



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

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



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

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

FAIR USE POLICY

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

CONTACT

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

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

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.

08210-F

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Distr.
LIMITÉE

UNIDO/IOI.199/Rev.1
14 juin 1978
FRANÇAIS

**TRAITEMENT INDUSTRIEL
DES
GRAINES DE COTON**

par
SEDIAC*

Étude technique préparée pour
la Banque d'informations industrielles et techniques de l'ONUDI

*Créé pour l'étude et le développement de l'industrie, de l'agriculture et du commerce. Paris, (France).

**TRAITEMENT INDUSTRIEL
DES
GRAINES DE COTON**

Notes explicatives

Sauf indication contraire, le terme "dollar" (\$) s'entend du dollar des Etats-Unis d'Amérique.

Les sigles suivants ont été utilisés dans la présente publication :

AOCS	American Oil Chemists' Society
INCAP	Institut de nutrition de l'Amérique centrale et de Panama
LCP	Liquid cyclone process
NCPA	National Cottonseed Products Association
ORSTOM	Office de la recherche scientifique et technique d'outre-mer
PAG	FAO/WHO/UNICEF Protein Advisory Group Groupe consultatif FAO/OMS/FISE sur les protéines
PER	Protein efficiency ratio Coefficient d'efficacité protéique
SRRC	Southern Regional Research Center
SRRL	Southern Regional Research Laboratory

Les abréviations techniques suivantes ont été utilisées :

c.a.f.	coût, assurance, fret
c.i.f.	cost, insurance, freight
f.o.b.	free on board
pH	hydrogen-ion concentration

Equivalents

La livre équivaut à 453,59 g.

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI).

Les opinions exprimées dans le présent document sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du secrétariat de l'ONUDI.

TABLE DES MATIERES

<u>Chapitres</u>	<u>Pages</u>
I. LA MATIERE PREMIERE	7
A. La classification des cotonniers	7
B. Variétés cultivées de cotonniers et zones de cultures dans les principaux pays producteurs	10
C. Aperçus sur la physiologie du cotonnier	14
D. Aperçus sur la culture du cotonnier	16
E. Les surfaces cultivées, les productions et les rendements dans le monde	19
F. Description et composition de la graine de coton	25
G. Le gossypol	30
II. STOCKAGE, TRANSPORT ET EGRENAGE DU COTON-GRAINE	41
A. Les risques de dégradation pendant le stockage	41
B. Manutention et stockage des graines de coton	43
C. Egrenage	45
III. LA GRAINE DE COTON EN ALIMENTATION HUMAINE	50
A. Eléments indésirables dans les farines de graines de coton	50
B. Précautions à prendre pour fabriquer des farines de bonne qualité	53
C. Caractéristiques de la farine	56
D. Valeur nutritionnelle de la farine de qualité supérieure	59
E. Les isolats des protéines	61
F. Les utilisations des protéines de graine de coton en alimentation humaine	64
G. Conclusions	67
IV. LES TECHNIQUES D'EXTRACTION DE L'HUILE ET DES TOURTEAUX DE GRAINE DE COTON	69
A. Stockage, nettoyage et délintage des graines	69
B. Décorticage et séparation des coques	74
C. Transformation par laminage des amandes en flocons ...	77
D. Cuisson des flocons	78
E. Extraction de l'huile	80
F. Raffinage de l'huile	88
G. Considérations générales sur la stratégie d'investissement dans le traitement de la graine de coton	93

<u>Chapitres</u>	<u>Pages</u>
V. L'HUILE DE GRAINE DE COTON	96
A. Normes de qualité	96
B. Composition en acides gras de l'huile de coton	99
C. Interchangeabilité avec les autres huiles	104
VI. LES TOURTEAUX DE COTON	109
A. Caractéristiques des tourteaux	109
B. Composition en acides aminés et utilisation en alimentation animale	110
C. La pelletisation	113
VII. SOUS-PRODUITS ET RESIDUS	115
A. Le duvet ou linters	115
B. Les coques	119
C. Le <u>soapstock</u>	121
D. Les terres décolorantes usagées	122
E. Autres sous-produits	122
F. Effets sur l'environnement	122
VIII. LE MARCHÉ DE LA GRAINE DE COTON	124
A. Les principaux pays producteurs	124
B. Comparaison avec les principales autres plantes oléagineuses	124
C. Commerce international des graines de coton	127
D. Evolution des prix de la graine de coton	129
E. Incidence des frais de transport en fonction des modes de livraison	130
F. Standards de qualité	131
IX. LE MARCHÉ DE L'HUILE DE COTON	133
A. La production mondiale	133
B. Le commerce international de l'huile de coton	135
C. Le prix de l'huile de coton	136
D. Incidence des frais de transport en fonction des modes de livraison	139
E. Standards de qualité	139
F. Pratiques commerciales	139

<u>Chapitres</u>	<u>Pages</u>
X. LE MARCHÉ DES TOURTEAUX DE COTON	140
A. La production mondiale	140
B. Le commerce international des tourteaux de coton	141
C. Les prix des tourteaux de coton	144
D. Incidence des frais de transport en fonction des modes de livraison	145
E. Standards de qualité	145
F. Importance des tourteaux dans la valorisation des composants de la graine de coton	146
G. Pratiques commerciales	146
H. Cas des pays en voie de développement	146
BIBLIOGRAPHIE	147

