



IDRC-TS1f

Transformation et utilisation des légumineuses alimentaires

Application particulière
aux pays en
développement

Alvin Siegel

Brian Fawcett

©Centre de recherches pour le développement international, 1978
Adresse postale: B.P. 8500, Ottawa, Canada K1G 3H9
Siège: 60, rue Queen, Ottawa

Siegel, A.
Fawcett, B.
CRDI

IDRC-TS1f

Transformation et utilisation des légumineuses alimentaires (application particulière aux pays en développement). Ottawa, CRDI, 1978. 63p.

/ Publication CRDI / . Monographie sur l'utilisation et le / traitement des aliments / d'origine / légumineuse / , particulièrement aux / pays en voie de développement / — discute les / tendance / s de / production alimentaire / des légumineuses, la transformation domestique (la / préparation des aliments /) et commerciale (la / meunerie /), la nouvelle / technologie alimentaire / et l'utilisation des / sous produit / s des légumineuses. / Données statistiques / , / bibliographie / .

CDU: 663.3

ISBN: 0-88936-123-1

Edition sur microfiche: \$1

Transformation et utilisation des légumineuses alimentaires

(Application particulière aux pays en développement)

Alvin Siegel

et

Brian Fawcett

*Centre de recherches pour le développement international.
Division des sciences de l'agriculture, de l'alimentation et de la
nutrition.*

Table des matières

Introduction	5
Transformation et utilisation traditionnelles des légumineuses	11
Terminologie de la transformation des légumineuses	11
Transformation domestique	11
Décortilage	12
Trempage	12
Pilage et broyage	13
Rôtissage, grillage et étuvage	13
Mouture	13
Préparation des légumineuses pour la consommation	14
Cuisson à l'eau	14
Rôtissage et étuvage	15
Friture	15
Gonflement	15
Cuisson à la vapeur	16
Germination	16
Fermentation	17
Agglomération	18
Transformation commerciale	18
Décortilage	19
Mouture	19
Préparation des légumineuses pour la consommation	21
Mise en conserve	21
Nouvelles techniques améliorées pour la transformation des légumineuses	23
Légumes secs moulus	23
Légumineuses décortiquées	25
Légumineuses à cuisson rapide	27
Poudres de légumineuses	29
Concentrés protéiques de légumineuses	31
Agglomération	31
Fractionnement pneumatique	32
Centrifugation des purées	33
Précipitation	34
Utilisation des sous-produits du conditionnement des légumineuses	38

Résumé et conclusion	40
Recherches futures nécessaires	40
Tableaux	43
Bibliographie	60

Introduction

Les légumineuses* et les céréales alimentaires constituent avec les noix les principales sources de calories et de protéines pour la plupart des peuples d'Afrique, d'Asie, d'Amérique latine et du Proche-Orient (tableaux 1 et 2), et il y a tout lieu de croire que l'importance des céréales et des légumineuses dans l'alimentation, notamment celle des plus pauvres, ne fera qu'augmenter d'ici la fin du siècle et même au-delà. La production mondiale de céréales croissant à un rythme beaucoup plus rapide que celle des légumineuses, il importe d'accroître cette dernière (tableau 3). Le fait que ce sont les pays industrialisés qui ont connu les augmentations les plus marquées ne fait que confirmer la tendance (tableau 4).

Les protéines des céréales accusent presque toutes une carence en lysine, qui est un acide aminé essentiel. Il est donc possible d'accroître la valeur nutritive des grains par l'addition de lysine synthétique, ou d'un aliment riche en lysine. Le tableau 5 donne une liste des sources de protéines qui, en plus des légumineuses énumérées aux tableaux 6 à 8, ont été testées ou proposées comme suppléments destinés à améliorer la valeur nutritive des protéines des céréales.

Complémentarité alimentaire des céréales et des légumineuses

Contrairement aux céréales, les légumineuses sont relativement riches en lysine. Aussi, une combinaison de céréales et de légumineuses constituerait-elle une source presque idéale de protéines dans l'alimentation humaine. La proportion relativement faible de méthionine et de cystine contenue dans les légumineuses est compensée, en grande partie, par les proportions plus fortes de ces acides aminés dans la plupart des céréales. Les tableaux 9 et 10 donnent la teneur en acides aminés du blé, des pois chiches (*Cicer arietinum*) et du riz,

comparativement à la "protéine parfaite" recommandée par l'OMS. On peut voir, au tableau 9, que la teneur en lysine recommandée par l'OMS est de 340 mg/g d'azote. Une protéine de blé ordinaire ne fournit, par exemple, que 179 mg de lysine par gramme d'azote tandis que celle des pois chiches en renferme 428 grammes. Une solution presque parfaite consisterait à mélanger du blé avec des pois chiches dans des proportions respectives de 67 et de 33 %. Les colonnes 3 et 4 du tableau 9 nous montrent la teneur en acides aminés qui résulterait de ce mélange et la proportion d'acides aminés correspondante par rapport au niveau recommandé par l'OMS. On y voit que le blé additionné de pois chiches fournit plus de 85 % de tous les acides aminés nécessaires. On voit également au tableau 10 que si l'on combine des pois chiches et du riz dans une proportion de 1 à 3, l'équilibre des acides aminés est presque parfait, à l'exception de la méthionine et de la cystine.

La complémentarité alimentaire des céréales et des légumineuses est de la plus haute importance pour les peuples des pays en voie de développement. On peut voir au tableau 2 que le Nord-Américain consomme près de 100 grammes de protéines par jour tandis que dans les pays en développement, la consommation moyenne quotidienne est de 45 à 65 grammes. Il faut souligner le fait que ces statistiques, comme toutes les autres données, sont des moyennes établies pour l'ensemble des populations en cause, et que les individus les plus pauvres consomment probablement beaucoup moins que ne l'indiquent les moyennes nationales ou régionales. On serait porté à croire, d'après le tableau 11, qu'en 1970, il y avait des protéines en suffisance mais carence de calories par rapport aux besoins exprimés en pourcentages, dans la plupart des pays en voie de développement. Encore une fois cependant, il ne faut pas oublier que ces moyennes ne tiennent pas compte de l'inégalité de la répartition.

Pour une complémentarité alimentaire optimale, il faudrait consommer approximativement 65 % de céréales et 35 % de légumineuses.

* Sauf indication contraire, le terme *légumineuses*, dans le présent ouvrage, désigne toujours les légumineuses alimentaires.

Dans le Sud-Est asiatique, la proportion est de près de 90 % de céréales contre 10 % de légumineuses. A ce propos, les éléments ne manquent pas pour affirmer que depuis 20 ans la production par habitant et par année des légumineuses comestibles diminue sensiblement dans le Sud et le Sud-Est de l'Asie: ainsi celle des pois chiches est passée de 6 à 3 kg, celle du soja (*Glycine max*), de 1,2 à 0,9 kg, celle des lentilles (*Lens esculenta*) de 0,6 à 0,4 kg.

De 1952 à 1972 (tableau 4), la population mondiale a augmenté de 40 %, la production totale de denrées alimentaires de toutes sortes, de 61 %, et celle des légumineuses, de 49 %. Dans les pays en voie de développement pris dans leur ensemble, la population a augmenté de 53 %, la production totale de denrées alimentaires, de 62 % mais celle des légumineuses de 40 % seulement. En Asie et en Extrême-Orient, la population a augmenté de 51 %, la production totale de denrées alimentaires, de 65 %, mais celle des légumineuses, de 21 % seulement. Se reporter, à cet égard, à l'étude de Hulse et alii publiée récemment (1975) sur la production et le commerce mondiaux des légumineuses.

Nous entendons par légumineuses, les graines comestibles d'un groupe d'Angiospermes appartenant à l'ordre des Léguminosales dans l'embranchement des phanérogames (plantes à fleurs). Cet ordre, qui rassemble près de 700 genres et 18 000 espèces, se compose de trois familles dont la plus importante est celle des Papilionacées, que l'on retrouve dans les régions aussi bien tropicales que tempérées. Ce groupe comprend des herbes et des arbustes dont les fleurs, semblables à des pois, donnent des gousses ou cosques qui renferment une ou plusieurs graines. La cosse est l'enveloppe du fruit et correspond au péricarpe des graines de céréales. Elle peut être ronde ou aplatie, épaisse ou mince, ligneuse ou charnue, ou encore droite ou en spirale. Il existe, en outre, une grande diversité dans la taille des graines, ainsi que dans la forme, la densité et la couleur de leur enveloppe (Purseglove 1968).

Comme la graine est fixée à l'enveloppe du fruit (cosse) en un point seulement, il est facile de l'en détacher. Elle se compose principalement de l'enveloppe et du cotylédon, ce dernier comptant pour environ 85 %. Les légumineuses sont des dicotylédones, parce que leur graine renferme deux cotylédons qui se séparent facilement l'un de l'autre. C'est dans les cotylédons que se trouvent les éléments qui nourrissent la plantule au moment de la germination. Les légumineuses ne contiennent

pas d'endosperme et les cotylédons eux-mêmes sont une paire de feuilles spécialisées. L'enveloppe de la graine adhère fermement aux cotylédons ou les recouvre sans les comprimer. Dans le premier cas, on parle plutôt de peau, au lieu de coque, comme dans le cas d'une enveloppe qui n'adhère pas à la graine.

Les nombreuses variétés de Papilionacées se prêtent à différents usages. Les légumineuses consommées par l'homme sont ordinairement appelées légumineuses alimentaires ou légumineuses à graines. Elles peuvent à leur tour se diviser en deux groupes, les légumes secs et les oléagineux. Les premiers sont les graines comestibles séchées des légumineuses cultivées et servent depuis toujours à l'alimentation humaine. Ainsi, la valeur nutritive de ces aliments était déjà reconnue aux temps bibliques, comme en fait foi le livre de Daniel (Daniel I, versets 12 à 16, Bible de Jérusalem, Editions du Cerf, 1955):

"Je t'en prie, mets tes serviteurs à l'épreuve pendant dix jours: qu'on nous donne des légumes à manger et de l'eau à boire. Tu verras notre mine et la mine des enfants qui mangent des mets du roi et tu feras de tes serviteurs selon ce que tu auras vu. Il consentit à ce qu'ils lui demandaient et les mit à l'épreuve pendant dix jours. Au bout de dix jours, ils avaient belle mine et bonne santé plus que tous les enfants qui mangeaient des mets du roi. Dès lors, le gardien supprima leurs mets et la portion qu'ils avaient à boire et leur donna des légumes."

Le second groupe, les oléagineux, comprend les légumineuses utilisées principalement pour leur teneur en huile, qui peut être extraite par pression ou à l'aide de solvants, le résidu formant un tourteau oléagineux riche en protéines. Une autre catégorie de légumineuses est celle des légumineuses à feuilles ou fourragères, lesquelles sont utilisées comme fourrage, engrais vert et cultures de couverture.

La culture des légumineuses remonte à l'époque néolithique. Dans les grottes au Mexique, on a retrouvé des haricots jaunes datant de 4 000 ans avant notre ère. Des pois de la même époque ont été découverts dans un village néolithique en Suisse, dans des tombeaux égyptiens pré-pharaoniques et dans les ruines de Troie. Des vestiges archéologiques sembleraient indiquer que l'on cultivait les pois chiches sur les rives de la Méditerranée orientale et en Mésopotamie, il y a au moins 5 000 ans. La culture du pois d'Angola était répandue dans le Sud-Est de l'Asie (FAO 1969), et celle du niébé semble avoir pris naissance en Afrique occidentale (FAO 1969). Les lentilles faisaient partie de

l'alimentation normale des anciens Grecs, Juifs, Egyptiens et Romains. La fève des marais est également cultivée depuis des millénaires dans diverses régions du monde.

L'utilisation des légumes dans l'alimentation remonte donc aux temps bibliques, ainsi qu'en témoigne le livre d'Ezéchiel (Ezéchiel IV, verset 9):

“Prends donc du froment, de l'orge, des fèves, des lentilles, du millet, de l'épeautre: mets-les dans un même vase et fais-t-en du pain ...”

Au temps des Romains, on ajoutait de la farine d'orge et de haricots à la farine du blé de qualité inférieure pour en faire du pain (Hulse, 1974). Lorsque les Romains mangeaient de l'orge, celle-ci était généralement mélangée avec des lentilles, des fèves et d'autres légumes. Au cours des âges, on a ajouté de la farine de légumes à la farine de céréale pour accroître la valeur nutritive du blé. En Angleterre, au Moyen Age, le pain était fait de farine de fèves et de pois ajoutée à celle de diverses céréales.

A une époque plus rapprochée, les graines des légumineuses formaient une partie importante de la nourriture des peuples pasteurs. Les premiers Européens venus s'établir en Amérique du Nord ont incorporé à leur nourriture ordinaire les fèves qui poussaient à l'état sauvage sur ce continent. A cette même époque, en Angleterre, les haricots rouges étaient considérés comme un luxe que seuls les gens très riches pouvaient s'offrir. L'Inde est l'un des principaux consommateurs de légumes secs, appelés là-bas *“grams”*. On y consomme des pois chiches (pois du Bengale), des pois d'Angola (pois rouges) et des mungos ou haricots velus, surtout sous la forme de *dhal*, une préparation où les enveloppes des graines sont enlevées avant la cuisson.

Malheureusement, dans presque tous les milieux, on considère les légumes secs comme le *“bifteck du pauvre”*, et ce préjugé demeure encore très marqué à l'égard de cette précieuse source de protéines. Les auteurs du présent ouvrage sont persuadés que l'image que l'on se fait des légumineuses ordinaires pourrait être considérablement rehaussée par des techniques de conditionnement qui feraient appel à l'imagination tout en étant relativement peu coûteuses, car il y a un lien direct entre l'accroissement de la production de légumineuses et les méthodes et systèmes de conditionnement, qu'ils soient traditionnels, améliorés ou nouveaux. Aussi une étude de la transformation des légumineuses, tant dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de dévelop-

pement, permet-elle de faire ressortir les applications possibles dans l'économie rurale de ces derniers, où l'élaboration et l'adoption de techniques appropriées pourraient servir de base à la création de petites entreprises industrielles.

Production des légumineuses

Comme nous l'avons déjà mentionné, la production mondiale de céréales augmente beaucoup plus rapidement que celle des légumineuses; par conséquent, la nécessité d'accroître la production de ces dernières dans le monde, particulièrement dans le Sud et le Sud-Est de l'Asie, doit être considérée comme primordiale. Les récoltes du groupe des légumineuses ont diminué en importance, leur part dans la production totale de l'agriculture mondiale étant tombée de 2,3 à 1,9 %.

Dans les pays développés, la production de légumineuses a considérablement augmenté entre 1948-1952 et 1968-1972, la production totale ayant connu une hausse de 87 %, donc bien supérieure à celle de la population, qui n'a été que de 22 % pour cette même période. La production par tête de plusieurs variétés de légumineuses, telles que les haricots secs, les fèves des marais, les pois chiches, les lentilles et autres, a accusé une diminution, mais celle des pois secs, des vesces et des lupins a augmenté suffisamment vite pour contrebalancer cette tendance et provoquer une croissance générale de la production par tête des légumineuses dans les pays développés.

En général, la production mondiale des légumineuses n'a toutefois que légèrement dépassé la croissance de la population entre 1952 et 1972, les augmentations de la production étant inférieures à celles de la population dans les pays en voie de développement, mais beaucoup plus rapides que celles-ci dans les pays industrialisés. En revanche, la production de niébés et de haricots secs a progressé plus rapidement dans les pays du Tiers-Monde grâce à l'amélioration des rendements et à l'agrandissement des surfaces cultivées.

Un certain nombre de facteurs influent sur la production des légumineuses. Le premier est le *“rendement”*, terme par lequel les agronomes expriment le poids des graines comestibles produites par hectare ou toute autre unité de superficie. Les rendements des récoltes de légumineuses en général et ceux des pays tropicaux en particulier, ont augmenté très lentement durant les deux dernières décennies, par rapport à ceux des principales céréales. L'augmentation du rendement des légumineuses

a été inférieure à 20 %, excepté pour les pois secs (34 %). Par contre, le rendement du blé s'est accru de 52 %, et celui du maïs, de 61 %.

Le second facteur qui influe sur la production totale des légumineuses est la superficie des terres consacrées à cette culture. De 1948-1952 à 1968-1972, la superficie cultivée de certaines variétés de légumineuses dans le monde entier a augmenté de 172 % pour le niébé, de 50 % pour les haricots secs et de 34 % pour les pois secs. Celle des autres sortes de légumineuses est restée stable ou a diminué durant cette même période.

Production de graines oléagineuses

Si la production des légumineuses n'a que lentement augmenté de 1948-1952 à 1968-1972, celle des graines oléagineuses a fait des progrès considérables (tableau 12). La superficieensemencée en soja a augmenté de 123 % de 1948-1952 à 1968-1972, et la production a fait un bond de près de 200 %, grâce à un accroissement de 30 % du rendement. Bien que la production des autres graines oléagineuses n'ait pas augmenté aussi rapidement que celle du soja, elle a accusé des progrès considérables. Celle de l'arachide s'est accrue de 77 %, et le rendement, de 10 %. La culture de la graine de colza a, elle aussi, progressé, la superficie cultivée ayant augmenté de 80 %, et la production de 100 %, grâce à une amélioration de 25 % du rendement. Les superficiesensemencées en tournesol ayant été augmentées de près de 40 %, le rendement s'est accru de plus de 100 %, ce qui a amené une augmentation de près de 150 % de la production. La superficie des plantations de coton n'a augmenté que de 20 %, mais la production a augmenté de 114 % à la suite d'une augmentation de 100 % du rendement. Les superficies plantées en sésame ont augmenté de 20 %, mais la production totale n'a pas beaucoup augmenté ces vingt dernières années à cause d'une diminution de 6 % du rendement.

Les auteurs du présent ouvrage sont convaincus de la nécessité d'accroître la production des graines oléagineuses, particulièrement celle du coton, de l'arachide, du colza, du carthame et du sésame, qui pourraient être cultivés dans plusieurs pays en voie de développement.

A l'exception du soja et, dans une moindre mesure, de l'arachide, qui, en grande partie à cause de leur huile, occupent une place importante sur les marchés internationaux, les graines oléagineuses ont été tout aussi négligées que les légumineuses en ce qui concerne

l'investissement dans la recherche et l'exploitation. Les graines oléagineuses sont particulièrement importantes, en ce sens qu'elles nous fournissent non seulement des protéines de bonne qualité, mais aussi ces acides gras non saturés indispensables dans l'alimentation humaine.

Les légumineuses possèdent un certain nombre d'avantages agronomiques dont le plus important est la propriété de fixer l'azote. Certains micro-organismes du sol, associés avec les racines des légumineuses, transforment l'azote atmosphérique en ammoniac; cet ammoniac est alors absorbé et converti en protéines par les légumineuses. Ces dernières sont donc moins dépendantes des engrais organiques ou chimiques que les céréales et améliorent même le sol ce qui favorise d'autres cultures. On a rapporté un certain nombre de cas où, suite à la pratique d'une culture intercalaire (de légumineuses et de céréales), la production de céréales et la productivité totale par unité de terre s'étaient considérablement accrues par rapport aux chiffres constatés lorsque ces deux cultures se pratiquaient séparément.

Prix des légumineuses et des graines oléagineuses

Comme on peut le voir au tableau 13, les prix des légumineuses et des graines oléagineuses ont accusé des fluctuations sans précédent ces trois dernières années. Jusqu'au début de 1972, les prix étaient restés relativement stables depuis plusieurs années. Durant les derniers mois de 1973, les prix ont été multipliés par six. Dans le groupe des haricots secs, les haricots communs qui se vendaient autrefois \$225 à \$325 la tonne métrique, se vendaient \$900 la tonne en novembre 1973. Les haricots blancs, précédemment vendus entre \$50 et \$100 la tonne métrique, ont atteint des prix allant de \$650 à \$700 vers la fin de 1973, et les haricots rouges ont vu doubler leur prix qui est passé de \$250 à \$500 la tonne au début de 1974. Le prix des pois secs est passé de \$150 à plus de \$500 la tonne métrique. On a relevé des hausses de prix semblables pour les autres légumineuses et les oléagineux négociés sur les marchés mondiaux. Ces prix ont baissé sensiblement à la fin de 1974 et en 1975, mais ils se sont maintenus, pour la plupart, à un niveau bien supérieur à celui des prix initiaux, comme c'est le cas pour la plupart des suppléments protéiques vendus sur les marchés mondiaux actuels.

Commerce des légumineuses

Le commerce mondial des légumineuses demeure faible par rapport à celui des produits essentiels tels que les céréales. Le commerce mondial des légumes à gousse représentait en 1972, seulement 1,4 % du volume et 3,8 % de la valeur monétaire du commerce mondial des céréales. Au cours de la dernière décennie, soit de 1963 à 1972, le volume du commerce des légumineuses est demeuré relativement stable, et n'a augmenté que de 20 %, les exportations passant de 1,5 million à 1,8 million de tonnes métriques (tableau 14). Le commerce mondial des céréales a augmenté de 44 % et celui du soja de 70 % dans la seule période de 1967 à 1972.

En dépit du fait qu'ils n'ont exporté que 4 % de leur production en 1972, les pays en voie de développement ont obtenu 51 % du commerce mondial des légumineuses. Les pays industrialisés occidentaux ont fourni 35 % des exportations totales, et les pays à économie planifiée, le reste. Les pays industrialisés ont acheté 67 % des importations: l'Europe en a acheté à elle seule, 54 %, et était donc, en 1972, la principale importatrice.

De 1963 à 1972, les exportations mondiales d'oléagineux sont passées de 9,5 à 19,4 millions de tonnes métriques. Les pays les plus développés sont les principaux exportateurs d'oléagineux, surtout parce que le soja, dont le commerce mondial est dominé par les Etats-Unis, représente 71 % des exportations totales de graines oléagineuses.

On ne dispose pas de prévisions sur le commerce mondial des légumes secs, mais le tableau 15 indique la demande prévue de légumineuses et de noix jusqu'en 1980. On en prévoit une augmentation de plus de 50 % de 1965 à 1980. Dans les pays de la CEE, où la production de légumes secs a diminué avec les années, on prévoit une augmentation de la demande.

Les prévisions pour la demande d'huiles comestibles et de matières grasses, établies pour la période 1970-1980, indiquent une augmentation annuelle de 2,7 % de la demande mondiale, la consommation passant de 41 à 53 millions de tonnes métriques. On s'attend à ce que, dans les pays en voie de développement, la demande augmente au rythme sans précédent de 4 %. S'il était possible de satisfaire à la demande, les pays en voie de développement consommeraient, en 1980, un tiers des huiles et matières grasses disponibles au monde. En 1965, ces pays consommaient à peine 25 % de la production mondiale. Dans les pays industrialisés, on

prévoit que la consommation d'huiles et de matières grasses augmentera d'environ 1,6 % par an.

Chiffre de la population et volume de la demande

L'augmentation de la demande mondiale d'oléagineux se fera beaucoup sentir au niveau du commerce mondial. On s'attend à ce que le volume des oléagineux, des huiles et des matières grasses exportés passe, entre 1970 et 1980, de 4,6 à 13,9 millions de tonnes métriques, soit une augmentation annuelle de 4,1 %. L'augmentation de la demande d'oléagineux et de matières grasses est le résultat de plusieurs facteurs, dont l'accroissement de la population mondiale n'est pas le moindre. On estime qu'il y aura, en 1980, environ 850 millions de bouches de plus à nourrir qu'il n'y en avait en 1970.

La seule augmentation du nombre des humains exercera une grande influence sur les marchés mondiaux et nécessitera une production de vivres qui puisse nourrir 23 % de consommateurs de plus en 1980 qu'en 1970. L'accroissement du revenu de certains secteurs de la population du globe amènera probablement une demande accrue de légumineuses, particulièrement de la part de ceux dont le revenu, bien que plus élevé, demeure faible, et qui désirent améliorer leur alimentation par un apport accru de protéines végétales. Pour beaucoup d'autres gens, l'augmentation du revenu amènera une augmentation de la demande de protéines animales. Pour satisfaire à la demande accrue de produits carnés, les agriculteurs se verront donc non seulement obligés d'agrandir leurs troupeaux mais aussi d'améliorer et de multiplier les cultures dont se nourrissent les animaux. En effet, alors que l'on prévoit une augmentation de 36 % par tête du revenu mondial entre 1970 et 1980, cette augmentation atteindra probablement 50 % dans les pays industrialisés et jusqu'à 131 % au Japon. Or, de façon générale, lorsque le revenu personnel disponible augmente, la consommation de produits d'origine animale augmente simultanément.

