudanienne, il existe un déficit saisonnier des populations rurales imputable à des causes diverses parmi lesquelles la pluviométrie et la destruction des céréales par les agents prédateurs (criquets-pèlerins, oiseaux mange-mil) ont une importance capitale. Il est bien démontré que, dans certaines régions, la survie des populations rurales dépend de conditions de stockage adéquates en période de soudure.

L'effort devra donc porter sur l'amélioration des greniers et silos traditionnels ainsi que sur l'utilisation de pesticides efficaces et bon marché. Il faut souligner les dangers potentiels que représente pour le consommateur l'usage incontrôlé de ces produits dont la toxicité est toute particulière chez les sujets carencés en protéines.

De plus, le transport des céréales se fait souvent sur de longues distances et dans des conditions d'hygiène déplorable. Ceci est un facteur de pertes importantes tant quantitatives que qualitatives et devrait faire l'objet d'un contrôle rigoureux.

En zone guinéenne, il n'existe normalement pas de déficit calorique saisonnier. En effet, les racines et tubercules sont récoltés tout au long de l'année assurant un approvisionnement régulier en calories. Par contre, le déficit protéique est réel, en particulier parmi les groupes de populations rurales les plus démunis, tout particulièrement les femmes enceintes et les enfants dont les besoins en protéines de bonne qualité sont élevés.

C'est dans cette région que la culture des légumineuses doit être encouragée en priorité. Toutefois, ce développement se heurte à un grave problème de destruction après récolte tant par les micro-organismes que par les insectes et les agents prédateurs. La FAO rapportait qu'au Ghana le pourcentage de pertes pouvait atteindre 45 % après cinq mois de stockage.

Par ailleurs, si l'on désire promouvoir la consommation de légumineuses, il est nécessaire de développer des recherches sur les qualités culinaires de ces denrées, les facteurs biochimiques associés à leur valeur nutritive et le rôle des hydrates de carbone des légumineuses dans la flatulence. Il existe de nouvelles méthodes de conditionnement permettant de préparer de nouveaux aliments à base de légumineuses en particulier des aliments de sevrage pour enfants. La contamination des arachides par aflatoxines se révèle un problème sérieux mais non insurmontable si les méthodes de conservation adéquates sont appliquées.

En zone littorale, là où la carence en protéines est encore plus accentuée, il est absolument impérieux de faire porter les efforts sur la recherche de toutes les sources de protéines disponibles tant végétales qu'animales.

En ce qui a trait aux protéines végétales, ce sont les légumineuses qui représentent le plus grand potentiel. Il serait également désirable d'augmenter, par manipulation génétique, la teneur en protéines des ignames, d'encourager la consommation de feuilles de manioc comme source de protéines complémentaires, et surtout de réduire les pertes de riz qui peuvent atteindre 24 % de la production en Afrique de l'Ouest par l'emploi de techniques de conservation efficaces.

Parmi les protéines animales, c'est le poisson qui pose un problème de conservation en partie non résolu. Sa valeur nutritionnelle justifierait des efforts de recherche jusqu'ici insuffisants.

CONCLUSION

C'est à dessein que nous avons insisté sur le potentiel que représentent les légumineuses dans la lutte contre la malnutrition des populations rurales de l'Afrique de l'Ouest, tout en sachant que les problèmes liés à la sélection des variétés, la mise au point de techniques de conservation et surtout de transformation de ces légumineuses sont loin d'être résolus actuellement.

Les universités africaines, de par leurs ressources pluridisciplinaires, constituent certainement le terrain idéal où peuvent et doivent s'effectuer ces recherches.

L'AUPELF qui, depuis de nombreuses années, oeuvre activement dans le développement de la coopération interuniversitaire, constitue l'organisme tout désigné pour animer et coordonner les efforts de recherche dans le domaine de la technologie après récolte en milieu francophone.

De son côté, l'Université des Nations-Unies(UNU), de création plus récente, s'emploie à créer un réseau mondial d'Universités dans le but de favoriser la diffusion des connaissances, de promouvoir la formation de spécialistes de niveau post-doctoral et de lancer des programmes de recherche dans le domaine de la technologie après récolte. Aussi, c'est avec la plus grande intérêt que l'UNU participera aux efforts de mise en place d'un réseau de chercheurs francophones en Afrique de l'Ouest.

BIBLIOGRAPHIE

ANGLADETTE A.

— "Nutrition et production agricole en Afrique tropicale d'expression française". — *Agronomie tropicale*, 1961, 26 (2), p. 179.

ANNEGERS J.F.

— "Ecology of Dietary Patterns and Nutritional Status in West Africa".
1. Distribution of Starchy Staples. — *Ecology of Food and Nutrition*, 1973, 2, pp. 107-119.

AYKROYD W.R. et DOUGHTY J.

— *Les graines de légumineuses dans l'alimentation humaine*. — Rome ; FAO, 1964. — 143 p. — (*Etudes de nutrition* ; 19).

BUSSON F.

— *Plantes alimentaires de l'Ouest africain*. — Marseille : Imp. Leconte, 1965.

DOVLO F.E., WILLIAMS C.E. et ZOAKAL.

— *Cowpeas : Home Preparation and Use in West Africa*. — Ottawa : Centre de recherche pour le développement international, 1975.

DUPIN H.

— *Les enquêtes nutritionnelles. Méthodes et interprétations des résultats*. — *Les monographies des annales de la nutrition et de l'alimentation*. — Paris : Centre national de la recherche scientifique, 1969. — 152 p.

HALL D.W.

— *Handling and Storage of Food Grains in Tropical and Subtropical Areas*. — Rome : FAO, 1970.

JOHNSTON B.F.

— *The Staple Food Economics of West Tropical Africa*. — Stanford : Food Research Institute, 1958.

MONDOT-BERNARD J.

— *Essai d'analyse de la situation alimentaire en Afrique*. — Paris : O.C.D.E., 1974.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. WASHINGTON D.C.

— *Post-harvest Food Losses in Developing Countries*. — Washington D.C. : National Academy of Science, 1978.

"Nutritional Improvement of Food and Feed Proteins". — Ed. Mendel Friedman. — *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 105, Plenum Press, New York.

PAG (Protein Advisory Group).

— *PAG Statement on Upgrading Human Nutrition through the Improvement of Food Legumes*. — New York : Protein Advisory Group, Nations Unies, 1973.

PAG (Protein Advisory Group).

— *Symposium on Nutritional Improvement of Food Legumes by Breeding*. — New York : Protein Advisory Group, Nations unies, 1973.

PARPIA H.A.B.

— "Post-harvest Losses. Impact of their Prevention on Food Surplus, Nutrition and Development. — *Nutrition and Agricultural Development*, pp. 195-206. N.S. Scrimshaw and M. Behar ed., Plenum Press, New York et Londres.

SIEGEL A. et FAWCETT B.

— *Transformation et utilisation des légumineuses alimentaires*. — Ottawa : Centre de recherches pour le développement international.

UNIVERSITE DES NATIONS UNIES

— "Post-harvest Conservation Food". — *Food and Nutritional Bulletin*, 1979, vol. I, n°3, pp. 23-34.

EVALUATION DE LA VALEUR NUTRITIONNELLE DES ALIMENTS EN PARTICULIER DES PROTEINES

par Yves Lozano

INTRODUCTION

En matière de détermination de la valeur nutritionnelle des protéines des aliments destinés à l'alimentation humaine, de nombreuses méthodes sont disponibles pour estimer la qualité nutritive des protéines mais les informations que l'on peut en tirer doivent être utilisées avec discernement. On doit avoir, en particulier, toujours présent à l'esprit la définition exacte des résultats analytiques que ces méthodes permettent d'obtenir et des conditions expérimentales précises selon lesquelles ils ont été obtenus.

Une protéine peut être considérée en première approximation comme un ensemble de chaînes dont chaque maillon constitutif est un acide aminé. Ces chaînes ont une certaine configuration spatiale, présentant des enroulements dus à leur structure secondaire et tertiaire (pont S-S, forces de Van der Waals, etc.), et plusieurs de ces chaînes peuvent être associées spécifiquement en unités d'ordre supérieur (structure quaternaire) capables d'assurer complètement les fonctions biologiques classiques. Ces protéines, présentes dans l'aliment, vont donc être hydrolysées par les sucs digestifs (enzymes) pour être coupées en leurs éléments unitaires (acides aminés). Ces derniers seront absorbés par la paroi gastro-intestinale pour être utilisés comme substrats dans les réactions enzymatiques qui interviennent dans le métabolisme des protéines du corps humain. Au cours de réactions d'anabolisme et de catabolisme, les acides aminés absorbés seront ensuite transformés en partie en azote urinaire et en azote servant à la croissance, au maintien et à la production d'efforts. La partie des protéines qui ne sera pas absorbée lors du transit intestinal se retrouvera dans les fèces.

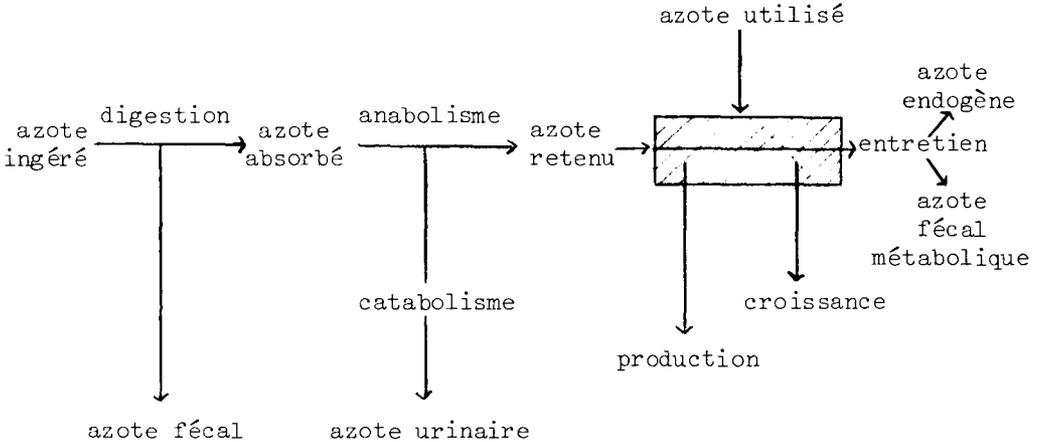


Schéma d'utilisation de l'azote protéique contenu dans les aliments

On voit donc que l'on doit dès à présent considérer deux aspects essentiels dans la détermination de la valeur alimentaire des protéines. Un aspect quantitatif étroitement lié à la quantité d'azote disponible qui pourra être digéré lors du transit intestinal, et un aspect rendement dépendant de la quantité d'azote que l'organisme aura pu retenir. Une distinction doit donc être faite entre le terme de qualité protéique potentielle de la denrée désignant une grandeur dépendant principalement de la composition en acides aminés des protéines et le terme d'efficacité d'utilisation des protéines désignant une grandeur prenant en compte à la fois la qualité et la quantité des protéines de l'aliment qui sont réellement utilisées par l'organisme. L'évaluation de l'efficacité de l'utilisation de ces protéines devra tenir compte de trois facteurs essentiels : de la quantité totale de protéines ingérées, du pourcentage de protéines hydrolysées lors du transit gastro-intestinal et de l'utilisation métabolique des produits de la digestion. Rappelons ici que l'azote endogène urinaire et fécal devra intervenir aussi dans la mesure de cette efficacité. Il devient alors clair que si les protéines de l'aliment ne sont pas intégralement utilisées par l'organisme et bien que la composition en acides aminés des protéines soit satisfaisante pour couvrir les besoins alimentaires, cet aliment aura dans la pratique une faible valeur nutritionnelle. Il y aura alors un écart non négligeable entre la valeur nutritionnelle potentielle de l'aliment considéré, qui

peut être excellente, et sa valeur nutritionnelle réelle, qui sera très faible dans l'hypothèse envisagée précédemment. D'autre part, la valeur nutritionnelle réelle ou efficacité d'utilisation n'est pas une valeur intrinsèque des protéines de l'aliment considéré mais dépend en plus d'autres éléments tels que les autres nutriments présents dans l'aliment, de la quantité d'aliment disponible ou ingéré lors de l'expérience, des conditions d'environnement, de l'âge et de l'état physiologique du sujet considéré. Par exemple un sujet amaigri ou mal nourri donnerait, pour un aliment donné, une efficacité d'utilisation des protéines supérieure à celle que l'on obtiendrait si l'expérience était menée avec un sujet bien nourri. D'autre part, il faut aussi remarquer que si la quantité d'aliments ingérée est suffisante pour couvrir largement les besoins d'un individu, on trouvera une valeur de l'efficacité d'utilisation des protéines de cet aliment plus faible que si la quantité d'aliments ingérée couvrait tout juste ses besoins. Tout ceci est un ensemble de facteurs de variation dont il faudra tenir compte lors de l'évaluation de la qualité nutritionnelle des protéines des aliments.

PREMIERE PARTIE

Quels sont donc les objectifs que l'on peut atteindre lorsqu'on entreprend d'évaluer la qualité des protéines des aliments ? On peut considérer qu'ils sont au nombre de deux :

- le premier serait de pouvoir comparer les protéines en utilisant les méthodes d'analyse chimique classique. Dans ces conditions, on pourrait envisager de ne parler que de la valeur nutritionnelle potentielle maximum des protéines dans le but d'établir une hiérarchie entre les aliments testés ;
- le second serait de tenter de prévoir l'efficacité avec laquelle des aliments pourront être utilisés en tant que source d'azote et d'acides aminés pour couvrir les besoins azotés de l'homme. Ce deuxième objectif est souvent plus difficile à atteindre car, comme nous l'avons vu plus haut, la digestibilité et la biodisponibilité des protéines des aliments, non seulement, dépendent de la composition en acides aminés des protéines présentes dans l'aliment, mais sont aussi influencée par la quantité d'aliments ou de protéines disponibles dans la ration alimentaire journalière, du nombre de calories qu'apporte cette ration, la disponibilité des autres nutriments (vitamines, sels minéraux, etc.) l'âge et l'état physiologique de l'individu considéré.

Plusieurs techniques ont été mises au point et sont utilisées, non sans controverse, pour tenter de répondre à la question posée plus haut. Nous ne ferons pas ici une liste exhaustive des nombreuses méthodes chimiques, biochimiques, microbiologiques, biologiques, disponibles pour atteindre ces deux objectifs principaux, mais nous nous limiterons à un rappel très rapide de celles qui sont les plus couramment utilisées.

1. Méthodes chimiques

a) Dosage des protéines totales

Les méthodes de dosage des protéines totales ne sont en fait que des techniques de dosage de l'azote total contenu dans l'aliment, azote qui est déterminé selon la méthode générale de Kjeldahl. Pour la comparaison des diverses sources de protéines, on utilise en première approximation la valeur de l'azote trouvée que l'on multiplie par le facteur 6,25. Ce facteur a été adopté parce que la plupart des protéines contiennent 16 g d'azote. On obtient ainsi la valeur de la teneur en protéines totales brutes. Cette méthode de calcul risque cependant de conduire à des interprétations erronées dans le cas où l'aliment présenterait de l'azote non protéique en quantité non négligeable, comme c'est le cas pour les organismes unicellulaires qui contiennent en outre d'autres composés azotés, comme les acides nucléiques et les sucres aminés. Une meilleure estimation des protéines totales serait de considérer la somme des acides aminés libérés après hydrolyse en tenant compte des dégradations éventuelles de ces derniers qui auraient pu se produire lors de l'hydrolyse.

b) Dosages des acides aminés

Depuis les premières publications de Moore et Stein (1951) sur la séparation des acides aminés par chromatographie, la technique de chromatographie liquide sur résines échangeuses d'ions a fait d'énormes progrès. Alors qu'il fallait plus de quarante huit heures sinon davantage, avec une précision très relative pour obtenir la séparation et la quantification des dix sept acides aminés présents dans les protéines, les appareils d'aujourd'hui permettent d'obtenir de meilleurs résultats en moins d'une heure d'analyse par échantillon hydrolysé. Dans notre laboratoire les méthodes d'hydrolyse ont été optimisées nous permettant ainsi, avec une seule personne, d'effectuer une centaine d'analyses par semaine. Les dix huit acides aminés, y compris les acides aminés soufrés et le tryptophane qui sont dosés après oxydation et hydrolyse acide pour les premiers et après hydrolyse basique pour le second, sont déterminés pour chaque échantillon avec une précision supérieure à 3 % en moyenne.

La connaissance de la composition en acides aminés des protéines d'un aliment permet de calculer une série de scores chimiques qui ont été définis depuis fort longtemps. Le score chimique - S.C. - selon Mitchell et Block (1946), l'indice des acides aminés essentiels d'Oser (1951) modifié par Mitchell (1954) - MEAA -, le score protéique - PRSC - etc. Sans entrer dans le détail du calcul de ces indices, très long et compliqué pour certains, ces méthodes de détermination des scores chimiques se basent sur une protéine de référence telle que la protéine de l'oeuf, les recommandations FRO/WHO (1973) ou les protéines du lait humain. Cette référence est considérée, de par sa composition en acides aminés supposée idéale, comme ayant une valeur nutritive maximum que l'on pose égale à 100 par hypothèse. On compare alors la composition en acides aminés des protéines de l'aliment considéré à celle de la protéine de référence et l'on calcule les indices chimiques précédents.

c) Dosages chimiques de la biodisponibilité de certains acides

L'utilisation de certains réactifs chimiques sélectifs à permis de mettre au point des méthodes spécifiques pour la détermination de la disponibilité de certains acides aminés. La lysine libre, ou plus précisément les groupements NH_2 libres de la lysine peuvent ainsi être dosés par le 2,4 dinitrofluorobenzène, selon la méthode de Carpentier (1960) ou de Booth (1971). Hormis peut-être pour la méthionine, il n'existe pas de méthode chimique permettant de déterminer la biodisponibilité des autres acides aminés. La méthode de Carpentier est très utile pour la détermination des dégradations de la qualité nutritionnelle des protéines ayant subi des traitements technologiques plus ou moins durs mais sa mise en oeuvre est très délicate.

2. Méthodes enzymatiques

L'analyse des acides aminés issus de l'action hydrolytique des enzymes telles la pepsine, la pancréatine, la trypsine, la pronase etc., utilisées indépendamment, simultanément ou consécutivement, permet de calculer un indice dit de digestibilité enzymatique *in vitro*. Dans tous les cas, la composition en acides aminés du digestat diffère de la composition en acides aminés des protéines de l'aliment considéré. Mais ici aussi une protéine de référence (oeuf de poule entier en général) est utilisée pour estimer cet indice. Ainsi on peut calculer de tels indices selon les méthodes de Scheffner (1967) *Pepsin Digest Residus Amino Acid index* ; PDR; de Akeson et Stah Mann (1964), *Pepsin Pancreatin Digestive index* : PPD I, etc., ou à partir de méthodes semblables qui ne diffèrent que par quelques modifications expérimentales (Mauron, 1973).

3. Méthodes microbiologiques

Des micro-organismes peuvent être utilisés pour tenter d'évaluer la qualité de protéine des aliments. Comme ils n'ont pas de système gastro-intestinal où s'effectuerait l'hydrolyse enzymatique des protéines, il faut apporter à ces micro-organismes des protéines déjà "prédigérées" afin qu'ils puissent les utiliser efficacement. *Streptococcus zymogènes* et *Tetrahymena Pyriformis* sont les plus souvent utilisés. La composition en acides aminés des protéines qu'il faut leur fournir pour couvrir leurs besoins en acides aminés est très semblable à celle qui est nécessaire pour couvrir les besoins azotés requis par les animaux supérieurs. Cependant, il faut remarquer que *Streptococcus zymogène* n'a pas besoin de lysine et que *Tetrahymena Pyriformis* requiert de la sérine pour croître, sérine qui n'est pas un acide aminé indispensable chez l'homme. De plus, quelques différences apparaissent au niveau de l'utilisation de certains petits peptides qui peut être faite de façon différente par ces micro-organismes et par l'homme. Notons que la croissance de *Tetrahymena Pyriformis* est en général stoppée par la présence d'acides aminés libres dans le milieu nutritif sauf si cet acide aminé est la lysine. L'indice que l'on calcule par ces méthodes microbiologiques - *Relative Nutritive Value (RNV)* - permet de mettre en évidence l'influence néfaste ou bénéfique de certains procédés technologiques, de classer les protéines testées comme bonnes ou mauvaises, mais cet indice peut difficilement donner des informations quant à la valeur intrinsèque de la qualité des protéines. Cependant, les méthodes microbiologiques peuvent être utilisées dans certains cas pour la détermination de la biodisponibilité des acides aminés des protéines des aliments après une "prédigestion" de ces derniers par des enzymes appropriées. On mesure dans ce cas la croissance de ces micro-organismes dans le temps en fonction de la quantité de substrat nutritif par comptage des cellules ou par néphélogétrie $\lambda = 580 \text{ nm}$.

4. Méthodes biologiques

Les méthodes portent en général sur l'étude des bilans azotés et de la digestibilité des protéines des aliments à tester en utilisant des animaux supérieurs. Le rat est le plus fréquemment employé pour la mise en oeuvre de ces méthodes qui sont basées soit sur la mesure du gain de poids de l'animal, soit sur la mesure de l'azote retenu par l'animal nourri avec l'aliment à tester. Ces techniques ont été décrites depuis fort longtemps par Mc Laughlan et Campbell (1969). D'autres méthodes, plus ou moins dérivées des précédentes, nécessitent la mesure des protéines du foie, des enzymes, des acides aminés du sang, etc. Les divers indices : valeur biologique, digestibilité (*biological value* : b.v.), utilisation protéique

nette vraie ou apparente (*Net protein utilisation* : n.p.u.) définis par Miller et Bender (1955), Pellett (1963), FAO/WHO (1965-1973) se basent tous sur l'étude de la balance azotée qui s'établit dans un organisme soumis à une alimentation protéocalorique donnée, dans des conditions expérimentales bien définies.

Valeur biologique :

$$\frac{\text{azote retenu}}{\text{azote absorbé}} \quad \text{Digestibilité} = \frac{\text{azote absorbé}}{\text{azote ingéré}}$$

Utilisation protéique nette :

$$\frac{\text{azote retenu}}{\text{azote ingéré}} \quad \text{PER} = \frac{\text{gain de poids}}{\text{poids des protéines consommées}}$$

Dans des conditions expérimentales bien standardisées, les indices ci-dessus permettent de comparer les protéines alimentaires en déterminant leur digestibilité et la valeur de la balance azotée.

DEUXIEME PARTIE

Nous voyons donc que les méthodes disponibles pour atteindre les deux objectifs fixés plus haut sont très nombreuses. La pluralité même de ces méthodes met bien en évidence la difficulté du problème de la détermination nutritionnelle des aliments. Cependant, les unes comme les autres présentent des avantages et des inconvénients et il serait hasardeux de vouloir apporter une réponse définitive à ce problème en ne se basant que sur les résultats que peut fournir une de ces méthodes seulement. Il serait préférable au contraire de les considérer comme complémentaires car chacune d'elles apporte, en effet, des informations toujours utiles à une meilleure connaissance des qualités nutritionnelles des protéines des aliments. Evidemment, il est tentant de vouloir établir des corrélations entre les résultats obtenus à partir des diverses méthodes disponibles afin de vérifier si les renseignements que chacune d'elles peut fournir sont non seulement complémentaires mais aussi ne sont pas contradictoires. Bien

que les valeurs numériques des indices déterminés selon ces diverses méthodes soient différentes, il existe néanmoins une certaine corrélation entre elles, comme l'ont montré de nombreux auteurs (Bender, 1965 ; Lojkin, 1970 ; etc.). Et dans les nombreuses publications traitant de qualité nutritionnelle qui paraissent encore aujourd'hui, il n'est pas rare de voir figurer dans les mêmes tableaux les valeurs et les résultats obtenus à partir de ces différentes méthodes.

Les indices chimiques, de par leur mode de calcul qui tient essentiellement compte de la composition en acides aminés des protéines, sont plus ou moins bien corrélés avec la valeur biologique de l'aliment testé qui, elle, peut être affectée par bien d'autres facteurs comme nous le verrons plus loin. On peut dire, en général, que le score chimique (s.c.) sous-estime la qualité des protéines alors que le MEAA

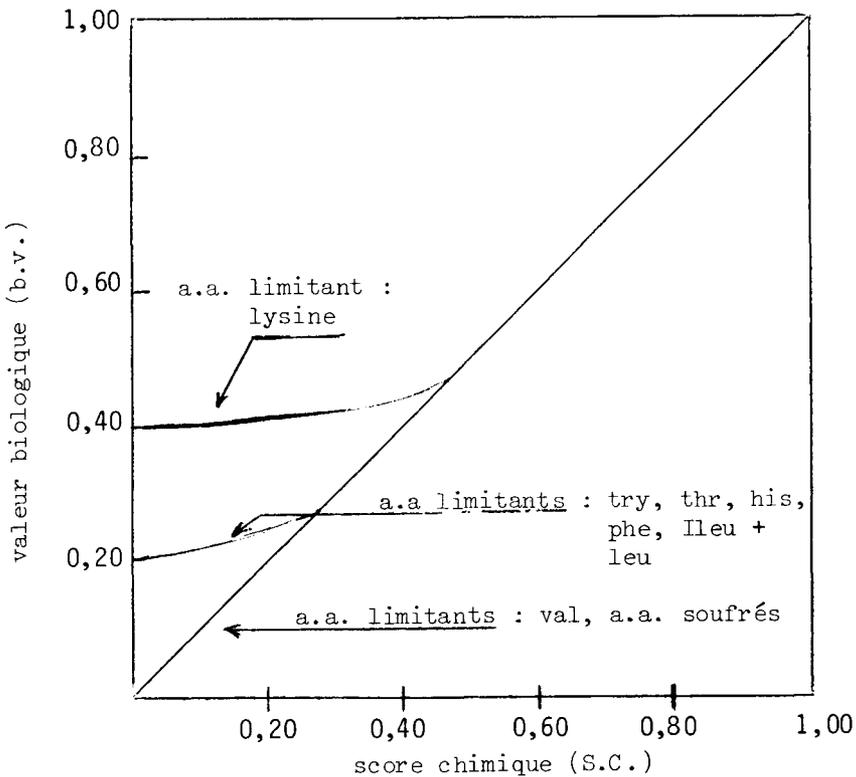


Figure 1.

Relation entre S.C. et b.v. en fonction de la nature des acides aminés limitants

la surestime. La relation entre score chimique et valeur biologique est une droite qui peut présenter un certain biais vers les faibles valeurs et ce biais est plus important quand certains acides aminés sont limitants (lysine, par exemple). Il n'y a pas de biais quand la valine ou les acides aminés soufrés sont limitants dans la protéine considérée. Certaines explications ont pu être fournies à ce sujet en faisant remarquer que dans certains cas, il y avait une réduction du catabolisme de l'acide aminé limitant issu de la dégradation des protéines du tissu du corps humain. La quantité d'acides aminés endogènes ainsi récupérée venait rééquilibrer la composition en acides aminés issus de l'hydrolyse gastro-intestinale de l'aliment. La valeur biologique (b.v.) de l'aliment testé était trouvée supérieure à ce qu'elle aurait dû être autrement. Ainsi, on a pu obtenir une valeur biologique de 0,40 pour certains aliments dont l'acide aminé limitant était la lysine alors que la valeur du score chimique de la protéine considérée était voisin de zéro. En fonction de la nature de l'acide aminé limitant, on obtient des biais plus ou moins importants à une régression linéaire entre s.c. et b.v. (voir fig 1). Ce biais semble être minimum quand les acides aminés soufrés sont limitants, ce qui est le cas avec les légumineuses.

Par ailleurs, pour des valeurs d'utilisation protéique nette (n.p.u.) inférieures à 0,40, ce qui est très rare pour les aliments courants, on remarque que les résultats obtenus par les méthodes biologiques sont très peu précis si bien que, dans cette zone, la courbe liant s.c. à b.v. est presque horizontale. Il faut cependant noter, comme l'ont remarqué Said et Hegsted (1969), que pour des valeurs de n.p.u. inférieures à 0,40 on obtient des valeurs d'efficacité protéique (P.E.R.) égales à zéro. Ce qui, en d'autres termes, signifie que l'on ne se trouve plus dans des conditions expérimentales identiques de part et d'autre de cette valeur de 0,40. En effet, si n.p.u. est inférieur à 0,40, donc $PER = 0$, on mesure la valeur biologique de la protéine pour assurer la maintenance (balance azotée nulle) et non plus pour assurer la croissance du sujet en expérimentation (ce qui est le cas pour $PER > 0$ et donc n.p.u. $> 0,40$). Ceci montre que les méthodes biologiques sont très sensibles aux conditions d'expérimentation que l'on choisit d'utiliser. Pour une même protéine testée, les résultats obtenus doivent donc être interprétés avec discernement, sinon ils conduisent infailliblement à des conclusions erronées.

Un point très délicat dans la détermination de la qualité protéique est la prévision de la digestibilité d'un aliment. Il a été montré que la libération de certains acides aminés lors du transit gastro-intestinal se faisait à des vitesses, donc à des digestibilités, différentes selon l'aliment considéré. En effet, la digestibilité de la lysine a été estimée à 0,79 dans le blé, à 0,65 dans le seigle et

à 0,92 dans le soja par Eggum (1971), lors d'expérimentations qui ont donné les mêmes résultats sur le rat et sur le porc. Mais comme, d'autre part, ces variations de digestibilité peuvent être aussi contrebalancées pour d'autres acides aminés, la prévision de la valeur nutritionnelle à partir de la seule connaissance de composition en acides aminés des protéines de l'aliment sans être impossible, est donc délicate dans le cas d'aliments d'origine ou de nature différente. De plus, la digestibilité des protéines tend à croître quand les rations alimentaires contiennent des quantités de plus en plus faibles de ces protéines. Rapportées dans le tableau I, les résultats obtenus par Bressani (1972) illustrent ce fait.

Mélange protéique			Protéine du lait		
Maïs - Soja - Farine de coton					
Azote ingéré :	Digestibilité		Azote ingéré :	Digestibilité	
mg/kg poids corporel/j.	apparente %	vraie %	mg/kg poids corporel/j.	apparente %	vraie %
473	77,6	83,7	477	86,4	91,2
398	77,6	84,9	386	88,3	94,3
311	75,9	85,2	303	84,1	91,7
234	76,9	89,3	225	81,3	91,5
168	71,4	88,7	164	78,0	92,1
103	63,1	91,3	95	69,5	93,7

Tableau I.

Incidence de la quantité d'azote ingéré sur la mesure de la digestibilité vraie et apparente des protéines (Bressani, 1972).

Ainsi, on a pu remarquer que la valeur de la digestibilité de certaines protéines végétales peut dépasser 100 % quand l'alimentation journalière est inférieure à 400 mg/kg de poids corporel. D'autre part, la nature de l'alimentation influe aussi sur la digestibilité des protéines qui y sont contenues. En effet, à quantité de protéine ingérée égale, la digestibilité des protéines animales se révèle supérieure à celle des protéines végétales. L'oeuf et le lait ont une digestibilité de 92,8 % et 91 % mesurée sur des enfants dont les rations alimentaires journalières à base de ces protéines contenaient respectivement 432 et 473 mg d'azote par kilogramme de poids corporel. Des mesures identiques, qui ont été effectuées avec un mélange de protéines végétales (à 435 et 473 mg/kg/jour), ont donné

des valeurs de digestibilité de 77,4 % et 84,6 %. La raison de la plus faible digestibilité des protéines végétales n'a pas encore été très bien élucidée. Mais le fait est d'importance dans la mesure où l'alimentation de l'homme est variée, qu'elle contient des protéines animales mais aussi de plus en plus de protéines végétales. En effet, les prévisions économiques quant à la nature et la quantité de protéines qui sont nécessaires pour notre alimentation dans quelques années seront par conséquent très délicates à faire.

La valeur nutritionnelle, bien qu'affectée par la digestibilité des protéines, paramètre délicat à évaluer comme on vient de le voir est ainsi étroitement dépendante de l'azote réellement retenu par l'organisme pour assurer la croissance ou la maintenance des tissus du corps humain. La mesure de cette quantité d'azote retenu s'effectue par la mesure de la balance azotée qui peut être positive (azote effectivement retenu-croissance), négative (amaigrissement du sujet), nulle (état d'équilibre).

$$N_{\text{bal}} = N_{\text{ingéré}} - (N_{\text{fécal}} + N_{\text{urinaire}} + N_{\text{endogène}})$$

Les pertes d'azote endogène sont des pertes naturelles d'azote de l'organisme qui peuvent s'effectuer par la peau (transpiration), les cheveux (pousse). Cette méthode d'évaluation n'est malheureusement pas encore universelle et sans défaut. Elle est en effet affectée par plusieurs facteurs et notamment par la quantité d'azote ingéré. Quand cette dernière diminue, la valeur de N_{bal} diminue aussi (cf. tableau 2).

! Azote !	! :	! Azote !	! :	! Azote !	! :	! Azote !	! :	! Azote !
! ingéré !	! :	! fécal !	! :	! urinaire !	! :	! absorbé !	! :	! retenu !
! 477 !	! :	! 65 !	! :	! 313 !	! :	! 412 !	! :	! 99 !
! 386 !	! :	! 45 !	! :	! 258 !	! :	! 342 !	! :	! 83 !
! 305 !	! :	! 48 !	! :	! 185 !	! :	! 255 !	! :	! 69 !
! 225 !	! :	! 42 !	! :	! 132 !	! :	! 184 !	! :	! 52 !
! 164 !	! :	! 36 !	! :	! 74 !	! :	! 128 !	! :	! 54 !
! 95 !	! :	! 29 !	! :	! 50 !	! :	! 60 !	! :	! 15 !

Tableau 2.

Incidence de la quantité d'azote ingéré (lait écrémé) sur la balance azotée au cours d'expérimentation chez l'enfant (Bressani, 1973).
(valeurs exprimées en mg N/kg de poids corporel/jour).

Ceci implique que la comparaison de deux aliments doit se faire dans les mêmes conditions quant à la quantité d'azote ingéré. La comparaison de deux sources protéiques ne peut donc se faire à partir des résultats de la littérature si cette première condition n'est pas vérifiée.

La mesure de la balance azotée est aussi affectée par le nombre de calories présentes dans l'aliment. Mais l'impact de la variation du nombre de calories sur la valeur de la balance azotée est bien plus modéré que précédemment. En effet, il a été mis en évidence qu'à taux d'azote et de lysine ingérés constant, la valeur de la balance azotée restait pratiquement constante et égale à 0,3-0,4 g/jour quand la quantité de calories restait comprise entre 4 300 et 3 500 calories. Quand le nombre de calories présentes dans l'ingéré chutait à 2 700 cal/jour, la balance azotée pour le même aliment diminuait alors pour devenir même négative (Clark et al., 1960).

D'autres résultats ont pu mettre en évidence que la rétention d'azote ingérée est d'autant plus faible que la quantité d'eau prise avec la ration alimentaire est faible et qu'au contraire, si la quantité d'eau ingérée est surabondante, on observe un lessivage de l'azote catabolisé produit lors du métabolisme des protéines. Cet azote se retrouve en majeure partie sous forme d'ammoniac dans les urines au lieu d'être sous forme d'urée (Bressani et Braham, 1964).

Sans aller plus avant dans la description des avantages et des inconvénients des différentes méthodes disponibles pour estimer la valeur nutritionnelle des protéines, on peut dire que la technique générale qu'est la mesure de la balance azotée peut être surtout très utile dans l'étude du métabolisme des protéines et peut essentiellement permettre d'évaluer la qualité des aliments ou de déterminer les acides aminés dits essentiels pour assurer une croissance adéquate. Ce n'est que dans des conditions très standardisées et très reproductibles d'expérimentation que cette méthode peut se révéler très utile pour comparer les différentes sources de protéines et d'en estimer la valeur nutritive.

CONCLUSION

La valeur nutritionnelle des protéines alimentaires est influencée, comme nous venons de le voir, par de très nombreux facteurs difficiles à cerner dans certains cas. De plus, compte tenu de la complexité des mécanismes biologiques intervenant pour assurer l'équilibre physiologique ou la croissance de l'organisme humain, il est

aisé de s'imaginer la difficulté du problème posé par la définition et la mesure de la qualité des protéines. En vérité, le terme "qualité des protéines" n'a que très peu de sens en lui-même si l'on ne précise pas dans quel contexte expérimental et dans quel but la mesure de cette qualité est effectuée. En effet, la qualité d'une protéine est étroitement liée à l'aptitude de cette dernière à satisfaire les besoins alimentaires de l'homme et cette satisfaction des besoins est elle-même étroitement dépendante du sexe, de l'âge et de l'état physiologique de l'individu étudié. D'autre part, les régimes alimentaires de l'homme se composent habituellement d'un mélange d'aliments et la valeur alimentaire de ce mélange peut être différente de la valeur de chaque denrée prise individuellement. D'où la difficulté de pouvoir évaluer avec rigueur la valeur nutritionnelle d'un aliment.

En première approximation, on peut cependant déduire de sa composition en acides aminés la valeur relative d'un aliment par rapport à un autre qui serait de même nature (ingrédients semblables). La teneur en acides aminés du régime alimentaire étudié permettrait de calculer des indices chimiques et de déterminer la couverture des besoins alimentaires de l'homme pour les acides aminés limitants. Comme il est pratiquement impossible de contrôler l'alimentation courante de l'homme placé dans son contexte socio-économique habituel, ou de suivre les variations de cette alimentation jour après jour, il est difficile d'évaluer avec précision la qualité de la nourriture à l'échelle d'une région ou même d'un village. C'est pourquoi, les valeurs approximatives des indices fournis par les méthodes chimiques sont tout aussi valables et sont plus faciles à obtenir que les valeurs des indices données par les méthodes biologiques. Toutefois, les analyses chimiques ne permettent pas d'évaluer la disponibilité de tous les acides aminés des protéines consommées (digestibilité, balance azotée) et l'on doit en tenir compte, si l'on souhaite prévoir des effets d'un changement des habitudes alimentaires sur la couverture des besoins.

Le calcul des indices chimiques est aussi une première étape logique dans le choix et la confection de nouveaux aliments protéiques ou de l'évaluation de la valeur protéique des aliments que l'on peut rencontrer sur les marchés locaux. Cependant, il ne s'agit là que d'une première approximation qui devra être contrôlée par les essais sur l'animal d'abord, puis sur l'homme ensuite. Les essais sur animaux renseigneraient d'abord, non seulement sur la biodisponibilité des acides aminés des protéines des aliments testés, mais aussi sur la présence éventuelle de facteurs toxiques (inhibiteurs de la trypsine, de la chymotrypsine, phytohémagglutinines, facteurs de flatulence, etc.). Ces tests biologiques sont cependant longs et onéreux et doivent être réservés pour des cas précis qui demandent confirmation. L'analyse des acides aminés des protéines des aliments est aujourd'hui une méthode parmi les plus simples

à mettre en oeuvre et permet de dégrossir le problème de l'évaluation de la qualité potentielle des protéines. Cette technique permet, en outre, de répondre rapidement aux questions que se posent les sélectionneurs au sujet des qualités des protéines produites par les diverses lignées de céréales ou de légumineuses. Jusqu'ici, la sélection des graines s'est souvent effectuée en se basant sur des critères agronomiques classiques (rendement, résistance aux maladies). Il serait souhaitable qu'il soit aussi tenu compte de la qualité des protéines produites à la suite de manipulations génétiques. Comme on l'a remarqué bien des fois, la variabilité génétique des lignées issues des programmes de sélection est faible. Il est donc important de pouvoir repérer tout "accident" génétique, qu'il soit naturel ou engendré par l'homme, par des méthodes simples mais précises, et ce, dans des délais très brefs. Les méthodes chimiques classiques sont ici tout à fait désignées pour nous aider dans cette démarche.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKESON W.R. et STAHPMAN M.A.
 - *J. Nutr.*, 1964, 83, 257.
- BENDER A.C.
 - *Proc. Nutr. Soc.*, 1965, 24, 190.
- BENDER A.E.
 - *Progress in Meeting Protein Needs of Infants and Preschool children.*
Proc. Symp., 1960.
- BLOCK R.J. et MITCHELL H.H.
 - *Nutr. Abst. Rev.*, 1946-1947, 16, 249.
- BOOTH V.H.
 - *J. Sci. Fd. Agric.*, 1971, 22, 658.
- BRESSANI R.
 - *Nutritional Improvement of maize.* - Proc. Intern. Conf. Instit.
 Nutr. of Central America and Panama, Guatemala City, mars 1972. -
 R. Bressani, J.E. Braham, M. Behar (Editors), INCAP Guatemala C.A.
- BRESSANI R. et BRAHAM J.E.
 - *J. Nutr.*, 1964, 82, 469.
- CARPENTER (K.J.)
 - *Biochem J.*, 1960, 77, 604.
- CLARK H.E., YANG S.P., REITZ L.L. et MERTZ E.T.
 - *J. Nutr.*, 1960, 72, 87.
- EGGUM B.O.
 - *Use of Nuclear Techniques for Improvement of Seed.* New Delhi, India.
- FAO/WHO
 - *Energy and Protein Requirements.* - FAO, Nutr. Mtg. Rep. serie n°52,
 1973.
- FAO/WHO
 - *Protein Requirements.* - FAO, Nutr. Mtg. Rep. serie n°37, 1965.
- LOJKIN M.E.
 - *J. Nutr.*, 1970, 100, 51.

MAURON

— *Protein in Human Nutrition*. — Porter and Rolls Editors, p. 139,
New York : Acad. Press, 1973.

Mc LAUGHAN J.M. et CAMPBELL J.A.

— *Mammalian Protein Metabolism*. — H.N. Munro - Editor, New York :
Acad. Press, 1969. — vol. III, p. 391.

MILLER D.S. et BENDER A.E.

— *Br. J. Nutr.*, 1955, 9, 382.

MITCHELL H.H.

— *Symposium on Methods for Evaluation of Nutritional adequacy and
Status*. — Washington, D.C. : NRC, 1954.

MOORE S. et STEIN W.H.

— *J. Biol. Chem.*, 1951, 192, 663.

PELETT P.L.

— *Evaluation of Protein Quality*. — Washington, D.C. : Publs. Natu.
Coun., 1963, n° 1100.

SAID A.K. et HEGSTED D.M.

— *J. Nutr.*, 1969, 99, 474.

SHEFFNER A.L.

— *Never Methods of Nutritional Biochemistry*. — A.A. Albanese Editor,
New York : Acad. Press, 1967, vol. III, p. 125.

COMMUNICATIONS

A PROPOS DES TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE CONSERVATION DES PRODUITS ALIMENTAIRES AU CAMEROUN

par J. Elang

INTRODUCTION

Le problème de la conservation des produits alimentaires s'est posé depuis l'apparition de l'homme, quand celui-ci, en face des impérieux besoins nutritionnels quotidiens, a senti la nécessité de programmer ses ressources limitées tout en assurant la pérennité des espèces végétales qui étaient utiles pour sa survie au fil des années. Ce concept de base a donné naissance à une science fondamentale, l'agriculture.

De nos jours encore, la conservation des denrées alimentaires reste une question d'actualité, singulièrement dans les pays en voie de développement en raison de la modicité des moyens financiers qui ne permettent pas toujours l'acquisition des équipements appropriés souvent très onéreux.

Si de gros efforts ont été réalisés dans le domaine de la conservation des céréales, le problème reste entier ou presque en ce qui concerne les tubercules et les fruits. Cette situation freine considérablement le développement du commerce des vivres hors des régions productrices. Dans cette étude, nous ferons d'abord un inventaire des techniques de conservation en vigueur au Cameroun, puis nous relèverons leurs insuffisances.

I. TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE CONSERVATION DES PRODUITS ALIMENTAIRES AU CAMEROUN

D'une façon générale, plusieurs techniques sont utilisées par les paysans pour la protection des produits alimentaires.

J. ELANG, coordonnateur, Projet semencier US-AID/RUC, province du Nord-MIDEVIV [Mission du développement des cultures vivrières]

1.1. La chaleur

La chaleur est l'une des méthodes de conservation les plus anciennes. Elle est généralement appliquée sur les céréales et les produits d'exportation. Deux cas sont à distinguer.

1.1.1. Le séchage modéré

Il s'agit ici de réduire la teneur en eau des produits afin de minimiser les phénomènes de métabolisme. La source de chaleur est le soleil et ce mode de traitement est souvent appliqué aux céréales (maïs, sorgho, riz), aux légumineuses (arachide, vouandzou), aux produits d'exploitation (café, cacao) et aux semences. La température dans le cas des semences doit être telle que le germe reste vivant après l'opération.

1.1. . La dessiccation

Ce procédé diffère du précédent dans la mesure où il vise l'extraction de toute l'eau contenue dans le produit alimentaire. Il n'est donc pas applicable aux semences. Traditionnellement, le paysan utilise le feu de bois. Cette technique est largement répandue dans les zones très humides, là où les pluies sont imprévisibles et l'isolation très réduite.

1.2. Le froid

Depuis longtemps le paysan s'est rendu compte de l'importance du froid dans la conservation de certaines denrées alimentaires, notamment les tubercules et les fruits. Plusieurs procédés sont utilisés :

1.2.1. L'immersion dans l'eau

Durée de conservation deux à cinq jours. Les tubercules d'ignames ou de manioc sont trempés dans l'eau et celle-ci est renouvelée périodiquement.

1.2.2. Conservation sous ombrage

Elle est surtout utilisée pour la conservation des semences de tubercules. Les semences sont stockées dans un grenier ou au pied d'un arbre et recouvertes avec des branches feuillues pour éviter l'ensoleillement. La durée de conservation est de quelques mois.

1.2.3. L'enfouissement sous terre

Dans certaines régions, la conservation se fait sous terre. Ce mode de conservation intéresse surtout les semences dont la durée de stockage excède plusieurs mois. Il s'applique généralement aux tubercules et quelquefois aux céréales (sorgho et mouskouari).

En résumé, les techniques décrites plus haut se ramènent toutes à une seule, la méthode des températures. La conservation à haute température (chaleur) s'applique sur les semences et autres produits agricoles dont la germination en cours de séchage peut porter préjudice à la qualité du produit. La conservation à basse température (froid) intéresse surtout les tubercules dont la germination n'entrave pas la qualité du produit.

Quant aux fruits et légumes dont la durée de conservation est limitée, le paysan faute d'appareil de froid, réduit ses provisions aux besoins quotidiens de la famille.

1.3. L'utilisation de la cendre de bois et de la fumée

L'utilisation de la cendre est une technique connue depuis longtemps en agriculture. La cendre est utilisée soit comme fumure (présence d'éléments animaux sous forme de K_2O et de CaO , etc.) pour corriger des terrains acides, soit comme pesticide pour préserver les produits agricoles contre l'attaque des macro- et micro-organismes vivant dans le sol.

Ainsi les semences d'ignames sont traitées à la solution aqueuse de cendre avant d'être entreposées dans les greniers. La cendre est répandue aussi dans les magasins de stockage et les greniers. Dans le même ordre d'idées, la fumée est utilisée comme produit insecticide (fumigan) pour lutter contre les blattes, les rats, etc. Les produits à conserver sont soumis périodiquement à la fumée. Les déprédateurs sont chassés ou détruits par étouffement.

1.4. Utilisation de l'huile de palme et des extraits de feuilles des certaines plantes

Dans certaines régions, l'huile de palme est utilisée comme insecticide ; il en est de même des extraits de certaines plantes telles que le Nîme. Le récipient devant contenir le produit agricole est préalablement enrobé d'huile de palme ou d'extrait de feuilles de Nîme. La durée de protection est très courte et l'efficacité de ces produits est sélective et même aléatoire.

1.5. L'isolement et l'aération

Le sol et l'air ont été longtemps reconnus par les paysans comme sources d'organismes pathogènes. Aussi certains fermiers évitent de stocker directement leurs produits sur le sol. Le maïs et l'arachide sont suspendus au plafond des greniers. Par ailleurs, les paysans savent qu'il est important que les magasins de stockage soient aérés. C'est ainsi qu'ils prévoient souvent des ouvertures pour la circulation de l'air.

Plusieurs méthodes sont souvent utilisées simultanément pour la conservation d'un produit.

II. LES INSUFFISANCES DES METHODES TRADITIONNELLES DE CONSERVATION

I. Les méthodes traditionnelles de conservation sont basées sur l'expérience et le hasard. D'une façon générale, ces méthodes ne s'appuient pas sur des données scientifiques comportant des dosages et des analyses qualitatives et quantitatives, bien que la conservation repose sur des principes physiques et chimiques. En effet les conditions de stockage sont déterminées par plusieurs facteurs notamment la composition chimique du produit, la température ambiante et le degré hygrométrique de l'air. Dans le cas des semences, l'état de la couche superficielle qui règle les échanges (eau, air, éléments minéraux) entre le milieu intérieur de la semence et son environnement (air, sol etc.) joue un rôle de premier plan. Cette couche superficielle, tout en étant une barrière pour l'entrée des micro-organismes, règle les échanges aqueux et gazeux et contrôle la diffusion des éléments minéraux. Il est donc important qu'il y ait un équilibre constant, compatible avec le milieu intérieur du produit et son environnement au moment du stockage.

Les exemples suivants montrent que si l'équilibre est rompu, le produit est détérioré.

Exemple : (1) Si une graine très sèche est placée dans une enceinte humide, l'eau rentrera dans la graine par osmose, ce qui réactivera les réactions de catabolisme avec libération des acides libres par diffusion. La qualité de la graine s'en trouvera par conséquent diminuée.

Exemple : (2) Les semences d'arachide sont stockées à une température supérieure à la température létale. Cette semence ne pourra plus germer, l'embryon ayant été détruit.

Ce phénomène d'échange entre le produit alimentaire et le milieu extérieur explique la précarité de la conservation des vivres frais. En outre, un changement des qualités organoleptiques lié à la dénaturation des protéines, est parfois inévitable.

2. La conservation traditionnelle se limite seulement aux magasins de stockage.

Les paysans ne se soucient généralement de leurs produits alimentaires que quand ceux-ci sont dans les magasins ou les greniers. Or le stockage intéresse tous les circuits de transit des produits et commence en plein champ, au moment de l'arrivée à maturité. Dès lors, toute exposition aux conditions climatiques défavorables détériore la qualité du produit. Les produits alimentaires doivent donc circuler dans des conditions optimales de stockage. L'état des produits stockés dans les magasins est le résultat de l'action des facteurs évoqués plus haut qui se sont exercés sur le champ, pendant le transport et le conditionnement.

IV. SUGGESTION ET CONCLUSION

L'importance de la conservation des produits alimentaires n'est pas à démontrer dans notre pays où 40 à 50 % des stocks sont détruits annuellement dans les magasins, en raison du mauvais conditionnement d'une part et des attaques des organismes pathogènes d'autre part.

- La conservation des vivres limite le développement du commerce des vivres hors des régions productrices et est en partie responsable de la flambée des prix des vivres dans les centres urbains qui ne disposent pas d'infrastructure adéquate.
- Les conditions de stockage des semences comptent aussi parmi les facteurs qui freinent considérablement l'essor de l'agriculture. En effet, la mauvaise qualité des semences utilisées par les paysans s'explique aussi par les conditions de stockage plutôt dérisoires.

La solution à ce problème réside dans la prise de conscience par les organes de décision de ce phénomène comme un véritable fléau. Trois niveaux sont à considérer dans la recherche de la solution.

1. Au niveau de la recherche

- élaboration des thèmes sur la détermination des conditions optimales de stockage de chaque zone écologique pour chaque produit ;
- définition des produits chimiques efficaces pour la protection des stocks.

2. Au niveau des ministères techniques

- construction des magasins de stockage en milieu rural selon le modèle préconisé par les techniciens ;
- formation des agents sur la conservation des produits pour les besoins de l'encadrement des paysans ;
- construction de magasins réfrigérés pour la vente des vivres et le stockage des semences ;
- acquisition des produits chimiques de traitement et des équipements de conditionnement.

3. Au niveau des agriculteurs et des commerçants

- utilisation des produits chimiques ;
- amélioration des magasins de stockage.

Cette note, loin d'être parfaite, a pour objectif principal d'éveiller la conscience des différents responsables sur l'importance du stockage qui, longtemps négligé au Cameroun, constitue cependant un aspect fondamental en agriculture et dans les autres domaines tels le commerce et l'industrie. Il serait regrettable que la moitié de la production obtenue au cours d'une année de labeur soit détruite en un jour par les facteurs exogènes pouvant être facilement maîtrisés.

REVUE DE TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE PREPARATION DE LEGUMINEUSES A GRAINE DANS LE SUD-TOGO — SUD-BENIN

par Assion G. Lawson

L'étude de M. H. Dupin de l'Orana (Dakar) sur les principaux aliments utilisés en Afrique inter-tropicale donne une classification de ceux-ci en six groupes selon la caractéristique principale de chacun d'eux, cette caractéristique principale étant l'intérêt nutritionnel.

Les graines de légumineuses se classent ainsi dans le second groupe, tout juste après celui de la viande, lait, poissons et oeufs, Il s'agit des pois, des haricots - il en existe de nombreuses variétés en Afrique - des lentilles, de l'arachide, du soja. Comme les aliments du premier groupe, l'intérêt principal des graines de légumineuses est qu'elles apportent des protides "matériaux de construction" essentiels pour toutes les cellules de l'organisme. Leur intérêt secondaire est qu'elles peuvent fournir de l'énergie et apportent quelques vitamines et minéraux.

Nous donnons ci-après quelques-unes des préparations en usage sur la Côte des Esclaves et communes au Bas Togo, Bénin et Nigeria.

NIEBE (*Vigna unguiculata*)

Pour l'essentiel, on utilise les "haricots" pour l'amélioration des plats à base de tubercules ou de céréales surtout dans les régions où l'on consomme peu de viande, d'oeufs et de poissons. Les "haricots" sont consommés soit :

- bouillis
- grillés
- frits à l'huile
- en farine
- en vert

- et donne lieu aux préparations suivantes :

ASSION G. LAWSON, ingénieur agronome, U.B. Ecole supérieure d'agronomie, Université du Bénin, Lomé

Bouillis

- *VEHI* (F, Mi) : le "haricot" est bouilli jusqu'à cuisson parfaite en prenant des précautions pour que la majorité des grains restent entiers. On sale et consomme avec de l'huile rouge de qualité (ZOMI) et du "gari" (farine de manioc).

Langues nationales F = Fon, G = goun, Mi = Mina

- *ABOBO* (F) : le "véhi" est remué en cours de cuisson jusqu'à obtention d'une soupe plus ou moins homogène. On sale et pimente. Le produit se consomme comme le "véhi".

La supplémentation en méthionine est nécessaire et sa déficience aggravée par la farine de manioc dans ces deux plats.

- *ZANKPITI* (G), *DJOHOUNGOLI* (F) : c'est de l' 'abobo' mélangé avec de la farine de maïs, de l'huile rouge en cours de cuisson. On sale et pimente.

Aliment relativement bien équilibré en acides aminés essentiels grâce à l'apport du maïs en méthionine.

- *ADOHOUE* (Mi) : les "haricots" sont débarrassés de leur tégument. Les cotylédons cuits sont consommés en "abobo". Il s'agit d'un mets relativement fin.

L'élimination des enveloppes riches en cellulose et irritantes pour la muqueuse digestive, surtout chez les jeunes enfants, augmente la digestibilité (CUD).

Grillés

- *AYI TOTO / AYI BLI* (Mi) : les grains après cuisson partielle sont grillés seuls, mélangés à du maïs bouilli et consommés tels quels ou avec des arachides grillées. L'haricot de Lima entre parfois dans la même préparation.

L'on sait que les traitements thermiques, notamment le rôtissage, valorisent parfois considérablement la légumineuse traitée (Bressani et Elias, 1974).

Frits à l'huile

C'est la préparation de beignets.

- *DOKO* (F) : les grains secs sont réduits en farine. On mouille et remue dans l'eau afin d'obtenir une pâte froide lavée et malaxée. On sale, pimente et fait frire en petites boules dans de l'huile de palme, de palmiste, de coco ou d'arachide, ou dans le nord, dans du beurre de karité de bonne qualité.
- *ATAKLE* (G) : c'est le "doko" qui a été moulu plus finement, frit pendant plus longtemps dans l'huile de palme.
- *ATA* (F) : les "haricots" sont mis à tremper dans l'eau jusqu'à gonflement des téguments qu'on sépare à la main. Les cotylédons moulus donnent une pâte froide de couleur claire que l'on malaxe, sale, pimente et fait frire à l'huile. L' 'ata' se mange avec du "gari", de l' 'ablo' ou de l' 'akassa' (farine de manioc, farine de maïs cuit à la vapeur).

Seules les variétés blanches de niébé s'apprêtent de la sorte.

En farine

- *AYOYOE* (F) : les "haricots" sont grillés, les téguments séparés. Le tout est moulu, tamisé, mouillé avec de l'eau et chauffé dans un mélange de 1/3 d'eau pour 2/3 d'huile de palme. On remue jusqu'à cuisson complète. L' 'ayoyoé' se mange accompagné d'igname, de manioc, de patate ou d'akassa.
- *ABLA* (F) : les "haricots" débarrassés de leur tégument sont moulus, additionnés dans de faibles proportions de farine de maïs (3/4 pour 1/4). On ajoute de l'huile de palme et des condiments. On remue jusqu'à formation d'une pâte homogène qui est moulée dans des feuilles et cuite au bain-marie. L' 'abla' se mange seul.

POIDS SABRE ET AMBREVADE (*Canavalia ensiformis* et *Cajanus cajan*)

Ils sont consommés en vert :

- les gousses du pois sabre cueillies au quart de leur développement (20 cm) ;
- les gousses d'ambrevade (poids cajan) également, ou encore ils remplacent les petits pois. Ils sont mieux équilibrés que ces derniers.

N.B. Une préparation améliorée consiste à faire bouillir les gousses incomplètement mûres de pois cajan. L'on presse et ajoute du beurre et du lait. L'on parfume au zeste de citron (ou encore à la vanille). Le mets rappelle la purée de châtaigne.

VOANDZOU ET LENTILLE DE TERRE (*Voandzou subterranea* et *Kerstingiella geocarpa*)

- Fraîchement récoltés, ils sont bouillis en coque comme l'arachide.
- Secs, ils subissent les mêmes préparations que le dolique.

Arachide

Ses divers modes de consommation sont les suivants :

- *AZINBLI* (Mi) : les arachides fraîchement récoltées sont bouillies en coques et se consomment mélangées avec du maïs bouilli ou grillé.
- *AZINTOTO* (Mi) : les grains grillés sont consommés avec du "gari" ou du maïs bouilli ou encore en snack.
- *AZINCO CHOUNCADA* (Mi) : c'est une préparation d'arachides grillées. Les cotylédons sont séparés et ventillés, mélangés à du sucre caramélisé. Le mélange est façonné en boules ou tablettes qui sont consommées telles quelles (friandise).
- *AZINGONDOIN* (Mi) : le tourteau d'arachide est salé, roulé en cordon de la grosseur d'un crayon sur une planchette. L'huile restant dans le tourteau suffit pour la cuisson de la baguette (friandise).

SOJA

Il tend à remplacer dans une certaine mesure la farine de maïs. L'Africain ne sait pas encore en tirer partie. Une préparation est adoptée pour parer aux ennuis du sevrage. Il s'agit d'une bouillie obtenue à partir de farine constituée à part égale de mil, maïs et soja, le tout rôti avant mouture. Agrémenté quelquefois de chapelure de noix de cajou ou d'amande de badamier, c'est un aliment particulièrement riche et agréable comme petit déjeuner, consommé par les adultes eux-mêmes.

Des préparations améliorées sont proposées actuellement à l'africain pour "soutenir" l'introduction du soja dans les cultures traditionnelles.

- *MOUTARIE* : le soja est trempé, puis grillé et écorcé. Les grains sont préparés dans l'eau bouillante et égouttés. Conservés trois ou quatre jours dans une cuvette fermée, ils fermentent. On les écrase alors à la meule dormante et on fait sécher la pâte au soleil deux jours de suite. La moutarde obtenue est utilisée dans la sauce. Cette préparation rappelle celle de "AFITI" des Béninois et du "SOUMBALA" des Maliens préparation faite à partir du Parkia, une autre légumineuse.
- *SAUCE* : le soja est trempé, grillé, moulu. La farine mélangée à de l'eau est pétrie avec oignon et tomate avant d'être frite en boule dans de l'huile. Les boulettes se consomment avec de l'igname ou du riz.

Ces préparations se rapprochent beaucoup de celles propres aux haricots et devraient enlever l'adhésion des Africain

Il est opportun de les remettre à l'honneur pour s'opposer au fait que nos légumineuses sont comme vouées à l'approbre uniquement en raison du contexte qui les entoure. Malgré leur potentiel élevé, elles ne font l'objet ni de la recherche ni de l'attention de la communauté agricole parce qu'elles sont tout simplement cataloguées comme "plante de pauvres". C'est un fait universel et regrettable pour nous.

Ces quelques préparations sont monnaie courante dans les pays du golfe du Bénin : Togo, Bénin, Nigéria.

PRESERVATION DES STOCKS DE NIEBE SANS RESIDUS: L'HUILAGE DES GRAINS COMME TECHNIQUE AMELIOREE DE CONSERVATION TRADITIONNELLE

par Assion G. Lawson

L'infestation du niébé par *Callosobruchus maculatus* (F) apparaît initialement dans les champs pour s'aggraver ensuite après récolte dans les greniers. Les pertes de récolte peuvent être et sont catastrophiques en milieu paysan.

L'on sait que ce bruchidé, malencontreusement appelé charançon de greniers à niébé, n'a justement pas contrairement au vrai charançon des pièces buccales aussi développées et ne s'alimente pratiquement pas au stade imaginal. Dans les stocks, les adultes assurent la ponte des oeufs sur la partie extérieure des semences. Ce sont les larves qui, dès leur éclosion, pénètrent dans les semences et y passent le reste de leur vie en creusant des galeries qui, en trois mois ou moins encore sous nos climats, font s'effondrer en poussière les espoirs mis dans petit stockage familial.

La fumigation des stocks infestés donne de bons résultats dans la lutte contre *Callosobruchus* mais exige une certaine maîtrise technologique. Une méthode simple, pratique et se pliant à toutes les perfections individuelles, permet au paysan d'assurer par lui-même la sauvegarde de sa récolte sans aucun risque d'intoxication de résidus, et avec un investissement insignifiant (Sing et autres, 1976).

Elle consiste à malaxer les semences avec de l'huile d'arachide ordinaire, dans des proportions de 5 à 10 cc/kg de grains. Les semences ainsi traitées peuvent être emmagasinées pendant plus de six mois sans être infestées. Elles germent bien et, bien entendu, sont exemptes de tout résidu néfaste au consommateur.

Les conséquences du léger film d'huile sur les grains sont :

- sur les adultes : effet de glu sur les appendices (pattes, ailes, antennes), immobilisation et mort ;
- sur les oeufs : action siccatrice suivie d'asphyxie probable par arrêt des échanges avec l'extérieur ;
- sur les larves : mal comprises encore.

Les conditions d'une application réussie imposent :

- de ne traiter que des grains rigoureusement secs, les taux d'infestation étant un moindre mal ici ;
- de traiter par quantité moyenne de 20, 40 kg au plus ;
- de stocker par quantité moyenne de même ordre en sac de polyéthylène, jerrycane de plastique ou même jarre locale convenablement lutée et isolée de toute remontée hygrosopique.

Une répétition du traitement une dizaine de jours après le premier élimine les risques de survie d'oeufs épargnés en raison de leur taille minuscule.

La présence de grains humides dans le stock traité est préjudiciable à toute bonne conservation et provoque moisissures, fermentation et rancissement à long terme.

Nos voisins anglophones semblent plus au fait que nous des possibilités pratiques de ce mode de préservation des stocks individuels de dolique qui pourtant donne au paysan le volant de sécurité lui permettant d'attendre la récolte prochaine sans grosses difficultés.

INFLUENCE DES TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE PREPARATION SUR LA VALEUR NUTRITIONNELLE DU MANIOC ET DU SORGHO

par J.C. Favier

Les préparations du manioc sont nombreuses et variées (fig. 1). Les plus complexes ont pour but de supprimer son amertume et sa toxicité par élimination du manihotoxoside. Elles mettent en oeuvre l'épluchage et le rejet de l'écorce riche en glucosides, l'immersion prolongée dans l'eau pour dissoudre les substances toxiques, le broyage et le pulpage pour favoriser leur contact avec les enzymes hydrolysantes, l'exposition à l'air, la dessiccation ou la cuisson pour chasser l'acide cyanhydrique volatil. Mais elles visent également à rendre agréable la consommation du manioc, permettre son stockage et sa commercialisation, améliorer sa digestibilité.