Tableaux

1. Poids et pourcentage des différentes parties de la plante de coton à maturité	19
2. Superficie des plantations de cotonniers et rendement en fibre de coton	20
3. Production de fibres de coton	21
4. Production de fibres de coton longues et extra longues ...	23
5. Composition de la graine de coton en linters, coque et amande	26
6. Pourcentage d'huile et de protéines dans les amandes de graines de coton	27
7. Composition de la graine en huile et protéines	28
8. Composition d'ensemble de la graine de coton	28
9. Composition de la farine de la graine de coton destinée à l'alimentation humaine	35
10. Composition des différentes fractions de graines de coton dans l'extraction à l'hexane	36
11. Rendements en fibres de lignées sans gossypol et de témoins avec glandes dans divers programmes d'amélioration (Etats-Unis, 1975)	38
12. Composition en protéines de la farine de coton comparée à celle du soja, de la caséine et du blanc d'oeuf	59
13. Aminogrammes des deux fractions des protéines de graines de coton	63
14. Formulation de l' <u>Incaparina</u>	64

	<u>Pages</u>
15. Composition moyenne en acides gras des huiles végétales fluides et concrètes, à l'état naturel	100
16. Composition comparée de l'huile de coton à 11 autres huiles comestibles	101
17. Caractéristiques physiques de quelques huiles comestibles	102
18. Composition de différents types de tourteaux de coton ...	109
19. Composition moyenne des protéines de divers tourteaux ...	111
20. Importance relative des différents produits et sous-produits de la graine de coton	115
21. Production de graines de coton par pays	125
22. Production des principales graines oléagineuses pendant la période de 1970 à 1976	126
23. Teneur en protéines et en huiles des différentes graines oléagineuses	126
24. Principaux pays exportateurs et importateurs de graines de coton en 1976	128
25. Coût de transport des graines de coton	130
26. Production mondiale d'huile de coton	133
27. Pourcentage de la production mondiale d'huile de coton par rapport à la production globale de corps gras	133
28. Production mondiale des corps gras et des huiles. Données annuelles 1973-1976 et projection 1977	134
29. Commerce mondial des différentes huiles en 1975	135
30. Prix comparés de diverses huiles végétales en dollars par tonne de 1970 à 1976	138
31. Coût de transport de l'huile de coton	139
32. Evolution de la production mondiale de tourteaux de coton de 1974 à 1976	140
33. Production mondiale de divers tourteaux	141
34. Données statistiques relatives au commerce international des tourteaux de coton	142
35. Comparaison des exportations mondiales de différents tourteaux	143
36. Comparaison du prix de gros du tourteau de coton et de celui d'arachide aux Etats-Unis	145

Figures

I. Décomposition moyenne en poids de 100 kg de coton grainé	29
II. Courbe de solubilité des protéines de la graine de coton en fonction du pH	62

I. LA MATIERE PREMIERE

A. La classification des cotonniers

Le cotonnier appartient à la famille des Malvaceae, tribu des Hibisceae, genre Gossypium; mais certains botanistes (Edlin, 1935) placent la tribu des Hibisceae dans la famille des Bombacaceae afin de grouper, dans une même famille, toutes les espèces produisant des fibres attachées à une graine ou à une capsule.

Le Gossypium est, de loin, le genre le plus important de la tribu des Hibisceae.

Il existe, à l'état naturel, de très nombreuses variétés de cotonniers, vivaces ou annuelles, ligneuses ou herbacées, de hauteur variant entre 0,50 m et 5 m.

On suppose que toutes les espèces cultivées ont un ancêtre commun de l'Ancien Monde, qui serait le G. Herbaceum.

L'exploitation du cotonnier est très ancienne : on a retrouvé des fragments de tissus de coton, à Mohenjo Daro (Pakistan), datant de 3 000 ans avant J.-C. et, au Pérou, de 2 400 ans avant J.-C. (Lagière, 1966).

Originellement, le cotonnier est une plante vivace; il en est de même des variétés cultivées anciennes. Ses formes pérennes ont donné naissance à des variétés annuelles dont la culture a pu s'étendre vers des régions plus septentrionales où la plante vivace ne pourrait pas supporter les rigueurs de l'hiver.

Pratiquement, la très forte majorité des espèces cultivées est du type arbustif, annuel, d'une hauteur moyenne inférieure à 1 m.

La classification des Gossypium est une question complexe et longtemps controversée. La taxonomie, toutefois, sortirait du cadre de cette étude et il suffira d'indiquer qu'on dénombre 15 espèces sauvages, sans fibres et groupées en six sections, et que les cotonniers cultivés sont répartis en quatre espèces principales dénommées G. arboreum, G. herbaceum, G. hirsutum, G. barbadense, dont chacune compte un grand nombre de races et de variétés (Lagière, 1966).

G. arboreum et G. herbaceum

Le G. arboreum et le G. herbaceum sont des espèces cultivées de l'Ancien Monde. On divise les G. arboreum en six races et les G. herbaceum en cinq races, selon leur origine géographique.

G. arboreum

- Race indicum : elle comprend une variété vivace de l'ouest de l'Inde, de Madagascar, de la République-Unie de Tanzanie et une variété annuelle de l'Inde.

- Race burmanicum : elle est principalement vivace, mais avec variétés annuelles, elle se trouve en Birmanie, au Bengale, en Assam, au Viet Nam, en Malaisie et en Insulinde.

- Race cermuum : elle est annuelle et on la cultive en Assam et dans le Bengale.

- Race sinense : c'est une race annuelle et elle est très précoce. On la trouve non seulement en Chine continentale (ancienne Mandchourie incluse), mais aussi dans la péninsule de Corée, au Japon et dans l'île de Taïwan.

- Race bengalense : race annuelle, elle est surtout répandue dans l'Inde du Nord et au Pakistan.

- Race soudanense : il s'agit d'une race vivace, cultivée au Soudan et dans l'ouest de l'Afrique.

G. herbaceum

- Race persicum : de forme annuelle, on la trouve aujourd'hui en Iran, en Afghanistan, au Pakistan occidental, en Asie centrale soviétique, en Irak, en République arabe syrienne, en Turquie, en Grèce et dans les îles de la Méditerranée.