Suppléments protéiques dans les aliments pour les animaux

Ce sont le développement de l'industrie des protéines animales et l'évolution du cheptel mondial qui détermineront la manière dont la production de légumineuses et de suppléments

protéiques progressera en général, puisque les aliments pour les animaux se composent principalement de grain additionné de légumineuses ou d'autres sources de protéines. La consommation mondiale de viande, à l'exclusion de celle de la volaille, a doublé de 1948-1952 à 1970. On prévoit que la demande mondiale de boeuf et de veau, de mouton et d'agneau, de viande de porc et de volaille, ainsi que de leurs produits dérivés augmentera en moyenne de 3,1 % par an de 1970 à 1980. Etant donné que la production animale pourra difficilement répondre à cette demande, on ne peut guère espérer voir l'inflation des prix des céréales et des légumineuses fléchir dans un avenir prochain. Dans les pays industrialisés, la consommation augmentera de 28 % entre 1970 et 1980, tandis que pour les pays en voie de développement l'augmentation estimative de la consommation de viande, pour ces mêmes années, est de 50 %. Dans les pays à économie planifiée, la demande de viande pourrait augmenter de 40 %. Les effets de cette croissance relativement rapide se feront bien sûr considérablement sentir au niveau du marché des suppléments protéiques. A mesure que la demande de viande augmente, on constate une augmentation proportionnellement plus grande de la demande de protéines végétales, ceci parce que le degré d'efficacité de la conversion de ces dernières en protéines animales est relativement faible. Si la demande mondiale de viande et de produits d'origine animale croît régulièrement de 3 % par an durant les années soixante-dix, la demande d'additifs alimentaires à forte teneur protéique pour les animaux pourrait bien croître de 5 à 6 % par année.

En 1971-1972, l'Europe n'a produit que 4,3 % de l'ensemble de ses approvisionnements en protéines pour l'alimentation animale. La demande de protéines de qualité supérieure s'est accentuée en même temps que la tendance à l'utilisation d'aliments mixtes. De 1960 à 1972, l'utilisation des protéines végétales a augmenté de 10,5 % par an, et les importations des pays de la C.E.E. ont fait un bond de 47 % de 1966 à 1972. L'Europe continuera donc d'importer d'énormes quantités de légumineuses et d'oléagineux durant la prochaine décennie. Au Japon, on prévoit que la consommation de viande augmentera de 7,4 % par an jusqu'en 1985, date à laquelle elle aura triplé par rapport à 1970.

Pour répondre à la demande mondiale de protéines comestibles, et étant donné le coût élevé ainsi que la quasi impossibilité de nous procurer des protéines d'origine animale, nous devons nous efforcer davantage de rendre plus disponibles et acceptables les protéines végétales comestibles contenues dans une alimentation composée de céréales et de légumineuses.

L'objet du présent rapport est donc de présenter les divers systèmes de traitement utilisés pour transformer les légumineuses comestibles. Il étudie l'application de la science de l'alimentation et des principes de la technologie à la transformation des légumineuses. Il traite également de l'utilisation des légumineuses en présentant des aliments issus de la technologie classique et d'autres nés à partir de nouvelles méthodes technologiques. Les noms scientifiques et les appellations courantes des plantes, ainsi que les principales régions où sont consommées les dix variétés étudiées dans le présent rapport, figurent au tableau 8.

Transformation et utilisation traditionnelles des légumineuses

Autrefois, la transformation des grains se faisait à domicile, par les femmes, et entrait dans la préparation normale des repas. Or, bien que ces traditions culinaires aient, dans une certaine mesure, donné naissance à de petites et à de grandes industries, leur importance et leur expansion ont été limitées. C'est pourtant en adoptant, en intégrant les méthodes domestiques à des industries de village qu'on sera le plus en mesure d'assurer aux populations des régions en voie de développement des aliments de légumineuses à haute teneur protéique. De plus, c'est en se fondant sur les nouvelles méthodes améliorées, et sur des méthodes anciennes et plus connues, que la technologie de transformation pourra progresser dans les milieux ruraux.

Ce rapport étudiera donc un certain nombre de méthodes et de techniques de transformation et d'utilisation des légumes secs. On s'intéressera principalement aux méthodes pouvant s'adapter à de petites industries dont profiteraient les régions rurales. Tel qu'indiqué plus haut, on passera en revue les méthodes de transformation aussi bien traditionnelles que non traditionnelles, dans le but de donner au lecteur un aperçu de leur pénétration dans l'économie des industries de village. Par ailleurs, l'adoption de moyens simples pour la transformation des légumineuses peut en susciter une meilleure acceptation et en faire augmenter la consommation totale.

Terminologie de la transformation des légumineuses

fractionnement pneumatique: La séparation, par ventilation, de la farine finement moulue en concentrés d'amidon et de protéines. (Les granules d'amidon, plus lourds, se séparent des particules riches en protéines, qui sont plus petites).

haricot: Légumineuse; l'appellation s'applique surtout aux légumineuses du genre *Phaseolus*.

décorticage: Enlèvement de l'enveloppe protectrice de la graine.

dhal: Légumes secs décortiqués et cassés (c'est

sous cette forme surtout que se mangent les légumes secs en Inde).

gram: Graine entière généralement utilisée dans la préparation du *dhal*.

balle ou enveloppe cellulosique: Enveloppe des graines des légumineuses.

légumineuses: Plantes à fleurs appartenant à l'ordre des Léguminosales et à la sous-famille des Papilionacées. Le fruit d'une légumineuse est une gousse contenant les graines.

La graine comestible des légumineuses. La graine se sépare en deux (dicotylédone); couramment appelée fève, légume sec.

mouture: Opération qui consiste à décortiquer et à casser les légumes secs; s'applique au broyage des légumes secs et à la préparation du *dhal* (en Inde). Décorticage et transformation en farine des légumes secs écosés.

légume sec: Graine sèche, comestible des légumineuses cultivées; il s'agit, en général, d'une graine écosée.

Transformation domestique

Il existe plusieurs façons de préparer les légumineuses à domicile. On utilise par exemple différents procédés pour éliminer les substances toxiques et anti-nutritives, pour enlever l'enveloppe et amollir les cotylédons. L'une des premières étapes de la transformation est la cuisson des fèves entières ou des fèves décortiquées, quoique les fèves crues puissent être préparées pour la table sans aucune cuisson. Cuites, les fèves peuvent se manger entières, broyées ou écrasées en purée.

Le décorticage peut se faire avant ou après la cuisson. Habituellement, on écrase ou on pile les fèves après la cuisson pour les débarrasser plus facilement de leur enveloppe. Les légumes secs décortiqués peuvent être conservés entiers, cassés, ou encore transformés en farine, en gruau ou en pâte. Cette opération s'effectue surtout à la main, mais peut, dans certains cas, se faire mécaniquement, à l'aide d'un simple appareil.

Les différentes techniques traditionnelles de transformation étudiées dans ce chapitre sont la

cuisson à l'eau, le broyage, l'étuvage, le grillage, le rôtissage, le gonflement, la germination, la fermentation et l'agglomération. Ces méthodes de transformation valent pour les diverses variétés de légumineuses consommées dans les régions tropicales semi-arides de l'Amérique du Sud, de l'Afrique, du Moyen-Orient et de l'Asie, qu'elles soient crues ou cuites, décortiquées ou non, entières ou moulues. Les différentes techniques utilisées pour la préparation dépendent de la structure et de la texture des fèves, de même que des traditions alimentaires des peuples.

En étudiant les diverses méthodes de transformation des légumes secs en aliments, il faut d'abord s'arrêter au décortiquage, c'est-à-dire à l'extraction des graines de leur enveloppe. Sauf pour certaines variétés dont l'enveloppe est relativement fine, on mange généralement les légumes secs après les avoir débarrassés de leur enveloppe. Certaines méthodes permettent d'enlever l'enveloppe des légumineuses que celles-ci soient crues ou cuites. On peut recourir à des traitements préliminaires, comme la cuisson à l'eau, le trempage ou le rôtissage, pour faciliter le décortiquage qui peut ensuite s'effectuer par pilage, par broyage ou par mouture. Le décortiquage peut se faire soit par voie sèche soit par voie humide (voir la figure 1).

Même si beaucoup de légumineuses se mangent avant maturité, c'est la consommation des légumes secs arrivés à maturité qui présente le plus d'intérêt du point de vue nutritif

(Patwardhan 1962). La préparation adéquate des légumineuses pour l'alimentation humaine repose par conséquent sur un décortiquage efficace des cotylédons comestibles. La digestibilité en est améliorée et l'organisme peut donc faire une meilleure utilisation des éléments nutritifs. Il existe toutefois des méthodes de transformation des légumineuses qui en permettent la consommation sans décortiquage.

Décortiquage

Trempage — Etape préliminaire au décortiquage, le trempage facilite l'enlèvement de l'enveloppe. Les graines qui ont trempé dans l'eau pendant un certain temps se décortiquent plus facilement car l'enveloppe, absorbant plus d'eau que la graine, se détache plus facilement. On peut aussi plonger les graines dans de l'eau dont la température approche le point d'ébullition ce qui permet à l'enveloppe de gonfler et de se détacher du cotylédon.

En ce qui concerne l'effet du trempage sur la valeur nutritive des haricots communs (*Phaseolus vulgaris*), Kakade et Evans (1966) ont constaté qu'un trempage de 4 jours détruit environ 28 % de l'activité de l'inhibiteur de la trypsine et 75 % de l'activité de l'hémagglutinine.

Il semble donc que le trempage détruit, inactive ou extrait éventuellement ces facteurs antinutritifs. Une étude sur les légumineuses du Chili (*Phaseolus vulgaris*, *Vicia faba*, *Pisum*

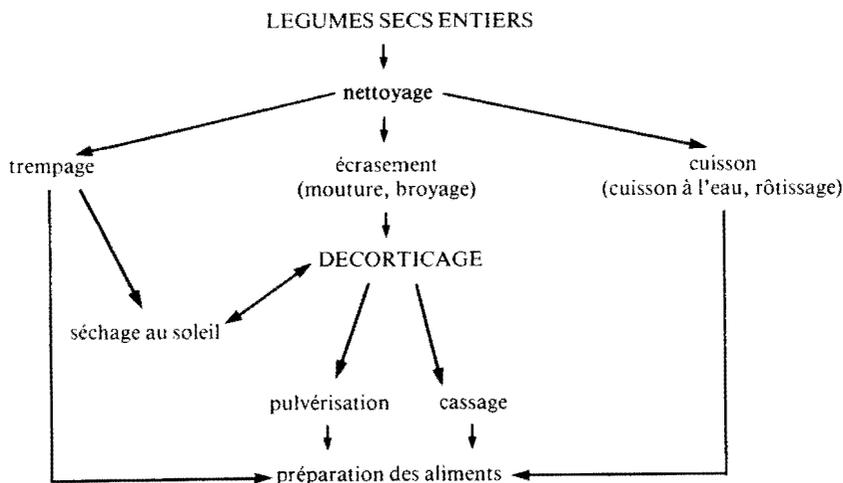


Fig. 1. Diagramme illustrant les méthodes traditionnelles de transformation des légumineuses.

sativum, *Lens esculenta*, et *Cicer arietinum*) a révélé que l'activité de l'inhibiteur de la trypsine et celui de l'hémagglutinine se trouvent neutralisés à une chaleur humide de plus de 100 °C (Gallardo et alii, 1974) et réduits à une chaleur sèche. Dans ce dernier cas on a constaté que l'inactivation est plus importante lorsqu'on fait d'abord tremper les légumineuses pendant 14 heures.

Pilage et broyage — La façon la plus courante et la plus simple de décortiquer les légumes secs à domicile est soit de les piler ou de les broyer, soit de faire les deux à la fois. On peut pour cela avoir recours à deux méthodes: la méthode par voie sèche et la méthode par voie humide; toutes deux se pratiquent dans les régions tropicales semi-arides, mais la première est plus populaire dans le centre et dans le nord de l'Inde, en Afrique et en Amérique centrale (Aykroyd et Doughty, 1964). On combine aussi parfois les deux méthodes (chaleur sèche et chaleur humide). Il existe en Inde une méthode moins courante de préparer les légumes secs décortiqués et cassés: on fait rôtir la graine à moitié avant de la casser. La méthode utilisée dépend généralement de la variété de légumineuse et du genre d'aliment que l'on désire préparer. Au Nigeria on préfère la méthode par voie humide seule ou en combinaison avec celle par voie sèche pour la préparation des plats à base de niébé (*Vigna unguiculata*), et la méthode sèche pour le préparation de la farine de niébé (Dovlo et alii, 1975).

La méthode par voie humide consiste principalement à amollir l'enveloppe avant de l'enlever. Pour hydrater et faire gonfler l'enveloppe, on a généralement recours au trempage. Dans certains cas cependant, il suffit d'asperger les graines avec de l'eau. On sépare ensuite l'enveloppe du cotylédon par pilage abrasif ou par broyage. Ces opérations se font généralement dans un mortier, avec un pilon. Le pilon use les grains qui s'usent en même temps les uns contre les autres. On les fait alors sécher au soleil, puis on les vanne pour extraire les enveloppes.

La méthode par voie sèche consiste seulement à piler les graines pour en détacher l'enveloppe qu'on enlève ensuite par vannage. On peut aussi plonger les graines écrasées dans de l'eau et enlever les téguments qui remontent alors à la surface.

Rôtissage, grillage et étuvage — Une autre façon courante de décortiquer les graines est de les soumettre à la chaleur pour des périodes plus ou moins longues; autrement dit de les griller ou

de les rôtir. Les légumineuses ainsi traitées peuvent être trempées ou non. On les fait chauffer, que ce soit par grillage, rôtissage ou étuvage, ce qui facilite l'enlèvement de l'enveloppe, qui devient fragile et se fend. Dans le cas de graines trempées, les cotylédons tendent à se rétracter davantage que l'enveloppe, de sorte que celle-ci s'en détache (Kurien et Parpia, 1968). En plus de faciliter l'enlèvement de l'enveloppe, la chaleur peut détruire les facteurs toxiques des légumineuses (Kurien et alii, 1972). Liener (1962) signale qu'une utilisation adéquate de la chaleur peut éliminer tous ou une partie des effets toxiques ou antinutritifs des légumineuses, dont certains facteurs comme les inhibiteurs de la trypsine, les hémagglutinines, les agents goitrigènes, les glucosides cyanogénétiques, les alcaloïdes et les saponines.

Mouture — Ce mode de décortication a fait l'objet de nombreuses adaptations et est très utilisé dans les régions d'Afrique et d'Asie qui sont consommatrices de légumineuses, surtout lorsqu'il s'agit de graines ayant un tégument dur et fibreux. Il permet d'enlever successivement les couches extérieures de l'enveloppe, et en particulier celles qui forment le tégument, par une action abrasive qui s'exerce sur la graine entière. On utilise des moulins manuels simples pour décortiquer ou casser les légumes secs, pour en faire de la farine ou du gruau.

En Inde, plus de 75 % des légumes secs sont transformés en *dhal*, c'est-à-dire décortiqués et cassés, et servent directement à l'alimentation. Lorsque ce travail est fait à domicile, il faut détacher et enlever le tégument pour ensuite séparer les deux cotylédons de la graine. Le décortication peut se faire selon la méthode sèche ou la méthode humide. En Afrique, les légumineuses décortiquées par pilage et vannage sont transformées en farine, soit manuellement, soit à l'aide de petits moulins à meules verticales.

Selon la méthode humide utilisée en Inde, on trempe les graines pendant quelques heures pour ensuite les mélanger à de la terre rouge et les faire sécher au soleil de deux à quatre jours. Après avoir enlevé la terre par criblage, on broie les graines dans des mortiers ou dans des *chakkis* pour les décortiquer et les fendre. Avec la méthode sèche, les graines, parfois enduites d'huile, sont séchées au soleil puis arrosées avec un peu d'eau. Après les avoir fait chauffer, on moule les légumes secs (on les décortique et on les fend) dans des mortiers ou dans des *chakkis* de bois ou de pierre; ces appareils à fonctionnement manuel sont constitués de meules rotatives (Kurien et Parpia, 1968).

La mouture domestique des légumineuses est souvent pénible, longue et inefficace. Le rendement en graines cassées, (le *dhal*), constitue un important critère pour l'évaluation de l'efficacité de cette méthode. Si on compare le rendement obtenu par les procédés domestiques à celui des procédés commerciaux, on constate un écart de 8 % en faveur de ces derniers. Les pertes peuvent être attribuables à la fragmentation et à la pulvérisation lors du nettoyage. En huit heures, un travailleur peut produire de trente à quarante kg de *dhal* avec la méthode sèche, et de soixante à soixante-quinze kg avec la méthode humide (Kurien et Parpia, 1968).

Préparation des légumineuses pour la consommation

Cuisson à l'eau — En étudiant les qualités de cuisson des légumes secs entiers, Muller (1967) a découvert que leur dureté dépend de l'interaction de la phytine, du Ca, du Mg, et de la pectine libre. On a constaté que 99,6 % de l'acide phytique des fèves (*Phaseolus vulgaris*) se présente sous forme soluble plutôt que sous forme insoluble (Lolas et Markakis, 1975).

L'amollissement qui survient pendant la cuisson est dû à la réaction du phytate avec le pectate insoluble de Ca et de Mg présent dans les parois de l'enveloppe, réaction qui produit du pectate soluble de Na et de K. Des études sur la dureté de deux variétés de pois (à fleurs violettes et à fleurs blanches), dont les enveloppes ne contiennent pas la même quantité de lignine, ont montré que celle-ci, comme la pectine, est un agent de liaison et que c'est donc elle qui détermine la facilité qu'on a à détacher le tégument des cotylédons (Muller, 1967). Les parois des cellules de l'enveloppe constituent un facteur déterminant en ce qui concerne les qualités de cuisson des légumineuses non décortiquées.

La façon la plus courante de préparer les légumineuses entières, décortiquées ou non, pour la consommation est la cuisson à l'eau. En Inde, on fait souvent cuire le *dhal* jusqu'à ce qu'il soit mou, puis on le réduit en purée pour ensuite le mélanger avec de l'eau et le faire bouillir à nouveau, pour qu'il ait la consistance d'une soupe ou d'un gruau (Kurien et alii, 1972).

Dans certaines régions d'Afrique et du Moyen-Orient, les légumes secs entiers sont cuits à l'eau et mangés comme tels ou en purée. En Afrique de l'Ouest, on prépare généralement une friture avec la pâte de niébés (Dovlo et alii, 1975). Dans certaines régions de l'Afghanistan,

de l'Egypte et de l'Ethiopie, les pois chiches sont souvent cuits à l'eau puis mangés entiers. Au Liban, les fèves de marais (*Vicia faba*) sont incorporées, entières, à une sauce à l'huile. En Turquie, en Jordanie et au Liban, il existe un plat populaire, le *hommos*, qu'on prépare en réduisant des pois chiches cuits en une purée à laquelle on ajoute du jus de citron, du sel et de l'ail (Hawtin, 1974).

En Amérique centrale et en Amérique du Sud, on fait d'abord tremper les fèves toute la nuit (*Phaseolus*) pour ensuite les faire cuire à l'eau; elles sont mangées entières ou en purée ou encore utilisées dans la préparation d'autres plats. On fait généralement frire les fèves (*Phaseolus vulgaris*) broyées (Bressani et alii, 1973). En Thaïlande, nombre de desserts sont faits à partir d'une pâte fabriquée avec des ambériques décortiquées.

Les recherches sur la cuisson à l'eau des légumineuses ont porté sur les facteurs qui déterminent le temps de cuisson. C'est un sujet d'étude important, certaines légumineuses devant être cuites plus longtemps que d'autres pour qu'elles soient nutritives et agréables au goût. Bressani et Elias (1974) affirment qu'il faut au moins deux heures pour faire cuire les fèves sèches (*Phaseolus vulgaris*) à la pression atmosphérique. Un rapport sur l'utilisation des niébés en Afrique de l'Ouest explique que le temps de cuisson n'est pas le même pour toutes les variétés. Le temps moyen de cuisson varie entre 90 et 150 minutes (Dovlo et alii, 1975).

Diverses enquêtes portent à croire que les fèves (*Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus lunatus*) entreposées à une température et à une humidité mal contrôlées nécessitent une cuisson d'autant plus longue qu'elles ont absorbé davantage d'humidité lors de l'entreposage (Muneta, 1964; Burr et alii, 1968; Kon, 1968). Kon (1968) a constaté que les fèves sèches au taux d'humidité élevé demandent un temps de cuisson beaucoup plus long. Les fèves contenant 13,3 % d'humidité doivent cuire environ sept fois plus longtemps que celles qui n'en contiennent que 8,1 %. Des analyses de la pectine montrent que la chaleur peut transformer une partie de la pectine insoluble dans l'eau en pectine soluble dans l'eau; mais on n'a pas enregistré de différence, au niveau de la quantité de substances pectiques, entre les fèves à fort et à faible taux d'humidité.

Comme l'a signalé Muller (1967), les parois de cellules de l'enveloppe et, dans une moindre mesure, celles des cotylédons, ont une influence déterminante sur les qualités de cuisson des légumineuses. Une légumineuse trop cuite est

indigeste (Kakade et Evans, 1965), phénomène peut-être dû à l'action des amines libres sur les hydrates de carbone et au fait que certains acides aminés essentiels soient rendus inactifs ou détruits. Il importe donc de bien fixer le temps de cuisson si on veut que l'aliment ait une texture agréable et une valeur nutritive élevée.

Rôtissage et étuvage — C'est surtout en Inde et en Afrique qu'on recourt au rôtissage, aussi appelé grillage ou étuvage, pour apprêter les légumineuses. Dans les régions tropicales semi-arides, le rôtissage désigne une méthode selon laquelle on expose à une chaleur sèche les graines généralement entières, décortiquées ou non. On peut placer les graines ou les fèves près du feu ou directement sur le feu, ou encore les placer dans de la cendre chaude ou du sable qui sont en contact avec le feu.

On fait en général rôtir les légumes secs avec leur enveloppe et on les mange comme "snacks" ou aliments d'appoint. C'est ce qu'on fait en Afrique avec les pois chiches et les niébés, et en Inde avec divers légumes secs. On mélange aussi les légumineuses rôties broyées avec de la farine de céréales. En Inde, la méthode traditionnelle pour le rôtissage ou l'étuvage à domicile des légumes secs (pois chiches, etc.) est la suivante: on les arrose d'abord avec un peu d'eau, salée ou non, puis on les mélange avec du sable chaud à raison d'une part de légumes secs pour quatre parts de sable; on place le mélange dans une poêle qu'on met sur le feu, la température du sable atteignant environ 240 °C, et on fait rôtir (ou étuver) les légumes secs en les remuant rapidement dans la poêle avec une cuiller. Au cours de l'opération, les graines passent de 26 °C à 132 °C en deux ou trois minutes. On élimine ensuite le sable à l'aide d'un tamis. Les valeurs biologiques moyennes des pois chiches et des ambériques étuvés étaient de 84,6 et 70,2 % respectivement, tandis que les échantillons non étuvés avaient des valeurs respectives de 78,2 et 50 % (Acharya et alii, 1942).

La transformation des légumineuses par la méthode du rôtissage améliore la saveur, la texture et la valeur nutritive des graines. Cette méthode peut aussi constituer une étape préliminaire qui facilite le décorticage lors de la mouture par voie sèche ou par voie humide. L'importance, sur le plan nutritif, de l'étuvage des légumes secs indiens, y compris les pois chiches et les ambériques, a été démontrée dans des études antérieures (Acharya et alii, 1942). Des études sur la nutrition animale montrent que les valeurs biologiques des protéines sont plus grandes pour les échantillons étuvés que pour les autres. Que la qualité protéique des

légumineuses s'améliore lorsqu'on les fait chauffer est un fait bien connu et prouvé (Bressani et alii, 1963; Bressani et Elias, 1974). Le rôtissage des graines de légumineuses produit le même effet.

Friture — En règle générale, sont frites les légumineuses qui ont déjà été traitées et se présentent sous forme de farine ou de pâtes diverses. L'opération se fait dans une casserole ouverte contenant de l'huile chaude; l'aliment qu'on fait frire peut être cru ou déjà cuit. Au Brésil, on prépare une gâteaux en faisant frire de la purée de fèves décortiquées (Stanton et alii, 1966). Au Nigeria, on prépare avec la farine de légumineuses une pâte dure qui, frite, est un met populaire (Dovlo et alii, 1975). En Inde, on utilise souvent les pois chiches, les haricots velus (*Phaseolus mungo*) et les pois (*Pisum sativum*) pour préparer des pâtes qu'on fait frire pour obtenir des produits croustillants (Kurien et alii, 1972). De plus, frits dans un peu de gras, les haricots velus et le *dhal* se mangent comme aliments d'appoint (Kachroo, 1970). Au Soudan, on prépare le *filafi* avec de la pâte de pois chiches, à laquelle on ajoute du sel et des assaisonnements. Après l'avoir laissée reposer pendant deux heures, on coupe le pâte en petits morceaux et on la fait frire (Hawtin, 1974).