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

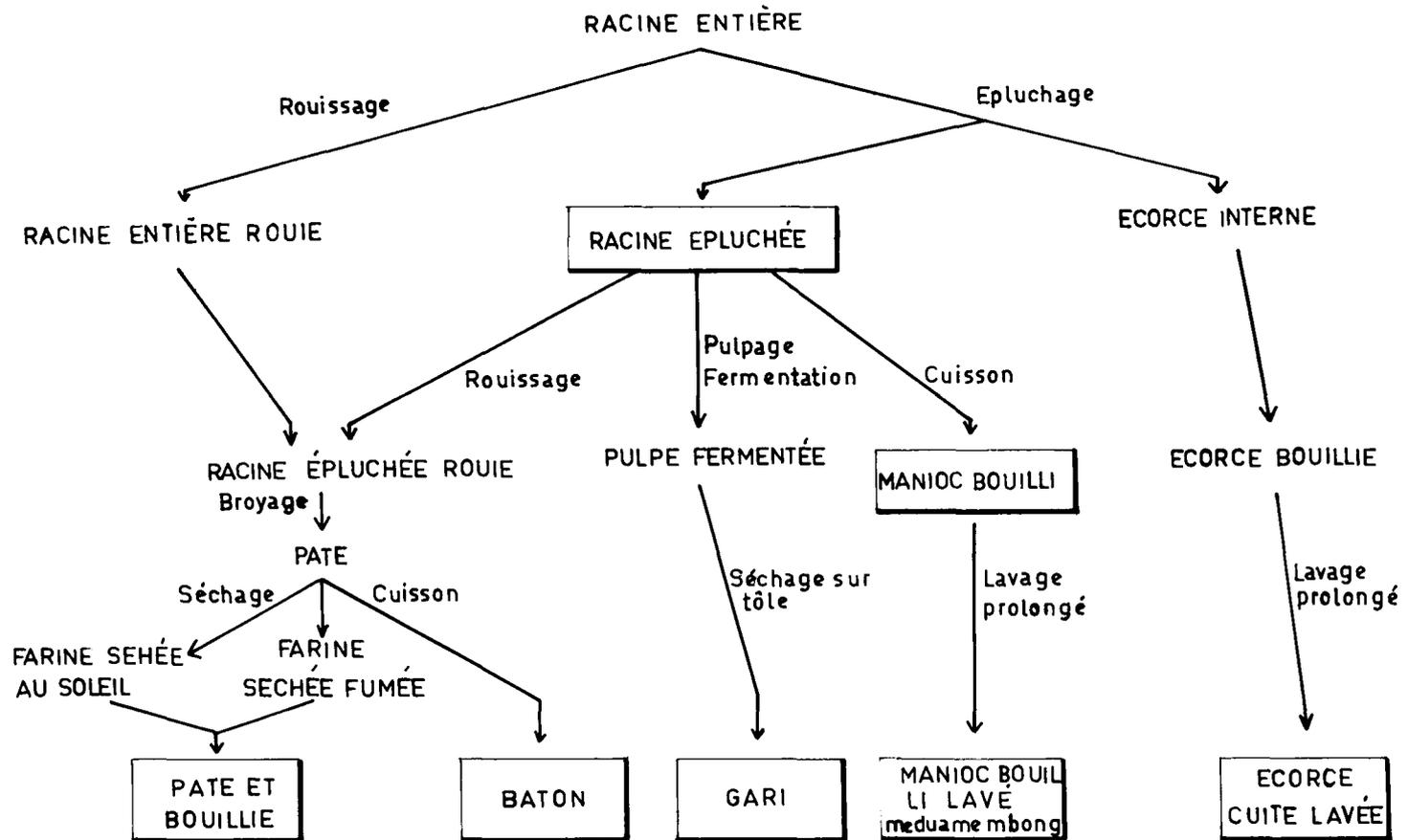
Le manioc bouilli peut aussi être découpé en fragments plus petits, mis ensuite à tremper dans l'eau courante pendant douze à trente six heures : c'est le *medua-me-mbong* des *Ewondos* du Centre Sud du pays. Le *medua-me-mbong* peut également être préparé à partir de manioc amer. Le lavage prolongé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

Mais les formes d'utilisation du manioc, doux ou amer, les plus fréquemment rencontrées au Cameroun sont la farine et le bâton. Leur préparation requiert plusieurs opérations (épluchage, rouissage, défibrage, broyage) suivies d'un séchage au soleil ou à la fumée pour la farine, et d'une cuisson à l'étuvée pour le bâton. Même les racines les plus fibreuses et les plus amères peuvent être utilisées à la préparation de farine ou de bâton.

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

J. C. FAVIER, nutritionniste de l'ORSTOM, Unité de nutrition du Centre d'étude des plantes médicinales, IMPM - ONAREST, Yaoundé

Figure 1. TECHNOLOGIE TRADITIONNELLE DE LA RACINE DE MANIOC
 (Les formes directement consommables sont encadrées)



Les préparations à base de sorgho au Cameroun sont moins nombreuses que celles du manioc. En dehors des boissons alcoolisées, que nous avons étudiées par ailleurs (Chevassus-Agnes et al.), les seules formes sous lesquelles le sorgho est consommé sont des pâtes ou des bouillies obtenues à partir de diverses farines et semoules (figure 2).

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

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

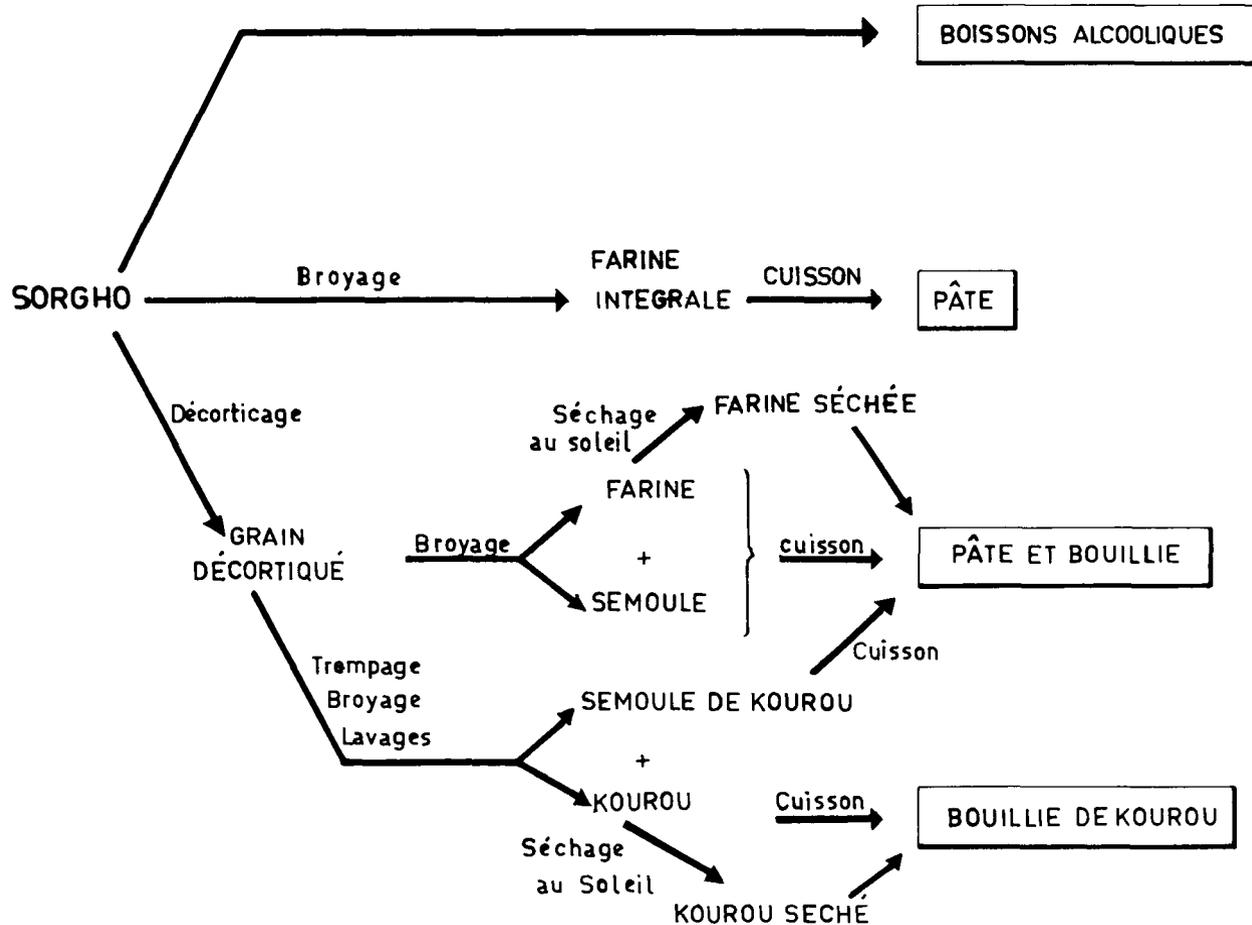
DECORTICAGE

MANIOC

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

Les quatre opérations d'épluchage et émondage que nous avons observées ont donné les pourcentages de pertes suivants, exposés au tableau 1. L'épluchage permet d'éliminer plus de la moitié de l'indigestible glucidique tout en conservant plus de 80 p. cent des calories. Mais les pertes de protides, calcium, thiamine et riboflavine sont importantes, avoisinant 50 p. cent. L'élimination de 86 p. cent du fer s'explique aisément lorsqu'on sait que l'écorce externe est fréquemment souillée de terre ferrugineuse. Les pertes de matières minérales totales, niacine et acide ascorbique atteignent 30 à 40 p. cent. Le rejet de l'écorce est bénéfique sur le plan de la toxicité puisque sa concentration en glucosides cyanogénétiques peut être 2,6 fois plus élevée que celle de la partie centrale dans les variétés amères et jusqu'à dix fois plus élevée dans les variétés douces (De Bruijn, 1971).

Figure 2. TECHNOLOGIE TRADITIONNELLE DU SORGHO
(Les formes directement consommables sont encadrées)



SORGHO

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

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

Le décorticage entraîne en moyenne une perte de substance sèche de 24 p. cent et permet d'éliminer 71 p. cent de l'indigestible glucidique tout en conservant les trois quarts des protéines du sorgho initial et 80 p. cent des calories et du calcium (tableau 1). Mais 58 p. cent de la vitamine B₁, les deux tiers de la riboflavine et de la niacine sont perdus, tandis que le phosphore total diminue dans les mêmes proportions que le phosphore phytique, le rapport P phytique/P total demeurant ainsi aux environs de 0,60. Cette observation confirme celle de Raymond et al. (1954) et Rao et al. (1958) rapportées par Adrian et Jacquot (1964) selon lesquelles "la répartition du phosphore est identique dans toutes les fractions du grain de sorgho puisque l'élimination des parties externes n'apporte pas de modification quant au pourcentage de phosphore phytique". 88 p. cent du fer est éliminé par décorticage. Comme notre sorgho de départ est beaucoup plus riche en fer que ceux de la littérature alors qu'il a une teneur comparable, après décorticage, aux autres sorghos décortiqués (Woot-Tsuen, 1970), nous pouvons supposer qu'il était souillé superficiellement, probablement par de la terre ou des poussières.

ROUISSAGE

Pour éliminer le manihotoxoside et ramollir les racines afin d'en faciliter ultérieurement le défibrage et le broyage, la ménagère africaine les fait séjourner dans l'eau pendant trois à six jours. Il se produit alors une fermentation avec trouble abondant de l'eau, léger dégagement gazeux et développement d'une forte odeur butyrique. Adriaens et Hestermans - Medard (1954) ont montré que cette opération avait l'avantage de réduire considérablement la teneur en acide cyanhydrique.

Tableau 1
Influence du décorticage
Pourcentage de perte par rapport au contenu de l'aliment entier

	Manioc	Sorgho
Matière sèche	19	24
Calories	19	19
Protides	53	25
Lipides	17	64
Glucides totaux	18	22
Indigestible glucidique	54	71
Cendres	37	57
Calcium	48	20
Phosphore total	17	57
Phosphore phytique	17	55
Fer	86	88
Thiamine	57	58
Riboflavine	47	67
Niacine	29	68
Acide ascorbique	38	-

Tableau 2
Influence du rouissage du manioc
Pourcentage de perte (-) ou de gain (+)
par rapport à la racine épluchée non rouie

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

Cependant, le séjour prolongé des racines dans l'eau n'a pas que des effets bénéfiques. Avec la disparition des glucosides cyanogénétiques, il se produit une fuite des éléments nutritifs par dissolution, d'importance variable selon que les racines sont mises à rouir entières ou épluchées.

Le tableau 2 permet de comparer les pourcentages de perte ou de gain en éléments nutritifs de la partie comestible, selon les modalités du rouissage.

Il apparaît qu'il est bien préférable de ne pas peler les racines avant de les faire rouir. On perd ainsi quatre fois moins de protides, douze fois moins de fer, deux à trois fois moins de calcium, phosphore, sels minéraux totaux, thiamine et niacine. Par contre, l'élimination de l'indigestible glucidique est du même ordre de grandeur que lorsque l'épluchage est effectué avant rouissage. L'amélioration du rapport P phytique/P total est cependant moins nette lors du rouissage avec écorce.

La riboflavine mérite une attention toute particulière car le séjour prolongé dans l'eau provoque non plus une perte mais un gain important : 50 p. cent dans le cas du rouissage sans écorce, 66 p. cent dans le cas du rouissage avec écorce. Ces valeurs relèvent une importante synthèse due très certainement à la fermentation qui se produit durant le rouissage des racines. Comme pour les autres principes nutritifs, la présence de l'écorce est nettement plus profitable, d'une part parce qu'elle s'oppose à la dissolution et à la destruction de la vitamine, d'autre part parce qu'il est probable qu'elle apporte les micro-organismes nécessaires à la synthèse.

BROYAGE DU MANIOC ROUI

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

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

La pâte de manioc est utilisée dans trois préparations distinctes

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

SECHAGE, PREPARATION DE FARINES

Séchage - fumage

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

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

Les boules de *vouvou* ou *foufou*, - c'est ainsi qu'on les appelle dans la plupart des ethnies du Cameroun et d'Afrique tropicale - pèsent alors 300 grammes à 1 kilogramme. On les trouve sur les marchés soit encore emballées dans leurs feuilles, soit dénudées. Elles ont une forte odeur de fumée et doivent être superficiellement raclées pour éliminer la croûte noirâtre qui les recouvre. Elles sont ensuite écrasées au pilon ou à la meule dormante ; la farine obtenue est finalement tamisée.

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

Tableau 3
Composition des farines de manioc
 (pour 100 g de matière sèche)

	SECHAGE - FUMAGE			SECHAGE AU SOLEIL	SECHAGE-MIXTE LOCAL AERE - SOLEIL	
	Rouissage Séchage de 15 jours	sans écorce Séchage de 30 jours	Rouissage avec écor- ce	Rouissage avec écor- ce	Rouissage avec écor- ce	Rouissage sans écorce
Nombre d'échantillons analysés	3	2	1	2	1	2
Calories	400	400	400	396	396	400
Protides (g)	0,76	0,75	1,41	0,51	1,75	0,67
Lipides (g)	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2
Glucides totaux (g)	98,3	98,2	97,2	96,2	96,7	98,2
Indigestible glucidique (g)	1,7	1,7	1,9	2,0	1,2	1,5
Cendres (g)	0,74	0,77	1,14	1,74	1,27	0,75
Calcium (mg)	30	31	35	52	38	33
Phosphore total (mg)	49	44	49	73	59	43
Ca/P	0,61	0,70	0,71	0,71	0,64	0,76
Fer (mg)	1,2	1,1	3,9	41,2	3,1	2,6
Thiamine (µg)	37	29	60	62	62	45
Riboflavine (µg)	58	51	103	29	68	38
Niacine (mg)	0,57	0,53	0,90	1,27	1,28	0,71
Acide ascorbique (mg)	0	0	0	0	0	0

Séchage au soleil

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

Le tableau 3 donne la composition de farines de manioc obtenues selon diverses techniques : séchage-fumage, séchage au soleil et séchage mixte soleil-ombre.

Le séchage mixte soleil-ombre est une opération de séchage au soleil que nous avons essayé de conduire à Yaoundé. Mais les conditions climatiques de l'endroit et de la saison nous ont amené à soumettre la farine tantôt au soleil, tantôt à un courant d'air frais et sec dans un local climatisé. Nous en donnons les résultats car ils sont intéressants et peuvent conduire à d'autres essais de séchage.

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

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

Cette pauvreté de la farine fumée en principes nutritifs solubles s'explique aisément par la migration de ces substances vers les parties périphériques de la boule de *vouvou*, migration accompagnant

le départ de l'eau. On s'explique donc aisément l'élimination de ces substances avec la croûte noirâtre périphérique. De plus, la préparation de farine fumée entraîne des pertes de matières sèches avoisinant 50 p. cent du poids sec de la racine entière, supérieures à celles qui se produisent lors de la préparation de farines séchées au soleil ou à l'ombre qui atteignent seulement 28 à 36 p. cent.

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

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

Les divers procédés de préparation des farines de manioc sont efficaces du point de vue de l'élimination des glucosides cyanogénétiques puisque, d'après des résultats de Oke (1968), à partir d'une racine de manioc contenant 38 mg d'acide cyanhydrique pour 100 g de matière sèche, on obtient une farine fumée-séchée à 2,5 mg p. cent seulement et une farine séchée au soleil à 1,0 mg p. cent.

BATON DE MANIOC

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

Ils sont consommés chauds ou froids. Leur principal avantage est de pouvoir être conservés de quatre à sept jours et d'être facilement commercialisables et transportables. Ils constituent, par

conséquent, l'aliment de choix des voyageurs et des célibataires et la recette qu'adoptera volontiers la ménagère qui veut gagner quelque argent en vendant sur le marché le fruit de son travail.

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

La préparation du bâton de manioc permet de récupérer 55 p. cent de la matière sèche, des glucides et des calories et 62 p. cent de la riboflavine de la racine entière. La perte de tous les autres nutriments atteint le plus souvent 70 à 85 p. cent et même 97 à 100 p. cent dans le cas de la vitamine C (tableau 4).

Le Gari

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

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

Le procédé de préparation Bamiléké est très semblable à ceux décrits dans d'autres pays par les auteurs ci-dessus mentionnés. Les racines de manioc, décortiquées et lavées, sont râpées sur une tôle percée à l'aide de grosses pointes. La pulpe, enfermée dans des sacs, est comprimée pendant trois à six jours entre des planches

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

Tableau 4
Préparation du bâton de manioc
Pourcentage de récupération par rapport à la racine entière

	Bâton frais	Bâton de 7 jours
Matière sèche	54	54
Calories	55	55
Protides	18	18
Lipides	18	18
Glucides totaux	56	56
Indigestible glucidique	28	28
Cendres	23	24
Calcium	28	25
Phosphore total	28	27
Phosphore phytique	0	0
Fer	6	6
Thiamine	14	13
Riboflavine	62	53
Niacine	22	21
Acide ascorbique	3	0

pour en extraire le suc. Elle est ensuite grossièrement tamisée pour éliminer les fibres les plus volumineuses et les morceaux épargnés par la râpe. Enfin, elle est déshydratée par passage sur une tôle chauffée à feu doux enduite d'huile de palme pour éviter les adhérences.

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

L'élimination de l'amertume et de la toxicité dues à la présence de glucosides cyanogénériques motive la technologie relativement complexe du gari. Pulpage et fermentation favorisent le contact entre les glucosides cyanogénériques et les enzymes responsables de leur hydrolyse. L'égouttage permet également d'éliminer une partie des substances toxiques. Enfin, le séchage par chauffage sur tôle favorise le départ de l'acide cyanhydrique par volatilisation. Effectivement, Vignoli et Cristau (1950) ne retrouvent aucune trace d'acide cyanhydrique dans les trois échantillons de gari qu'ils ont étudiés, originaires de Côte-d'Ivoire et du Cameroun. En Nigéria, Oke (1966) constate que la teneur en acide cyanhydrique rapportée à 100 g de matière sèche passe de 38 mg dans la racine à 1,9 mg dans le gari.

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

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

En application de cette étude, Collard et Lévi ont ensemencé de la pulpe de manioc avec un mélange de cultures pures de *Corynebacterium manihot* et de *Geotricum candida*. Ils ont pu obtenir ainsi,

Tableau 5
 Influence de chaque phase de préparation du gari
 pourcentage de perte (-) ou de gain (+)

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

en vingt-quatre heures seulement, un gari de goût identique au produit préparé en quatre jours selon la méthode traditionnelle. La durée de préparation peut également être ramenée à vingt-quatre heures en utilisant comme inoculum le jus s'écoulant de la pulpe durant le premier stade de la fermentation et conservé à température ambiante pendant quatre jours. Cette méthode de production accélérée du gari, améliorée encore par Akinrele (1967), devait être adoptée, à l'époque, par certaines sociétés coopératives du Nigéria. Cette expérience s'est développée et je crois qu'une firme anglaise ou américaine commercialise une installation permettant la préparation industrielle de gari.

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

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

Le râpage est très préjudiciable à la vitamine C : on n'en retrouve que 51 p. cent dans la pulpe alors qu'il en reste encore 62 p. cent en moyenne dans la racine épluchée. Cette destruction accrue d'acide ascorbique s'explique aisément par le contact de la tôle métallique et l'action favorable du broyage sur les réactions enzymatiques.

L'ensemble égouttage-fermentation et le tamisage qui suit ont des répercussions notables (tableau 5) :

- 0 à 3 p. cent seulement de la matière sèche, des glucides et des calories, 4 p. cent de l'indigestible glucidique sont éliminés ;
- 21 à 28 p. cent des sels minéraux sont entraînés par égouttage, mais il ne nous est pas possible de préciser ce qu'il advient du fer qui n'a pu être dosé dans la pulpe ;
- 17 p. cent de l'azote disparaît ;
- les pertes de thiamine, niacine et acide ascorbique sont de 29, 34 et 75 p. cent respectivement alors que 6 p. cent seulement de la riboflavine est affectée.

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

Tableau 6
 Cuisson du manioc à l'eau
 préparation du medua-me-mbong
 pourcentage de perte (-) ou de gain (+)

	Perte par cuisson	Perte par lavage prolongé
Matière sèche	- 3	- 33
Calories	- 3	- 32
Protides	- 14	- 58
Glucides totaux	- 2	- 31
Cendres	- 12	- 86
Calcium	- 5	- 2
Phosphore total	- 13	- 76
Phosphore phytique	- 49	- 48
Fer	+ 1	- 57
Thiamine	- 28	- 87
Riboflavine	- 2	- 65
Niacine	- 12	- 93
Acide ascorbique	- 94	-

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

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

Cuisson du manioc à l'eau et préparation de medua-me-mbong

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

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

Le tableau 6 dresse le bilan nutritionnel des deux recettes. Il apparaît à la lecture de ce tableau que le lavage prolongé est bien plus préjudiciable à la valeur nutritive que la simple cuisson. Il entraîne des pertes de thiamine, niacine, sels minéraux totaux, phosphore et protéines deux à huit fois supérieures. La cuisson n'affecte pas le fer, mais le lavage prolongé en élimine 57 p. cent. De même, si la riboflavine et la valeur énergétique sont peu affectées par la cuisson et le rejet des eaux, le lavage prolongé en fait perdre 65 et 32 p. cent respectivement. Seules les pertes de calcium sont plus faibles par lavage que par cuisson. Le rapport P phytique/P total est légèrement plus élevé dans le *medua-me-mbong* que dans la racine simplement cuite, ce qui s'explique aisément puisque le phosphore minéral est généralement plus soluble que le phosphore phytique et que la cuisson a détruit les éventuelles phytases susceptibles d'hydrolyser le phosphore organique.

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

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

TECHNOLOGIE DU SORGHO APRES DECORTICAGE

Broyage

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

Le produit de la mouture est ensuite tamisé pour en isoler la farine et soit un résidu ressemblant fort à une semoule dans le cas du broyage à moteur, soit des fragments de grains cassés dans le cas de la mouture traditionnelle. La semoule est utilisée à la préparation de bouillies et de pâtes ou recyclée dans le broyeur. Les grains cassés sont soumis à un nouveau pilonnage pour être réduits en farine et semoule. Dans les trois opérations que nous avons observées (deux par pilonnage, une par moulin à moteur) la proportion de semoule par rapport à la farine était de 20 à 25 p. cent. Mais selon que la mouture est plus ou moins poussée, au choix de la ménagère, on obtient des proportions variables de farine et de semoule. On peut même, à la limite, obtenir uniquement de la farine. Il est à noter que la perte de matière brute est sensiblement plus élevée dans la méthode traditionnelle que par broyage au moteur car des grains ou leurs fragments jaillissent fréquemment hors de mortier au cours du pilonnage (figure 3). Mais l'échauffement considérable de la farine lors du broyage par moulin provoque une perte notable de vitamines. La thiamine, particulièrement thermolabile, est la plus touchée puisqu'on ne retrouve que 26 p. cent environ de la vitamine du grain entier alors qu'il en reste encore 40 p. cent dans les produits obtenus par broyage au mortier, c'est-à-dire que le broyage au mortier respecte intégralement les vitamines (figure 4).

**Fig.3. RENDEMENT EN INDIGESTIBLE GLUCIDIQUE, CALORIES, PROTIDES ET CENDRES
DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU SORGHO**

Le contenu du grain entier est pris pour base = 100

 Ig=Indigestible glucidique

 Cl=Calories

 Pr=Protides

 Cend = Cendres

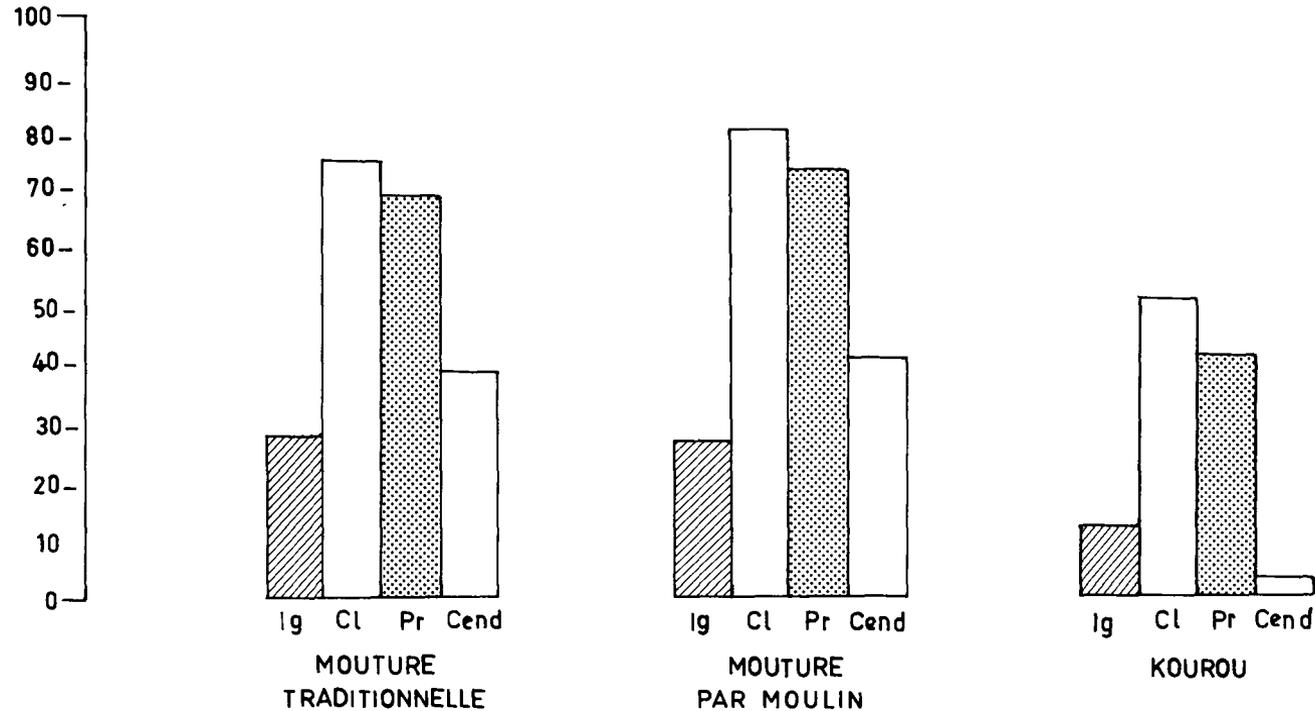
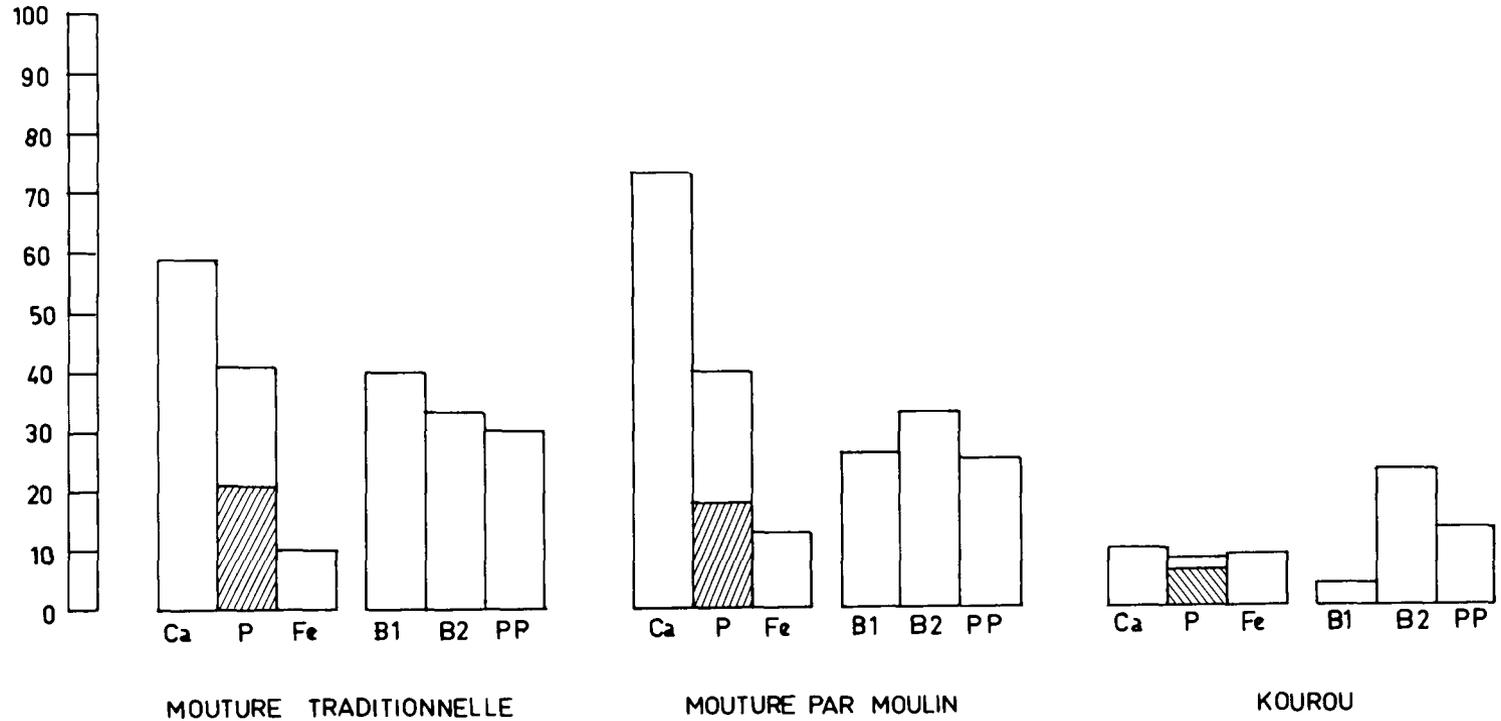


Fig.4. RENDEMENT EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX ET VITAMINES DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DU SORGHO

Le contenu du grain entier est pris pour base = 100

 P total dont, hachuré, P phytique



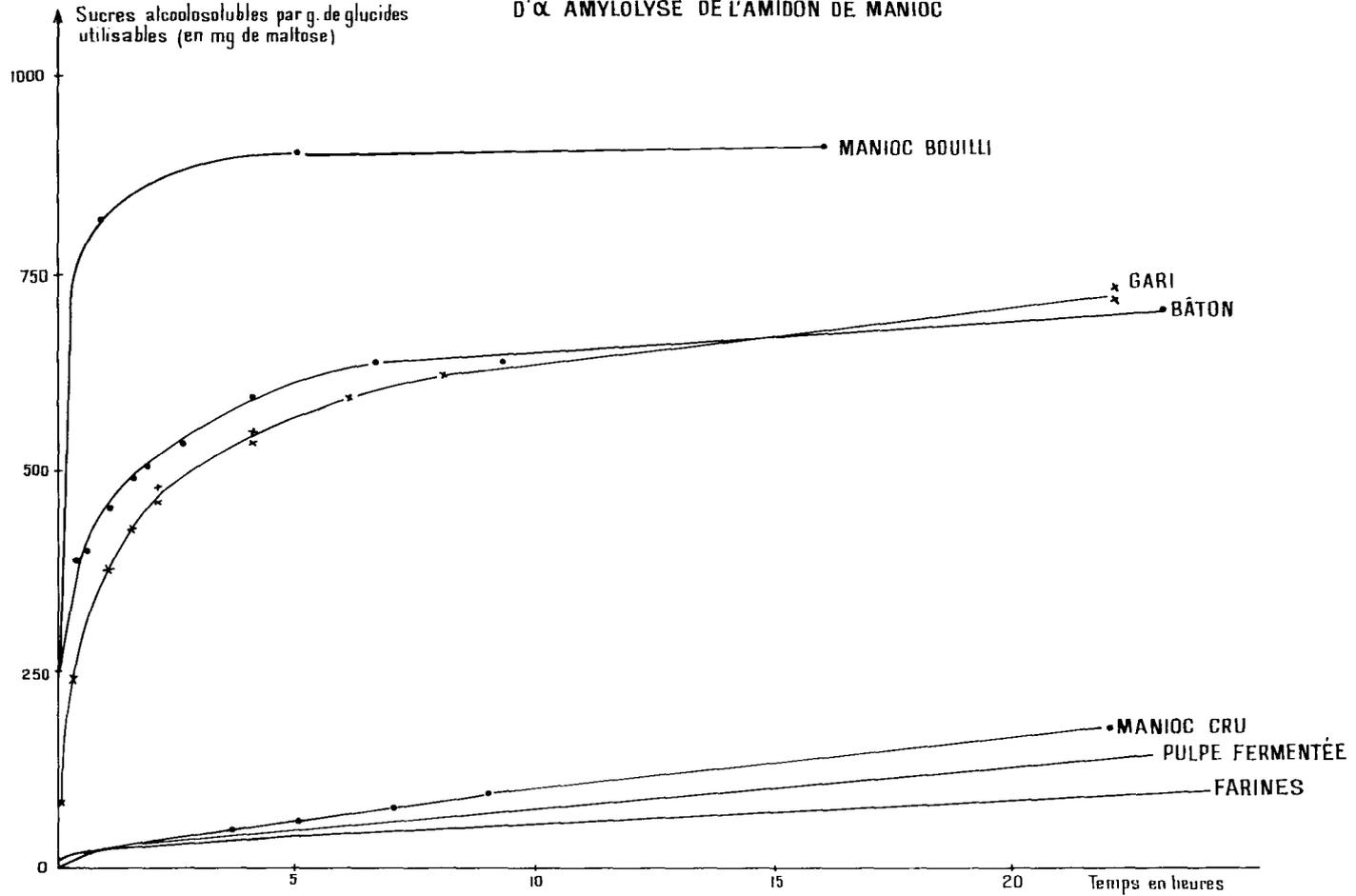
Le broyage par moulin à moteur permet par contre de récupérer un peu plus de minéraux, fer notamment, que le broyage au mortier, mais ce fer est-il utilisable par l'organisme ?

PREPARATION DU KOUROU DE SORGHO

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

Du point de vue nutritionnel, la série de lavages à l'eau auxquels le grain décortiqué puis la semoule et le kourou sont successivement soumis, est très peu favorable. En effet, si 88 p. cent de l'indigestible glucidique est éliminé, ou ne récupère, dans la totalité des fractions comestibles, que la moitié de la matière sèche et des calories du sorgho d'origine, 44 p. cent des protéines et 13 p. cent des matières grasses. Sur le plan des matières minérales et des vitamines, le bilan est encore plus catastrophique : 3 p. cent seulement des cendres, 8 p. cent du phosphore et 10 p. cent de calcium sont retrouvés dans la semoule et le kourou réunis. 95 p. cent de la thiamine, très soluble, 88 p. cent de la niacine et 77 p. cent de la riboflavine sont perdus. On assiste à un véritable lessivage des éléments nutritifs du sorgho qui conduit à des produits très pauvres. Comme le font clairement apparaître les figures 3 et 4, la préparation de farine et semoule par voie sèche est beaucoup plus intéressante sur le plan nutritionnel que la préparation du kourou.

GRAPHIQUE 1
INFLUENCE DE LA TECHNOLOGIE SUR LA VITESSE
D'α AMYLOLYSE DE L'AMIDON DE MANIOC



INFLUENCE DES TECHNIQUES TRADITIONNELLES SUR LA
SENSIBILITE DES AMIDONS DE MANIOC ET DE SORGHO
L'HYDROLYSE ALPHA-AMYLASIQUE

Aucun des traitements technologiques traditionnels autres que la cuisson n'accroît la facilité d'hydrolyse par l'alpha-amylase. Bien au contraire, les amidons de farines de manioc, de sorgho décortiqué, de kourou et de farines desorgho sont attaqués plus lentement que ceux du grain entier de sorgho et de la racine de manioc fraîche (graphique 1 et 2). La chute de la vitesse d'hydrolyse quand on passe du sorgho entier au grain décortiqué et de la racine fraîche de manioc à l'amidon lavé, à la pulpe égouttée-fermentée ou aux farines amène à penser que cette différence n'est pas due à l'état physique du grain d'amidon lui-même mais plutôt, semble-t-il, à la présence dans le grain entier de sorgho et dans la racine fraîche d'amylases dont l'action s'ajouterait à celle de l'alpha-amylase utilisée expérimentalement. Ces amylases seraient éliminées avec le son au cours du décorticage du sorgho ou pendant le rouissage, l'égouttage, la fermentation et le séchage du manioc.

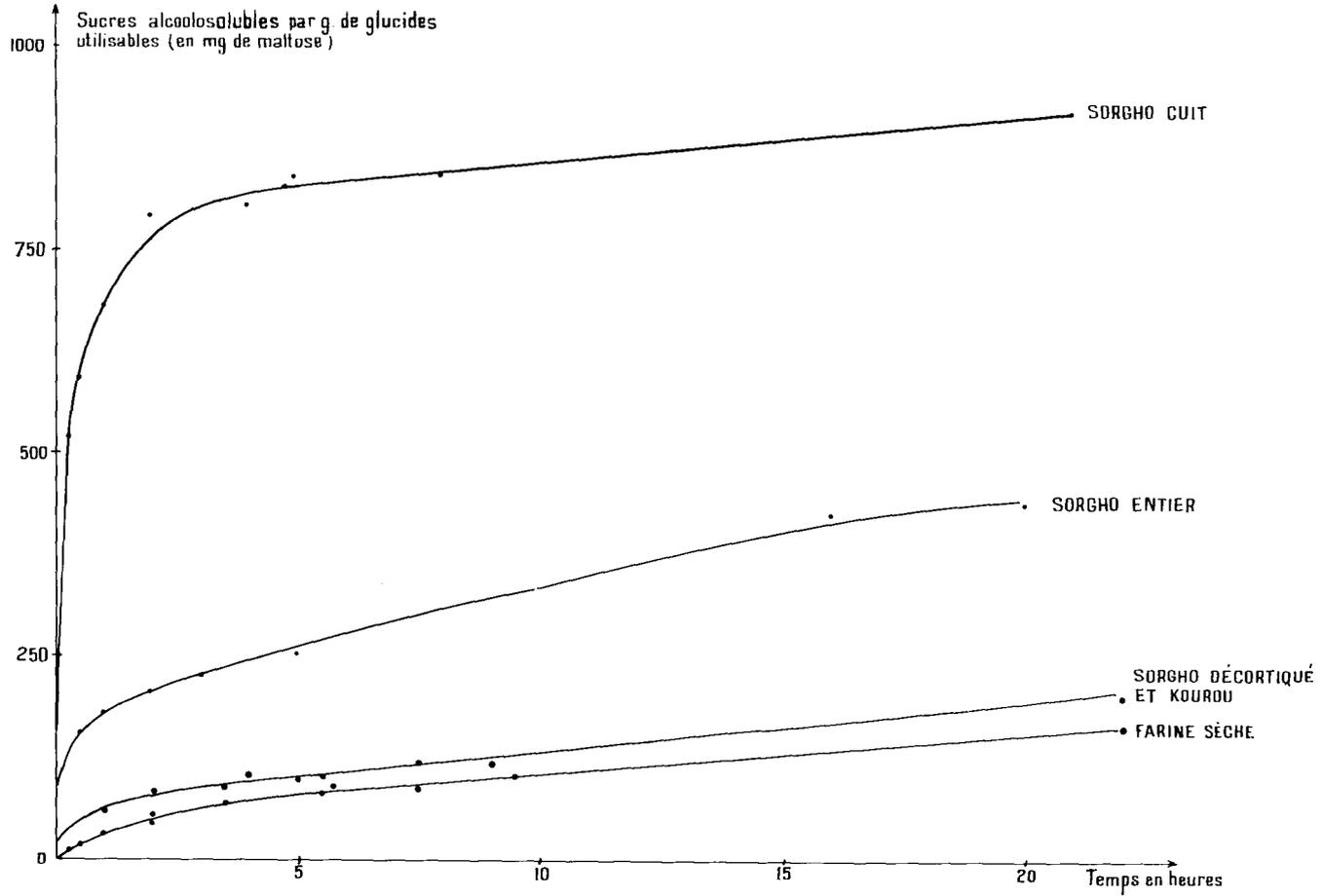
De tous les traitements technologiques étudiés ici, seule l'action de la chaleur intervient pour faciliter l'attaque du grain d'amidon ainsi que le montrent les courbes d'amylolyse de la farine de sorgho cuite, du manioc cuit, du bâton et du gari (graphiques 1 et 2). En particulier, les fermentations, celle du kourou comme celle du gari ou du manioc roui, ne modifient pas la sensibilité du grain d'amidon à l'amylolyse, contrairement à l'hypothèse qu'avaient émise Perisse et al. (1956). Par contre, la cuisson accroît considérablement la vitesse d'hydrolyse. La cuisson apparaît ainsi comme un traitement destiné non seulement à rendre les aliments plus agréables à consommer, mais également plus aisément digestibles.

CONCLUSION

Tous les traitements technologiques traditionnels étudiés ici ont leur raison d'être, qu'il s'agisse d'éliminer la toxicité du manioc ou le complexe glucidique anti-nutritif, d'améliorer la digestibilité et l'appétence ou de permettre la conservation et la commercialisation.

Parmi tous ces procédés, les lavages prolongés à l'eau, utilisés lors des préparations du medua-me-mbong et du kourou de sorgho sont à proscrire car ils éliminent la plus grande partie des nutri-

GRAPHIQUE 2
INFLUENCE DE LA TECHNOLOGIE DU SORGHO SUR LA VITESSE
D'α AMYLOLYSE DE L'AMIDON



ments solubles et aboutissent à des produits presque strictement énergétiques qui aggravent le déséquilibre des rations.

Par contre, les procédés à retenir, qui pourraient être améliorés et utilisés à l'échelle industrielle ou semi-industrielle, sont les suivants :

- le rouissage des racines de manioc avec écorce, qui élimine les glucosides cyanogénétiques provoque une synthèse de riboflavine et limite la fuite des autres nutriments hydrosolubles ;
- la préparation du gari, bonne forme de conservation du manioc, déjà industrialisée ;
- le séchage de la farine de manioc à l'abri de la lumière et en local aéré ;
- la mouture du sorgho par moulin à moteur qui allège considérablement le travail ménager des femmes.

BIBLIOGRAPHIE

ADRIAENS E.L., HESTERMANS-MEDARD O.

— "Remarques à propos de la composition chimique du manioc roui, non roui ou cuit à l'eau". — *Bull. agric. du Congo Belge*, 1954, 14, n°1, 1-26.

ADRIAN J., JACQUOT R.

— "Le sorgho et les mils en alimentation humaine et animale". — Monographies alimentaires. Paris : Vigot, 1964.

AKINRELE I.A.

— Fermentation of cassava". — *J. Sci. Food Agric.*, 1964, 15, 589-594.

AKINRELE I.A.

— "Nutriment enrichment of gari". — *W. Afr. J. Biol. Appl. Chem.*, 1967, 10, n°1, 19-23.

CHEVASSUS-AGNES S., FAVIER J.C., JOSEPH A.

— Technologie traditionnelle et valeur nutritive des bières de sorgho du Cameroun". — *Cahiers de nutrition et de diététique*, 1976, 11 n°2, 89-104.

COLLARD P., LEVI S.

— "A two stage fermentation of cassava". — *Nature*, 1959, 183, 620-621.

De BRUIJN G.H.

— "*Etude du caractère cyanogénétique du manioc*". — Meded. Landbouwhogeschool Wageningen, 71-13.

OKE O.L.

— "Chemical studies on some Nigerian Foodstuffs, *Gari*". — *Nature*, 1966, 1055-1056.

OKE O.L.

— "Cassava as food in Nigeria". — *World Rev. Nutri. Dietet*, 1968, 9, 227-250.

PERISSE J., ADRIAN J., JACQUOT R.

— "Etude in vivo et in vitro de la digestibilité du manioc sous différentes formes : farine entière, farine blutée, fécule et gari". — *Ann. Nut. Alim.*, 1956, 10, n° 2, 13-21.

RAO M.N., SUR G., SWAMINATHAN M., SUBRAHMANYAN V.

— "Effect of milling on the nutritive value of jowar (*Sorghum vulgare*)". — *Ann. Biochem. Exp. Med.*, 1958, 18, n°1, 27-32.

RAYMOND W.D., SQUIRES J.A., WARD J.B.

— "The milling of sorghum in Nigeria". — *Colonial Plant Anim. Products*, 1954, 4, 152-155.

VIGNOLI L., CRISTAU B.

— "Le Gari. Analogies et différences avec le tapioca". *Cahiers coloniaux*, 1950, n°8, 303-308.

WOOT-TSUEN WU LEUNG

— *Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique*. Rome : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1970.

LE MANIOC ET L'INTOXICATION CHRONIQUE AU CYANURE

UNE ENQUETE SUR TROIS ETHNIES CAMEROUNAISES

par Stella Chinwe Efosi Nwigwe

Le *Mahihot esculenta Grantz*, connu habituellement sous le nom de manioc, est l'aliment de base principal de nombreuses populations africaines. C'est une plante arbustive et pluri-annuelle. Elle peut se développer dans toutes sortes de sols, même très médiocres.

Le succès du manioc tient essentiellement à ses qualités exceptionnelles : facilités de culture, résistance aux maladies parasitaires, rendements assurés et relativement élevés, possibilité de conservation dans le sol et disponibilité en toute saison. Le Cameroun fournit 0,9 million de tonnes par an, soit 1 % de la production mondiale.

C'est pourquoi toute étude dont le but serait de rendre cet aliment inoffensif est d'une très grande importance dans notre pays.

La toxicité du manioc est due à la teneur élevée en flucosides cyanogénétiques, en particulier la *linamarine*, présents dans l'écorce interne et les feuilles. Le manioc possède en outre une enzyme endogène, la *linamarase*, qui ne se combine avec le glucoside toxique que lors des manipulations. Malgré les principes de désintoxication traditionnelle, une petite quantité de manihotoxosides se retrouve toujours dans les produits dérivés du manioc. Une consommation abusive de ces dérivés augmenterait le risque d'une intoxication chronique à l'acide cyanhydrique (Money, 1959, Monekosso et al., 1966 ; Osuntokun, 1968, 1969).

Fort heureusement, le foie humain possède une enzyme, la *rhodanèse* qui transforme l'acide cyanhydrique en un produit moins toxique, le thiocyanate 'Oke, 1973'.

Dans les régions à grande consommation de manioc, un régime déficient en acides aminés soufrés, essentiels à la détoxification des glycosides cyanogénétiques du manioc, peut provoquer certaines lésions.

La littérature fait état de la neurotoxicité de l'acide cyanhydrique qui serait à l'origine d'une neuropathie générative chronique se manifestant par une atrophie optique, une surdité bilatérale et une

STELLA CHINWE EFOSI NWIGWE, docteur en médecine, centre universitaire des sciences de la santé [CUSS], Yaoundé.

myélopathie avec ou sans polyneuropathie. Au Nigéria, d'importantes quantités de thiocyanate ont été dosées dans les urines, la salive et le plasma de malades souffrant d'un syndrome identique (Money, 1959 ; Monekosso et al., 1966 ; Osuntokun, 1968, 1969). Ces auteurs ont établi une relation de cause à effet entre l'intoxication cyanhydrique chronique d'origine alimentaire et la polyneurite ataxique tropicale. Par ailleurs, Ekpechi, au Nigéria (1967) suggère la glotrogénicité du manioc non fermenté, idée confirmée par la suite par Aquaron (1973, 1976) au Cameroun.

Partant des études faites en Tanzanie et au Nigéria, nous avons entrepris de faire une enquête afin d'établir si l'intoxication cyanhydrique chronique posait un problème au Cameroun où le manioc est l'aliment de base de plusieurs populations autochtones. Alors que dans d'autres pays le syndrome clinique fut d'abord décrit avant la recherche de l'agent étiologique, nous avons décidé de rechercher les conséquences biochimiques et neurologiques connues de l'intoxication cyanhydrique chronique dans les régions du Cameroun où les populations cultivent, manipulent et consomment de grandes quantités de manioc et de ses dérivés. Il faut souligner que jusqu'à présent, aucun cas de neuropathie chronique dégénérative liée au cyanure n'a été encore rapporté au Cameroun.

De janvier à août 1977, une étude comparative a été entreprise pour déterminer les différences significatives entre les villages d'Achat-Tugi, Nsimeyong-Efoulan et Dibombari.

Les résultats suivants ont été obtenus.

A Dibombari, où la consommation du manioc a été trouvée la plus élevée, la plus grande fréquence d'atteintes neurologiques évocatrices d'une intoxication chronique cyanhydrique a été observée chez les élèves et adultes soumis à l'investigation. La même observation a été valable pour Nsimeyong, autre zone importante de consommation du manioc.

L'étude des taux sériques et salivaires de thiocyanate dans ces mêmes populations a révélé des taux nettement élevés par rapport à un groupe témoin (étudiants du CUSS).

Par contre, à Achat-Tugi où le manioc n'est presque pas consommé, les mêmes atteintes neurologiques ont été très rares.

Nos résultats, en accord avec ceux du Nigéria (Osuntokun, 1969 ; Osuntokun, Monekosso et Wilson, 1969) montrent donc que les lésions neurologiques ont une plus grande incidence dans les zones de consommation importante de manioc. Ce travail, qui a été réalisé en l'absence

d'examens sophistiqués (audiométrie, ophtalmoscopie, biopsie de nerf, etc.), indique que les signes cliniques neurologiques permettent une approche valable du diagnostic de "neuropathie ataxique tropicale", liée à une grande ingestion de manioc.

Cette étude n'est que préliminaire et en appelle d'autres plus poussées et plus complètes dans le but de mieux cerner et individualiser le problème ainsi posé. L'amélioration du niveau socio-économique des populations autochtones pourra prévenir les manifestations neurologiques dues à l'intoxication chronique au cyanure présent dans le manioc.

CONSERVATION DE LA VALEUR NUTRITIONNELLE DE LA GRAINE DE COTON UTILISEE EN ALIMENTATION HUMAINE

par André Cornu

INTRODUCTION

A l'analyse chimique, les graines du cotonnier se révèlent un produit très voisin de la graine d'arachide, susceptible de rééquilibrer certains régimes alimentaires déficitaires.

coton	protéines	: 32	arachide	protéines	: 23,2
(amandes sèches)	lipides	: 34	(décortiquée sèche)	lipides	: 44,8
	glucides	: 23		glucides	: 23
(voir tableau 2b)				(tiré de FAO, 1970)	

Toutefois, on remarque que la consommation des graines du cotonnier apparaît exceptionnelle, marginale. En fait l'utilisation de ces graines en alimentation humaine (et animale) est limitée par la présence de pigments toxiques dans l'amande. Présent à un taux de 0,4 à 1,2 p. cent de l'amande, le gossypol est le pigment le plus abondant. Localisé dans de nombreuses glandes colorées en noir, le gossypol existe sous une forme libre toxique. Lorsque les glandes sont brisées, une fraction de cette forme libre se combine avec les autres constituants cellulaires, dont les groupes epsilon aminés de la lysine, pour donner la forme liée du gossypol dépourvue de toxicité. C'est cette propriété qu'a le gossypol de donner des produits d'addition qui est utilisée dans les méthodes les plus anciennes de détoxification. Il existe en effet des procédés qui permettent de ramener à des valeurs basses les teneurs en gossypol libre des tourteaux de coton, ces opérations se faisant simultanément à l'extraction des lipides (FAO, 1971).

ANDRE CORNU, nutritionniste de l'ORSTOM - Unité de nutrition du Centre d'études des plantes médicinales, IMPM - ONAREST, Yaoundé.

1. La méthode qui a donné la première les meilleurs résultats consiste à extraire par solvant les lipides contenus dans les amandes ayant subi auparavant une extraction partielle par pression. Celle-ci est effectuée dans des conditions moins rigoureuses que celles pratiquées habituellement pour obtenir des tourteaux expellers - température de cuisson légèrement inférieure et temps de cuisson réduit de moitié - ce qui permet de lier le gossypol sans altérer la qualité des protéines. Le produit qui est ensuite dirigé vers l'extracteur contient 10 à 12 p. cent de lipides (contre les 4 p. cent habituels). L'hexane est le solvant le plus couramment utilisé ; il est maintenu à 63° C et l'extraction dure 30 minutes. L'addition de coque (18 p. cent) au cours de la première opération permet d'améliorer les caractéristiques du tourteau final : la teneur en gossypol libre diminue (0,06 p. cent) et la teneur en lysine disponible augmente (1,84 p. cent). On notera toutefois que la teneur en gossypol libre est à la limite de la norme admise par le groupe conseil des protéines pour les Nations Unies (PAG).

L'extraction directe des lipides par l'hexane a le désavantage de donner un tourteau riche en gossypol libre (0,12 à 0,22 p. cent), ce qui exclut toute possibilité d'utilisation pour l'alimentation de l'homme et des animaux.

Par contre, des techniques d'extraction mettant en oeuvre des mélanges de solvants du type acétone-hexane-eau, permettent d'extraire le gossypol en même temps que les lipides (FAO, 1971). Le tourteau obtenu est caractérisé par des teneurs très faibles en gossypol libre, mais élevées en lysine disponible. Toutefois, l'utilisation de l'acétone provoque l'apparition d'une odeur persistante liée au tourteau qui ne peut être évitée que dans des conditions strictes d'extraction (pureté du solvant - qualité du matériel).

Des procédés plus récents font intervenir la séparation par centrifugation des différentes fractions de l'amande réduite en farine. Le *liquid cyclone process* permet ainsi de séparer les glandes à gossypol et les lipides du reste de l'amande qui donne un résidu très riche en protéines (65 à 70 p. cent) de bonne qualité, la teneur en gossypol libre étant fixée à 0,04 p. cent (Gastrock, 1968). Des techniques semblables conduites à sec sur des tourteaux délipidés ont été essayées (*concentrates by air classification*) mais n'ont jamais été utilisées commercialement.

Enfin, nous ne ferons que citer la possibilité d'obtenir par voie chimique des isolats protéiques (Lawhon, 1970). Les techniques sont intéressantes mais constituent des solutions assez mal adaptées au problème de la malnutrition dans les pays économiquement faibles. Les principales méthodes de détoxification que nous venons de citer donnent des tourteaux dont la teneur en gossypol libre est inférieure

à la norme recommandée (0,06 p. cent). Toutefois l'impossibilité technique d'éliminer totalement ce principe toxique, a considérablement limité l'utilisation en alimentation humaine des produits dérivés de la graine de coton. Nous devons cependant mentionner le succès obtenu par l'INCAP (Ballarin - 1970, Shaw - 1970) avec la mise au point d'un aliment composé à base de farine de maïs, de farine de sorgho et de farine de graines de coton dégossypolée (38 p. cent). Suivant cet exemple, un mélange du même type, contenant 56 p. cent de farine de coton, a été commercialisé au Pérou.

2. Des perspectives nouvelles d'utilisation de la graine de coton sont apparues depuis que des variétés de cotonniers dites "glandless", pratiquement dépourvues de glandes à gossypol, ont été sélectionnées.

L'élimination des glandes par voie génétique modifie en les simplifiant les problèmes de transformation de la graine.

Tout d'abord, on peut envisager la consommation immédiate de l'amande après décortilage de la graine. Cette unique intervention mécanique n'a aucune influence sur la valeur nutritionnelle de l'amande. De plus, il nous paraît important que le décortilage soit réalisé immédiatement, avant la consommation de l'amande. Ainsi la coque exerce jusqu'à l'étape ultime son rôle de protection et de conservation de la denrée consommable. Cette solution que nous proposons nous paraît intéressante à double titre. Tout d'abord elle est simple ; ensuite elle met en oeuvre des denrées produites localement. On remarquera en effet que la zone de culture du coton coïncide avec la position de la plupart des pays qui souffrent de malnutrition. La concrétisation de cette possibilité d'utilisation suppose le remplacement des plants traditionnels par les variétés "glandless".

La production d'huile de coton étant un des objectifs de la culture du coton, l'amande entière n'est pas toujours disponible et il est nécessaire d'envisager la consommation du tourteau ou de la farine qui en est issue après raffinage. On remarquera tout d'abord que l'étape de pré-pression n'est pas nécessaire dans les huileries fonctionnant par solvant. Le risque de dénaturation des protéines est donc éliminé à ce niveau. Si l'extraction est réalisée uniquement par pression, il est important que la teneur en lipides des tourteaux soit aussi faible que possible. Compte tenu des conditions climatiques tropicales ou subtropicales, la conservation de produits gras est extrêmement difficile. L'acidité libre des lipides d'un tourteau (obtenu sur une presse ancienne) évolue très rapidement après plusieurs mois de stockage et peut atteindre des valeurs anormalement élevées (tableau 1). Par contre l'intérêt de délipider parfaitement ces produits semble bien démontré par la bonne conservation de la farine mise en opposition à ce tourteau.

TABLEAU 1

Indice d'acidité des matières grasses
(mg de potasse nécessaire pour neutraliser les
acides gras libres de 1 g de matières grasses)

	A la livraison	Après 6 mois de stockage	
		Température ambiante	Congélateur
Farine glandless 4,0 % lipides	7,4	8,9	10,5
Tourteau glandless 21,6 % lipides	73,3	164,1	93,3

TABLEAU 2a

Composition chimique de la farine "glandless"

	P. cent g de matière sèche	P. cent g de matière fraîche	Recommandations PAG 1972 p. 100 g de matière fraîche
Eau (g)	-	5,1	10,0 maximum
Protides (N x 6,25) g	59,1	56,1	50,0 minimum
Lipides (g)	4,0	3,8	6,0 maximum
Glucides totaux (g)	28,5	27,0	-
Insoluble formique (g)	7,14	6,78	-
Cendres (g)	8,4	8,0	-
Calcium (mg)	171	162	-
Phosphore (mg)	1.629	1.546	-
Ca/P	0,10	0,10	-
Sodium (mg)	32	30	-
Potassium (mg)	1.894	1.797	-
Fer (mg)	20	19	-
Insoluble chlorhydrique (mg)	39	37	100 maximum
Thiamine (mg)	2,50	2,38	-
Riboflavine (mg)	0,35	0,33	-
Pyridoxine (mg)	0,95	0,90	-
Niacine (mg)	4,48	4,25	-
Acide pantothénique (mg)	1,24	1,18	-
Folate (mg)	0,36	0,34	-
Biotine (mg)	0,05	0,05	-

En résumé, nous pouvons donc souligner les facilités que présentent, du seul point de vue technologique, les varités "glandless". Jusqu'à présent la plupart des pays producteurs de coton ne disposaient pas de l'arsenal technologique nécessaire à la détoxification du coton, le matériel étant inexistant ou inadapté. Ce qui explique le peu de valeur accordée aux graines. Désormais il convient de tenir compte de ce potentiel alimentaire et de le valoriser. Pour cela des contrôles sont nécessaires qui fassent la preuve des qualités nutritionnelles et hygiéniques des produits dérivés de la graine. Les données chiffrées que nous présentons sont tirées d'un travail réalisé en 1975 (Cornu, 1977), avec des amandes entières et avec une farine de graines de coton sans gossypol.

3. La composition chimique de cette farine figure dans le tableau 2 a. L'intérêt d'un produit de ce type réside dans sa richesse en protides. Cependant l'indice chimique calculé par rapport aux protéines de l'oeuf ne dépasse pas 47, l'isoleucine étant le facteur limitant primaire. La teneur en lysine disponible est inférieure à celle recommandée par le PAG : 3,3 g pour 16 g d'azote contre 3,6 g. Cette insuffisance rappelle qu'une parfaite maîtrise de la fabrication est indispensable si l'on veut que la valeur biologique du produit ne soit pas altérée.

La farine est peu humide et sa teneur en lipides résiduels assez faible. Ces deux caractéristiques sont nécessaires à une bonne conservation.

Bien que la mouture de la farine soit très fine, la teneur en insoluble formique n'est pas négligeable. Ceci correspond à des débris de coques et de linter que le tamisage n'a pu éliminer. Cela n'est pas sans conséquence sur les qualités sensorielles des plats contenant du coton qui acquièrent une certaine amertume. Le décorticage des graines devra donc être considéré comme une étape délicate.

L'analyse bactériologique révèle un nombre de germes qui varie selon les lots entre cent mille et un million par gramme de farine. Des germes indologènes et coliformes ainsi que des *Eschérichia Coli* sont présents en faibles quantités. Cependant aucun staphylocoque pathogène et aucune salmonelle n'ont été trouvés. La qualité bactériologique de la farine est dans l'ensemble jugée médiocre, voire insuffisante pour certains lots. Toutefois n'étant consommée qu'après cuisson (ébullition ou friture), la farine demeure utilisable en alimentation humaine. Ceci nous conduit à préconiser des mesures d'hygiène strictes au cours de la fabrication et de la manipulation des produits. Un emballage hermétique est indispensable sous les conditions climatiques tropicales ; des sacs en polyéthylène conviendraient

TABLEAU 2b

Composition chimique des amandes sans gossypol

		P. 100 g de <u>matière sèche</u>	P. 100 g de <u>matière frai-</u> <u>che</u>
Eau	g	-	4,9
Protides	g	33,6	31,9
Lipides	g	35,5	33,7
Glucides	g	20,1	19,2
Insoluble formique	g	4,4	4,2
Cendres	g	6,4	6,1

TABLEAU 3

Mycoflore de la farine "glandless"
(nombre de germes par g de farine)

	LOT I	LOT 2	LOT 3
<i>Absidia corymbifera</i>	230	30	30
<i>Aspergillus candidus</i>	-	-	traces
<i>Aspergillus flavus</i>	30	30	230
<i>Aspergillus fumigatus</i>	-	traces	30
<i>Aspergillus niger</i>	60	30	400

parfaitement, avec une doublure extérieure en polypropylène tressé. Nous avons pu vérifier par ailleurs la rapidité de la pollution bactérienne sur un tourteau grossier : 10 000 indologènes, 1 000 coliformes, 200 *Eschérichia Coli* par gramme d'échantillon.

L'analyse mycologique est présentée dans le tableau 3. La plupart des lots de farine contiennent des moisissures dont certaines sont capables de modifier la valeur nutritionnelle de la farine. C'est le cas d'*Absidia Corymbifera* qui fait disparaître la méthionine (Morquer, 1971). La présence d'*Aspergillus Flavus* peut entraîner une synthèse d'aflatoxine. A cette réserve près la farine semble utilisable en alimentation humaine. La pollution des graines de coton par les moisissures est très liée aux conditions de stockage (Griffin, 1978). Des locaux abrités, bien aérés sont indispensables à la non contamination des amandes.