- Race kuljianum : c'est une forme annuelle de l'Asie centrale (URSS, Sin K'iang) adaptée aux étés courts et aux hivers plus froids de ces régions.

- Race whightianum : de forme annuelle, de l'ouest de l'Inde.

- Race acerifolium : race vivace d'Afrique (zone soudanaise, Ethiopie, oasis d'Egypte et de la Jamahiriya arabe libyenne) et d'Arabie.

- Race africanum : race vivace présente en Afrique du Sud.

Le duvet qui subsiste sur les graines de G. arboreum et de G. herbaceum après égrenage est peu important : par rapport au poids total de la graine le pourcentage de ce duvet est compris généralement entre 3 et 5 p.100, et descend parfois au-dessous de 2 p.100, de sorte que les graines semblent presque nues.

G. hirsutum

Le G. hirsutum est originaire du Nouveau Monde; il comprend une race sauvage des îles Hawaï, G. tomentosum, et sept races cultivées (marie-galante, punctatum, palmeri, yucatanense, morrillii, richmondi, latifolium) qui ont été répandues dans le monde entier à partir de leur centre d'origine (sud du Mexique et Guatemala). Les trois plus importantes races de G. hirsutum sont marie-galante, punctatum et latifolium :

- Race marie-galante : vivace, elle fut la base des premières cultures antillaises. On l'introduisit ensuite dans le nord et l'est du Brésil, en Equateur, dans les Guyanes et en Afrique de l'Ouest (Ghana, Togo, Côte d'Ivoire, etc.).

- Race punctatum : race vivace, elle est largement distribuée dans les zones tropicales et semi-tropicales du globe : Amérique centrale, Antilles, Floride, ouest de l'Afrique, Egypte, Ethiopie, Inde, Philippines, Australie. Des formes annuelles ont été développées en Afrique de l'Ouest.

- Race latifolium : de forme annuelle, elle donna naissance dans le sud des Etats-Unis (Caroline et Géorgie), au type upland.

- Le G. hirsutum est l'espèce qui a bénéficié des plus grands efforts de sélection, surtout aux Etats-Unis, dans le but d'améliorer le rendement et la qualité de la fibre de coton, compte tenu des conditions locales (climat, sol, etc.). Il en est résulté un très grand nombre de variétés, provenant soit du développement de certains cotonniers anciens, soit d'hybridation ou de croisement. Ce travail, commencé au début du XIX siècle, se poursuit encore.

A l'époque où les Etats-Unis d'Amérique étaient une colonie anglaise, deux variétés de coton étaient utilisées dans le Sud. L'une est originaire des Antilles et appelée sea island ou lowland cotton; la graine, après égrenage, ne conserve plus de duvet et a, par conséquent, une couleur noire ou brunâtre^{1/}, ce qui la fait désigner comme une black seed; l'autre est originaire du Mexique; la graine, après égrenage, conserve un duvet dense et a donc une couleur blanche ou grise. Cette dernière est connue sous le nom de upland cotton; ayant un rendement supérieur, elle supplanta le lowland cotton; tout l'effort de sélection s'étant porté sur elle, elle donna le jour surtout depuis 1850, à un nombre considérable de variétés. Il n'est pas question d'indiquer ici leur classification complète, mais les plus courantes se rattachent à 16 types :

^{1/} La coque de la graine de coton, d'une manière générale, est noire, mais avec des nuances pouvant aller du rouge brun au noir de jais.

fox, empire, rowden, mebane, triumph, western mebane, lankart, paymaster, macha, hibred, delfos, extra-long-staple upland, miscellaneous upland, deltapine, stoneville, coker 100, acala (Lagière, 1966). Les cinq derniers types ont une grande importance. La plupart de ces 16 types - dont certains se subdivisent en sous-types) comportent plusieurs variétés.

Diverses variétés de G. hirsutum ne sont pas cultivées aux Etats-Unis, mais dans d'autres pays, auxquels elles ont été acclimatées : au Brésil, en URSS, en Afrique (Tchad, Nigéria, Ouganda), en Chine, en Inde, etc.

G. barbadense

Le G. barbadense, également originaire d'Amérique, compte deux races :

- Race brasiliense au nord-est du Brésil, en Amérique centrale et aux Antilles, puis en Afrique et en Inde.
- Race darwinii, particulière aux îles Galapagos, très rare ailleurs, mais en relation avec d'importantes variétés cultivées.

Ces deux races, initialement vivaces, devinrent annuelles à mesure qu'on les introduisait en Afrique (d'abord sur les bords du Golfe de Guinée : Nigéria, Togo, Bénin, ensuite en Egypte) et dans le reste de l'Amérique, par exemple en Caroline du Sud, où elles fournirent le point de départ des cotonniers sea island, mentionnés précédemment, et au Pérou.

Les G. barbadense ont des fibres moyennes, longues ou extra-longues.

Des variétés de G. barbadense à fibres moyennes (ashmouni, giza 66), longues (giza 47, dendera, giza 67) ou extra-longues (ménoufi, giza 45 ou 68) sont cultivées en Egypte. Les variétés soviétiques à longues fibres sont également des G. barbadense dérivant des types égyptiens.

B. Variétés cultivées de cotonniers et zones de cultures dans les principaux pays producteurs

Etats-Unis

Issue des Etats ayant leur façade sur l'Atlantique (Virginie, Carolines, Géorgie, Louisiane), la culture du coton s'étendit progressivement, dès la fin du XVIIIème siècle, à toute la cotton belt. Entre les deux dernières guerres, et surtout après la seconde, l'essor des techniques d'irrigation lui permit de se développer vers l'ouest.

Les variétés utilisées dérivent des upland, qui sont des G. hirsutum.