Gonflement — En Inde, la méthode utilisée pour le gonflement des légumes secs est très semblable à celle qu'on suit pour le rôtissage. Cette technique confère une texture légère et poreuse au *dhal* décortiqué et cassé. Mais on applique plus généralement ce procédé aux graines entières non décortiquées. Pour le gonflement, on fait tremper les graines dans de l'eau puis on les mélange avec du sable chauffé à 250 °C, et on les fait ensuite rôtir quelques instants, soit de 15 à 20 secondes. Une fois les graines séparées du sable, on les décortique entre une meule chaude et un rouleau rugueux. Ce sont, le plus souvent, les pois et les pois chiches que l'on prépare ainsi, même si d'autres légumes secs peuvent se prêter à ce procédé. Ces produits se consomment généralement avec des céréales étuvées ou encore comme aliments d'appoint (Kurien et alii, 1972). Des études préliminaires sur les pois chiches ont montré qu'un bon gonflement dépend du conditionnement à l'humidité, que ce soit par trempage ou par arrosage. Kurien et alii (1972) signalent que la cuisson à la vapeur et le blanchiment ne favorisent pas un bon gonflement. Puisque la dernière décennie a vu le gonflement des légumineuses passer du stade domestique artisanal à un système mécanisé de grande échelle, il est nécessaire d'effectuer des études en vue de

normaliser les méthodes qui donnent le meilleur rendement pour la préparation de produits gonflés de qualité.

Cuisson à la vapeur — La cuisson à la vapeur est une technique secondaire utilisée pour transformer les farines et les pâtes de légumineuses en aliments traditionnels. En Afrique occidentale, on fait cuire à la vapeur la pâte de niébés pour préparer l'*alele*. La farine de niébés (grau) sert à la préparation du couscous (Dovlo et alii, 1975).

Germination — La germination est une méthode de transformation qui donne à la fève un goût agréable et permet de la manger tout entière. En soi, la germination est une méthode qui favorise le développement et la croissance (de 5 à 15 cm) de l'hypocotyle ou première partie de la tige (pousse) (Stanton et alii, 1966). (Chez les légumineuses, les cotylédons renferment les éléments nutritifs qui nourrissent l'embryon de la plante au moment de la germination.) Cette méthode s'est développée au cours des ans à partir de procédés traditionnels, et elle joue un rôle particulièrement important en Extrême-Orient, de même qu'en Inde, bien qu'à un degré moindre. Dans ces deux régions, il s'agit d'une méthode pratiquée au foyer et sur une échelle familiale.

En Inde on fait d'abord tremper dans de l'eau pendant 24 heures les graines non décortiquées, puis on les étend sur un linge humide pour une période qui peut aller jusqu'à 48 heures. Sous des conditions climatiques tropicales, les germes peuvent atteindre 1 cm. On mange les graines germées soit crues avec du sel, soit davantage assaisonnées et frites ou cuites à l'eau (Aykroyd et Doughty, 1964).

Les légumes secs germés, surtout les ambériques et les pois, tiennent une place importante dans le régime alimentaire des peuples d'Extrême-Orient.

Selon une autre méthode, il faut tremper les graines entières dans de l'eau pour ensuite les égoutter et les laisser germer pendant plusieurs jours dans de grands paniers humides. Après avoir lavé les légumes secs germés, on peut les faire cuire à l'eau et les utiliser dans des plats traditionnels ou encore les transformer en sauces ou en pâtes. Le lavage et la cuisson des légumes secs germés permettent d'enlever les enveloppes qui se fendent la plupart du temps au cours de la germination. (Même si cette étude sur la transformation des légumineuses n'inclut pas les graines oléagineuses, le soja et les arachides, la germination et la fermentation constituent d'importants moyens de transfor-

mation des légumineuses, surtout du soja en Orient.)

L'effet direct de la germination tant sur les changements physiques et chimiques que sur la valeur nutritive des légumineuses est d'un grand intérêt. Comme en fait état un rapport de Aykroyd et Doughty (1964), les éléments constitutifs de la graine, auparavant inertes, prennent vie pendant le trempage et deviennent plus facilement assimilables pour l'organisme humain. L'augmentation de la valeur nutritive qu'entraîne la germination survient quand le germe apparaît, c'est-à-dire après 24 ou 48 heures.

On a dit (Kurien et alii, 1972) que la germination ne permet pas de réduire le temps de cuisson ou d'améliorer la texture des légumineuses. Cependant, les premiers changements chimiques que subissent les graines germées impliquent surtout l'hydrate de carbone contenu dans la graine, certains amidons se transformant en disaccharides (maltose) et en dextrines à molécules plus petites sous l'action des amylases. Chattopadhyay et alii (1950) signalent une diminution graduelle de la teneur en hydrate de carbone des gousses pendant la germination. Cette germination se caractérise aussi par une augmentation des protéases, ce qui engendre une dégradation des protéines à grosses molécules en protéines à petites molécules (Hegazi, 1974).

Les changements chimiques qui surviennent pendant la germination ont été confirmés par Hegazi (1974), qui a découvert que les sucres totaux, les sucres réducteurs et les sucres non réducteurs sont plus abondants dans les fèves des marais (*Vicia faba*) après quatre jours de germination. La teneur en amidon passe de 37,8 % pour les fèves crues à 30,9 % pour les fèves germées. L'étude signale d'autre part que la teneur en protéines passe de 28,1 à 26,7 % lors de la germination, parce que l'action protéolytique des enzymes (protéases) entraîne une dégradation des protéines. La germination suscite une augmentation considérable de la concentration des acides aminés à cause de la dégradation des protéines en unités plus simples. Les fèves germées renferment des quantités plus importantes des acides aminés essentiels suivants: lysine (24 %), thréonine (19 %), alanine (29 %), et phénylalanine (7 %). Les quantités d'acides aminés sulfurés (cystine et méthionine) augmentent légèrement. Ce que met en relief cette étude c'est la formation apparente d'un aliment riche en éléments nutritifs et facilement assimilé par l'organisme humain.

Les autres changements nutritifs qui surviennent dans les légumes secs germés touchent tout d'abord les vitamines. L'acide ascorbique qu'on retrouve en quantité infime dans les légumineuses crues passe à 10 ou 12 mg par 100 g dans les légumineuses qu'on a laissées germer pendant 48 heures (Chattopadhyay et Banerjee, 1952b.). En temps de guerre et de famine, l'utilisation des fèves des marais (*Vicia faba*) et des pois chiches germés a démontré la présence de ce facteur antiscorbutique. Lors de la germination de divers légumes secs, dont les pois chiches, les niébés (*Cajanus cajan*), les lentilles et les ambériques, on a remarqué une augmentation de la thiamine, de la riboflavine, de la niacine, de la pyridoxine, de la biotine, du tocophérol, de la choline et du fer contenus dans ces aliments (Chattopadhyay et Banerjee, 1952a; Banerjee et alii, 1954; ICAR, 1970).

Dans une étude sur la germination des fèves blanches, on n'a remarqué aucun changement important dans l'activité d'hémagglutination, bien qu'on ait noté d'abord une diminution et ensuite une augmentation de l'inhibiteur de la trypsine (Kakade et Evans, 1966). Bien qu'on en ignore les mécanismes, on signale souvent l'effet bénéfique de la germination sur les propriétés des graines de légumineuses favorisant la croissance (Liener, 1973).

Fermentation — La fermentation est probablement l'une des plus vieilles, sinon la plus vieille, méthode de transformation des légumes secs. Les plus intéressantes applications de ce procédé se trouvent en Orient où l'on mange depuis des siècles les légumineuses fermentées. On recourt aussi à la fermentation pour préparer les légumineuses dans le Sud-Est asiatique et en Afrique. Le mécanisme de la fermentation repose sur la dégradation des hydrates de carbone grâce à l'action des micro-organismes (bactéries, moisissures et levure) qui les transforment en acide. Dans les foyers, ainsi qu'à l'échelle des villages, les agents de fermentation utilisés sont les micro-organismes de l'atmosphère. Par contre, les exploitations commerciales pratiquent une fermentation contrôlée à l'aide de moisissures et de bactéries spécifiques.

Les mélanges fermentés de légumineuses et de riz sont très populaires en Inde. Pour les préparer, on fait d'abord tremper (de 4 à 6 heures) des mélanges de *dhal* de haricots velus et de riz (1 / 2) qu'on réduit ensuite en purée pour les laisser fermenter toute la nuit. On appelle *idli* la pâte fermentée cuite à la vapeur, et *dhosai* la pâte rôtie ou frite. En Afrique occidentale, on prépare l'*ewa* (Nigeria) et le *soumbara* avec une

pâte fermentée faite de légumes secs broyés, séchés, décortiqués et cuits. On coupe la pâte en morceaux qu'on fait sécher au soleil pour obtenir des boulettes ou des bâtons qui servent d'assaisonnement ou de condiment pour divers plats (Aykroyd et Doughty, 1964; Kachroo, 1970). Le *tutu*, plat populaire au Brésil, est lui aussi un produit alimentaire fermenté.

Les méthodes utilisées en Orient pour préparer le soja, et décrites dans le présent rapport, valent aussi pour différentes légumineuses. La préparation domestique d'aliments à base de soja fermenté se fait à partir de la fève entière bouillie qu'on décortique et qu'on réduit en purée. On injecte dans cette purée de la levure, de la moisissure ou des bactéries; par exemple, le *Bacillus natto* (*Bacillus subtilis*) pour le *natto* japonais, le *Saccharomyces rouxii* pour le *miso* japonais, et l'*Aspergillus oryzae* pour le *tempeh* indonésien et le *shoyu* chinois ou japonais (la sauce soja). On choisit les différentes moisissures, levures ou bactéries en fonction de la saveur que l'on veut donner à l'aliment. Le *tempeh* est fait à partir d'une purée de soja qu'on doit d'abord faire fermenter pendant 24 à 48 heures; elle sera ensuite frite ou rôtie. La sauce soja, un mélange à parts égales de fèves de soja et de blé, doit d'abord être fermentée pendant 72 heures. La fermentation finale durera trois mois et se fera dans des récipients en terre cuite (Smith, 1963; Nelson et Richardson, 1967).

Le principal résultat de la fermentation, indépendamment de l'agent utilisé, est que les éléments nutritifs des graines sont plus facilement assimilables pour l'organisme. Il se produit en effet une amélioration de la digestibilité des protéines des légumineuses. Les enzymes digestibles produites par les micro-organismes pendant la fermentation sont capables de dégrader les protéines en acides aminés et en d'autres produits solubles dans l'eau (Ebine, 1972; Takeuchi, 1974). Une quantité plus grande de protéines, se présentant sous forme d'acides aminés, est donc absorbée et utilisée immédiatement. Robinson et Kao (1974) ont découvert que la fermentation augmente les quantités de suc réducteur, de protéines solubles et de vitamines solubles dans l'eau lors de la préparation du *tempeh* de pois chiches. Selon Ebine (1972), la valeur biologique du *natto* est de 63 %, et son taux d'absorption de 83 %. On voit donc qu'il y a amélioration par rapport à la matière première. Dans la fabrication du *tempeh*, la moisissure dégrade en acides aminés une partie des protéines originales, comme en fait foi l'augmentation de la

quantité d'azote soluble (Nelson et Richardson, 1967).

On a en outre découvert que la fermentation rend inactives les substances désavantageuses, y compris les inhibiteurs de la trypsine, les hémagglutinines et les saponines que renferment les légumineuses comestibles (Liener, 1962, Ebine, 1972). Ce phénomène est dû au réchauffement que subissent les aliments fermentés lors de leur préparation. La formation naturelle de réducteurs lors de la fermentation a une importance pratique dans les régions tropicales. De plus, les produits fermentés peuvent être entreposés plus longtemps à température ambiante puisque les acides organiques et les acides aminés empêchent leur contamination par des bactéries et des micro-organismes pathogènes. On a aussi remarqué une augmentation des quantités de choline et d'acide folique dans les produits fermentés.

Les chercheurs œuvrent pour mettre au point, à partir d'autres légumineuses, des aliments fermentés riches en protéines. Robinson et Kao (1974) ont préparé le *tempeh* avec des pois chiches et des fèves des marais (*Vicia faba*). De récents progrès dans cette direction, dont fait état Ebine (1972), ont abouti à une méthode améliorée de fabrication du *shoyu* japonais. Une cuisson plus rapide et à une température plus élevée des fèves de soja dégraissées augmente leur digestibilité protéique et leur rendement.

Agglomération — L'agglomération est une méthode intéressante par laquelle on transforme la farine de légumineuses en un plat agréable au goût. Il s'agit d'un procédé largement répandu en Afrique du Nord pour la préparation du couscous, un plat populaire à base de céréales. On utilise traditionnellement du blé, du millet ou d'autres céréales, mais la pénurie de ces dernières a fait qu'on leur a substitué les farines de légumineuses. Au Sénégal, on prépare le couscous avec de la farine de niébés, surtout avant la récolte du millet. Le remplacement de la farine de céréales par la farine de fèves correspond aussi à la tradition, celle d'associer la consommation des fèves à la pauvreté.

Au niveau de la préparation à domicile, l'agglomération des farines se fait en deux étapes. On commence par préparer la farine de niébés en écrasant les fèves sèches dans un mortier à l'aide d'un pilon, puis on procède au vannage pour enlever les enveloppes. On transforme ensuite en farine les graines décortiquées en les broyant dans un mortier ou, plus couramment, dans le moulin à marteaux de la

commune. Le criblage permet d'enlever les taches noires ou "yeux".

Pour préparer les agglomérats, on ajoute lentement de l'eau à la farine en remuant continuellement le mélange à l'aide d'une spatule en bois. Quand les agglomérats se présentent en grande quantité, on les passe dans un tamis pour enlever les particules de farine qui n'adhèrent pas. On répète l'opération une ou deux fois, puis on met les agglomérats dans un plat de métal percé de petits trous. On place ce plat, recouvert d'un linge, au-dessus d'une marmite d'eau bouillante, de sorte que la vapeur y pénètre par les petits trous. Au cours de l'opération, les agglomérats prennent du volume en absorbant de l'eau et les amidons se transforment en gélatine.

Grosso modo, l'agglomération repose sur l'humidification de la farine, qui rend les surfaces adhérentes. En remuant les particules rendues adhérentes par l'humidité, on les met en contact les unes avec les autres, de sorte qu'elles forment des agglomérats. Selon la description de Galle (1968), l'agglomération commence par l'humidification de la farine qu'on place ensuite dans un récipient où on la remue afin qu'elle forme des agglomérats. On dit qu'il est souhaitable de porter le taux d'humidité de la farine à entre 20 et 35 % parce que, en-dessous de 20 %, les agglomérats sont trop tendres et trop fragiles, tandis que, au-dessus de 35 %, la farine est trop collante.

Méthode traditionnelle employée dans les régions rurales de l'Afrique, l'agglomération connaît des applications importantes dans l'utilisation de diverses farines de légumineuses. Le séchage des agglomérats, tel qu'il se pratique à l'échelle commerciale pour la préparation du conscous, peut servir dans la préparation d'aliments non périssables à base de légumineuses. Le présent rapport pousse plus loin l'étude de cette question quand il fait l'examen des modes d'utilisation et des nouvelles méthodes de transformation des légumineuses.

Transformation commerciale

Les diverses méthodes qui servent à la transformation des légumineuses sur un échelle commerciale comprennent la mouture, la friture, le gonflement, la germination, la fermentation et l'agglomération. De plus, dans les pays industrialisés, les fèves sont souvent mises en conserve. On se bornera ici à l'étude de la mouture, comme moyen primaire de décorticage, et à la mise en conserve, puisque les autres méthodes de transformation pratiquées à

l'échelle commerciale sont celles qu'on retrouve dans la production domestique et à petite échelle.

Décortiquage

Mouture — On trouve en Inde la plupart des procédés commerciaux de grande échelle pour la mouture des légumineuses. Les méthodes commerciales reposent sur les mêmes principes de base que les méthodes domestiques. Comme le relève Kurien et Parpia (1968), le décortiquage peut être fait à sec ou avec de l'eau.

La méthode humide est utilisée dans les entreprises relativement petites. Après avoir fait tremper les graines pendant 4 à 12 heures dans des réservoirs en ciment, on draine l'eau puis on mélange une pâte faite de terre rouge et d'eau avec les graines trempées. On laisse les graines entassées pendant environ 16 heures; on les étend ensuite en minces couches dans des cours de séchage où elles sèchent à l'air pendant 2 à 4 jours. On procède ensuite au criblage pour enlever la terre. Quand les graines sont suffisamment sèches, on les passe dans un *chakki* (décortiqueuse) mécanique vertical à meule en pierre ou en émeri. Au cours de cette étape, 95 % des graines sont décortiquées et cassées. On enlève les enveloppes par aspiration et on sépare le *dhal* par criblage. Les graines non décortiquées repassent dans le *chakki*. D'après les études qui ont été faites sur ce procédé, le rendement du *dhal* de niébés est d'environ 75 %. Si la méthode humide offre l'avantage de permettre un bon décortiquage et une bonne mise en morceaux des légumes secs, elle présente par contre l'inconvénient d'affecter les qualités de cuisson du *dhal*. Bien que ce procédé donne un bon rendement parce qu'il y a moins d'émiettement, il allonge le temps de cuisson. La somme de travail nécessaire et le fait que l'efficacité du procédé soit déterminé par les conditions atmosphériques représentent des inconvénients majeurs. L'opération, du début à la fin, demande habituellement de 5 à 7 jours et les moulins ne peuvent traiter que de petites quantités de graines.

Avec la méthode sèche, on commence par nettoyer les graines, que l'on classe d'après leur grosseur à l'aide d'un crible, puis on les passe dans un rouleau d'émeri pour attaquer ou érafler l'enveloppe de façon à faciliter la pénétration de l'huile de lin qu'on mélange alors aux graines à raison d'environ 1 %. On étend ensuite les graines en minces couches dans une cour de séchage où elles sèchent au soleil pendant 2 à 5 jours. On les entasse pendant la

nuit pour qu'elles conservent leur chaleur. A la fin de la période de séchage, on les arrose avec 2 à 5 % d'eau, on les mélange avec soin et on les entasse pour la nuit. Les graines passent ensuite dans le rouleau où le décortiquage se fait par abrasion. Au cours de cette opération, 40 à 50 % des graines sont décortiquées, dont une bonne partie se casse par la même occasion. Les enveloppes sont enlevées par aspiration et on sépare le *dhal* à l'aide d'un crible. On fait sécher au soleil pendant une autre journée les graines qui restent, décortiquées ou non, puis on les mélange à nouveau avec de l'eau et on les repasse dans le rouleau ou *chakki* (décortiqueuse); cette deuxième étape porte le pourcentage de graines décortiquées à entre 65 et 80. On utilise parfois une polisseuse conique à rouleaux lisses pour user le *dhal* cassé.

La méthode sèche a comme principal inconvénient d'entraîner des pertes élevées à cause de l'émiettement et de la pulvérisation, sans compter que ce procédé n'assure pas un bon détachement de l'enveloppe. Les graines n'ayant pas toutes la même grosseur, les plus grosses peuvent être écrasées par la décortiqueuse alors que les petites restent intactes. Kurien et alii (1972) signalent que les méthodes commerciales traditionnelles de mouture donnent un rendement moyen de *dhal* de 73 %, ce qui est très inférieur à la moyenne maximale théorique de 88 %. La méthode employée pour détacher l'enveloppe peut en être responsable. Puisque cette opération n'est habituellement terminée qu'après plusieurs passages dans les rouleaux, le frottement que subit l'endosperme lors de chaque passage entraîne d'importantes pertes. Le passage des graines entières décortiquées pour fabriquer le *dhal* cause des pertes de germes, qui comptent pour de 2 à 5 % du volume des graines.

Les études de Khare et alii (1966) notent que le rendement total du *dhal* de niébés, du point de vue des gousses broyées, est de 76,1%, comparativement à un rendement estimatif de 84,7 %. Dans le *dhal* prêt pour la commercialisation, on constate que 54 % des graines sont écornées et que les éclats se perdent dans différents produits. C'est dans le rouleau et dans la décortiqueuse que surviennent ces pertes, qui se présentent aussi sous forme de farine et de miettes fines. Le fait que les graines ne soient pas séchées de façon uniforme par le soleil constitue une autre cause de fêlures à la suite desquelles les côtés des graines s'ébrèchent et s'écornent. Il survient d'autre part une perte considérable de légumes secs lors du séchage à découvert dans les cours à cause des oiseaux. Le

tableau 16 nous donne la décomposition des niébés (obtenue lors de leur mouture) en divers produits. Les figures 2 et 3 présentent des diagrammes illustrant respectivement la méthode humide et la méthode sèche.

Pour sa commercialisation, on classe de *dhal* en trois catégories. Le produit qu'on obtient après le premier passage dans le rouleau, soit de 40 à 50 % du rendement total, est de qualité supérieure: il s'agit de la première catégorie. La

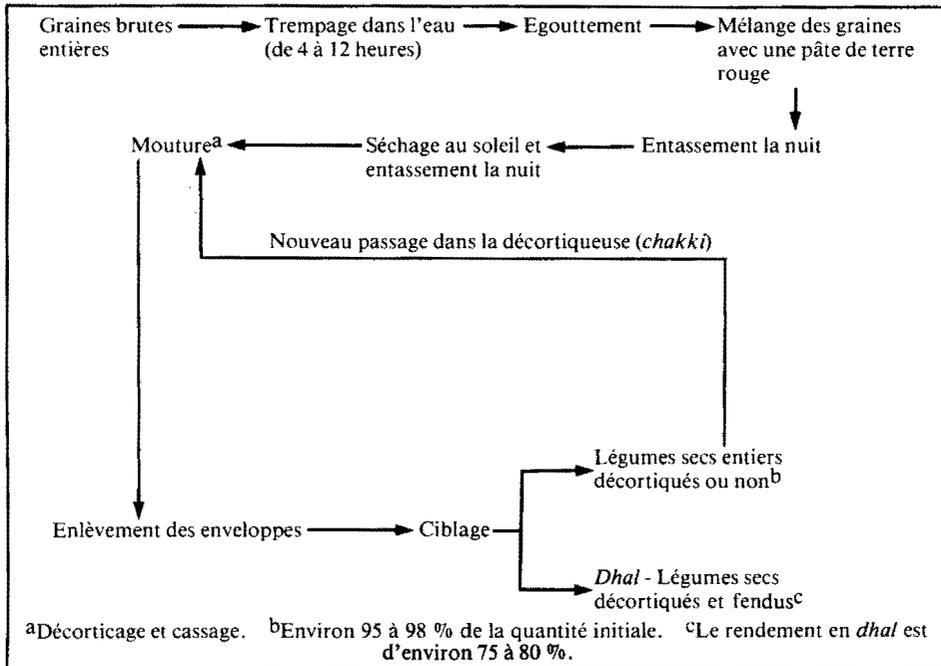


Fig. 2. Décortication des légumineuses — méthode humide (Kurien et Parpia, 1968).

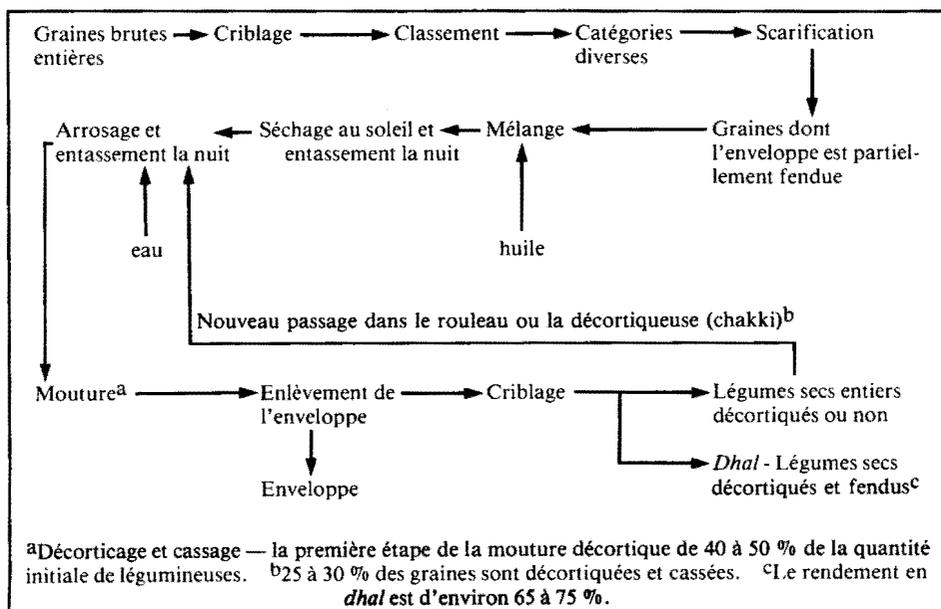


Fig. 3. Décortication des légumes secs — méthode sèche (Kurien et Parpia, 1968).

deuxième catégorie se compose des graines qu'un premier passage dans le rouleau n'a pas cassées et qu'on y fait repasser après un séchage au soleil. Cette catégorie représente de 35 à 40 % du rendement total. La troisième catégorie, elle, est constituée principalement de graines non mûres et mal formées et des miettes les plus grosses. Elle représente de 10 à 15 % du rendement total. Pour la vente, on mélange généralement la troisième catégorie avec la deuxième (Kurien et Parpia, 1968).