Les recherches d'aflatoxines se sont révélées négatives. En ce qui concerne les teneurs en gossypol, elles ne dépassent pas 0,02 p. cent pour le gossypol libre et 0,1 p. cent pour le gossypol total. Ces teneurs, à la limite de la précision du dosage, apparaissent comme négligeables. Rappelons que les recommandations du PAG sont de 0,06 p. cent pour le gossypol libre et 1,2 p. cent pour le gossypol total. La farine étant par ailleurs exempte de toute trace de solvant et de pesticides, elle peut être utilisée sans danger.

Nous avons testé les possibilités d'utilisation de cette farine en l'incorporant aux plats de base des populations de la zone soudano-sahélienne du Cameroun et du Tchad. Des tests d'acceptabilité organoleptique ont été réalisés et nous avons retenu que la farine de coton constitue une denrée très appréciée dans la confection des sauces, et à un moindre degré dans celle de bouillies et des beignets.

Il est évident que les recherches qui visent l'amélioration des régimes alimentaires s'adressent avant tout aux groupes sociaux les plus vulnérables, en particulier aux enfants. C'est pourquoi nous avons mis en place un essai afin de faire la preuve que la farine de coton est bien tolérée par l'organisme et qu'elle constitue une supplémentation protéique efficace.

Il a été réalisé avec cinquante huit enfants âgés de cinq à six ans regroupés dans un jardin d'enfants. De milieu social homogène, ces enfants sont séparés en deux groupes comparables au début de l'expérimentation. Bien qu'accusant un déficit pondéral léger, ces enfants sont tous en bonne santé. Dans les deux groupes, les critères anthropométriques, poids en fonction de l'âge, poids en fonction de la taille, taille en fonction de l'âge, représentent respectivement 83, 89 et 97 p. cent des standards de Harvard (Stuart, 1959), ce

qui constitue une forme de malnutrition protéino-énergétique très modérée. Une déparasitage intestinal systématique est réalisé par la distribution de deux comprimés de Mintézol dosés à 500 mg, pris à vingt quatre heures d'intervalle, au début de l'expérimentation. Celle-ci s'est poursuivie pendant vingt six semaines avec trois interruptions, l'une correspondant à une épidémie de varicelle qui a entraîné la fermeture du jardin d'enfants, les deux autres ayant été consécutives aux vacances scolaires trimestrielles. A la fin de l'essai, les effectifs étaient tombés à vingt huit et vingt deux enfants dans chacun des groupes, par suite du changement de résidence des parents.

Au cours de ces six mois, l'évolution du poids, de la taille, de la circonférence de bras à mi-hauteur et de l'épaisseur du pli cutané tricipital a été suivie. Pendant toute la durée de l'expérience, les enfants ont reçu chaque matin une bouillie en supplément des repas pris normalement à la maison, soit cinq jours par semaine. Le groupe dit "témoin" a reçu une bouillie de mil sucrée, alors que le groupe expérimental a reçu une bouillie de mil sucrée contenant environ 71 p. cent de farine de graines de coton sans gossypol.

Le PAG (1972) recommande que la protéine testée assure la moitié de l'apport quotidien de sécurité. Compte tenu du faible indice chimique de la farine de graines de coton, et du fait que la bouillie vient en supplément des repas familiaux, nous n'avons pas pu respecter cette directive. Il aurait fallu pour cela :

- soit préparer une bouillie presque exclusivement constituée de farine de coton dont les qualités organoleptiques auraient été médiocres
- soit exiger des enfants l'ingestion d'une grosse quantité de bouillie, dépassant de loin ce que leur appétit leur permet.

En fait, la bouillie que nous avons préparée apporte 14,5 g de protéines de coton, soit 30 p. cent de l'apport de sécurité. Les deux bouillies sont isocaloriques et ont une teneur en matière sèche identique (18 p. cent). Les enfants de deux groupes reçoivent chaque jour une même quantité de matière sèche (environ 37 g) et de calories (environ 130 calories) (tableaux 4a et 4b). En revanche, les enfants du groupe expérimental reçoivent 15 g de protéines, alors que ceux du groupe témoin ne reçoivent que 2,5 g de protéines de mil.

Les différences de croissance observées après six mois d'expérimentation sont supérieures pour tous les paramètres anthropométriques dans le groupe d'enfants ayant consommé la farine sans gossypol. Cependant, seule la différence de croissance pondérale est statistiquement significative : 1 290 grammes contre 360 grammes (Tableau 5).

TABLEAU 4a

Composition et apports de la bouillie de mil

	Composition p. 100 g de mat. sèche			Quantités consommées /jour/enfant		
	Ingré- dients g	Protéi- nes g	Calories	Ingré- dients g	Protéi- nes g	Calories
Mil	85	6,8	293	31,5	2,5	108,7
Farine de coton	-	-	-	-	-	-
Sucre	15	-	57	5,6	-	21,3
TOTAL	100	6,8	350	37,1	2,5	130

TABLEAU 4b

Composition et apports de la bouillie de coton

	Composition p. 100 g de mat. sèche			Quantités consommées /jour/enfant		
	Ingré- dients g	Protéi- nes g	Calories	Ingré- dients g	Protéi- nes g	Calories
Mil	16,3	1,3	56,2	6	0,5	20,7
Farine de coton	70,6	39,5	247	26	14,5	91
Sucre	13,1	-	49,8	4,8	-	18,3
TOTAL	100	40,8	353	36,8	15	130

TABLEAU 5

EVOLUTION DE DIFFERENTS PARAMETRES ANTHROPOMETRIQUES CHEZ
LES ENFANTS DU GROUPE TEMOIN ET DU GROUPE EXPERIMENTAL APRES
SIX MOIS DE CONSOMMATION DE BOUILLIE (MOYENNE \pm ECART TYPE)

($n_1 = 28$; $n_2 = 22$)

Caractéristiques anthropométriques	Groupe témoin		Groupe expérimental		P *
	au départ	à 6 mois	au départ	à 6 mois	
Poids en kg	16,48	17,34	16,80	18,09	$< 10^{-3}$
Gain (kg)	$\pm 1,63$	$\pm 1,72$	$\pm 1,70$	$\pm 1,69$	
	0,86		1,29		
Taille en cm	109,1	112,3	109,9	113,4	> 0.5
Gain (cm)	$\pm 4,9$	$\pm 4,6$	$\pm 5,0$	$\pm 4,7$	
	3,2		3,5		
Circonférence du bras à mi-hauteur	152,6	156,3	152,0	156,1	> 0.5
Gain (mm)	$\pm 8,0$	$\pm 9,4$	$\pm 8,6$	$\pm 8,6$	
	3,7		4,1		
Circonférence des muscles du bras à mi-hauteur	127,5	134,5	128,9	136,3	> 0.5
Gain (mm)	$\pm 7,9$	$\pm 8,5$	$\pm 8,2$	$\pm 8,9$	
	7,0		7,4		

* probabilité que la différence observée entre les gains du groupe témoin et ceux du groupe expérimental soit due au hasard.

On considère que la différence est significative lorsque $P < 0,05$.

Compte tenu de la durée de l'essai et des quantités de farines ingérées, nous pouvons dire que ces résultats sont satisfaisants. Ils auraient été encore plus probants si nous avions pu contrôler l'alimentation et donner une part plus importante à la farine de coton. Toutefois il est clair que cette dernière, même consommée en faible quantité, est capable d'assurer une croissance normale et permet de réduire les déficits de poids et de stature. Le tableau 6 montre que ces déficits, surtout en ce qui concerne le poids en fonction de l'âge, ont évolué de manière plus favorable dans le groupe consommateur de farine de coton : 68 p. cent des enfants ont un déficit pondéral réduit dans le groupe expérimental contre 28 p. cent dans le groupe témoin. Parallèlement, 23 p. cent seulement ont un déficit augmenté contre 61 p. cent dans le groupe témoin.

La comparaison des valeurs individuelles, exprimées en pourcentage des standards de Harvard, permet de montrer, dans le groupe témoin, une évolution défavorable du critère poids en fonction de la taille. On enregistre par contre une amélioration significative du poids en fonction de l'âge et de la taille en fonction de l'âge dans le groupe expérimental.

Aucun problème d'acceptabilité ou de tolérance ne s'est manifesté chez les enfants vis-à-vis de la farine de coton. La palatabilité de la bouillie au coton était bonne puisque aucun refus de consommation n'a été observé.

Sur le plan physiologique, aucun cas de troubles intestinaux, diarrhée, constipation, perte d'appétit, vomissement ou flatulence ne nous a été signalé.

Cet essai a été complété par l'étude sur rats de la valeur nutritive de la farine de coton (Tableaux 7a et 7b).

L'échantillon a été expérimenté comme seule source de protéines chez des rats en croissance, dans des régimes établis de manière à satisfaire autant que possible les besoins des animaux. La farine de coton était supplémentée en isoleucine, méthionine et lysine. La digestibilité de la matière organique du régime, qui renfermait 260 g de farine de coton par kg de matière sèche a été voisine de celle du régime témoin à base d'amidon et de farine de hareng. Le coefficient d'utilisation digestive apparent des matières azotées de la farine de coton n'a été que très légèrement inférieur à celui du régime témoin et malgré tout élevé, de même que le coefficient de rétention azotée. Dans une deuxième expérience réalisée sur deux semaines, la croissance des animaux a été légèrement supérieure à celle du témoin, mais non significativement différente. Elle a été obtenue grâce à une consommation d'aliment élevée.

TABLEAU 6

Evolution du nombre d'enfants présentant un déficit de poids ou de taille après six mois de consommation de bouillie de mil et de bouillie de coton

Paramètres	Groupe témoin		Groupe expérimental	
	nombre d'enfants	%	nombre d'enfants	%
•Poids en fonction de l'âge				
- déficit augmenté	17	61	5	23
- déficit identique	3	11	2	9
- déficit réduit	8	28	15	68
•Taille en fonction de l'âge				
- déficit augmenté	4	14	1	5
- déficit identique	15	54	13	58
- déficit réduit	9	32	8	37
•Poids en fonction de la taille				
- déficit augmenté	16	57	8	36
- déficit identique	5	18	3	14
- déficit réduit	7	25	11	50

- les déficits ont été évalués en exprimant les paramètres mesurés en pourcentage des paramètres idéaux donnés pour les enfants de même âge (normes de Harvard).

TABLEAU 7a

Expérience de digestibilité sur le rat

	Régime témoin (farine de poisson) valeurs moyennes	Régime expérimental (farine de coton) valeurs moyennes
CUD a matière sèche	92	91,7
CUD a matière organique	95	94,0
CUD a matière azotée du régime	87	85,4
CUD a matière azotée de l'aliment	-	85,1
CUP	58,00	56,0

TABLEAU 7b

Expérience de croissance sur le rat

	Régime témoin (farine de poisson)	Régime expérimental (farine de coton)
Gain de poids g/j	5,89 \pm 0,26	6,41 \pm 0,73
MS ingérée g/j	16,12 \pm 1,48	18,00 \pm 1,32
MA ingérée g/j	2,19	2,60
CEP	2,69	2,47
Indice de consommation	2,74	2,80

- . L'ensemble de ces résultats semble montrer que la farine de coton étudiée est très bien utilisée par l'animal, à condition d'être correctement supplémentée en acides aminés.
- . Ces résultats sont très satisfaisants. Aussi la dernière étape de notre démarche a-t-elle été de procéder à des essais de vente de la farine et de l'amande sur les marchés locaux.

Trois localités ont été retenues pour ces essais. Amandes et farine ont été vendues au même prix afin de les mettre en compétition et le prix de vente d'un kilogramme de chacun de ces produits a été aligné sur celui du mil, soit 25 F CFA le kg ce qui correspondait aux indications données par Laure (1974) concernant le coût de revient de ces produits.

Compte tenu des faibles quantités de farine dont nous disposions (45 kg), reliquat des autres expérimentations, nous ne pourrions conclure significativement. Par contre le stock d'amandes était illimité.

Ainsi 4,5 tonnes d'amandes ont été vendues en douze semaines ce qui confirme les résultats d'acceptabilité organoleptique et permet de conclure de façon positive quant à l'accueil qui a été réservé à ce produit.

* * *

L'ensemble de ces résultats nous a donc permis de montrer que, dans des conditions bien déterminées, les produits dérivés de la graine de coton peuvent constituer des denrées susceptibles d'améliorer les régimes alimentaires des populations.

Nous avons vu que cette possibilité constitue une solution locale qui ne nécessite pas d'investissement coûteux.

Enfin, si nous comparons le prix de revient d'un kilogramme de farine et le prix d'un kilogramme de viande de zébu, nous constatons que les protéines de la graine de coton coûtent nettement moins cher que celles de la viande du zébu.

Nous espérons que ce dernier point conduira les responsables des services de santé à prendre position pour la valorisation d'un potentiel alimentaire disponible pour tous.

NOTES

- . L'étude sur rats de la valeur nutritive de la farine de coton a été réalisée au laboratoire d'études du métabolisme azoté de l'INRA (Theix).
- . Les dosages microbiologiques des vitamines du groupe B ont été réalisés par le Service des vitamines de l'Institut Pasteur (Lyon).
- . Le dosage du gossypol a été réalisé par le Centre de technologie et de chimie de l'IRCT (Nogent).
- . Les analyses bactériologiques ont été effectuées par le laboratoire de bactériologie alimentaire et industrielle (Paris) et par le laboratoire de l'IEMVT (N'Djamena).
- . L'analyse mycologique a été effectuée par le laboratoire de biologie végétale de la Faculté des sciences (Brest).
- . La recherche des aflatoxines a été effectuée à l'Ecole nationale de meunerie et des industries céréalières (Paris).

Nous remercions vivement tous ces laboratoires pour leur contribution à ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

BALLARIN O.

— "Marketing of protein foods in Latin America". — Rome : FAO/WHO/UNICEF PAG, september 1968 meeting. Document 22/4.

CORNU A., DELPEUCH F., FAVIER J.C.

— "Utilisation en alimentation humaine de la graine de coton sans gossypol et de ses dérivés". — *Annales de la nutrition et de l'alimentation*, 1977, 31, 3, 349-364.

FAO.

— "Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique". — FAO Department of Health and Welfare. Etats-Unis, 1970. — (documents sur la nutrition ; 3).

FAO.

— "Technology of the production of cottonseed flour for use in protein foods". — *Agricultural services bulletin n° 7*. — Rome : Agricultural services division, 1971.

GASTROCK E.A.

— "The application of liquid cyclone to protein of high quality cottonseed concentrate" / Paper presented at the 17th Cottonseed processing Clinic. New Orleans, February 1968.

GRIFFIN A.C.

— "Aflatoxin in cotton after harvesting". — *Postharvest Pathology and Mycotoxins*, 1978, 68, 119-112.

LAURE J.

— *Rapport sur l'acceptabilité du coton sans gossypol*. — Paris : IRCT, SWAE. Tome 1. — 1973.
Tome . — 1974.

LAWHON J.T., CATER C.M., MATTIL K.F.

— "Preparation of a high - protein low-cost nut-like food product from glandless cottonseed kernels". — *Food Technology*, 1970, 24, 701-704.

MORQUER R., REDON P., ROQUEBERT-HUBERT M.F.

— "Action de quelques champignons toxiques des fourrages sur le métabolisme des animaux". — *Bull. soc. mycol. fr.*, 1971, LXXXVII, 101-120.

PAG (Protein Advisory Group).

— Guideline on protein-rich mixing for use as supplementary food. — *PAG guideline*, 1972, n°8.

SHAW R.L.

— "The acceptability of Incaparine". — *PAG bulletin*, 1970, n°9, 16-17.

STUART H.C., STEVENSON S.S.

— *Physical growth and development*, Nelson W. ed. Textbook of pediatrics. — 7th ed. — Philadelphia : Saunders, 1959.

EVOLUTION AU COURS DE LA CONSERVATION DES POTENTIALITES NUTRITIONNELLES DE QUELQUES ESPECES D'IGNAMES CULTIVEES AU CAMEROUN

par Serge Treche

Les plantes à tubercules constituent la nourriture de base d'une grande partie de la population camerounaise. La production d'ignames qui s'élève à environ 250 000 tonnes représente environ 15 % de la production totale camerounaise de racines et de tubercules⁹.

Bien que dans presque tous les pays la production d'ignames soit en régression, elle apparaît comme étant en légère progression au Cameroun⁸ ; l'existence de cultivars bénéficiant de bons rendements à l'hectare (18-a) et l'attachement des populations à cette culture en sont les raisons principales.

Les travaux menés depuis 1975 dans notre laboratoire (¹⁶⁻¹⁷
^{18 - 19}) ont porté sur des cultivars des espèces les plus répandues au Cameroun : Ex Jakiri pour *Dioscorea dumetorum*, Ex Batibo et Ex Oshei pour les espèces *Dioscorea cayenensis* et *Dioscorea rotundata* que les taxonomistes regroupent maintenant en un groupe complexe *D. cayenensis* *D. rotundata*¹⁰.

Les tubercules ont été cultivés à la station IRAF de Bambui (Ouest Cameroun) selon des dispositifs en blocs de FISCHER regroupant des parcelles de trente pieds chacune correspondant aux différentes variantes expérimentales ; les plantations ont eu lieu à la fin des saisons sèches (février-mars) avec une densité de plantation, recommandée comme optimale, de 15 000 pieds/hectare⁹.

Au cours de différents essais, nous avons étudié le comportement des tubercules récoltés à maturité pendant la conservation selon le mode traditionnel (sur des clayettes abritées du soleil, ⁵), le cas particulier de *D. dumetorum* soumis au phénomène de durcissement et l'influence de la maturité à la récolte sur l'aptitude à la conservation des cultivars de *D. cayenensis*-*D. rotundata*.

SERGE TRECHE, chargé de recherches ORSTOM, Unité de nutrition du Centre d'études des plantes médicinales, IMPM-ONAREST, Yaoundé

I. APTITUDE A LA CONSERVATION DES IGNAMES RECOLTES A MATURE

Différents auteurs (1-4-5-7-14) ont montré que la conservation des ignames s'accompagne d'une perte de poids résultant principalement d'une déshydratation des tubercules mais aussi de leur respiration responsable de pertes non négligeables de matière sèche.

Les principaux facteurs de variation connus de l'aptitude à la conservation sont l'espèce, la variété, les conditions de conservation (hygrométrie, température), d'éventuelles blessures à la récolte ou attaques par les micro-organismes et les prédateurs et l'âge physiologique au moment de la récolte.

La levée de dormance qui se traduit par une mobilisation des réserves, une activation de l'intensité respiratoire et un accroissement important de la déshydratation¹, est en grande partie responsable des pertes de poids qui surviennent au cours de la conservation.

La pourriture n'intervient qu'en cas de contamination ; elle n'est souvent pas apparente et elle active la respiration des tubercules.

Nos observations ont porté sur la date et l'importance du débourrement des bourgeons, les manifestations de pourriture, les pertes de poids et l'évolution de la composition chimique des tubercules.

Les tubercules expérimentaux ont été récoltés en début de saison sèche, dix mois après la plantation, et transportés à Yaoundé. Pendant la période de conservation les moyennes mensuelles des températures minimales et maximales ont varié respectivement entre 18 et 19° C et entre 29 et 31° C ; l'humidité relative moyenne, proche de 100 % pendant la nuit, était de 62 % au milieu de la journée.

1.1. Sortie de dormance, pourriture, pertes de poids

Au moment de la récolte, les tubercules avaient terminé leur croissance depuis quatre semaines pour *D. cayenensis*, environ six semaines pour *D. dumetorum* et huit semaines pour *D. rotundata*^{18-a}. De ce fait une forte proportion des pieds d'ignames avait commencé à bourgeonner (figure 1 : respectivement 52, 36, 17 % pour *D. cayenensis*, *D. dumetorum* et *D. rotundata*). Après deux mois de conservation, les pieds, dans leur quasi totalité, avaient terminé leur repos végétatif.

1-4-5-7-14 Renvoi aux références bibliographiques page 272.

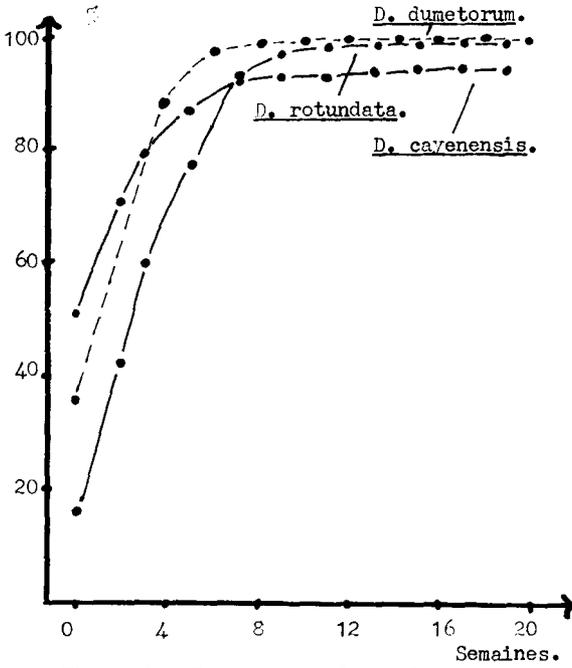


Figure I : Pourcentage de pieds ayant au moins un bourgeon en fonction de la durée de conservation.

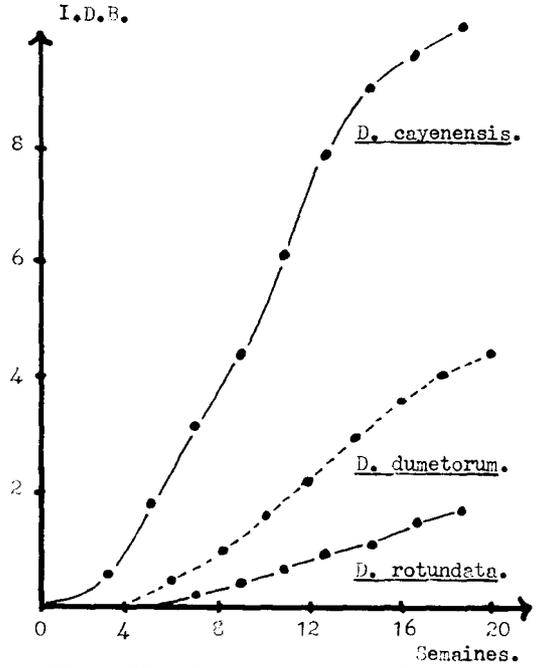


Figure II : Evolution de la valeur de l'indice de développement des bourgeons avec la durée de conservation.

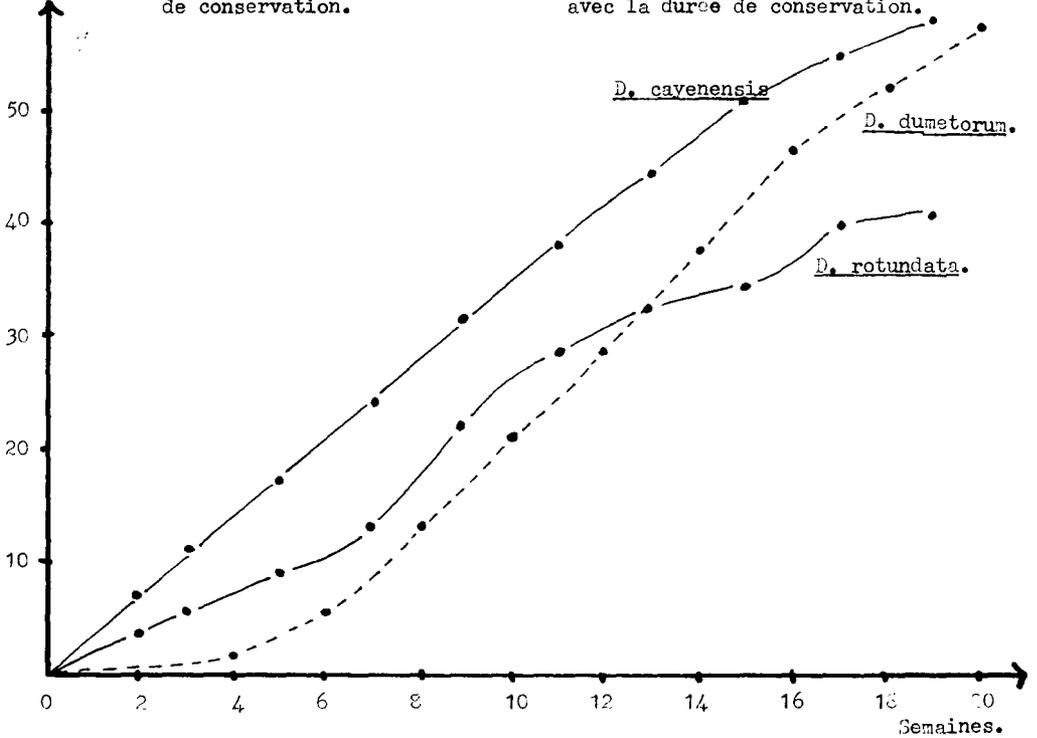


Figure III : Evolution des pertes de poids exprimées en pourcentage du poids des pieds à la récolte avec la durée de conservation.

L'importance du développement des bourgeons a été quantifiée au cours d'observations effectuées toutes les deux semaines en définissant un indice de développement des bourgeons à partir du nombre et de la longueur des pousses^{18-b} répertoriées sur chaque tubercule ; à chaque observation, les pousses dépassant 5 cm étaient sectionnées.

C'est chez *D. cayenensis* que le débourrement des bourgeons semble le plus susceptible d'affecter les réserves (figure 2) ; par contre on peut supposer que les tubercules de *D. rotundata* seront peu affectés par la fin du repos végétatif.

Les manifestations de pourriture ont été différentes selon les espèces :

- chez *D. rotundata* elles étaient négligeables ;
- 34 % des pieds de *D. cayenensis* étaient touchés après dix neuf semaines de conservation ;
- chez *D. dumetorum*, 6 % de tubercules pourris répartis sur 30 % des pieds ont été recensés après vingt semaines de conservation.

Les pertes de poids varient selon les espèces en importance et dans leur déterminisme (figure 3) :

- *D. rotundata* est l'espèce qui perd le moins de poids en liaison avec un faible développement des bourgeons et l'absence de pourriture
- chez *D. cayenensis*, les pertes sont proportionnelles à la durée de conservation pendant les quatre premiers mois de conservation avant de diminuer d'importance : leur évolution est similaire à celle de l'indice de développement des bourgeons ; la pourriture intervient en augmentant les variations individuelles de pertes de poids en fin de conservation : après dix sept semaines de conservation, les tubercules pourris avaient perdu significativement plus de poids que les tubercules sains (73 % contre 51 %) ;
- chez *D. dumetorum*, l'évolution des pertes de poids est étroitement liée à celle du développement des bourgeons : pendant six semaines, alors que les bourgeons ne s'étaient pas encore développés, les pertes sont restées faibles ; par la suite, comme pour *D. cayenensis*, elles ont été proportionnelles à la durée de conservation. Après vingt semaines de conservation, le pourcentage de pertes est corrélé significativement avec l'indice de développement des bourgeons ($r = + 0,53$; $P < 0,01$).

1.2. Evolution de la composition chimique (tableau 1)

La détermination de la composition chimique par les techniques classiques d'analyse^{18-a} a été faite, pour chaque espèce, sur des lots de douze pieds à la récolte et après trois, sept, treize et dix neuf semaines de conservation pour *D. cayenensis* et *D. rotundata* et quatre, huit, quatorze et vingt semaines pour *D. dumetorum*.

		Matière sèche. (1)	Protéines brutes. (2)	Matières minérales. (2)	Insoluble formique. (3)	Glucides alcoolosolubles	Amidon (3)	Lipides (3)
D. CAYENNE SISI	0	25,2 _{±1,0} a	7,1 _{±0,4} a	2,6 _{±0,2} a	1,9 _{±0,1} a	4,3 _{±0,5} a	30,2	0,29
	3	26,0 _{±1,1} ab	8,1 _{±0,6} a	3,1 _{±0,2} a	2,4 _{±0,1} b	4,6 _{±0,8} a	76,5	0,26
	7	29,1 _{±1,6} b	7,6 _{±0,4} a	2,9 _{±0,2} a	2,5 _{±0,2} bc	6,3 _{±0,4} b	77,8	0,15
	13	35,7 _{±1,0} c	7,8 _{±0,6} a	2,8 _{±0,2} a	2,8 _{±0,2} cd	6,9 _{±0,4} b	75,8	0,32
	19	42,4 _{±0,9} d	6,4 _{±0,5} a	3,1 _{±0,2} a	3,0 _{±0,1} d	7,6 _{±0,4} b	72,4	0,30
D. DUMETORUM	0	21,2 _{±0,7} a	9,3 _{±0,6} a	3,7 _{±0,1} a	3,3 _{±0,1} a	5,1 _{±0,3} a	63,6	0,31
	4	19,7 _{±0,5} a	9,9 _{±0,5} a	3,8 _{±0,1} a	3,8 _{±0,3} ab	5,3 _{±0,5} a	72,6	0,40
	8	20,7 _{±0,6} a	8,6 _{±0,2} a	3,9 _{±0,1} ab	4,9 _{±0,1} ab	5,6 _{±0,4} a	68,5	0,30
	14	27,5 _{±0,9} b	9,5 _{±0,5} a	4,3 _{±0,1} bc	5,5 _{±0,3} bc	5,2 _{±0,5} a	66,8	0,60
	20	36,9 _{±0,8} c	8,6 _{±0,6} a	4,7 _{±0,2} c	7,6 _{±0,5} c	5,6 _{±0,2} a	63,6	0,70
D. ROTUNDATA	0	36,0 _{±0,7} a	6,5 _{±0,3} a	2,6 _{±0,1} ab	1,5 _{±0,1} a	2,8 _{±0,2} a	82,1	0,22
	3	36,4 _{±1,1} a	7,1 _{±0,3} a	2,8 _{±0,1} bc	1,6 _{±0,1} a	3,5 _{±0,5} ab	81,6	0,24
	7	38,2 _{±0,7} a	6,6 _{±0,4} a	2,5 _{±0,1} a	1,6 _{±0,1} a	3,0 _{±0,1} a	78,7	0,23
	13	42,7 _{±1,2} b	7,0 _{±0,4} a	3,0 _{±0,1} c	1,8 _{±0,1} b	3,8 _{±0,2} bc	79,3	0,20
	19	46,5 _{±0,5} c	7,7 _{±0,5} a	3,0 _{±0,1} c	1,9 _{±0,1} c	4,5 _{±0,1} c	78,8	0,25

(1) Moyenne en g. p. 100 g. de H.B. de 12 déterminations ± erreur standard.
 (2) Moyenne en g. p. 100 g. de H.S. de 12 déterminations ± erreur standard.
 (3) Détermination sur un échantillon moyen de 12 pieds.

Dans la même colonne et pour une même espèce, les moyennes affectées d'aucune lettre commune sont significativement différentes au niveau 5 %.

Tableau I : Evolution de la composition chimique avec la durée de conservation exprimée en semaines.

- La teneur en matière sèche augmente au cours de la conservation ; l'augmentation est moins importante pour *D. rotundata* dont la teneur initiale est plus forte. Les teneurs en matière sèche sont fortement corrélées aux pourcentages de pertes de poids ($r = +0,85$ à $+ 0,92$).
- Les teneurs en protéines brutes et en lipides de la matière sèche ne varient pas de façon significative. Signalons que la valeur biologique des protéines de *D. dumetorum* qui bénéficie en outre de teneurs plus élevées, est meilleure que celle des autres espèces^{18-a}
- Les teneurs de la matière sèche en matières minérales et en insoluble formique augmentent pendant la conservation.
- La teneur de la matière sèche en amidon diminue simultanément à l'augmentation de la teneur en glucides alcoolosolubles sauf chez *D. dumetorum* où les glucides provenant de la dégradation de l'amidon pourraient être utilisés à la synthèse de glucides membranaires en rapport avec le phénomène de durcissement¹⁶.

Les variations de composition chimique concernent essentiellement les glucides et semblent être consécutives au débourrement des bourgeons qui agit en activant la respiration et la déshydratation et en mobilisant des réserves pour la synthèse des pousses.

1.3. Evolution des potentialités nutritionnelles (tableau II)

Nous avons calculé pour chaque espèce et pour différentes durées de conservation les quantités de matière sèche comestible, d'énergie utile en utilisant les coefficients de Merril¹¹ et de protéines brutes disponibles à partir de 1 000 kg de tubercules bruts mis en conservation.

Les valeurs du rendement à l'épluchage et de la teneur en matière sèche, nécessaires au calcul des quantités de matière sèche comestible, sont estimées pour chaque durée de conservation à partir d'équations de régression simple ou multiple selon le pourcentage de pertes de poids et le poids des pieds à la récolte :

pour *D. cayenensis* $Y = 35,55 + 0,360 X_1$ ($r = + 0,67$).
 $Z = 55,84 - 0,320 X_1$ ($r = - 0,85$).

pour *rotundata*. $Y = 31,92 + 0,437 X_1 + 0,094 X_2$ ($r = + 0,81$).
 $Z = 68,81 - 0,339 X_1$ ($r = - 0,81$).

pour *D. dumetorum* $Y = 15,95 + 0,527 X_1$ ($r = + 0,77$).
 $Z = 48,18 - 0,283 X_1$ ($r = - 0,92$).

ou $Y =$ rendement à l'épluchage.
 $Z =$ teneur en matière sèche.
 $X_1 =$ pourcentage du poids des pieds à la récolte
 restant au moment considéré.
 $X_2 =$ poids des pieds à la récolte.

	D. CAYENENSIS.					D. ROTUNDATA.				
	0	3	7	13	19	0	3	7	13	19
Poids brut en kg. (1)	1000	897	765	564	430	1000	943	879	684	611
Rendement à l'éplu- -chage corrigé.	72	68	63	56	51	80	77	75	68	63
Teneur en matière sèche corrigée.	23,8	27,1	31,3	37,8	42,1	34,9	37,0	38,9	44,1	48,1
Matière sèche comestible en kg. (1)	170	165	151	119	92	279	270	256	205	184
Energie utile en Mégakcal. (1)	0,65	0,63	0,58	0,46	0,35	1,08	1,04	0,99	0,79	0,70
Protéines brutes en kg. (1)	12,8	12,8	10,7	8,8	6,0	18,7	18,8	16,6	13,9	13,7
Valeur énergétique utile de 100 g. M.B. en Kcal.	97	99	111	137	162	139	140	147	164	178
Couverture des bes- -oins énergétiques. (2)	69	71	79	98	116	99	100	105	117	122
Couverture des bes- -oins protéiques. (2)	47	55	57	72	70	64	70	68	81	97

	D. DUMETORUM.				
	0	4	8	14	20
Poids brut en kg. (1)	1000	985	873	628	443
Rendement à l'éplu- -chage corrigé.	69	68	62	49	39
Teneur en matière sèche corrigée.	19,8	20,3	23,4	30,2	35,4
Matière sèche comestible en kg. (1)	136	136	127	94	62
Energie utile en Mégakcal. (1)	0,51	0,51	0,48	0,36	0,23
Protéines brutes en Kg. (1)	13,5	13,0	9,7	8,1	5,5
Valeur énergétique utile de 100 g. M.B. en Kcal.	30	74	78	104	139
Couverture des bes- -oins énergétiques. (2)	57	53	56	74	99
Couverture des bes- -oins protéiques. (2)	64	63	58	34	102

(1) Pour 1000 Kg. de tubercules bruts mis en conservation.

(2) Exprimée en pourcentage pour un individu moyen consommant 1500 g. de matière brute.

Tableau II : Evolution des potentialités nutritionnelles en fonction de la durée de conservation exprimée en semaines.

Les quantités de matière sèche comestible et d'énergie utile disponible diminuent considérablement : après cinq mois de conservation, 45 à 75 % seulement de l'énergie utile initiale est encore disponible pour la consommation. En ce qui concerne la quantité de protéines brutes, les pertes sont beaucoup moins importantes avec *D. rotundata* qu'avec les autres espèces.

Compte tenu de la variation importante de teneur en matière sèche, il y a une augmentation notable de la valeur énergétique utile de 100 g de matière brute comestible et du pourcentage de couverture des besoins énergétiques et protéiques d'un individu moyen consommant 1 500 g de matière brute comestible et dont les besoins journaliers sont estimés à 2 600 Kcal et 26 g de protéines d'oeuf.

La valeur nutritionnelle de la matière sèche comestible, si l'on se réfère aux variations de sa composition chimique, semble peu modifiée au cours de la conservation. Seule l'augmentation de la teneur en glucides membranaires pourrait avoir une influence néfaste ; dans la réalité elle accompagne, chez *D. dumetorum*, le phénomène de durcissement qui rend les tubercules impropres à la consommation.

2. LE DURCISSEMENT DE DIOSCOREA DUMETORUM

Il se manifeste pour le consommateur par une résistance à la mastication qui persiste après cuisson. Survenant pendant les jours qui suivent la récolte, il interdit toute possibilité de stockage et de commercialisation en dehors de la zone de production. Les populations de l'ouest-Cameroun qui apprécient fort les qualités organoleptiques de cette igname, ont coutume de faire cuire les tubercules aussitôt après l'arrachage et de les consommer rapidement.

Nous avons essayé de définir ce phénomène et de rechercher les facteurs influençant le durcissement afin de mettre en oeuvre des pratiques culturelles et/ou des traitements susceptibles de le bloquer ou de le restreindre.

2.1. Définition du phénomène

2.1.1. Importance quantitative

Les tubercules durcis ne présentant aucun signe extérieur reconnaissable, l'appréciation du durcissement nécessite une coupure nette

des tubercules : l'aspect rugueux et pelucheux de la section des tubercules durcis contraste avec l'aspect lisse et humide des sections de tubercules non durcis.

Six parcelles de trente pieds récoltés à maturité, soit environ 1 200 tubercules, ont été sacrifiés après trois, sept, treize et vingt huit jours de conservation sur clayettes.

L'évolution du durcissement (figure 4) montre que 93 % des pieds sont affectés par le durcissement après treize jours de conservation mais que seulement 3 % des pieds sont entièrement durcis au bout d'un mois : l'unité de durcissement n'est donc pas le pied mais le tubercule.

Le pourcentage de tubercules durcis augmente significativement avec le temps de conservation, mais après deux semaines, cette augmentation se ralentit considérablement : après un mois la moitié environ des tubercules sont durs.

On note que les tubercules de grande taille semblent durcir moins vite que ceux de petite taille.

Un lot de tubercules conservé pendant cinq mois était durci à 99 % au moment du sacrifice : il semble donc que tous les tubercules finissent par durcir après un temps plus ou moins long.

2.1.2. Aspects histologiques (planche n° 1)

Les cellules des coupes pratiquées dans des tubercules non durcis sont celles d'un parenchyme amylofère banal. Par contre les cellules des tubercules durcis présentent d'importants épaissements membranaires au milieu desquels sont enchâssés des nodules de nature et de structure non déterminées.

En ce qui concerne la nature des épaissements, le traitement au carmin vert d'iode a donné une coloration rose-rouge caractéristique des tissus celluloseux.

2.1.3. Différences de teneur en matière sèche

Des déterminations effectuées sur des tubercules durcis et non durcis ont montré que la teneur en matière sèche était plus élevée chez les tubercules durcis : cette différence est surtout détectable pendant les deux premières semaines de conservation (24,2 % contre 21,7 % après treize jours).

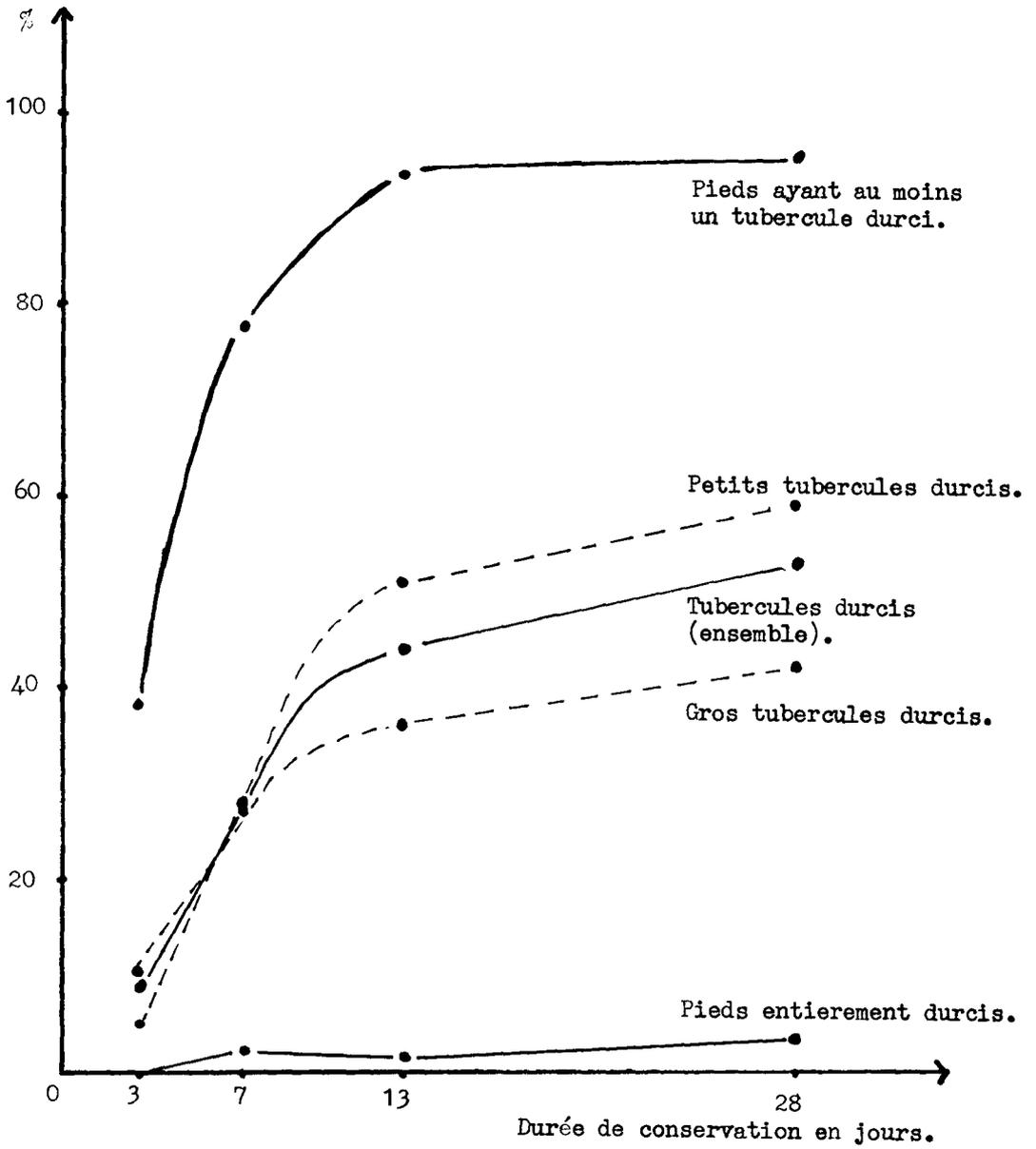
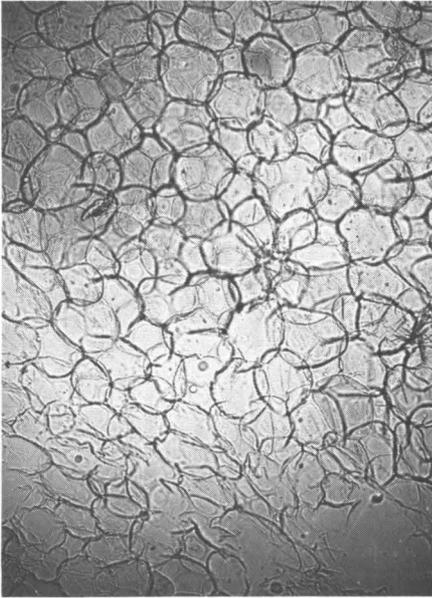
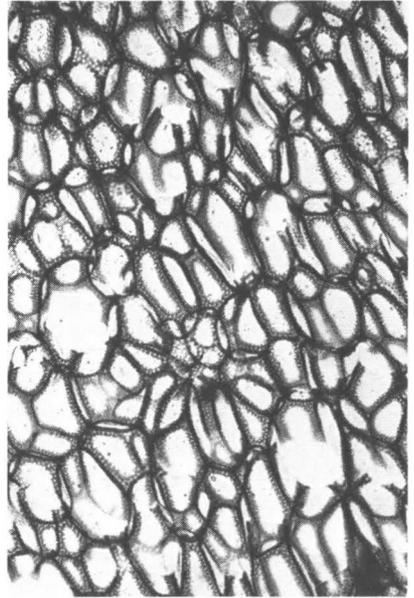


Figure IV : Evolution du durcissement pendant le premier mois de conservation.

Observations au microscope optique de
parenchyme de D. dumetorum (Ex Jakiri).



Parenchyme de tubercule
non durci x 156.



Parenchyme de tubercule
durci x 156.



Parenchyme de tubercule
durci x 390.

Les pertes d'eau liées au durcissement interviennent peut-être dans son déterminisme ; toutefois, les faibles variations enregistrées ne justifient pas la modification de consistance des tubercules.

2.1.4. Différences de composition chimique (tableau III)

On n'observe pas de différences de teneurs en protéines, lipides, matières minérales et glucides alcoolosolubles ; par contre les teneurs en différents glucides membranaires sont plus fortes chez les tubercules durcis alors que la teneur en amidon y est plus faible.

2.1.5. Propriétés physicochimiques des amidons extraits

L'amidon de l'espèce *D. dumetorum* possède des propriétés très différentes de celles des amidons des autres espèces d'ignames^{b-19} : spectre de diffraction des rayons X de type A, faible teneur en amylose, sensibilité élevée à l'attaque alpha-amylasique.

L'étude des cinétiques de dégradation alpha-amylasique des amidons extraits des tubercules durcis et non durcis fait apparaître qu'en début de conservation l'amidon des tubercules durcis est davantage dégradé que celui des tubercules non durcis et serait donc susceptible de fournir des glucides utilisables pour la synthèse des glucides membranaires.

2.2. Facteurs influençant le durcissement

2.2.1. Stade de maturité à la récolte

Les pourcentages de tubercules durcis obtenus, après un mois de conservation, pour quatre récoltes espacées de quatre semaines, indiquent que ce sont les tubercules récoltés au moment de la maturité qui résistent le mieux au durcissement ; les tubercules récoltés immatures durcissent rapidement ; les tubercules laissés en surmaturité dans le sol ne durcissent pas mais après leur récolte leur durcissement est plus rapide que celui des tubercules récoltés à maturité.

2.2.2. Choix du cultivar

Un essai intervariétal portant sur quatre cultivars couramment rencontrés au Cameroun a permis de mettre en évidence que, parmi ceux-ci c'était le cultivar Ex Jakiri qui donnait les meilleurs résultats tant au niveau du rendement (36 T/Ha) qu'au niveau de la résistance au durcissement.

Teneur en g. p. 100 g. de M.S.	(1) Tubercules non durcis	Tubercules durcis
Matières minérales	3,8	3,7
Protéines brutes	8,5	8,5
Lipides	0,3	0,3
Amidon	74,0	71,4
<u>Glucides alcoolosolubles</u>		
totaux	1,6	1,6
Fructose	0,63	0,63
Glucose	0,04	0,03
<u>Glucides membranaires</u>		
Hémicelluloses	6,6	7,5
Cellulose	4,4	6,8
Lignine	0,15	0,40
Pentosanes	0,5	1,3
Insoluble formique	2,9	5,1

(1) Valeurs obtenues sur des lots de 45 tubercules provenant des mêmes pieds.

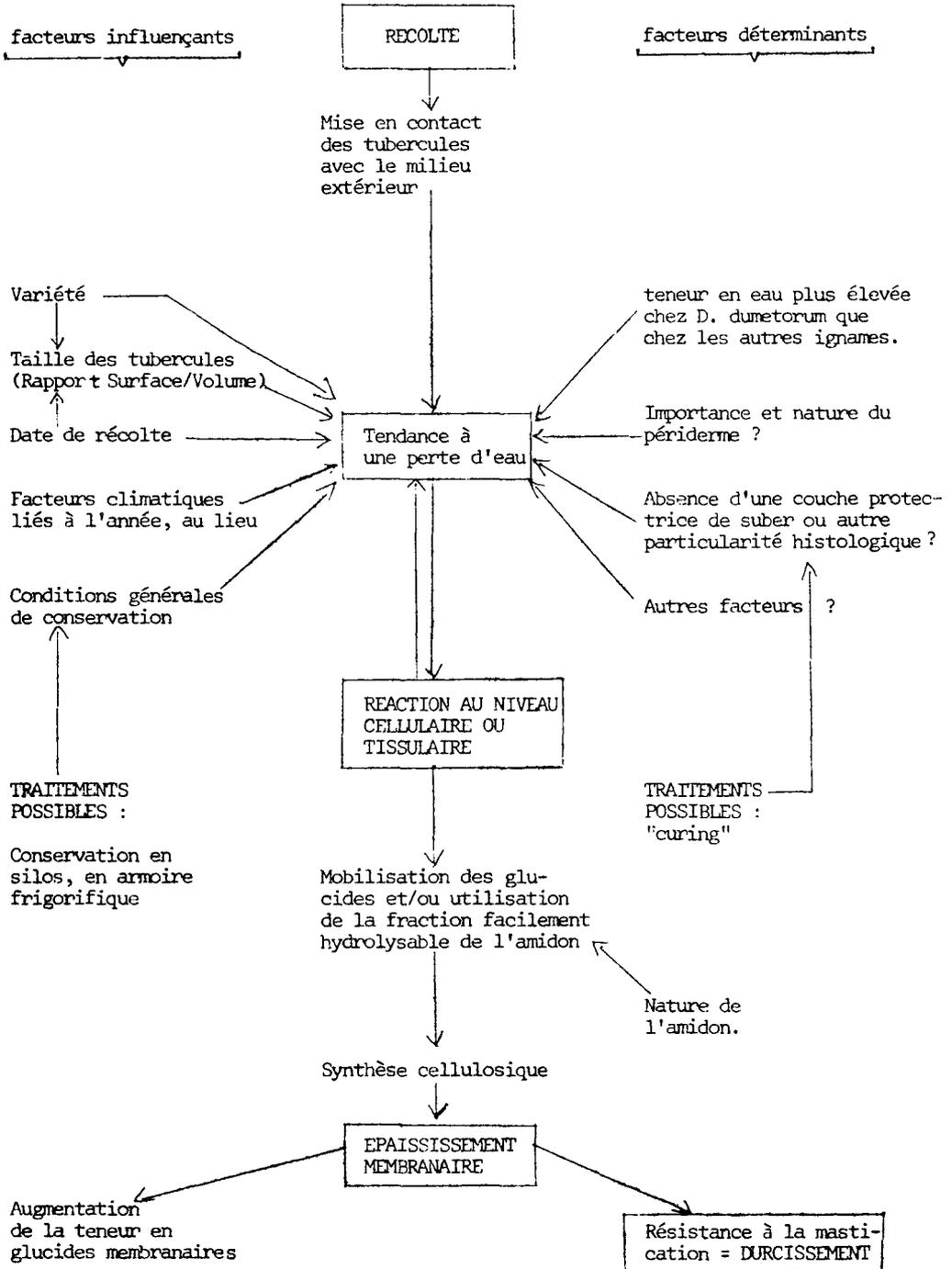
Tableau III : Composition chimique des tubercules durcis et non durcis.

Nature des traitements	Tubercules récoltés à 9 mois	Tubercules récoltés à 10 mois
Témoin au champ	-	4
Témoin en début de traitement	-	29
Témoin (1)	69	91
Mise en silo bâché (1)	46	51
Sac hermétique + Azote (1)	25	29
Sac hermétique (1)	-	62
Armoire frigorifique 13 °C (1)	33	72
Curing (1)	39	76

(1) Après 4 semaines de conservation.

Tableau IV : Pourcentages de tubercules durcis obtenus sur des lots de 50 à 150 tubercules ayant subi différents traitements ou modes de conservation.

Schéma n° 1



Un nouveau cultivar, recensé par Lyonga, semble présenter une résistance beaucoup plus forte au durcissement : des études sont en cours.

2.3. Essais de traitements et de conservation en conditions contrôlées

Des essais préliminaires ayant montré que les tubercules parafinés ne durcissaient pas, nous avons essayé de mettre en oeuvre des traitements simples ayant pour conséquence de bloquer ou de limiter les échanges des tubercules avec le milieu extérieur (tableau IV).

La conservation en sac plastique sous atmosphère d'azote semble bloquer le durcissement ; la mise en silo bâché le ralentit notablement.

Le "curing" destiné à faire épaissir le suber des tubercules en les plaçant en début de conservation sous certaines conditions de température et d'humidité⁷, n'a pas donné de résultats satisfaisants.

2.4. Conclusion

Le durcissement pourrait constituer une réaction de défense des tubercules contre une perte d'eau trop rapide ou excessive (schéma n° 1).

La cause de cette tendance à la déshydratation, supposée plus importante chez *D. dumetorum* que chez les autres espèces d'ignames, reste encore à trouver : teneur initiale en eau plus importante ? Suber n'assurant pas une protection suffisante ? Autres particularités histologiques ou physiologiques ?

Les propriétés physicochimiques de l'amidon interviendraient en permettant une mobilisation rapide des glucides nécessaires à la synthèse des glucides membranaires.

3. INFLUENCE DE LA MATURITE A LA RECOLTE SUR L'APTITUDE A LA CONSERVATION

Chez *D. dumetorum*, nous avons vu que la maturité à la récolte a une influence sur la sensibilité au durcissement.

Chez les deux cultivars du groupe complexe *D. cayenensis-D. rotundata*, nous avons essayé de mettre en évidence cette influence et les facteurs par lesquels elle se manifestait : date de bourgeonnement et de débourrement des bourgeons, sensibilité à l'attaque des micro-organismes, teneur en eau, poids et forme des tubercules en liaison avec la constitution et l'épaisseur des enveloppes protectrices ou simplement variation des conditions de conservation (température, hygrométrie).

Nos observations ont porté sur des lots de soixante à quatre vingt dix pieds récoltés sept, huit, neuf et dix mois après la plantation ; les tubercules récoltés sept et huit mois après la plantation sont restés en début de conservation dans une humidité relative plus élevée (70 et 72 % en moyenne au milieu de la journée) que ceux récoltés plus tardivement (62 et 65 %) ; de même, les moyennes des températures minimales et maximales étaient légèrement plus fraîches au moment des premières récoltes (17 et 26° C) qu'au moment des dernières (18 et 29° C).

3.1. Date de sortie de dormance et de débourrement des bourgeons

L'évolution du pourcentage des pieds ayant au moins un bourgeon aussi bien que l'évolution de l'indice de développement des bourgeons (figure 5) qui rend compte de l'utilisation des réserves montrent que :

- la date de récolte influe peu sur les dates de sortie de dormance et de débourrement des bourgeons qui semblent dépendre davantage de l'âge physiologique des tubercules ;
- toutefois, en cas de récolte suffisamment précoce, la date de débourrement des bourgeons peut être avancée de quelques semaines ;
- le fait de laisser les pieds en terre en surmaturité ne modifie pas de façon notable les dates de bourgeonnement et de débourrement des bourgeons.

On note que le développement des bourgeons est dix fois plus important chez *D. cayenensis* que chez *D. rotundata* et que la durée du repos végétatif est notablement plus courte chez *D. cayenensis*.

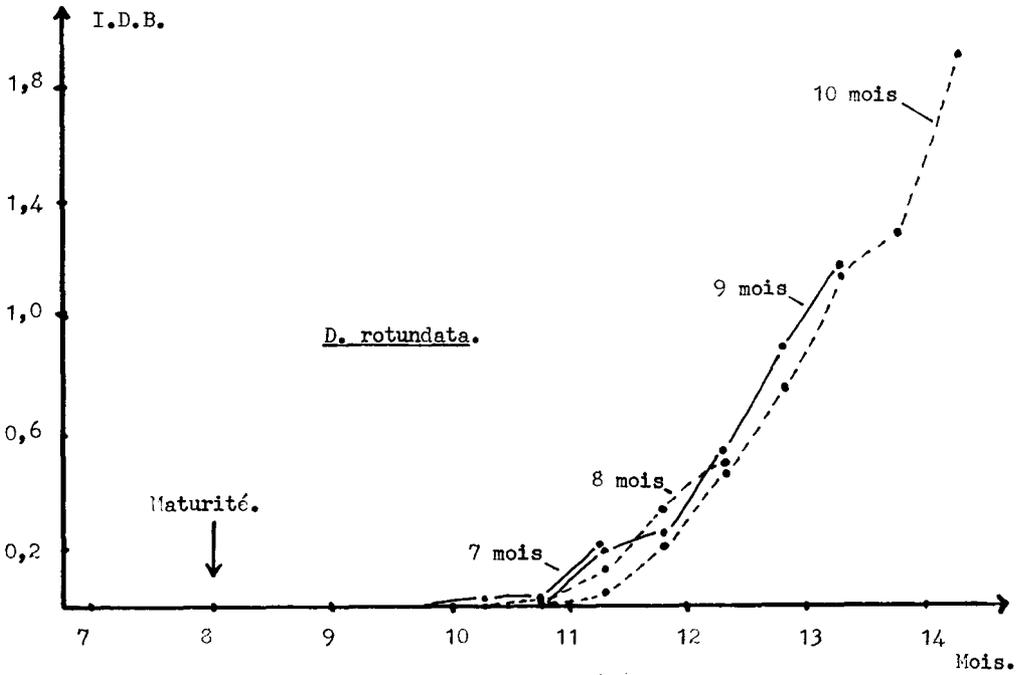
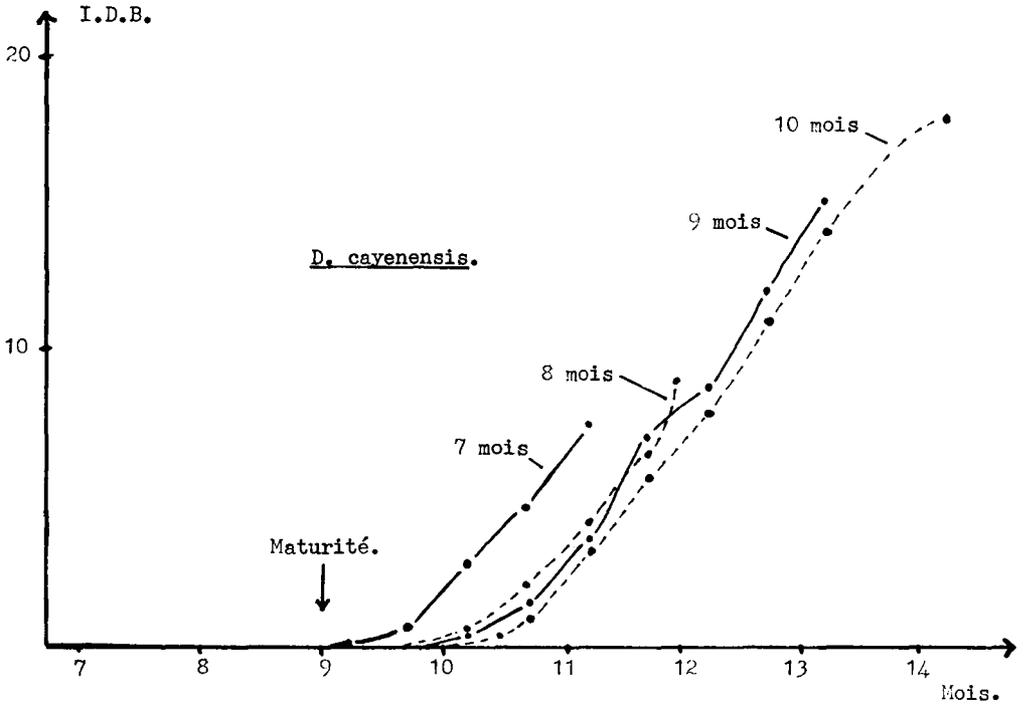


Figure V : Evolution de l'indice de développement des bourgeons, pour les différentes récoltes, en fonction du temps écoulé depuis la plantation.

Durée de conservation.	D. CAMBENSIS. (1)			
	7	8	9	10
0	22,4 _{±1,0}	25,6 _{±1,2}	22,3 _{±0,6}	24,9 _{±1,6}
	x	x	x	x
2	23,4 _{±1,2}	26,2 _{±1,7}	25,5 _{±0,8}	25,1 _{±1,6}
	x	x	x	x
5	26,8 _{±1,9}	26,6 _{±0,7}	28,1 _{±1,3}	29,2 _{±2,6}
	x	x	x	x
9	29,2 _{±2,0}	31,2 _{±1,0}	29,8 _{±1,3}	31,2 _{±1,2}
	x	x	x	x
13	28,3 _{±1,4}	29,3 _{±0,9}	34,1 _{±1,9}	35,1 _{±1,7}
	x	x	x	x
17	29,1 _{±1,0}	32,2 _{±1,3}	34,7 _{±1,2}	39,7 _{±1,2}
	x	xx	xx	xxx
Signification:	Effet maturité :		P < 0,01	
des résultats:	Effet conservation :		P < 0,01	
de l'analyse	Interaction :		P < 0,05	
factorielle.				
Durée de conservation.	D. ROTUNDATA. (2)			
	7	8	9	10
0	32,0 _{±0,9}	35,5 _{±0,9}	35,8 _{±0,9}	36,9 _{±0,6}
	x	xx	xx	xx
2	32,8 _{±1,0}	36,0 _{±1,2}	36,0 _{±0,9}	36,4 _{±1,0}
	x	x	x	x
5	34,1 _{±0,3}	35,8 _{±1,3}	35,8 _{±0,7}	36,3 _{±1,8}
	x	x	x	x
9	35,2 _{±3,0}	39,8 _{±1,8}	36,1 _{±1,5}	36,7 _{±1,4}
	x	x	x	x
13	34,3 _{±0,8}	37,2 _{±0,8}	40,3 _{±1,0}	42,9 _{±1,3}
	x	xx	xxx	xxx
17	35,1 _{±1,6}	42,1 _{±1,3}	43,8 _{±1,0}	43,4 _{±1,1}
	x	xx	xx	xx
Signification:	Effet maturité :		P < 0,01	
des résultats:	Effet conservation :		P < 0,01	
de l'analyse	Interaction :		P < 0,05	
factorielle.				

(1) Moyenne de 6 déterminations ± Erreur standard.

(2) Moyenne de 9 déterminations ± Erreur standard.

- Dans chaque colonne, les moyennes affectées d'aucune lettre commune sont significativement différentes au niveau 5 %.
- Sur une même ligne, les moyennes suivies d'un nombre différent de x sont significativement différentes au niveau 5 %.

Tableau V : Evolution de la teneur en matière sèche des pieds avec la durée de conservation exprimée en semaines pour les différentes récoltes désignées par le nombre de mois écoulés depuis la plantation.

3.2. Evolution comparée de la pourriture

Chez *D. rotundata*, le pourcentage de tubercules atteint n'a pas dépassé 4 % quelle que soit la date de récolte.

Chez *D. cayenensis*, nous n'avons trouvé aucun pied pourri après des récoltes précoces. Par contre 12 et 34 % des pieds récoltés respectivement neuf et dix mois après la plantation avaient au moins un tubercule pourri après dix sept semaines de conservation.

3.3. Evolution comparée des teneurs en matière sèche (tableau V)

Après chaque récolte, les teneurs en matière sèche ont été déterminées au bout de deux, cinq, neuf, treize et dix sept semaines de conservation. Pour chaque espèce, nous avons procédé à une analyse factorielle à trois facteurs de variation (date de récolte, durée de conservation et poids des pieds en distinguant trois classes).

On a pu mettre en évidence pour les deux espèces :

- un effet maturité significatif au niveau 1 %
- un effet durée de conservation significatif au niveau 5 %
- l'existence d'une interaction significative au niveau 5 % entre la durée de conservation et la maturité à la récolte : l'augmentation de teneur en matière sèche des tubercules au cours de la conservation est moins importante chez les tubercules immatures
- que le poids des pieds n'introduit ni de différences ni d'interactions significatives.

Par ailleurs, des analyses de variance effectuées pour une même durée de conservation entre les différentes récoltes ou entre différentes durées de conservation pour une récolte déterminée montrent que :

- les différences de teneur en matière sèche pour une même durée de conservation entre les tubercules des différentes récoltes sont surtout marquées au moment de la sortie de terre (*D. rotundata*) ou après une conservation prolongée ;
- l'augmentation de teneur en matière sèche est surtout importante chez les tubercules ayant atteint ou dépassé le stade de maturité ; chez *D. rotundata* immature il n'y a pas de variation significative de la teneur en matière sèche pendant les quatre mois de conservation.

3.4. Evolution comparée du poids des pieds

Les courbes d'évolution du poids des pieds (figure 6), exprimé en pourcentage du poids des pieds à la récolte, traduisent un comportement différent des tubercules d'une même espèce selon leur date de récolte.