On peut diviser en quatre grandes zones les régions de cultures du cotonnier :

- Le Sud-Est (Caroline du Nord, Caroline du Sud, Géorgie, Alabama, Floride, Virginie), où la pluviosité moyenne impose une irrigation d'appoint et où les sols sont pauvres. Les fermes exploitent souvent des champs de petite taille.

- Le Centre-Sud, appelé aussi "le delta", comprend les Etats riverains du Mississippi et de ses affluents (Missouri, Arkansas, Tennessee, Louisiane, Mississippi, Illinois et Kentucky). Malgré une pluviosité élevée, on use de l'irrigation afin d'augmenter les rendements. Les sols sont légers, profonds et fertiles.

- Le Sud-Ouest, composé des hauts plateaux accidentés du sud (Texas, Oklahoma). La pluviosité est faible, ce qui impose des variétés à maturité rapide et résistantes à la sécheresse; les sols sont fins, sableux et modérément fertiles.

- L'Ouest (Californie, Arizona, Nouveau Mexique, Nevada), zone aride, pourvue de sols profonds et fertiles. Grâce à l'irrigation, les rendements sont excellents.

Union soviétique

La culture du coton est surtout concentrée dans les Républiques socialistes soviétiques d'Asie centrale (Ouzbékistan, Tadjikistan, Turkménistan, etc.), mais elle existe aussi en Transcaucasie (Azerbaïdjan, Arménie). Ce sont des régions sèches, de climat continental où l'irrigation est indispensable. Les sols, généralement profonds et fertiles, contiennent parfois une proportion trop élevée de sel.

A l'origine, l'espèce cultivée était G. herbaceum et elle représente encore une grosse partie de la production. Les variétés upland furent introduites vers 1880, et G. barbadense plus récemment.

Chine

On distingue cinq régions de production :

- Le bassin du fleuve Houang-Ho, principale zone de production avec plus de 50 p.100 des surfaces plantées. La pluviosité est faible et mal répartie.

- Le bassin du fleuve Yang-Tsu, composé de plaines alluviales fertiles. La pluviosité y est moyenne.

- Le Nord-Ouest (Sin K'iang), où une insuffisante pluviosité impose l'irrigation.

- Le Nord-Est (bassin du fleuve Laokai).

- Le Sud, où la pluviosité est abondante.

Les espèces traditionnelles sont G. herbaceum et G. arboreum, cette dernière fut importée de l'Inde il y a plus de mille ans. Les upland ont été introduits vers 1850, mais n'ont pris de l'importance qu'à partir de 1930 environ.

Inde

Le coton est cultivé en Inde depuis des temps immémoriaux. Les régions de production et les principales espèces sont les suivantes :

<u>Zone</u>	<u>Espèce</u>
Septentrionale :	<u>G. hirsutum</u> , <u>G. arboreum</u>
Centrale nord :	<u>G. arboreum</u>
Centrale sud :	<u>G. arboreum</u> , <u>G. herbaceum</u> , <u>G. hirsutum</u>
Méridionale :	<u>G. hirsutum</u> , <u>G. arboreum</u>
Occidentale :	<u>G. herbaceum</u>
Orientale :	<u>G. arboreum</u>

Une petite production de G. barbadense a lieu dans les régions côtières (sea island, andrews)

Les variétés locales, dénommées desi, sont principalement des G. arboreum. On considère qu'actuellement, dans l'ensemble du pays, 60 p.100 de la superficie cotonnière est plantée en G. arboreum et en G. herbaceum, 40 p.100 en G. hirsutum, le G. barbadense étant négligeable.

Pakistan

Les variétés du Pakistan sont les mêmes que celles de l'Inde, mais avec une plus forte proportion de G. hirsutum provenant des upland.

Brésil

Le Brésil a deux zones de production nettement séparées : le Sud (Etats de São Paulo, du Parana et de Minas Gerais) qui fournit environ les deux tiers des récoltes avec des variétés upland et le Nord-Est où l'on cultive surtout des cotonniers vivaces de type moco^{2/} ou des cotons herbacés annuels^{3/}.

Egypte

Les provinces de Basse-Egypte (delta du Nil) sontensemencées avec des cotonniers à fibre extra-longue, celles de Moyenne-Egypte avec des variétés à fibres longues ou moyennes, tandis que la Haute-Egypte ne convient qu'aux variétés à fibres moyennes.

Toutes appartiennent à l'espèce G. barbadense qui fournit des cotons très réputés pour leur longueur, leur finesse et leur résistance.

Turquie

Les zones cotonnières de Turquie sont, suivant l'ordre d'importance décroissante :

- Tchoukouroua (Adana), région au nord-est de Chypre
- Egée (Izmir)
- Antalya, région au nord-ouest de Chypre

Le G. herbaceum, cultivé en Turquie depuis plus de mille ans (on l'appelle yerli), a été presque totalement remplacé par des upland. Il y a aussi un peu de G. barbadense.

Mexique

Etant proche de la cotton belt des Etats-Unis, le Mexique en a fait venir la majorité de ses semences, qui sont donc des upland.

Soudan

La plus grande partie des cotons cultivés au Soudan sont, comme en Egypte, des G. barbadense. Néanmoins, le sud du pays produit sans irrigation un peu de variétés upland.

^{2/} Ils résultent d'un mélange complexe de gènes de G. hirsutum race marie-galante, de G. hirsutum race latifolium, de G. barbadense race brasiliense.

^{3/} Ce sont des améliorations de variétés introduites anciennement, originaires d'Afrique et des Etats-Unis.

Pérou

On y cultive surtout des G. barbadense.

C. Aperçus sur la physiologie du cotonnier

On peut distinguer cinq phases dans la vie du cotonnier (Lagière, 1966).