A Mysore, en Inde, l'Institut central de recherches en technologie alimentaire a mis au point des techniques améliorées pour la mouture des légumes secs. On les étudiera dans le chapitre qui traite des nouvelles méthodes de transformation.

Le tableau 17 donne un aperçu des principales caractéristiques des méthodes sèche et humide.

Préparation des légumineuses pour la consommation

Mise en conserve — La mise en conserve est la méthode la plus répandue de préparation des légumineuses pour la consommation humaine, surtout dans les pays industrialisés. C'est un procédé commercial, puisqu'il demande un temps considérable et un important équipement (bouilloires et matériel d'operculation). La mise en conserve commerciale des légumineuses est une pratique courante en Amérique du Nord et, à un degré moindre, en Amérique centrale, en Amérique du Sud, en Afrique et en Asie. Dans les pays en voie de développement, c'est en règle générale la classe aisée qui consomme les légumineuses en boîtes, qu'on exporte aussi vers les pays industrialisés, parce qu'elles coûtent plus cher que les légumineuses apprêtées traditionnellement.

Les légumineuses les plus populaires pour la mise en conserve sont ce qu'on appelle communément les fèves et appartiennent à l'espèce *Phaseolus*, à savoir, les haricots communs (*Phaseolus vulgaris*) et les pois du Cap (*Phaseolus lunatus*). Les haricots communs servent à la préparation des "fèves au lard" nord-américaines. Les haricots nains en boîte se mangent comme entremets ou servent d'ingrédient de base pour les salades. On met aussi en conserve les pois verts et les niébés (*Vigna unguiculata*) pour le même usage. On consomme les fèves précuites en boîte dans quelques régions d'Amérique latine (Elias et alii, 1973). Purseglove (1968) mentionne l'établissement d'une nouvelle conserverie pour les pois d'Angola à Trinidad.

Pour la mise en conserve, on utilise des fèves entières sèches qu'on lave dans de l'eau froide. Une fois égouttées, les fèves trempent toute la nuit dans l'eau, ce qui fait passer leur teneur en eau de 10 ou 12 % à environ 20 %. La cuisson en est facilitée, puisque les fèves sont plus tendres. C'est parce que celles-ci ne sont pas décortiquées que l'étape du trempage est nécessaire. Pourvues d'une enveloppe plus tendre que les autres légumineuses, ces fèves s'hydratent pendant le trempage. Après avoir mis dans chaque boîte la quantité de fèves fixée, on y ajoute un liquide, soit une sauce légère (aux tomates) dans le cas des fèves rouges, soit de l'eau dans le cas des pois. L'équipement d'operculation ferme alors les boîtes qui sont ensuite placées dans un chaudron où on les fait cuire. La durée de la cuisson dépend à la fois de la température et de la pression exercée. Puisque le chaudron est fondamentalement un grand autocuiseur, la cuisson peut être plus rapide que si elle se déroulait à pression atmosphérique normale. A 123 °C (250 °F), la durée en est habituellement de 90 minutes. Une fois la cuisson achevée, on fait refroidir les boîtes dans la chaudière, sous pression, pendant environ 15 minutes avant de les en retirer, afin d'empêcher que les fèves ne soient trop cuites, la cuisson se poursuivant une fois la vapeur coupée. De plus, le refroidissement empêche les boîtes d'éclater lorsqu'elles reviennent à la pression atmosphérique normale.

Les recherches sur la mise en boîte des fèves ont surtout porté sur les effets du temps de cuisson sur la texture et la consistance du produit et sur les pertes, au niveau de la valeur nutritive, qu'entraîne la mise en boîte. Il est généralement admis qu'il peut se produire des pertes considérables de vitamines solubles dans l'eau lors de l'hydratation des fèves; la même perte se produit si on ne consomme pas le liquide dans lequel les fèves ont été cuites. On a constaté qu'il peut se perdre jusqu'à 50 % de la thiamine au cours de la mise en boîte (Miller et alii, 1973). Dans le liquide qui entoure les fèves pendant l'hydratation et la cuisson, on a trouvé des quantités importantes de riboflavine, de niacine et de vitamine A. La diminution de la qualité protéique des fèves en conserve est plus importante que les effets bénéfiques de la chaleur qui élimine certains facteurs anti-nutritifs. Selon Hackler (1974), la mise en conserve diminue d'environ 40 % l'indice de valeur protéique des fèves.

Elias et alii (1973) signalent qu'un temps de cuisson supérieur à 30 minutes, à 121 °C

(250 °F), sous une pression de 16 lbs et sans hydratation préalable, diminue la valeur nutritive des protéines. Ce phénomène est dû en partie au fait que la lysine n'y est disponible qu'en quantités plus faibles. En outre les échantillons hydratés témoignent d'une diminution de la valeur nutritive si le temps de cuisson dépasse 10 minutes. A quelle température et pendant combien de temps faut-il faire cuire les fèves lors de la mise en conserve pour éliminer ou réduire la diminution de la qualité protéique,

voilà une question à laquelle la recherche s'efforce continuellement de répondre.

D'autres recherches dans ce domaine ont conduit à l'élaboration de procédés de cuisson rapide. Des études ont porté sur la mise en conserve de produits à base de fèves à haute teneur protéique et sur la préparation de poudres et de mélanges de légumes instantanés. Ces innovations, qui touchent tous les produits à base de fèves, qu'il s'agisse de conserves ou non, seront traitées dans un autre chapitre.

Nouvelles techniques améliorées pour la transformation des légumineuses

Les nouvelles méthodes de transformation des légumineuses alimentaires relèvent de plusieurs catégories principales de recherche, à savoir, des techniques améliorées pour le décorticage et la mouture, la mise au point de méthodes de cuisson rapide pour les légumes secs entiers, la fabrication de poudres instantanées de légumineuses et de concentrés et d'isolats de protéines de légumineuses. Les nouvelles techniques qu'étudie le présent chapitre peuvent être appliquées et utilisées dans les pays en voie de développement, puisqu'elles ont évolué à partir de connaissances fondamentales et de recherches sur les propriétés physiques et chimiques des légumineuses. Dans l'ensemble, le travail effectué dans ce domaine s'est accompli dans les pays les plus dépourvus ou a été mis en œuvre à l'intention de ces pays.

Un important sujet de recherche est celui de l'amélioration des techniques utilisées pour transformer les légumineuses en *dhal* (légumes secs décortiqués et cassés). Dans le cadre des habitudes alimentaires des peuples de l'Inde, une méthode pouvant éliminer tous gaspillages et pertes revêt beaucoup d'importance. En outre, le décorticage mécanique des légumineuses entières, effectué à l'aide d'une batteuse modifiée semblable à une perleuse, pourrait supprimer l'aspect pénible de la préparation des aliments et assurer un marché plus important pour ces produits.

Dans certains cas, il faut beaucoup de temps pour donner aux légumineuses une forme sapide qui permette leur utilisation dans la préparation de plats traditionnels. Ce fait, ajouté à une forte demande de combustible coûteux, souligne l'importance des recherches sur les méthodes de cuisson rapide. C'est une question qui mérite d'être étudiée, tant du point de vue nutritif que pratique, puisqu'il faudrait que la durée de cuisson maximise les qualités nutritives des légumineuses.

Les poudres de légumineuses, qu'il est facile et rapide d'apprêter en plats coutumiers, peuvent augmenter la consommation des légumes secs par les ménages appartenant à toutes les classes socio-économiques. Il faut estomper

cette idée que les fèves et les légumes secs sont l'aliment du pauvre. On a pensé qu'on pouvait y parvenir si on rendait les légumes secs plus attrayants en les présentant sous une forme susceptible de plaire plus particulièrement aux gens à revenu élevé, à savoir, une poudre savoureuse et facile à utiliser.

Ces dernières années, on a attaché beaucoup d'importance à la mise au point de concentrés et d'isolats de protéines. La littérature spécialisée disponible renferme quantité de renseignements sur les méthodes complexes et coûteuses utilisées pour la préparation de ces concentrés et isolats, à partir, principalement, de fèves de soja et d'arachides, qui sont des graines oléagineuses de légumineuses.

Jusqu'à tout dernièrement, les chercheurs négligeaient les méthodes de préparation simples des concentrés et isolats de protéines. Il va sans dire que peu de recherches ont porté sur d'autres cultures, plus particulièrement sur les légumineuses alimentaires. Les méthodes de base déjà mises au point pour la préparation des isolats de protéines de soja semblent pouvoir s'appliquer à d'autres protéines de légumineuses. Ces méthodes reposent sur l'extraction des alcalis, suivie de la précipitation par l'acide au point isoélectrique. On peut aussi modifier, pour l'adapter aux opérations de petite échelle dans les pays en voie de développement, la méthode traditionnelle d'agglomération des farines des concentrés protéiques par le fractionnement pneumatique des farines finement moulues.

On décrira maintenant, à partir des grandes catégories de procédés de transformation, les différentes méthodes utilisées pour la fabrication de produits à base de légumineuses alimentaires.

Légumes secs moulus

L'amélioration des méthodes mécaniques traditionnelles pour la mouture et pour le décorticage des légumes secs, avec ou sans cassage, constitue un domaine fondamental de la recherche appliquée, comme en font foi la consommation et l'utilisation importantes des

légumineuses ainsi préparées. Les légumes secs entiers décortiqués et les légumes secs cassés (*dhal*) représentent un important apport de protéines dans le régime alimentaire des habitants des régions tropicales semi-arides. Le tableau 18 présente les variétés de légumes secs courantes en Inde.

Pratiquée à l'échelle familiale, la mouture des légumes secs représente aussi une des plus importantes industries de transformation en Inde (10 000 moulins commerciaux dont la capacité de production quotidienne varie de 1 à 50 tonnes). On voit donc la nécessité de mener des recherches en vue d'améliorer le système. Les efforts se sont récemment concentrés sur la mise au point d'une méthode qui reposerait sur un procédé systématique et normalisé pour l'ensemble des opérations de mouture.

Comme nous l'avons dit plus haut, le principal défaut des méthodes traditionnelles de mouture est leur faible rendement en *dhal* de qualité, ceci à cause des pertes élevées qu'entraîne l'émiettement (côtés écornés, miettes, poudre). Il en résulte d'importantes pertes d'aliments et aussi des pertes financières considérables, puisque le *dhal* brisé se vend moins cher que le *dhal* de première qualité. Kurien et alii (1972) sont d'avis qu'une méthode améliorée, donnant un rendement moyen en *dhal* de 10 à 15 % supérieur à celui des méthodes traditionnelles, pourrait permettre de disposer de 1 ou 1,2 million de tonnes supplémentaires de légumineuses, ce qui représente 300 000 tonnes de protéines.

Un coup d'oeil sur les problèmes et les défauts de la mouture traditionnelle révèle que les facteurs qui causent le plus de problèmes sont le pré-conditionnement et l'outillage. La méthode qui consiste à pré-tremper, puis à sécher les graines, demande à être normalisée, puisque divers facteurs y interviennent. Il n'y a pas de méthode normalisée pour déterminer l'absorption d'eau nécessaire et la quantité d'eau qu'il faut enlever avant de procéder à la mouture. C'est en quantités arbitraires qu'on ajoute aux graines huile, pâte de sable et eau. S'il y a trop d'eau les qualités de cuisson et de conservation se détériorent (Morris et Wood, 1956; Kurien et Parpia, 1968; Elias et alii, 1973). Qu'il faille s'en remettre aux conditions atmosphériques pour le séchage impose de sérieuses limites au rendement des opérations de mouture, sans compter qu'un séchage inégal peut causer des fêlures dans les graines qui pourraient par la suite s'émietter et s'écorner.

Les opérations de mouture, à savoir le décortiquage et le cassage, peuvent s'effectuer à

l'aide de la machinerie conventionnelle: *chakkis* (décortiqueuses à disques, avec garniture d'émeri ou de pierre). Le décortiquage et le cassage se font habituellement en même temps, mais quand on ajoute de l'eau aux graines entières décortiquées avant de les casser, on procède généralement en deux étapes (méthode sèche). D'un autre côté, quand on les fait légèrement sécher au soleil pour détacher l'enveloppe et qu'on les moule ensuite avec les rouleaux, le cassage se fait en même temps (Kurien et Parpia, 1968). Le *chakki* est mieux adapté au cassage des légumes secs si on utilise la méthode humide.

Une broyeuse variable qui se prête autant au décortiquage qu'au cassage des légumes secs a joué un rôle direct dans les recherches sur les défauts des procédés traditionnels de mouture, insuffisances qui tiennent des propriétés physiques et chimiques des graines. Au cours de recherches préliminaires, Kurien et Parpia (1968) ont découvert que la mouture répétée des graines non décortiquées entraîne davantage d'émiettement et de pertes, et aussi que l'inégalité de la pression exercée sur chaque graine a comme résultat un décortiquage incomplet, un frottement et une abrasion plus importants, et l'écornement des graines. En outre, l'humidité nuit à un bon décortiquage. Les graines sèches se décortiquent plus facilement, tandis que, pour le cassage, les graines traitées à l'eau donnent un meilleur rendement. S'il se produit une certaine contraction de l'enveloppe et de l'endosperme pendant le séchage, ces changements sont probablement dus à la nature et à la quantité des gommages et des mucilages des graines. Le séchage diminue la viscosité des gommages et leur aptitude à retenir l'humidité (Kurien et Parpia, 1968).

Les décortiqueuses employées ne traitent pas de façon uniforme toutes les graines: les grosses graines sont écrasées tandis que les petites en sortent intactes. L'absence d'un système de classification des graines selon leur grosseur accentue le problème. L'Institut central de recherches technologiques pour les aliments (CFTRI) de Mysore a donc mis au point des méthodes et des machines améliorées pour obtenir un système de mouture efficace, uniforme et économique pour les légumes secs. Le principe du pré-traitement (conditionnement) est de retirer l'eau de l'enveloppe pour en faciliter l'enlèvement. Pour obtenir le bon degré d'humidification et pour qu'il soit uniforme, on expose les graines à l'air chaud (environ 300 °C) pendant plusieurs minutes, ce qui détache l'enveloppe et la rend friable. La seconde étape

du procédé fait appel à des décortiqueuses qui enlèvent les enveloppes par abrasion dans des rouleaux à garniture de pierre. La pression abrasive, l'alimentation et la sortie peuvent s'ajuster pour convenir aux différentes variétés de légumes secs. Les rapports affirment que si les graines sont bien conditionnées un seul passage dans la décortiqueuse peut assurer un enlèvement presque complet des enveloppes (99,5 %) avec une usure minimale des couches périphériques des graines. Une fois décortiquées (environ 65 %), les graines entières peuvent être transformées en *dhal* par un système déterminé contrôlé. Le rendement obtenu dépasserait d'environ 10 à 15 % celui des méthodes commerciales traditionnelles (Kurien et alii, 1972). On trouvera dans le tableau 19 le rendement moyen en *dhal* des différentes légumineuses selon les diverses méthodes utilisées.

La méthode améliorée de mouture mise au point par le CFTRI comporte des avantages évidents. L'augmentation du rendement fournit des quantités supplémentaires importantes de protéines alimentaires. Il y a réduction considérable du temps de transformation et les coûts sont moindres (essai de l'usine pilote: 5,05 Rs contre 7 Rs par 100 kg). Aussi, ne pas dépendre des conditions climatiques est un avantage important quand on songe aux pertes qu'entraîne le séchage au soleil (qui est incomplet, une seule épaisseur de graines pouvant être séchée à la fois), les manipulations supplémentaires des graines et les ravages causés par les oiseaux et les insectes.

Des études, qui se poursuivent d'ailleurs toujours, ont montré que la nature des gommages situées entre l'enveloppe et l'endosperme peut modifier l'adhérence de l'enveloppe et que leur quantité peut modifier la durée et l'intensité requises pour le traitement préliminaire (Kurien et Parpia, 1968). On a autorisé des études plus poussées sur l'aptitude de ces gommages à retenir l'eau et sur l'incidence de celle-ci au niveau de la mouture des légumes secs. La mise au point de méthodes améliorées pour obtenir davantage de légumes secs moulus (et de *dhal*) de qualité supérieure pourrait avoir un effet favorable sur l'offre et l'utilisation de légumineuses alimentaires dans les pays en voie de développement.

Légumineuses décortiquées

Au laboratoire régional des Prairies du Centre national de recherche du Canada, le CRDI subventionne un projet sur le traitement des légumineuses alimentaires dont le but est de

mettre au point un procédé mécanique de décortication simple et efficace. Les autres étapes de la transformation des légumineuses décortiquées comprennent la mouture dans des moulins à marteaux et le tamisage; ces opérations visent à produire des farines utilisables aussi bien pour la préparation de plats traditionnels que nouveaux.

Les implications nutritionnelles d'un décortication efficace des légumineuses sont évidentes, puisque la haute teneur en fibre (cellulose) de l'arille (environ 50 %) influe sur la digestibilité et l'utilisation des protéines. L'effet nuisible de la fibre sur la digestibilité des légumineuses serait en effet dû soit à une progression plus rapide des légumes secs cuits dans l'appareil digestif, soit à une résistance à l'hydrolyse des protéines par les enzymes gastro-intestinales (Bressani et alii, 1973).

D'autre part, le tégument peut donner un goût amer et une vilaine couleur aux farines de légumineuses. Les polyphénols (ou tanins) se trouvent en abondance dans les végétaux et c'est à eux que divers produits, comme le thé, doivent leurs propriétés astringentes. Un rapport récent affirme que des polyphénols sont présents dans les pois chiches et en particulier dans ceux dont l'arille est violette, brune ou marron (Hulse, 1975). Ce même rapport insiste sur certains faits démontrant que les polyphénols sont des éléments antinutritifs. Mais le mécanisme biochimique par lequel ils interviennent dans le métabolisme des protéines demeure inconnu.

Une étude sur les préférences des consommateurs, menée dans la province Nord-Est du Nigeria à Maiduguri, a montré la nécessité de mettre au point un système défini de mouture des légumineuses. Comme le soulignent Steckel et Ewanyk (1974), les légumes secs sont achetés en petites quantités par les ménages qui les transforment eux-mêmes. Le décortication, long et pénible, est toujours pratiqué selon la méthode traditionnelle par les femmes. La transformation des graines en farine, par contre, se fait presque exclusivement dans les petites meuneries locales. Une tendance à l'urbanisation, que traduit l'usage croissant des farines emballées pour la préparation des principaux mets traditionnels, montre qu'on passe aux aliments préparés. D'autre part, les aliments non traditionnels à base de farine préparée occupent une place de plus en plus importante dans les habitudes alimentaires des Nigériens, comme en témoigne par exemple le pain, qui devient un aliment populaire pour le petit déjeuner.

L'élaboration d'un système de mouture qui convienne à la préparation des farines de légumineuses constitue une étape logique pour en accroître la consommation. Passer de la transformation artisanale à la transformation mécanique pourrait avoir une influence déterminante sur la mise au point d'aliments à base de légumineuses semblables à ceux que donnent les céréales, puisqu'il serait possible de contrôler les quantités de farines de légumineuses mises sur le marché.

Des travaux de recherche portant sur le décortiquage des légumineuses à l'aide d'un équipement simple se sont penchés sur l'efficacité, un niveau de l'enlèvement de l'enveloppe, de cet équipement. Ils se sont concentrés sur la mise au point d'une méthode efficace qui enlèverait le maximum d'enveloppes en réduisant au minimum les pertes de cotylédons. Il était important que l'application de cette méthode n'affecte pas la nature physique ou chimique du cotylédon au point que ses propriétés nutritives ou fonctionnelles en souffrent.

En comparant trois décortiqueuses, à savoir un moulin fonctionnant sur le principe du frottement, une perleuse à orge et une batteuse à céréales, on a constaté que les deux derniers appareils, qui sont en fait des appareils à perler, étaient les plus efficaces pour le décortiquage du sorgho et du millet. Des études portant sur la batteuse à céréales George O. Hill indiquent que celle-ci pourrait être efficace pour le décortiquage des niébés nigériens.

La batteuse Hill est composée de 13 disques en carborundum de 12 pouces de diamètre tournant en sens inverse des aiguilles d'une montre à une vitesse qui peut atteindre 900 rpm. La force centrifuge projette donc hors du centre des meules les graines introduites et la rotation des meules pousse les graines à l'intérieur de la perleuse. C'est par le frottement des grains contre la meule que s'effectue le décortiquage. Les couches extérieures du tégument s'enlèvent successivement et la quantité enlevée dépend du débit et de la durée de l'opération.

Parmi les modifications apportées à la batteuse Hill, on note l'addition d'un cribleur et d'un aspirateur pour enlever les parcelles de tégument. On a aussi ajouté une trémie à l'entrée et un déversoir à la sortie pour assurer un fonctionnement plus régulier de la machine.

On a eu recours à la réflectance pour mesurer l'efficacité du décortiquage. Pour ce faire, on a réduit en farine des niébés décortiqués et travaillés, pendant des périodes de temps différentes, par la batteuse Hill. Les mesures de

réflectance de la farine se sont faites à 450 nm avec une normale de référence d'oxyde de magnésium (OMg) sur un spectrophotomètre Hitachi Perkin-Elmer UV-VIS avec un dispositif à réflectance diffuse. On a placé la farine dans des cases en poudre de verre (22 mm X 10 mm) en la tassant au maximum. Un graphique qui compare ces mesures avec le pourcentage du grain qu'enlève le décortiquage mécanique indique le taux d'enlèvement de la couleur (Reichert et alii, 1974).

Les premières découvertes montrent que la batteuse peut décortiquer mécaniquement les niébés bruns du Nigeria, qu'il est ensuite possible de transformer en farine. Selon Reichert et alii (1974), à un débit approximatif (650 rpm) de 400 lb à l'heure avec enlèvement de 17 % du grain, on obtient une farine comparable à celle que donnent les niébés bruns décortiqués par la méthode traditionnelle (broyage et vannage manuels). Les mesures de réflectance pour les niébés décortiqués traditionnellement et pour ceux qui l'ont été mécaniquement (batteuse) ont donné respectivement 0,101 et 0,09, ce qui montre que le décortiquage mécanique est plus efficace. En faisant accélérer la meule (770 rpm), on peut pousser la production jusqu'à 500 ou 700 lb par heure. Pour obtenir un produit acceptable, il faut enlever 27 % du grain. Selon Singh et alii (1968), l'arille du niébé représente environ 11 % de la graine, tandis que celle du niébé du Nigeria n'en représente que de 3 à 5 %.

Dans les pays en voie de développement, il serait intéressant d'intégrer la décortiqueuse mécanique (batteuse Hill) au système rural de transformation des légumineuses. Elle pourrait constituer un élément important du système post-récolte en ce qui a trait à l'utilisation des légumineuses, puisqu'elle fournit des produits de consommation courante (légumes secs entiers décortiqués, légumes secs décortiqués et cassés, farines, recoupes, gruau). Comme c'est une méthode sèche, le risque de pertes dues aux microbes et aux insectes s'en trouve diminué dans une région tropicale. Il est possible de surveiller les différentes étapes de la transformation des légumes secs décortiqués en vue d'obtenir des produits uniformes. De plus, les graines entières ou cassées peuvent ensuite servir à la préparation au foyer de plats locaux. Un bon enlèvement des téguments a aussi l'avantage de réduire les pertes coûteuses de nourriture.

Un projet d'aide du CRDI, mené à l'Université de la Saskatchewan au Canada, étudie les changements chimiques, physiques et nutritionnels qu'entraîne le décortiquage mécanique des

niés avant leur transformation en farine. Les facteurs pertinents comprennent l'absorption d'eau et de matière grasse, la solubilité de l'azote et la qualité protéique. Il faut tenir compte de ces changements, puisqu'ils peuvent intervenir dans la préparation traditionnelle des aliments. Par une évaluation comparative des farines préparées traditionnellement et mécaniquement, on peut obtenir des renseignements importants qui permettront de juger dans quelle mesure ces farines sont acceptables et peuvent servir à la préparation de plats nouveaux ou traditionnels.