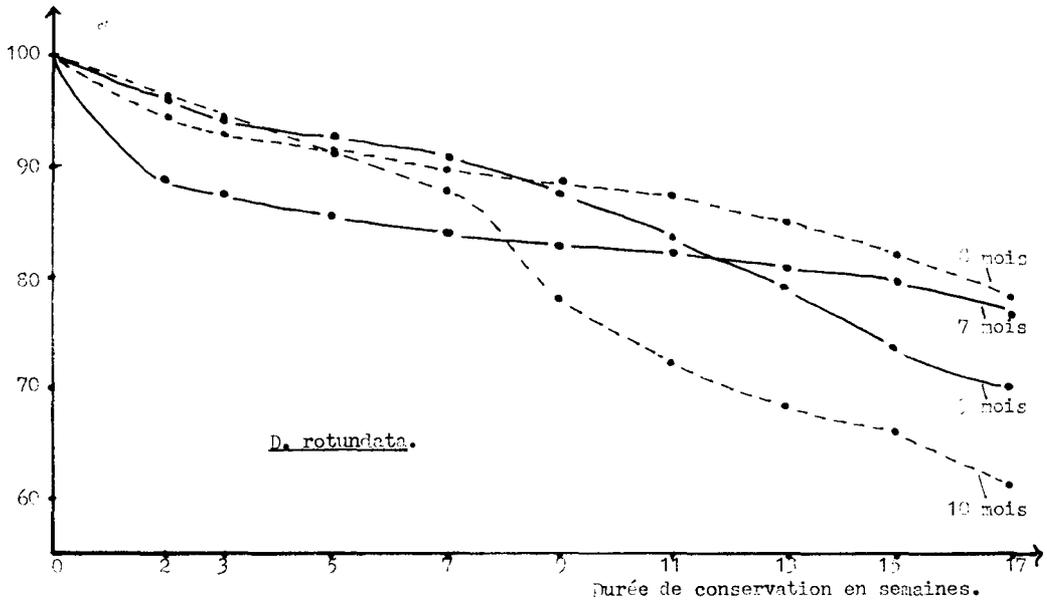
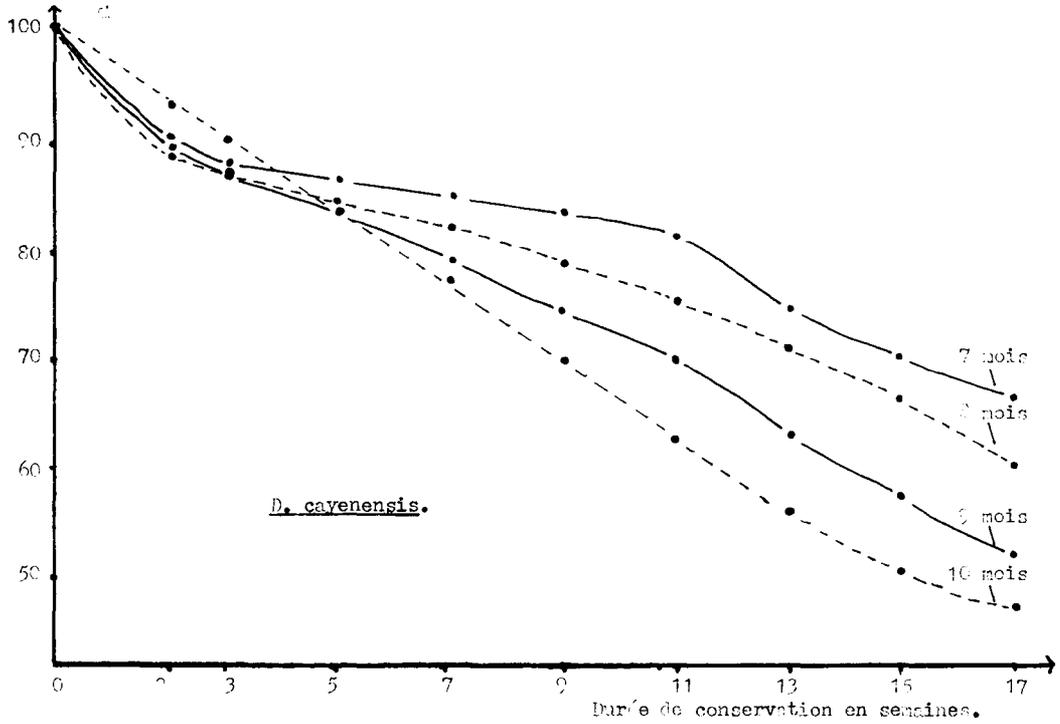


Figure VI : Evolution, pour les différentes récoltes, du poids des tubercules exprimé en pourcentage du poids des tubercules à la récolte avec la durée de conservation.

On peut distinguer trois phases plus ou moins distinctes selon les récoltes :

- pendant la première phase, la perte de poids est d'autant plus rapide que les tubercules sont récoltés précocement ; cette phase est inexistante chez les tubercules récoltés en surmaturité ;
- la seconde phase est caractérisée par la partie linéaire des courbes ; les pertes sont d'autant plus importantes que les tubercules sont récoltés tardivement ;
- la troisième phase visible sauf chez *D. cayenensis* en surmaturité correspond à une accélération des pertes de poids ; elle est consécutive au débourrement des bourgeons.

On a essayé de distinguer parmi les pertes de poids, la part qui résulte d'une déshydratation des tubercules et celle qui provient d'une perte effective de matière sèche (tableau VI). On constate que :

- la déshydratation est moins importante chez *D. rotundata* qui a une teneur en eau à la récolte plus faible que *D. cayenensis* ;
- la déshydratation est d'autant plus forte que les tubercules sont récoltés plus tardivement ;
- les pertes de matière sèche sont minimales pour les récoltes effectuées au moment de la maturité ;
- la déshydratation est quantitativement plus importante que la perte de matière sèche.

3.5. Conclusion

Le développement des bourgeons étant un facteur déterminant des pertes enregistrées chez les ignames, les tubercules récoltés tardivement dont les bourgeons débourent en même temps que ceux des tubercules récoltés plus tôt, subissent donc pour une même durée de conservation des pertes plus importantes.

Pour les deux cultivars, ce sont les tubercules récoltés à maturité qui se conservent le mieux : laisser les tubercules en terre en surmaturité n'augmente donc pas leurs possibilités de conservation.

4. DETERMINATION DE LA PERIODE ANNUELLE DE CONSOMMATION

Le contenu énergétique et la teneur en protéines brutes de la matière sèche comestible variant peu pendant la conservation, c'est l'évolution de la quantité de matière sèche comestible qui détermine, pour l'essentiel, les pertes nutritionnelles.

	D. CAYENENSIS.				D. ROTUNDATA.			
	7	8	9	10	7	8	9	10
Perte en g. pour 100 g. de M.B.	33,2	38,6	47,7	52,2	23,4	21,8	29,8	38,9
Perte en eau en g. pour 100 g. M.B.	30,2	32,8	43,5	46,3	18,3	19,2	24,7	28,5
Perte de M.S. en g. p. 100 g. M.B.	3,0	5,8	4,2	5,9	5,1	2,6	5,1	10,4
% de la M.S. initiale perdue.	13	23	19	24	16	7	14	28
% de l'eau initiale perdue.	39	44	60	62	27	30	38	45

Tableau VI : Pertes pour 100 g. de matière brute (M.B.) et pourcentages de teneur en matière sèche (M.S.) et de teneur en eau perdues après 17 semaines de conservation pour les différentes récoltes désignées par le nombre de mois écoulés depuis la plantation.

La quantité de matière sèche disponible pour la consommation dépend du rendement initial à l'hectare, des pertes de poids subies pendant la conservation, du rendement à l'épluchage et de la teneur en matière sèche.

La mesure des rendements^{18-a} à chacune des quatre récoltes nous a permis de déterminer la disponibilité maximale par unité de surface obtenue lors de la récolte optimale ; en tenant compte des pertes de poids mesurées pendant la conservation du rendement à l'épluchage et de la teneur en matière sèche estimés par des équations de régression, nous avons pu établir quels étaient les pourcentages de la disponibilité maximale à la disposition des consommateurs pendant une période de sept mois (figure 7). Selon le seuil de tolérance des pertes de matières sèche comestible que l'on se fixe, on peut déterminer à la fois la durée de la période de récolte, celle de la conservation pour les différentes récoltes et la période totale pendant laquelle les tubercules seront consommés.

Il apparaît que pour des seuils raisonnables de tolérance de pertes, *D. rotundata* permet une plus longue période de consommation que *D. cayenensis*.

CONCLUSION

Partout dans le monde l'extension de la production d'ignames est freinée à différents niveaux¹²⁻¹³⁻²⁰ :

- la quantité de semence, prélevée sur les tubercules consommables, est particulièrement élevée ;
- la culture de l'igname nécessite une main-d'oeuvre importante (travail du sol, plantation, tuteurage, désherbage, récolte) ;
- le plus souvent les rendements sont bas pour une durée d'occupation des sols considérables ;
- au niveau de l'aptitude à la conservation, nous avons vu pour les variétés camerounaises ;
 - qu'en dépit des solutions pratiques proposées pour réduire le durcissement de *D. dumetorum*, il n'est pas possible d'envisager un stockage même relativement court de cette espèce ;
 - que pour les variétés du complexe *D. cayenensis*-*D. rotundata*, la période annuelle de consommation ne peut pas dépasser 4 à 5 mois si l'on veut éviter un gaspillage de nutriments supérieur à 20 % ;

Compte tenu de ces contraintes, une production d'autoconsommation peut bien sûr subsister, mais si l'on veut que les ignames participent effectivement à l'augmentation de la production agricole et à

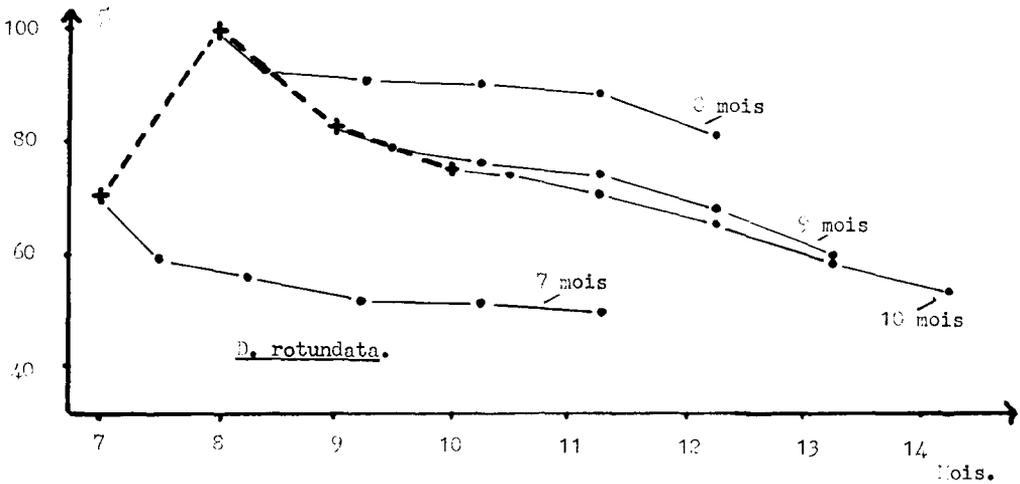
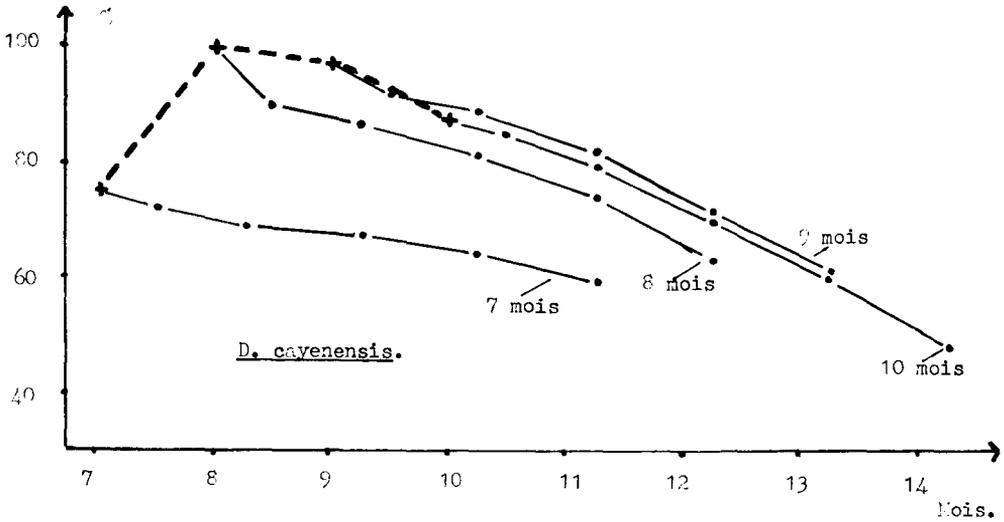


Figure VII : Evolution, pour différentes récoltes, de la quantité de matière sèche comestible, exprimée en pourcentage de la disponibilité maximale, en fonction du temps écoulé depuis la plantation.

l'amélioration de l'état nutritionnel des populations, il faudrait dans un premier temps sélectionner des variétés à haut rendement, ne nécessitant pas de tuteurage et dont la plantation et la récolte puissent être mécanisées.

L'amélioration génétique de la plupart des espèces est difficile en raison de l'irrégularité de la floraison et de la lenteur avec laquelle un hybride peut être multiplié ; elle reste pourtant la seule solution pour les ignames du complexe *D. cayenensis*-*D. rotundata* si l'on veut obtenir des tubercules dont la forme soit compatible avec une mécanisation de la récolte. En ce qui concerne leur conservation, elle pourrait être prolongée par l'utilisation de traitements choisis en fonction du déterminisme des pertes : inhibition de la germination par l'application de substances chimiques, de l'irradiation ou du curing ou bien protection contre les micro-organismes et les prédateurs.

D. dumetorum présenterait toutes les caractéristiques favorables à l'extension de sa culture s'il n'y avait pas le phénomène de durcissement. Il semble donc qu'au Cameroun nos efforts doivent se tourner vers cette espèce, peu cultivée ailleurs dans le monde et bénéficiant d'une valeur nutritive très intéressante (quantité et valeur biologique de ses protéines, digestibilité de son amidon) ; deux axes de recherches principaux sont à exploiter :

- la sélection génétique de cultivars résistant au durcissement ;
- l'adaptation de procédés technologiques à appliquer au moment de la récolte pour éviter le durcissement et permettre une conservation prolongée ; seuls des procédés envisageant un séchage, avant ou après cuisson, et mettant à la disposition des consommateurs pendant toute l'année, des produits sous forme de farine ou de cossettes, nous apparaissent pour le moment réalisables.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ¹ ADESUYI S.A.
- "Advances in yam storage research in Nigeria". - [3rd Int. Symp. Trop. Root Crops]. - Ibadan (Nigeria), 1973.
- ² AMON B.O.E.
- "The problems of root crops in West Africa". - [3rd Int. Symp. Trop. Root Crops]. - Ibadan (Nigeria), 1973.
- ³ CAMPBELL J.S., CHUKWUEKE V.O., TERIBA F.A. et HO-A-SHU H.V.S.
- "Some physiological experiments with the white Lisbon yam in Trinidad. III. The effect of chemicals on storage". - *Emp. J. of Exper. Agric.*, 1963, 30 (120), 335-343.
- ⁴ COURSEY D.G.
- "The magnitude and origins of storage losses in Nigeria yams". - *J. Sci. Food Agric.*, 1961, 12, 574-580.
- ⁵ COURSEY D.G.
- "Yam storage". I. A review of yam storage practices and information on storage losses. - *J. Stored Prod. Res.*, 1967, 2, 229-244.
- ⁶ DELPEUCH F., FAVIER J.C. et CHARBONNIERE R.
- "Caractéristiques des amidons de plantes alimentaires tropicales". - *Ann. Technol. Agric.*, 1978, 27 (4), 809-826.
- ⁷ GONZALEZ M.A. et COLLAZO DE RIVERA A.
- "Storage of fresh yam under controlled conditions". - *J. Agric. Univ. P.R.*, 1972, 56, 46-55.
- ⁸ LYONGA S.N.
- Communication personnelle. 1979.
- ⁹ LYONGA S.N., FAYEMI A.A. et AGBOOLA A.A.
- "Agronomic studies on edible yams in the grassland plateau region of the united republic of Cameroon". - [3rd Int. Symp. Trop. Root Crops]. - Ibadan (Nigeria), 1973.
- ¹⁰ MARTIN F.W. et RHODES A.M.
- "The relationship of *D. Cayenensis* and *D. Rotundata*". - *Trop. Agric. (Trin.)*, 1978, 55 (3), 193-206.
- ¹¹ MERRIL A.L. et WATT B.K.
- "Energy value of foods. Basis and derivation". - *Agric. Handbook*, 1955, n°74, U.S.D.A.

- ¹² ONWUEME I.C.
 - *The tropical tuber crops : yam, cassava, sweet potato and cocoyams* /
 Ed. par John Whiley and Sons. - New York : Chichester ; Toronto :
 Brisbane, 1978.
- ¹³ ONWUEME I.C.
 - " A strategy package for reducing the high labour requirement in
 yam production". - [Séminaire int. sur l'igname de l'I.F.S.]. - Buéa
 (Cameroun), 1978.
- ¹⁴ PASSAM H.C. et NOON R.A.
 - "Deterioration of yams and cassava during storage". - *Ann. Appl.
 Biol.*, 1977. - 85, 436-440.
- ¹⁵ RIVERA J.R., GONZALEZ M.A., COLLAZO DE RIVERA A. et CUEVAS RUIZ J.
 - "An improved method for storing yam". - *J. Agric. Univ. P.R.*, 1974,
 58, 456-465.
- ¹⁶ TRECHE S. et DELPEUCH F.
 - "Le durcissement de *Dioscorea dumetorum* au Cameroun". - [Séminaire
 int. sur l'igname de l'I.F.S.]. - Buéa (Cameroun), 1978.
- ¹⁷ TRECHE S. et DELPEUCH F.
 - "Mise en évidence d'un épaississement membranaire dans le parenchyme
 des tubercules de *Dioscorea dumetorum* au cours de la conservation". -
C.R. Ac. Sci., Paris, 1979, série D, 288 (1), 67-71.
- ¹⁸ TRECHE S. et GUION P.
 - " Etude des potentialités nutritionnelles de quelques tubercules
 tropicaux au Cameroun".
 a. "Influence de la date de récolte".
 b. "Aptitude à la conservation des tubercules récoltés après
 maturité".
 c. "Influence de la maturité à la récolte sur l'aptitude à la
 conservation". - *Agron. trop.* (sous presse).
- ¹⁹ TRECHE S. et GUION P.
 - "Nutritional repercussions of the differences in physicochemical
 characteristics of starches of two yam species grown in Cameroon". -
 [5th. Int. Symp. Trop. Root Crops]. - Manila (Philippines), 1979.
- ²⁰ WILSON J.E.
 - "Present and Future roles of yams in West Africa". - [5th. Int.
 Symp. Trop. Root Crops]. - Manila (Philippines), 1979.

NOTE SUR LE PENTOSANE ET LA PANIFICATION DES PRODUITS TROPICAUX

par Jean Meunier

I. HISTORIQUE DES RECHERCHES

Les études sur les pentosanes des céréales panifiables datent de plus d'un siècle.

1. *Dans le son* : dès 1870, Gudkow extrayait du son de blé une substance gommeuse se composant en grande partie de pentoses. Et, déjà en 1896, Tollens parlait de pentosane.
2. *Dans la farine* : en 1927, Larmoux trouve dans la farine une substance gommeuse contenant 3,15 % de pentoses. La même année Gortner au Minnesota, sépare un pentosane de *l'endosperme* du blé. Puis, il trouve que ces substances gommeuses constituées par des pentosanes solubles dans l'eau, sont des colloïdes typiquement hydrophiles donnant des solutions extrêmement visqueuses. A l'état de sol, ils sont hydratés à 800 %. En outre, ces substances, en se liant très fortement à l'eau, gonflent jusqu'à devenir une masse gélatineuse.

— Vers 1940, on pensa que les grains d'amidon présentaient à leur surface une mince couche de pentosane et que ceci permettrait d'expliquer pourquoi les amylases parviennent si difficilement à attaquer les grains d'amidon non fracturés.

— En 1950, la distillation du furfural permettait de dire que, dans le blé, outre des *pentosanes solubles dans l'eau*, il existe dans l'endosperme, des *pentosanes non solubles dans l'eau*. Possibilité déjà évoquée par Freeman en 1932.

Les recherches montrèrent alors que les pentosanes solubles dans l'eau n'avaient qu'une influence très minime sur le volume du pain, moins donc que les protéines solubles dans l'eau. Par contre ces pentosanes solubles ont beaucoup d'influence sur les qualités de la pâte et sur la structure du pain.

JEAN MEUNIER, chef du département vivriers et oléagineux, Bureau pour le développement de la production agricole (BDPA), Paris

Ces pentosanes seraient les seuls responsables de la viscosité des extraits de farine. Mais cette viscosité disparaissant très vite si on ne chauffe pas ces extraits de farine immédiatement après leur préparation, Pence a envisagé l'existence de pentosanases.

— En 1951, le professeur canadien Perlin publia un très important ouvrage sur la structure chimique des pentosanes. Ses travaux entraînèrent alors un intérêt accru et des recherches scientifiques intensives.

— En 1944, Mac Masters trouva que quand la mouture devenait plus fine, ce n'était pas seulement le pourcentage de tailings (petits grains d'amidon) qui augmentait mais aussi la quantité de fragments de cellules et la proportion de gros grains endommagés.

Le pourcentage de fragments de parois cellulaires correspondant à peu près au taux de pentosane, on fut amené à penser que les *pentosanes insolubles* dans l'eau étaient localisés surtout dans les parois cellulaires et non pas sur l'amidon.

Pour le pentosane *soluble* dans l'eau, en 1943, Baker trouva les pourcentages suivants dans les différentes fractions de farine :

. gluten	0,66 %
. amidon (gros grains)	0,44 %
. tailings (petits grains)	14,1 %

— 1961 : *l'Université de Louvain isole pour la première fois la fraction totale du pentosane insoluble dans l'eau, de l'endosperme et contenu dans l'endosperme :*

1. du seigle
 puis 2. du blé

- avec la composition suivante :

<i>Pentosane insoluble</i>		%
seigle 4 %	L. arabinose	de 34,1 à 34,7
	D. xylose	de 58,3 à 59,1
	D. glucose	de 6,8 à 7
blé 2 %	L. arabinose	
	D. xylose	
	pas de glucose	

II. QUALITES DU PENTOSANE

- a. Formation d'un gel.
- b. Possibilité élevée d'hydratation.

- Les pentosanes, même ceux insolubles dans l'eau (mais solubles dans la soude), augmentent fortement l'absorption d'eau dans la pâte.

- Certaines fractions de la farine absorbent de 1 200 à 1 600 %. Les petits grains d'amidon absorbent eux, dix à seize fois leur propre poids en eau.

- c. Viscosité

La viscosité de l'extrait aqueux n'est due qu'aux pentosanes et non à la protéine.

Cette viscosité est réduite par l'action des pentosanases, on le vérifie à contrario en prévenant la chute de viscosité par inactivation des pentosanases, par ébullition.

- Les pentosanes insolubles dans l'eau, devenus solubles après extraction à l'alcali, donnent des solutions très visqueuses, notamment plus visqueuses que celles des pentosanes solubles.

- La viscosité élevée empêcherait que les bulles de gaz ne se regroupent pour former les plus grands espaces, ce qui finalement entraînerait l'effondrement de la pâte.

Toutefois la viscosité, en elle-même, n'est pas le seul facteur car, plusieurs substances visqueuses essayées n'entraînent pas d'augmentation de volume.

III. PROPRIETES DES PENTOSANASES

- Les pentosanases du blé et seigle ont leur activité maximum à :

- 45° pour un ph 6,2 - 6,4
- 20° pour un ph 2,5

La viscosité tombe immédiatement par la rupture de la chaîne de xylane accompagnée d'une diminution dans la rapidité de formation du gel

et de la possibilité d'association des molécules ce qui diminue sérieusement l'élasticité de la pâte.

— Le dégagement d'arabinose entraîne la disparition du pouvoir d'hydratation très important pour la possibilité de garder le pain frais.

IV. FABRICATION

Le pentosane est extrait des céréales panifiables. La teneur deux à trois fois plus forte du seigle en pentosane fait préférer cette céréale comme matière première au blé.

Parmi les seigles une forte différence de teneur (de 8 à 12 %) semble exister entre type 'automne' cultivé en Europe et type 'printemps' cultivé en Espagne et en Amérique du Sud.

Les types printemps ayant peu ou pas d'exigences en froid, devraient être beaucoup plus adaptés aux conditions africaines. Une expérimentation est en cours.

L'extraction du pentosane s'obtient à la suite de trois opérations successives :

1. attaque de la masse de grain par la soude, à pH 11 à 12, à 53°, qui digère les protéines du grain
2. électrolyse de la boue obtenue
3. séchage par spray-dry. Pour des raisons de rentabilité économique, la purification du pentosane n'est pas poussée à fond.

Le produit commercial contient 20 % du pentosane pur. C'est une poudre jaune pâle, poisseuse aux doigts, très fine et très légère. 1 kg occupe un volume d'environ 5 l.

La méthode de fabrication du pentosane par attaque de la céréale par la soude caustique est couverte par un brevet.

V. INFLUENCE DES PENTOSANES ET PENTOSANASES EN MEUNERIE ET EN BOULANGERIE

5.1. Influence sur les qualités de la pâte

L'énorme capacité d'absorption d'eau des pentosanes tamponne la pâte contre l'eau.

La mie devient meilleure et plus tendre et le temps de pétrissage est notablement raccourci. Ceci est vrai aussi bien pour les pentosanes solubles que pour toutes les gommages visqueuses, qui ont le même effet. Elles éliminent l'humidité et la mollesse.

Au contraire, les pentosanases elles, donnent des pâtes molles et humides. Baker pense que la formation du gel sous l'action du pentosane donnerait de la solidité à la pâte et empêcherait les bulles de gaz de se regrouper.

— L'addition de plus grandes quantités d'eau ne changeant pas les qualités extensométriques de la pâte, on peut dire que les pentosanes améliorent notablement les caractéristiques des pâtes.

— Les essais Casier en 1966 montrent que, pour le blé tendre, à quantité égale d'eau, la résistance de la pâte est beaucoup plus grande (Brabender). La stabilité de la pâte est améliorée et l'affaiblissement moindre que pour la pâte témoin. L'élasticité, c'est-à-dire l'extensibilité, est notablement augmentée, c'est d'ailleurs peut être là, la vraie cause du progrès. Les bulles dans la pâte auraient une élasticité beaucoup plus grande et crèveraient donc moins vite. Les bulles se regroupant moins, on éviterait ainsi l'effondrement de la pâte et donc la réduction du volume du pain.

5.2. Influence sur la valeur boulangère

Aussi bien les pentosanes solubles dans l'eau que les pentosanes insolubles ont une influence importante sur la valeur boulangère du blé tendre pour lequel la résistance insuffisante entraîne l'éclatement des bulles et l'écroulement.

— Pour le blé dur, la résistance à la levée (extension de la pâte et rupture des bulles) est déjà très grande. L'addition de pentosane l'augmente encore et entrave encore plus l'accroissement de volume qui reste inférieur à celui du témoin.

— Le pentosane liant une grande quantité d'eau, produit, par suite de sa *viscosité élevée* et peut être par la formation de ponts d'hydrogène, une *meilleure agglutination* des composants de la pâte et donc un certain accroissement de résistance comme il apparaît au farinographe de Brabender.

Casier 1966 :

L'élasticité étant aussi notablement *augmentée*, les bulles dans la pâte peuvent prendre, sans crever, un volume beaucoup plus grand (alvéographe Chopin).

Avec 1 % de pentosane insoluble :

- . le volume du pain augmente d'environ 6 %,
- . la mie est meilleure et plus tendre,
- . le *pain reste frais plus longtemps*,
- . et son degré d'humidité est plus élevé.

— Le pentosane cause un raffermissement notable de la pâte se traduisant par une augmentation de la résistance à l'écrasement.

L'épreuve inverse est réalisable par l'addition de pentosanases qui, toutes conditions égales, n'éliminent que le pentosane. Le caractère hydrophile n'est pas, à lui seul, l'essentiel, il est lié aux qualités "agglutinatives" des gommes qui les doivent à la fois à leur structure et à leur caractère hydrophile.

Plusieurs substances visqueuses ont été essayées. Elles ont un effet positif mais la viscosité ne constitue pas, en elle-même, le facteur responsable. On en est actuellement à envisager la formation de ponts d'hydrogène.

5.3. Influence sur la qualité de la mouture

Dans le seigle, le taux de pentosane étant double de celui du blé, c'est sur le seigle que l'on a testé cette influence.

La réaction du gel, sans doute importante pour la valeur boulangère, est ralentie par la présence de son dans la farine.

Or, si une mouture plus fine augmente la fraction de tailings, elle augmente aussi la quantité de son. De plus, la mouture plus fine des parois cellulaires de l'endosperme rend ses parois plus hydratables, donc plus solubles.

Les deux ou trois couches cellulaires situées juste sous la couche d'aleurone seraient les plus riches.

Le mode de tamisage intervient lui aussi ; les fractions les plus fines ont deux fois plus de pentosane soluble dans l'eau et de pentosane total que la farine originale.

Les parois cellulaires sont mieux brisées chez le blé tendre que chez le blé dur où il reste toujours des cellules non brisées.

VI. LA PANIFICATION DES PRODUITS TROPICAUX

La panification est d'autant plus facile que la farine est plus fine et qu'elle absorbe moins d'eau. Le pain se vend d'autant mieux qu'il est plus blanc. Ces impératifs entraînent des contraintes particulières pour les produits que l'on souhaite panifier.

1. pour les céréales maïs, mil, sorgho

- on retiendra les variétés à *grains farineux* et on éliminera les grains cornés producteurs de semoules,
- on retiendra les variétés à *farine blanche* et on éliminera les grains à farine colorée, d'où le choix suivant :
 - . maïs blancs pour les maïs,
 - . sorghos blancs *sans pigments anthocyanes* pour les sorghos.

A noter qu'il existe de nombreux sorghos blancs à enveloppe interne colorée. Cette enveloppe, très friable, tombe en poussière à la mouture et donne une couleur gris-marron déplaisante à la farine. Le pain correspondant à la couleur du pain de seigle.

Le son des céréales panifiables contenant des pentosanases, il est à priori conseillé de décortiquer mil et sorghos à la décortiqueuse à riz et d'essoner le maïs dans une meunerie à blé. Toutefois, la panification a parfaitement réussi à Lomé avec des farines obtenues par les moulins locaux dont le tamisage laissait passer beaucoup de sons fins.

Note : L'utilisation des moulins locaux souvent très serrés aboutit parfois à des échauffements considérables de la farine produite. On a enregistré plus de 90°. Il n'est pas impossible que de telles températures modifient l'amidon que la gélification rend impropre à la panification.

2. pour les racines

La principale racine industrielle tropicale est le manioc dont la panification a été très étudiée. Aussitôt passée la maturité - c'est-à-dire après quinze ou vingt mois, suivant la durée de la saison sèche dans la région de production - la teneur en fibres dans le manioc augmente rapidement.

L'inconvénient de ces fibres tient à leur très forte hygroscopicité qui, ici, vient s'ajouter à celle déjà très forte des fibres de pentosane. Une présence notable de fibres de manioc résulte dans une pâte trop liquide, impanifiable.

L'élimination des fibres s'impose donc. Elle peut être obtenue :

1. par le rejet de la zone centrale de la racine lors de la fabrication des cossettes,
2. par le pilonnage du manioc au lieu de son passage au moulin.

Le pilonnage isole les fibres entières qui restent sur le dessus du tamis. La mouture fine réduit les fibres en poussière qui traversent les mailles du tamis avec la farine.

VII. APPLICATIONS PRATIQUES

Alimentation des villes. Augmentation du revenu des campagnes.

La civilisation rurale d'il y a cinquante ans fait place actuellement à une urbanisation intensive qui, en créant des besoins nouveaux, crée une situation véritablement explosive.

A l'ancienne auto-consommation sur les lieux de production fait place une consommation de produits apportés depuis des distances de plus en plus longues, voire même de plus en plus importés.

Le bois de chauffage et le temps que l'on ne comptait pas au village, deviennent de plus en plus chers en ville, ce qui explique que l'on recherche des aliments vite cuits et vite préparés.

A l'alimentation basée sur les bouillies de céréales et aux pâtes faites avec des racines succèdent de plus en plus en ville des aliments comme le riz et le pain. Si la décision de fabriquer le pain à partir des produits locaux était prise par les dirigeants africains, l'intérêt de

cette décision serait multiple :

- pour l'Etat : stabilisation ou réduction des achats en devises et encouragement à la production nationale,
- pour les villes : ce pain peut être fourni par les céréales nationales en complément ou en remplacement des céréales panifiables importées en augmentation d'environ 10 % par an en moyenne sur l'Afrique de l'Ouest et centrale francophones,
- pour les campagnes : un débouché national garanti de leur production de céréales, voire même d'une partie des racines, est ce qui pourrait arriver de mieux aux paysans africains dont la production est de plus en plus "boudée" par les villes, ce qui les incite à produire moins et à revenir à l'économie de subsistance.

VIII. CONTRAINTES POUR LA PANIFICATION DES PRODUITS LOCAUX

Plusieurs contraintes très lourdes restent à lever :

- l'absence de structures intermédiaires entre paysan et ville entraînant des pertes de qualité,
- le coût de production élevé,
- le coût de collecte et de transport de plus en plus élevé.

Toutes ces contraintes pénalisent très fort les productions nationales au profit des produits alimentaires importés :

1. Absence de structures

Dans la plupart des cas, la structure intermédiaire entre ville et campagne reste à créer pour la collecte, le stockage-conservation et conditionnement pour l'approvisionnement régulier des boulangers avec une farine régulière.

Quand cette structure existe, sous forme d'organismes gouvernementaux chargés de l'achat en campagne du transport et du stockage, on en déplore souvent le non-fonctionnement, mais plusieurs remarques sont à faire :

- un circuit parallèle-marché libre à prix supérieurs s'instaure ;

- le paysan stocke ses céréales en épis ou panicules et on ne veut lui acheter qu'en grains. Or il n'est pas équipé pour égrener et encore moins pour conserver en grains. Les délais qui interviennent entre battage et enlèvement à la ferme par l'acheteur suffisent à permettre la contamination par les insectes et le développement de champignons avant même le stockage en ville ;
- par ailleurs les marchandises fournies par différents paysans sont de qualité très différente. Le produit en stockage est forcément très hétérogène et variable. La conduite à tenir pour le stockage d'un produit hétérogène et contaminé serait très délicate, à supposer qu'elle soit faite avec les moyens nécessaires ;
- finalement la qualité irrégulière et souvent médiocre du produit national ne supporte pas la comparaison avec l'état de conservation et la régularité des produits importés - d'où la dépréciation très fréquente de la marchandise nationale par les commerçants demi-gros, détaillants ou utilisateurs - pour lesquels les risques dus à l'irrégularité sont bien plus forts qu'avec une marchandise standard, aux normes, "saine, loyale et marchande".

2. Coût de production

Le riz produit localement, dont le prix de revient est de 100 F CFA, trouve plus difficilement acheteur qu'un riz importé de qualité équivalente rendu à 85 F. La différence revenant intégralement aux commerçants, on comprend que, à qualité égale, celui-ci ait une préférence.

Seul l'engagement contractuel de l'Etat d'acheter les productions paysannes évite actuellement l'abandon de la culture de périmètres rizicoles.

3. Coût de collecte et de transport

Les villes devenant de plus en plus grandes, créent un vide relatif de plus en plus vaste autour d'elles :

- *la distance de transport* entre lieu de production et lieu de consommation augmente ;
- les pertes en cours de transport, *surtout dans le cas des racines*, augmentent. Cette augmentation de ces frais et des autres frais intermédiaires explique qu'à une augmentation du prix en ville puisse correspondre une baisse du prix payé au paysan. Le fossé se creuse ainsi entre campagne et ville, incitant cette dernière à regarder de plus en plus vers l'extérieur pour s'approvisionner ;

- le trafic lourd augmente, détériorant le réseau routier peu ou pas entretenu ;
- l'usure et la casse des véhicules augmentent contribuant avec la hausse du carburant, des véhicules et des salaires des transporteurs à augmenter le coût de la tonne kilométrique.

IX. FORMULE DE PANIFICATION DITE FORMULE "DE LOME"
OU DES "1%" POUR MIL, SORGHU OU MAÏS ET MANIOC PURS
OU EN MELANGE QUELCONQUE ENTRE EUX

95 kg de farine
+ 1 kg pentosane
+ 1 kg levure sèche
+ 1 kg margarine
+ 1 kg sucre
+ 1 kg sel

100 kg mélange pétrin
+ 80 l d'eau

La quantité à apporter et le coût correspondant de la levure sèche et du pentosane sont sensiblement les mêmes.

Notes complémentaires

Prix

Le pain ainsi produit à Lomé coûtait 10 % moins cher au détail que le pain de blé.

Caractéristiques du pain "tropical"

Du fait de l'addition de 80 l d'eau dans le pétrin au lieu de 60 l, 100 kg de farine produisent 160 kg de pain au lieu de 140 kg dans le cas du blé.

L'inconvénient de cet avantage est que le pain obtenu, contenant plus d'eau, est plus lourd. Il ressemble au pain de seigle ou aux pains de l'Europe du Nord et non pas à la baguette parisienne.

THÈME III

LES TECHNOLOGIES DE CONSERVATION
EN MILIEU RURAL AFRICAIN
EN PARTICULIER À PARTIR DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

EXPOSÉS INTRODUCTIFS

CONSERVATION PAR LE FROID DES DENREES ALIMENTAIRES CULTIVEES EN CLIMAT CHAUD ET HUMIDE

par Didier Vokaer

RESUME

Ayant souligné l'importance du rôle que peut jouer le froid dans la lutte contre la faim dans le monde, on examine les mécanismes d'action du froid sur les denrées périssables, on analyse les différents types de traitement par le froid et on en déduit les critères à respecter pour assurer des conditions optimales de conservation.

Après avoir passé en revue les procédés possibles de production de froid, les principaux types de machines frigorifiques sont décrits des points de vue thermodynamique et technologique ; des éléments de conception sont donnés, notamment pour les échangeurs de chaleur et les chambres froides.

On étudie ensuite les techniques de production de froid utilisant l'énergie solaire et les moyens utilisés pour faire face aux contraintes imposées par ce type d'approvisionnement énergétique.

Enfin, on expose quelques considérations devant permettre d'évaluer économiquement la justification de l'emploi du froid en fonction des données locales, et d'arriver à une conception cohérente de la "chaîne du froid".

I. INTRODUCTION

La production alimentaire mondiale, qui peut être estimée aujourd'hui à 3,2 milliards de tonnes, ne cesse d'augmenter. Pourtant, dans une grande partie du monde, le taux de croissance démographique

DIDIER VOKAER, Institut de mécanique appliquée, Université libre de Bruxelles

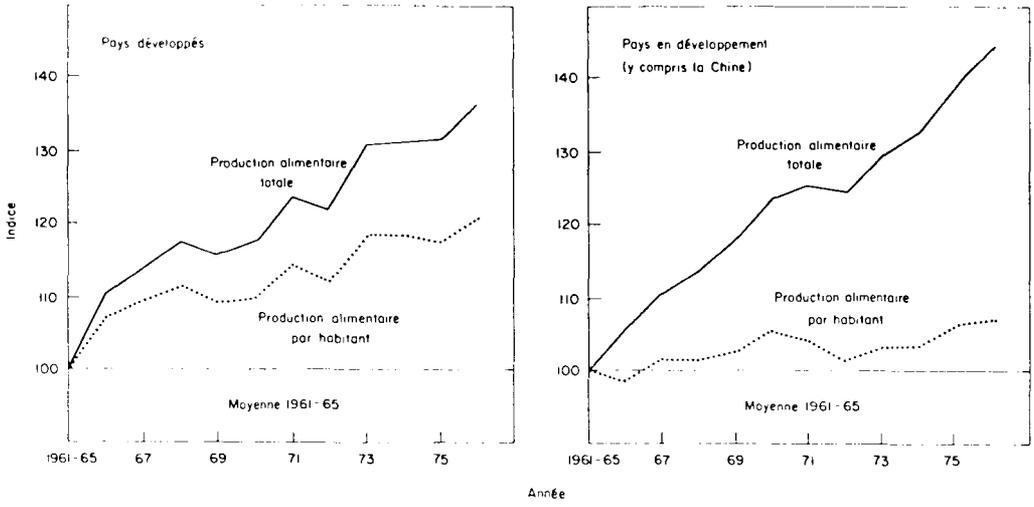


Figure 1
Production alimentaire mondiale et par habitant

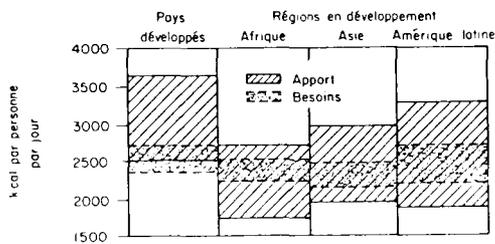


Figure 2
Apports et besoins énergétiques, par habitant

est tel que la production alimentaire par habitant ne suit pas la même évolution (fig. 1). Dans soixante dix pays, cette production n'augmente pas, voire même diminue.

En termes énergétiques, la situation est plus grave encore. La fig. 2 compare les apports et besoins caloriques par habitant (pour la période 1972-1974) dans différentes parties du monde ; les inégalités qu'elle relève doivent impérativement être aplanies.

Globalement, la moitié environ de la production alimentaire consiste en des denrées périssables d'origines animale et végétale. Les autres communications faites à ce colloque ont analysé en détail l'importance, l'origine et les mécanismes des pertes de toute nature qui peuvent survenir avant et, surtout, après récolte.

On peut dire, en première approximation, qu'un quart seulement des 1,5 milliard de tonnes de produits périssables est traité par le froid, dans le monde entier. Si on élimine les produits consommés immédiatement et ceux traités par d'autres procédés en vue de leur consommation (séchage, salage, cuisson, fumaison, etc.) les pertes globales s'élèvent à environ 40 % du reste. La fig. 3 illustre l'importance de ce phénomène et fait apparaître l'urgente nécessité de prendre des mesures pour utiliser le mieux possible ce potentiel nutritif actuellement laissé à la dégradation.

II. ROLE DU FROID DANS LE DOMAINE DE LA CONSERVATION DES DENREES

Comme tout procédé de conservation, le froid permet de constituer en stocks de sécurité les denrées non consommables immédiatement, afin d'aplanir les irrégularités de production. C'est son rôle principal qui, bien qu'évident, doit être souligné.

En outre, il offre un avantage essentiel par rapport aux autres méthodes de conservation : celui de maintenir, dans la plupart des cas, les produits à l'état frais ; on en déduit d'autres rôles non moins importants que le premier :

- laisser intacte la valeur nutritionnelle des aliments ;
- ne pas altérer les qualités gustatives ni l'aspect des denrées.

Il découle immédiatement de ces avantages que la conservation par le froid permettra de développer l'économie par le biais d'échanges commerciaux à tous les niveaux (entre villages, villes, pays ...) et favorisera le développement industriel par suite de la concentration de population autour de commerces nouveaux.

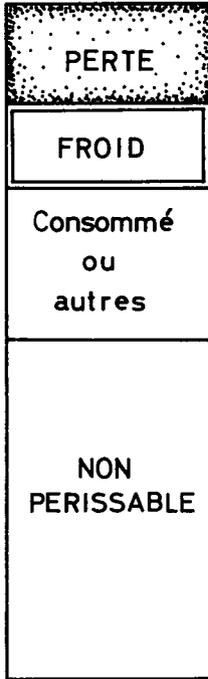


Figure 3
Production en produits périssables et pertes

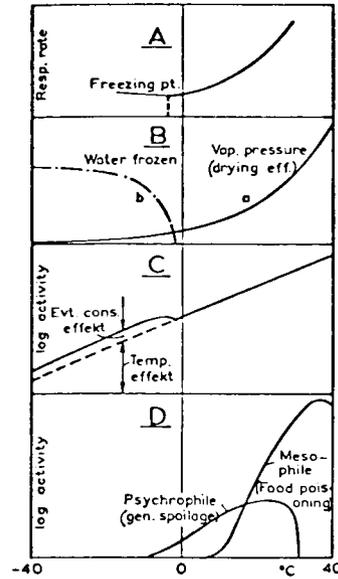


Figure 4
Dépendance des mécanismes d'altération vis-à-vis de la température

Influence of temperature on some processes affecting food quality, very schematically.

A. Metabolic activity is very temperature dependent and stops completely when tissue is killed by freezing.

B. Physical processes. Surface drying (a) is reduced with temperature in accordance with the vapour pressure curve. Concentration of the liquid phase (b) increases as temperature is lowered under the freezing point.

C. Chemical processes generally decrease more or less exponentially at low temperatures, but are also affected by concentration changes.

D. Microbiologic processes decrease from a maximum and are completely arrested below a certain temperature.

On examinera à la fin de cet article les conditions nécessaires pour permettre effectivement ces développements ainsi que les critères pouvant justifier l'emploi du froid sur base des données économiques locales.

3. ACTION DU FROID SUR LES DENREES PERISSABLES

L'effet des basses températures est de ralentir ou même d'arrêter les divers phénomènes responsables de la dégradation des denrées alimentaires. Ces mécanismes d'altération sont extrêmement complexes et d'ailleurs mal connus, si bien que seules des observations empiriques effectuées dans des conditions très précises de conservation, ont pu être faites. On peut grouper les phénomènes en quatre classes :

- *phénomènes biologiques*, relatifs aux tissus vivants. Ceux-ci sont quasiment arrêtés à une température proche du point de congélation ; si la congélation se produit, les tissus sont tués dans la plupart des cas, et d'autres bouleversements se produisent.

Il faut noter que certaines espèces de denrées sont gravement et irréversiblement altérées si elles sont refroidies à des températures sensiblement supérieures au point de congélation. Les désordres physiologiques qui se produisent à partir de cette "température critique" sont communément appelés "maladies du froid".

- *phénomènes physiques*, dont la nature est bien connue, mais dont certaines conséquences sont encore mal comprises.

Les phénomènes consistent principalement en :

- dessiccation en surface
 - condensation d'humidité en surface
 - changement des gradients de concentration en sels dissous, par suite de la cristallisation de l'eau.
- *phénomènes chimiques*, comme l'oxydation ou la décomposition des protéines. Si on a bien enregistré une dépendance plus ou moins exponentielle de ces phénomènes vis-à-vis de la température, on ne saisit pas encore parfaitement l'influence d'autres facteurs comme la teneur en oxygène, la présence d'enzymes, etc.
 - *phénomènes microbiologiques*, tels que la prolifération de bactéries, champignons, etc. Il existe des milliers d'espèces de ces germes, dont les comportements sont très fortement dépendants de la température, mais aussi d'autres facteurs comme l'humidité, le mouvement de l'air, le rayonnement, etc.

Rappelons que, si les germes pathogènes humains sont paralysés à des températures situées bien au-dessus de 0° C, il existe des espèces encore capables de se développer en dessous du point de congélation. On admet cependant que la plupart des micro-organismes sont totalement "endormis" pour des températures de l'ordre de -15° C. Toutefois, ils ne sont pas nécessairement tués et leur activité peut reprendre dès que la température remonte. La fig. 4 résume très schématiquement l'influence de la température sur chacun des phénomènes qui viennent d'être énumérés.

Il faut ajouter à ces actions du froid le rôle que celui-ci peut jouer dans le domaine de la protection contre les insectes. Certaines denrées sont en effet particulièrement sujettes à ce type d'agression, qui est facilement évitée par l'application de températures se situant entre 5 et 15° C. Le seuil de sécurité dépend du type d'insectes et de la teneur en eau du produit considéré.

Enfin signalons que le froid peut être choisi comme procédé de séchage. Bien que très coûteuse, cette méthode peut être rentable pour des matières premières de très grande valeur.

4. CONDITIONS D'ENTREPOSAGE DES DENREES

4.1. Types de traitement par le froid

Avant de formuler quelques recommandations précises pour conserver des denrées dans les meilleures conditions, il importe d'avoir à l'esprit les principales techniques de traitement par le froid. Elles sont au nombre de trois :

- *le rafraîchissement* permet de conserver des denrées que l'on maintiendrait à température ordinaire sous climat tempéré mais que les températures de 30 et 40° C rencontrées en zone tropicale risquent d'altérer rapidement. La gamme de température considérée ici se situe donc aux alentours de 15 à 20° C ;
- *la réfrigération* consiste à abaisser la température d'une denrée alimentaire à une valeur proche de son point de congélation. Celui-ci étant classiquement situé vers -3 à -1° C, il s'agit donc dans ce cas de refroidir le produit jusqu'à 0 à 5° C ;
- *la congélation* a pour but d'amener toutes les parties d'un produit en dessous de la température de congélation, afin de transformer en glace la plus grande partie possible de l'eau contenue dans ce produit. Le point de congélation commençante dépend directement de la concentration en substances dissoutes, et non de la teneur en eau ; au fur et à mesure

que la température décroît, une quantité d'eau croissante est transformée en cristaux de glace, formés d'eau *pure*. La concentration des solutions résiduelles augmente donc en cours de l'opération ; c'est pourquoi un abaissement important de la température (de l'ordre de -30°C) est nécessaire pour congeler un maximum d'eau.

Il faut, pour être complet, ajouter à ces trois principaux types de traitement, deux définitions de plus :

- *la surgélation*, est obtenue par une congélation rapide permettant d'aboutir à cœur de produit à une température égale ou inférieure à -18°C , température qui doit être maintenue pendant toute la durée de conservation, sous emballage approprié. En outre, les denrées surgelées doivent être conditionnées directement en paquets de détail pour la vente aux consommateurs ;
- *la lyophilisation*, est une méthode de préservation des aliments consistant à congeler préalablement la substance, puis à la placer sous vide de façon qu'elle se déshydrate (par sublimation de la glace). Une fois le produit desséché, on peut se passer du froid pour le conserver.

4.2. Conditions à respecter pour une conservation optimale

Les conditions "optimales" de conservation d'une denrée particulière peuvent être définies sur base des critères suivants :

- la durée de conservation doit être la plus longue possible
- le taux de pertes doit être le plus faible possible.

Ces deux exigences sont étroitement liées. Il importe donc de fixer d'abord la perte de qualité et de valeur nutritive *acceptable "commerciallement"*, ou même un taux admissible de pertes par déchets, la notion de qualité commerciale pouvant varier pour un même produit selon les conditions locales. La durée maximum de conservation peut alors être déterminée, le plus souvent par des essais empiriques.

Si on ne désire conserver le produit que pendant une *courte période*, ces conditions optimales pourront être *assouplies*, en veillant toutefois à ne lui faire subir aucune détérioration irréversible.

- 1 - Tout produit destiné au stockage doit être *parfaitement frais* et de *bonne qualité* ; il ne doit pas avoir été blessé par une manutention maladroite ni porter de traces de contamination ou d'attaque microbienne.
- 2 - Tout retard à mettre le produit sous régime du froid réduit la durée pendant laquelle celui-ci peut être conservé, soit parce qu'il s'est détérioré dans l'intervalle, soit parce qu'il s'est transformé et

qu'il s'altérerait s'il était soumis aux conditions recommandées normalement.

En d'autres termes, tout produit doit être *stocké le plus tôt possible* après la récolte.

- 3 - La *durée de refroidissement* doit être aussi rapide que possible (par exemple : pas plus de vingt quatre heures pour la plupart des fruits et légumes). Ce refroidissement peut se faire dans la chambre d'entreposage ou dans une chambre spéciale de prérefrigration.
- 4 - Il faut maintenir une *température aussi constante que possible* pendant toute la durée de l'entreposage. Certaines espèces ne supportent pas des variations supérieures à $\pm 1^{\circ} \text{C}$!
- 5 - L'*humidité relative* doit être ajustée à une valeur bien déterminée dépendant de la nature des denrées. Une valeur trop faible entraîne la dessiccation des produits très riches en eau, tandis qu'une humidité relative trop élevée favorise la prolifération de microorganismes.
- 6 - L'*atmosphère* régnant dans l'enceinte doit être surveillée. Une circulation d'air *modérée* est souvent requise pour maintenir une bonne uniformité de température et d'humidité et éliminer les gaz produits par certaines denrées. L'air frais éventuellement préservé à l'extérieur doit être "propre", hygiéniquement parlant. En outre, la disposition des denrées dans l'entrepôt doit être étudiée pour que l'air circule librement entre celle-ci (gerbage). On peut d'autre part modifier la teneur en oxygène et tolérer la présence d'une quantité de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'air. Cette *atmosphère contrôlée* permet de ralentir la respiration des denrées et de prolonger leur survie. C'est une technique très délicate.
- 7 - L'entrepôt frigorifique doit être maintenu en *bon état sanitaire*, le développement microbien pouvant être rapide à des températures supérieures à 0°C . Outre l'élimination fréquente des saletés et de tous les débris alimentaires, on peut devoir recourir à des désinfections périodiques.
- 8 - Il faut éviter enfin, *lorsqu'un produit est retiré* de la chambre froide, que de l'eau se condense à sa surface. Ce phénomène se produira dans le cas où la température en surface du produit est plus basse que la "température de rosée", qui dépend de l'humidité relative et de la température ambiante (fig. 5) (par exemple : pour $T_{\text{ambiante}} = 29^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{produit}} = 12^{\circ}\text{C}$, la condensation se produit si l'humidité est plus grande que 35 %).

Cette condensation sera, au besoin, rapidement éliminée au moyen d'une ventilation adéquate.

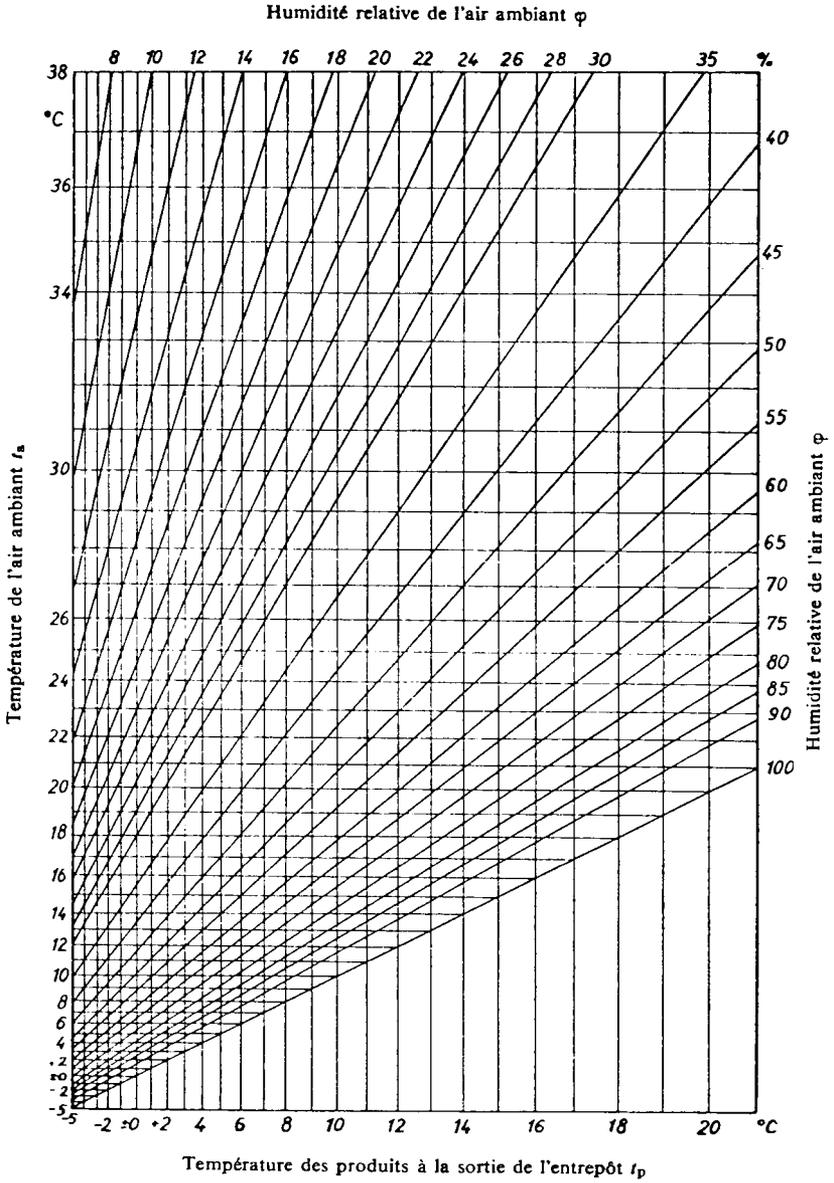


Figure 5
Température de rosée de l'air humide

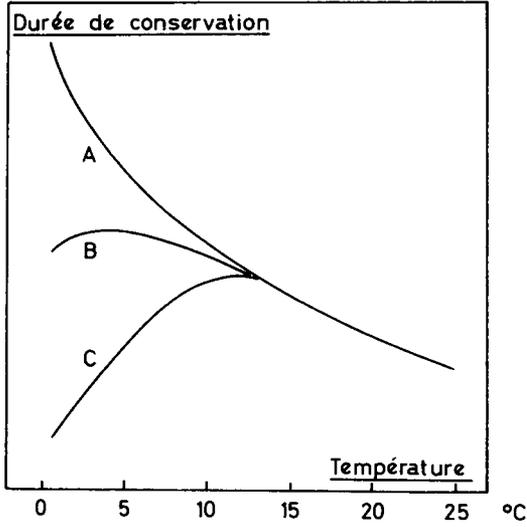


Figure 6
Sensibilité au froid des denrées
A: Faible
B: Moyenne
C: Élevée

Produit	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée de conservation (m, s, j)
<u>Fruits tropicaux</u>			
Avocat	5 - 12	85 - 90	2 - 6 s.
Banane	12	85 - 90	10 - 20 j.
Ananas	10 - 13	85 - 90	4 - 6 s.
<u>Légumes</u>			
Haricots	7 - 8	92 - 95	1 - 2 s.
Betterave (sans feuilles)	0	92 - 95	5 - 6 m.
Chou	0	95	2 - 4 m.
Maïs sucré	0	95	1 s.
Pommes de terre nouvelles	10	90	3 - 8 s.
Pommes de terre tardives	4 - 6	90 - 95	5 - 9 m.
Patate douce	13 - 16	85 - 90	4 - 7 m.
Manioc, Cassava	0 - 1,5	80 - 90	5 - 6 m.
Igname	16	85 - 90	3 - 6 m.
Cacao - fèves	0 - 2	70 - 75	6 - 12 m.

Figure 7
Recommandations pour la température et la durée de conservation

9 - Pour compléter cette liste, signalons que pour certaines applications, un *emballage* adéquat peut contribuer efficacement à prolonger la durée de conservation. La nécessité et la nature de cet emballage devront être étudiées cas par cas en fonction des besoins.

4.3. Exemples - Choix de la température de stockage

Comme on l'a signalé en début du paragraphe 3, un grand nombre de denrées tropicales ne peuvent être stockées à des températures trop basses, sans subir des altérations irréversibles ("brûlures par le froid"). Les produits peuvent d'ailleurs être classés selon leur sensibilité à ces maladies du froid (fig.6).

L'ouvrage cité en référence* fournit les conditions recommandées et les durées de conservation pour un très grand nombre de denrées alimentaires. La fig. 7 reprend une sélection de produits, avec leurs paramètres d'entreposage. Rappelons une fois encore que l'assouplissement de ces conditions recommandées ne peut pas "faire de tort", mais raccourcit simplement les durées maximales de stockage.

4.4. Application du froid aux denrées

Avant d'être placées dans la chambre froide, les denrées gagnent à être refroidies aussi rapidement que possible. Les procédés de réfrigération sont très divers et utilisent le plus souvent soit un actif courant d'air froid, soit de l'eau glacée.

Cette dernière méthode est largement utilisée dans divers pays pour les fruits et légumes, soit par immersion, soit par aspersion. Elle offre l'avantage de ne pas exiger de matériel compliqué : l'eau glacée est simplement obtenue par addition de glace. Mais l'humidification peut conduire à un développement subséquent de moisissures préjudiciables à la conservation. On peut y remédier, au moins en partie, en ajoutant à l'eau glacée certains antiseptiques autorisés.

Des techniques plus sophistiquées, nécessitant des installations plus coûteuses, sont généralement mises en oeuvre pour la surgélation (entre autres : lit fluidisé, ...). Celles-ci sortent du cadre de cet article, plus orienté vers les applications à faible capacité de traitement et de technologie économique.

* *Conditions recommandées pour la conservation des produits périssables à l'état réfrigéré.* - Paris : I.I.F., 1979.

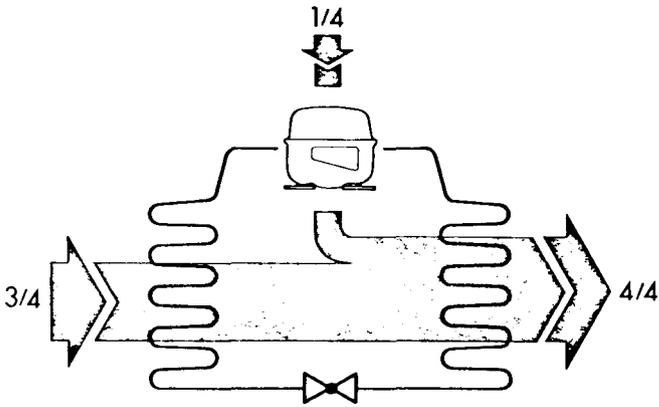


Figure 8

Schéma énergétique d'une pompe à chaleur

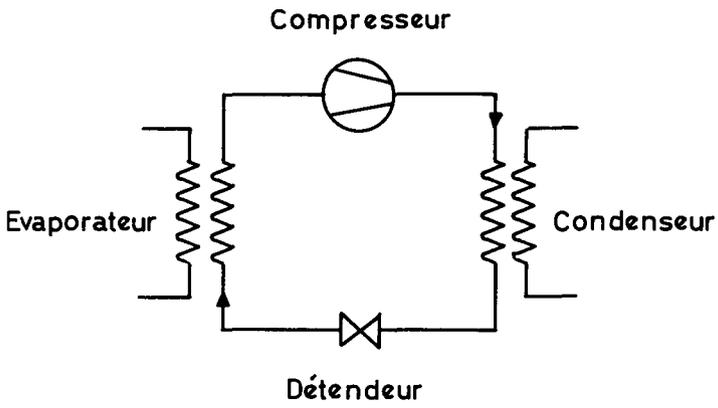


Figure 9

Réalisation d'une pompe à chaleur

5. MOYENS DE PRODUCTION DE FROID

Divers phénomènes physiques ou chimiques peuvent être à l'origine d'une production de froid. Nous commencerons par en citer un certain nombre, pour ne nous intéresser ensuite qu'aux principaux.

- *La dissolution de certains sels dans l'eau* s'accompagne d'une diminution de température.
- *La vaporisation de certains liquides*, dans certaines conditions de pression, se produit à des températures inférieures à l'ambiance.
- *La sublimation d'un solide* est, elle aussi, endothermique dans certains cas.
- *La détente d'un gaz*, d'une pression élevée à une pression plus basse, avec ou sans production de travail, a comme résultat un gaz détendu à température inférieure à celle qu'il avait au départ.
- *L'effet Peltier* est un phénomène d'origine électrique qui permet d'obtenir le refroidissement d'une partie d'un circuit électrique.
- *Le rayonnement vers l'espace* de surfaces convenablement revêtues leur fait subir un abaissement de température. Ce phénomène ne peut se produire que la nuit et par ciel clair.
- *La liquéfaction d'un solide*, par exemple de la glace, est plutôt l'exploitation d'un stockage de froid.

5.1. Principe de la pompe à chaleur

Les machines frigorifiques sont des "pompes à chaleur", en ce qu'elles transfèrent de la chaleur d'un "endroit" à un autre, ou mieux : d'une "source" à une autre, ces deux sources se trouvant en l'occurrence à des températures différentes : une froide et une chaude.

Ce transfert ne peut se faire seul. Pour le provoquer, il faut apporter de l'énergie.

Cependant, comme le montre la fig. 8, les quantités de chaleur (énergies) ainsi transférées sont généralement supérieures à l'énergie qu'il faut fournir pour y arriver. Par conséquent, si la chaleur fournie ou absorbée à l'une des sources est "gratuite" (par exemple : le milieu ambiant, la terre, l'eau ...), l'énergie absorbée ou fournie à l'autre source est supérieure à celle qu'il a fallu "investir" dans le système.