Phase de la levée

La phase de levée va de la germination à l'étalement des cotylédons. Elle dure de 6 à 30 jours. Elle demande de l'humidité et de la chaleur : l'eau doit atteindre l'embryon pour que se déclenchent les processus biochimiques de la germination; même en présence d'eau, la germination ne se déclenche pas au-dessous de 14°C; elle est lente entre 14 et 25°C; elle est normale et rapide à 30°C; elle est presque nulle au-dessus de 40°C.

Les conditions optimales sont donc :

Température au sol : 25 à 30°C

Humidité au sol : 90 p.100 de la capacité en eau

Phase "plantule"

La phase "plantule" va de l'étalement des cotylédons au stade 3-4 feuilles. Elle dure de 20 à 35 jours. Les échanges avec le milieu et le métabolisme cellulaire sont actifs. Ils dépendent de l'humidité de l'air et du sol, de la température, de la lumière, de la nature physique et chimique du sol.

Durant cette période les conditions optimales sont :

Température du sol : plus de 20°C

Température de l'air : 25 à 30°C

Humidité du sol : terre humide (non saturée) et aérée

Cette période est capitale pour la croissance future des plantes. La carence du sol en azote s'y fait particulièrement sentir.

Phase de la préfloraison

La phase de la préfloraison va du stade 3-4 feuilles au début de la floraison. Elle dure de 30 à 35 jours. La plante croît rapidement. Le premier bouton floral apparaît d'ordinaire 35 à 45 jours après la levée. La croissance est ensuite telle qu'un bouton floral s'individualise tous les trois jours environ.

Humidité, aération et chaleur jouent leur rôle habituel, mais la fertilité du sol est ici le facteur le plus important. La floraison est d'autant plus abondante qu'il y a plus de branches fructifères et qu'elles sont plus longues. Le nombre de fleurs est par conséquent proportionnel à la taille du plant.

Phase de la floraison

La phase de la floraison dure de 50 à 70 jours. Chaque fleur éclot 20 à 25 jours après la différenciation du bouton. Le rythme de floraison est accéléré par un climat plus sec et plus chaud. Dès le déclenchement de cette phase la croissance du cotonnier se ralentit

La pollinisation d'une fleur de cotonnier a généralement lieu le jour même où elle s'ouvre. L'ovaire comporte 2 à 6 carpelles, et chaque carpelle 8 à 12 ovules.

Phase de la maturation des capsules

La phase de la maturation des capsules dure de 50 à 80 jours. Après la fécondation, l'ovaire grossit rapidement. Le fruit est une capsule de forme ovoïde, allongée ou sphérique, de couleur verte plus ou moins tachetée, de 2 à 5 cm de hauteur. Sa surface montre de nombreuses glandes. Chaque capsule contient 18 à 45 graines à raison de 6 à 9 par loge. Les graines sont assez volumineuses : 7 à 12 mm de long et 4 à 6 mm de large. Elles ont une forme ovoïde ou piriforme. Le poids de 100 graines varie de 7 à 17 g selon les variétés et les années. Il est désigné par les auteurs anglo-saxons sous le nom de seed index et il sert à repérer la taille des graines. Les graines des cotonniers cultivés sont recouvertes de grandes fibres appelées en anglais lint. Les graines de G. hirsutum sont recouvertes, en outre, d'un dense duvet composé de fibres plus courtes appelées linters ou fuzz. Les graines de G. arboreum et de G. herbaceum portent moins de duvet; celles de G. barbadense n'ont pas ce revêtement secondaire et sont donc nues après l'égrenage - opération consistant à séparer la fibre, c'est-à-dire le lint, des graines. Les linters peuvent avoir une couleur blanche, grise, verte ou brune. La coque de la graine est noire ou brunâtre, d'où le nom de black seeds donné aux graines égrenées de G. barbadense.

Pendant la maturation des capsules, l'influence de l'eau et de la lumière est prépondérante. Il est nécessaire que, durant les 21 premiers jours, le sol soit suffisamment humide pour permettre la migration des matières nutritives, mais il ne doit pas être saturé. Le soleil doit être présent après le 21ème jour; il hâte la maturation et il provoque la déhiscence, c'est-à-dire l'éclatement des capsules, suivant les lignes de suture des carpelles. Les fibres de coton floconnent alors à l'extérieur; elles sèchent peu à peu, ainsi que les graines.

L'influence de la température, à humidité et à ensoleillement égaux, intervient également : plus elle est forte, plus il y a de lint dans les capsules; plus le lint est court et grossier, mais résistant, plus la graine est légère, sa teneur en huile faible et son taux de protéines élevé. Cependant, cette influence ne joue pas toujours exactement dans les sens que nous venons de dire.

Des fleurs peuvent s'épanouir encore, alors que les premières capsules sont ouvertes, amorçant ainsi un second cycle de floraison.

D. Aperçus sur la culture du cotonnier

Les moyens mis en oeuvre pour cultiver le cotonnier dépendent du type d'exploitation (culture extensive ou intensive, petite parcelles ou grands domaines, etc.) et du degré de développement économique des pays considérés. Aux Etats-Unis, par exemple, la mécanisation est très poussée, tandis qu'en Inde et en Afrique le travail manuel reste souvent le seul possible. Ailleurs, une situation intermédiaire s'est instaurée : les gros travaux sont effectués mécaniquement, les autres manuellement.

Cette remarque préalable étant fait, nous examinerons succinctement divers aspects de la culture du cotonnier :

Assolements

Le cotonnier a besoin de sols de bonne qualité. Pourvu d'une racine pivotante longue de 0,60 m à 3 m, il lui faut une terre profonde et perméable. Craignant l'humidité stagnante qui favorise les maladies, il lui faut une terre bien drainée. Développant en quelques mois une végétation arbustive assez importante; il lui faut une terre fertile. La culture du cotonnier est l'une des plus épuisantes pour les sols.