Légumineuses à cuisson rapide

Les recherches menées au Laboratoire régional de l'Ouest du ministère de l'Agriculture des Etats-Unis, en Californie, ont renouvelé l'intérêt qu'on porte aux fèves sèches entières en tant que sources importantes d'aliments économiques et nutritifs. Des recherches récentes se sont penchées sur la mise au point de méthodes pour la préparation de produits à cuisson rapide à base de légumineuses. Dans les pays en voie de développement, ces procédés revêtent une grande importance pour la consommation des légumineuses puisque la cuisson de ces dernières requiert moins de temps. Le produit obtenu possède des propriétés physiques, chimiques et nutritionnelles semblables ou supérieures (Rockland et alii, 1974) à celles du produit que donnent les procédés normaux à cuisson lente.

En parcourant les diverses études qui ont été faites sur les méthodes de cuisson rapide des légumineuses, on remarque que les premières recherches ont porté sur des techniques de base simples qui ont servi de tremplin pour les étapes suivantes. Esselen et Davis (1942) ont décrit un procédé pour la préparation des fèves au lard déshydratées, procédé qui a vu le jour pendant la guerre lors de la pénurie de boîtes de fer blanc. Il suit les principes de base de la recherche et du procédé de préparation des fèves au lard: après avoir fait tremper les fèves toute la nuit, on les rince et on les fait blanchir pendant trois minutes, puis on y ajoute une saumure assaisonnée et on les fait cuire au four pendant 6 heures à 350 °F. Après la cuisson, on place les fèves refroidies sur des plateaux dans un tunnel de déshydratation et on les fait sécher à 140 °F de 8 à 10 heures. Pour réhydrater les fèves, on y ajoute deux parties d'eau et on les laisse reposer pendant 1½ heure. Selon les chercheurs, la déshydratation convient bien à la conservation des fèves au lard.

Ce n'est que beaucoup plus tard que l'on s'est intéressé à la préparation des fèves précuites déshydratées qui se réhydratent lorsqu'on y ajoute de l'eau chaude (190-200 °F). Au cours d'études préliminaires, Feldberg et alii (1956) ont constaté qu'il faut 105 minutes pour obtenir des fèves bien cuites en les faisant bouillir à la pression atmosphérique, tandis que 20 minutes de cuisson à la vapeur sous pression (245 °F à 13 psi) donnent une fève dont la texture est satisfaisante. On avait d'abord fait tremper les fèves pendant 8 heures. Même si la pré-congélation est difficile à pratiquer dans les pays en voie de développement, cette méthode donne des fèves acceptables avec peu d'éclatement au cours de la déshydratation à basse humidité (170-190 °F) dans un déshydrateur à air. Le séchage à humidité élevée sans pré-congélation diminue l'éclatement, et les produits obtenus sont plus denses. Après une réhydratation de 10 minutes dans de l'eau presque bouillante, on obtient un produit granuleux.

D'autres recherches, menées dans le but d'éliminer l'étape coûteuse de la pré-congélation, ont été faites sur le séchage à humidité élevée des fèves préparées selon la méthode décrite plus haut (Dorsey et alii, 1961). Le problème majeur qui se présente au cours de la déshydratation (à l'air chaud) est le fendage, phénomène dû au fait que l'enveloppe et le cotylédon sèchent à une vitesse différente l'un par rapport à l'autre. Même si la méthode de déshydratation à humidité élevée n'est pas efficace pour réduire le fendage, l'étude a montré qu'il faut blanchir les haricots rouges 15 minutes avant de les faire tremper. Ce blanchiment présente l'avantage d'assurer une réhydratation complète des fèves et donne un produit qui se conserve mieux. Il laisse aussi entrevoir la possibilité d'une activité de la lipoxidase, qui peut entraîner une détérioration rapide du produit entreposé.

Par conséquent, la nouvelle méthode de préparation des fèves (de l'espèce *Phaseolus*) déshydratées à cuisson rapide (pois de l'Etat de New York, haricots rouges et haricots velus) implique, pour l'hydratation des fèves, un trempage dans l'eau (15 minutes), une précuisson à la vapeur, un enrobage et une déshydratation (Steinkraus et alii, 1964). On a découvert qu'un traitement préalable à la vapeur (15 minutes) n'améliorait en rien l'hydratation à température ambiante. Une hydratation d'une heure dans une eau chauffée à 210 °F est complète et donne d'aussi bons résultats qu'une hydratation de cinq heures dans une eau à température ambiante. Parce qu'il y a eu

cuisson dans la première étape de l'hydratation, les fèves ont continué d'absorber de l'eau tant que celle-ci est restée chaude. Les fèves hydratées ont été précuites à la vapeur dans un autocuiseur. Les fèves trempées dans une eau à température ambiante ont été précuites à 250 °F pour 90 minutes; la durée de la précuisson a été plus courte pour les fèves hydratées à une température plus élevée. Après la cuisson, on a plongé les fèves pendant cinq minutes dans une solution de saccharose à 160 °F, on les a égouttées, puis on les a déshydratées pendant deux heures dans une sécheuse (200 °F, débit d'air de 300 fpm) pour ramener la teneur en eau à 10 %. Une hydratation de 30 minutes dans de l'eau bouillante donne une texture tendre au produit. On peut faire varier les conditions de la préparation, l'hydratation durant de 30 à 90 minutes à 180 °F, suivie d'une précuisson allant de 30 à 90 minutes à 250 °F. Cette possibilité qu'on a de varier la durée et la température d'hydratation et de précuisson est due en grande partie à l'enrobage qui empêche les fèves de se fendre au cours des différentes étapes.

Une étude de Subba Rao et alii (1964) insiste sur le fait que la cuisson sous pression diminue considérablement le temps de cuisson pour les pois d'Angola et le *dhal* (soit d'environ 70 %). La quantité de solides dispersés constitue un indicateur d'évaluation du degré de cuisson. On

a aussi signalé que le fait d'ajouter certains sels, surtout du phosphate de trisodium et du carbonate d'ammonium, améliore les qualités de cuisson du *dhal*.

Des études plus récentes sur les fèves séchées à cuisson rapide ont porté sur la mise au point d'un traitement par vide intermittent (méthode Hydravac) dans une solution de sels inorganiques (chlorure de sodium, tripolyphosphate, bicarbonate et carbonate) (Rockland et Metzler, 1967) d'une durée allant de 30 à 60 minutes. On a adapté ce procédé à la préparation de diverses légumineuses à cuisson rapide, dont les pois du Cap (*Phaseolus lunatus*), les haricots communs (*Phaseolus vulgaris*) et les pois. Le procédé lui-même consiste à détacher l'enveloppe par le traitement à vide ou par le blanchiment à l'eau chaude ou à la vapeur. On plonge ensuite les fèves dans la solution de sels inorganiques. Le procédé Hydravac favorise la pénétration de la solution à travers le hile et les fissures des couches extérieures hydrophobes de l'arille. La solution imbibe la membrane intérieure et l'hydratation se fait ensuite très rapidement, l'arille atteignant son expansion maximale en quelques minutes. Les cotylédons sont contenus dans un bain uniforme hydratant et ils absorbent la solution rapidement. Le diagramme de la figure 4 illustre cette méthode de préparation des fèves.

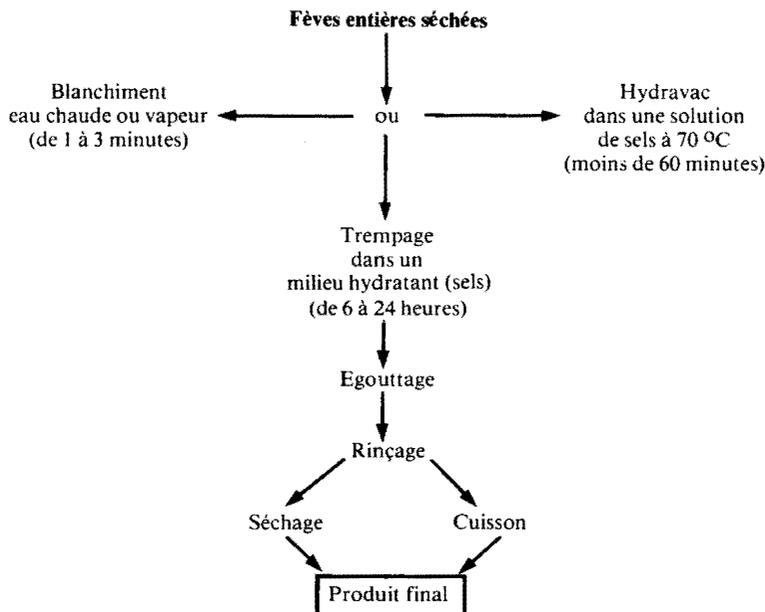


Fig. 4. Diagramme illustrant la préparation des fèves à cuisson rapide. Source: Rockland, 1974.

En décidant du milieu hydratant à utiliser, Rockland et Metzler (1967) ont admis l'existence d'un rapport entre la composition chimique des pois du Cap secs et leurs qualités de cuisson. Les différences qu'on remarque au niveau des qualités de cuisson des principaux tissus de la fève, l'arille et le cotylédon, pourraient être liées à l'importante quantité de fibre et au peu de protéines contenues dans l'arille. Par contre, les cotylédons renferment les mêmes éléments en proportions inverses. On a aussi cru que les protéines des légumineuses influent sur la texture et les qualités de cuisson des cotylédons. Le milieu hydratant a donc été conçu en vue de disperser ou de rendre solubles les matières protéiques. Les agents chélateurs des métaux (phosphates) ont permis de dissocier les éléments composés de métaux (calcium), de protéines et de sels. Le chlorure de sodium et les phosphates réduisent la durée de cuisson pour l'arille des fèves. Les carbonates déterminent le pH du milieu hydratant, qui est de 9 à l'origine. On a obtenu les meilleurs résultats avec une solution de sels dont la composition était la suivante: 2,5 % de chlorure de sodium, 0,25 % de carbonate de sodium, 0,75 % de bicarbonate de sodium et 1 % de tripolyphosphate de sodium. Après ce traitement, on obtient un produit (8,5-10,5 % d'humidité pour les pois du Cap) dont le fendage et l'éclatement sont réduits au minimum si on fait sécher les fèves pendant 24 heures sous un conduit d'air dont la température est inférieure à 140 °F. Le principal avantage de cette méthode de cuisson rapide est qu'on peut réhydrater les fèves séchées et les faire cuire en 15 minutes, ce qui représente une économie de temps de plus de 80 % pour une cuisson durant de 1 à 3 heures. De plus, une fois apprêté, le produit a un aspect et une saveur agréables, et sa valeur nutritive est égale à celle des fèves non traitées (Rockland, 1974).

Kon et alii (1973) signalent la mise au point d'une méthode mécanique peu coûteuse pour la préparation des fèves à cuisson rapide (petites fèves blanches de Californie, haricots communs). On fait le décorticage des fèves à l'aide d'une perleuse à orge et à blé Ce-Co-Co (fondamentalement un rotor conique en carborundum qui tourne à l'intérieur d'un écran à rainures. Une fois les fèves débarrassées de leur enveloppe, 73 % des fèves sont entières et 16 % cassées. En faisant cuire les fèves décortiquées trempées (pendant une nuit), on obtient une réduction du temps de cuisson de 26 %; avec les fèves non trempées, cette réduction est de l'ordre de 42 %. Après la cuisson, presque toutes les fèves sont fendues, ce

qui accélère la cuisson. Le décorticage n'a pas modifié la qualité nutritive des fèves, comme en font foi l'indice de la valeur protéique et la teneur en vitamines solubles dans l'eau (thiamine, niacine, pyridoxine et acide folique).

Poudres de légumineuses

Une partie des recherches que les Américains ont menées au Laboratoire régional de l'Ouest portait sur la mise au point de farines de légumineuses précuites en vue de donner aux fèves séchées (de l'espèce *Phaseolus*) une forme solide et pratique qui puisse être utilisée dans les aliments prêts à servir. La forte teneur protéique et le coût relativement bas des graines de légumineuses ont davantage mis en relief ces derniers temps l'importance de la poursuite des recherches sur la préparation des poudres de légumineuses.

Si on songe à leur importance pour les pays en voie de développement, les méthodes de base pour la préparation de poudres de légumineuses pourraient, tout d'abord, stimuler la consommation des légumineuses à tous les niveaux de la population, particulièrement chez les plus favorisés. C'est ainsi que les légumineuses alimentaires, qu'on considère comme des aliments pour les pauvres, parviendraient à être acceptées par le peuple en général. Même si on a effectué relativement peu de recherches dans ce domaine, les premières découvertes sont de nature à justifier un intérêt plus poussé dans cette méthode de transformation des légumineuses.

Au début, la préparation des poudres instantanées de fèves relevait de trois méthodes fondamentales de préparation. Dans l'étude qu'en fait Copley (1974), on voit que la première (a) ne comporte que trois étapes, à savoir, le trempage des fèves entières, la cuisson, qui les réduit en purée, et le séchage de cette purée dans un appareil à tambour. Suivant la deuxième méthode (b), on réduit les fèves entières en une poudre fine à l'aide d'un moulin et on mélange immédiatement cette poudre à une solution d'acide chlorhydrique pour inactiver les enzymes qui donnent un goût amer aux fèves. Après cinq minutes de cuisson, on neutralise cette purée en y ajoutant de l'hydroxide de sodium, puis on la fait cuire à nouveau jusqu'à ce qu'elle soit agréable au goût. Le produit obtenu après séchage dans un tambour possède une saveur douce et peut donc être utilisé dans la préparation d'aliments cuits au four et d'autres mélanges alimentaires. Une troisième méthode (c) de fabrication de poudres de légumineuses

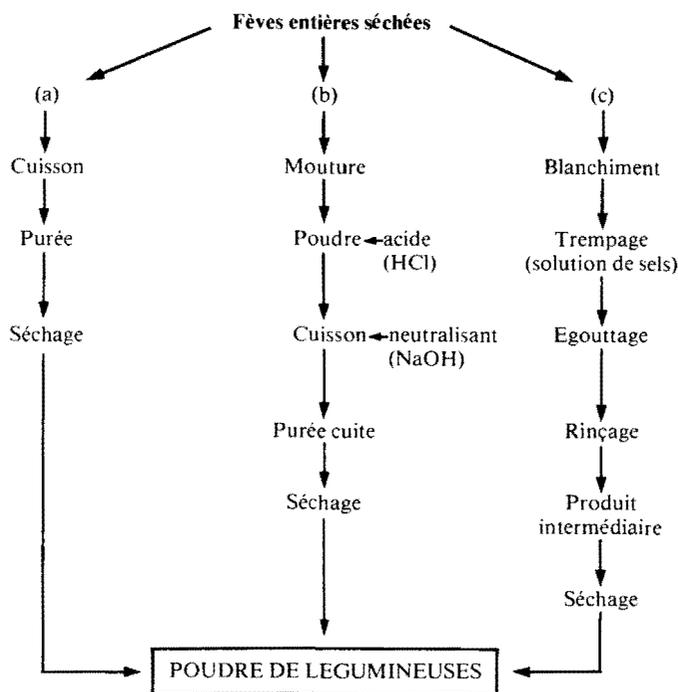


Fig. 5. Diagramme illustrant les trois méthodes de préparation des poudres instantanées de légumineuses.

est née récemment d'un procédé de préparation des fèves à cuisson rapide, procédé selon lequel on fait sécher et cuire un produit intermédiaire (des fèves entières blanchies et trempées) pour ensuite le réduire en poudre. Ces trois méthodes donnent des poudres de fèves qui se prêtent bien à une hydratation rapide. La figure 5 donne une excellente explication de ces trois méthodes.

On a utilisé ces procédés pour préparer des poudres de haricots communs (*Phaseolus vulgaris*), de pois et de lentilles. Selon Kon et alii (1974), la saveur des légumineuses dépend en grande partie de la méthode de cuisson, plus précisément du maintien de l'intégrité des cellules. En d'autres mots, quand la cuisson des poudres préserve l'intégrité des cellules, la saveur originale demeure la même. Par contre, si le broyage brise la plupart des cellules des légumineuses crues pour en libérer le contenu, le goût après cuisson ne sera pas celui auquel on s'attend.

La préparation de poudres à saveur douce est importante, si on veut les utiliser dans divers produits alimentaires. Ici, on pense aussi bien aux nouilles traditionnelles et aux produits de boulangerie qu'aux "snacks" ou aliments d'appoint.

Kon et alii (1974) ont mené une étude sur la préparation de poudres de petites fèves blanches de Californie et de haricots communs à l'aide de deux procédés différents qui modifient la nature cellulaire et les propriétés physico-chimiques du produit final. Pour fabriquer des poudres ordinaires ou "à cellules entières", on a fait cuire pendant une heure des fèves entières qui avaient trempé toute la nuit, et pendant 2 heures des fèves qui n'avaient pas subi l'étape du trempage. Les légumineuses cuites ont été réduites en purée dans un désintégrateur et séchées dans un tambour. Pour préparer les poudres acidifiées ou "à cellules brisées", on a d'abord finement moulu les légumineuses crues. En y ajoutant une eau acidifiée (HCL) on a obtenu une purée dont le pH était d'environ 3,5. Après une cuisson de 15 minutes avec agitation vigoureuse, on a neutralisé la purée en y ajoutant de l'hydroxyde de sodium puis on l'a fait sécher. On réduit ensuite en poudre les flocons.

Les poudres acidifiées forment des flocons plus fermes et elles sont plus grosses. On y trouve davantage d'amidon pré-gélatinisé extracellulaire. En outre, la poudre est complètement gélatinisée et la plupart des amidons sont

libérés. Le broyage des flocons augmente la densité des deux préparations. La purée acidifiée, elle, est très visqueuse, même à faible concentration. Ce sont là des propriétés physico-chimiques qui ont un rapport direct avec l'utilisation prévue pour les aliments.

La même étude se penchait sur les propriétés nutritives des deux poudres, qu'on a fait cuire pendant des durées égales de temps. Les deux poudres ont la même valeur protéique et la même digestibilité, celles-ci étant inférieures à celles de la caséine, mais pouvant être portées au niveau de celle-ci en y ajoutant de la méthionine (0,6 %). Pour l'ensemble des produits à base de fèves, la digestibilité est de 93 % et l'indice de valeur protéique varie entre 1,39 et 1,47.

Ces deux poudres commerciales sont non-hygroscopiques et faciles à utiliser, puisqu'elles se reconstituent bien dans l'eau chaude. La purée traitée à l'acide demande une cuisson moins longue (15 minutes au lieu de 45) tout en offrant les mêmes qualités nutritives. Si on la compare à la poudre ordinaire, la poudre acidifiée se réhydrate plus lentement à cause de l'amidon gélatinisé. Toutefois, les premières études indiquent qu'on peut l'entreposer plus longtemps (environ 12 mois, au lieu de 4 pour la poudre ordinaire). Les études en cours montrent qu'il est possible de fabriquer des poudres instantanées à partir d'autres légumineuses, dont les fèves des marais (*Vicia faba*) et les pois du Cap (Kon et alii, 1974).

Miller et alii (1973) donnent des renseignements supplémentaires sur les qualités nutritives des poudres instantanées de fèves (*Phaseolus vulgaris*). On a comparé les teneurs en vitamines des poudres de fèves ordinaires et acidifiées. La teneur en thiamine de la poudre traitée à l'acide est inférieure d'environ 10 % à celle de la poudre ordinaire, tandis que sa teneur en niacine lui est supérieure d'environ 20 %. Pour ce qui est de la teneur en pyridoxine, elle est à peu près la même pour les deux catégories de poudres.

Concentrés protéiques de légumineuses

Agglomération — La préparation d'agglomérats de farine de céréales a été présentée comme une méthode de base traditionnelle pour apprêter le couscous, plat coutumier de l'Afrique du Nord. Cuit, il se présente sous forme de petits grains qui ont l'apparence du riz et qu'on obtient en faisant cuire à la vapeur les agglomérats de farine préalablement séchés. Les recherches visant à accroître la valeur nutritive du couscous se sont récemment intéressées à

cette méthode en vue de l'appliquer à la préparation d'agglomérats de farine de légumineuses. A l'Université du Kansas, on a fait une étude approfondie (Gainor et alii, 1971) sur la valeur nutritive de couscous auquel on a ajouté de la farine de fèves des marais (*Vicia faba*) et de pois chiches afin de voir comment cet apport de protéines modifiait les propriétés nutritives et organoleptiques et les facilités de transformation du produit. Les farines de blé dur (extraction: 70, 85 et 95 %) ont servi de base céréalière pour les suppléments protéiques de légumineuses.

Dans cette étude, la méthode d'agglomération illustre les principes de base de ce procédé, à savoir la dispersion d'une farine légère dans une atmosphère humide ce qui a pour résultat de mouiller la farine et de former du gluten adhésif sur les particules de farine. On a aggloméré la matière première avec de l'eau dans un mélangeur et on a séparé les particules agglomérées à l'aide d'un tamis pour ensuite les faire sécher pendant 20 heures dans un four à air sous pression à 50 °C, avec ou sans un traitement préalable de 7 minutes à la vapeur. On a constaté que la quantité d'eau ajoutée à la farine est déterminante, puisqu'un excès de celle-ci entraîne la formation de particules trop grosses qui se collent ensemble et se séparent mal dans le tamis. Par contre, si la quantité d'eau ajoutée est inférieure à celle qui convient (tel que requis pour la formation des particules), la farine s'agglomérera lentement et les particules ne pourront atteindre la grosseur désirée. De plus, la vitesse à laquelle on ajoute l'eau a de l'importance. Si on le fait trop vite, celle-ci ne se répartit pas uniformément parmi les particules de farine; on obtiendra ainsi des particules agglomérées inséparables. Si on ajoute l'eau lentement, le seul inconvénient est qu'il faut plus de temps pour préparer le couscous. Pour ce, on place le couscous séché dans un morceau d'étamine qu'on passe alors à la vapeur pendant 20 minutes. Il faut agiter et aérer le couscous pour ensuite le laisser reposer plusieurs minutes. Cette opération doit être faite trois fois en tout.

Galle (1968) décrit un procédé pour la préparation à grande échelle d'une farine fine à forte teneur protéique, normalement obtenue par le fractionnement pneumatique des farines de céréales lors de la mouture. Cette farine étant difficile à manipuler à cause de sa faible fluidité, Galle propose d'en tirer un concentré à l'aide d'un agglomérateur mécanique. On procéderait ensuite à une addition contrôlée de particules agglomérées aux farines moulues. Lors d'essais, le blé a donné une farine fine dont la teneur en

protéines variait entre 18 et 23 %. On pourrait, de la même façon, préparer des concentrés de légumineuses à forte teneur en protéines avec de la farine de légumineuses finement moulue. Ces concentrés pourraient être utilisés pour la préparation de mets traditionnels ou d'aliments nouveaux.

Fractionnement pneumatique — Le Laboratoire régional des Prairies, au Canada, a récemment mené des recherches sur des techniques manufacturières pour la préparation d'un concentré protéique de pois de jardin (*Pisum sativum*). C'est par le fractionnement pneumatique qu'on tire le concentré protéique de la farine de pois. Ce procédé donne un produit qui contient environ 60 % de protéines. La farine de pois est obtenue en faisant broyer mécaniquement les pois entiers ou décortiqués. Cette farine contient environ 23 % de protéines (Laboratoire régional des Prairies, 1974).