On en conclut que le rendement est, en termes d'énergie thermique, supérieur à 100 %.

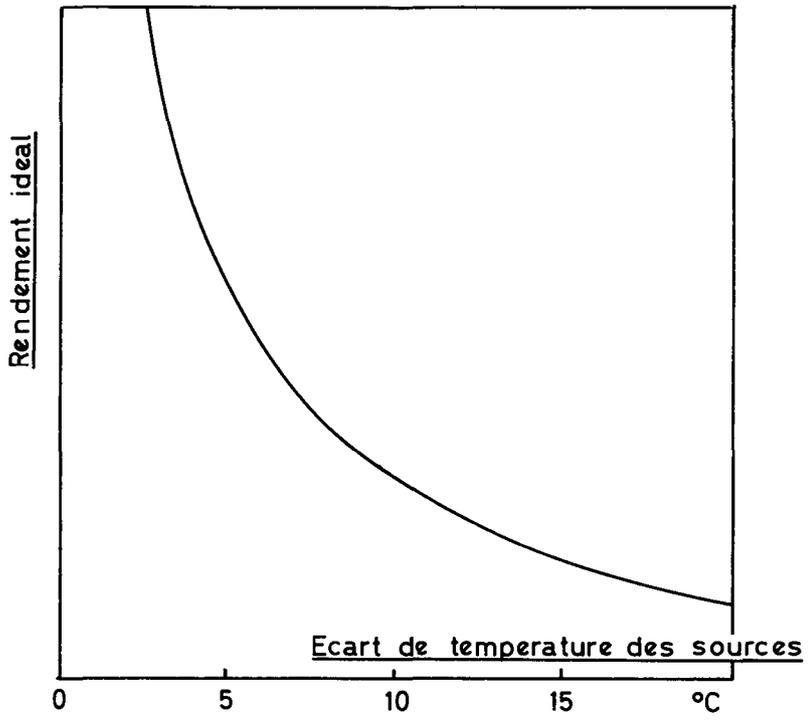


Figure 10
Rendement idéal d'une pompe à chaleur

Dans la pratique, les deux sources sont exploitées par des échangeurs de chaleur dans lesquels soit on vaporise un liquide (absorption d'énergie), soit on condense un gaz (libération d'énergie), ces deux transformations s'effectuant à des pressions et températures différentes, mais constantes.

Dès lors, si on enferme dans un circuit bouclé un fluide bien déterminé, *comprimé* avant son passage dans le condenseur (source chaude), et *détendu* avant d'entrer dans l'évaporateur (source froide), on a réalisé une machine frigorifique ou pompe à chaleur (fig. 9).

On peut montrer facilement que le rendement dépend fortement de la différence de température entre les deux sources : plus il est petit, meilleur sera le rendement théorique (fig. 10).

En d'autres termes, puisque la condensation se produit à une température qui dépend, pour un type d'échangeur donné, des conditions ambiantes dont on n'est pas maître, on peut dire que le froid sera d'autant plus coûteux qu'il est fourni à basse température. Les autres caractéristiques des installations (performances, dimensionnement) sont fonction de la nature du fluide frigorigène employé.

5.2. Machines à compresseur

Le schéma de la fig. 9 déjà vue, est celui d'une *machine à un étage* de compression. Dans ce schéma et ceux qui vont suivre, les compresseurs sont du type à piston(s) ou turbocompresseur.

Si l'on veut produire du froid à plus basse température, le taux de compression doit être augmenté et les performances du compresseur sont moins bonnes. On préférera utiliser alors une machine à deux étages de compression, comme celle schématisée à la fig. 11.

On peut enfin accoupler deux machines simples en cascade, l'évaporateur de la première servant à absorber la chaleur libérée par le condenseur de la seconde (fig. 12). On peut ainsi obtenir facilement des températures très basses à l'évaporateur de la seconde machine.

5.3. Machines à absorption

Il existe une autre catégorie de machines frigorifiques, dites "à absorption", dans lesquelles le compresseur (mécanique) est remplacé par un ensemble d'équipements remplissant exactement la même fonction (fig. 13 : cadre en trait interrompu).

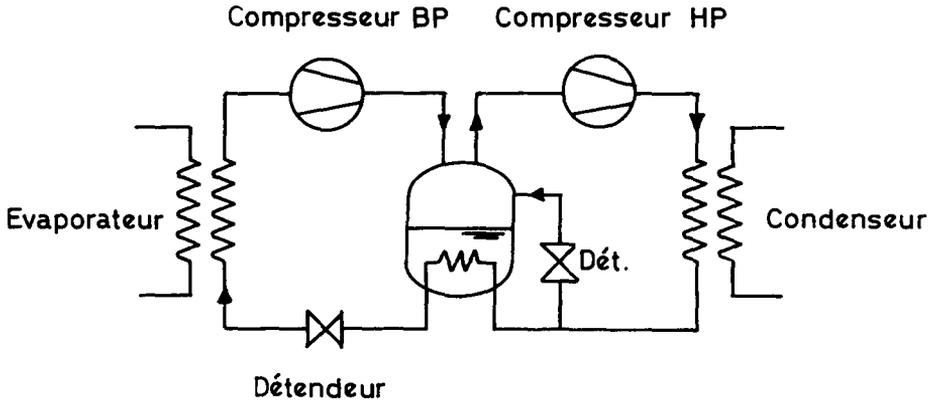


Figure 11
Machine frigorifique à deux étages de compression

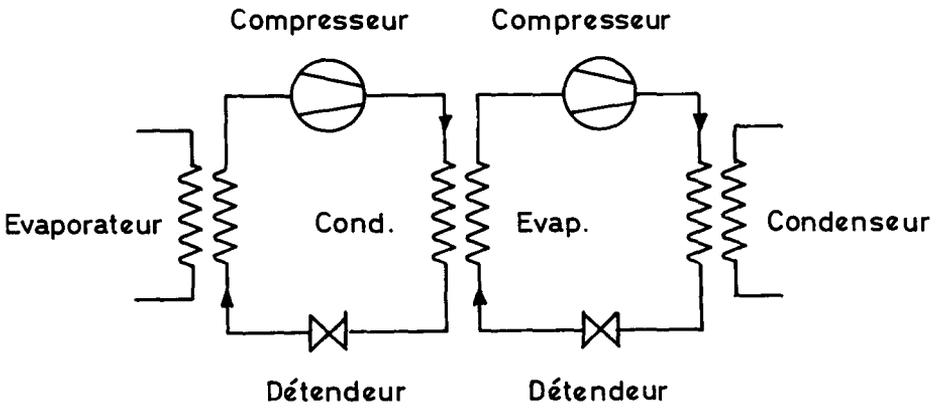


Figure 12
Machine frigorifique en cascade

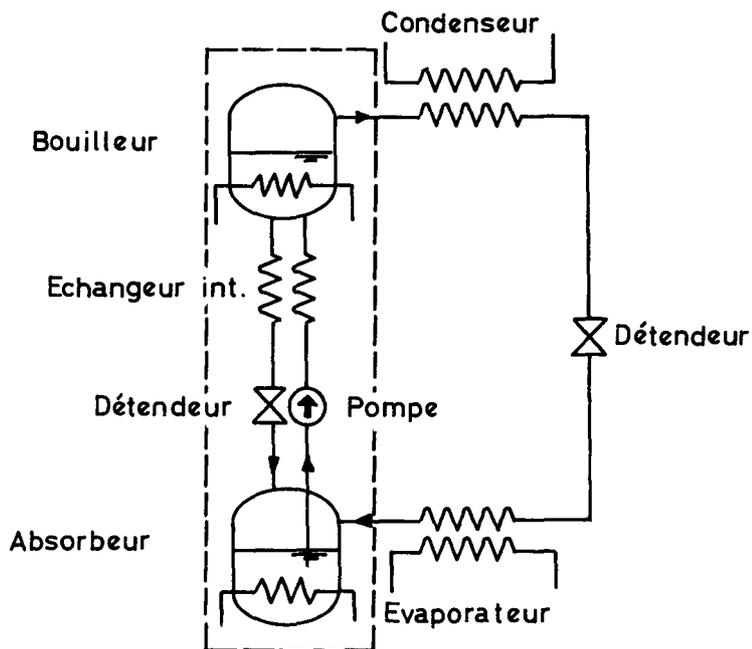


Figure 13
Machine frigorifique à absorption

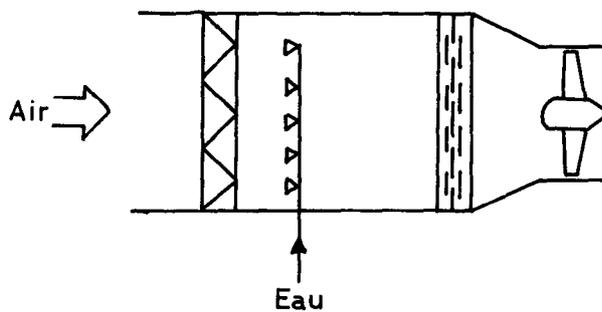


Figure 14
Machine frigorifique à évaporation d'eau

Dans l'"absorbeur", le fluide frigorigène est mis en présence d'un solvant (absorbant) qui remplit le rôle d'"aspirateur" et en même temps l'incorpore dans une phase *liquide*. On augmente ensuite la pression de ce liquide au moyen d'une pompe, puis on permet au fluide frigorigène de se libérer à nouveau, sous forme de vapeur, dans le "bouilleur". Le solvant, qui ne participe pas au cycle frigorifique proprement dit, est recyclé depuis le bouilleur jusqu'à l'absorbeur, en passant par une vanne qui le ramène à basse pression.

Les différences fondamentales de principe qui existent entre ce type de machine et les machines à compresseur sont les suivantes :

- la pompe consomme beaucoup moins d'*énergie mécanique* que ne le fait le compresseur du cycle classique ;
- l'absorbeur doit être *refroidi* sous peine de voir le solvant incapable d'"aspirer" le fluide frigorigène ;
- le bouilleur doit être *chauffé* pour re-séparer la vapeur frigorigène de son solvant.

En d'autres termes, l'absorbeur et le bouilleur sont *deux échangeurs de chaleur supplémentaires* à prévoir.

En outre, dans ce type de machine, le choix du fluide frigorigène est subordonné à l'existence d'un solvant approprié, ce qui en l'occurrence est un facteur extrêmement limitatif. En effet, il y a intérêt à ce que la désorption qui a lieu dans le bouilleur puisse se produire à des températures non excessives. On a fort heureusement pu trouver des couples de fluides répondant à cette exigence (températures de l'ordre de 90 à 125°C), mais généralement les propriétés de ces fluides ne permettent pas d'atteindre des températures aussi basses que celles permises par les machines à compresseur.

Pour terminer, signalons que le principe de la machine à absorption peut être utilisé dans une installation isobare ne nécessitant pas de pompe, donc n'exigeant la fourniture d'*aucune énergie sous forme mécanique*. On obtient une différence de pression du fluide frigorigène entre les côtés haute et basse température de la machine, en incorporant au circuit un gaz complémentaire (l'hydrogène), inactif sur le plan frigorifique, qui s'accumule essentiellement dans les zones du circuit où le fluide frigorigène est à basse pression (pressions partielles). La circulation des solutions est réalisée grâce à un thermo-émulseur auquel on ne demande de vaincre que de très faibles différences de pression.

5.4. Machines à évaporation d'eau

Se basant sur le même principe physique de l'évaporation d'un liquide, on peut obtenir un abaissement sensible de température par

rapport à la température ambiante, par évaporation d'eau à pression atmosphérique (fig. 14). Cet abaissement de température est fortement dépendant de l'humidité relative et se prête mieux à être utilisé en *climat sec* (fig. 15). Par exemple, pour T ambiante = 30° C et une humidité de 50 %, on peut obtenir un abaissement de température de maximum 8° C.

L'avantage de ce procédé est de n'exiger aucun appareillage coûteux : tout au plus, un ventilateur et une pompe.

5.5. Eléments de technologie

Compresseurs

Les machines les plus connues et les plus répandues sont les compresseurs à piston(s), dont la technologie est largement éprouvée. Ils permettent des taux de compression élevés mais des débits faibles. Leur culasse peut être refroidie pour améliorer leurs conditions de fonctionnement. On utilise beaucoup plus rarement des compresseurs à palettes (fig. 17) ou à vis (fig. 18), encore que ces derniers aient l'avantage d'allier taux de compression élevé et débit important. Les turbocompresseurs (fig. 19) sont réservés aux installations de plus grande puissance, étant donné les grands débits qu'ils véhiculent.

L'association d'un compresseur avec son moteur d'entraînement peut être réalisée de trois façons (fig. 20 a,b,c).

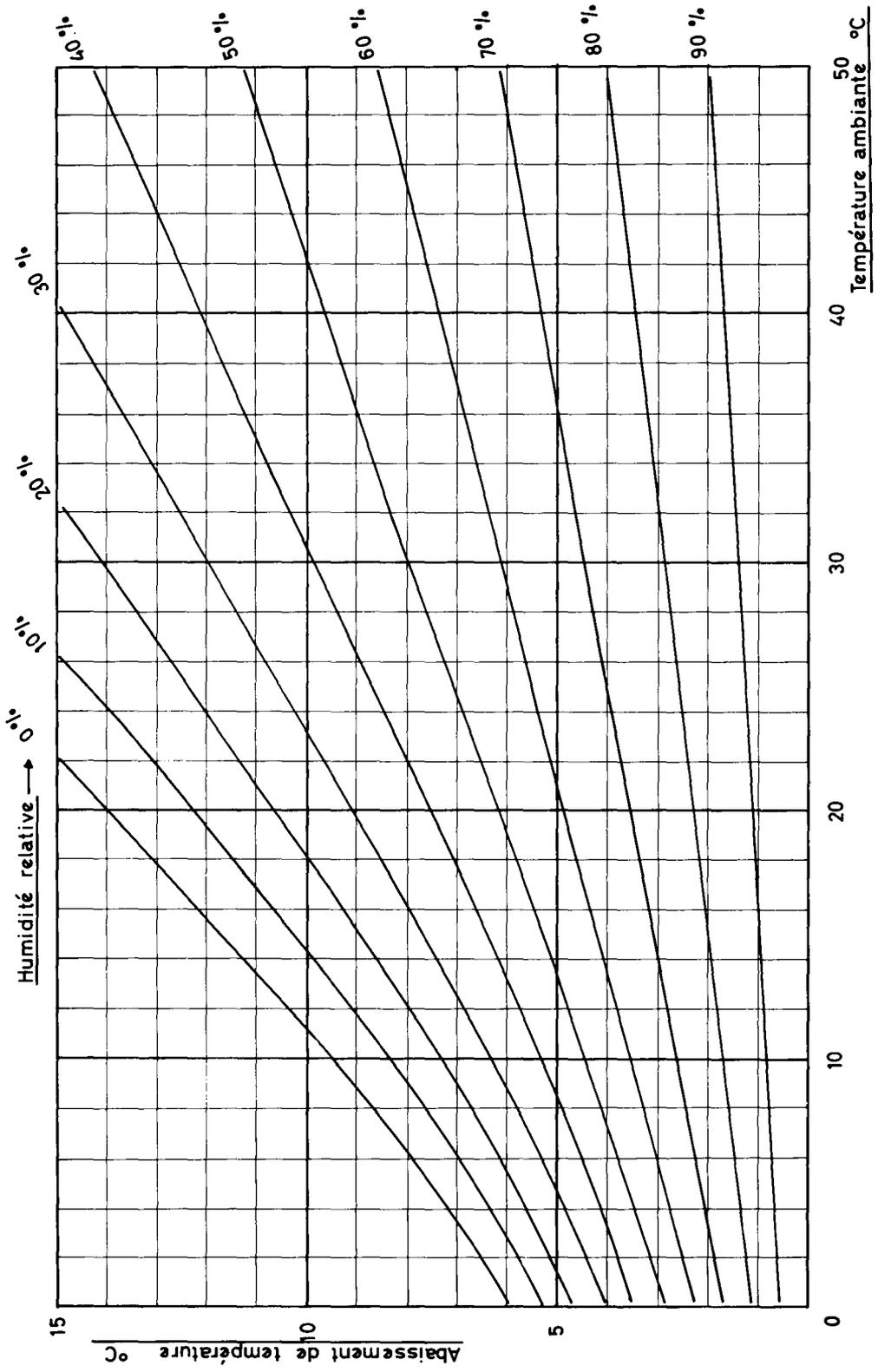
Il existe en général une corrélation entre ces trois types de conception et les puissances délivrées :

- groupes hermétiques purs : faible puissance
- groupes semi-hermétiques : moyenne puissance
- groupes ouverts : forte puissance.

Les groupes ouverts présentent l'avantage de pouvoir être facilement réparés. Les moteurs d'entraînement sont avantageusement électriques ; au besoin, on peut envisager l'utilisation de moteurs thermiques pour les groupes ouverts.

Condenseurs

Pour éviter une température de condensation trop élevée (voir § 5.1), on utilise généralement dans les pays chauds des condenseurs refroidis par de l'eau. Si l'eau de refroidissement est disponible en abondance, on la rejettera à l'égoût ou à la rivière ; dans le cas contraire, on la recyclera après l'avoir refroidie dans l'atmosphère (voir plus loin).



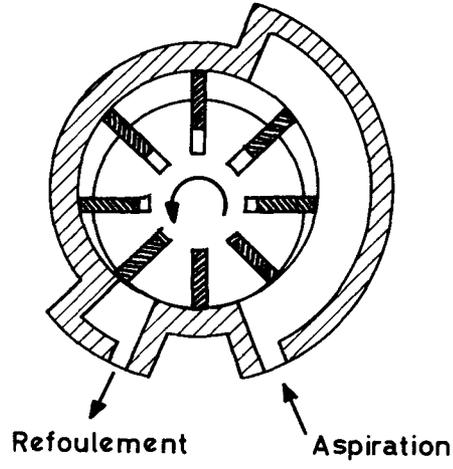


Figure 17
Compresseur à palettes

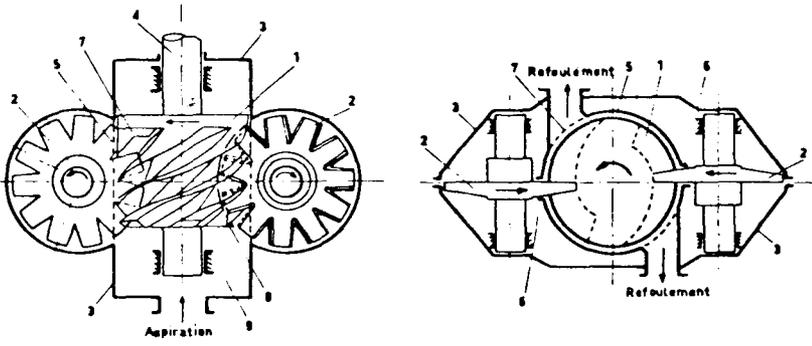


Figure 18
Compresseur à vis

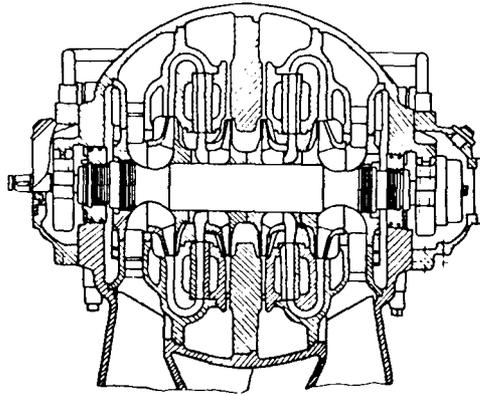
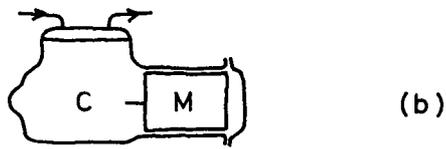
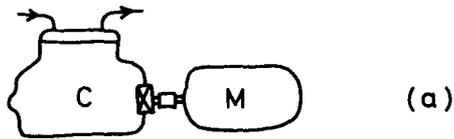


Figure 19
Turbocompresseur



Figures 20
Groupes moto-compresseurs « ouvert », « semi-ouvert », « hermétique »

Il existe trois types principaux de condenseurs :

- à tubes concentriques à contre-courant (fig. 21), assez encombrants et présentant l'avantage de pouvoir être facilement nettoyés (eaux sales !) ;
- multitubulaires horizontaux (fig. 22) ; l'eau de refroidissement circule à l'intérieur des tubes, en plusieurs "phases". Le nettoyage de ces appareils, très compacts, est également très aisé ;
- multitubulaires verticaux, dans lesquels l'eau circule par gravité, en couche mince, à l'intérieur de tubes largement ouverts (fig. 23).

Ils présentent l'avantage de pouvoir être entretenus sans devoir mettre l'installation hors service.

La fig. 24 montre un exemple de réfrigérant atmosphérique permettant de récupérer l'eau, souvent rare et chère dans les pays chauds. Le refroidissement est rendu plus énergique par l'évaporation d'une partie de cette eau, selon le même principe que celui vu au § 5.5. (revoir fig. 14 et 15).

Les condenseurs refroidis par air sont moins utilisés pour les raisons déjà mentionnées. On peut cependant les employer pour des installations de très faible puissance (applications ménagères par exemple) ou lorsque l'eau fait totalement défaut. Ils se présentent alors sous l'aspect de la fig. 25 (refroidissement par convection forcée). Ce sont des appareils assez encombrants mais d'entretien quasi nul.

Evaporateurs

Les évaporateurs diffèrent par leur conception selon que le milieu à refroidir est liquide, gazeux (air), ou solide.

Dans le premier cas, on rencontre des évaporateurs immergés, à ruissellement (fig. 26) ou multitubulaires (fig. 27). Pour refroidir de l'air, on emploie des échangeurs à convection naturelle (fig. 28) ou forcée (fig. 29). La réfrigération des denrées solides se réalise par contact direct avec des plaques, de forme appropriée.

Lorsque la température à atteindre est proche de 0°C, le fluide frigorigène est, lui, à une température encore inférieure. L'humidité contenue dans l'air se pose en *givre* sur la surface de l'évaporateur. Celui-ci fait obstacle à la circulation de l'air et réduit considérablement le coefficient global d'échange thermique. On est donc conduit à devoir l'éliminer périodiquement.

Chambres froides

Le *maintien* à basse température du contenu d'une chambre froide

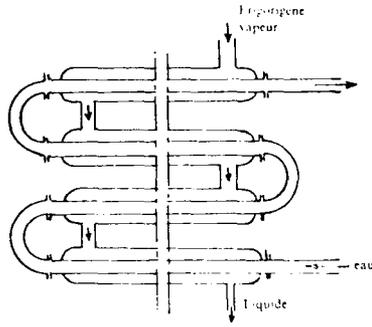


Figure 21

Condenseur à contre-courant à tubes concentriques

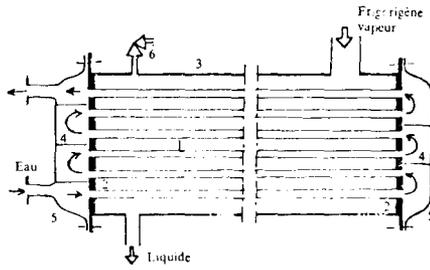


Figure 22

Condenseur multitubulaire horizontal

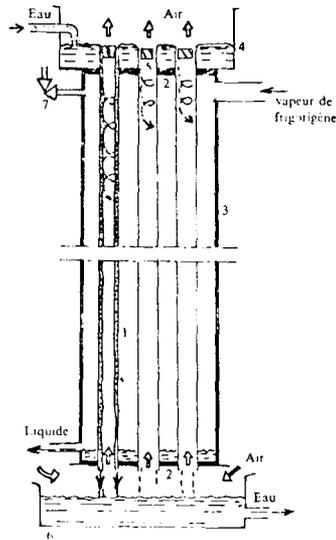


figure 23

Condenseur multitubulaire vertical à couche mince

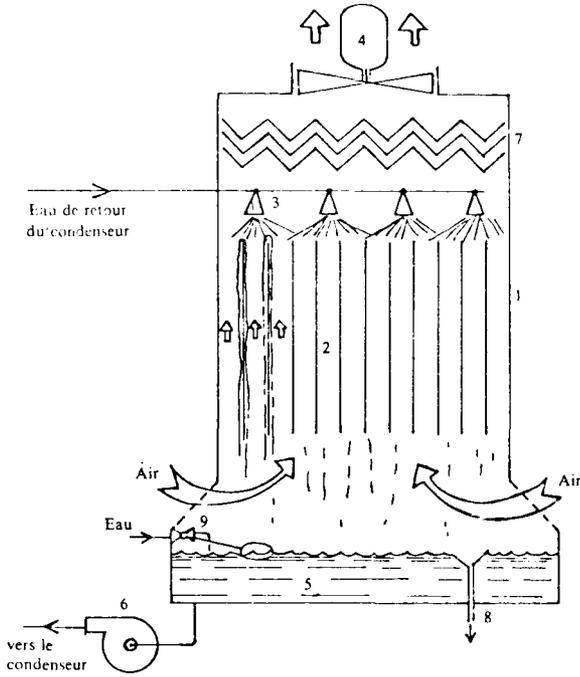


Figure 24
Réfrigérant atmosphérique à évaporation

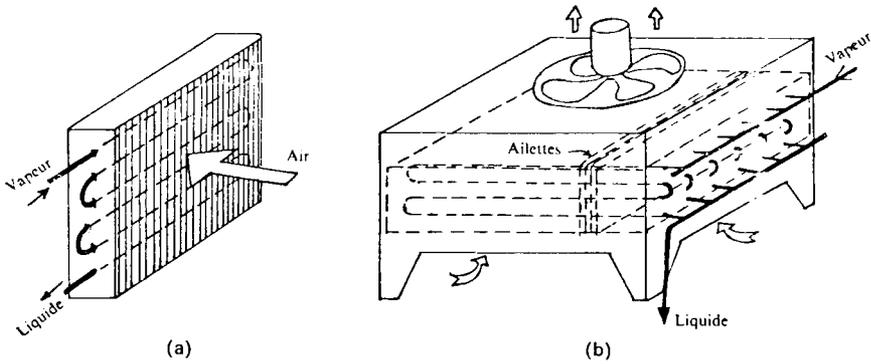


Figure 25
Condenseur à air à convection forcée

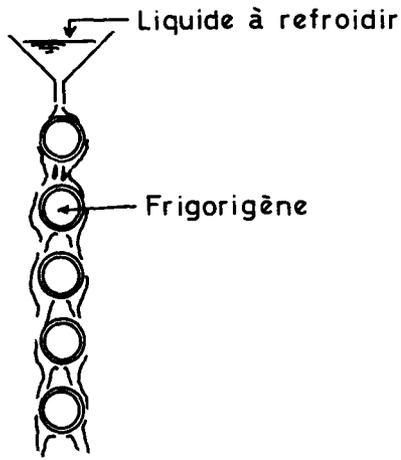


Figure 26
Évaporateur à ruissellement

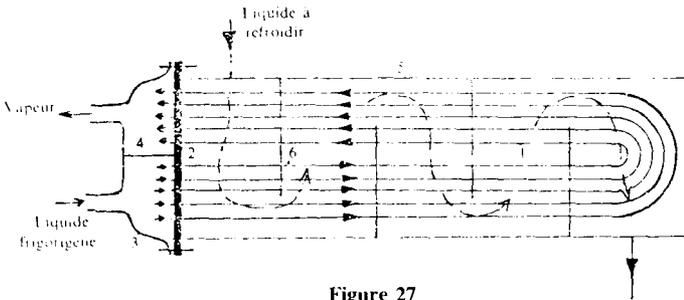
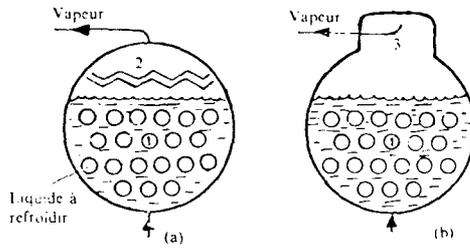


Figure 27
Évaporateur multitubulaire

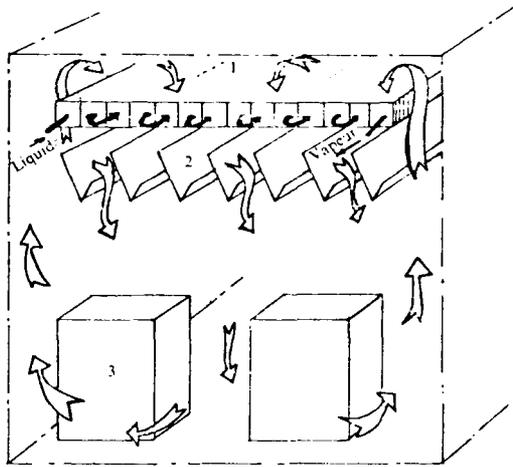
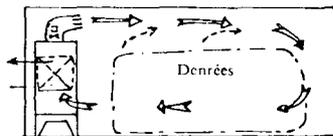
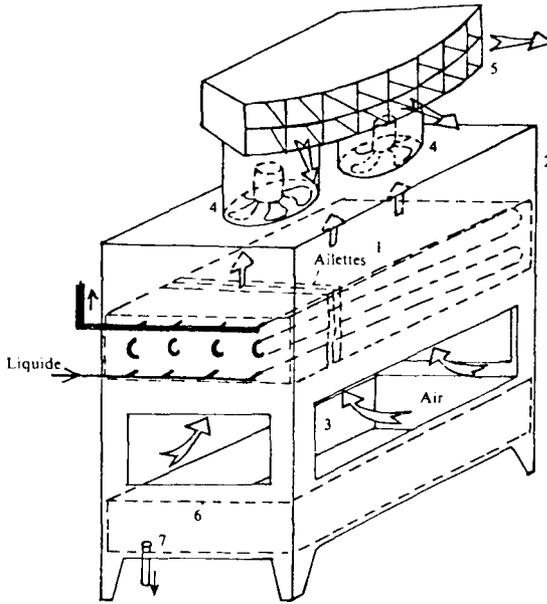


Figure 28

Évaporateur à air à convection naturelle



———> Circulation d'air directe
 - - - -> Circulation d'air induite par la circulation directe

Figure 29

Évaporateur à air à convection forcée

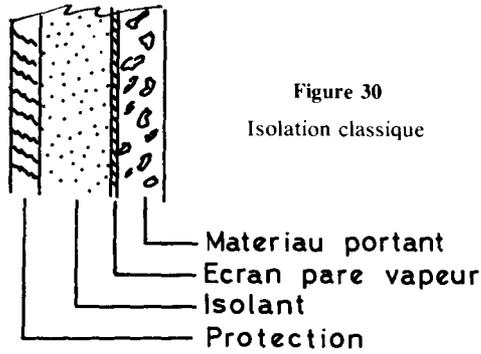


Figure 30
Isolation classique

COMPARAISON DES PERMÉABILITÉS DE QUELQUES MATÉRIAUX EMPLOYÉS
COMME ECRAN PARE-VAPEUR

Perméabilité en $g/m^2 \cdot 24 h$ (pour $38^\circ C$ et HR-90%) (valeurs moyennes)	
A. Matériaux en feuilles	
Tôle d'acier	0
Feuille aluminium 8/100 mm	0
Polyéthylène 25 μm	24
Polyéthylène 30 μm	20
Polyéthylène 100 μm	6
Polyéthylène 300 μm	1,5
Feutres bitumineux	5,5
Complexes bitume-aluminium	4
B. Matériaux en enduits	
Émulsions de bitume 2 kg/m^2	15
Émulsions de bitume 3 kg/m^2	10
Mastics solvantés 2 kg/m^2	1,2
Mastics solvantés 3 kg/m^2	0,9

Figure 31
Perméabilité de quelques écrans pare-vapeur

VALEURS DE LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE λ POUR LES MATÉRIAUX USUELS

Matériaux	λ en $kcal/m \cdot h \cdot ^\circ C$	λ en $W/m \cdot ^\circ C$	
Béton armé	1,3	1,5	habituellement portés à 0,045 $W/m \cdot ^\circ C$ pour tenir compte du vieillissement et des imperfections de pose
Béton banché	1	1,2	
Agglomérés de ciment	0,6	0,7	
Briques : pleines	0,6-0,75	0,7-0,86	
creuses	0,3	0,35	
Bois	0,12-0,15	0,14-0,16	
Liège	0,035	0,040	
Polystyrène expansé	0,028	0,033	
Fibres minérales	0,030	0,035	

Figure 32
Conductibilité thermique des matériaux

exige de l'installation frigorifique qu'elle enlève en permanence de cette enceinte le dégagement de chaleur qui s'y produit. Ce dégagement de chaleur a plusieurs origines :

- refroidissement des denrées introduites à température ambiante ;
- métabolisme des produits vivants ("chaleur de respiration") ;
- isolement imparfait de l'enceinte, qui est le siège de transferts de chaleur avec l'extérieur par *convection*, *conduction* et *rayonnement* ;
- renouvellement d'air dans la chambre, que celui-ci soit voulu ou *non* (enceinte non étanche, ouverture des portes, etc.) ;
- présence éventuelle d'accessoires (éclairage, ventilateurs, ...) ou de personnel.

L'estimation de toutes ces quantités, associées aux données dimensionnelles de la chambre, conduit au choix de la puissance d'installation nécessaire.

Comme on pouvait s'y attendre, le poste "isolement" est l'un des plus importants, surtout en climat chaud.

Isolation

Une isolation traditionnelle se compose généralement de trois éléments. En partant de l'*extérieur vers l'intérieur*, on rencontre (fig. 30) :

- un *écran anti-vapeur* : qui empêche l'humidité extérieure de pénétrer dans l'isolant, ce qui diminuerait ses performances. La face extérieure de cette paroi devra être réfléchissante ou de *couleur claire*, pour atténuer les effets néfastes du rayonnement solaire (fig. 31) ;
- un *matériau isolant*, qui freine le transfert de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur de la chambre ;
- un *revêtement intérieur de protection*, *non imperméable*, qui évite la détérioration de la matière isolante si elle est fragile, ce qui est très souvent le cas.

Le matériau isolant est le composant d'importance majeure. Plus sa résistance thermique est élevée, moins l'épaisseur à prévoir doit être grande pour autoriser une fuite de chaleur donnée. On admet généralement une valeur de 10 W/m^2 (9 kcal/h.m^2) pour cette quantité. Les tableaux des fig. 32, 33 et 34 fournissent des données quantitatives sur divers isolants utilisés classiquement.

On n'oubliera pas de prévoir une isolation également *au sol* de la chambre froide.

TABLEAU DE COMPARAISON DES CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX ISOLANTS EMPLOYÉS EN ISOLATION FRIGORIFIQUE (*)

Matériau	Masse volumique kg/m ³	λ , à 0°		Indice de perméabilité à la vapeur d'eau g/h.m ² pour 1 m d'épaisseur (**)	Combustibilité	Résistance à la compression kg/cm ² pratique (N/m ² × 10 ⁻³)	Coefficient de dilatation linéique	
		kcal h.m.°C	W m.°C					
Liège expansé pur ordinaire	100/110	0,035	0,0406	moyenne	moyennement inflammable	0,750		
Liège expansé surcomprimé	170	0,043	0,05			4,000		
	320/350	0,045	0,052			7,000		
Fibres de verre	22	0,030	0,035	élevée	incombustible	très faible	sans importance	
	37	0,027	0,0315					
Fibres minérales	Panneaux Bourrage	70/100	0,030	élevée	incombustible	très faible	sans importance	
		100	0,032					0,037
Polystyrène expansé	Moulé Continu	suivant classe	0,028	0,0325	0,125/0,195	combustible qualité autoextinguible	0,200/0,500	7 × 10 ⁻⁵
			0,027	0,0315	0,029/0,065			
Polystyrène extrudé (styrofoam)	F.R. F.C.	30	0,028	0,0325	0,025 0,015	autoextinguible	0,750 1,000	7 × 10 ⁻⁵
		36	0,023	0,0267				
Verre mousse	T.2 S.3	125	0,040	0,047	pratiquement nulle	incombustible	1,700 2,200	8 × 10 ⁻⁶
		135	0,042	0,049				
Chlorure de polyvinyle	33.40.55.75	0,020	0,023	0,020	non inflammable thermoplastique	1,5/2/3/4	35 × 10 ⁻⁶	
Mousses phénoliques	40	0,022	0,026	0,019	non inflammable	0,300/0,800	29 × 10 ⁻⁶	
Mousse rigide de polyuréthane	33 à 70 suivant classe	0,018/0,020	0,021/0,023	0,08/0,12	suivant qualité	0,350/1,400	6 à 7 × 10 ⁻⁵	
Perlite	45 à 65	0,037	0,043	élevée	incombustible	très faible	sans importance	

(*) D'après « Guide pratique de l'isolation frigorifique » par G. Ballot.

(**) Valeurs moyennes déterminées pour une température du 38 °C et une H.R. de 0 % et 90 % de part et d'autre de l'échantillon.

Figure 33
Conductibilité thermique des isolants

TABLEAU DE CORRESPONDANCES D'ÉPAISSEUR DE MATÉRIAUX POUR UN COEFFICIENT K DÉTERMINÉ

K en kcal/h.m².°C et λ en kcal/h.m.°C (1)

K en W/m².°C et (λ en W/m.°C)

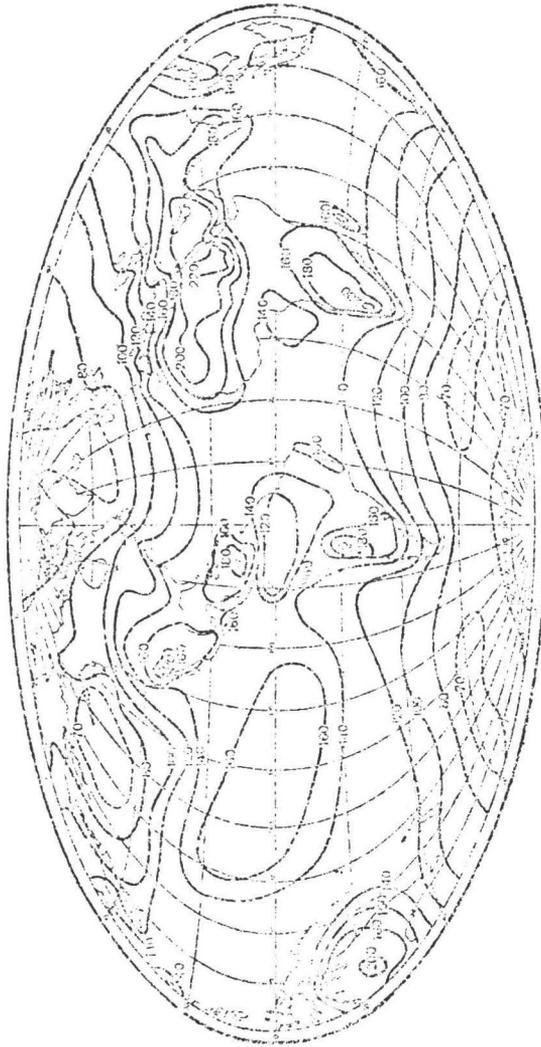
K		Polyuréthane		Poly-styrène	Phéno-lique	Laine de verre	Laine de roche	Agglomérés, Fibres minér.	Bois aggloméré	Liège normal	Verre expansé	Urée formol	Liège expansé	Mica expansé	Balsa
		Toitures Terrasses	Murs Planchers												
W m ² .°C	kcal h.m ² .°C	λ 0,023 (0,0267)	λ 0,020 (0,0232)	λ 0,034 (0,0395)	λ 0,034 (0,0395)	λ 0,035 (0,0406)	λ 0,035 (0,0406)	λ 0,040 (0,0465)	λ 0,055 (0,064)	λ 0,085 (0,098)	λ 0,050 (0,058)	λ 0,032 (0,0371)	λ 0,037 (0,043)	λ 0,070 (0,081)	λ 0,055 (0,064)
2,05	1,77	12 mm	11 mm	19 mm	19 mm	20 mm	20 mm	23 mm	31 mm	48 mm	28 mm	18 mm	20 mm	39 mm	31 mm
1,55	1,33	17 mm	15 mm	25 mm	25 mm	26 mm	26 mm	30 mm	41 mm	64 mm	37 mm	24 mm	27 mm	53 mm	41 mm
1,16	1	23 mm	20 mm	34 mm	34 mm	34 mm	35 mm	40 mm	55 mm	85 mm	50 mm	32 mm	37 mm	70 mm	55 mm
1,02	0,88	26 mm	22 mm	38 mm	38 mm	40 mm	40 mm	45 mm	62 mm	97 mm	56 mm	36 mm	42 mm	79 mm	62 mm
0,93	0,80	28 mm	25 mm	42 mm	42 mm	44 mm	44 mm	50 mm	69 mm	106 mm	62 mm	40 mm	46 mm	87 mm	69 mm
0,70	0,60	38 mm	33 mm	56 mm	56 mm	58 mm	58 mm	67 mm	91 mm	141 mm	83 mm	53 mm	62 mm	117 mm	91 mm
0,62	0,53	43 mm	37 mm	64 mm	64 mm	66 mm	66 mm	75 mm	104 mm	160 mm	94 mm	60 mm	70 mm	132 mm	104 mm
0,52	0,45	51 mm	44 mm	75 mm	75 mm	78 mm	78 mm	89 mm	122 mm	189 mm	111 mm	71 mm	82 mm	155 mm	122 mm
0,465	0,40	57 mm	50 mm	85 mm	85 mm	87 mm	87 mm	100 mm	137 mm	212 mm	125 mm	80 mm	92 mm	175 mm	137 mm
0,371	0,32	71 mm	62 mm	106 mm	106 mm	109 mm	109 mm	125 mm	172 mm	266 mm	156 mm	100 mm	116 mm	219 mm	172 mm
0,302	0,26	88 mm	76 mm	130 mm	130 mm	135 mm	135 mm	154 mm	212 mm	327 mm	192 mm	123 mm	142 mm	269 mm	212 mm
0,267	0,23	100 mm	86 mm	147 mm	147 mm	152 mm	152 mm	174 mm	239 mm	369 mm	217 mm	139 mm	161 mm	304 mm	239 mm
0,232	0,20	115 mm	100 mm	170 mm	170 mm	175 mm	175 mm	200 mm	275 mm	425 mm	250 mm	160 mm	185 mm	350 mm	275 mm
0,21	0,18	127 mm	111 mm	188 mm	188 mm	194 mm	194 mm	222 mm	305 mm	472 mm	277 mm	177 mm	205 mm	389 mm	305 mm
0,186	0,16	143 mm	125 mm	212 mm	212 mm	219 mm	219 mm	250 mm	344 mm	531 mm	312 mm	200 mm	231 mm	437 mm	344 mm

(D'après M. Fournier, du Laboratoire de Physique du Centre de recherches industrielles de Rantigny, France).

(1) On rappelle que 1 kcal/h = 1,16 W.

Figure 34

Épaisseurs minimales à prévoir pour divers isolants



Sources annuelles de rayonnement global reçu au sol (en kcal par cm², par année) selon Landsberg (1961)

Figure 35
Carte de l'énergie solaire

Modes de distribution du froid

Le plus souvent, le froid sera produit là où il est immédiatement nécessaire, c'est-à-dire dans l'évaporateur mis en contact direct avec le milieu à refroidir. On évitera de faire appel à un fluide frigoporteur intermédiaire, dans les pays considérés.

Si on doit refroidir plusieurs enceintes, on a le choix entre une installation *centralisée* ou *décentralisée*. La première est généralement moins coûteuse et d'un fonctionnement plus économique. Elle est par contre plus délicate à l'entretien et exigera une main-d'oeuvre spécialisée quasi permanente.

Dans les installations décentralisées, chaque enceinte est refroidie directement par sa propre installation frigorifique. Le prix en est très nettement supérieur mais cet inconvénient est compensé par la simplicité d'installation, d'exploitation et de réparation (le groupe défectueux sera tout simplement remplacé par une unité de secours et attendra le passage du réparateur).

6. PRODUCTION DE FROID GRACE A L'ENERGIE SOLAIRE

6.1. Généralités

L'énergie solaire est abondante dans les régions où les besoins en froid sont les plus marqués et où les autres sources d'énergie sont rares et coûteuses. Elle vient donc tout naturellement à l'esprit pour servir d'alimentation énergétique à des installations frigorifiques (fig. 35).

Les capteurs photo-voltaïques permettent la conversion directe du rayonnement en électricité. Toute unité frigorifique normalement alimentée par l'électricité peut donc être, en théorie, branchée telle quelle sur cette source d'énergie. En pratique, l'énergie ainsi recueillie devra être stockée et éventuellement transformée par des moyens électroniques avant de pouvoir être consommée.

Malgré cela, cette solution reste la plus simple du point de vue de l'utilisateur, compte tenu du matériel frigorifique existant sur le marché. Hélas, le faible rendement de la conversion d'énergie, allié à la technologie de fabrication de ces capteurs, en font un moyen économiquement prohibitif : environ 100 000 FF/kw électrique !

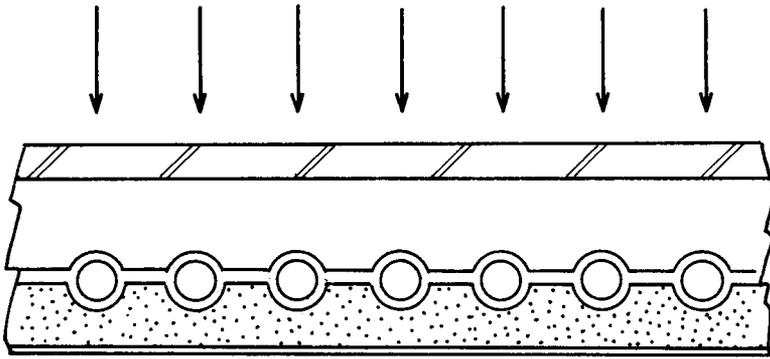


Figure 36
Capteur solaire plan

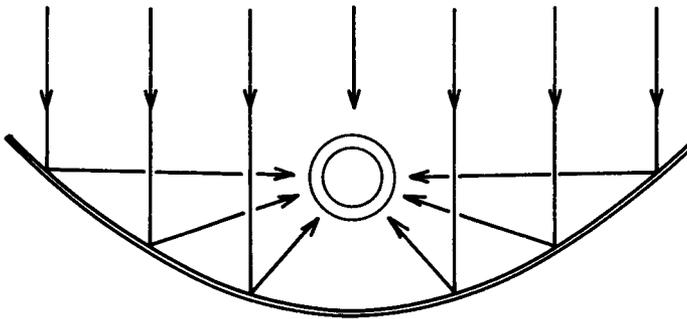


Figure 37
Capteur solaire à concentration par miroir

Il faut donc se rabattre sur l'énergie thermique. Un autre article présenté à un colloque s'occupera de plus près des capteurs solaires thermiques. Rappelons que ceux-ci se classent en deux grandes catégories :

- capteurs plans, sans concentration (fig. 36) : recouverts ou non d'une ou plusieurs vitres ; ils permettent de chauffer un fluide (de l'eau, par exemple) à des températures moyennes de 60 à 90°C ;
- capteurs à concentration (fig. 37) par lentille ou miroir ; la température peut être ici beaucoup plus élevée (120 à 200°C !). Alors que les premiers peuvent être simplement posés sur le terrain ou sur une habitation, les collecteurs à concentration doivent être montés sur un support permettant une orientation (manuelle ou automatique) plus ou moins rigoureuse par rapport à la position du soleil. Cette particularité et la conception même de ce type de collecteur les rendent beaucoup plus coûteux que les collecteurs plans. En outre, il ne peuvent fonctionner convenablement que par ciel dégagé.

Rappelons que les capteurs chauffent généralement de l'eau. Un échangeur de chaleur est donc nécessaire pour en extraire les calories. De plus, le rendement du capteur est d'autant plus médiocre que sa température de fonctionnement est élevée (fig. 37 bis).

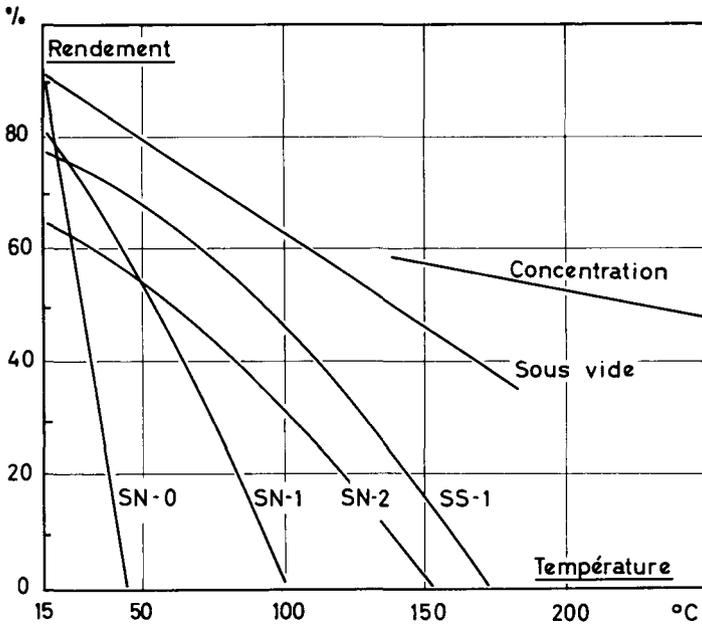
6.2. Machines à absorption

On a vu que cette machine frigorifique se contentait presque exclusivement de chaleur pour produire du froid. Il est donc tout naturel que l'on s'intéresse d'abord à elle.

Les machines eau (fluide frigorigène) / Bromure de Lithium (solvant), peuvent utiliser des capteurs plans, fonctionnant au moins à 80°C environ, pour chauffer le bouilleur. En dessous de cette température, leur capacité de production décroît catastrophiquement. On peut donc envisager d'utiliser ces machines en climat tropical, en se souvenant qu'elles ne peuvent en aucun cas atteindre des températures négatives.

Les machines ammoniac (fluide frigorigène) / eau (solvant), ne présentent pas ce dernier inconvénient mais exigent quant à elles d'être alimentées en chaleur à 115 - 125°C au moins, c'est-à-dire d'être couplées à des concentrateurs.

On peut utiliser divers artifices thermodynamiques (titre des solutions) pour abaisser les températures nécessaires, et donc éviter l'emploi de capteurs à concentration trop sophistiqués, mais au prix d'une chute appréciable de rendement et donc d'une augmentation de la surface de capteur nécessaire pour obtenir une capacité frigorifique donnée.



SN: Surface noire
 SS: Surface sélective
 0,1,2: Nombre de vitres

Figure 37 bis
 Rendement des capteurs solaires

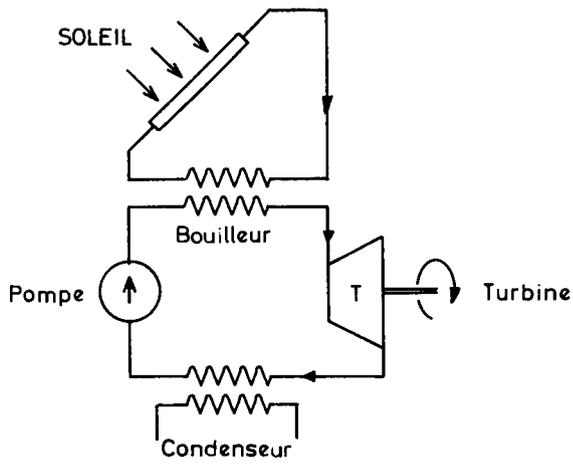


Figure 38
 Cycle Rankine moteur (schéma)

Notons que certaines installations utilisent directement le capteur solaire comme bouilleur.

6.3. Machines à compresseur

Dans le cas des machines à compresseur, l'énergie mécanique est apportée par l'une des deux voies :

- machine thermique
- machine thermique \longrightarrow alternateur \longrightarrow moteur électrique.

Cette machine thermique fonctionne suivant un principe très semblable (exactement inverse, du point de vue thermodynamique) à la machine frigorifique elle-même. La fig. 38 en donne le schéma : la chaleur solaire évapore un fluide dans un bouilleur, à haute pression. Ce fluide produit l'énergie mécanique grâce à une turbine ou une machine à piston. Le gaz ainsi détendu à basse pression est condensé et remis sous pression avant d'entrer à nouveau dans le bouilleur.

Si le rendement thermique de ce type d'installation est assez médiocre, compte tenu des faibles températures disponibles, son couplage à un cycle frigorifique à compresseur - qui possède un rendement de 200 à 400 % - permet finalement d'arriver à un résultat global égal à celui d'une machine à absorption qui fonctionnerait dans ses meilleures conditions. Mais ce résultat est acquis avec une chaleur solaire à beaucoup plus basse température : 60 à 70°C suffisent !

Les fluides utilisés dans le cycle moteur et dans le cycle frigorifique peuvent être identiques (fig. 39), permettant l'économie d'un condenseur, ou différents (fig. 40), ce qui offre plus de souplesse dans le choix des niveaux de pression à l'intérieur des composants.

6.4. Particularités propres aux machines frigorifiques à énergie solaire

Outre les *contraintes de températures* maximales, déjà évoquées, l'énergie solaire nous impose d'autres caprices :

- fluctuations de courte durée (par exemple passage orageux)
- fluctuations diurnes (matin, midi, soir)
- *absence* nocturne
- fluctuations saisonnières.

Fort heureusement, l'absence ou la diminution du rayonnement solaire correspondent au même moment à une demande de froid moindre.

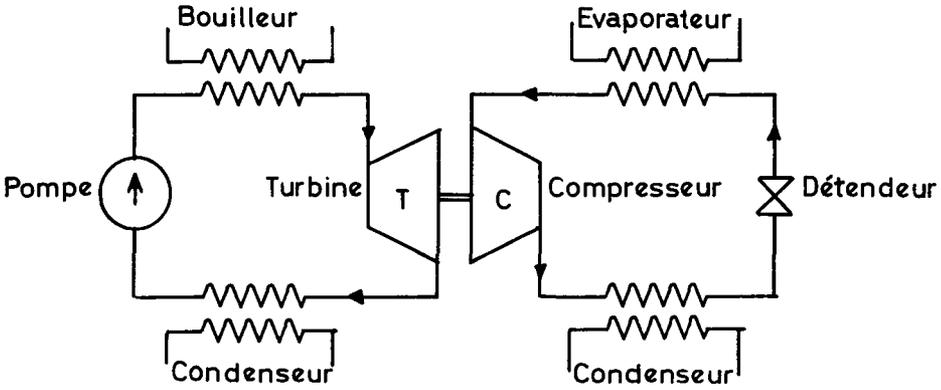


Figure 39
Frigo solaire à un fluide

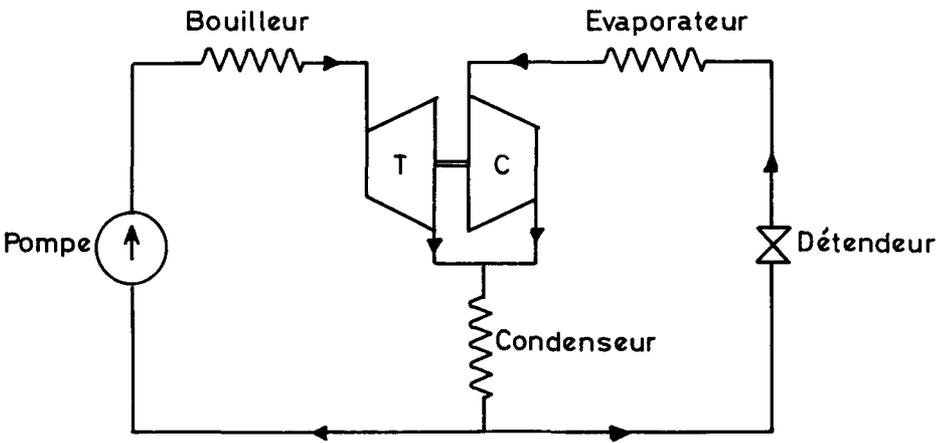


Figure 40
Frigo solaire à deux fluides

Cependant, toute installation utilisant l'énergie solaire devra être "protégée" contre les fluctuations, de façon à pouvoir assurer un service continu. En d'autres termes, elle devra être munie de *dispositifs de stockage*, soit de "chaud", soit de "froid", soit encore d'un agent frigorigène (réserve de liquide prêt à être détendu et évaporé).

Ces dispositifs consistent le plus souvent en des réservoirs contenant un liquide ou un solide ayant accumulé la chaleur (ou le froid) par le biais de sa chaleur sensible et / ou latente (de fusion).

Les dimensions de ces réservoirs de stockage varient selon leur principe de fonctionnement, et la période des fluctuations à amortir. Ils peuvent être enterrés ou non, mais requièrent toujours une isolation thermique convenable.

Une installation pourvue de systèmes de stockage exige normalement tout un matériel de *régulation*, souvent sophistiqué et coûteux, chargé de maintenir constante la température de la chambre froide en même temps que de permettre aux machines de fonctionner dans de bonnes conditions.

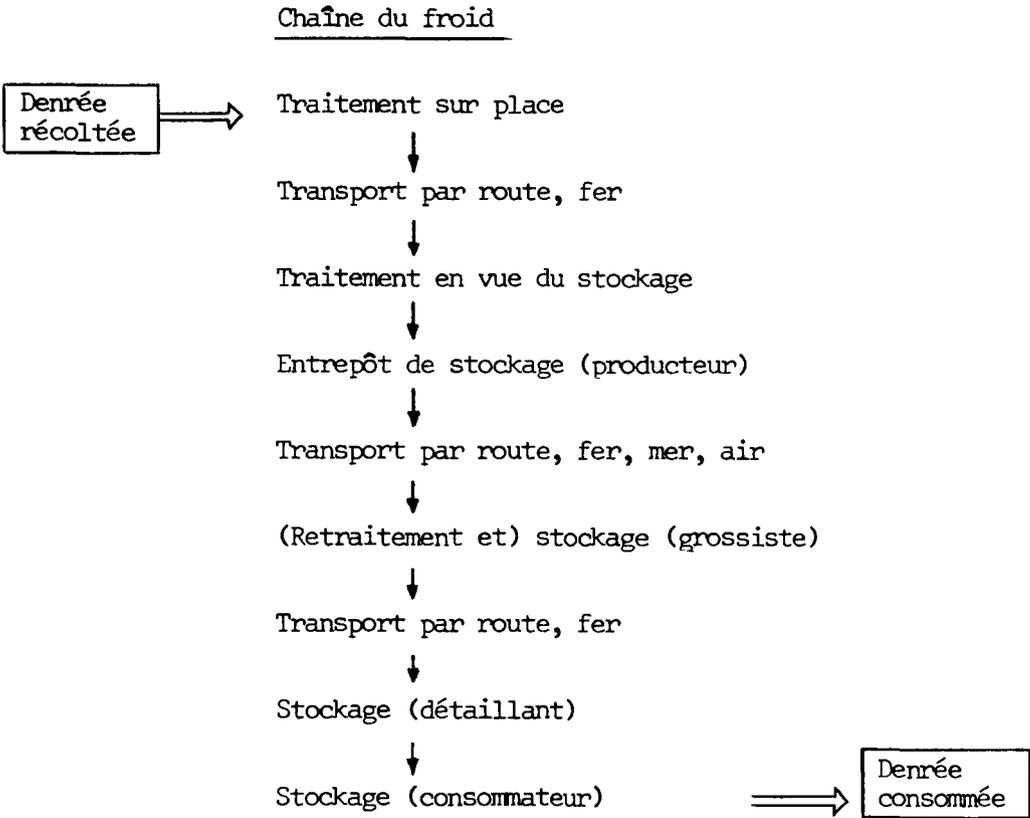
Enfin, il ne faut pas oublier que la présence de capteurs solaires pose un problème parfois épineux d'*encombrement* (pour fixer un ordre de grandeur : 10 à 20 m² par kW frigorifique) et d'*entretien* régulier (surfaces des collecteurs et circuits d'eau).

7. EMPLOI DU FROID

7.1. Chaîne du froid

On appelle "chaîne du froid" l'ensemble des différents équipements frigorifiques destinés à traiter ou à stocker les denrées, de la production à la consommation.

Une chaîne du froid complète (nous ne disons pas "idéale") se compose des maillons suivants :



La chaîne du froid peut prendre d'autres configurations et certaines de ses étapes peuvent s'avérer inutiles, selon le type de denrée considéré, le marché visé, sa localisation géographique, etc.

Une fois qu'elle est établie, il faut se rappeler que la résistance de la chaîne est conditionnée par celle de son moindre maillon.

7.2. Justification du froid

Dans la plupart des pays africains, on peut distinguer au moins trois marchés : locaux, intérieur et exportation.

A l'échelle du village, les produits sont souvent récoltés, acheminés, vendus et consommés le jour même et ne subissent pas - ou peu - de détériorations. La préoccupation essentielle est de maintenir un prix peu élevé. Les exploitations sont petites et variées, de sorte que les besoins sont satisfaits avec des produits différents au cours des saisons. La réfrigération n'est donc pas toujours indispensable, même pour les produits fragiles à durée de conservation très faible, qui attendront sur la plante d'être récoltés.

Par contre, la préservation de denrées saisonnières riches en hydrates de carbone et en protéines (pommes de terre, céréales, etc.) peut justifier l'emploi du froid pour le stockage.

Le transport vers des villes plus éloignées fait partie d'une autre chaîne. Le temps nécessaire pour atteindre la ville et la disponibilité en substituts possibles de la denrée considérée influenceront le prix payé et justifieront, éventuellement économiquement, l'emploi du froid.

Dans le cas des marchés internationaux qui sortent du cadre de cet article, les prix sont fixés par l'offre et la demande et incluent presque automatiquement le coût du traitement frigorifique.

Pour les fruits et légumes, denrées de prix unitaire faible et de durée de conservation réduite, le coût de l'équipement frigorifique rapporté à l'unité de produit s'avère très élevé (beaucoup plus, en valeur relative, que pour les denrées animales).

C'est pourquoi, l'emploi du froid ne se justifiera pas à l'échelle locale, mais bien pour des denrées produites à contre-saison par rapport aux pays tempérés et envoyées sur le marché international.

D'autre part, la rentabilité n'est pas le seul critère à considérer. La commodité qui résulte de l'emploi du froid est un avantage difficilement chiffrable, mais réel, du point de vue facilité d'approvisionnement.

7.3. Implantation du froid

Toute réalisation d'un plan d'équipement frigorifique, c'est-à-dire de l'implantation d'une chaîne du froid (machines frigorifiques, entrepôts, transports), doit être précédée d'une étude préalable, approfondie des données locales : types de denrées, production, consommation, commerce intérieur et extérieur, industries de transformation, etc. Les

paramètres techniques seront également considérés : possibilité d'approvisionnement en électricité et en eau, voies de communication, disponibilité en main d'oeuvre d'entretien, en matériel et matériaux, données concernant le climat, etc.

Ces renseignements permettront d'apprécier finalement l'avantage et / ou la rentabilité d'une chaîne du froid, même limitée, et de déterminer ses dimensions.

BIBLIOGRAPHIE

- ARAUD C., MAYER E.R., NIETO J.A.
 - "Critères d'utilisation d'un entrepôt frigorifique". - *Bull. IIR*, annexe 1973-6, 1973.
- Conditions recommandées pour la conservation des produits périssables à l'état réfrigéré.* - Paris : IIF, 1979.
- GLASSON W.B., SCOTT K.J., MENDOZA Jr D.B.
 - The Refrigerated Storage of Tropical and subtropical Products. - Paris : IIF/IIR [Congrès Venise], p. 4, sept. 1979.
- Les techniques du froid dans les pays chauds en développement.* - Paris : IIF, 1976.
- LORENTZEN G.
 - "Food Preservation, a general Introduction". - *Bull. IIR*, annexe 1976-1, 1976.
- MATTAROLO L.
 - "Le froid et la préservation des ressources mondiales". - *International Journal of Refrigeration*, vol. II, n° 5, sept. 1979.
- MAUREL L.
 - "La chaîne du froid dans les pays en développement". - *Bull. IIR*, annexe 1973-6, 1973.
- Post-Harvest Losses in Developing Countries.* Chapt. 5, *Perishables.* - Washington : Nat. Acad. of Sciences, 1979.
- RANKEN M.B.F.
 - *Some thoughts on the design of Cold Storage for Extreme Tropical Climates.* - Paris : IIF/IIR [Congrès Venise], D1-1, 1979.
- Recommandations pour la préparation et la distribution des aliments congelés* - Paris : IIF, 1972.
- THORPE G.R.
 - "The Design of Refrigerated grain Storage". - *Bull. IIR*, annexe 1976-1, 1976.
- "Tropical Root Crops". - *PANS Manual*, n° 4, 1978.
- N.B. Les "publications IIF" peuvent être obtenues à l'Institut international du froid, 177 boulevard Malesherbes, 75017 Paris.