Si les sols sont très riches, et si l'on utilise des engrais, on peut éviter l'assolement. C'est notamment le cas dans certaines régions des Etats-Unis. Toutefois, on recourt souvent à l'assolement, non seulement pour maintenir ou augmenter la fertilité, mais aussi pour lutter contre les maladies et contre les plantes adventices. De plus, en milieu tropical, c'est un moyen de combattre le lessivage et l'érosion des terres, parce que le cotonnier, qui ne couvre le sol que pendant une partie de l'année, ne remplit pas cette fonction.

Le choix du système de rotation des cultures est une question complexe, où interfèrent de nombreux facteurs, techniques et économiques. On use fréquemment d'un assolement triennal qui comporte, outre le coton, une année de légumineuses et une année de céréales.

Conditions climatiques

Dans les conditions les plus favorables, le cotonnier accomplit entièrement son cycle en 166 jours; dans un milieu moins propice le cycle durera 205 jours. Etant donné sa grande sensibilité au froid, il faudra donc que pendant sa culture (cinq mois et demi à sept mois) la température ne descende pas trop bas, et surtout pas en dessous de 5°C. Ceci implique :

Une limitation géographique aux zones tropicales ou subtropicales

La sélection de variétés précoces dans les pays à hivers froids (en URSS, par exemple).

Fertilisation

L'azote est l'élément le plus important pour le cotonnier, d'autant que le sol en manque souvent. La dose apportée à l'hectare sous forme d'engrais^{4/} varie d'ordinaire de 40 à 200 kg.

Après l'azote, le phosphore est l'élément le plus fréquemment déficient. Les fumures phosphatées fournissent en général 20 à 80 kg de P_2O_5 par hectare.

Lorsque la potasse est nécessaire, on ajoute 20 à 50 kg de K_2O par hectare.

Irrigation

Quand le climat le permet, on se passe d'irrigation. Ce mode de culture sèche est dénommé rain growth par les Anglo-saxons.

Dans le cas contraire, c'est-à-dire sous les climats chauds et secs, on est forcé d'irriguer afin de fournir le complément ou la totalité de l'eau indispensable.

En règle générale, la culture irriguée donne des rendements plus élevés et plus réguliers, et des fibres de qualité supérieure.

^{4/} On englobe dans cette application l'urée et l'amoniac.

Récolte

La cueillette du coton-graine^{5/} se fait en deux, trois ou même quatre passages. Elle peut être manuelle ou mécanique.

La cueillette manuelle, la seule utilisée autrefois, est encore pratiquée dans les pays de main-d'oeuvre abondante et bon marché ou sur les petites plantations familiales.

La cueillette mécanique, de plus en plus employée, a été développée pour des raisons économiques : recherche du moindre coût ou manque de main-d'oeuvre. Mais les graines ainsi récoltées sont mélangées d'impuretés (capsules, feuilles, morceaux de branche) qu'il faudra ensuite éliminer, au prix de traitements qui affaiblissent la résistance des fibres. De plus, on risque de cueillir des capsules insuffisamment mûres, ce qui se traduit par une perte économique. Les constructeurs de matériels ont fait de gros efforts pour supprimer ces inconvénients sans y parvenir entièrement. Avant le passage des machines, on répand des défoliants, afin que les feuilles ne se mélangent pas, ou plutôt qu'elles se mélangent moins au coton-grains.

Les récolteuses mécaniques appartiennent à deux types :

- Les strippers, qui sont pourvus de rouleaux, de brosses ou de doigts qui peignent littéralement la plante et arrachent les capsules (mûres ou non mûres) avec une forte proportion de déchets.

- Les pickers, dont l'avant est garni de broches montées sur des tambours à axe vertical, qui entraînent en tournant les broches qui pivotent également sur elles-mêmes. Elles pénètrent dans le cotonnier et accrochent le coton des capsules ouvertes. Pour faciliter l'accrochage des fibres sur les broches, celles-ci sont mouillées par un humidificateur. A l'intérieur de la machine, un déboureur recueille le coton des broches. Il existe des pickers où les broches sont remplacées par un système pneumatique d'aspiration ou par un système électrique qui attire les fibres sur des bandes ou des doigts chargés d'électricité.

Les pickers ont un rendement horaire environ deux fois moindre que les strippers, mais ils recueillent le coton-graine avec moins d'impuretés.

^{5/} On désigne par "coton-graine" la graine encore pourvue de ses fibres, contrairement à la graine de coton qui correspond à la graine dont on a retiré les fibres par égrenage.

Les ennemis du cotonnier

Les ennemis du cotonnier sont nombreux. On les classe en deux catégories :

- Les micro-organismes (champignons, bactéries, virus) responsables des multiples maladies du cotonnier;
- Les insectes parasites.

On estime que les maladies sont la cause de dommages et de pertes évalués en moyenne à 15-25 p.100 dans les zones tropicales humides^{6/}. Le pourcentage des pertes dues aux insectes n'est pas connu, mais il est certainement considérables.

Les méthodes de lutte comprennent les pesticides, l'introduction d'entomophages ou de parasites des insectes, la destruction des débris et le brûlage des cotonniers après la récolte, la désinfection des semences, l'assolement avec interruption de la culture du cotonnier durant au moins un an.

E. Les surfaces cultivées, les productions et les rendements dans le monde

Etant donné que la fibre représente pour ses usages textiles 80 à 90 p. de la valeur des produits du cotonnier, contre 10 à 20 p.100 pour la graine, il n'est pas étonnant que les statistiques internationales de production soient chiffrées en poids de fibre.