Le concentré protéique ainsi obtenu possède une importante valeur nutritive, tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif. Pour obtenir un concentré protéique par fraction-

nement pneumatique, il faut d'abord réduire les farines de légumineuses en une farine très fine. Cette méthode prévoit un classement de la farine au moyen d'un cyclone. Si on peut réaliser la concentration des protéines par cette méthode, c'est parce que les granules d'amidon (hydrate de carbone) et les particules renferment des protéines qui diffèrent par leur grosseur, leur forme et leur densité. Dans cette farine finement moulue, ce sont les particules lourdes qui renferment l'amidon, tandis que les particules fines contiennent les protéines. Le fractionnement des protéines se produit quand on emploie des forces centrifuge et centripète qui s'opposent. La force centrifuge attire les particules auxquelles s'oppose un courant centripète. Les particules lourdes (amidon) prennent donc une direction opposée à celle des petites particules riches en protéines. Comme les farines de légumineuses contiennent des granules d'amidon relativement gros, le fractionnement pneumatique est un procédé pratique pour la concentration des protéines. Des études pilotes ont révélé que de la farine de pois

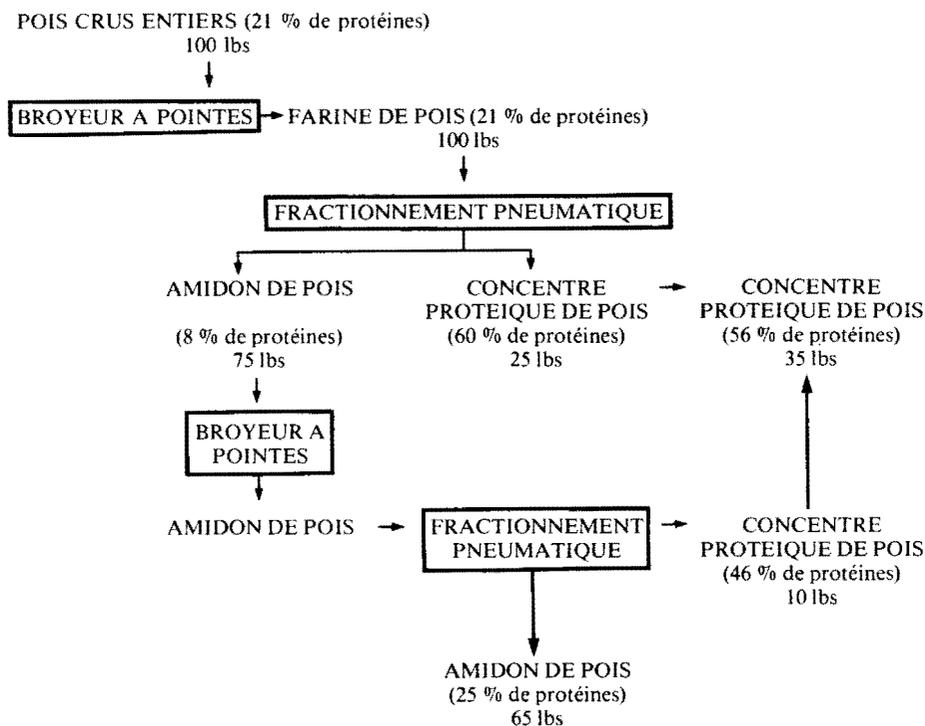


Fig. 6. Diagramme illustrant la préparation de concentrés protéiques de pois par le fractionnement pneumatique.

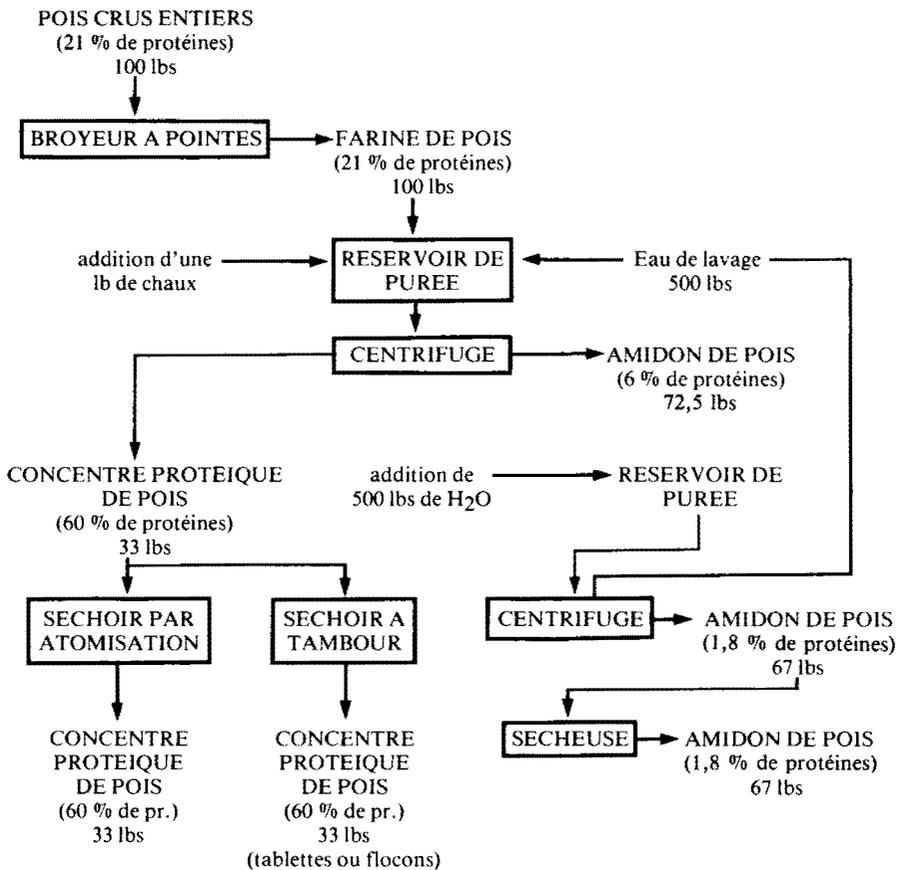


Fig. 7. Diagramme illustrant la préparation de concentrés protéiques de pois par centrifugation de la purée.

contenant 21 % de protéines a donné 25 % de mouture fine (concentré protéique de pois) dont la teneur en protéines était de 60 %, tandis que la mouture grossière (amidon) en contenait environ 8 %. Une deuxième mouture a donné 10 % de concentré protéique supplémentaire mais la teneur en protéines de celui-ci était légèrement plus faible (46 %). La figure 6 représente un diagramme qui illustre le fractionnement pneumatique.

Centrifugation des purées — Le Laboratoire régional des Prairies a aussi mené des recherches sur la fabrication de concentrés protéiques de pois par la centrifugation de la purée. Suivant cette méthode, on mélange une partie de farine avec cinq parties d'eau; on y ajoute ensuite de la chaux afin d'en porter le pH à 9 environ. La centrifugation produit une substance surnageante riche en protéines et des solides d'amidons. En traitant cette substance par atomisation ou dans un séchoir à tambour,

on obtient un concentré dont la teneur en protéines est d'environ 60 %. On peut par la suite broyer ce concentré jusqu'à ce qu'il ait la texture voulue. On prépare les amidons solides à partir de la fraction d'amidons (contenant environ 6 % de protéines) avec laquelle on fait une nouvelle purée (avec 5 parties d'eau) qu'on centrifuge; on sèche les solides d'amidons à 60 °C dans un four à air sous pression. La figure 7 décrit le procédé de centrifugation de la purée pour la préparation de concentrés protéiques de pois.

Le fractionnement pneumatique et la centrifugation de la purée peuvent aussi s'appliquer à d'autres légumineuses alimentaires. L'utilisation d'un équipement simplifié pour la préparation de ces concentrés, conformément aux principes de base établis, pourrait résulter en une consommation accrue des légumineuses alimentaires. Bien que la centrifugation soit une méthode sèche qui pourrait poser des problèmes

dans les pays tropicaux, la poursuite des recherches sur ce procédé et sur le fractionnement pneumatique (méthode par voie sèche) pourrait multiplier nos connaissances dans le domaine de la transformation des légumineuses.

Les concentrés protéiques de légumineuses peuvent être utilisés de maintes façons différentes, tant dans les plats traditionnels que nouveaux. On peut les mélanger avec des céréales pour la fabrication d'aliments pour bébés, de pâtes alimentaires et de produits cuits au four, dont le pain.

Précipitation — Il y a des siècles qu'on recourt à la précipitation pour fabriquer des concentrés protéiques à base de soja. L'utilisation d'eau chaude pour extraire les protéines du soja moulu et cuit (lait de soja) et la précipitation des protéines, réalisée grâce au calcium, constituent l'ancienne méthode de préparation des grumeaux de soja (tofu). Autrement dit, le concentré protéique de soja est la forme moderne des grumeaux de soja; ce produit, lorsqu'il est sec, contient environ 60 % de protéines.

Plus récemment, le travail de recherche a porté sur la préparation de concentrés protéiques de soja par extraction aqueuse des protéines au point iso-électrique, pour ensuite précipiter les protéines (Altschul, 1969). Cette technique bien éprouvée pour la préparation des concentrés protéiques de soja peut aussi servir à la préparation de concentrés à partir de différentes légumineuses alimentaires. On cherche aussi à adapter le procédé aux industries de petite échelle situées dans les pays en voie de développement.

Si on évoque d'abord la préparation par précipitation des isolats de protéines de soja, c'est pour illustrer les principes du procédé et les attributs nutritifs qui s'y rattachent afin d'étudier la possibilité de l'adapter aux légumes secs. Par définition, les concentrés protéiques de soja renferment de 60 à 70 % de protéines, alors que les isolats de protéines de soja n'en contiennent pas moins de 90 %. Mais on recourt à la même technique de base pour la fabrication des deux produits, à savoir, l'extraction des protéines solubles dans une solution aqueuse, et ensuite la précipitation. C'est la pureté des produits, pour ce qui est de la teneur en protéines et en fibre brute, qui impose la terminologie adoptée. Par conséquent, l'appellation "concentré protéique de légumineuses" s'applique aux produits à haute teneur protéique préparés par précipitation.

On prépare les isolats de protéines avec des fèves de soja nettoyées et décortiquées. Après

extraction de l'huile, on enlève les flocons de soja dégraissés à l'aide d'un milieu aqueux. On sépare ensuite mécaniquement le résidu insoluble de l'extrait qui contient les protéines solubles dans l'eau. On obtient la précipitation des principales globulines en ajoutant un acide, habituellement de l'acide chlorhydrique. On fait ensuite baisser le pH de la solution clarifiée à 4,5 (point iso-électrique), point auquel la solubilité des globulines est presque nulle. La protéine se sépare sous forme de petits grumeaux blancs divisés. On enlève les constituants solides, à savoir l'oligosaccharide, les peptides et les sels, de sorte que la protéine soit relativement pure. En règle générale, on neutralise les protéines concentrées avant le séchage, parce qu'on obtient ainsi une substance protéique qui offre l'avantage de se disperser dans l'eau (Meyer, 1970).

Une autre méthode de préparation des concentrés protéiques utilise la chaleur humide pour dénaturer et rendre insolubles les protéines présentes dans la farine de soja; on pratique ensuite un lavage à l'eau pour enlever les sucres et les autres composants mineurs. Wolf (1970) souligne que les propriétés physiques des concentrés protéiques de soja varient selon les méthodes de préparation. Par exemple, les concentrés préparés par lessivage à l'acide auront une teneur en protéines solubles plus forte que les concentrés obtenus par traitement à la chaleur. Cela s'accorde avec le fait reconnu que la dispersibilité de l'azote et la solubilité des protéines s'y rattachant peuvent être diminuées par un traitement à la chaleur. La figure 8 présente un diagramme de la préparation des concentrés protéiques avec des graines de légumineuses.

On a fait plusieurs recherches sur la séparation des protéines de graines de légumineuses. Pant et Tulsiani (1969) ont étudié l'isolement des protéines de *Phaseolus* (*vulgaris* et *mungo*) en vue d'établir des méthodes simples et efficaces applicables à toutes les légumineuses. Divers solvants extracteurs, dont le chlorure de sodium, solubilisent de 74 à 82 % de l'azote total, constitué principalement de globulines (environ 60 % de l'azote total) et d'albumines. Le pourcentage minimum de l'azote total extrait des graines de *Phaseolus* est réalisé à un pH variant entre 2,1 et 3,4 alors que seulement 15 à 22 % de l'azote total est extrait (principalement l'albumine). Dans le cas du *Phaseolus mungo*, seulement 35 % de l'azote total passe dans la solution du côté alcalin, tandis que, dans le cas du *Phaseolus vulgaris*, environ 80 % de l'azote total passe dans la

solution.

Comme le signalent les auteurs, on pourrait aussi isoler les protéines des fèves séchées en les extrayant par une solution d'alcalis au pH qui solubilise le pourcentage maximal de composants azotés, et en portant ensuite la solution au pH d'extraction minimale (acidification) pour isoler les protéines. Il faut toutefois souligner que le fait de traiter les fractions de protéines avec des solutions acides ou alcalines fortes en diminue la valeur nutritive. Donc, la plus simple et la meilleure méthode pour isoler les protéines des graines séchées est de les extraire par une solution de chlorure de sodium pour ensuite les précipiter en soumettant l'extrait à la dialyse. On peut aussi, au lieu de recourir à la dialyse, dénaturer les protéines par la chaleur.

Une étude sur l'extraction des protéines des haricots rouges (*Phaseolus vulgaris*) a montré qu'on peut améliorer l'extraction d'azote en augmentant la concentration de chlorure de sodium dans le milieu extracteur (Hang et alii, 1970). On a étudié la dispersibilité et l'isolement

des protéines de farines de légumineuses avec des fèves des marais (*Vicia faba*), des haricots rouges (*Phaseolus vulgaris*), des haricots velus (*Vicia radiata*), des pois (*Pisum sativum*) et des pois chiches (*Cicer arietinum*). De cette étude, Fan et Sosulski (1974) concluent que les protéines tirées des farines de haricots velus et de pois sont facilement extractibles à un pH de 2, ou supérieur à 7 lorsque l'azote a été extrait à 90 %. La solubilité de l'azote est faible au point iso-électrique apparent. Par comparaison, la solubilité de l'azote de farine est de plus en plus faible pour les fèves des marais et les pois chiches, dont le point iso-électrique apparent se situe entre pH 4 et pH 6. En général, un solvant d'extraction alcalin (0,2 % NaOH) est très efficace pour solubiliser l'azote de la farine, surtout celle des haricots velus, des pois, des haricots rouges et des pois du Cap. A un pH de 10, la dispersibilité de l'azote est pratiquement complète pour toutes les légumineuses à l'exception de la farine de pois chiches. Le rendement en concentrés protéiques (isolats) est

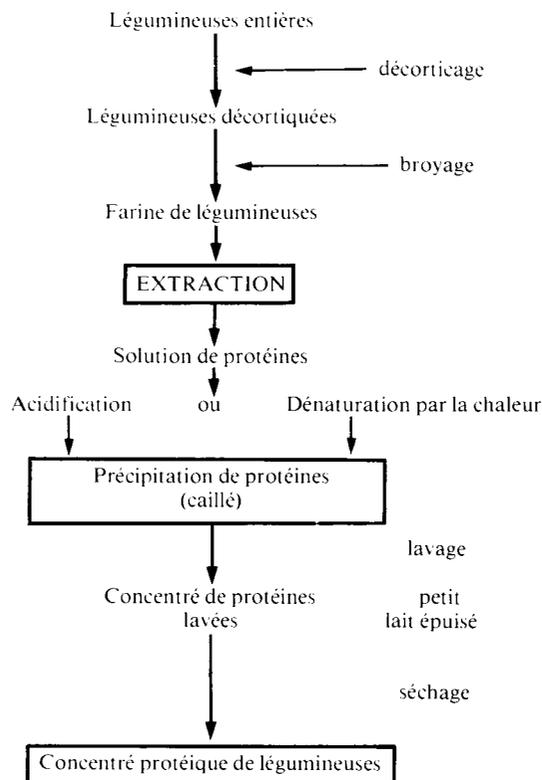


Fig. 8. Diagramme illustrant la préparation de concentrés protéiques de légumineuses par précipitation des protéines.

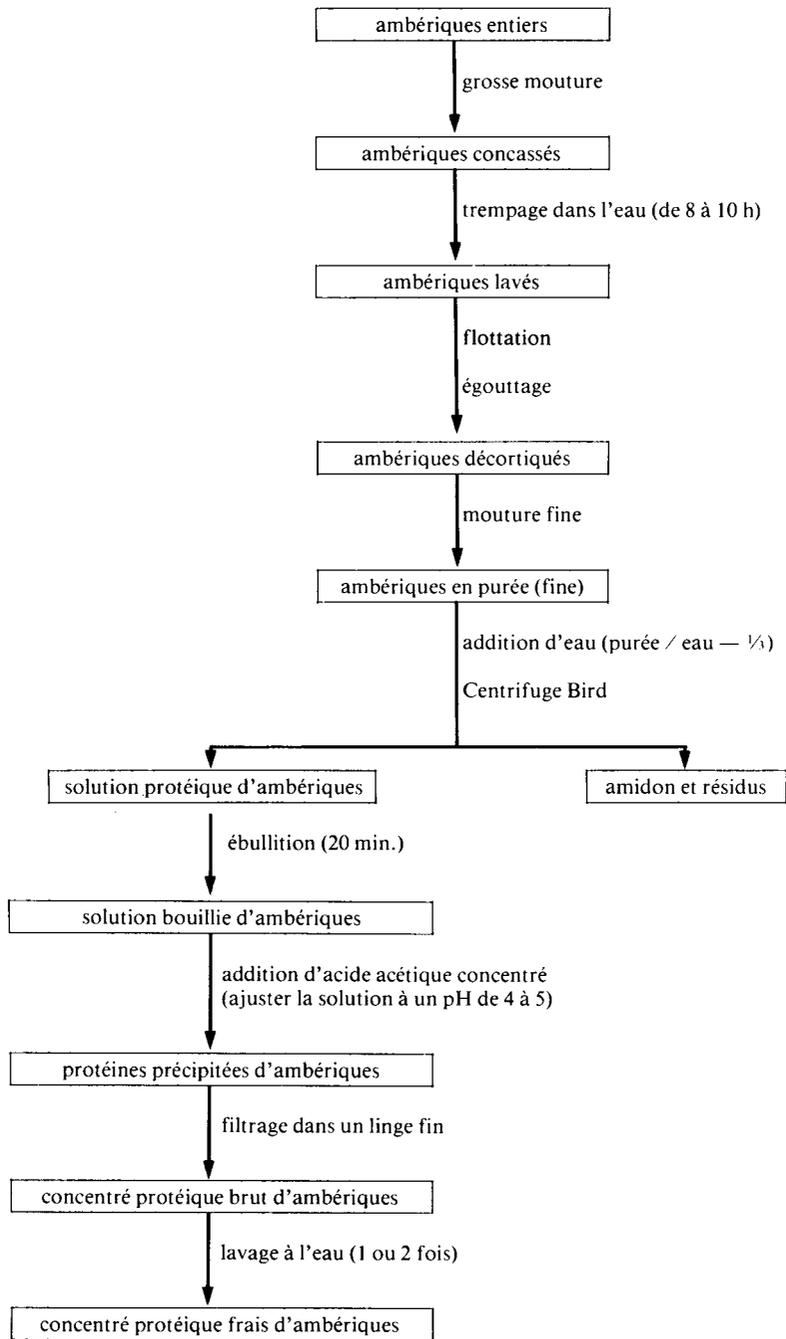


Fig. 9. Diagramme illustrant la fabrication de concentrés protéiques d'ambériques. Source: *Bhumiratana et Nondasuta, 1972.*

généralement proportionnel à la teneur protéique des légumineuses, qui va de 19 % pour les lentilles à 29 % pour les haricots blancs, mesuré à partir des farines. Seuls les concentrés de fèves des marais contiennent plus de 90 % de protéines. Mais il est possible de purifier davantage les isolats de haricots velus et de pois en les soumettant à des lavages supplémentaires. Il apparaît donc que les fèves des marais et les haricots velus sont les sources les plus prometteuses d'isolats de protéines.

Abordant la préparation des concentrés protéiques de légumineuses d'un point de vue plus pratique, l'Institut de recherche alimentaire et de mise au point des produits de Bangkok, en Thaïlande, a mis sur pied un projet visant à mettre au point un concentré protéique d'ambériques (*Phaseolus aureus*) en utilisant les techniques fondamentales d'isolement des protéines. Comme le montre le diagramme (figure 9), on fabrique les concentrés protéiques d'ambériques à partir de fèves entières suivant un procédé à étapes qui nécessite un équipement simple. C'est avec un moulin traditionnel qu'on prépare la purée d'ambériques, pour ensuite la soumettre à la centrifugation afin de séparer la solution protéique des résidus d'amidon. Pour précipiter les protéines, on acidifie la solution protéique soumise à l'ébullition. En faisant sécher l'isolat frais dans un four à air, on obtient un produit stable qui contient 78,9 % de protéines et 2,9 % d'humidité. L'eau bouillante permet de reconstituer le concentré qui, d'une texture riche comme celle de la viande, peut servir à la préparation de plats traditionnels (Bhumiratana et Nondasuta, 1972).

Ce procédé offre un double intérêt: premièrement, c'est une méthode pratique qu'on peut utiliser dans les petites industries alimentaires des pays en voie de développement; deuxièmement, c'est une méthode qui ressemble aux procédés traditionnels de fabrication des amidons d'ambériques à partir de farine grâce à l'extraction par voie humide. Dans la fabrication de concentrés protéiques d'ambériques, les amidons constituent donc un sous-produit.

L'amidon d'ambériques est utilisé couramment dans la préparation des nouilles orientales traditionnelles. On le prépare en transformant en purée les ambériques décortiqués. Après avoir ajouté de l'eau, on passe la purée dans un tamis fin (linge) pour en extraire la cellulose. On la laisse alors reposer pendant plusieurs heures sur des tables à amidon inclinées, où les amidons se déposent et l'eau s'écoule. On recueille alors le dépôt d'amidon qu'on fait sécher. Avec ce procédé, on peut recueillir l'eau, qui est en fait une solution de protéines, pour fabriquer des concentrés protéiques d'ambériques.

La fabrication de concentrés protéiques de légumineuses diverses par ce procédé ou par tout autre procédé mérite qu'on s'y arrête, parce qu'à la base on retrouve les procédés traditionnels de transformation des légumineuses. Ces concentrés ont de l'importance sur le plan nutritif, parce qu'ils sont riches en protéines et leurs propriétés physiques et chimiques permettent de les utiliser dans différents aliments. Ils peuvent servir à la préparation de plats traditionnels ou d'aliments nouveaux, et assurent ainsi un régime alimentaire plus riche en protéines.

Utilisation des sous-produits du conditionnement des légumineuses

Les sous-produits, qui résultent soit directement, soit indirectement du conditionnement ou de l'utilisation des légumineuses, ont une importante valeur économique, sociale et nutritive. Les principaux sous-produits, qui proviennent directement du conditionnement des légumineuses, sont les cosses obtenues par mouture et par décorticage, et l'amidon, obtenu à partir de l'extraction des protéines par fractionnement pneumatique ou centrifugation. Ces sous-produits sont des parties intégrantes de la plante elle-même. Appartiennent à ce dernier groupe, les branches, les tiges, la paille, les feuilles et les cosses, qui font partie de la plante légumineuse et servent à l'alimentation de l'homme ou des animaux.

L'analyse des diverses parties de la graine de plusieurs légumineuses a démontré que l'enveloppe ou cosse contient peu de protéines (7-11 %) et beaucoup de fibre (20-32 %) (Singh et alii, 1968). La valeur nutritive des enveloppes dans l'alimentation des ruminants est évidente. On donne les cosses de pois d'Angola (*Cajanus cajan*) au bétail (Kachroo, 1970). De plus, la mouture du pois d'Angola pour la préparation de *dhal* fournit jusqu'à 15 % de son volume en aliments pour bétail (Khare et alii, 1966). Les cosses en constituent la majeure partie à laquelle on ajoute la poudre et des fragments de pois d'Angola. Les sous-produits des pois chiches obtenus lors de leur mouture (*Cicer arietinum*) servent aussi à l'alimentation du bétail en Inde (Kurien et alii, 1968; Purseglove, 1968).

L'étude de la fabrication de l'amidon a été faite dans le chapitre traitant des légumineuses transformées selon les techniques nouvelles et améliorées. Dans la préparation de concentrés de légumineuses par l'extraction (et la précipitation) des protéines, le fractionnement pneumatique ou la centrifugation, la production d'amidon de légumineuses est un important facteur économique. On utilise, depuis toujours, la féculé d'ambériques (*Phaseolus aureus*) dans la préparation des nouilles à la chinoise. On peut aussi utiliser les fécules d'autres légumineuses dans la préparation d'aliments qui exigent ordinairement une féculé comestible. La

connaissance des propriétés physico-chimiques de ces amidons en ce qui a trait à leurs propriétés de gélatinisation, de gonflement et d'empâtage contribuerait grandement à en accroître l'utilisation dans les produits alimentaires.