THEORIE DU SECHAGE - INTERET ET PRATIQUE DES CAPTEURS PLANS - TECHNOLOGIE DES SECHOIRS AGRICOLES SOLAIRES - INTERET DES SOLUTIONS POLYVALENTES

par Michel Fournier

INTRODUCTION

Le problème de la préservation des surplus agricoles apparaît, au fur et à mesure de l'accroissement de la population mondiale, de plus en plus important.

L'une des méthodes traditionnelles pour conserver les aliments est le séchage au soleil. Il est pratiqué partout dans le monde et l'amélioration de cette technique permet :

- d'utiliser au mieux le rayonnement solaire et les autres facteurs climatologiques ;
- de réduire les contaminations et pollutions diverses et de produire donc des produits de meilleure qualité ;
- de réduire la durée nécessaire pour sécher les produits agricoles, donc les dangers causés aux récoltes par des précipitations soudaines.

1. THEORIE DU SECHAGE

L'évaporation de l'eau contenue dans un produit, c'est-à-dire son séchage, s'effectue dès que la pression partielle de vapeur d'eau au niveau du produit p_a^p est supérieure à celle de l'atmosphère ambiante p_{vp} .

Cette opération s'effectue plus ou moins rapidement suivant le mode de migration de l'eau dans le produit, les conditions environnantes, le mode d'apport de chaleur, la dimension du produit. Si le produit est

MICHEL FOURNIER, Laboratoire de physique appliquée, Université de Perpignan.

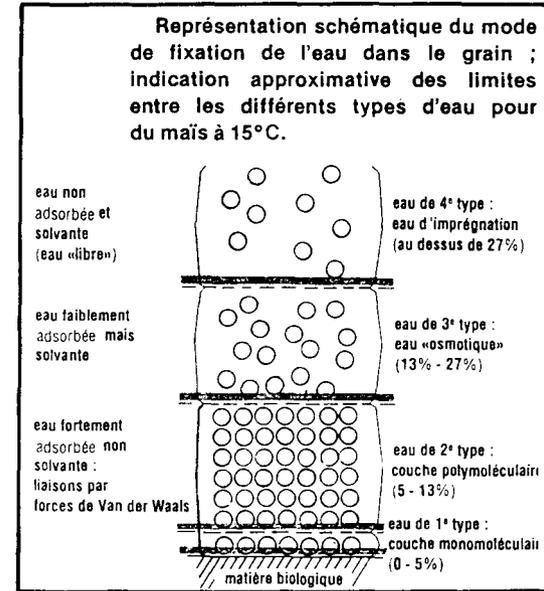
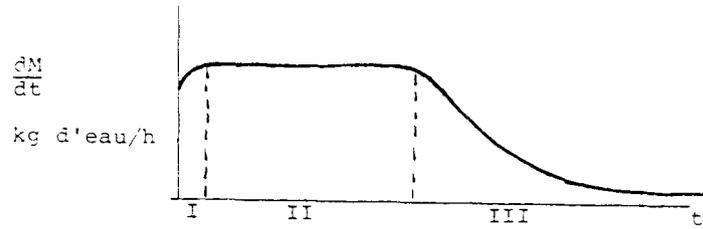


Figure 1

Courbe vitesse d'évaporation de l'eau en fonction du temps (Peyre)

grand (couche épaisse ou amas en vrac) par rapport au débit d'air circulant, les caractéristiques de cet air se modifient pendant qu'il est en contact avec le produit : c'est le séchage à conditions variables.

Nous nous intéresserons plus particulièrement au cas où :

- l'apport de calories s'effectue par convection ;
- l'air chaud passe au dessus du produit ou le traverse.

Calcul d'un séchoir

Pour "calculer" les caractéristiques d'un séchoir il faut connaître essentiellement :

- le débit d'eau à évaporer ;
- la limite supérieure de température admissible pour le produit ;
- la conduite du séchage.

Ceci impose la détermination :

- d'un débit d'air, donc d'une *puissance de ventilateur* ;
- d'une augmentation de la température de l'air d'entrée donc d'une *puissance calorifique* ;
- d'une régulation suffisamment souple et appropriée.

Lorsqu'il s'agit d'une couche épaisse de produit, le processus est très complexe. En effet, dans chaque produit la migration interne de l'eau est spécifique à ce produit et variable au cours du temps en fonction de son état d'évaporation. Il paraît donc indispensable d'étudier en premier lieu ce qui se passe dans *une couche mince* de produit.

Etude du séchage d'une couche mince de produit

Les caractéristiques de l'air ne sont pas modifiées par son contact avec une couche mince de produit. La courbe vitesse d'évaporation en fonction du temps (Fig. 1) met en évidence trois phases :

- phase de mise en température,
- phase à vitesse constante,
- phase de ralentissement.

La phase de mise en température dure le temps d'équilibrer le transfert de vapeur (hors du produit) avec le transfert de chaleur (vers le produit). Les deux autres phases sont directement fonction des différents types d'eau qui constituent l'humidité du produit.

Les types 1 et 2 (mono et polymoléculaires) sont fortement adsorbés. Ils correspondent à des niveaux d'hydratation bas (13 % pour du maïs à 15° C). Ils sont biologiquement inertes donc on n'a aucun intérêt à les enlever au cours du séchage.

Les types 3 et 4 sont faiblement, ou peu absorbés. Il s'agit d'eau solvante qui peut retenir des substances dissoutes (sucres, sels, acides aminés) dans les cellules. Ce type d'eau a un rôle biologique.

Jusqu'à 27 % (pour du maïs) il s'agit d'eau osmotique ; au delà il s'agit d'eau libre retenue mécaniquement par les parois cellulaires. Ces types d'eau, qui ont un rôle biologique, doivent être enlevés au cours du séchage. Etant plus ou moins bien profondément liés à la substance, leur chaleur ou énergie de vaporisation est différente. Pour de l'eau libre, elle n'est autre que la chaleur latente de vaporisation de l'eau. Pour l'eau adsorbée, l'énergie de liaison devient de plus en plus importante, suivant qu'il s'agit de l'eau du 3e, 2e ou 1er type. On doit, pour l'évaporer, fournir un supplément d'énergie thermique.

Cependant, d'après l'examen des courbes $[L_g = f(x)]$ (Fig. 2), par exemple pour le maïs, la chaleur de vaporisation L_g ne croît réellement que pour un titre en eau inférieur à 15 %. *Donc en pratique, si la dessiccation du grain est arrêtée à 15 %, la chaleur de liaison de l'eau peut être négligée en première approximation.*

Courbes isothermes de désorption

Les grains étant des produits hygroscopiques, ils ont la propriété d'échanger de l'eau sous forme de vapeur avec l'air qui les entoure.

Il existe une série d'états d'équilibre entre la teneur en eau du grain (x) et le degré hygrométrique (ψ) de l'air. Ce sont les courbes de désorption air-grain. En fonction de la température, on obtient un réseau d'isothermes de désorption (Fig. 3).

L'intérêt de ces courbes est grand : par exemple les microbiologistes ont montré que pour une humidité de l'air inférieure à 65 %, les moisissures ne peuvent se développer. Pour différentes températures de stockage, on peut déterminer la teneur en eau à atteindre, par exemple pour 4° C, 14,7 % et pour 30° C, 12,2 %.

Vitesse de séchage

La teneur en eau à atteindre par séchage ayant été déterminée par l'examen des courbes de désorption, on peut essayer d'améliorer le processus par *augmentation de la vitesse*.

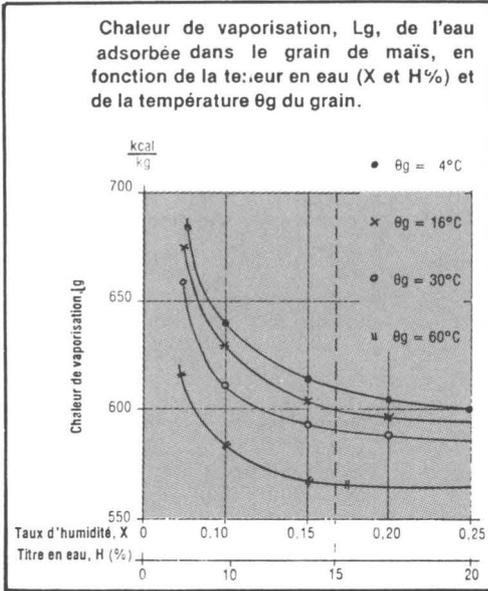


Figure 2
 Courbe chaleur de vaporisation en fonction de la teneur en eau du produit (Lasseran)

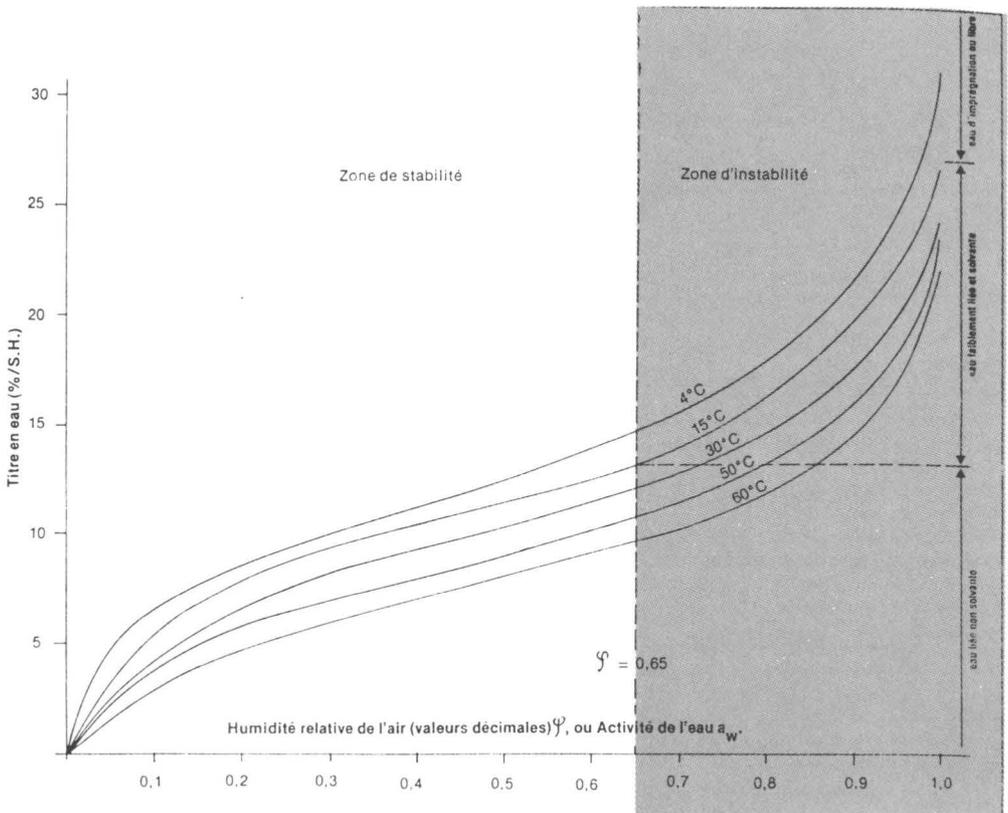


Fig. 3 Courbe isotherme de desorption du maïs (Rodriguez-Arias)

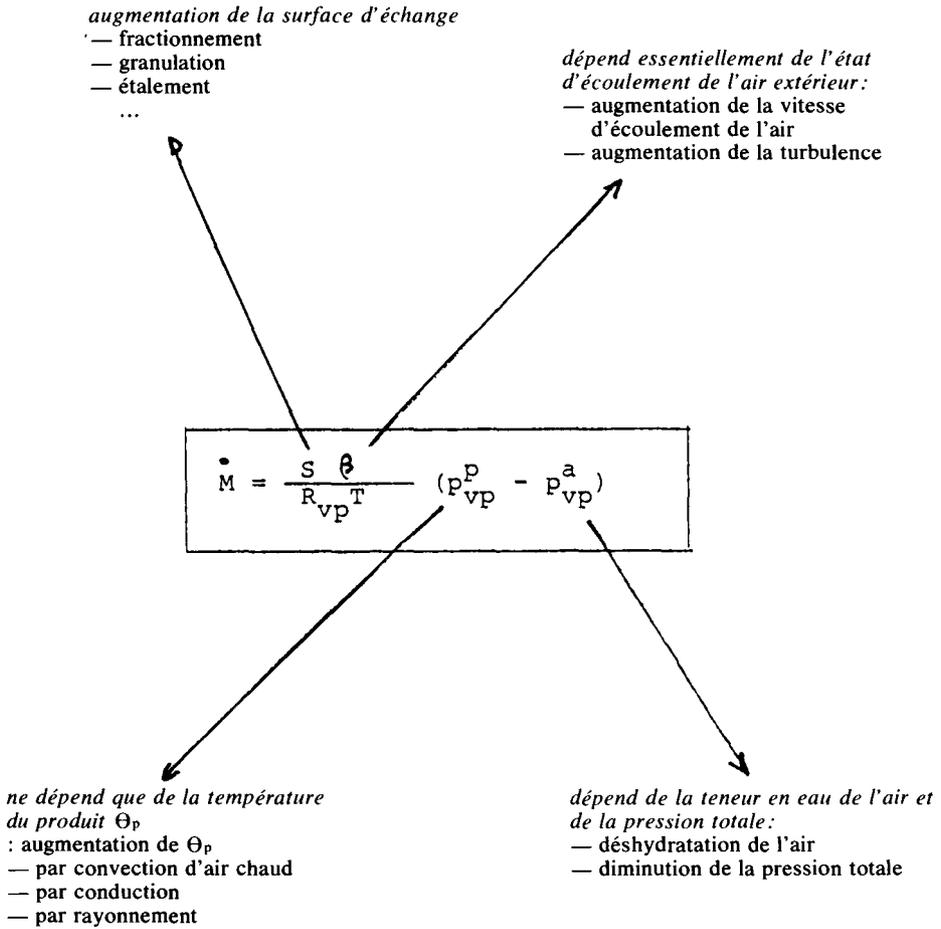


Figure 4

Méthode pour augmenter la vitesse de séchage pendant la phase d'évaporation superficielle (Peyre)

Dans la phase 2 (Fig. 4), à vitesse d'évaporation constante (évaporation superficielle) on doit :

- augmenter la surface d'échange ;
- augmenter la vitesse d'écoulement et la turbulence de l'air ;
- augmenter la température du produit ;
- déshydrater l'air ambiant.

La phase 3 (Fig. 5), ou phase de ralentissement, a un comportement beaucoup plus complexe.

D'une part, l'augmentation de la vitesse de séchage au cours de cette phase est directement liée à :

- l'augmentation de la surface d'échange
- la déshydratation de l'air ambiant.

D'autre part, elle est indépendante de la vitesse de l'air et le rôle de la température du produit n'est pas prépondérant. Cependant, lorsque la phase d'évaporation superficielle se termine, la température du produit, qui était jusque là la température "humide", s'élève et tend vers celle de l'air. Ceci entraîne que les contraintes de température sur l'air de séchage doivent être beaucoup plus sévères pendant la phase de ralentissement que pendant la phase de séchage à vitesse constante, sous peine de griller le produit (Fig. 6).

Approche de l'étude d'une couche épaisse

Une couche épaisse a un comportement complexe que nous ne pouvons ici qu'effleurer. Dans le cas d'un amas en vrac d'un produit à sécher (fourrage par exemple), on peut, après décomposition de la couche épaisse en une succession de sous couches minces, constater que seule la couche d'entrée a le comportement habituel d'une couche mince : vitesse de séchage constante au début, puis phase de ralentissement (Fig. 7). Toutes les autres ont un comportement propre. Leur vitesse, après une partie constante, augmente, dès que les précédentes abordent leur phase de ralentissement. En effet l'air est alors moins saturé d'humidité. Pratiquement la conduite du séchage d'un amas en vrac est déterminée par échantillonnage expérimental.

Comme dans la phase de ralentissement d'une couche mince - où il y a peu d'eau à évaporer - la vitesse de l'air influence peu la vitesse de séchage, on retrouve dans l'étude d'un amas en vrac, de semblables conclusions.

La conclusion de Lasseran sur le maïs est qu'avec un *faible débit* spécifique et malgré un temps de séchage plus long, on dépense *moins d'énergie* pour obtenir le même résultat qu'avec un fort débit d'air.

augmentation de la surface d'échange

(influence mal définie)

$$\dot{M} = S K (p_{vp}^P - p_{vp}^a)$$

dépend beaucoup de la température du produit θ_p
(mais pas uniquement)
— augmentation de θ_p
— chauffage par conduction
rayonnement
convection

dépend de la teneur en eau de l'air et de la pression totale:
— déshydratation de l'air
— diminution de la pression totale.

Figure 5

Méthode pour augmenter la vitesse de séchage pendant la phase de ralentissement (Peyre)

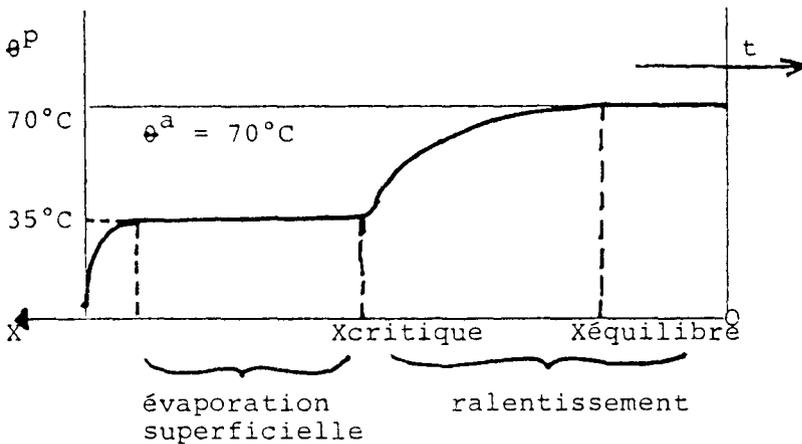


Figure 6

Évolution de la température du produit en fonction de la teneur en eau (Bimbenet)

II. INTERET ET PRATIQUE DES CAPTEURS PLANS

Il s'agit ici d'envisager l'adaptation de la technique solaire, conversion thermique, au séchage agricole. On doit d'abord poser clairement le problème :

- il est indispensable de rassembler un maximum d'informations sur le produit à sécher ;
- ensuite l'inventaire des contraintes doit être fait le plus soigneusement possible;
- enfin, on doit tenir compte de toutes les solutions possibles (différentes sources d'énergie, différentes techniques...).

Nous devons alors revenir au principe même de l'opération de séchage à savoir : *le transfert de l'eau contenue dans un produit sur l'air* que l'on oblige à balayer ce produit et qui doit ressortir saturé d'humidité du séchoir. Plus l'air sera sec à l'entrée, plus son pouvoir évaporatoire sera élevé.

Le processus du séchage peut être visualisé sur le diagramme de Mollier (Fig. 8).

L'air extérieur est aspiré à la température t_1 ; son humidité absolue est x_1 [pt M_1].

Il est porté à la température t_2 [pt M_2].

Il peut alors absorber de l'eau en cédant de la chaleur [M_3] ; il se sature d'humidité en restant sur l'isenthalpe M_2-M_3 .

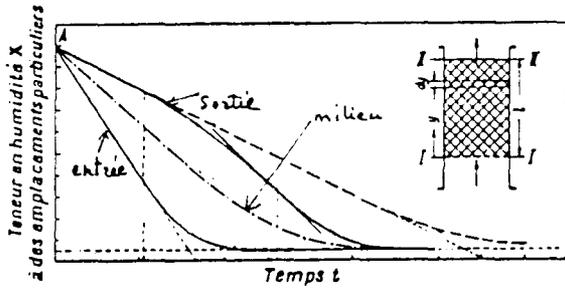
Les coordonnées de M_3 sont x_3 et t_3 .

Le pouvoir évaporatoire ou facteur de potentialité évaporatoire est $\Delta x = x_3 - x_1$.

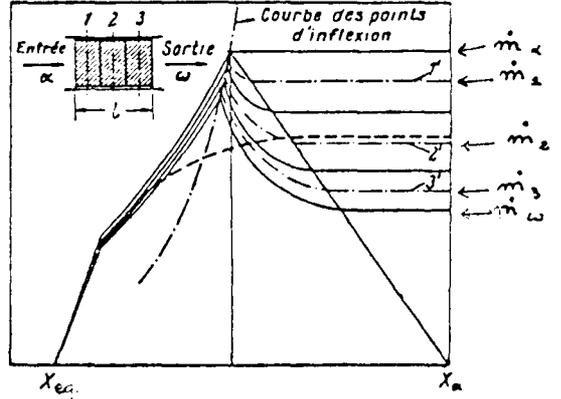
Ce facteur varie énormément en fonction de la hauteur de la température t_2 , à laquelle l'air a été porté (Fig. 9).

Dans le séchage solaire, *le rôle des capteurs plans va être d'élever la température de l'air*. Leur choix va donc être déterminant dans la réussite ou l'échec de l'expérience "séchage solaire". Il ne faut donc négliger aucun paramètre.

Les performances et la longévité des matériaux sont donc aussi importants que le prix de revient ou le choix de l'emplacement et de l'orientation.



Variation probable de l'humidité d'un produit dans différents plans d'un amas en vrac traversé par un courant, d'après KRÖLL (Chem. Ing. Techn., 27 (1955), 530).



Courbes caractéristiques du cours du séchage de produits dans un courant transversal ou longitudinal, d'après КРИСЧЕР. α état initial, ω état final

Figure 7
Séchage d'un amas en vrac
(Krischer, Krol)

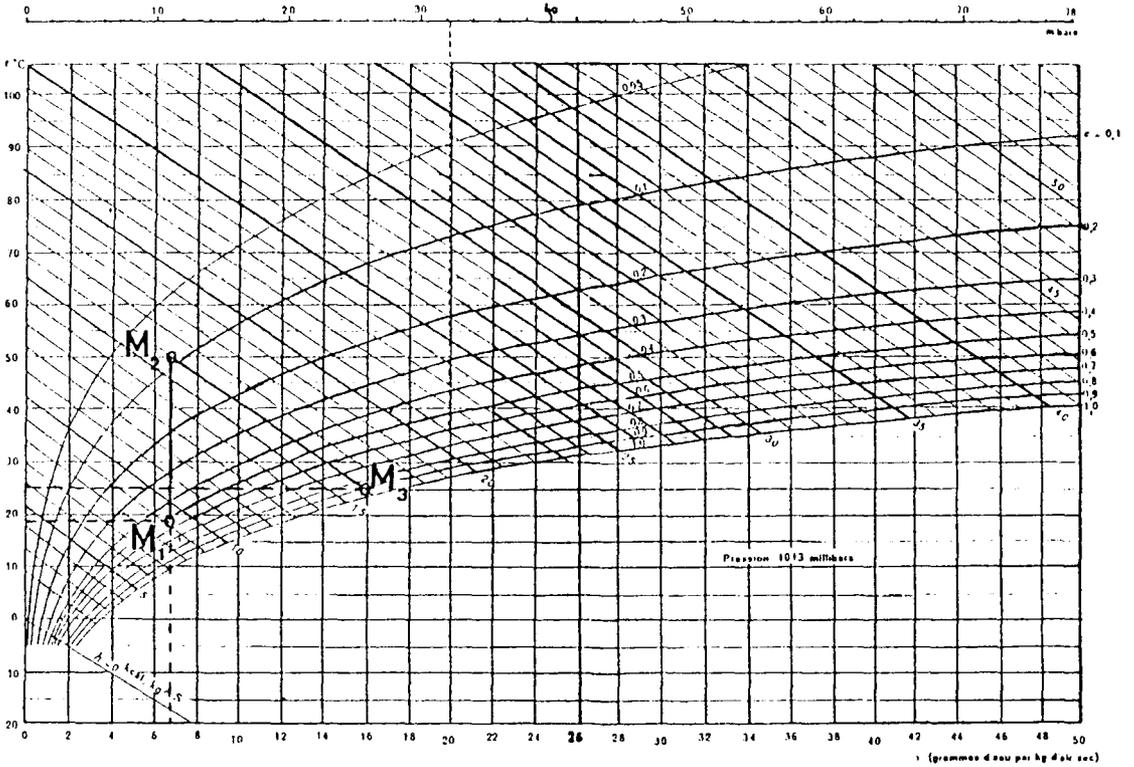


Figure 8
Diagramme de Mollier

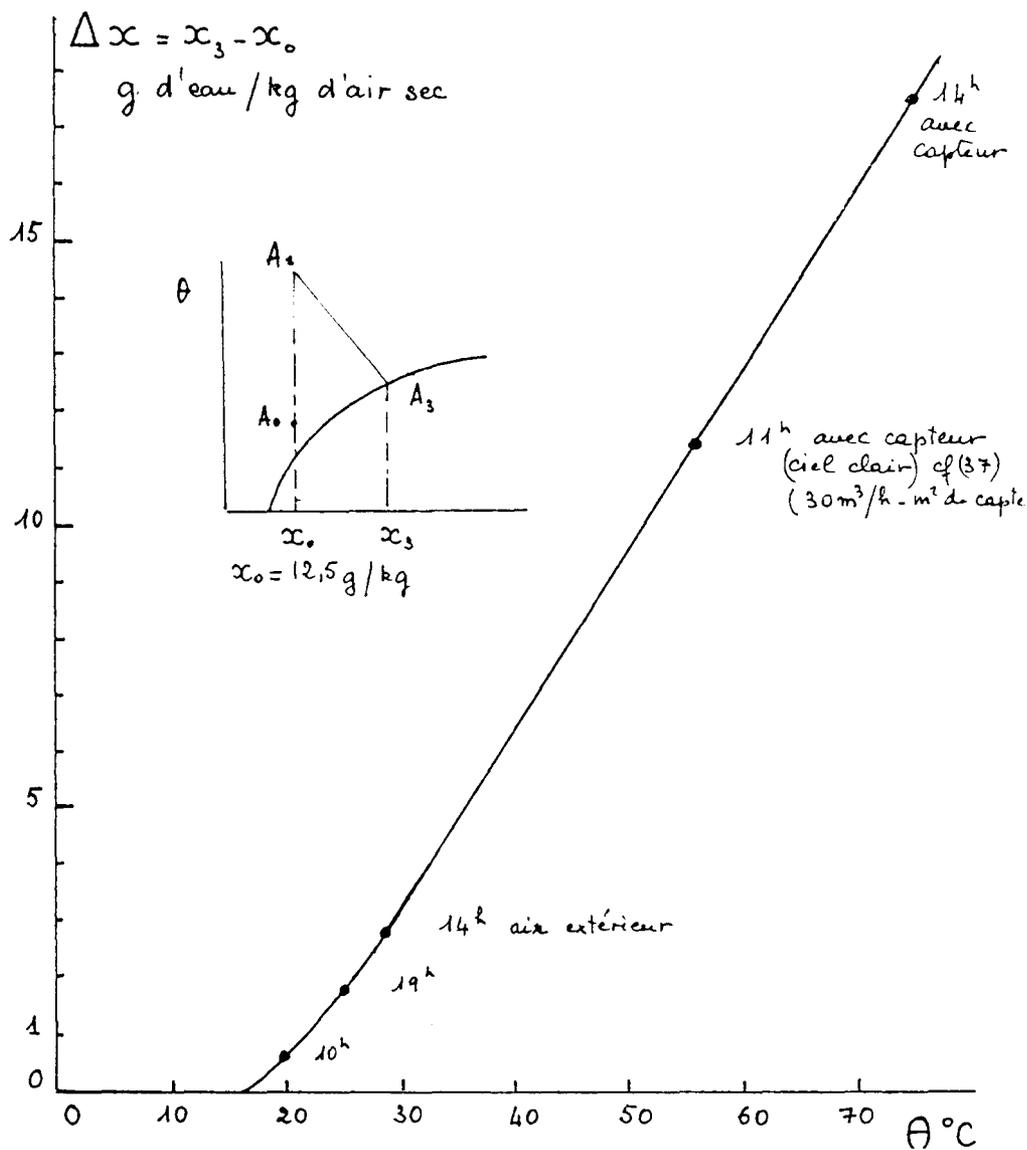


Figure 9

Courbe pouvoir évaporatoire en fonction de la température de l'air (Peyre)

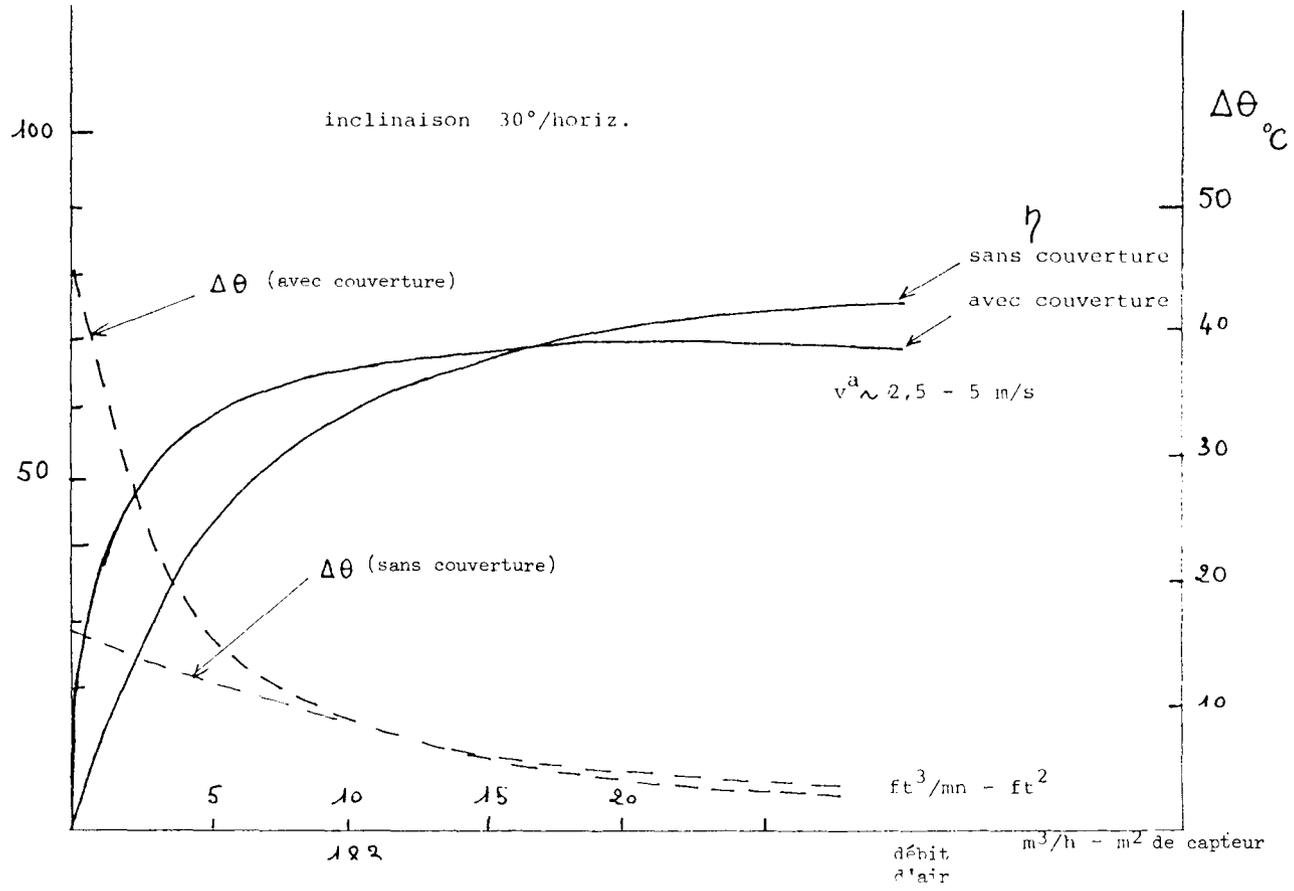


Figure 10

Rendement de deux capteurs semblables avec et sans couverture transparente (Peyre)

Remarque : On peut classifier les capteurs solaires suivant qu'ils sont à concentration ou plans, et suivant que le fluide échangeur est liquide ou gazeux.

La concentration permet de travailler à haute température. L'utilisation d'un liquide permet un stockage thermique beaucoup plus dense que ceux obtenus en utilisant des gaz. La destination de l'énergie thermique récupérée doit imposer le système le mieux adapté. Dans le cadre du séchage agro-alimentaire, nous avons besoin d'une fourniture d'air chaud de température inférieure à 100° C : l'utilisation de capteurs plans à air est la mieux appropriée.

Schématiquement, les capteurs utilisés sont constitués d'une couverture, d'un absorbeur et d'une isolation arrière. Chaque élément a une efficacité propre à un mode de fonctionnement. Par exemple, jusqu'à un débit d'air de 300 m³/h.m², le rendement d'un capteur couvert est meilleur ; au-delà, la température de l'absorbeur est si basse que les pertes par rayonnement sont faibles et les pertes dans la couverture prennent une importance relative. Le rendement du capteur sans couverture est alors supérieur au rendement du même capteur couvert (Fig. 10).

Il existe de très nombreux modèles de capteurs plans à air. On peut les classer suivant leur type d'absorbeur — plans, ondulés, à lamelles, à copeaux métalliques ou à absorption par réflexion (nid d'abeilles par exemple) ; (Fig. 11). D'une manière générale, les plus sophistiqués ont les meilleurs rendements mais sont aussi les plus chers.

Les chercheurs de l'Université de Perpignan travaillent actuellement sur un modèle où l'absorbeur est un sandwich de copeaux métalliques (de récupération) entre deux plaques grillagées (Fig. 12) : l'air est obligé de le traverser ce qui est une condition d'un bon échange thermique. Ce type d'absorbeur poreux a une efficacité beaucoup plus grande dans des conditions analogues qu'un absorbeur non poreux.

L'intérêt essentiel réside dans sa modularité qui permet par assemblage des montages série-parallèles très simples donc l'obtention de débits d'air importants ou de températures élevées. La constitution du caisson en béton cellulaire (de dimensions standards) provoque une bonne isolation.

Le capteur CNEEMA réalisé en polyéthylène qualité agricole (Fig. 13) est d'un prix de revient faible. Son rendement est inférieur à 20 %. Il peut être très intéressant de l'utiliser en préchauffage.

Il est à signaler le capteur de GUPTA (1978) qui utilise l'effet cheminée et la concentration. Les résultats de son optimisation ne sont pas connus (Fig. 14).

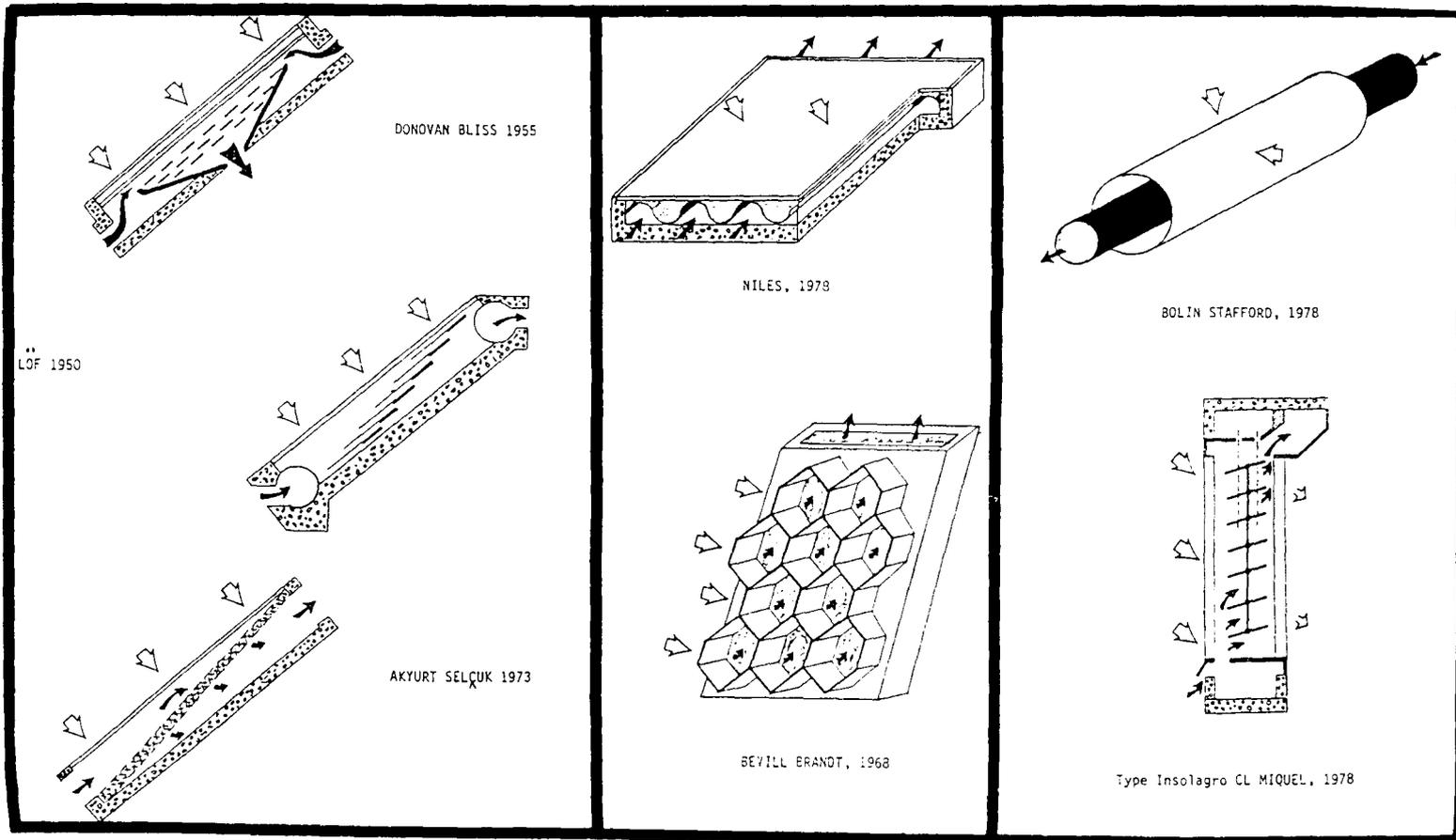


Figure 11

Différents modèles de capteurs solaires plans à air (Fournier, Coudert)

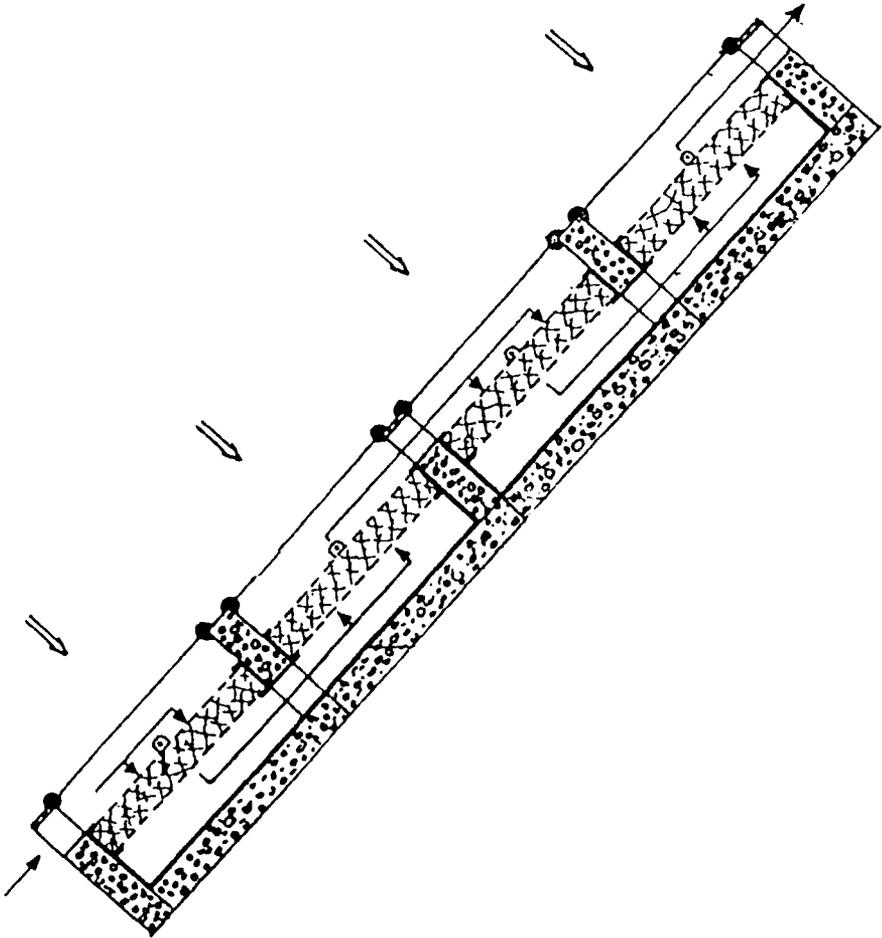


Figure 12

Capteurs solaires modulaires (Fournier, Coudert)

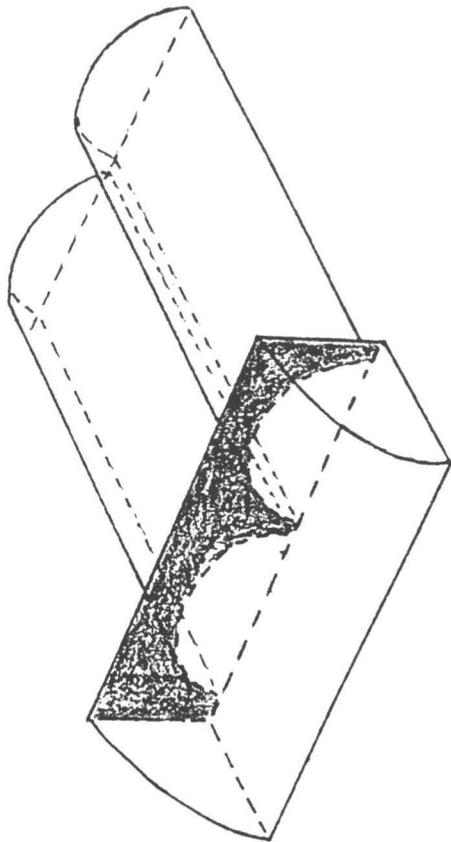
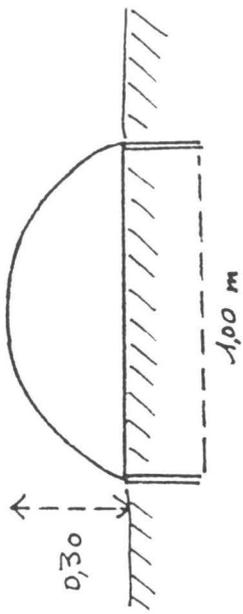


Figure 13
Capteur solaire agricole CNEEMA

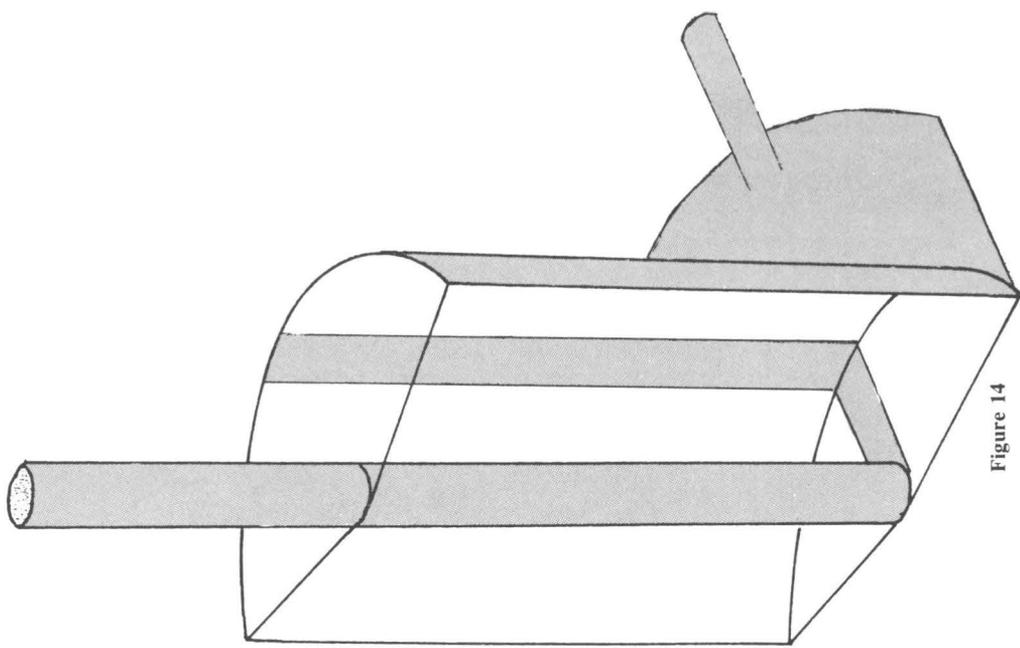


Figure 14
Capteur à concentration et à effet cheminée (Peyre)

III. TECHNOLOGIE DES SECHOIRS

Devant l'abondance des réalisations - et des projets - de prototypes ou de séchoirs agricoles solaires, il est bon de les classer suivant leur principe de fonctionnement.

- Soit seule l'énergie solaire est utilisée : il s'agit alors de *systèmes passifs* - très rustiques - séchage naturel, ou "boîte à séchage" où le produit à sécher joue le rôle d'absorbeur ; mais aussi des systèmes où les capteurs à air sont séparés et où la ventilation est créée par l'effet cheminée. Ces dernières réalisations peuvent dépasser le stade artisanal.

- Soit l'énergie solaire est utilisée avec une autre source d'énergie — électricité, gaz, fuel —, il s'agit de *systèmes hybrides*. Ceci permet une régulation plus précise et une ventilation forcée très efficace.

Les séchoirs à bois, qui nécessitent une régulation de température très sérieuse, rentrent dans cette catégorie avec une place à part.

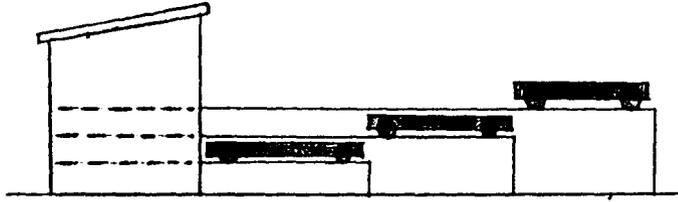
Parmi les *séchoirs naturels*, on peut citer les séchoirs à café de Colombie. Leurs réalisations présentent de nombreuses variantes mais leur utilisation est vraiment traditionnelle (Fig. 15a, b).

Les *séchoirs directs* déjà plus évolués présentent aussi de multiples visages. Le plus courant est la "boîte" vitrée avec ou sans stockage thermique - sur galets la plupart du temps - ou avec déshumidificateur d'air et fonctionnant en circuit fermé, donc à température élevée. Leur efficacité est telle que la durée du séchage "naturel" est habituellement divisée par deux (Fig. 15c).

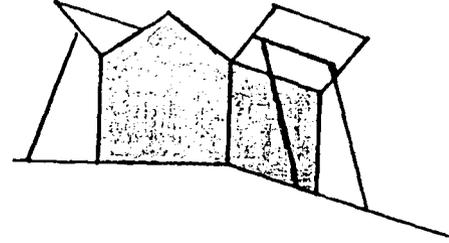
On peut citer aussi le séchoir-tente (Fig. 15d) utilisé par les pêcheurs du Bangladesh ou des Philippines et qui permet de conditionner le poisson - hors d'atteinte des larves si la température a dépassé 45° C.

Un *séchoir hybride* caractéristique est celui réalisé en Turquie par Akyurt et Selçuk pour le séchage des raisins. La source énergétique d'appoint la mieux adaptée paraît être le gaz, du moins localement (Fig. 16a).

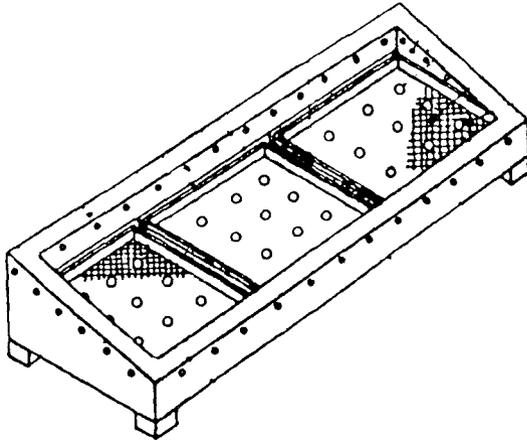
Le séchoir à café réalisé à Puerto Rico utilise l'appoint électrique - mais son intérêt nous semble résider dans l'utilisation de capteurs intégrés dans le toit (Fig. 16b). La couverture de ce toit par une surface vitrée devait augmenter considérablement (?) d'après les auteurs, le rendement.



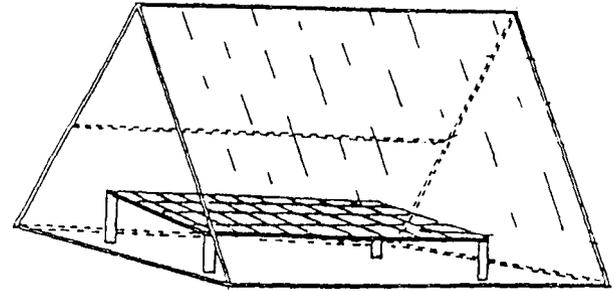
(a)



(b)

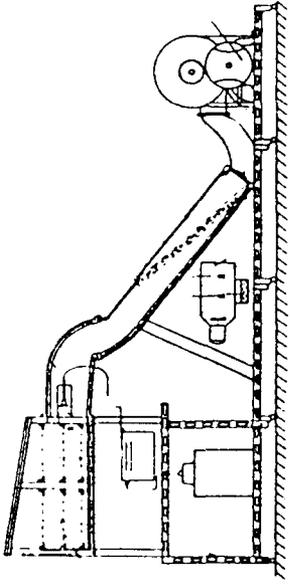


(c)

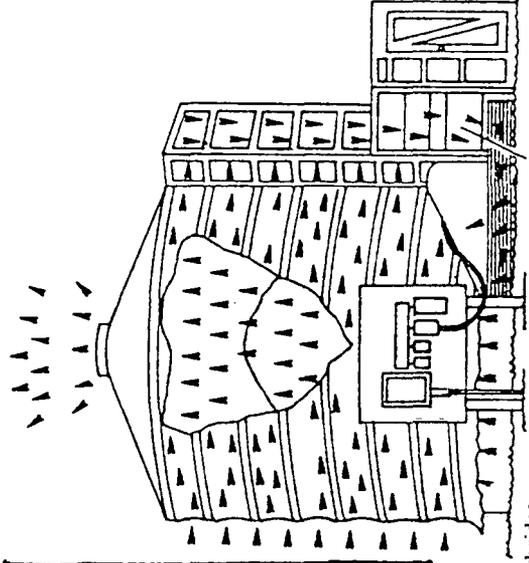
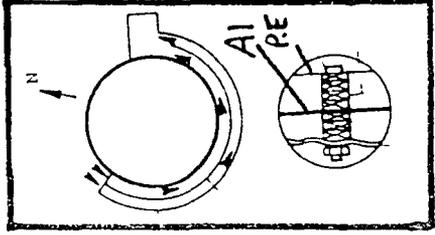


(d)

Figure 15 — (a), (b), (c), (d).
 Différents types de séchoirs solaires:
 a) et b) naturels (Colombie)
 c) et d) directs



(a)



(b)

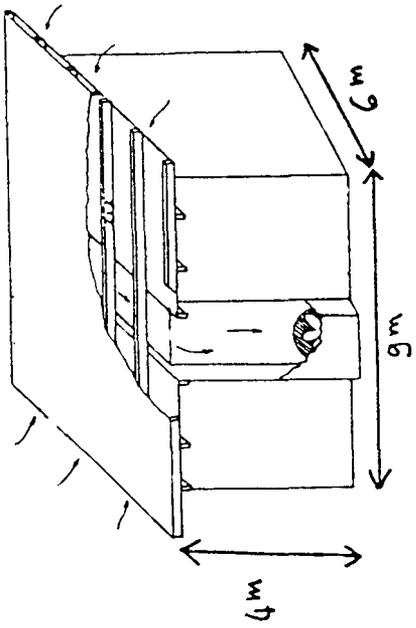
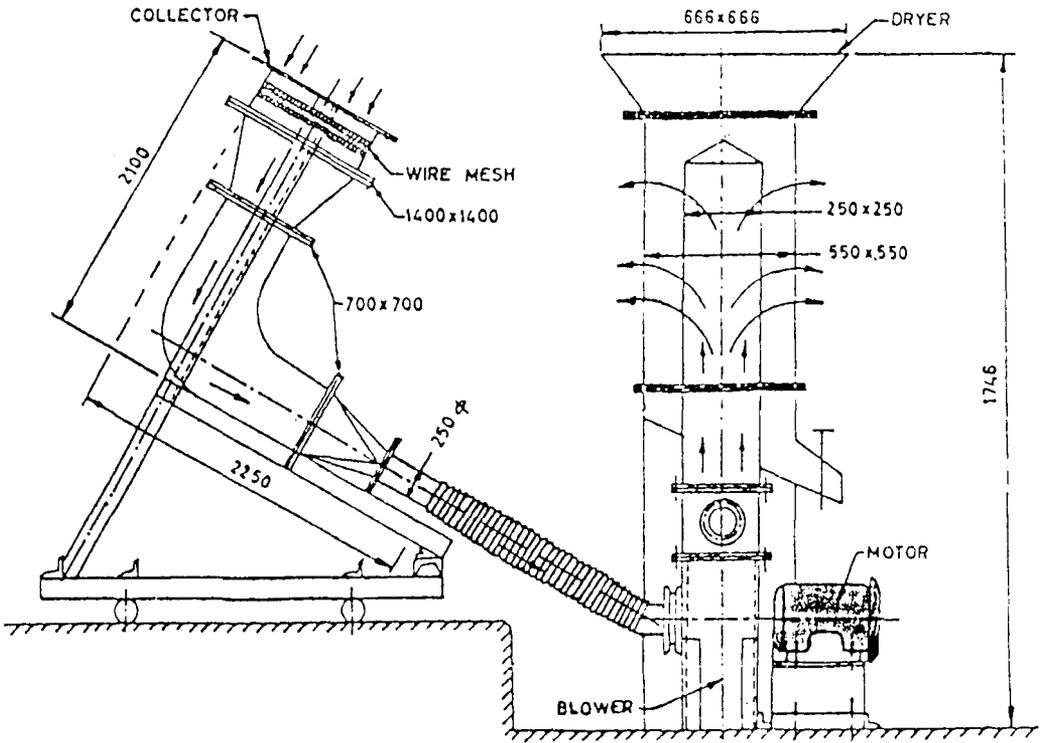
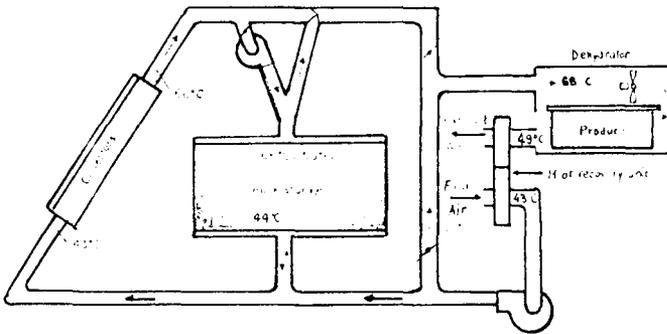


Figure 16 — (a), (b), (c)
Différents types de séchoirs solaires hybrides

- a) raisins (Turquie)
- b) café (Puerto Rico)
- c) blé (États-Unis)



(a)



(b)

Figure 17 — (a), (b)

Deux prototypes de séchoirs hybrides
 a) riz (Indes) b) fruits (États-Unis)

Le séchoir à blé (ou maïs) de Peterson (South Dakota) intègre les capteurs sur les murs du bâtiment. La capacité de cette réalisation (110^t) la situe dans la gamme des séchoirs industriels (Fig. 16c).

Un type original de séchoir à riz est aussi à signaler : le capteur se déplace sur un chariot et donc peut suivre le soleil. D'autre part, le riz subit une circulation qui permet un séchage homogène (Fig. 17a).

On peut également citer la réalisation de Niles Carnegie (Etats-Unis) (Fig. 17b) et leur choix de stockage thermique sur galets. Les seuls résultats qu'ils fournissent concernent les capteurs.

D'une manière générale dans tous ces séchoirs l'apport solaire remplace en moyenne 50 % d'une énergie classique.

Les séchoirs à bois rentrent dans la catégorie des séchoirs hybrides dans la mesure où le contrôle de l'évaporation doit être rigoureux sous peine de ruptures irréversibles des fibres végétales.

Entre 30 et 15 % d'humidité, l'eau libre s'évapore sans danger ; au-delà, la température et le débit d'air doivent être très soigneusement vérifiés. La température maximale est en moyenne 40° C pour la plupart des espèces de bois à sécher.

Les séchoirs à bois (kilns) (Fig. 18) se présentent en général sous la forme d'une grande pièce (chambre) avec mur sud et (ou) toit en polyéthylène tendu sur armature - avec faux plafond. L'air est souvent recyclé et il semble intéressant d'adjoindre un stockage thermique sur de telles installations.

IV. INTERET DES SOLUTIONS POLYVALENTES

La réalisation d'un séchoir agricole solaire implique dans une première phase la mise au point d'un générateur d'air chaud le plus performant possible - techniquement et économiquement.

- Du point de vue économique, le critère rentabilité impose une utilisation de l'appareillage la plus étendue possible. On doit donc
- soit en restant dans le cadre du séchage trouver des produits à sécher échelonnés sur toute l'année ;
 - soit imaginer des solutions variées pour l'utilisation de l'air chaud produit par le générateur.

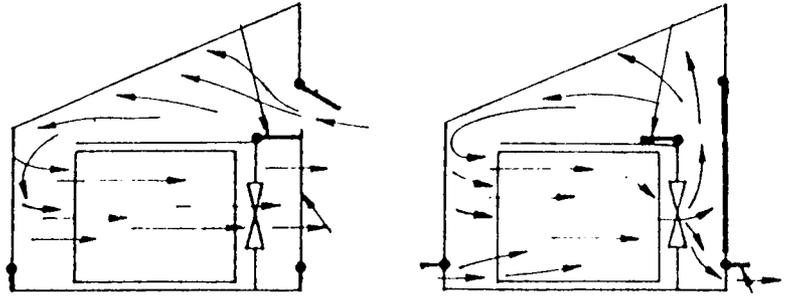
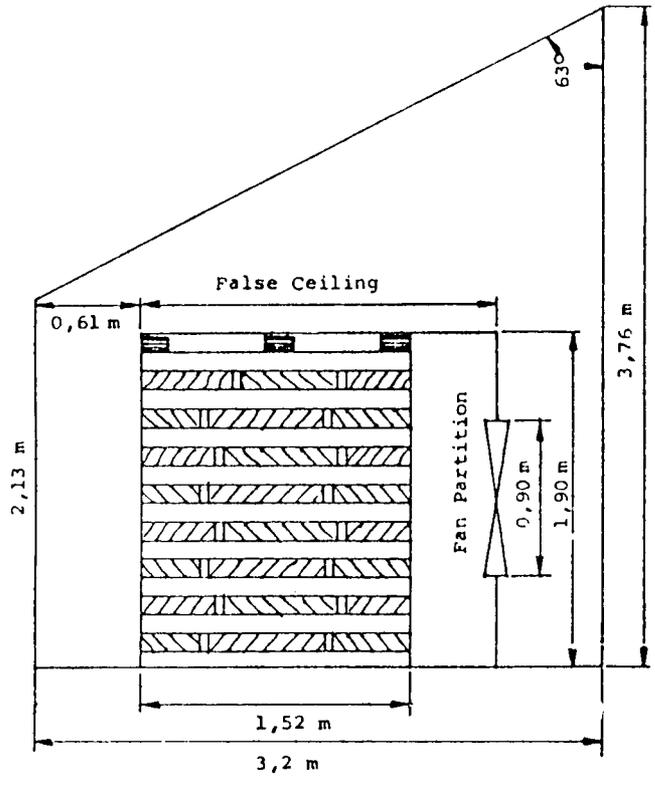


Figure 18
Séchoir à bois (kiln) Indes

Un exemple caractéristique est la réalisation de Miquel dans le sud de la France (Fig. 19). Une batterie de capteurs solaires (42 m²) à lamelles orientables constitue le générateur d'air chaud.

Suivant la saison, et selon des impératifs agricoles, l'air chaud est utilisé à :

- chauffage domestique
- chauffage des étables
- chauffage des serres
- accélération de la production méthanique par préchauffage du digesteur
- enrichissement en protéines des matières amylacées (préchauffage)
- le séchage du bois (en été).

Si l'on veut rester dans le cadre du séchage strict, il nous faut chercher des produits différents qui rentrent dans une même catégorie de type de séchoirs :

- séchoir à bois - à grain - à fruits.

L'idéal est de trouver une série de denrées dont les récoltes soient les plus échelonnées possible dans l'année.

CONCLUSION

Par comparaison au séchage naturel, les techniques solaires les plus simples permettent une réduction du temps de séchage de 50 % en moyenne.

Outre ce critère quantitatif, la qualité du produit est presque toujours améliorée : par exemple les valeurs élevées de la température de l'air, obtenues, arrivent à éliminer les risques d'infestation ; de même la teneur initiale en protéine est pratiquement retrouvée.

D'autre part, du point de vue économique, par rapport au séchage qui utilise des sources d'énergie conventionnelles, le solaire peut permettre une réduction jusqu'à 50 % du prix de revient suivant les produits - en l'état actuel du prix du baril de pétrole et compte tenu du prix de l'amortissement du surplus technologique.

Le problème à résoudre est celui de l'utilisation à temps plein de l'appareillage solaire. Dans les pays à climat tempéré, des solutions partielles à ce problème ont déjà vu le jour. Dans les pays africains, il est évident que ce sont les Africains eux-mêmes qui sont les plus aptes à trouver des solutions.