Le tableau 1 montre néanmoins comment se répartit en moyenne le poids d'une plante entière déshydratée :

Tableau 1. Poids et pourcentage des différentes parties de la plante de coton à maturité

Partie de la plante	Poids en g	Pourcentage
Racines	14,55	8,80
Tiges	38,26	23,15
Feuilles	33,48	20,35
Capsules	23,49	14,21
Graines	38,07	23,03
Fibres	17,45	10,56
	<u>165,30</u>	<u>100,00</u>

^{6/} Même aux Etats-Unis les pertes étaient encore chiffrées, vers 1960, à 16 p.100 de la production.

Tableau 2. Superficie des plantations de cotonniers et rendements en fibres de coton

Superficie				Rendement				Pays
1973/74	1974/75	1975/76	1976/77	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77	
En milliers d'hectares ^{a/}				En livres par acre ^{b/}				
Afrique du Nord								
230	230	1-4	200	217	217	213	217	Égypte
11 476	12 361	4 209	10 494	520	441	453	465	États-Unis
254	275	700	235	1 037	843	1 049	1 076	Libye
23	20	11	25	514	540	428	485	Maroc
1 040	1 400	581	627	699	766	749	778	Tunisie
451	447	358	400	699	1 061	678	615	Algérie
24	22	13	23	-	-	-	-	Autres pays
13 344	14 369	10 147	12 408	561	487	495	501	Total
Amérique du Sud								
1 121	1 248	1 022	1 200	239	303	288	319	Argentine
134	120	75	90	406	398	510	478	Bolivie
5 300	5 500	4 200	5 300	207	272	186	207	Bразил
133	127	422	400	468	460	430	329	Colombie
57	105	81	65	219	248	265	219	Équateur
130	256	252	540	229	229	274	221	Paraguay
352	350	239	284	556	458	550	565	Pérou
200	310	151	125	299	285	323	325	Vénézuéla
1	1	1	2	-	-	-	-	Autres pays
8 480	8 411	7 153	8 408	251	262	244	251	Total
Europe occidentale								
224	249	183	126	439	518	523	474	Espagne
312	319	333	373	659	752	861	854	Grèce
8	12	12	10	246	172	189	239	Italie
20	20	15	15	263	263	320	314	Total
144	652	543	524	561	637	717	593	Total
Europe orientale								
55	55	55	55	281	261	281	281	Albanie
90	90	90	85	319	292	286	289	Bulgarie
145	145	145	140	897	890	284	273	Total
6 275	7 116	7 216	7 290	783	823	772	800	URSS
Asie et Océanie								
185	275	300	320	388	348	351	373	Afghanistan
76	81	73	79	880	875	762	967	Australie
400	300	400	500	78	56	60	72	Birmanie
12 000	12 000	12 000	12 100	466	458	438	427	Chine
18 715	18 830	18 435	18 700	141	151	139	128	Inde
855	912	717	730	514	574	427	458	Iran
150	150	130	150	223	223	202	223	Irak
78	95	95	101	1 080	1 157	1 132	1 183	Israël
4 500	5 019	4 574	4 694	318	279	245	183	Pakistan
495	509	514	487	695	670	678	638	République arabe syrienne
33	26	25	25	300	259	268	287	République de Corée
105	140	150	170	341	307	319	337	Thaïlande
1 674	2 070	1 656	1 500	678	637	640	692	Turquie
30	30	30	30	255	335	239	319	Yémen démocratique
122	130	128	134	-	-	-	-	Autres pays
39 477	40 569	39 225	39 720	303	303	282	268	Total
Afrique								
210	210	220	250	354	411	272	382	Afrique du Sud
243	240	150	150	271	349	191	191	Angola
131	129	100	110	293	227	215	239	Bénin
144	145	166	173	358	363	341	304	Côte d'Ivoire
1 881	1 507	1 387	1 328	650	640	607	659	Égypte
308	334	334	330	118	115	79	101	Empire centrafricain
165	152	168	230	132	164	236	229	Hauts-Volts
130	170	170	200	92	68	68	72	Kénya
33	40	40	45	775	724	651	690	Madagascar
110	100	100	100	139	110	120	120	Malawi
172	171	216	280	245	296	398	324	Mali
40	35	43	30	339	332	202	239	Maroc
700	700	600	600	120	123	100	100	Kazakhstan
22	38	41	45	127	165	224	159	Niger
1 200	1 235	1 300	1 400	56	93	97	102	Nigeria
1 764	1 245	1 475	1 000	62	56	37	48	Ouganda
71	98	97	100	371	346	262	359	Sénégal
1 999	1 999	1 081	1 075	496	907	919	991	Soudan
151	154	181	198	152	210	228	218	République nigérienne du Cameroun
700	700	500	500	205	225	186	222	République-Unie de Tanzanie
665	672	831	780	144	174	172	150	Tchad
400	400	215	350	101	47	30	30	Zaïre
550	565	554	553	-	-	-	-	Autres pays
10 834	10 289	9 963	10 025	253	265	219	243	Total
80 323	82 341	74 394	78 514	376	375	350	351	Total mondial
18 990	19 331	19 475	19 100	507	580	508	506	Pays socialistes
19 333	63 010	54 919	58 914	314	300	276	280	Autres pays

Source : Bulletin trimestriel du Comité consultatif international du coton; coton-statistiques mondiales, octobre 1977, vol. 31, Nos. 2 et 3.

a/ 1 acre = 40,47 ares
 b/ 1 pound = 453,59 g.
 c/ Séries révisées

Tableau 3. Production de fibres de coton
(en milliers de balles)