Apparemment, peu d'études sur les fécules et les hydrates de carbone à faible poids moléculaire de légumineuses ont été faites. Lineback et Ke (1975) ont découvert que les teneurs en polyglucoside (fraction linéaire) des amidons de pois chiches et de fèves des marais (*Vicia faba*) étaient de 20,6 et de 29,3 % respectivement (calculs faits à partir de leur poids sec). Les teneurs correspondantes en amylopectine (fraction ramifiée) des amidons étaient de 73,2 et de 66,8 % respectivement. Les farines de légumineuses (extraction à 68-72 %) renfermaient environ 40 % d'amidon. Ces amidons ont gonflé en un seul temps pendant la gélatinisation. Les indices de viscosité-pâte chaude de Brabender étaient relativement stables pendant le brassage à 95 °C, ce qui révélait chez les granules une résistance au gonflement et à la fragmentation. Les températures d'empâtage (67-68,5 °C) des deux sortes d'amidon étaient supérieures à celles de 56 à 59 °C signalées pour la féculé de blé. Lineback et Ke (1975) ont d'autre part signalé une teneur de 8 % en hydrates de carbone à faible poids moléculaire dans l'amidon des légumineuses, dont le principal est le saccharose. On a trouvé des quantités moindres, mais relativement importantes de stachyose et de raffinose. Une étude de l'amidon du niébé (*Vigna sinensis*) a révélé des propriétés physico-chimiques semblables à celles de la féculé des légumineuses. Des études faites par Tolmasquin et alii (1971) ont révélé que l'amidon du niébé a une forte teneur linéaire (polyglucoside). De plus, les granules d'amidon de niébé ne gonflent que modérément lorsqu'ils sont chauffés à une température supérieure à celle de la gélatinisation et ont une grande résistance au cisaillement à 95 °C. La pâte, en se refroidissant, montre une grande viscosité, signe de rétrogradation. Scotch et Maywald (1968) ont constaté une teneur moyenne en polyglu-

coside de 30 à 40 % pour l'amidon des lentilles, des pois du Cap, des pois chiches et des haricots blancs. (Le rapport - en % - polyglucoside / amylopectine dans la féculé de blé est de 23 / 67.) L'amidon des pois du Cap a des propriétés semblables à celles de la féculé des céréales, c'est-à-dire, un renflement modéré des granules et une pointe d'empâtage assez faible. Par contre, et selon d'autres études, les granules de la féculé des lentilles, des pois chiches et des haricots blancs secs ont démontré un renflement et une solubilisation modérés, une viscosité stable de la pâte chaude sans pointe d'empâtage, et une résistance à la fragmentation mécanique.

Les propriétés physico-chimiques de l'amidon des légumineuses ont une incidence directe sur les nouvelles méthodes de conditionnement et d'utilisation des légumineuses. On a constaté que le volume des granules d'amidon des niébés était de 10 à 14 microns, tandis que ceux des granules des pois chiches et des fèves des marais étaient de 17 à 29 et de 17 à 31 microns respectivement (Tolmasquin et alii, 1971; Lineback et Ke, 1975). La taille des granules d'amidon est un facteur important en ce qui concerne le fractionnement pneumatique pour la séparation amidon / protéine. L'une des principales propriétés de l'amidon de plusieurs légumineuses, en ce qui a trait à leur utilisation dans l'alimentation et au développement du produit, est qu'il est possible d'obtenir des pâtes visqueuses et stables même avec de faibles concentrations d'amidon.

Les diverses parties des plantes des légumineuses peuvent fournir une source additionnelle

d'aliments pour l'homme et pour le bétail. Ainsi, on utilise les tiges séchées des pois chiches comme fourrage de même que les parties vertes de la plante du pois d'Angola et du haricot velu (*Phaseolus mungo*); les fèves des marais et les niébés sont également cultivés pour le foin et l'ensilage (Purseglove 1968). En Afrique orientale, on apprête les racines de niébés de la même façon que les patates douces (Purseglove, 1968).

En Inde, les tiges des plantes de pois d'Angola sont utilisées à diverses fins, depuis les travaux de vannerie jusqu'à la toiture. On utilise aussi les parties ligneuses de la plante comme combustible, et on fabrique du charbon avec la tige principale de la plante (Kachroo, 1970).

L'implantation à la campagne d'entreprises industrielles de conditionnement des légumineuses permettrait l'utilisation économique de leurs sous-produits comme aliments pour les animaux. De même, l'utilisation dans l'alimentation humaine de ce qui serait normalement un sous-produit, destiné aux animaux, pourrait être rendue possible par des techniques microbiennes modifiées. La conversion de déchets d'hydrates de carbone en protéines par la croissance de micro-organismes, en particulier de bactéries, de moisissures, et de levures, est semblable au simple procédé couramment employé pour la préparation d'aliments fermentés traditionnels. La production de protéines unicellulaires, à partir des substrats des résidus comestibles du conditionnement des légumineuses, mérite une attention particulière.

Résumé et conclusion

Cette étude du conditionnement et de l'utilisation des légumineuses démontre indiscutablement la possibilité d'accroître la consommation des légumineuses grâce à des techniques de conditionnement nouvelles ou améliorées. Il faudrait pour ce faire effectuer des études en vue de modifier les méthodes actuelles de conditionnement, de les adapter à plusieurs espèces de légumineuses, d'élaborer des techniques de conditionnement à la fois nouvelles et simples qui produisent des légumineuses conditionnées convenant aux modèles actuels de consommation des légumineuses.

Les aliments traditionnels, à base de légumineuses, obtenus par les méthodes actuelles de traitement sont énumérés dans le tableau 20. Nous voyons que la plupart des plats traditionnels peuvent être préparés à partir de plusieurs légumineuses. Le fait de présenter les légumineuses au consommateur sous différentes formes (entières, décortiquées, ou sous forme de farine) en augmenterait sans doute la consommation. Le décorticage mécanique par abrasion, puis la mouture et le tamisage, étudiés dans le présent rapport, pourraient jouer un rôle important en permettant aux gens de ces pays de se procurer, à bon compte, des légumineuses traitées.

On pourrait aussi préparer de nouveaux aliments à base de légumineuses, grâce à des nouvelles méthodes de conditionnement. Comme l'indique le tableau 21, les légumineuses se présentant sous forme de poudres pour préparations instantanées, de concentrés protéiques, et de farine, se prêtent à une grande variété d'utilisations. L'introduction de ces méthodes de transformation dans l'industrie alimentaire rurale susciterait une augmentation de la consommation des légumineuses.

De nombreuses études ont été entreprises sur la préparation d'aliments riches en protéines, à base de céréales et de légumineuses. Ces études ont porté sur des poudres alimentaires instantanées pour adultes et enfants, des boissons lactées, des boissons gazeuses, des soupes, des produits de boulangerie et des pâtes alimentaires (Weisberg 1972).

Le Bal Ahar, un aliment pour nourrissons, vendu couramment en Inde, est un mélange composé de 70 % de farine de céréales (blé ou maïs) et de 30 % de farine de légumineuses (arachides, pois chiches et haricots velus). Cet aliment a une teneur protéique de 22 % et un coefficient de rendement en protéines de 2,2 (la caséine ordinaire, 2,5). De plus, la confection de produits bon marché, riches en protéines et présentés sous forme de biscuits, connaît une faveur considérable (Parpia, 1969). En Algérie, en Egypte et en Turquie on a réalisé divers mélanges de farine de pois chiches, de fèves des marais, de lentilles et de céréales pour en faire des aliments instantanés en poudre pour nourrissons (Kapsiotis, 1969). Au Liban, le *Laubina*, un aliment pour nourrissons qui a une teneur protéique de plus de 15 % et un coefficient de rendement en protéines de 2,1 (comparativement à celui de la caséine ordinaire) a été fait à partir d'un mélange de farine de blé (70 %) et de pois chiches (30 %) (Tannous et alii, 1965). La malnutrition infantile, si répandue en Ethiopie, a orienté la recherche vers la mise au point de suppléments protéiques à base de farine de pois chiches, de pois et de céréales (Agren et alii, 1969). De même, au Pérou, on a utilisé de la farine de fèves des marais lors des premières recherches sur les suppléments protéiques à ajouter aux plats cuits au four, aux soupes et aux nouilles (Bacigalupo, 1969).

Recherches futures nécessaires

Un domaine de recherche qui attire beaucoup d'attention ces derniers temps est celui de la préparation de pain à partir de farines dans lesquelles un certain pourcentage de farine de blé serait remplacé par diverses farines de légumineuses. Ce mélange de farine de blé et de légumineuses s'appelle "farine mixte". De nombreuses recherches ont porté sur des pains faits de farines mixtes dans lesquels on trouvait notamment des concentrés et de la farine de soja. On a cependant négligé les autres légumineuses comestibles (Hulse, 1974). La

popularité croissante du pain dans plusieurs pays en voie de développement (FAO 1969) justifie des recherches plus poussées dans ce domaine.

L'utilisation de farines de légumineuses pour la fabrication du pain reçoit présentement l'appui du CRDI (Centre de recherches pour le développement international). On a poursuivi des recherches sur la technologie de la farine mixte, à partir d'une processus de panification mécanique à faible dépense d'énergie (Bushuk et Hulse, 1974; McConnell et alii 1974). La mise en oeuvre d'un système de boulangerie approprié pour la fabrication de pains contenant de la farine de légumineuses est un moyen d'en promouvoir l'utilisation dans les pays en voie de développement.

Les recherches futures sur le traitement et l'utilisation des légumineuses devront tenir compte de la nécessité de faire accepter ces dernières comme produits alimentaires nourrissants et faciles à préparer. Les domaines de recherche qui ont été négligés sont la qualité culinaire des légumineuses, les propriétés de leurs éléments constituants, les facteurs biochimiques associés à leur valeur nutritive et le rôle des hydrates de carbone des légumineuses dans la flatulence.

Il faudrait effectuer des études sur la composition chimique des légumineuses entières et de leurs enveloppes, pour pouvoir ensuite déterminer quelles sont les meilleures méthodes de cuisson. Il faudrait aussi trouver des méthodes qui permettraient de déterminer objectivement les qualités de cuisson des légumineuses. Il serait aussi intéressant de faire des recherches sur les haricots entreposés pendant un certain temps et dont la qualité diminue rapidement durant l'entreposage, amenant ainsi une baisse au niveau de la consommation. Une approche au problème (Académie nationale des sciences 1974), serait de mener une étude en vue *a*) de mettre en rapport les conditions d'entreposage (température, humidité relative, et durée) et les qualités de cuisson des graines de haricots de bonne qualité, et *b*) de déceler les modifications biochimiques dans les graines après la récolte. Cette recherche permettrait de découvrir les conditions physiques et chimiques susceptibles de prévenir les changements indésirables et d'accentuer ceux qui sont souhaitables.

En outre, il faudrait travailler sur les aspects agronomiques de la qualité culinaire des légumineuses. Dans une étude de ce genre, l'influence des minéraux du sol et des autres facteurs de l'environnement sur les qualités de

cuisson des légumineuses devrait être contrôlée. On pourrait peut-être essayer, par la suite, de modifier les pratiques traditionnelles de préparation culinaire.

Les propriétés des éléments constitutifs des légumineuses, particulièrement les protéines, les amidons et les lipides, nous renseigneraient sur les facteurs responsables des attributs sensoriels qu'il est souhaitable de trouver dans les produits alimentaires. Il faudrait trouver une façon systématique de reconnaître ces éléments constitutifs, et mener une étude de leurs propriétés physico-chimiques à partir de préparations alimentaires particulières de divers pays en voie de développement.

Pour identifier les facteurs non alimentaires présents dans les légumineuses, il faudrait procéder à encore d'autres recherches. L'absence, dans les légumineuses qui ont été cuites au point de détruire tous les éléments toxiques, de plusieurs acides aminés essentiels, porte à croire à la présence d'autres facteurs non alimentaires. Comme l'a déclaré l'Académie nationale des sciences (1974), notre principal souci devrait être la présence de facteurs qui nuisent à la protéolyse, leur identification et l'élaboration de méthodes de traitement qui les rendent inactifs ou les détruisent.

On a depuis longtemps associé la flatulence, ou formation de gaz stomacaux ou intestinaux, avec l'ingestion de différentes graines de légumineuses. On soupçonne la présence d'oligo-saccharides primaires, le stachyose et le verbascose, dans une grande variété de légumineuses dont les pois chiches, les niébés, les lentilles, les pois d'Angola et les pois du Cap. On a retrouvé dans les pois chiches et les pois d'Angola des pourcentages élevés de stachyose (2,5, 2,7 % respectivement) et de verbascose (4,1, 4,2 % respectivement) (Cristofaro et alii, 1974). A la suite de recherches préliminaires sur le conditionnement des légumes, on a proposé le trempage et le blanchiment comme moyens de diminuer éventuellement la teneur en oligo-saccharide. Une étude approfondie des diverses méthodes de traitement, dont celle-ci, pour éliminer la formation de gaz, la germination ou la fermentation (par exemple), serait justifiée.

Cristafaro et alii (1974) ont conclu que les sucres de la famille des raffinoses ne sont pas digérés à cause de l'absence de l'enzyme alpha-galactosidase. Ces grosses molécules d'hydrates de carbone entrent subséquemment en contact avec les bactéries du gros intestin, ce qui cause la formation de gaz. Il est évident que le stachyose et le verbascose sont responsables de la flatulence, mais ils n'en sont pas les seules

causes.

Le rôle des légumineuses dans l'alimentation des habitants des pays industrialisés est relativement petit. Ces graines pourraient cependant améliorer l'alimentation d'un nombre incalculable d'habitants des pays en voie de développement qui, autrement, seraient privés de tout

aliment à haute teneur protéique. A une époque où la population épuise tous les approvisionnements disponibles, la disponibilité et la consommation accrues de légumineuses comestibles devraient constituer un objectif important pour tous les spécialistes en agriculture intéressés au problème.

Tableaux

Tableau 1. Calories et protéines fournies par les céréales, les légumineuses et les noix dans l'alimentation des habitants des pays en voie de développement (pourcentages de calories et de protéines).

	Calories	Protéines
Afrique	58,5	61,3
Asie et Extrême-Orient	72,1	77,3
Amérique latine	47	54,8
Proche-Orient	67	72
Tous les pays en voie de développement	65,2	70,3

Source: FAO (1971c).

Tableau 2. Consommation quotidienne de protéines (en grammes) par tête, dans les principaux groupes de denrées.

	Céréales	Légumes, racines amylacés	Légumineuses et noix	Fruits et légumes	Viande, oeufs, poisson et lait	Total
Amérique du Nord	15,9	2,4	4,1	4,9	70,7	98,2
Amérique centrale	31,6	0,5	11,9	2	22,8	58
Antilles	21,4	3,3	8,3	2,2	22,8	58
Afrique	33,3	5,2	8,5	1,9	12,1	61
Proche-Orient	45,1	0,6	4,7	3,3	12,2	65,9
Asie méridionale	32,3	0,5	8,6	0,6	6,3	48,3
Chine	31,8	2,9	10,8	2,2	8,8	56,5

Source: Abbott (1973).

Tableau 3. Taux annuels moyens comparatifs de croissance (en pourcentages) de la production, récoltes choisies, de 1961-1963 à 1969-1971.

	Production agricole totale, de 1961-1963 à 1973	Blé	Riz	Total des céréales	Légumes, racines amylacés	Légumineuses à gousses
Afrique, au Sud du Sahara	2,7	5,1	4,4	2,5	2,7	1,9
Extrême-Orient	2,9	7,5	2,5	3,1	5,5	-0,7
Proche-Orient et Nord-Ouest de l'Afrique	3,2	2	4,5	2,4	2,9	3
Amérique latine	2,9	1,3	3,4	3,3	4,7	3
Total	2,9	4,4	2,7	3	3,9	0,7

Source: FAO (1973a), Nations Unies (1974).

Tableau 4. Changement en pourcentage dans la population et la production mondiales de légumineuses 1949-1972.

	Population	Toutes les denrées	Denrées par tête	Légumineuses
Pays industrialisés	22	60	32	87
Amérique latine	62	65	2	100
Proche-Orient	57	65	2	48
Asie et Extrême-Orient	51	65	9	21
Afrique	52	47	-3	88
Tous les pays en voie de développement	53	62	6	40
Le monde	40	61	15	49

Source: FAO (1971b, 1973b).

Tableau 5. Suppléments protéiques possibles à ajouter aux céréales destinées à l'alimentation humaine et à l'alimentation animale.

<u>Acides aminés synthétiques</u>	<u>Protéines animales</u>	<u>Protéines de poisson</u>
Lysine	Oeufs	Farine de poisson (poisson séché et dégraissé)
Méthionine	Lait	Concentré de protéines de poisson (extrait par solvant de la chair de poisson ou du poisson entier: environ 90% de protéines)
	Petit lait	
	Sang animal	
	Sous-produits de viande Plumes d'oiseaux Laine traitée	
<u>Protéines végétales</u>	<u>Protéines microbiennes</u>	Les substrats comprennent les hydrates de carbone, les hydrocarbures (gaz naturel, cire de pétrole, etc.), des déchets agricoles, et industriels, et des sous-produits.
Farines de légumineuses	Levure	
Farines d'oléagineux	Algues	
Germes de céréale	Champignons microscopiques	
Son des céréales	Bactéries	
*Concentré de protéines de céréales		
*Concentré de protéines de légumineuses		
Concentrés de feuilles et d'herbe		
Concentrés de pulpe de café		

*Séparation selon la taille des particules, par extraction aqueuse, ou par solvant.

Tableau 6. Teneur en protéines des principales sources de calories et de protéines.

	Teneur en protéines (g / 100 g)
Riz, brun ou à cosse	7,5
Maïs, en grains ou tourteau entier	9,5
Millet, en grains	9,7
Farine d'avoine	13
Seigle, farine entière	11
Blé, grain entier	12,2
germe	22,9
son	13,6
Haricot commun (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	22,1
Fève des marais (<i>Vicia faba</i>)	23,4
Pois chiche (<i>Cicer arietinum</i>)	20,1
Niébé (<i>Vigna spp.</i>)	23,4
Arachide (<i>Arachis hypogaea</i>)	25,6
Lentille (<i>Lens esculenta</i>)	24,2
Lupin (<i>Lupinus spp.</i>)	31,2
Pois (<i>Pisum sativum</i>)	22,5
Pois d'Angola (<i>Cajanus cajan</i>)	20,9
Soja, fève (<i>Glycine max</i>)	38
tourteau	46

Source: FAO (1970).

Tableau 7. Analyse immédiate* de quelques légumineuses comestibles des régions tropicales semi-arides.

Légumineuses (nom scientifique)	Eléments nutritifs					
	Humidité %	Protéine %	Cendre %	Fibre %	Graisse %	Hydrates de carbone %
<i>Cajanus cajan</i>	10,1	19,2	3,8	8,1	1,5	57,3
<i>Cicer arietinum</i>	9,8	17,1	2,7	3,9	5,3	61,2
<i>Lens esculenta</i>	11,2	25	3,3	3,7	1	55,8
<i>Phaseolus aureus</i>	9,7	23,6	4	3,3	1,2	58,2
<i>Phaseolus lunatus</i>	12,6	20,7	3,7	4,3	1,3	57,3
<i>Phaseolus mungo</i>	9,7	23,4	4,8	3,8	1	57,3
<i>Phaseolus vulgaris</i>	11	22	3,6	4	1,6	57,8
<i>Pisum sativum</i>	10,6	22,5	3	4,4	1	58,5
<i>Vicia faba</i>	14,3	25,4	3,2	7,1	1,5	48,5
<i>Vigna unguiculata</i>	11	23,4	3,6	3,9	1,3	56,8

*Graine entière séchée

Source: Purseglove (1968).

Tableau 8. Les légumineuses dans l'alimentation humaine.

Nom scientifique	Nom(s) courant(s)*	Endroits où on les consomme
<i>Cajanus cajan</i>	Pois d'Angola Ambrevade Pois cajan Pois du Congo	Inde, Pakistan, Moyen-Orient, Afrique orientale
<i>Cicer arietinum</i>	Pois chiche Pois cornu	Inde, Pakistan
<i>Lens esculenta</i>	Lentille	Proche-Orient, Afrique du Nord, Inde, Amérique centrale et Amérique du Sud
<i>Phaseolus aureus</i>	Ambérique	Asie du Sud, du Sud-Est et de l'Est; Afrique orientale, Inde
<i>Phaseolus lunatus</i>	Haricot de Lima Pois du Cap Pois de sept ans	Amérique centrale, Les Antilles, Madagascar
<i>Phaseolus mungo</i>	Haricot velu Haricot mungo	Inde, Iran, Afrique orientale, Antilles
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Haricot commun Haricot nain Haricot d'Espagne Haricot blanc Haricot rouge	Amérique du Nord, Amérique centrale et Amérique du Sud, Mexique, Afrique orientale
<i>Pisum sativum</i>	Pois vert Petit pois Pois cultivé ou potager	Surtout les pays tempérés, certaines parties de l'Inde et de l'Afrique
<i>Vicia faba</i>	Fève des marais Grosse fève	Pays des zones tempérées, Proche-Orient, Afrique du Nord, Amérique centrale et Amérique du Sud
<i>Vigna unguiculata</i> (<i>Vigna sinensis</i>)	Nièbé Pois à vache Dolique de Chine	Asie, Afrique équatoriale, Antilles, Chine

*La première inscription est le nom courant de la variété dans la région où elle est habituellement consommée.

Sources: Aykroyd et Doughty (1964); Station et autres (1966); Purseglove (1968); Kachroo (1970).

Tableau 9. Teneur en acides aminés du blé additionné de pois chiches (*Cicer arietinum*) (mg / gN).

	Blé*	Pois chiches* (<i>Cicer arietinum</i>)	Blé (67%) Pois chiches (33%)	Rapport d'acides aminés	Composition d'acides aminés recommandée par l'OMS**
Lysine	179	428	304	89	340
Thréonine	185	235	209	85	250
Méthionine et cystine	253	139	196	89	220
Leucine	417	468	443	100	440
Isoleucine	204	277	241	96	250
Valine	276	284	280	90	310
Phénylalanine et tyrosine	469	541	505	133	380
Tryptophane	68	50	59	100	60

Source: *FAO (1970); **OMS (1973).

Tableau 10. Teneur en acides aminés du riz additionné de pois chiches (*Cicer arietinum*) (mg / gN).

	Riz*	Pois chiches*	Riz (75%) Pois chiches (25%)	Rapport d'acides aminés	Composition d'acides aminés recommandée par l'OMS**
Lysine	237	428	333	98	340
Thréonine	244	235	240	96	250
Méthionine et cystine	212	139	176	80	220
Leucine	514	468	491	112	440
Isoleucine	238	277	258	103	250
Valine	344	284	314	101	310
Phénylalanine et tyrosine	540	541	540	142	380
Tryptophane	102	50	76	126	60

Source: *FAO (1970); **OMS (1973).

Tableau 11. Approvisionnements disponibles en énergie et en protéines en 1966 et en 1970, exprimés en pourcentages des besoins alimentaires individuels.

	Besoins quotidiens par tête*		Approvisionnements disponibles en % des besoins			
			1965		1970	
	Calories	Protéines**	Calories	Protéines**	Calories	Protéines**
Besoins mondiaux	2385	38,7	100	169	101	173
Pays industrialisés	2560	39,5	116	221	121	229
Pays en voie de développement***	2284	38,4	93	142	96	147
Asie et Est asiatique***	2223	36,6	89	135	93	141
Amérique latine	2383	37,7	104	169	106	172
Afrique	2335	41,5	92	140	93	141
Proche-Orient	2456	45,5	94	145	97	147
Pays asiatiques socialistes	2355	38,3	86	151	88	153

* Normes révisées des besoins moyens (besoins physiologiques plus 10% alloués pour la perte d'aliments au foyer).

** Données provisoires exprimées en grammes de protéines locales, c.-à-d., corrigées pour tenir compte de la qualité des protéines dans l'alimentation nationale des divers pays, comparativement à une protéine idéale ou protéine témoin.

***A l'exclusion des pays asiatiques socialistes.

Source: Kracht (1974).

Tableau 12. Production mondiale des principales légumineuses, 1972.

Nom scientifique	Production mondiale (en milliers de tonnes métriques)	Pourcentage de la production mondiale de légumineuses
<i>Glycine max</i>	53024	49,4
<i>Arachis hypogaea</i>	16887	15,7
<i>Phaseolus vulgaris</i>	10899	10,2
<i>Pisum sativum</i>	10218	9,5
<i>Cicer arietinum</i>	6718	6,3
<i>Vicia faba</i>	5326	5
<i>Cajanus cajan</i>	1720	1,6
<i>Vigna unguiculata</i> (<i>Vigna sinensis</i>)	1260	1,2
<i>Lens esculenta</i>	1182	1,1
Total mondial	107234	100

Source: Fao (1973b).

Tableau 13. Fluctuations des prix des principaux oléagineux et légumineuses sur les marchés internationaux, 1972, 1973, 1974, 1975 (la tonne forte, 2240 lb., en dollars américains).

	1972		1973		1974		1975	
	janvier	juillet / août						
Haricot	336,60	269,50	270,25	465,50	1173	1071	432,90	386,26
Pois	149,18	183,75	219,73	392	816,50	583,10	468	342,20
Fève des marais	103	85,75	103,40	196	149,50	154,70	150,93	121,52
Lentille*	178,50	176,40	197,40	428,75	425,50	483,14	456,30	466,55
Soja	132,86	140,63	270,75	-	276,35	259	300,50	224,50
Arachide	251,18	267,05	324,30	-	529	-	655,20	272,34
Colza	126,48	135,24	177,43	-	419,75	-	458,06	-
Graine de coton	97	-	106	-	255	235	260	175
Sésame*	330	327	310	-	480	585	635	650

*Tonnes métriques.