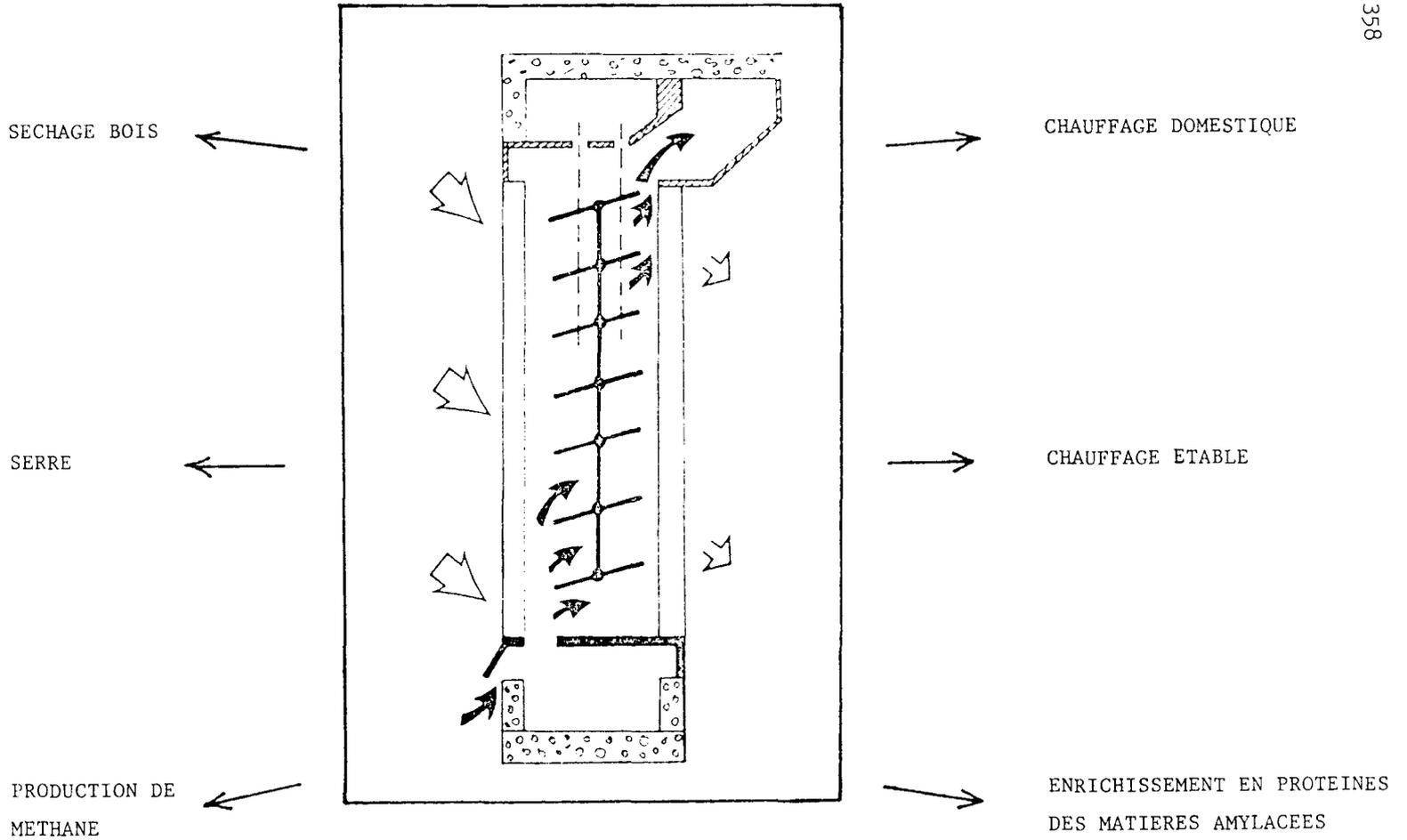


Figure 19
Réalisation solaire à vocation polyvalente Miquel (France)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFEDES.
 - *Cahiers n° 1*, Paris 1975.
- ANDRE C.
 - *Document IRAT*, 1965, n° 3, 576.
- AKYURT M., SELÇUK M.K.
 - *Solar Energy*, 1973, 14, 313.
- BAILLY M.
 - *Thermodynamique technique*. - Bordas éditeur, 1971.
- BEVILL V., BRANDT H.
 - *Solar Energy*, 1968, 12, 19.
- BIMBENET J.J.
 - *Cahier du GIA*, 4.
- BOLIN H.R., STAFFORD A.
 - *Journal of Food Science*, 1974, 39, 1 034.
- BOLIN H.R., STAFFORD A., HUXOL C.
 - *Solar Energy*, 1978, 20, 289.
- BOURDEAU, JAFFRIN, MOISAN.
 - *Etude expérimentale de parois à chaleur latente pour l'habitat*. - Nice : Laboratoire d'écothermique solaire, 1978.
- BRACE RESEARCH INSTITUTE = Institut de recherches Brace
 - *Manuel de technologie appropriée*. - Ste Anne de Bellevue (Québec, Canada) : HOA-ICO.
- CACHARD (De)
 Grenoble (Cédex 85) : C.E.N.G, 1976.
- CADIERGUES R.
 - *Promoclim*, 1978, 9, 21.
- CHAREYRE R.
 - *La maison autonome, Alternatives*. - 1978.
- CLOSE D.J.
 - *Solar Energy*, 1963, 7, 117.

DONOVAN, BLISS R.

— *Architectural Engineering*. — 1955, 228.

FOURNIER M., COUDERT J.P., BOMBRE F.

Perpignan : Université de Perpignan, 1978.

KRISCHER O., KRÖLL K.

— *Technique du séchage*. — Orsay (B.P. 19, 91402 Orsay) : CETIAT, 1963.

LASSERAN J.C.

— *Perspectives agricoles*, n° 6. — ITCF.

LÖF G.

— *Proc. Space Heating with Solar Energy*. — M.I.T., 1950, 72.

LÖF G.

— *Solar Energy*. — 1966, 6, 122.

MERCIER J.R.

— *Energie et agriculture*. — Paris (17, rue du Vieux Colombier, 75006) : Ed. Debard, 1978.

MIQUEL J.F.

— *Comptes*. — 1^{er} semestre 1978, 49.

MOISAN Aldo.

— *Mur diode/stage* cours UNESCO. — Nice : Laboratoire d'écothermique solaire, 1978.

NILES P.W.

— *Solar Energy*, 1978, 20, 19.

PEYRE A.

Paris (282 bd Saint-Germain, 75007) : PIRDES, 1978.

RODRIGUEZ-ARIAS J.H.

East Lansing (Michigan 48824) : Michigan State University, 1956.

WHILLIER A.

— *Solar Energy*, 1964, 8, 31.

POLYVALENCE D'UNE UNITE DE SECHAGE METHODOLOGIE DE CONCEPTION

par Dany Griffon

De façon à bien situer mon exposé dans le contexte du développement rural, je voudrais commencer par quelques mots sur la place de la recherche technologique en milieu villageois au niveau des petits groupements. Jusqu'à présent ce monde rural a été trop souvent relégué au rôle passif d'adopteur de technologies pensées et conçues pour les besoins de la grande industrie.

LE DESEQUILIBRE S'ACCROIT

Mon propos n'est pas de faire du paternalisme technique ni même d'alimenter une quelconque querelle sur le concept de technologie appropriée ou intermédiaire. Cependant, je crois normal et souhaitable de mener une réflexion permettant d'entreprendre de véritables opérations de recherche-développement au profit du secteur villageois.

La recherche doit descendre à la ferme et pour la ferme. Il est, en effet, prioritaire de chercher à réduire l'écart entre les villes et les campagnes, qui provoque tant de déséquilibres et de déracinements.

Il ne sera pas possible de réduire cet écart si, au niveau villageois, on emploie des techniques de recherches moins efficaces que celles proposées à la grande industrie.

Prenons l'exemple de la conservation des produits agricoles et alimentaires qui nous préoccupe.

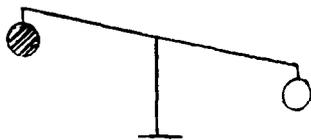
Lors du séminaire régional sur *les pertes post-récolte en Afrique de l'Ouest* tenu à ACCRA en 1977, il a été souligné que 30 % seulement

DANY GRIFFON, groupement d'études et de recherches pour le développement de l'agronomie tropicale [CEEMAT] / [GERDAT], Montpellier

des récoltes céréalières étaient destinées à l'approvisionnement des grands centres de conservation ou de traitement qui sont équipés de moyens techniques importants.

Mais pour les 70 % de la production conservée à la ferme dans le but de constituer des réserves pour l'alimentation de la famille, les moyens dont dispose le fermier pour préserver sa production sont quasiment inexistantes.

Nous pouvons traduire ceci par des balances en déséquilibre.

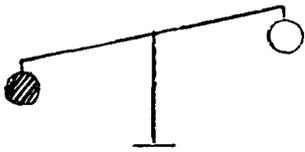


industries-ville

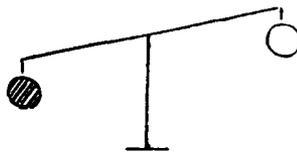


artisanats-villages

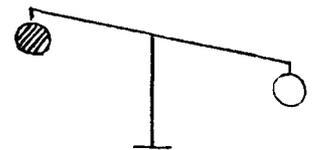
poids des répartitions
des productions



poids des recherches
entreprises



poids des
techniques utilisées



poids des pertes
post-récoltes

Face aux méthodes efficaces de la grande industrie (nées d'opérations de recherche), le fermier, lui, ne dispose que de quelques moyens rudimentaires pour préserver ses productions.

Les pertes de l'après-récolte, estimées de 20 à 50 % suivant les régions, illustrent malheureusement de façon éclatante le manque de moyens techniques et financiers du paysan qui, au niveau villageois, implique un déséquilibre croissant entre l'industrie et la paysannerie.

Certes quelques adaptations techniques, quelques moyens particuliers permettent d'apporter des solutions ponctuelles au problème paysan, mais cette recherche de solution reste trop empirique et n'exploite pas les possibilités d'une réelle action de recherche-développement.

Aussi est-il souhaitable de poser le problème en termes de méthode et de moyens à mettre en oeuvre pour apporter des solutions efficaces au développement des techniques villageoises. C'est dans cet esprit que je voulais situer mon exposé sur la conception des séchoirs en zones rurales que j'aborde à présent.

Tout au long de ce séminaire l'opération de séchage et son importance dans le système après récolte a été soulignée pour différents produits. Ceci me permet d'insister sur la nécessité de globaliser l'étude de conception des séchoirs et de l'asseoir sur une recherche scientifique.

L'OUTIL DE RECHERCHE = LE GENIE ALIMENTAIRE

L'approche méthodologique que je souhaite développer ici relève du concept de génie industriel alimentaire. Rappelons que ce concept permet de considérer les opérations techniques (telle que le séchage) de façon indépendante de la matière première à traiter.

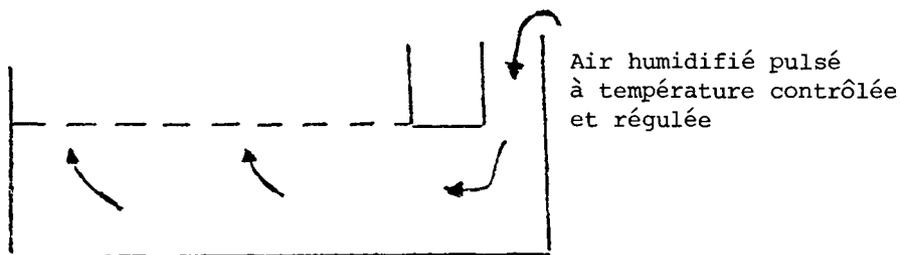
Si nous revenons quelques dix années en arrière, l'industrie alimentaire était constituée de laitiers, brasseurs, meuniers, bouchers, etc. Cette conception a bien évolué. Aujourd'hui on est un homme de l'agro-alimentaire et l'on emploie des techniques communes.

Le vocable commun d'"opération unitaire" tel que centrifugation, filtration ou même, plus globalement, séparation solide-liquide, peut remplacer les termes utilisés jusqu'à présent pour une matière précise comme filtre à drêches en brasserie, écrémeuse en laiterie, etc. Cette approche par "opération unitaire" remet donc en cause l'habitude qui consiste à associer tel produit à sécher à tel type de séchoir et permet de réfléchir en terme de polyvalence.

Le problème du séchage concerne, en effet, l'ensemble des produits. S'il est possible au niveau de la grande industrie de regrouper des productions identiques de façon à alimenter en continu un séchoir avec un produit unique, il n'est pas possible de raisonner de même en milieu villageois et de proposer au paysan autant de séchoirs qu'il développe de cultures.

Le génie alimentaire va donc nous permettre de raisonner de manière globale et conduire une recherche de polyvalence au niveau des produits. De plus, le génie alimentaire offre l'avantage de mettre en commun les expériences acquises dans des domaines très différents et peut donc être utilisé comme un outil de transfert des techniques.

A titre d'illustration et sans quitter le domaine des produits biologiques, je voudrais rappeler le transfert qui a pu s'opérer entre une technique bien connue en malterie : la germination en case de l'orge de brasserie, et la technologie empirique, et souvent non maîtrisée, de la fermentation des fèves de cacao.



Case de germination

C'est grâce à des hommes de synthèse, situés au carrefour des techniques et de la matière, et réfléchissant en terme de génie alimentaire qu'un tel transfert a pu être réalisé.

Cependant, pour être bien clair, la simple transposition d'une technique est rarement possible et des recherches en laboratoires et en ateliers pilote sont presque toujours nécessaires pour adapter et transformer cette technique aux besoins particuliers.

Le monde rural présente des besoins particuliers et la mise au point d'une technologie appropriée à ces besoins doit procéder elle aussi d'une recherche en laboratoire et en atelier pilote.

Cette phase du développement des zones rurales me paraît d'autant plus nécessaire que, si pour certains produits destinés à l'industrie, les données biochimiques et les paramètres de la cinétique du séchage existent, il n'en est pas de même pour de nombreux autres produits cultivés, stockés et consommés au village.

A-t-on procédé, par exemple, de façon fiable à la détermination des courbes de sorption des différentes variétés de manioc, taro, ignames ? Existe-t-il un recueil des courbes de sorption des produits agricoles tropicaux ? A-t-on procédé à la mesure des paramètres temps-température-humidité des différents produits ? Connaît-on l'influence des traitements thermiques sur la valeur technologique ou nutritionnelle des produits séchés ? La connaissance de toutes ces données est nécessaire si l'on

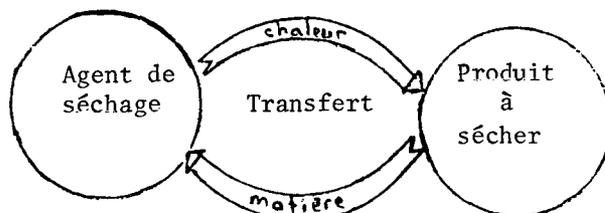
souhaite substituer une approche scientifique à l'empirisme qui est de règle actuellement.

Il importe, en conséquence, dans un premier temps, d'utiliser les moyens scientifiques du génie alimentaire pour concevoir un séchoir pilote susceptible de fournir l'ensemble des mesures nécessaires à la définition d'appareils polyvalents utilisables en milieu villageois.

Sur la base de cet équipement pilote, où la polyvalence va s'affirmer et permettre de simuler diverses conditions extérieures, il conviendra d'entreprendre des études d'optimisation technico-économiques tenant compte des ressources locales tant techniques, qu'humaines et financières compatibles avec les besoins qualitatifs et quantitatifs des produits à traiter.

LE SECHAGE : OPERATION UNITAIRE DU GENIE ALIMENTAIRE

Le génie alimentaire définit le séchage comme une opération de séparation conduite par des transferts simultanés de matière et de chaleur entre le produit à sécher et l'agent de séchage utilisé.



L'allure de ces transferts, caractérisés par des coefficients, dépend de facteurs externes (température-humidité-état de division du produit-vitesse de passage de l'agent de séchage) et de facteurs internes (écoulement de l'eau à l'intérieur du produit).

Si les premiers sont facilement mesurables, les seconds sont encore très difficiles à déterminer et la littérature scientifique existante nous enseigne que les modèles théoriques ne permettent pas de prédire l'allure de séchage d'un produit donné.

Notre réflexion génie alimentaire va donc s'effectuer dans une optique essentiellement pratique dans le but de répondre à la question : Comment calculer et définir avec une précision acceptable les caractéristiques d'un séchoir polyvalent ?

Il faut distinguer à cet effet :

- les calculs accessibles directement en utilisant les lois de la thermodynamique (bilans de matière et de chaleur) ;
- les calculs issus de l'expérimentation (durée de séchage - influence des traitements thermiques) ;
- les définitions relatives aux équipements constitutifs de l'unité de séchage et les calculs de dimensionnement.

L'immense variété des situations ne nous permet pas ici de prétendre définir tous les critères s'offrant à l'étude de conception des séchoirs. Nous serons donc bref et schématique.

CRITERES DE CONCEPTION DE L'UNITE DE SECHAGE POLYVALENTE

L'opération séchage peut se décomposer en sous-opérations indépendantes :

- l'opération de production de chaleur,
- l'opération de mise en contact entre phases.

Ces deux sous-opérations peuvent, à leur tour, être décomposées en éléments qui sont à définir dans une optique de polyvalence.

Ainsi l'opération de production de chaleur doit tenir compte :

1. des sources énergétiques disponibles : - combustibles solide, liquide, gazeux ; - énergie solaire, électricité.

A ce niveau, je voudrais souligner l'intérêt de l'énergie solaire et les possibilités qu'elle offre grâce aux différentes catégories de capteurs, mais je voudrais souligner également les possibilités qu'offre la valorisation énergétique des sous-produits agricoles soit par leur utilisation directe au moyen de brûleurs spéciaux (exemple : balles de riz), soit par leur gazéification préalable au moyen de gazogène dont les progrès techniques sont intéressants ;

2. de la nécessité ou non de passer par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur lorsqu'utilisant un combustible, il n'est pas souhaitable de mettre en contact direct les gaz chauds de combustion et le produit à sécher ;
3. de l'intérêt d'utiliser un ou plusieurs fluides caloporteurs susceptibles de couvrir une plage de température importante (air-gaz-vapeur surchauffée).

L'opération de mise en contact des phases doit, quant à elle, être définie dans le même esprit de polyvalence en fonction :

1. du mode de séchage le plus approprié : séchage par ébullition ou par entraînement et utilisant un mode de chauffage soit par conduction, soit par convection, soit par convection et par rayonnement, soit par rayonnement seul.

Je rappelle, à titre d'exemple, que le séchage solaire utilise à la fois un mode de séchage par ébullition (chauffage du produit par les radiations infrarouges) et un mode de séchage par entraînement (chauffage de l'air qui entre en contact avec le produit). On parle alors de séchage par entraînement non isenthalpique qui, sur le plan théorique, est plus difficile à analyser et à mettre en équation ;

2. de la pression utilisée dans l'enceinte de séchage (atmosphérique, surpression ou sous vide) en fonction des exigences biochimiques des produits ;
3. de la présentation, de la forme, des dimensions et de la texture des produits à sécher. Ces produits peuvent être liquides, plus ou moins pâteux, ou solides, plus ou moins émiettés.

A ce niveau, la polyvalence ne peut être totale, car le mode de manutention des produits varient considérablement en fonction de leur texture.

Il est cependant possible par des prétraitements de modifier les formes et les dimensions des produits. Certaines techniques consistent même à modifier les textures comme, par exemple, le séchage de produits liquides préalablement modifiés à l'état de mousse.

Mais, dans le cas qui nous intéresse plus particulièrement, des produits après récolte au niveau de la ferme, la texture solide des produits est bien évidemment la plus fréquente et il est, par conséquent, possible à ce niveau de rechercher des prétraitements physiques (découpage-broyage-rapage) permettant d'accroître la polyvalence des équipements.

Les définitions précitées vont permettre, au moyen d'un tableau comparatif, de superposer un certain nombre de techniques, d'y associer un certain nombre d'équipements et de rédiger un cahier des charges général offrant une polyvalence maximale au niveau :

- du générateur de chaleur et de la production d'un fluide caloporteur avec un débit, une vitesse et une température variables ;
- de l'enceinte proprement dite de séchage avec un support permettant différents types d'échange entre le fluide caloporteur et le produit à sécher, et cela dans des conditions d'approvisionnement continu ou discontinu du produit et sous des pressions de travail variables ;

- des gaines et canalisations permettant des recyclages totaux ou partiels de produits et d'agent de séchage ;
- des appareils et équipements pour les mesures, la régularisation et le contrôle des variables telles que humidité, température, débit, vitesse, etc., pouvant travailler sur des plages importantes.

Nous concluons par un schéma permettant de simplifier notre exposé et insistant sur la nécessité de bien situer l'opération de séchage dans la chaîne post-récolte. Il donne un exemple de polyvalence simple d'un séchoir pilote utilisant le principe du séchage par entraînement.

Deux commentaires s'imposent :

- ce séchoir pilote pourrait simuler diverses conditions climatiques et recréer des conditions de température et d'humidité de l'air ambiant ;
- le chauffage pourrait se faire directement par l'air chauffé simulant, par exemple le chauffage solaire de l'air ou au moyen de gaz de combustion qui passeraient par l'intermédiaire d'un échangeur éventuel.

De nombreux paramètres pourraient ainsi être déterminés et la mise au point d'un équipement à usage villageois pourrait enfin naître d'une étude d'optimisation technico-économique.

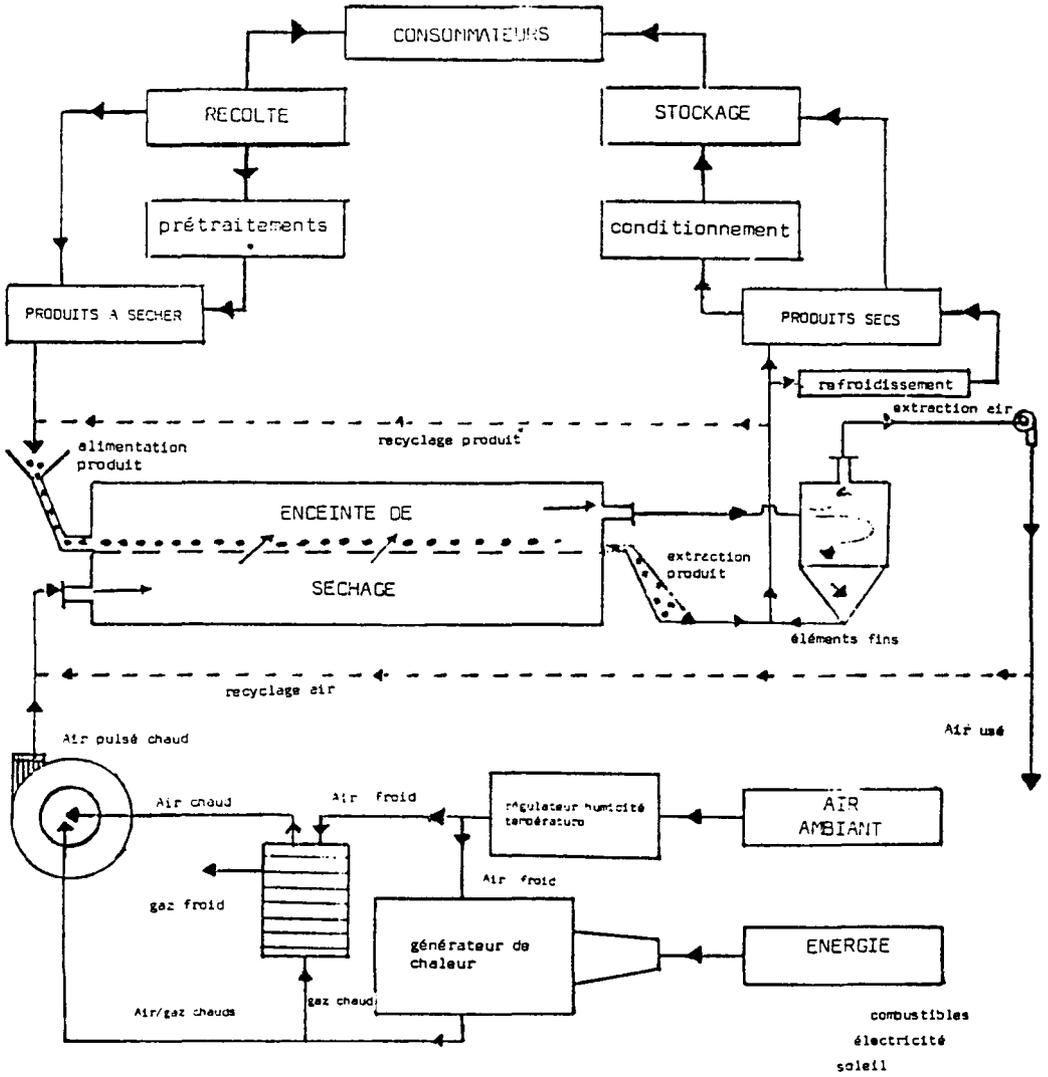


Schéma de principe et place de l'opération de séchage dans le système après récolte

COMMENT EN SAVOIR PLUS SUR LE SECHAGE DES PRODUITS ALIMENTAIRES*

A.N.R.T. [Association nat. de la rech. techn.]

— *Le séchage industriel et ses implications énergétiques*. — Paris, 1975.

APRIA [Association pour la promotion industrie-agriculture].

— *La déshydratation des produits agricoles*. — Paris, 1966.

APRIA/ ENSIA/ INRA.

— *Catalogue des constructeurs français d'équipement pour les industries alimentaires*. — Paris : SEPAIC, 1976-1977.

AUDU T.O.K., LONCIN M. et WEISSER H.

— Sorption isotherms of sugars. — *Lebensm.-Wiss.-Techn.* vol.11, (10), 1978, pp. 31-34

BERGIER A.

— "Humidité dans les gaz". — *Techniques de l'ingénieur*, Paris, p. 2430.

BIMBENET J.J. et GUILBOT A.

— "Modifications biochimiques et physico-chimiques au cours du séchage". — *Chimie ind. — Génie chim.*, vol. 96 (4), 1966, pp. 925-936.

BIMBENET J.J., BRUSSET H. et LONCIN M.

— "Effets de la présence de corps solubles sur la déshydratation des produits biologiques". — *Indust. alim. agr.*, 87 (4), 1970, pp. 385-391.

BIMBENET J.J., LONCIN M. et BRUSSET H.

— "Heat and mass transfer during air drying of solids". — *The Canadian J. Chem. Engng.*, 49, 1971, pp. 860-865.

CENTRE NATIONAL INTERPROFESSIONNEL DE L'ECONOMIE LAITIERE

— *L'économie laitière en chiffres*. — Paris : CNIEL, 1977.

DASCALESCU A.

— *Le séchage et ses applications industrielles*. — Paris : Dunod, 1969.

DOLZ J.

— "Les techniques pour déshydrater". — *Perspectives agr.*, 3, 1977.

* Cf. J.J. Bimbenet, *Cahier du GIA*, n° 4, SEPAIC, 1978.

FLINK J.M.

- "Energy analysis in dehydration processes (selected examples)". - *Food Technol.*, 31 (3), 1977, pp. 77-84, plus supplément sur demande.

FORNELL A.

- Comm. partic., 1978.

GAUTHIER A. et BIMBENET J.J.

- "Simulation et optimisation technico-économique du séchage des fourrages dans les séchoirs à tambour rotatif". - *Industr. alim. agr.*, 94 (4), 1977, pp. 371-380.

GOENAGA R.

- "Séchage des solides et des liquides". - *Techniques de l'ingénieur*, Paris, pp. 2710 à 2714.

GOMARIN C.

- "Séchage, refroidissement traitements thermiques. Propriétés de la matière et procédé". - *Courrier des Ets Neu*, Lille.

GUERIN B. et MAYET H.

- *Technologies propres dans l'industrie de la pomme de terre*. - Massy : ENSIA (Ecole nationale supérieure des industries agricoles), 1977.

HALL C.W. et HEDRICK T.I.

- "Drying milk and milk products". - *AVI Publ. Co.*, Westprt, Etats-Unis, 1966.

HEISS R.

- *Haltbarkeit und sorptionsverhalten wasserarmer lebensmittel*. - Berlin : Springer-Verlag, 1968.

KAREL M.

- "Fundamentals of dehydration processes". - *Advances in preconcentration and dehydration of foods. Applied Science Publ.*, Londres, 1974.

KAREL M.

- "Developments in food preservation and packaging protection based on control of water activity". - *Progrès et développements de la technologie alimentaire*, Paris, CPCIA [Centre de perfectionnement des cadres des industries agricoles et alimentaires], 1977.

KEYEY R.B.

- *Drying principles and practice*. - Oxford : Pergamon Press, 1972.

KERKHOF P.J.A.M. et SCHOEBER W.J.A.H.

- "Drying behavior of droplets in spray dryers". - *Advances in pre-concentration and dehydration of foods. Applied Science Publ.*, Londres, 1974.

KNEULE F.

- *Le séchage*. - Traduction française. Paris : Ed. Eyrolles, 1964.

KRISCHER O. et KROELL

- *Technique du séchage*. - Traduction française de l'éd. 1963. - Orsay : Centre technique des industries aérauliques et thermiques, n.d.

LABUZA T.P.

- "Effects of dehydration and storage on nutriment retention in foods". - *Food Technol.*, 27 (1), 1973, pp. 20-26.

LASSERAN J.C.

- Numéro spécial "Séchage du grain". - *Perspectives agricoles*, 6, 1977.

LEA C.H.

- "Chemical changes in the preparation and storage of dehydrated foods". - *Fundamental aspects of the dehydration of foodstuffs*, Conference in Aberdeen. - Londres : Soc. of Chem. Ind., 1958.

LONCIN M.

- *Les opérations unitaires du génie chimique*. - Paris : Dunod, 1961.

LONCIN M.

- Notes rassemblées par A. Gauthier, 1974. - "Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires". - Massy : polycopié ENSIA.

LONCIN M.

- *Génie industriel alimentaire. Aspects fondamentaux*. - Paris : Masson, 1976.

LUIKOV A.V.

- *Heat and mass transfer in capillary-porous bodies*. - Traduction de l'éd. russe, 1961. - Oxford : Pergamon Press, 1966.

MASTERS K.

- *Spray drying*. - Londres : Georges Godwin Ltd., 1976.

PERRY R.H. et CHILTON C.H.

- *Chemical Engineers' Handbook* : 5^e ed. - New York : McGraw-Hill Book Co., 1973.

PETIT L.

- "La réaction de Maillard dans les industries de l'alimentation". - *Industr. alim. agr.*, 81 (9-10), 1964, pp. 905-914.

SCHLUNDER.

- *Cours de séchage*. - Paris : Centre de perfectionnement des cadres des industries agricoles et alimentaires (CPCIA), 1976.

SOLIGNAC G.

- *La pompe à chaleur dans les processus de séchage*. - Paris : A.N.R.T., (Association nationale de la recherche technique), *op. cit.*

STERU M.

- "Humidité dans les solides". - *Techniques de l'ingénieur*, Paris, p. 2410.

THIJSSSEN H.A.C. et RUSKENS W.H.

- "Retention of aromas in drying food liquids". - *Chem. Techniek*, 80 (47), 1968, pp. 45-56.

VAN ARSDEL W.B. et COPLEY M.J.

- *Food dehydration*. - AVI Publ. Co. Wesport, Etats-Unis, Tome I : 1963 ; tome II : 1964.

V.D.M.A. Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik

- *Wasserdampf-Sorptionsisothermen von Lebensmitteln*. - Francfort/Main : Maschinenbau-Verlag, 1973.

COMMUNICATIONS

LES UNITES DE STOCKAGE DES CEREALES AU CAMEROUN

par Ruben Mbon

Réparties à travers trois régions, elles sont presque toutes traditionnelles.

REGIONS ET PROTOTYPES

LA REGION DE L'OUEST

Les unités de stockage sont constituées par des poutres de charpente où est exposé le maïs à la fumée du foyer domestique qui chasse les rongeurs et les insectes, du moins théoriquement. Cette méthode résout les problèmes de la pourriture très courants sous les tropiques.

LA REGION DU CENTRE-SUD

Le stockage revêt deux aspects :

- les greniers pyramidaux en herbes dressées sur piloti dont la longévité dépend du feu qu'on y allume très souvent ;
- les silos à parois de parpaings en terre d'introduction récente.

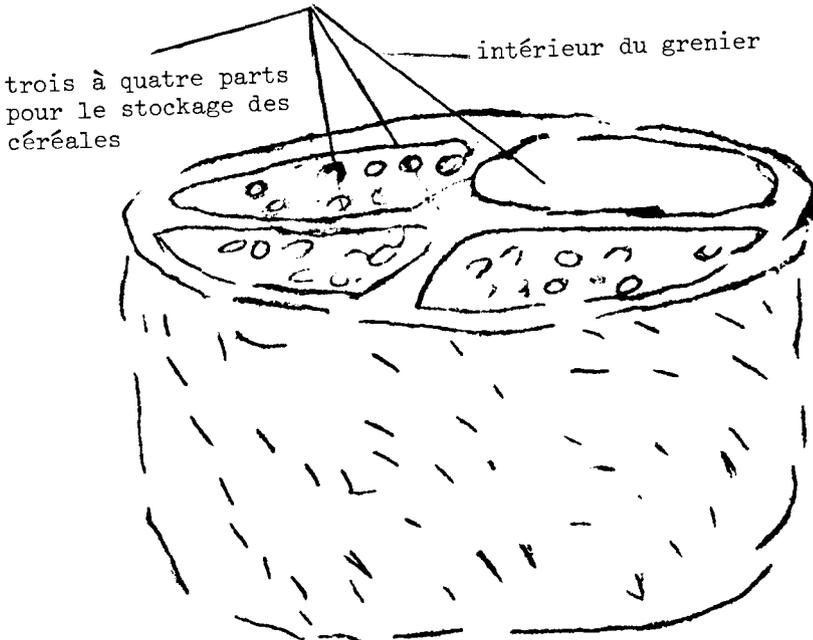
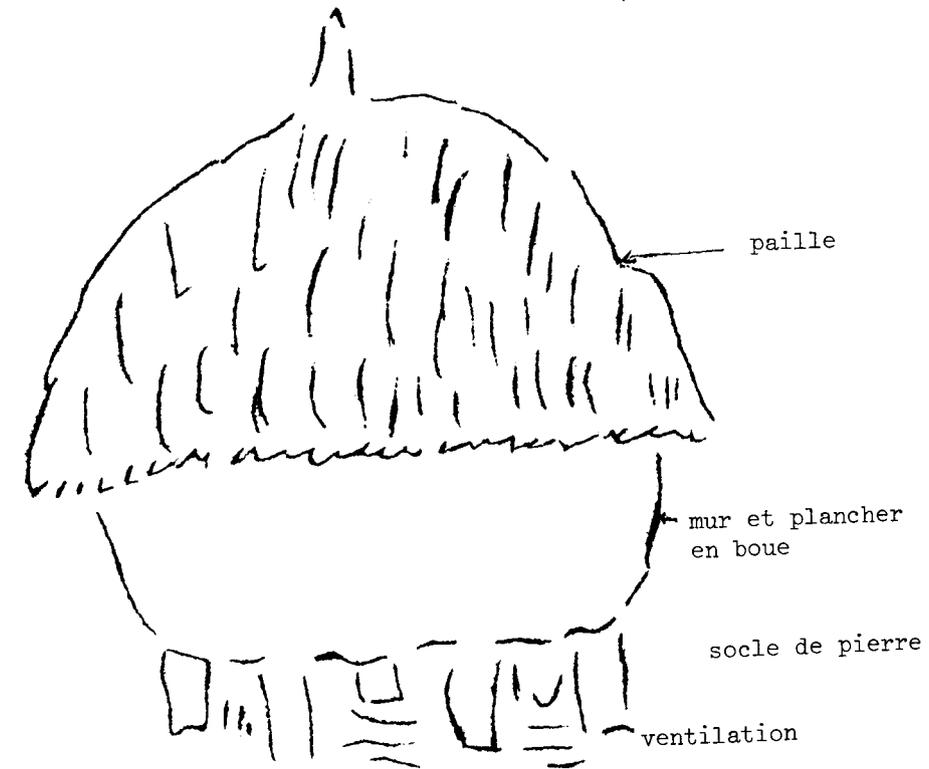
LA REGION DU NORD¹

De conception uniforme, faites de boue, le *poto-poto*² étant le matériel primordial de construction, les unités de stockage varient d'un département à l'autre, compte tenu des modes de cultures.

RUBEN MBON, directeur de l'Office céréalier, Cameroun

¹ Cette partie de l'étude sera plus détaillée du fait que c'est notre région d'intervention.

² *Poto-poto* : boue imbibée d'eau qui sert à la construction des murs de certaines habitations en Afrique tropicale.



Les unités de stockage en milieu paysan

Le grenier Toupouri (Mayo-Denay) et Guidar (Bénoyé) fait de boue séchée; il est monté sur des pieds en pierre et divisé en trois ou quatre compartiments qui servent au stockage de différentes denrées. L'ouverture d'accès est aménagée en haut et se ferme par un grand chapeau de paille, objet des deux croquis de l'annexe 1.

Le grenier Moudang (Diamaré) est fait moitié paille, moitié potopoto au niveau des murs ; un orifice placé au toit sert d'entrée d'air et d'ouverture pour le dépôt et le retrait des grains. Ce grenier repose sur un socle de pierres comme l'indique le croquis de l'annexe 2.

Le grenier Foulbé ou souterrain est courant dans toute la région Nord, constitué de paille tressée appelée "secco" au niveau des murs ; il s'agit d'un trou creusé au sol dont le fond est tapissé d'un mélange des cendres et déchets de mil-sorgho ; ce grenier est recouvert d'une natte de paille et d'une couche de terre à la surface, tel que décrit à l'annexe 3.

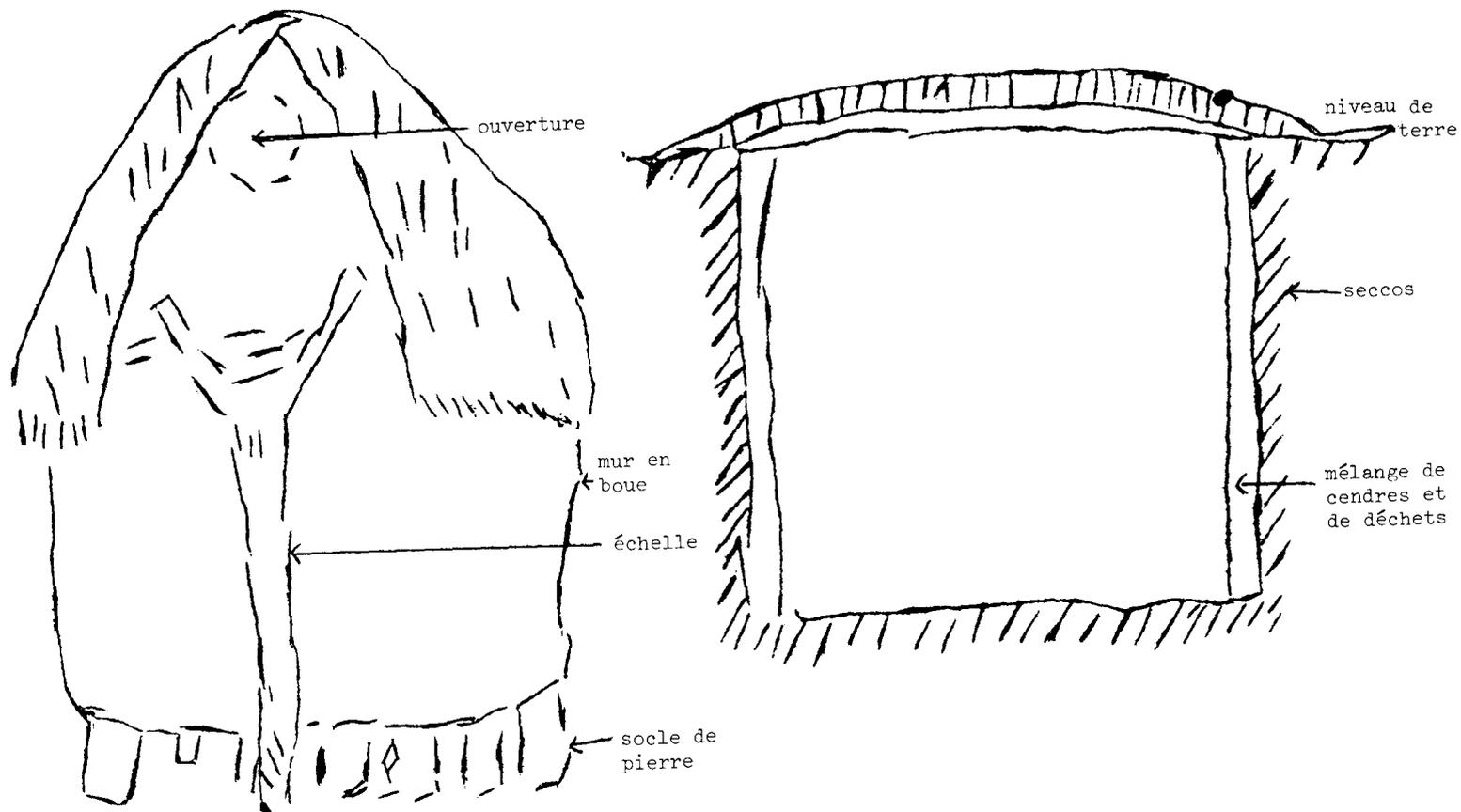
Le séchage en plate-forme constitue la manière la plus simple d'entreposage du fait que les épis de céréales sont placés sur de la paille tressée (secco) supportée par quelques piliers fixés au sol ; les épis sèchent en plein air et s'exposent à tous les dangers : pluies, oiseaux granivores, vol, ... (voir croquis, annexe 4).

* * *

Le grenier commun

Les congrégations religieuses³ ont commencé un système de stockage extensif de grains appelé "grenier commun". Le but visé est d'encourager les fermiers à déposer une certaine quantité de grains (deux sacs par exemple) dans un silo commun. Au moment du dépôt, le fermier reçoit une avance égale à la valeur de la quantité de grains déposés et ceci au

³ *Congrégations religieuses* : ce sont certaines organisations au sein des églises chrétiennes qui s'occupent de l'éducation des fidèles et autres groupements sociaux sous plusieurs aspects (religions, arts ménagers, organisation coopérative, santé, instruction, ...).



cours pratiqué sur le marché. Au moment de la soudure (période de vaches maigres), le fermier peut réclamer soit sa quantité de grains en reversant l'avance en liquide perçue au moment du dépôt, soit juste retirer la moitié de la quantité de grains déposés s'il n'a pas d'argent.

Ce mode de stockage ne semble souffrir d'aucune carence et constitue donc une réussite complète.

* * *

Les autres unités de stockage sont : les jarres et les canaris dans lesquels les grains sont en vrac, les paniers où sont stockés en panicules, le mil, les arachides, le niébé en gousse, le maïs en épis ; les "danki"⁴ sur lesquels sont placés le mil en panicules, le maïs en épis, le niébé ou l'arachide en gousse.

MODES DE STOCKAGE

Ils sont au nombre de six : le vrac pour les mil-sorgho en grain, arachide en gousse, le riz paddy ; le pot pour les denrées comme le niébé en grain, le canari ou le sac pour l'arachide et le maïs en grain ; le panier pour le mil-sorgho en panicule, le silo pour mil-sorgho, maïs ; le magasin contenant des sacs en jute.

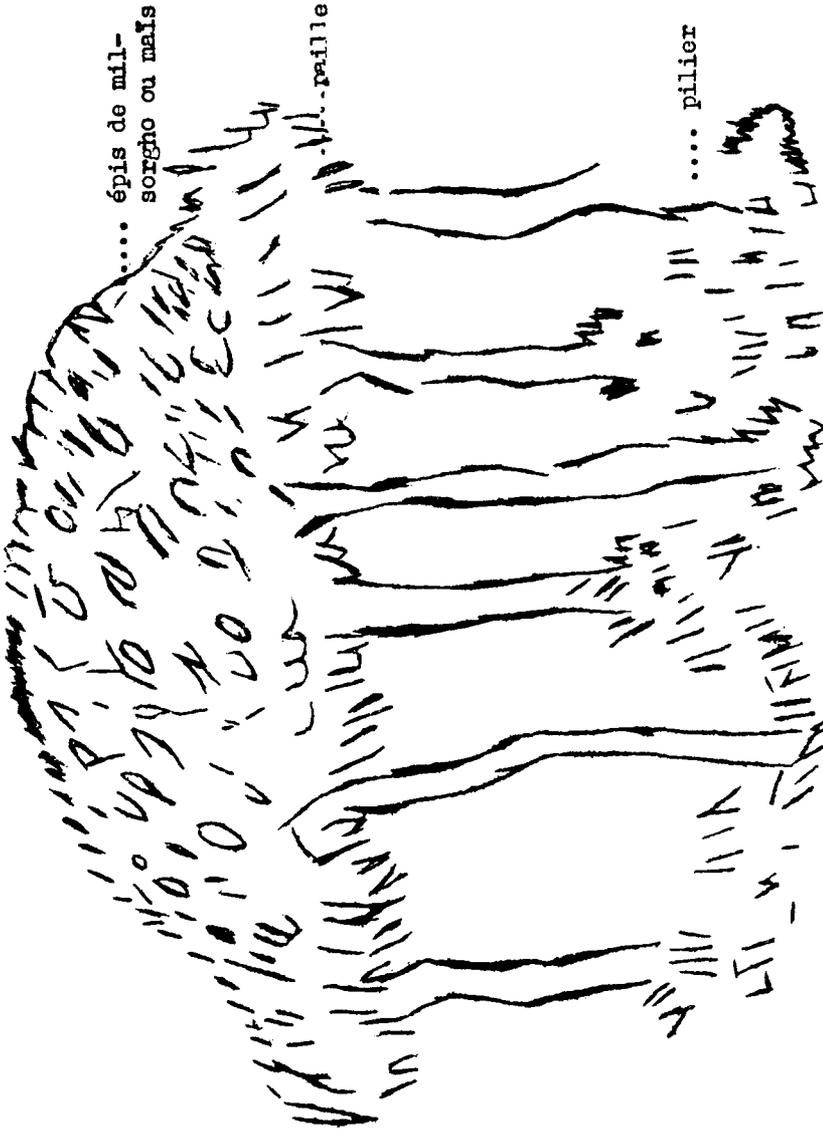
DUREE DE CONSERVATION DES DENREES EN MILIEU PAYSAN

L'observation faite à ce niveau concerne la nature de la denrée et le nombre des mois de conservation des stocks.

Nature des denrées	Nombre mois stockage
mil-sorgho	9 à 12 mois
riz	9 mois en moyenne
maïs	7 mois au maximum
arachide	9 à 15 mois
niébé	5 à 12 mois maximum

⁴

Les *danki* sont des hangars de stockage.



ETAT SANITAIRE DES GRAINS STOCKES ET TRAITEMENT EN MILIEU PAYSAN

Etat sanitaire

Les grains stockés sont exposés aux attaques par manque d'hygiène ; 60 à 70 % ne sont pas protégés.

Traitement

Le traitement est fait avec la poudre de "katchouba tchouga"⁵, la cendre de noix de neem, le sable et la boue.

Les paysans utilisent certains insecticides chimiques pour traiter les semences : thioral, gamoran, malathion, lindagrain, aldrex. Cet emploi s'avère dangereux pour la dose administrée et du fait même que certains de ces produits sont toxiques pour la consommation humaine.

STOCKAGE MODERNE DE L'OFFICE CEREALIER

Cet organisme dispose de deux modes de stockage.

- Les silos, au nombre de douze, sont situés dans trois départements : Adamaoua 6, Bénoué 4 et Diamaré 2, le stockage y est fait en vrac pour le mil-sorgho.
- Les magasins sont au nombre de trente répartis à travers toute la Province du Nord, dont Adamaoua et Bénoué 6 chacun, Diamaré 10, Mayo-Danay 3, Margui-Wandala 4 et Logone-et-Chari 1, et le stockage y est fait avec des sacs en jute de 50 et 100 kilogrammes.

La capacité de stockage de ces unités est d'environ 8 000 tonnes.

Les espèces d'insectes dominants dans les magasins de l'Office céréalière sont :

- les charançons : *tribolium confusum*, *tubolium castaneum*, *sitophilus granarius*, *oryzac-philus*, *chrypto lestes* ;
- les mites : *sitatroga cerelleta* (alucite des céréales).

⁵

Katchouba tchouga et *neem* sont des espèces de plantes.

Le traitement comporte :

- *une phase préventive par la pulvérisation* sur les surfaces intérieure et extérieure du magasin d'un insecticide liquide afin de tuer tous les insectes qui s'y posent. Un poudrage vient consolider la première action ; pour le mélange de la poudre insecticide avec les grains, la dose utilisée est 50 grammes pour 100 kilogrammes de grains et le grain est à l'abri de toute attaque pour une période comprise entre quatre et six mois ;
- *une phase curative par la fumigation*, cette opération intervient à la suite d'une infestation grave et généralisée ; la fumigation consiste en l'introduction, dans les piles de sacs ou dans le grain en vrac recouvert d'une bâche, de gaz de bromure de méthyle.

En résumé le traitement des denrées par l'Office céréalier se fait par :

- poudrage avec du malagrain ou de l'attelic ;
- pulvérisation de fenithion en liquide ou en poudre mouillable ou de synexa en poudre mouillable ;
- fumigation avec le bromure de méthyle.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU STOCKAGE MODERNE

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - conservation à long terme - stockage de grandes quantités - bonne ventilation 	<ul style="list-style-type: none"> - très coûteux - application de fumigants très dangereux ; - odeur des produits sur les grains - pertes de goût et d'éléments nutritifs après un long stockage.

PROBLEMES

Cette dernière partie soulève un certain nombre de questions.

1. Option entre systèmes de stockage

- Persistance dans le système traditionnel tel qu'il existe actuellement ?
- Choix intégral du système moderne ?
- Intégration des deux systèmes afin de dégager un système cohérent et adapté aux conditions climatiques et topographiques du pays ?

2. Problèmes techniques

- Quel prototype choisir pour mieux résoudre les difficultés liées à l'humidité, à la chaleur torride des tropiques, aux rongeurs et autres déprédateurs des semences et récoltes ?

- A quels spécialistes faire appel afin de résoudre au mieux toutes les questions soulevées ?

3. Problèmes du financement

- Quel que soit le système de stockage choisi, sa réalisation est subordonnée à la disponibilité des fonds nécessaires ; c'est à ce problème que se heurte l'implantation d'un réseau d'unités de stockage devant abriter le stock de réserve alimentaire dans la Province du Nord, dont la capacité d'accueil prévue est de 5 000 à 6 000 tonnes de céréales.

STOCKAGE MODERNE DE LA SODEBLE (Société d'Etat camerounaise de développement et de transformation du blé)

Cette société dispose d'une capacité de 5 000 tonnes de silos métalliques pour stocker le blé, le maïs et le soja. Il s'agit d'unités modernes avec ventilation, aération et réglage de la température à l'intérieur ; le chargement et le déchargement sont effectués mécaniquement par des poulies ; tout le fonctionnement des installations est commandé et contrôlé sur tableaux synoptiques.

MODES DE STOCKAGE DES DIFFERENTES CULTURES

Nature de la culture	Mode de stockage	Module de stockage
sorgho en grain battu	en vrac	grenier, canari, jarre et sac
sorgho en panicule	en tas	grenier, panier, "danki", sol
arachide en gousse	en vrac	grenier, panier, "danki", canari
arachide en grain	en vrac	sacs et rarement canari
riz en paddy	en vrac	grenier, sac, sol
niébé en grain	en vrac	grenier, panier, "danki"
niébé en grain	en vrac	pot, sac
maïs despathé	attaché sur une corde ou en vrac	grenier, "danki", sac
maïs en grain	en vrac	canari, sac.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU STOCKAGE TRADITIONNEL

Avantages

- protection contre humidité
- moindre coût
- goût naturel du grain.

Inconvénients

- stockage de plusieurs produits dans un même grenier (taux d'infectation élevé) ;
- manque d'hygiène et d'aération ;
- déstockage incorrect (le premier produit introduit sort le dernier) ;
- dépôt d'insecticide au fond du grenier.

LE SECHAGE SOLAIRE A L'INSTITUT DE PHYSIQUE METEOROLOGIQUE "H. MASSON" DE LA FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE DAKAR

par Gérard Madon

L'Institut de physique météorologique "Henri Masson" (I.P.M.), qui porte le nom de son fondateur, a été créé en 1955. C'est le plus ancien centre de recherches appliquées dans le domaine de l'énergie solaire de l'Afrique de l'Ouest.

Dès 1960, la conservation par dessiccation des denrées alimentaires est l'un des thèmes de recherches du centre. Depuis 1967, plusieurs prototypes de séchoirs solaires ont été réalisés, destinés au séchage du poisson en vue d'améliorer les *conditions d'hygiène, la qualité du produit pour accroître sa durée de conservation, et la productivité* par rapport au procédé traditionnel d'exposition directe sur claies au soleil, qui s'accompagne de pertes considérables (40 à 60 %) dues à l'infestation par les insectes.

L'expérimentation de ces prototypes a permis de tester :

- différentes structures de capteur solaire pour la production d'air chaud ;
- des aires de séchage de conceptions différentes : tunnels, armoires, ... ;
- différents types de claies ;
- divers matériaux de construction (bois, ciment, ...) et d'isolation thermique (coques d'arachides, laine de verre, polyuréthane, ...)
- des ventilations naturelles (simple, par cheminée solaire) et des ventilations forcées,

et de faire certains choix techniques.

A l'heure actuelle, deux technologies ont été retenues :

- a) la tente de séchage, de construction artisanale aisée, bon marché, destinée aux pêcheurs individuels ou aux petits villages de pêcheurs ;

GERARD MADON, ingénieur de recherches, Institut de physique météorologique "Henri Masson", Université de Dakar.

b) le séchoir semi-industriel équipé de capteurs solaires plans de production d'air chaud, décrit ci-dessous, destiné aux coopératives de pêcheurs possédant :

- quelques moyens financiers
- une structure de gestion - maintenance
- un réseau de commercialisation.

LE SECHOIR SOLAIRE " SESOL 1.20 "

Ce séchoir a été construit dans le cadre d'un des programmes de recherches de l'I.P.M., qui doit déboucher, pendant l'année universitaire 1980-1981, sur la construction d'un séchoir solaire équipé de 100 m² de capteurs plans au sein d'une coopérative de pêche comme il en existe plusieurs au Sénégal.

Son *principe* est le suivant : l'air ambiant, activé par un ventilateur, circule dans un capteur solaire plan où il est réchauffé. Au cours de cet échauffement, son humidité absolue reste constante. Il pénètre ensuite dans une enceinte isolée thermiquement, appelée armoire de séchage, où sont disposés sur des claies les poissons à sécher. A leur contact, l'air chaud se refroidit en même temps qu'il se charge d'humidité.

L'évolution s'effectue à enthalpie constante : l'enthalpie de l'air chaud est utilisée pour évaporer l'eau contenue dans le poisson ; cette enthalpie lui est restituée par la vapeur d'eau formée. L'air chargé en vapeur d'eau est évacué au dehors par une cheminée.

Les efforts de l'équipe de recherches de l'I.P.M. se sont concentrés sur :

- la mise au point d'un procédé de construction simple et bon marché ;
- une conception modulaire pour permettre une extension ou envisager la réalisation d'un séchoir plus important ;
- l'utilisation de matériaux locaux ou mis en oeuvre localement.

Le résultat est un compromis entre les performances et les impératifs de la factibilité locale.

Le séchoir SESOL 1.20, dont la structure et l'absorbeur sont représentés par les figures 1 à 3, a les caractéristiques suivantes :

- . capacité en poisson frais de l'armoire de séchage : 250 kg
- . surface utile des capteurs plans : 20 m², formée de quatre travées de 0,76 x 6,5 m² ;

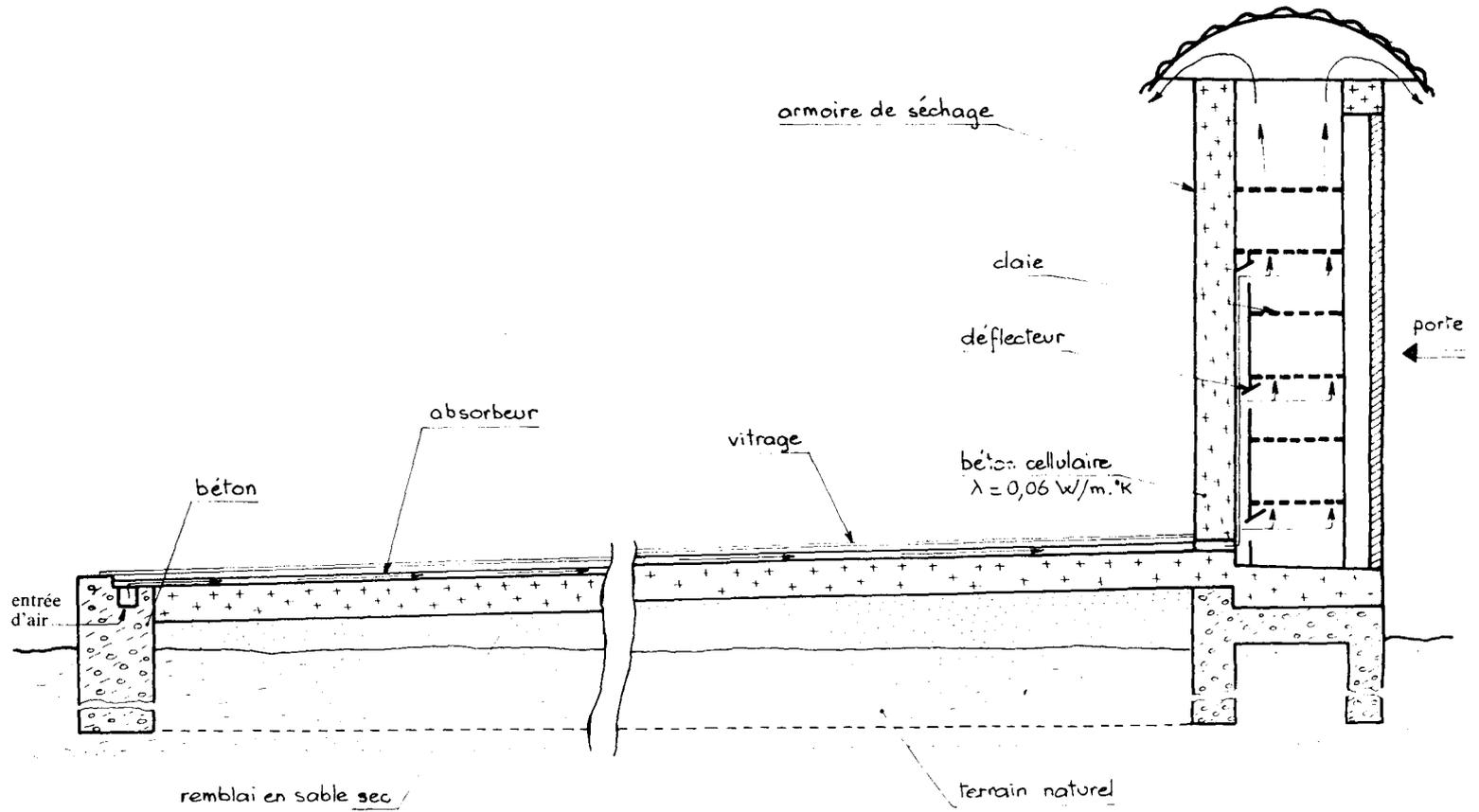


Figure 1

Coupe longitudinale du séchoir solaire SESOL 1.20

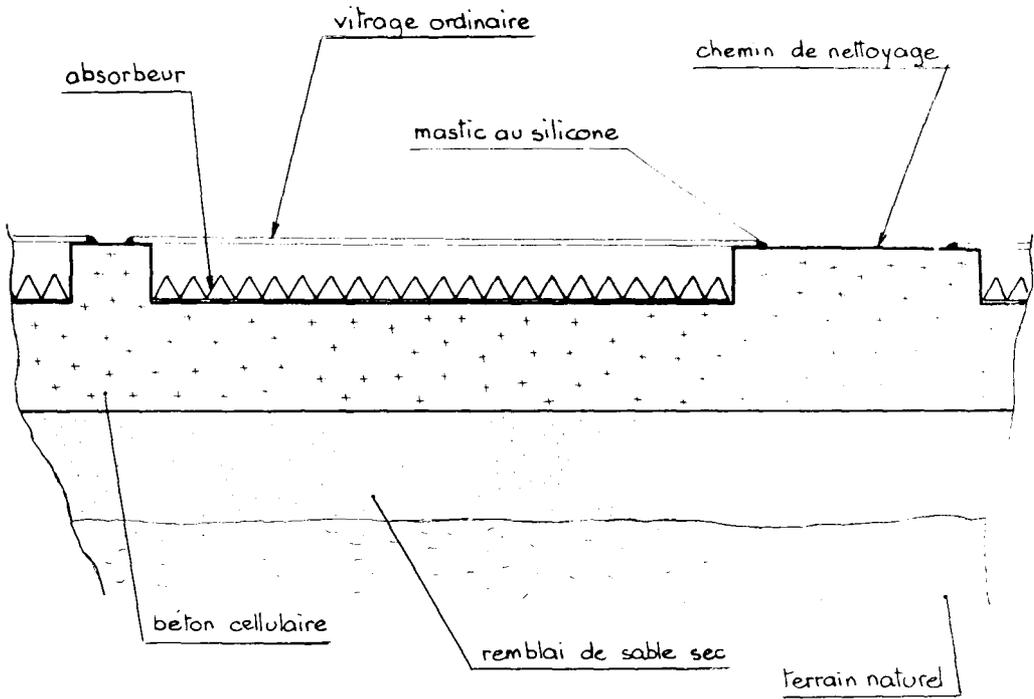
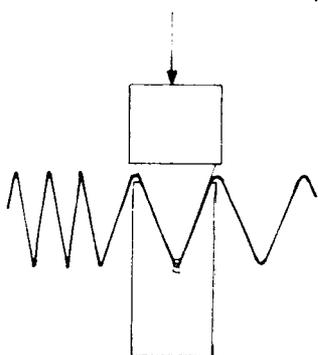


Figure 2

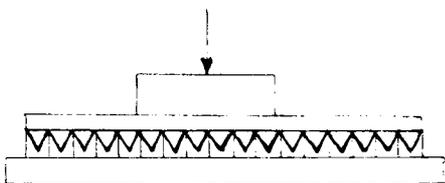
Coupe transversale d'une travée de capteur



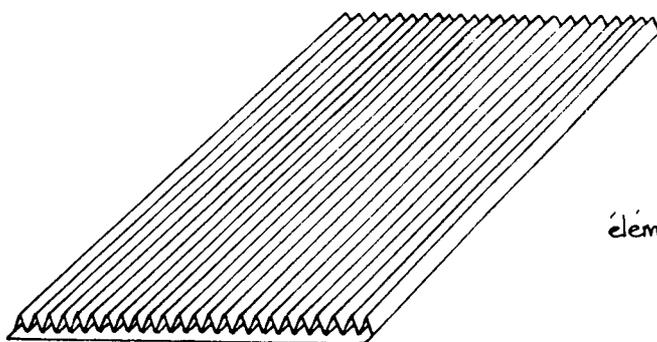
1. pliage de la tôle d'aluminium



2. formage sur matrice



3. collage de la tôle plissée



élément d'absorbeur

Figure 3

Principales phases de la fabrication des éléments d'absorbeur

- . ventilation forcée : débit d'air de l'ordre de 1 200 m³/h ;
- . distribution de l'air chaud dans l'armoire de séchage par un système de déflecteurs ;
- . coût du prototype : environ 2 000 000 CFA.

INTERET ECONOMIQUE DU SECHOIR SOLAIRE DE POISSONS

En milieu rural, le poisson utilisé pour le séchage est souvent le résidu de la vente des poissons frais. Son prix varie au cours de l'année suivant les quantités mises à terre, la moyenne peut être estimée à 50 CFA/kg - frais.

Le poisson en séchant doit perdre près des deux tiers de son poids. Frais, sa teneur en eau est de 70 à 80 %. Pour empêcher le développement des micro-organismes dans le poisson séché, la teneur en eau maximale conseillée est de 25 % (source : I.T.A¹ de Dakar). La législation définie par l'Office des pêches du Sénégal fixe à 35 % la limite supérieure admissible de teneur en eau du poisson séché.

Par suite :

1 kg de poisson frais permet d'obtenir 1/3 kg de poisson séché.

L'utilisation d'un séchoir solaire, permettant de transformer l'intégralité du poisson frais qu'il traite, apporte un gain de productivité par rapport à la méthode traditionnelle (entraînant 40 % de pertes) de :

(0,40 x 1/3) kg de poisson séché/kg de poisson frais.

Le poisson séché est vendu environ 250 CFA/kg au Sénégal (et jusqu'à 900 CFA/kg sur certains marchés d'exportation). Le bénéfice retiré de l'utilisation du séchoir solaire est de :

33,33 CFA/kg de poisson frais.

Le coût d'un séchoir solaire de 100 m², du même type que celui construit à l'I.P.M., est évalué à 8 000 000 CFA. Sa capacité de séchage minimale estimée est de 750 kg de poisson frais en deux jours. Le bénéfice réalisé est de :

33,33 x 750 = 25 000 CFA/2 jours

¹ I.T.A : Institut de technologie alimentaire.

soit, pour une saison de pêches de 300 jours : 3 750 000 CFA.

L'amortissement financier d'un tel appareil est réalisable en deux années.

PROGRAMME DE RECHERCHES

A l'heure actuelle, les actions de recherches à l'I.P.M dans le domaine du séchage solaire du poisson sont :

- l'étude et l'optimisation de la conduite du séchage ;
- l'utilisation de ventilation forcée alimentée par générateur photo-voltaïque ;
- l'amélioration de la distribution d'air chaud dans l'enceinte de séchage.

Par ailleurs, en collaboration avec l'Institut sénégalais de recherches agronomiques (ISRA), est envisagée l'étude du séchage solaire d'autres produits tels que :

- . les fourrages,
- . certains légumes (piments, gombos, tomates,...)
- . des céréales (riz, maïs).

* * *

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

SY Amadou Youssouf.

- *L'utilisation d'une tente en polyéthylène pour le séchage solaire du poisson.* - Dakar : I.T.A.

BA Aliou.

- *Etude, conception et expérimentation d'un séchoir solaire.* - Dakar : I.P.M., 1979. (Rapport de stage.)

PERTES SUR LES IGNAMES AU COURS DU STOCKAGE CAUSES ET METHODES DE LUTTE

par K. Foua-Bi, K.D. Babacauh et M. Demeaux

La Côte d'Ivoire a produit en 1978, environ 1 984 000 T d'ignames. Ce qui place pour cette année, l'igname en tête des cultures vivrières.

A ce taux élevé de la production il faut associer l'extension de sa culture dans vingt deux départements sur les vingt six qui compte le territoire national.

Cette production de plus en plus élevée entraîne un surplus dans les différentes zones productrices et un flux de commercialisation vers les grands centres urbains qui deviennent ainsi des centres importants de consommation. Il s'ensuit dès lors un ensemble de manifestations qui favorisent les déperditions dans les stocks.

Ainsi on a pu évaluer à 400 000 T les pertes au cours du stockage en 1978, soit environ le quart de la production nationale, ce qui est considérable.

Ces considérations numériques ont amené les autorités ivoiriennes à confier depuis 1976 à la cellule de recherche de l'Ecole nationale supérieure agronomique d'Abidjan, les études sur la protection des ignames.

L'exposé présenté ici est un résumé des résultats obtenus jusqu'à ce jour par les différents spécialistes de cette cellule.

FACTEURS RESPONSABLES DES PERTES DES IGNAMES EN COURS DE STOCKAGE

Un certain nombre de facteurs ont été recensés comme causes de la dépréciation ou de la perte des ignames en stock. Il s'agit généralement soit de processus physiologiques, soit des attaques de microorganismes ou d'animaux. Tous ces facteurs agissent simultanément ; cependant, pour l'intelligence de notre exposé, nous les présenterons un à un.

K. FOUA-BI, K.D. BABACAUH et M. DEMEAUX, Ecole nationale supérieure agronomique, Abidjan.

1. Facteurs physiologiques

L'activité métabolique provoque des pertes de matière par respiration et d'eau par transpiration. Elle diminue après la récolte et se fixe à un minimum pendant toute la période de dormance. Après la levée de cette dormance, la germination entraîne une augmentation rapide du métabolisme, une utilisation des réserves pour la croissance des germes et une sénescence du tubercule (Passam et Noon, 1977).

Ces deux facteurs sont très importants et difficiles à maîtriser :

- le métabolisme pourrait être réduit par le froid, mais les ignames ne supportent pas les basses températures qui provoquent une altération des tubercules (*Chilling damage*), (Coursey 1968, Olorunda, 1974). La limite inférieure de température varie avec les espèces mais, en pratique, il faut utiliser des températures de stockage supérieures à 12-13° C ;
- la germination de certains tubercules (pomme de terre) a pu être inhibée par des produits chimiques et par l'irradiation gamma. Utilisés sur les ignames, les inhibiteurs chimiques n'ont montré que peu d'efficacité (Adesuyi et Mackenzie, 1973 ; Campbell, 1972 ; Olorunda, 1974 ; Rivera et al. 1974). Seule l'irradiation gamma a donné de bons résultats tant sur *D. alata* que sur *D. rotundata*.

1.1. Techniques utilisées

Nos essais ont porté essentiellement sur des ignames du groupe *Dioscorea cayenensis-rotundata* car celles-ci, très appréciées des consommateurs ivoiriens, sont plus fragiles et plus difficiles à conserver.

Lorsque l'étude portait sur des quantités limitées, nous avons utilisé des variétés pures soit précoces (Kponou, Trelaye), soit tardives (Gnan). Mais lorsque de grandes quantités étaient nécessaires, nous avons utilisé un mélange de variétés tel qu'il existe chez les producteurs et dans le commerce.

1.1.1. Irradiations gamma

Notre irradiateur, équipé d'une source de 40 000 curies de Cesium, permet de traiter des lots de 30 kg de tubercules à la fois.

Les doses appliquées ont varié de 4 à 15 krads. Les ignames irradiées sont stockées dans des cageots dans un hangar à la température ambiante (25° à 35° C). Des pesées et des observations sont effectuées toutes les semaines afin de vérifier l'état des tubercules (pourriture et germination).

1.1.2. Conservation au froid

Les ignames entreposées dans des chambres froides maintenues aux environs de 15° C, sont pesées et observées toutes les semaines pour les petits lots et tous les mois pour les lots plus importants.

1.2. Résultats

1.2.1. Irradiations gamma

Comme nous l'avons déjà montré précédemment (Demeaux et Vivier, 1978 ; Demeaux et al, 1978), cette technique donne de très bons résultats (tableaux 1 et 2).

A partir de 8 krads, l'inhibition de la germination est totale pendant toute la durée du stockage. Les tubercules se trouvent alors en période de dormance prolongée et l'activité métabolique réduite entraîne de très faibles pertes de poids.

Il semble y avoir une grande homogénéité de comportement des différentes espèces et variétés d'ignames à l'irradiation. Pour celles que nous avons étudiées, les mêmes doses donnaient des résultats identiques : apparition de petits germes et dégénérescence de ceux-ci pour des doses de 4 à 5 krads ; arrêt total de la germination à partir de 7 à 8 krads.

La meilleure période de traitement se situe un mois après la récolte. A cette époque, la tubérisation naturelle a rendu la peau des tubercules plus résistante aux blessures lors des manipulations et les ignames sont encore en période de dormance.

Des tests organoleptiques pratiqués de suite après l'irradiation ou au cours de la conservation ultérieure sont favorables aux ignames pour les doses faibles que nous utilisons (8 à 12 krads).

Des essais récents partant sur de grandes quantités de tubercules (plusieurs tonnes) ont permis de confirmer l'intérêt pratique de cette technique.

1.2.2. Stockage à 15° C

A cette température, le métabolisme est réduit et la germination retardée de plusieurs mois. Celle-ci cependant n'est pas totalement inhibée et des petits germes peuvent apparaître mais ils évoluent peu si les tubercules restent au froid. Dès le retour à la température ambiante, les ignames germent normalement, ce qui est intéressant pour la conservation des semenceaux.

Tableau 1

Effet de l'irradiation et du froid (15°C) sur l'évaluation des pertes de Dioscorea cayenensis précoces (variétés kponou et Trelaye) en cours de conservation.

Traitements : Pertes en % en fonction du temps de la conservation						
Durée	1 mois	2 mois	3 mois	4 mois	5 mois	6 mois
Témoins	1.8	4.6	33.9	46.5	65.5	83.5
Témoins + Triabendazole	1.8	3.6	19.3	25.4	34.7	64.1
Froid (15°C)	9.3	20.5	50.8			
Irradiation (10 krads) +	1.8	3.2	13.4	14.6	16.8	18.9

Tableau 2

Effet de l'irradiation et du froid (15°C) sur l'évolution des pertes de Dioscorea Cayenensis tardives (variété Gnan) au cours de la conservation.

Traitements : Pertes en % en fonction du temps de conservation						
Durée	1 mois	2 mois	3 mois	4 mois	5 mois	6 mois
Témoins	4.1	7.2	12.7	27.1	31.3	36.4
Témoins + Thiabendazole	3.6	6.3	11.4	25.3	29.5	34.3
Froid (15°C)	2.5	4.0	5.3	7.2	16.6	19.4
Irradiations (5 krads)	4.1	6.1	8.2	12.4	16.8	21.3
Irradiations (10 krads)	3.6	5.6	7.3	9.3	11.5	13.4
Irradiations (15 krads)	3.7	5.8	7.5	9.9	11.8	13.7

Mais une pourriture importante se développe dans les chambres froides entraînant de graves dégâts. La perte peut atteindre plus de 50 % après trois mois de stockage pour certaines ignames précoces du groupe *D. Cayenensis-rotundata* (tableau 1). Cette pourriture est provoquée par *Penicillium oxalicum* Tom et Currie isolé précédemment. Ce parasite ayant un optimum de développement à une température proche de 18° C, se trouve dans des conditions très favorables lors du stockage à 15°. Ceci explique que les dégâts observés sont plus importants à cette température qu'à la température ambiante.

Comme nous l'avons déjà signalé ci-dessus, la sensibilité au parasite des différentes variétés et espèces d'igname est variable, les variétés précoces étant plus vulnérables. En conséquence, la conservation à 15° n'est envisageable pour celles-ci que si le développement de *Penicillium oxalicum* Tom et Currie peut être maîtrisé. Des traitements fongicides avec le benomyl et le thiabendazole ont montré une certaine efficacité (Ogundana 1971, Thompson et al. 1977).

Nous avons fait des essais de conservation en utilisant ces produits, en particulier le thiabendazole (2-(4-thiazolyl) benzimidazole). Ce fongicide employé par trempage des tubercules dans une émulsion aqueuse à 2 500 ppm pendant dix minutes selon la technique recommandée par Ricci (1975) donne de bons résultats. Après six mois de conservation à 15° C, seuls 10 % des tubercules traités avec ce produit étaient attaqués par le *Penicillium*. Après épluchage les pertes dues à la pourriture n'étaient que de 2 %.

Ce pesticide est très peu toxique et il reste localisé dans la peau des ignames. Comme celles-ci sont épluchées avant consommation, les taux de résidus retrouvés dans la partie comestible sont très faibles (< 1 ppm. par rapport au poids frais).

Une expérimentation à grande échelle (lots de dix tonnes) aura permis de conserver à 15° C avec un traitement au thiabendazol, des ignames précoces pendant plus de six mois avec des pertes totales inférieures à 20 %. En conséquence, cette technique paraît intéressante en particulier pour les semenceaux dont le pouvoir germinatif est maintenu.

2. *Penicillium oxalicum* Tom et Currie ; agent de la pourriture de tubercules d'ignames

2.1. Symptôme

On observe couramment dans les magasins de stockage, une pourriture sur les tubercules qui se signale extérieurement par la présence de fructifications conidiennes vertes. L'observation au microscope de ces organes révèle la présence d'un *Penicillium* sp.. Les colonies vertes

naissent sur d'anciennes blessures exclusivement qu'elles qu'en soient les dimensions. Elles annoncent une pourriture interne en pleine évolution, que le suber intact ne laisse pas soupçonner. Lorsque la pourriture est bien installée, les zones atteintes cèdent facilement sous la pression du doigt ; elles laissent exsuder un liquide brunâtre sous forte humidité relative et chez certaines variétés.

Les symptômes internes sont mis en évidence en dégageant l'épiderme. C'est une pourriture brun-noirâtre uniforme pouvant devenir jaunepaille ou brun clair avec l'âge, et selon les variétés. Le brunissement des tissus atteints présente parfois des reflets violacés chez *D. bulbifera*, *D. esculenta* et certaines variétés *Kponou* et *Trelaye* de *D. cayenensis-rotundata*. Ces lésions comportent fréquemment chez *D. alata* des traînées blanc-verdâtre de fructifications conidiennes. Au stade ultime, le tubercule devient mou si l'humidité relative est élevée ou se dessèche et devient alors friable. L'épiderme demeure dans tous les cas indemne. Il a tendance à se décoller chez *D. esculenta* avec la déshydratation. Dans les poches ainsi aménagées, les fructifications du parasite sont abondantes. La variété *Trelaye* de *D. cayenensis-rotundata* connaît cette situation, mais à un degré moindre. Les tissus atteints, non encore déshydratés, exposés à l'air commencent à se couvrir d'une abondante fructification verte, après quarante huit heures.

2.2. Agent pathogène

2.2.1. Caractéristiques culturales

Tous les isollements effectués à partir de la marge des parties pourries et répondant aux symptômes qui viennent d'être décrits aboutissent à l'obtention à l'état pur d'un *Penicillium* sp. Les souches isolées croissant à 24° C sur un milieu Czapek gélosé atteignent un diamètre de 6,5 cm en moyenne en seize jours. Le thalle est uniforme, sans sillon et sans zonation ; en dehors de la marge de croissance qui est blanche, il est couvert de fructifications conidiennes sur toute sa surface. Celles-ci sont d'abord bleuâtres ; elles prennent avec l'âge une coloration verte ou vert olive, puis jaune sale. Les parties âgées du thalle se couvrent de nombreuses petites gouttelettes incolores ou brun-jaunâtre. Autour de l'implant apparaît fréquemment une repousse floconneuse blanche, jaunissant ou bleuissant avec la sporulation. Les gouttelettes qu'elles portent, généralement plus grosses, sont incolores ou vineuses. Le revers du thalle et parfois le milieu de culture se colorent de brun.

2.2.2. Caractéristiques morphologiques

Dans les conditions expérimentales, il n'a pas été observé d'organes de reproduction reserrés. La forme imparfaite obtenue sur Czapek est *Penicillium* sp. qui répond aux caractéristiques morphologiques et

biométriques ci-après. Les blanches sont dissymétriques et non divergentes, de dimensions variables : 18,6 μm en moyenne (12,3 μm - 24,7 μm de long sur 2,15 μm (1,8 μm - 3 μm) de diamètre. Quelques conidiophores sont sans branches et portent directement par le verticille de phialides (8,6 μm - 12, μm) de long. Les phialides atteignent environ 8 μm (6,18 μm - 10 μm) de long sur 2 à 2,5 μm de diamètre.

Les conidies sont très variables dans leurs forme et dimensions ; elles sont rondes (1,35 μ de diamètre) ou elliptiques (2 à 5 μm sur 1,25 μm). Tous ces organes possèdent des parois externes lisses.

Les caractères morphologiques et culturaux décrits sont identiques à ceux définis pour *Penicillium oxalicum* Tom et Currie. Les services du Commonwealth Micology Institute ont confirmé cette identification.

2.2.3. Pouvoir pathogène

2.2.3.1. Isolement de l'agent pathogène

Les parties atteintes du tubercule sont d'abord superficiellement désinfectées à l'alcool. Ensuite, au moyen d'un scalpel stérile, on dégage le front d'attaque dans lequel sont prélevés des morceaux à ensemercer en boîtes de pétri sur l'un des milieux nutritifs suivants :

extrait de malt selon la composition recommandée par Blakeslee et utilisée par Thom et Raper (1968). Ce milieu se compose de l'extrait de malt à 2 % de peptone et 2,5 % de gélose.

Milieu Czapek standard à 1,5 % de gélose.

2.2.3.2. Inoculation

Les tubercules à inoculer à raison de dix par variétés sont choisis sans blessures. Leur poids varie de 600 g à 1 200 g.

La zone à inoculer est mitoyenne entre les parties proximale et distale. Après désinfection locale à l'alcool, on prélève à l'aide d'un emporte-pièce stérile de 4 m/m de diamètre, un disque de suber, partie liégeuse protectrice ; à son emplacement on dépose l'inoculum constitué par une rondelle de mêmes dimensions provenant de la marge de croissance du thalle du parasite sur extrait sur malt. On replace ensuite le disque pour atténuer les risques de dessiccation.

Les ignames ainsi traitées sont conservées à 22-23° C pendant deux mois. Cette technique simule les blessures superficielles.

Pour comparer la sensibilité des espèces ou variétés entre elles, les lots traités sont pesés en fin d'expérience avant et après extraction des parties pourries dont le poids est obtenu par différence entre les deux pesées. Les pertes sont exprimées en pourcentage du poids des tubercules obtenu à la première pesée.

2.2.3.3. Matériel végétal

Les ignames traitées appartiennent à des variétés de *D. alata*, *D. esculenta* Burk, *D. bulbifera* L., *D. dumetorum* et du groupe *D. cayenensis-rotunda* au sein duquel les cinq variétés traitées se répartissent comme suit :

Kponou*, Trelaye*, et Djinlou* : précoces à deux récoltes
Tami*, Dikai* : tardives à une récolte.

2.2.3.4. Résultats

Les diverses variétés traitées selon la méthode ci-dessus décrite, reproduisent les symptômes observés et décrits à partir des lésions produites. *P. oxalicum* a été régulièrement réisolé, apparaissant ainsi comme le responsable de cette pourriture. L'isolant utilisé se montre capable d'attaquer les espèces les plus courantes, cultivées en Côte d'Ivoire. Les résultats des inoculations portées dans le tableau 3 l'illustrent. On y note une plus grande réceptivité des variétés précoces (*Kronou*, *Trelaye* et *Djinlou*) du groupe *D. cayenensis-rotunda* des espèces *D. dumetorum*, *D. bulbifera* et *D. esculenta*, en revanche les variétés tardives testées (*Tami* et *Dikai*) du groupe *D. cayenensis-rotundata*, la variété éprouvée de *D. alata* se montrent moins susceptibles.

La réaction différentielle mise en évidence mesure en réalité la résistance des cellules épidermiques compte tenu de la méthode d'inoculation employée. En effet, lorsque les blessures sont profondes, l'agent pathogène est capable de causer les mêmes dommages sur les variétés de *D. cayenensis-rotundata*, portées dans le tableau 3. Certaines variétés opposent donc une résistance à la pénétration du parasite au niveau des premières couches cellulaires protégées par le suber.

3. Animaux déprédateurs des ignames en cours de stockage

Il est reconnu, jusqu'à présent, que les animaux causent peu de dégâts aux stocks d'ignames (Coursey, 1967). En Côte d'Ivoire, il nous a

* Noms de variétés, empruntés aux paysans du Centre et Centre-Est de la Côte d'Ivoire.

Tableau n° 3

Variation de l'intensité des attaques selon les espèces et variétés d'ignames.

Espèces	Cycle	Variété	Pertes
	Tardif	Tami	0, 3 %
		Dikaï	0, 5 %
	Précoce	Trélaye	6, 7 %
		Djinlou	8, 7 %
		Kponou	9, 3 %
D. alata		Florida	0, 2 %
D. esculenta			14, 0 %
D. dumetorum			15, 6 %
D. bulbifera			18, 5 %

Tableau n° 4

Evaluation des attaques par la faune déprédatrice des stocks d'ignames.

Animaux		Nombre de tubercules attaqués	% sur 29346 tubercules inventoriés
Insectes	Cochenilles	4740	16 %
	Termites	329	1. 12 %
	Celéoptères	46	0. 16 %
Mammif.	Rat.	45	0. 15 %
Ciseaux	Perdrix +	29	0. 09 %

été donné l'occasion de recenser tous les parasites vivants sur les ignames stockées. Les résultats de cette enquête sont consignés dans le tableau 4 qui montre que les cochenilles sont de loin les animaux que l'on rencontre le plus fréquemment sur les ignames stockées (16 %). Il n'en demeure pas moins que les autres animaux ne doivent pas ne pas être pris en considération. Aussi allons-nous passer rapidement sur la faune secondaire pour nous attarder plus sur les cochenilles qui nous semblent les plus importantes.

3.1. Oiseaux

Un certain nombre d'oiseaux s'attaquent aux ignames aussi bien dans les champs que dans les stocks : les perdrix et les pintades dans la zone des savanes et les cailles dans les zones forestières parviennent par leurs becquetées à provoquer des blessures plus ou moins graves. Généralement ils ne constituent pas un grave danger et ne nécessitent pas une lutte spéciale.

3.2. Mammifères

Le rat de Gambie (*Cricetomys gambianus* Watt) est le principal rongeur des tubercules d'ignames stockés. De taille appréciable (30 à 45 cm de long), il est bien reconnaissable à l'extrémité de sa queue de couleur plus claire que l'ensemble du corps.

Il s'attaque aussi bien aux tubercules en buttes qu'aux tubercules sur claies : il provoque ainsi des lésions qui serviront de voies de pénétration à certains microorganismes, agents de la pourriture du tubercule.

Cependant, ses dégâts sont peu importants et n'ont pas nécessité jusqu'à présent une lutte spéciale.

3.3. Insectes

Nombreux sont les insectes qui s'attaquent aux ignames aussi bien en champ qu'en magasin. Certains de cette dernière catégorie causent parfois localement des dégâts importants. C'est le cas de *Esphestia Cautella* Walker et de *Araecerus fasciculatus* De Geer.

3.3.1. *Esphestia Cautella* Walker (Lepidoptera, Pyralidae)

C'est un petit papillon de couleur gris-cendré, de 10 cm de long, dont les adultes apparaissent sur les ignames en magasin ; elles semblent attirées par les blessures. Se dissimulant le jour, ces insectes deviennent très actifs au crépuscule. C'est à cette période que les femelles

vont déposer leurs oeufs (environ 50) sur les blessures des tubercules. La jeune larve pénètre directement dans le tubercule où elle creuse une galerie nutritive dont la présence est signalée par un petit tas de sciure. La larve vit dans cette galerie et ne remonte à la surface que pour se nymphoser dans un cocon de soie. De ce cocon sortira l'imago.

Ces insectes préfèrent de loin les *D. alata* sur lesquelles les attaques sont généralement suivies d'une pourriture due à *Penicillium oxalicum* Currie et Tom.

Fréquent dans les ports et les grands centres urbains, on le rencontre dans un rayon de 50 km autour d'Abidjan sur les ignames (Méhaud, 1974).

3.3.2. *Areacerus fasciculatus* De Geer (*Coleoptera, Anthribidae*): Bruche des grains de café

Comme le premier, cet insecte vit habituellement aux dépens des denrées autre que l'igname. Sa présence a été notée dernièrement en Côte d'Ivoire sur les ignames stockées (Méhaud, 1974).

L'adulte, dont la biologie est mal connue, vivrait de moisissure. Très agile, il s'envole avec aisance en cas de danger. Cependant il "fait le mort" à la suite d'un choc ou lorsqu'il est maintenu trop longtemps entre les doigts.

La femelle dépose les oeufs dans les interstices de l'épiderme des tubercules. Les larves, sans casser l'oeuf, s'enfoncent directement dans le parenchyme amylofère dont elle se nourrit en creusant une galerie. A la fin du dernier stade larvaire et à l'approche de la nymphose, la larve s'installe sous l'écorce, y fait une rondelle circulaire à peine adhérente et se nymphose. La nymphe donnera un imago qui pousse simplement la rondelle pour prendre son vol.

Le cycle évolutif est variable selon les conditions extérieures. A 20° et 70 % d'HR sous lumière du jour, la durée du cycle varie de trente deux jours minimum à quarante jours maximum (Méhaud, 1974).

Il est considéré par certains auteurs dont Lepigre (1962) comme un parasite secondaire ; cependant la durée relativement courte de son cycle (trente six jours en moyenne) ainsi que sa prolificité élevée en font un parasite extrêmement dangereux pour les tubercules d'igname si l'on n'intervient pas assez tôt.

3.3.3. *Cochénilles*

Un certain nombre de cochenilles ont été signalées sur les tubercules d'igname à travers le monde. *Planococcus citri* Risso est très

fréquemment mélangé à une autre pseudococcine *Phenacoccus gossypii* Torsend et Cockerell, sur les tubercules en cours de stockage et même de culture de *D. bulbifera* et *D. trifida* (Panis 1974). *Planococcus dioscoreae* Williams causerait des dégâts importants sur les tubercules stockés de *Dioscorea* spp. en Nouvelle Calédonie (Williams, 1960).

Planococcus halli, *Dysmicoccus brevipes* Mac'Kenzié, *Geococcus coffeae* Green sur les ignames en Guadeloupe, *Planococcus lilacinus* Cockerell également sur les ignames à l'île Maurice sont d'autres pseudococcines causant des dégâts sur les tubercules d'ignames en cours de stockage.

Parmi les Diasphinés, *Aspidiatius destructor* Signoret (Miège, 1957), *A. hederæ*, *Aggrallaspis cyanophylli* Signoret, *Hermiberlesia Lataniae* Signoret et *Pinnaaspis strachani* Cooley sont les cochenilles vivantes sur l'igname dans les pays tropicaux.

En Côte d'Ivoire seuls *Aspidiella hartii*, Ckll., *Aspidiotus destructor*, Signoret parmi les Diaspines et *planococcus citri* Risso et *P. dioscoreae* parmi les pseudococcines ont été observés sur les tubercules d'ignames stockés. Ces dernières sont fréquentes surtout dans les zones forestières et préforestières. Ce sont des cochenilles farineuses dont la biologie sur l'igname est encore mal connue.

Aspidiotus destructor Signoret est connu vivant plutôt sur les palmiers cocotiers. Ses dégâts sur les ignames n'ont pas encore été évalués.

Quant à *Aspidiella hartii* ckll., il semble lié à l'igname qu'il a poursuivi à travers le monde. Décrit en 1895 sur des échantillons en provenance de Trinidad (Cockerell, 1895, cette cochenille est passée dans les îles du Pacifique à partir du percement du Canal de Panama en 1914). Elle s'est retrouvée aux Indes aux environs de 1917 avant d'être signalée en Afrique en 1924. Aujourd'hui, son aire d'extension sur ce continent va du Cameroun en Côte d'Ivoire couvrant ainsi le Gabon, le Nigéria, le Congo, le Bénin, le Togo et le Ghana.

Biologie

L'insecte vit principalement aux dépens des tubercules d'ignames. L'infestation se fait dans les stocks d'ignames par la migration des larves marcheuses et l'extension en cette infestation est fonction du mode de stockage. Ainsi, lorsque l'on observe une fois toutes les deux semaines l'évolution de l'infestation des tubercules en vrac ou sur claie, on remarque que la totalité d'un stock de cent tubercules est infestée au bout de deux mois et demi pour les ignames déposées en vrac et infestées à partir d'un seul tubercule porteur de cochenille. Dans le même temps et dans les mêmes conditions, le taux d'infestation sur les tubercules en claies verticales n'atteint que 15 % (fig. n° 1).

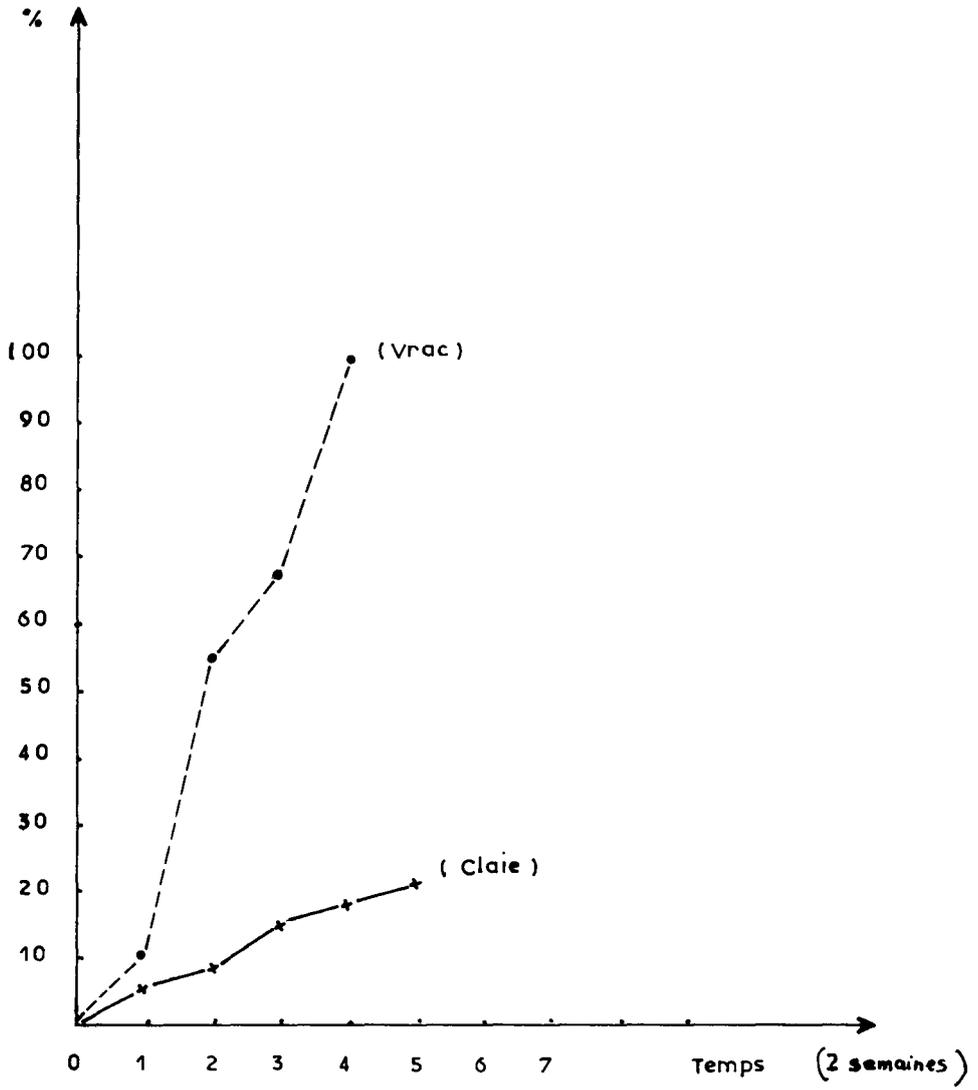


Figure 1

Taux d'évolution de l'infestation des tubercules de *D. alata* var. *florido* selon le mode de conservation.

Dans le sol, les semenceaux infestés donnent naissance dans plus de 75 % des cas à des tubercules infestés. C'est encore la larve marcheuse qui va coloniser le tubercule fils : les larves marcheuses se regroupent dans un premier temps à la base de la liane et parfois sur les racines. Leurs descendants colonisent les jeunes tubercules à la faveur des fissures provoquées par la pression sur le sol environnant d'abord par la sortie de la liane, puis par le développement du tubercule.

Cette infestation, qui est basse à la récolte (16 % en moyenne), évolue rapidement pour atteindre les 75 % dans certaines régions au moment de la plantation. Lorsque l'on sait que cette cochenille a une action importante sur le taux de germination, le développement de l'appareil végétatif et la productivité (Foua-Bi, 1978), on est en droit de considérer cette cochenille comme un fléau qu'il y a lieu de combattre dès maintenant.

3.4. Lutte contre la faune des tubercules stockés

Pour les oiseaux et les mammifères, le peu de dégâts qu'ils causent n'ont pas permis de s'en occuper rationnellement. Ainsi, avon-nous vu les paysans s'en débarrasser par l'usage des pièges ou parfois du fusil pour les oiseaux.

En ce qui concerne les insectes, s'il est relativement facile de lutter contre les phyllophages par utilisation d'insecticides de contact et d'ingestion, cela devient plus difficile pour ceux des stocks contre lesquels il convient de recourir à des installations parfois très oné-reuses. La lutte se complique davantage pour les insectes mineurs. Dans le cas précis qui nous intéresse, l'utilisation des fumigants dans les magasins pouvant se fermer hermétiquement ou le traitement sous bâche avec du fumite à raison d'un traitement par mois a donné d'excellents résultats. Il faut cependant noter que ce traitement retarde le début de la germination des semenceaux.

Dans le cas des cochenilles, nous orientons notre investigation dans deux voies : la lutte dans les stocks avec du parathion en pulvérisation (Thypholine D) a donné pendant les deux dernières années des résultats excellents. La deuxième voie est de produire des tubercules indemnes. Ainsi, compte tenu de la biologie de la cochenille, nous procédons actuellement à des essais expérimentaux sur les enrobages des semenceaux ou le dépôt d'un certain nombre d'insecticides sous diverses formes.

Les résultats attendus à la récolte de cette année agricole (1979) suivie de l'analyse des résidus maintenus dans le parenchyme amylofère, nous déterminera la procédure définitive à choisir. D'ores et déjà, les premiers résultats obtenus par cette méthode semblent encourageants.

CONCLUSION

Actuellement, les producteurs assurent la conservation des ignames avec des méthodes bien adaptées aux différentes variétés et espèces. S'il est relativement facile d'intervenir sur les parasites par une meilleure protection mécanique et des traitements pesticides, les pertes d'ordre physiologique sont plus difficiles à maîtriser. En conséquence, l'amélioration suffisante des méthodes traditionnelles de stockage est malaisée et il faut envisager des techniques plus élaborées pour conserver les ignames au niveau des centres de collecte et de stockage régionaux disposant de moyens plus importants. C'est dans cette optique que nous avons étudié plusieurs techniques susceptibles de réduire les pertes d'origine physiologique, en particulier l'irradiation gamma et le stockage au froid.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADENIJI M.O.

- "Fungi associated with storage decay of yam in Nigeria". - *Phytopathology*, 1976, 610, 590-592.

ADESUYI S.A., MACKENZIE J.A.

- "The inhibition of sprouting in stored yams". *Dioscorea rotundata* Poir. by gamma radiation and chemicals. Radiations Preserve". Vienna : IAEA/AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), 1973, 127-136.

BANDIN P.

- "Maladies parasitaires des ignames en Côte-d'Ivoire". *Mycol.*, suppl. 21, 1956, 87-III.

CARUPBELL J.S., CHUKWUEKE V.O., TEREBA FA, HO-A-SHU UVS.

- "Some physiological investigations into the white Lisbon yam (*Dioscorea alata* L.)".
- III - "The effects of chemicals storage". *Emp. J. Exp. Agric.* 30, 1962, 335-344.

COCKERELL TDA.

- "Aspidiotus hartii Ckll Psyche". VII, suppl. I : 7.-*Trinidad R. Bot Gard Bull Mix Inform.* 2, 1895, 85.

COURSEY D.G.

- "Low temperature injury in yams". *Food Tech.* 3 (2), 1968, 143-150.

DEMEAUX M., VIVIER P.

- "Preliminary tests on the preservation of yams by irradiation and by cold storage". *Food Irrad. Newsletter* 2 (2), 1978, 44-48.

DEMEAUX M., BABACAUH K.D., VIVIER P.

- "Problèmes posés par la conservation des ignames en Côte d'Ivoire et essais de techniques pour les résoudre"/Int. Seminar yams. - Cameroun, Buéa, 1978.

FOUA-BI K.

- "Effet des piqûres de *Aspidiella hartii* ckll (Homopt. Coccidae) sur la levée, le développement de l'appareil végétatif et la productivité de l'igname"/Int. seminar yams. - Cameroun, Buéa : IFS, Report n° 3, 1978, 325-338.

MOURA R.M., REBEIRO G.P., COELHO RSB, SILVA JUNIOR J.N.

— "*Penicellium sclerotigenum* Yamato principal furugo de prodridão en triberas de inhame (*D. cayenensis* Lam.) no estado de permambuco (Brésil)". — *Fitopatologia Brasileira*, 1 (2) 1976, 67-76.

OGUNDANA SK., NAGNI SHS et EKUNDAYO JA.

— "Fungi associated with soft rot of yams (*Dioscorea* spp.) in storage in Nigeria". — *Trans. Brut. Mycol. Soc.*, 54 (3) 1970, 445-451.

OKAFOR N.

— "Microbial rottinf of stored yams (*Dioscorea* spp.) in Nigeria". — *Expl. Agric.*, 2, 1966, 179-182.

OLORUNDA A.O., Mc LEKVRE AD, MACKLON A.E.S.

— "Effect of temperature an chloro pham on the storage the yam." — *J. Sev. Food Agric.*, 25, 1974, 1233-1238.

PANIS A., FERRAN A., TORREGROSSA J.P.

— "Les cochenilles des cultures vivrières et fourragères aux Antilles et Guyane française". *Revue de zoologie agricole et de pathologie végétale*, 1974, n° 11, 22-27.

PASSAM HC, NOON RA.

— "Deterioration of yams and cassava during storage". — *Ann. Appl. Biol.* 85, 1977, 436-440.

PASSAM HC.

— "Dormancy of yams in relation to storage"/Int. Seminar on yams. — Cameroun, Buéa, 1978. Rapport n° 3.

RICCI P.

— "Maladies des "Cousse-couche" survenant au cours du stockage en Guadeloupe". — *Nouvelles agronomies des Antilles et de la Guadeloupe*. 1 (2), 1975, 153-159.

RIVIERA J.R., GONZALEZ M.A., CUEVAS RUIZ J.

— "Sprout inhibition in yam by gamma irradiation". — *J. Agric.*, Univ. Puerto Rico, 58 (3), 1974, 336-337.

RIVIERA J.R., GONZALEZ M.A., COLLAZO de RIVIERA A., CUEVAS-RUIZ J.

— "An improved method for storing yam (*Dioscorea alata* L)." *J. Agric.*, Univ. Puerto Rico, 58 (4), 1974, 456-465.

THOMPSON A.K., BEEN B.O., PERKINS C.

— "Fungicidal treatments of stored yams". — *Trop. Agric.*, (Trinidad), 54 (2), 1977, 179-183.

WILLIAMS D.J.

— "A new species of *Planoccucus* Ferris (*Coccidea* : *Homoptera*) on yams in New Guinea". — *Papua and New Guinea Agricultural Journal*, 1960, 13 (1).

YAMA ROTO K., YOSHITANI et MAEDAM.

— "Studies on the *Penicillium* and *Fusarium* rots and chinese yam and their control. — *Scient. Rep. Hyogo Univ. Agric.*, 1955, 2, 69-79.

EXPERIENCE DE L'UTILISATION DU FROID SUR L'IGNAME EN COTE D'IVOIRE

par Ouattara Sindou

INTRODUCTION

L'absence de planification en agriculture dans nos pays, le manque de régularité dans l'approvisionnement des grands centres urbains et dans les prix, l'importance des pertes après récolte suscitent auprès des scientifiques et des utilisateurs à l'instar d'une société de distribution comme P.A.C. un désir de rechercher et de concevoir des méthodes de conservation qui restent dans les limites de prix supportables et compatibles avec les maigres ressources disponibles. C'est pourquoi la société P.A.C. agricole s'est orientée, parmi différentes méthodes, vers la méthode de conservation par le froid relativement onéreuse et pouvant être facilement étendue sur une grande échelle.

Les raisons qui poussent la société P.A.C. à expérimenter cette technique sont commerciales certes, mais aussi économiques et sociales, puisque cela intéresse une structure commerciale chargée de collecter une soixantaine de produits agricoles en frais prêts à être consommés, de les stocker le moins possible, de les distribuer ensuite à des demi-grossistes qui doivent les commercialiser aux consommateurs finals. Il est nécessaire alors de réguler la production, de la planifier et de réguler les prix.

Parmi la soixantaine de produits agricoles concernés, l'expérimentation sur l'igname semble fondamentale et est la plus avancée. C'est donc celle que nous allons examiner, les moyens mis en oeuvre, le protocole opératoire et, enfin, les résultats et leur interprétation.

Les moyens

L'entreprise Isofroid, installée à Abidjan, nous a doté de six chambres froides étanches d'une capacité de 16 à 177 chacune. Elles sont démontables, donc très pratiques. Elles ont été réalisées en 1977, sous appel d'offre, pour la valeur de 35 000 000 de francs CFA.

OUATTARA SINDOU, ingénieur-économiste, Société P.A.C., Abidjan.

Les chambres froides sont constituées de plaques en aluminium à l'intérieur et à l'extérieur, plaques qui sont isolées par du "Finckot" (matière isolante). Pour la production du froid, chacune des chambres est munie d'un groupe qui comprend plusieurs parties essentielles :

- un condenseur à l'extérieur,
- un évaporateur à l'intérieur,
- un réservoir contenant le gaz frigorigène en l'occurrence le fréon,
- des cellules membranaires en plastique spécial situées à l'extérieur et communiquant avec la chambre.

Ont été utilisées douze tonnes d'ignames précoces (*dioscorea cayenensis-rotundata*), conservées au froid à 15° C pendant six mois et à 95 % d'humidité relative (HR).

Le protocole opératoire

Il se décompose ainsi :

- achat par camions benne de 3 T, de l'igname fraîchement récoltée (1 à 3 jours après la récolte) ;
- traitement fongicide par trempage dans un bac de 450 l d'eau contenant 4 l de TBZ ;
- pesée précise de l'igname avant et après trempage ;
- mise en chambre sur des étagères espacées de 80 cm ;
- tous les deux mois, élimination des ignames pourries ou germées, après pesée ;
- conservation, comme témoin, d'une tonne d'ignames non traitée au TBZ à la température ambiante, et d'une tonne d'ignames sans traitement au TBZ mais soumise à la température de 15° C et à 90 % d'HR.

Les résultats

Après six mois, les ignames traitées au TBZ à 15° C ont perdu 10 % de leur poids, celles conservées à 15° C sans traitement au TBZ ont perdu 20 % de leur poids, celles conservées à température ambiante et exemptes de tout traitement ont perdu entre 40 et 50 % de leur poids. Ces résultats conduisent à l'interprétation suivante :

1. les ignames à la température ordinaire perdent 50 % de leur poids par dessiccation car, à Bouna, l'hygrométrie de l'air pendant les mois secs (février, mars, avril), est inférieure à 50 % HR. Les ignames

récoltées continuent à vivre, donc dégagent du CO₂ et absorbent de l'O₂. Elles consomment des réserves, perdent du poids, pourrissent en fin de compte.

2. Les ignames non traitées au TBZ, mais conservées à 15° C et 95 % HR, vivent au ralenti, consomment moins les réserves, se dessèchent moins, perdent donc moins de poids. C'est ce qui explique la perte de 20 % au lieu de 50 %.
3. Les ignames traitées au TBZ à 15° C et 95 %, vivent très au ralenti, consomment beaucoup moins les réserves, et ayant une couche de protection du fait du trempage dans le TBZ, et n'ayant pas subi l'attaque de champignon ou parasite, perdent seulement 10 % de leur poids. Le fongicide a donc isolé l'igname et l'a protégée contre toutes les attaques parasitaires ; c'est ce qui explique les 10 % de pertes au lieu de 20 %.

L'igname n'a subi aucune transformation physiologique ni organoleptique, suite aux différents tests de dégustation auprès des consommateurs habituels. La conservation par le froid, bien que quelque peu onéreuse¹ et peu accessible à des paysans isolés qui exploitent de façon artisanale de petites superficies peut, à l'avenir, résoudre les problèmes de conservation en frais des denrées périssables, pour peu que des efforts de regroupement en GVC (coopératives) soient entrepris et que les gouvernements se penchent davantage sur les problèmes des cultures vivrières, car le plus gros effort semble avoir été mis sur les cultures d'exportation, génératrices de devises.

La maîtrise de cette technique implique la continuation des essais, qui se poursuivent selon plusieurs directions :

- étudier la température optimale de conservation
- test de chargement maximum
- charges maximum, résistance à l'écrasement
- atmosphère contrôlée
- subérisation (Curing)
- TBZ
- sans TBZ + froid.

¹

Prix d'achat en pleine campagne : 40 F/kg + frais de stockage (25 F/kg) = 65 F/kg de prix de revient. Le prix de vente au grossiste est de 100 F/kg, alors que le prix de détail moyen en avril est de 150 F/kg.

LA CONSERVATION DES PRODUITS ALIMENTAIRES PERSPECTIVES SOLAIRES AU MALI

par Modibo Dicko

Le caractère saisonnier de la production des denrées alimentaires tirées de l'agriculture, la pêche et l'élevage rend nécessaire leur conservation pour assurer leur fourniture régulière toute l'année aux agro-industries et à la population. Cette conservation fait généralement appel aux techniques traditionnelles de séchage par exposition au soleil. L'usage de techniques modernes faisant appel à l'énergie solaire ouvrira des perspectives meilleures ; car, sans entraîner des sorties importantes de devises, ni compromettre le système écologique du pays (contrairement à l'usage des produits pétroliers et du bois), il améliorera le rendement et l'hygiène des techniques de séchage et ouvrira la porte à celles du froid inaccessible jusqu'à présent à cause de leur coût.

1. LES BESOINS

1.1. Le poisson

La pêche occupe une place très importante dans les activités économiques du pays. Elle occupe 30 à 40 000 personnes réparties le long des fleuves. La production annuelle avoisine 100 000 tonnes. Une grande partie en est séchée pour la consommation intérieure et l'exportation. Le poisson frais n'est disponible que dans un faible rayon autour des zones de pêche. Pour améliorer l'alimentation en protéine des populations, il convient de mettre au point des techniques de conservation efficaces et peu coûteuses. L'énergie solaire répond bien à ces impératifs. Les séchoirs solaires élimineront les pertes de poids dues au pourrissement et à l'insectisation estimées à près de 20 %. Les chambres froides alimentées par le soleil en énergie permettront une meilleure distribution du poisson frais dans toute la république.

MODIBO DICKO, ingénieur énergétique, Laboratoire de l'énergie solaire,
Bamako

1.2. Le lait

Avant la décimation due à la sécheresse des années 1970-1973, le bétail malien arrivait en deuxième position en Afrique. Actuellement il est en cours de reconstitution et la production de lait est très importante. Elle dépasse les capacités de consommation des éleveurs et des populations avoisinantes, et le surplus est très souvent jeté au fleuve. Pendant ce temps le pays procède à des importations coûteuses de produits laitiers dont les prix élevés les mettent hors de menu des masses paysannes. Les populations vivant hors des zones d'élevage sont ainsi privées de lait. Il apparaît donc nécessaire de mettre sur pied des industries de produits laitiers conservables. Mais pour cela il faut doter les éleveurs de moyens permettant la conservation du lait frais durant son transport jusqu'à l'usine. Ceci pourrait être fait par la vulgarisation de petits réfrigérateurs actionnés par des photopiles et facilement transportables (sur charrettes par exemple).

1.3. Les fruits et légumes

Ces produits mûrissent en des périodes bien précises et relativement courtes de l'année. Durant ces moments ils foisonnent et dépassent les capacités de consommation, d'exportation et d'usinage du pays. Et l'on assiste au spectacle désolant et polluant de leur pourrissement sur les places de marché. Quelques semaines plus tard ils disparaissent entièrement. Le séchage traditionnel conserve quelques légumes (les oignons par exemple). Pour les autres, il n'existe aucune forme de conservation. Ici l'énergie solaire pourrait, par le biais du séchage et de la réfrigération résoudre ce problème et permettre ainsi une alimentation régulière des populations et surtout des usines de conserves qui restent fermées pendant de longs mois. Les mangues, les tomates, les citrons, les goyaves, les oignons, le gombo, etc. sont ici concernés.

1.4. Les céréales

Deux types de stockage existent : à court terme (en attendant la prochaine récolte) et à long terme (pour prévenir les famines en cas de sécheresse). Pour le premier cas les techniques traditionnelles arrivent à suffire sans trop de pertes. Mais pour le stockage à long terme elle sont inefficaces, car les pertes peuvent atteindre 100 %, comme cela est arrivé à l'Office des produits agricoles du Mali en 1976. Le problème ici est gigantesque et nécessite un programme gouvernemental spécial qui pourrait s'articuler autour des points suivants :

- a) enquête pour évaluer les besoins de stockage ;
- b) recherche de systèmes adéquats de séchage avant et après battage ;
- c) mise au point de silos adaptés pour les différents besoins ;
- d) recherche de moyens adéquats de conservation chimique ou bio-chimique.

L'énergie solaire pourrait intervenir ici pour le séchage et aussi la ventilation (ou même la climatisation) des silos.

1.5. Autres produits

La viande, les pommes de terre, les ignames, les patates douces, le tabac, etc, posent également des problèmes de conservation, mais à une échelle plus réduite.

2. EXPERIENCES ET ROLES DU L.E.S. ET DU C.P.S. DANS LA CONSERVATION DES DENREES ALIMENTAIRES

2.1. Le Laboratoire de l'énergie solaire (L.E.S.)

Conscient des problèmes évoqués ci-dessus, le L.E.S. a mis au point un petit séchoir solaire expérimental comprenant une cabine de séchage calorifugée de 120 litres environ, un capteur plan de 1,28 m² de surface pour la production d'air chaud et une cheminée de 2 m placée sur la cabine pour créer l'appel d'air. Vu le manque d'équipement, les essais de séchage du poisson, de la mangue, de la viande, qui ont eu lieu, n'avaient pas un but scientifique. Il s'agissait plutôt de sensibiliser les autorités afin d'obtenir un financement plus adéquat.

Actuellement les problèmes d'équipement scientifique et technique sont en passe d'être résolus grâce à l'aide de l'ONUDI et de l'US-AID, et des travaux plus conséquents seront bientôt entrepris pour la mise au point de prototypes de séchoirs à fruits et céréales (financés par l'US-AID). D'autre part une requête est introduite auprès du CRDI pour le financement d'un séchoir à poisson destiné à l'opération-pêche de Mopti. La doctrine du L.E.S. n'est pas d'étudier les processus mêmes du séchage, mais de partir des résultats des études de ce genre menées par des institutions spécialisées pour mettre au point des séchoirs solaires pouvant fournir les paramètres requis.

2.2. Le Centre pédagogique supérieur (C.P.S.)

Rattaché à l'Ecole normale supérieure de Bamako, le C.P.S. a pour rôle de former des enseignants pour cette dernière. C'est dans ce but que plusieurs thèses de Doctorat de troisième cycle y sont soutenues. Certaines ont trait à l'énergie solaire. Un prototype de réfrigérateur solaire à absorption y a été mis au point pour la conservation des produits périssables. Il reste beaucoup de problèmes techniques à résoudre avant qu'il ne devienne réellement efficace et fonctionnel ; mais c'est déjà un pas vers la conservation par le froid des denrées alimentaires

si indispensables dans notre pays. Le C.P.S., dont les travaux sont souvent ralentis par manque de moyens financiers, devrait pouvoir bénéficier de plus d'attention de la part de l'AUPELF.

CONCLUSION

La conservation des denrées alimentaires constitue un sujet de préoccupation pour les divers centres de recherche au Mali. Cependant, il serait souhaitable que le gouvernement élabore un vaste programme couvrant tous les aspects que soulève cette conservation et coordonnant dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire l'activité de diverses institutions telles que la recherche agronomique, le Centre national de recherches fruitières (CNRF), l'Institut d'économie rurale (IER), les opérations de développement rural, etc. Pour l'élaboration et l'exécution d'un tel programme, le Mali aura certainement besoin de l'expérience des autres pays d'Afrique et d'outre-mer. C'est pourquoi ce colloque revêt une importance particulière pour nous.

RECOMMANDATIONS DU COLLOQUE

L'ensemble des travaux du colloque : les rapports introductifs, les communications et les tables rondes thématiques ont permis de dresser une série de recommandations.

1. Les débats ont montré qu'aucun pays ne dispose d'un inventaire complet des méthodes traditionnelles de conservation des denrées alimentaires après récolte existant en Afrique.

Aussi, est-il suggéré à tous les pays concernés d'entreprendre dans le cadre de leurs programmes de recherche, l'inventaire systématique des méthodes traditionnelles de conservation des tubercules, des céréales et des légumineuses en vue d'une rationalisation après étude scientifique et d'une vulgarisation plus grande de ces méthodes. L'effort entrepris dans ce sens par certaines structures de recherche, doit être encouragé. Il en est de même de l'évaluation des pertes subies par les légumineuses en cours de conservation et de l'évaluation systématique des moyens de détoxification traditionnelle des denrées d'origine végétale.

2. En matière de recherche nutritionnelle, il est reconnu l'existence de toxines et de principes toxiques chez certaines denrées (manioc, graines de coton). Il est de tout intérêt que dans les pays africains producteurs et consommateurs de ces denrées, des recherches soient entreprises en vue de déterminer, s'il y a lieu, les seuils de toxicité de ces produits. Dans cette perspective, des études scientifiques et socio-économiques devraient précéder les transformations de tubercules d'ignames en farine par exemple, afin de vérifier la valeur nutritionnelle après les opérations de broyage et en tirer les conséquences pour le conditionnement.

3. Le manque ou l'insuffisance de cadres compétents, chercheurs, techniciens, agents de terrain est un handicap sérieux pour la mise en oeuvre des programmes de recherche dans les laboratoires, et sur le terrain. Les universités, écoles et instituts pourraient insérer dans leurs programmes de formation et dans les mémoires de thèse ou d'ingénieur, l'étude de l'amélioration des méthodes de conservation traditionnelle.

4. Il est souhaitable de renforcer la coopération universitaire par des échanges d'expérience et un appui scientifique qui pourraient se faire, par exemple, dans le cadre de conventions ou accords interuniversitaires ad hoc :

- d'une part, entre les groupes de recherche universitaire ou non, en Afrique même ;

- d'autre part, avec des institutions ou laboratoires étrangers ayant une possibilité réelle d'intervention en matière de conservation des denrées alimentaires en pays chauds et humides.

5. Dans le cas de cultures à grande échelle et dans les milieux non ruraux, l'utilisation des pesticides classiques s'avère nécessaire car plus efficace.

Par contre, au niveau de la ferme et du village, l'utilisation des techniques et produits locaux mieux acceptés et présentant moins de risques pour la santé des populations est vivement souhaitée et conseillée.

Les participants du colloque estiment que des améliorations importantes pourraient être obtenues au niveau de la conservation en favorisant une meilleure utilisation des pesticides contre les déprédateurs des denrées entreposées. Cette utilisation doit s'accompagner d'un effort important de recherches dans le domaine des substances naturelles et autochtones ayant une action préservatrice ou protectrice.

6. Les participants du colloque recommandent que les projets régionaux sur l'écologie et la biologie soient encouragés (programmes de recherches sur les *Bruchidés* au Niger et en Haute-Volta, Sénégal et au Togo ...).

7. Les moyens financiers des universités, des centres et organismes de recherche sont souvent trop limités pour que la part qui revient aux recherches sur la conservation des denrées alimentaires après récolte soit significative. L'AUPELF, appuyée par un comité scientifique interafricain, pourrait sensibiliser par les voies qui sont les siennes, certaines sources de financement vers lesquelles sont dirigées des demandes émanant des universités, en vue de soutenir des programmes de recherches locaux, qui seraient particulièrement adaptés aux problèmes du développement dans le domaine agro-alimentaire.

8. L'AUPELF, qui sert de trait d'union actuellement entre les universitaires, au sens large du terme, pour les échanges d'information, pourrait, dans le domaine de la technologie, étendre son action au milieu socioprofessionnel.

Elle pourrait envisager, avec des moyens à rechercher et l'appui d'un comité scientifique interafricain, l'organisation d'un colloque à thème plus spécifique pour être mieux suivi et plus bénéfique. Il est ainsi souhaité pour le début de 1981, l'organisation d'un colloque qui pourrait se tenir à Abidjan et dont le thème serait :

La récolte, la conservation, la transformation des tubercules.

Par la suite, il pourrait être envisagé éventuellement à Dakar,

un second colloque ayant pour thème :

La production, la préservation et la conservation des légumineuses.

9. Devant l'insuffisance des échanges d'expérience et le manque d'information, les participants du colloque recommandent fortement la création, dans le cadre du service de Culture technologique de l'AUPELF, d'un comité scientifique de concertation et d'échanges d'expériences entre chercheurs de pays qui abritent un programme de recherche relatif à la conservation des denrées alimentaires (tubercules, céréales, légumineuses, plantin). Ce comité serait chargé de :

- faire le point sur les différents travaux entrepris dans les pays africains ;
- proposer à l'AUPELF l'organisation de colloques dont il définirait le thème ;
- diffuser, avec l'aide du Secrétariat du Bureau africain de l'AUPELF, dans un bulletin de liaison, les résultats et les perspectives des recherches entreprises dans le cadre des programmes nationaux ;
- de suivre avec les autres groupes de travail africains les problèmes relatifs à la conservation des denrées alimentaires (pour les ignames par exemple).

Les participants du colloque choisissent six participants dont les noms suivent pour travailler en liaison avec le Bureau africain de l'AUPELF à Dakar afin d'assurer le suivi du colloque :

MM. Alzouma Inezdane - *Université de Niamey, Niger.*
 Foua-Bi Kouahou - *E.N.S.A. Abidjan, Côte d'Ivoire.*
 Kabre Tibo Siméon - *Université de Ouagadougou, Haute-Volta.*
 Ly Mohamadou - *I.S.R.A. - C.N.R.A. Bambey, Sénégal.*
 Mbon Ruben - *Office céréalier de Garoua, Cameroun.*
 Nkouka Nazaire - *Centre ORSTOM Brazzaville, Congo.*

Ils proposent de leur adjoindre :

- un expert de notoriété internationale ;
- un coordinateur du service de Culture technologique de l'AUPELF.

Une première réunion de ces responsables pourrait avoir lieu dans le premier semestre de 1980 à Dakar.

LISTE DES PARTICIPANTS

BELGIQUE

M. VOKAER, Didier
Institut de mécanique appliquée
Université libre de Bruxelles

BENIN

M. DANHOUNSI TOSSOU, Emmanuel
Ingénieur agronome
DGA - Ministère du Développement rural
Porto-Novo

BURUNDI

M. MERTENS, Alain
Ingénieur agronome socio-économiste
Institut des sciences agronomiques du Burundi
(ISABU)

CAMEROUN

M. ABONG, Jean Bernard
Ingénieur agronome
Directeur de la Mission du développement des cultures vivrières
(MIDEVIV)

M. AWOUDOU AMOUGOU, René
Ingénieur agronome
Institut africain pour le développement économique et social
(INADES)

M. BILONG AKOO
Ingénieur agronome
Chef de la mission de production
(MIDEVIV)

Mlle BELL, Alice
Chercheur
(ONAREST)

M. CHEVALLIER, Rosa
Vacataire de physiologie végétale
(ENSA), Nkolbisson

M. CORNU, André
Chargé de recherche
ORSTOM - ONAREST

M. ELANG, J.
Ingénieur agronome
Coordonnateur du projet semencier de la Province du Nord
(MIDEVIV)

M. FAVIER, J.C.
Directeur de recherche
ORSTOM - ONAREST

M. FONGANG, Emmanuel
Entomologiste
Station IRAF, Dschang

Mme KOMBOU, Marie
Chercheur
ONAREST

M. LEUMASSI, Pierre
Ingénieur agronome
Chef de service de la production
(MIDEVIV)

M. MBA MEZOUÏ, Christophe
Chercheur
ONAREST

Mlle MESSOMO, Marie-Thérèse
Chercheur
ONAREST

M. NGUEKENG, Joseph
Ingénieur agronome
Ministère du Plan, Yaoundé

M. NJOPKOU, Emmanuel
(MIDEVIV), Yaoundé

Mme Nwigwe, Stella
Docteur en médecine
CUSS, Yaoundé

M. OYONO OWONO, Joseph
Direction de l'Agriculture
Ministère de l'Agriculture, Yaoundé

M. PFEIFFER, Hermann
Agronome
IRAF

M. TCHIENDJI, Clément
Chargé de cours
ENSA
Centre universitaire de Dschang

M. TRECHE, Serge
Chargé de recherche
ORSTOM - ONAREST

CANADA

M. DILLON, Jean Claude
Centre de recherche en nutrition
Université Laval, Québec

CENTRAFRIQUE

M. COTTEREAU
Directeur-adjoint
Institut agronomique de M'Baïki

CONGO

M. MAKOUNZI, Jean Alfred
Docteur, maître-assistant
Institut de développement rural, Brazzaville

M. NKOUKA, Nazaire
Docteur, ingénieur en parasitologie agricole
Directeur des affaires scientifiques et techniques

COTE D'IVOIRE

M. FOFANA, Ladj
BETPA (ex SODERIZ)

M. FOUA-BI, Kouahou
Maître-assistant
ENSA, Abidjan

M. OUATTARA, Sindou
Ingénieur agronome
Direction des unités de conditionnement
(PAC), Abidjan

M. YAO KOUASSI, Martin
SODEFEL, Abidjan

FRANCE

M. ANSEL, Jean François
Commissariat à l'Energie solaire (COMES)
Paris

M. DEUSE, Jacques
IRAT - GERDAT, Montpellier

M. FOURNIER, Michel
Université de Perpignan

M. GRIFFON, Dany
GERDAT, Paris

M. LAUDE, Guy
Laboratoire Merck-Sharp et Dhome

M. LEVY, Marc
GRET, Paris

M. LOZANO, Yves
GERDAT, Montpellier

M. LUCA (de), Yvon
ENSA, Montpellier

M. MEUNIER, Jean
Ingénieur agronome
Bureau pour le développement et la production
agricole (BDPA), Paris

GABON

M. POSSO, Paul
Université Omar Bongo

HAUTE VOLTA

M. KABRE TIBO, Siméon
Maître de conférences
Institut supérieur polytechnique
Université de Ouagadougou

M. OUEDRAOGO, Albert
Assistant, Biologie animale (entomologie)
Institut supérieur polytechnique
Université de Ouagadougou

M. YEYE, Daouda
Ingénieur de l'équipement rural
Ministère du développement rural

MALI

M. DICKO, Modibo
Laboratoire d'énergie solaire, Bamako

NIGER

M. ALZOUMA, Inezdane
Maître-assistant de biologie
Ecole des sciences
Université de Niamey

RWANDA

M. LISHIRABAKE, Augustin
Chef de service administratif et financier
Office national pour le développement et la communication
des produits vivriers et des productions animales
(OPROVIA), Kigali

M. MANIRAHU, Sylvère
Co-directeur du GREARNARNA, Kigali

SENEGAL

M. DIOP, Alioune
Ingénieur de recherche
Centre national de recherches agronomiques (CNRA)
ISRA, Bambey

M. LY, Mohamadou
Ingénieur de recherche, phytopharmacien
ISRA - CNRA, Bambey

M. MADON, Gérard
Institut de physique météorologique
Université de Dakar

TOGO

M. LAWSON, Assion
Docteur, ingénieur agronome
Ecole supérieure d'agronomie
Université du Bénin, Lomé

OBSERVATEURS

M. CHINKUMO, Douat
Secrétaire permanent-adjoint des Comités nationaux
de la F.A.O. et de la Campagne mondiale contre la faim
Yaoundé

M. OUATTARA, Soma
Entomologiste
F.A.O., Bamenda

M. et Mme TOET
Ingénieurs agronomes
F.A.O., Bamenda

COMITE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL

Mme BASSE
Directeur
Institut de technologie alimentaire, Dakar

M. BOURAOUI, Ahmed
Directeur
Institut de recherche scientifique et technique
Université de Tunis

M. DEUSE, Jacques

Groupe d'études et de recherches pour le développement
de l'agronomie tropicale (GERDAT)
Institut de recherches en agronomie tropicale
(IRAT), Montpellier
Groupe d'assistance aux systèmes concernant les grains
après récolte (GASGA)

M. DILLON, Jean Claude

Centre de recherche en nutrition
Université Laval, Québec

M. DURAND, Henri

Haut-Commissaire à l'Energie solaire, Paris

M. EBEN MOUSSI, Emmanuel

Directeur du CUSS
Université de Yaoundé

M. GUILLOU, Michel

Président de l'Université Paris Val-de-Marne

M. JAUMOTTE, André

Président de l'Université libre de Bruxelles

M. MARTIN, Yves

Recteur de l'Université de Sherbrooke, Québec

M. MARTY, Claude

Directeur de l'Ecole nationale supérieure polytechnique
Université de Yaoundé

M. NGUYEN MINH TUONG

Responsable de la coopération scientifique pour le
développement à l'Agence de coopération culturelle
et technique (ACCT), Paris

M. RENOUX, Jacques

Directeur du service culture technologique de l'AUPELF

COMITE SCIENTIFIQUE NATIONAL

Coordonnateurs

M. le Professeur EBEN MOUSSI, Emmanuel

Directeur du Centre universitaire des sciences de la santé
(CUSS), Yaoundé

M. le professeur MARTY, Claude

Directeur de l'Ecole nationale supérieure polytechnique
(ENSP), Yaoundé

Membres

M. MBON, Ruben

Directeur de l'Office céréalier de Garoua
Ministère de l'Economie et du Plan, Yaoundé

M. ABONG

Directeur de la Mission de développement des
cultures vivrières (MIDEVIV)
Ministère de l'Agriculture, Yaoundé

M. MAYI, Martial

Directeur de l'Agriculture
Ministère de l'Agriculture, Yaoundé

M. NYA NGATCHOU, Jean

Directeur de l'Institut de recherches agronomiques
et forestières (IRAF), Buéa
ONAREST, Yaoundé

M. le professeur MONEKOSSO

Centre universitaire des sciences de la santé
Université de Yaoundé

M. MINKA, Charles

Chargé de cours
Ecole nationale supérieure polytechnique, Yaoundé

M. le professeur VALET

Faculté des sciences
Université de Yaoundé

M. FOKO, Jacob

Directeur-adjoint de l'Ecole nationale supérieure
d'agriculture, Centre universitaire de Dschang

M. DINGOM, Richard

Directeur-adjoint de l'Ecole nationale supérieure
polytechnique (ENSP), Yaoundé

COMITES D'ORGANISATION

AUPELF

M. BARNATHAN, Gilles
Chargé de mission

Mlle DEMAY, Marie Christine
Documentaliste

Mme NDOYE, Victorine
Secrétaire de direction

M. RENOUX, Jacques
Directeur du service Culture technologique

M. ROCHEGUDE, Alain
Chargé de mission

CUSS — Université de Yaoundé

M. EBEN MOUSSI, Emmanuel
Directeur

ENSP — Yaoundé

M. MARTY, Claude
Directeur

M. DINGOM, Richard
Directeur-adjoint

M. MINKA, Charles
Chargé de cours

M. BASOP, David
Secrétaire général

M. ABINAMBA, Lambert
Intendant

Mlle NGANG, Franciska
Secrétaire de direction

Mlle AWONA, Thècle
Secrétaire

M. ZAMBO AMOUGOU, Joseph
Ronéotypiste

**Association des universités
partiellement ou entièrement de langue française**

Montréal, B.P. 6128, Université de Montréal, Québec, Canada H3C 3J7
Téléphone 343 6630 — Télex : 055 609 55
Adresse télégraphique : AUPELF Montréal

Paris, 173, bd Saint-Germain, 75272 Paris Cedex 06, France
Téléphone 222 96 38 — Télex 203 543

Dakar, B.P. 10017 Liberté, Dakar, Sénégal
Téléphone 21-29-27 — Télex : 906 267