Source: The Public Ledger (1972-1975).

Tableau 14. Volume et valeur des exportations et importations de légumineuses, et exportations et importations exprimées en pourcentage de la production, 1972.

	Exportations 1972		Importations 1972		Exportations en % de la production	Importations en % de la production
	milliers de tonnes métriques	M\$	milliers de tonnes métriques	M\$		
Le monde	1893	349	1987	401	4	5
Pays développés	662	129	1334	268	18	36
Amérique du Nord	307	63	29	9	27	26
Europe de l'Ouest	311	59	1071	213	15	52
Océanie	37	5	16	5	47	20
Autres pays	6	2	217	42	15	54
Pays en voie de développement	960	172	594	123	4	3
Afrique	428	61	77	17	9	2
Amérique latine	168	40	223	55	4	5
Proche-Orient	132	29	106	19	8	6
Extrême-Orient	232	41	183	31	2	1
Pays socialistes	271	48	59	10	2	0
Asie	119	18	25	3	1	0
U.R.S.S. et Europe	152	30	34	7	2	0

Source: FAO (1973c).

Tableau 15. Projections de la demande, légumineuses et noix.

	Demande totale (milliers de tonnes métriques)			Augmentation de la demande (en %)
	1965	1975	1980*	1965-1980
Demande mondiale	34641	45340	52615	52
Classe économique I	3803	4285	4510	19
Amérique du Nord	857	863	914	7
Europe de l'Ouest	2397	2733	2877	20
Pays du Marché commun	1143	1251	1320	15
Océanie	41	52	60	46
Autres pays industrialisés	543	626	687	27
Classe économique II	23773	32440	38049	60
Afrique	3332	4486	5276	58
Amérique latine	4478	6042	7035	57
Proche-Orient	1069	1562	1892	77
Asie et Extrême-Orient	14744	20207	23812	62
Classe économique III	7107	8855	9954	40
Pays socialistes d'Asie	5490	7032	7880	44
U.R.S.S. - Europe de l'Est	1563	1826	1999	28

*Projection de la tendance.

Source: FAO (1971a).

Tableau 16. Rendement de divers produits lors de la mouture (par voie humide) des pois d'Angola (*Cajanus cajan*).

Composition du produit	Rendement (en %)	Remarques
Poussière et saletés	0,71	Rejetées
Poussière, grains racornis, et gousses (6,25% du rendement)	4,50	Aliments pour bétail
Gousses, grains racornis, tiges, autres grains	2,29	Gousses (38,75%) passées au crible
Gousses (grosses) et tiges	2,95	Gousses (89,5%) passées au crible
Mince cosse, farine de <i>dhal</i> , petites particules de <i>dhal</i>	9,16	Aliments pour bétail
Cosses - dures	0,87	Aliments pour bétail
Cosses - fines	4,39	Aliments pour bétail
Farine de <i>dhal</i> et débris libres	2,44	Aliments pour bétail
Légumineuses avec leurs cosses	13,40	Ramollir par trempage dans l'eau, écosses
Grosses particules de <i>dhal</i>	1,89	<i>Dhal</i> de catégorie inférieure
<i>Dhal</i> * (Pois d'Angola écosés et cassés)	54,42	<i>Dhal</i>
Pertes inexplicables - séchage, perte de farine de <i>dhal</i> , saletés, etc.	2,98	

*Le rendement total de *dhal* par rapport à la quantité de légumineuses moulues était de 76,1%.

Source: Khare et alii (1966).

Tableau 17. Mouture à sec des légumineuses contre mouture par voie humide.

Avantages	Désavantages
Méthode par voie sèche	
Les légumineuses cuisent mieux, le cotylédon se ramollit plus facilement	Plus coûteuse à cause du plus fort pourcentage de <i>dhal</i> cassé
Possibilité de préparer de plus grandes quantités de <i>dhal</i> à la fois	Exige plus de temps de préparation à cause des étapes répétées de séchage et de mouture
Méthode plus avantageuse d'écossage	
Méthode par voie humide	
Donne des rendements supérieurs de 15 à 20% de <i>dhal</i>	Temps de cuisson plus long
Meilleur goût	On remarque une petite dépression au centre du <i>dhal</i>
Les cosses s'enlèvent plus facilement à cause du trempage préliminaire	Cuisson laborieuse qui dépend aussi des conditions climatiques
Le <i>chakki</i> traditionnel (écosseuse) travaille mieux lorsque les grains ont été traités à l'humidité	Pertes dues aux oiseaux et insectes qui mangent des grains pendant le séchage en plein air
Méthode beaucoup plus avantageuse de casser les grains	

Tableau 18. Variétés de légumineuses en Inde.

Nom français	Nom régional	Nom latin
Pois chiche	<i>Channa, gram</i>	<i>Cicer arietinum</i>
Pois d'Angola	<i>Arhar, Tur</i>	<i>Cajanus cajan</i>
Ambérique	<i>Mung, Mug</i>	<i>Phaseolus aureus</i>
Haricot velu	<i>Udid, Urid</i> <i>Mash, Kalai</i>	<i>Phaseolus mungo</i>
Lentille	<i>Maur, Masoor</i>	<i>Lens esculenta</i>

Source: Pulses in India, Conference on Milling of Dhal, (Les légumineuses en Inde, Conférence sur la mouture du *dhal*, Mysore, 17-19 fév. 1971).

Tableau 19. Rendement moyen en *dhal*, à partir de différentes légumineuses et par différentes méthodes.

Légumineuse	Rendement maximal théorique %	Méthodes domestiques %	Méthodes commerciales traditionnelles %	Procédé CFTRI amélioré %
Pois chiche	88	75	75	84
Pois d'Angola	88	68	75	85
Haricot velu	87	63	71	82
Ambérique	89	62	65	83

Tableau 20. Traitement et utilisation traditionnels des légumineuses.

Méthode de traitement	Forme, après traitement	Aliments
Broyage Pilage Mouture	Tourteau farine gruau pâte <i>dhal</i> entières	Pain azyrne biscuits gâteaux nouilles bouillies gruau ragoûts sauces
Cuisson à l'eau	Entières décortiquées et non décortiquées	Ragoûts plats de légumes soupes condiments
Rôtissage grillage ou séchage	Entières décortiquées et non décortiquées	Collations garnitures aliments d'appoint
Friture	Entières décortiquées et non décortiquées farine pâte (de pâtisserie) pâte à frire pâte à pain	Collations pains gâteaux aliments d'appoint
Gonflement	Entières non décortiquées	Goûters collations aliments d'appoint
Germination	Entières non décortiquées	Fèves germinées cari plats de légumes
Fermentation	Farines, pâte (de pâtisserie) pâte (à frire)	Pâtes frites, mets orientaux condiments
Agglomération	Farine	Céréales couscous
Mise en conserve (Etuvaie)	Entières, non décortiquées	Plats de légumes salades

Tableau 21. Traitement et utilisation des légumineuses selon des techniques nouvelles et améliorées.

Méthode de traitement	Forme, après traitement	Forme des aliments
Décorticage et broyage mécaniques	Légumineuses entières, farine, grosse farine, pâte	Mets traditionnels: bouillie, ragoût, gruau, consous etc. Nouveaux aliments: pains, pâtes alimentaires, aliments pour collations (par ex.: les chips), sucreries, bonbons
Pré-cuisson Séchage Broyage	Légumineuses entières, écosées, à cuisson rapide, poudres de légumineuses pour préparations instantanées	Mets traditionnels comme ci-dessus Nouveaux aliments: breuvages, aliments pour goûters, aliments d'appoint, soupes, plats orientaux
Agglomération, Classification pneumatique Précipitation	Concentrés de protéines de légumineuses	Mélanges de légumineuses et de céréales: pains, pâtisseries, plats cuits au four, pâtes alimentaires, aliments pour bébés, gâteaux, crêpes Succédanés d'aliments: Riz, simili-viande, liants à viande, aliments d'appoint

Bibliographie

- Abbott, J. C. Perspectives et progrès des protéines. Compte-rendu de la Conférence sur les protéines, Québec, Canada, 8-9 novembre 1973, 59.
- Acharya, B. N., Niyogi, S. P., et Patwardhan, V. N. Balanced diets, part III. The effect of parching on the biological value of the proteins of some cereals and pulses. *Indian Journal of Medical Research*, (New Delhi), 30, 1942, 73.
- Agren, G., Hofvander, J., Selinus, R., et Vahlquist, B. Faffa: a supplementary cereal-based weaning food in Ethiopia. In Milner, M., éd., *Protein-Enriched Cereal Foods for World Needs*. St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1969, 278.
- Altschul, A. M. Food: protein for humans. *Chemical Engineering News*, Washington, 47, 1969, 69.
- Aykroyd, W. R., et Doughty, J. FAO, Rome. Legumes in human nutrition. Etude n° 19 de la FAO sur l'alimentation, Rome, 1964.
- Bacigalupo, A. Protein rich foods in Peru. In Milner, M., éd., *Protein-Enriched Cereal Foods for World Needs*. St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1969, 288.
- Banerjee, S., Prohatgi, K., et Lahire, S. Pantothenic acid, folic acid, biotin, and niacin content of germinated pulses. *Recherches sur les aliments* (Champaign, Ill.), 19, 1954, 134.
- Bhumiratana, A., et Nondasuta, A. Report on protein food development project. Division de la nutrition, Service de la Santé, ministère de la Santé publique, Thaïlande, 1972.
- Bressani, R., et Elias, L. G. Legume foods. In Altschul, A. M., éd., *New Protein Foods*. New York, Academic Press, 1974, 230-297.
- Bressani, R., Elias, L. G., et Valiente, A. T. Effect of cooking and of amino acid supplementation on the nutritive value of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *British Journal of Nutrition*, Londres, 17, 1963, 69.
- Bressani, R., Flores, M., et Elias, L. G. Acceptability and value of food legumes in the human diet. In *Potentials of Field Beans and Other Food Legumes in Latin America: A Seminar*. Cali, Colombie, Centre International de l'Agriculture tropicale (CIAT), fév.-mars 1973, 17.
- Burr, H. K., Kon, S., et Morris, H. J. Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content and temperature and time of storage. *Food Technology* (Chicago), 22, 1968, 336.
- Bushuk, W., et Hulse, J. H. Dough development by sheeting and its application to bread production from composite flours. *Cereal Science Today* (St. Paul, Minn.), 19, 1974, 424.
- Chattopadhyay, H., et Banerjee, S. Effect of germination on the total tocopherol content of pulses and cereals. *Food Research* (Champaign, Ill.), 17, 1952a, 402.
Studies on the ascorbic acid oxidase activity of some common Indian pulses during germination. *Indian Journal of Medical Research* (New Delhi), 46, 1952b, 439.
- Chattopadhyay, H., Mandi, N., et Banerjee, S. Studies on the effect of germination on the fat and the carbohydrate content of pulses. *Indian Journal of Physiology* (Calcutta), 4, 1950, 66.
- Copley, M. J. Dry bean research - some accomplishments and unsolved problems. In Dickson, M. H., éd., *Proceedings of the Bean Improvement Co-operative and National Dry Bean Research Association Conference*, Genève, New York, Station agricole expérimentale de l'Etat de New York, 1974, 53.
- Cristofaro, E., Mottu, F., et Wuhrmann, J. Involvement of the raffinose family of oligo-saccharides in flatulence. In Sipple, H. L., et McNutt, K. W., éd., *Sugars in Nutrition*. New York, Academic Press, 1974, 313.
- Dorsey, W. R., Strashun, S. I., Roberts, R. L., et Johnson, K. R. New continuous production facility for processing instant pre-cooked beans. *Food Technology* (Chicago), 15, 1961, 13.
- Dovlo, F. E., Williams, C. E., et Zoaka, L. Cowpeas: home preparation and use in West Africa. Ottawa, Centre de recherches pour le développement international, IDRC-055e, 1975.

- Ebine, H. Fermented soybean foods in Japan. In Proceedings of a Symposium on Food Legumes. Tokyo, Japon. Tropical Agriculture Research Series N° 6, sept. 1972, 217.
- Elias, L. G., Bressani, R., et Flores, M. Problems and potentials in storage and processing of food legumes in Latin America. In Potentials of Field Beans and Other Food Legumes in Latin America: A Seminar. Cali, Colombie, Centre international de l'agriculture tropicale (CIAT), fév.-mars 1973, 52.
- Esselen, W. B., et Davis, S. G. Dehydrated baked beans. Canner Packer (Barrington, Ill.), 95, 1942, 19.
- Fan, T. Y., et Sosulski, F. W. Dispersibility and isolation of protein from legume flours. Institut canadien de science et technologie alimentaires (Ottawa), 7, 1974, 256.
- Feldberg, C., Fritzsche, H. W., et Wagner, J. R. Preparation and evaluation of pre-cooked, dehydrated bean products. Food Technology (Chicago), 10, 1956, 523.
- Gainor, V. J., Robinson, R. J., Ward, A. B., et Hoover, W. J. Effective processing and protein supplementation (horse bean flour) on cous-cous. In Improving the Nutritive Value of Cereal Based Foods. Progress report n° 3. Manhattan, Kansas, Agency for International Development, Food and Feed Grain Institute, Kansas State University of Agriculture and Applied Science, juin 1971.
- Gallardo, F., Araya, H., Pak, N., et Tagle, M. A. Toxic factors in Chilean legumes, II. Trypsin inhibitor activity. (Résumé en anglais). Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Caracas), 24, 1974, 101.
- Toxic factors, III, Hemagglutinating activity. (Résumé en anglais). Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Caracas), 24, 1974, 191.
- Galle, E. L. Flour product and method of making. Washington, Bureau des brevets des E.-U., Brevet n° 3, 397, 067, 13 août 1968.
- Hackler, L. R. Nutritional qualities of dry beans and the potential for improvement. In Dickson, M. H., éd., Proceedings of the Bean Improvement Cooperative and National Dry Bean Research Association Conference. Genève, New York, Station agricole expérimentale de New York, 1974, 67.
- Hang, Y. D., Wilkens, W. F., Hill, A. S., Steinkraus, K. H., et Hackler, L. R. Studies on the extraction of proteins from red kidney beans. I. Improvement in filterability of aqueous bean extract. Cereal Chemistry (St. Paul, Minn.), 47, 1970, 259.
- Hawtin, L. Chickpea recipes from the Near East. nov. 1974. (Inédit)
- Hegazi, S. M. Effect of germination on the carbohydrate, protein, and amino acid contents of broad beans. Zeitschrift für Ernährungswissenschaft (Darmstadt, Allemagne de l'Ouest), 13, 1974.
- Hulse, J. H. The protein enrichment of bread and baked products. In Altschul, A., éd., New Protein Foods, Vol. 1A. New York, Academic Press, 1974, 155.
- Problems of nutritional quality of pigeon pea and chickpea and prospects of research. Rapport à l'Institut international de recherches sur les régions tropicales semi-arides, Hyderabad, janv. 1975. (Inédit).
- Hulse, J. H., Fawcett, B., et Daniels, W. D. Protein supplements - world production and trade. In Harapiak, J. T., éd., Oilseed and Pulse Crops in Western Canada. Calgary, Alberta, Western Cooperative Fertilizers Ltd., 1975, 1.
- Kachroo, P., éd. Pulse crops in India. Conseil indien de recherche agricole de New Delhi, 1970.
- Kakade, M. L., et Evans, R. J. Nutritive value of navy beans (*Phaseolus vulgaris*). British Journal of Nutrition, Londres, 19, 1965, 269.
- Effect of soaking and germinating on the nutritive value of navy beans. Journal of Food Science (Chicago), 31, 1966, 781.
- Kapsiotis, G. D. History and status of specific protein-rich foods — FAO/WHO/UNICEF protein food programmes and products. In Milner, M., Protein-Enriched Cereal Foods for World Needs. St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1969, 255.
- Khare, R. N., Krishnamurthy, K., et Pingale, S. V. Milling losses of food grains. Part I. Studies on losses of red gram (*Cajanus cajan*) during milling. Bulletin of Grain Technology (New Delhi), 4, 1966, 125.
- Kon, S. Pectic substances of dry beans and their possible correlation with cooking time. Journal of Food Science, (Chicago), 33, 1968, 437.
- Kon, S., Brown, A. H., Ohannesson, J. D., et Booth, A. N. Split peeled beans: preparation and some properties. Journal of Food Science (Chicago), 38, 1973, 496.
- Kon, S., Wagner, J. R., et Booth, A. N. Legume powders: preparation and some nutritional and physiochemical properties. Journal of Food Science (Chicago), 39, 1974, 897.
- Kracht, U. Les aspects alimentaires de la production et de la distribution des denrées. Impact de la science et de la société (Paris), 24(2), 1974, 157.

- Kurien, P. P., Desikachar, H. S. R., et Parpia, H. A. B. Processing and utilisation of grain legumes in India. In Proceedings of a Symposium on Food legumes. Tokyo, Japon, Tropical Agriculture Research Series N° 6, sept. 1972, 225.
- Kurien, P. P., et Parpia, H. A. B. Pulse milling in India I-processing and milling of Fur Aarahar (*Cajanas cajan Linn.*). Journal of Food Science and Technology (Mysore), 5, 1968, 203.
- Laboratoire régional des Prairies, Conseil national de recherches du Canada, et le College of Home Economics, Université de la Saskatchewan. Pea flour and pea protein concentrate. Saskatoon, Saskatchewan, juin 1974.
- Liener, I. Toxic factors in edible legumes and their elimination. American Journal of Clinical Nutrition, (Bethesda), 2, 1962, 281.
Toxic factors associated with legume proteins. Indian Journal of Nutrition and Dietetics (Coimbatore), 10, 1973, 303.
- Lineback, D. R., et Ke, C. H. Starches and low molecular-weight carbohydrates from chickpea and horse bean flours. Cereal Chemistry (St. Paul, Minn.), 52, 1975, 334.
- Lolas, G. M., et Markakis, P. Phytic acid and other phosphorous compounds of beans (*Phaseolus vulgaris L.*) Journal of Agricultural and Food Chemistry (Washington), 23, 1975, 13.
- McConnell, L. M., Simmonds, D. H., et Bushuk, W. High-protein bread from wheat/fava bean composite flours. Cereal Science Today (St. Paul, Minn.), 19, 1974, 517.
- Meyer, E. W. Soy protein isolates for food. In Lawrie, R. A., éd. Proteins as Human Food. AVI Publishing Company, Westport, 1970, 346-362.
- Miller, C. F., Guadagni, D. G., et Kon, S. Vitamin retention in bean products: cooked, canned and instant bean powders. Journal of Food Science (Chicago), 38, 1973, 493.
- Morris, H. J., et Wood, E. R. Influence of moisture content on keeping quality of dry beans. Food Technology (Chicago), 10, 1956, 225.
- Muller, F. Cooking quality of pulses. Journal of the Science of Food and Agriculture (Londres), 18, 1967, 292.
- Muneta, P. Cooking time of dry beans after extended storage. Food Technology (Chicago), 18, 1964, 1240.
- National Academy of Sciences, National Research Council. Food science in developing countries. Washington, National Academy of Sciences, 1974.
- Nations Unies. Evaluation préliminaire de la situation de l'alimentation mondiale actuelle et future. Commission préparatoire de la Conférence mondiale des Nations Unies, 2^e session, Rome, avril 1974.
- Nelson, J. H., et Richardson, G. H. Flavour production by mould in oriental foods. In Pepler, H. G., éd., Microbial Technology. New York, Reinhold Publishing Company, 1967, 94-102.
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Composite flour program. Bread from composite flour. Rome, FAO, 1969.
Amino acid content of foods. Rome, FAO, 1970.
Agricultural commodity projections 1970-1980. Vol. I and II. Rome, FAO, 1971a.
Production yearbook 1970. Vol. 24, Rome, FAO, 1971b.
Agricultural production in developing countries in relation to the targets for the second United Nations development decade. Monthly Bulletin of Agricultural Economics and Statistics (Rome), 22(4), 1973a, 7-8.
Production Yearbook 1972. Vol. 26. Rome, FAO, 1973b.
Trade Yearbook Vol. 26. Rome, FAO, 1973c.
- Organisation mondiale de la santé. Besoins en énergie et en protéines: rapport d'un comité conjoint de l'OMS et de la FAO et d'un comité spécial d'experts. Genève, Rapport technique de l'OMS, série n° 522, Série de rapports n° 52 des réunions de la FAO sur l'alimentation, 1973.
- Pant, R., et Tulsiani, D. R. P. Solubility, amino acid composition, and biological evaluation of proteins isolated from leguminous seeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry (Washington), 17, 1969, 361.
- Parpia, H. A. Protein foods of India based on cereals, legumes, and oilseed meals. In Milner, M., éd., Protein-Enriched Cereal Foods for World Needs. (St. Paul, Minnesota), American Association of Cereal Chemists, 1969, 129.
- Patwardhan, V. N. Pulses and beans in human nutrition. American Journal of Clinical Nutrition (Bethesda), 2, 1962, 12.
- Presses Abradale. La sainte Bible. New York, Presses Abradale, 1959, 888, 940.
- The Public Ledger, 1972-1975. Londres, U.K. Publications Ltd., 1975.
- Purseglove, J. W. Tropical crops dicotyledons 1. New York, John Wiley and Sons, Inc., 1968.
- Reichert, R. B., Youngs, C. G., et Lorer, E. K. Conditionnement et utilisation des grains et des légumineuses. Centre de recherches pour le dévelop-

- pement international, Ottawa, 1974. (Inédit).
- Robinson, R. J., et Kao, C. Fermented foods from chickpeas, horse beans, and soy beans. *Cereal Science Today* (St. Paul, Minn.), 19, 1974, 397 (Extrait).
- Rockland, L. B. Opportunities for commercial development of new and improved bean products. In Dickson, M. H., éd., *Proceedings of Bean Improvement Co-operative and National Dry Bean Research Association Conference*, Genève, Station agricole expérimentale de l'Etat de New York, 1974, 77.
- Rockland, L. B., et Metzler, E. A. Quick-cooking lima and other dry beans. *Food Technology* (Chicago), 21, 1967, 30.
- Rockland, L. B., Zaragosa, E. M., et Hahn, D. M. New information on the chemical, physical, and biological properties of dry beans. In Dickson, M. H., éd., *Proceedings of Bean Improvement Co-operative and National Dry Bean Research Association Conference*. Genève, New York, Station agricole expérimentale de l'Etat de New York, 1974, 93.
- Schoch, T. J., et Maywald, E. C. Preparation and properties of various legume starches. *Cereal Chemistry* (St. Paul, Minn.), 45, 1968, 564.
- Singh, S., Singh, H. D., et Sikka, N. C. Distribution of nutrients in the anatomical parts of common Indian pulses. *Indian Journal of Agricultural Science* (Calcutta), 45, 1968, 13.
- Smith, A. K. Foreign uses of soya bean protein foods. *Cereal Science Today* (St. Paul, Minn.), 8, 1963, 191.
- Stanton, W. R., Doughty, J., Orraca-Tetteh, R., et Steele, W. Grain legumes in Africa. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 1966.
- Steckle, J. M., et Ewanyk, L. L. Consumer preference study in grain utilization, Maiduguri, Nigeria. Ottawa, Centre de recherches pour le développement international, IDRC-022e, 1974.
- Steinkraus, K. H., Van Buren, J. P., La Belle, R. L., et Hand, D. B. Some studies on the production of pre-cooked dehydrated beans. *Food Technology* (Chicago), 18, 1964, 121.
- Subba Rao, P. V., Ananthachar, T. K., et Desikachar, H. S. R. Effect of certain chemicals and pressure on cookability of pulses. *Indian Journal of Technology* (New Delhi), 2, 1964, 417.
- Takeuchi, T. Low Molecular weight peptide in soybean miso. *Journal of Fermentation Technology* (Osaka), 52, 1974, 256.
- Tannous, R. I., Cowan, J. W., Rinnu, F., Asfour, R. J., et Sabry, Z. I. Protein-rich food mixtures for feeding infants and pre-school children in the Middle East. *American Journal of Clinical Nutrition* (Bethesda), 17, 1965, 143.
- Tolmasquim, E., Correa, A. M. N., et Tolmasquim, S. T. New starches. Properties of five varieties of cowpea starch. *Cereal Chemistry* (St. Paul, Minn.), 48, 1971, 132.
- Weisberg, S. Developing and marketing low-cost protein foods in developing countries. *Food Technology* (Chicago), 26, 1972, 60.
- Wolf, W. J. Soybean protein: their function, chemical and physical properties. *Journal of Agricultural Food Chemistry* (Washington), 18, 1970, 969.