Année commençant le 1er août									Pays
1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76	1976/ prel.	
									<u>Amérique du Nord</u>
17	10	6	-	1	3	2	2	6	Costa Rica
5	5	5	5	5	5	5	5	5	Cuba
203	210	252	315	323	345	345	275	300	El Salvador
11 030	9 950	10 269	10 270	13 890	13 300	11 525	8 500	10 600	Etats-Unis ^{a/ b/}
380	260	265	375	430	555	485	460	530	Guatemala
35	15	9	11	20	25	23	14	25	Honduras
2 450	1 750	1 440	1 715	1 780	1 500	2 230	910	1 020	Mexique
420	310	360	480	485	660	560	505	515	Nicaragua
4	4	3	3	4	4	5	3	3	Autres pays
14 544	12 514	12 609	13 174	16 938	16 397	15 180	10 674	13 004	Total
									<u>Amérique du Sud</u>
520	670	390	400	575	585	790	615	800	Argentine
20	17	45	70	115	115	100	80	90	Bolivie
3 325	2 675	2 740	3 135	3 000	2 465	2 440	1 825	2 300	Bразил ^{c/}
640	590	540	590	630	620	700	560	550	Colombie
25	25	21	18	25	26	55	45	30	Equateur
60	60	30	60	105	110	120	150	250	Paraguay
515	393	410	400	315	405	375	290	310	Pérou ^{d/}
1	1	1	1	-	1	1	1	1	Uruguay
71	66	76	98	95	125	185	105	85	Venezuela
5 177	4 497	4 253	4 772	4 860	4 452	4 766	3 671	4 416	Total
									<u>Europe occidentale</u>
355	270	250	200	260	210	270	200	126	Espagne
338	515	508	537	640	500	583	600	510	Grèce
8	9	5	6	4	4	4	5	5	Italie
18	19	20	16	12	11	12	10	10	Yougoslavie
719	813	783	759	916	725	869	815	650	Total
									<u>Europe orientale</u>
20	25	30	30	30	30	30	30	30	Albanie
80	60	70	60	75	60	55	50	50	Bulgarie
100	85	100	90	105	90	85	80	80	Total
9 200	8 850	10 800	11 000	11 100	11 100	12 250	650	12 200	URSS
									<u>Asie et Océanie</u>
110	130	100	105	115	150	200	220	250	Afghanistan
154	128	89	201	145	140	152	117	160	Australie
50	50	65	65	65	65	35	50	75	Birmanie
8 300	8 100	9 200	10 200	9 800	11 700	11 500	11 000	10 900	Chine
4 900	4 850	4 400	5 800	5 370	5 530	5 950	5 350	5 000	Inde
60	65	65	65	65	70	70	55	70	Irak
770	760	710	680	965	920	1 095	640	730	Iran
154	183	163	169	186	173	230	225	250	Israël
2 433	2 470	2 502	3 263	3 237	3 037	2 925	2 370	1 800	Pakistan
710	690	690	725	750	720	670	730	650	République arabe syrienne
20	20	20	19	18	21	14	14	15	République de Corée
200	200	85	150	95	75	90	100	120	Thaïlande
2 005	1 845	1 845	2 420	2 505	2 365	2 760	2 215	2 170	Turquie
3	2	2	3	3	5	12	5	5	Yémen
30	23	26	20	21	16	21	15	20	Yémen démocratique
29	31	21	27	25	26	33	32	44	Autres pays
19 928	19 547	19 983	23 912	23 365	25 013	25 757	23 138	22 229	

Année commençant le 1er août									Pays
1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76	1976/ prel.	
									<u>Afrique</u>
125	80	85	92	92	185	215	125	200	Afrique du Sud
5	5	5	1	2	3	2	5	5	Algérie
75	108	142	145	83	140	175	60	60	Angola
40	42	65	85	88	80	57	45	55	Bénin
10	10	10	10	10	10	10	10	10	Burundi
78	61	54	91	99	108	110	120	110	Côte d'Ivoire
2 013	2 497	2 346	2 351	2 060	2 258	2 018	1 762	1 827	Egypte
100	102	91	78	80	76	90	55	70	Empire centrafricain
55	65	65	75	80	100	110	110	110	Ethiopie
53	61	39	49	55	45	52	90	110	Haute-Volta
19	23	25	25	25	25	25	25	30	Kenya
20	29	37	43	43	54	60	55	65	Madagascar
25	30	33	33	25	32	23	25	25	Malawi
75	80	92	117	112	88	106	160	190	Mali
20	21	29	40	40	27	24	19	15	Maroc
205	215	162	218	225	175	160	130	130	Mozambique
11	17	16	14	9	6	13	19	15	Niger
260	425	180	175	220	140	240	265	300	Nigeria
355	390	345	345	360	230	145	115	100	Ouganda
116	157	65	73	77	48	70	90	90	République-Unie du Cameroun
240	330	350	305	355	300	330	195	325	République-Unie de Tanzanie
200	200	200	200	160	150	220	180	150	Rhodésie
16	18	19	36	39	55	71	53	75	Sénégal
1 050	1 135	1 130	1 125	920	1 090	1 015	450	700	Soudan
260	200	160	190	180	200	245	300	245	Tchad
9	9	10	14	10	15	18	16	10	Togo
75	80	90	95	110	85	75	40	55	Zaire
10	10	18	20	13	8	5	4	5	Zambie
1	1	1	1	-	5	5	13	20	Autres pays
5 532	6 424	5 863	6 045	5 879	5 738	5 699	4 555	5 102	Total
55 200	52 730	54 391	59 752	63 163	63 515	64 606	54 563	57 681	Total mondial
17 615	17 050	20 115	21 305	21 020	22 905	23 850	22 745	23 195	Pays socialistes
37 585	35 680	34 276	38 447	42 143	40 610	40 756	31 838	34 486	Autres pays

Source : Bulletin trimestriel du Comité consultatif international du coton; coton-statistiques mondiales, octobre 1977, vol.31, Nos 2 et 3.

- a/ Chiffres exprimés en balles courantes ajustés pour inclure les égrenages au cours de la campagne ainsi que le coton rassemblé après utilisation aux fins d'échantillonnage, excepté pour les chiffres à partir de 1972/73, qui sont exprimés en balles de 478 livres net (216,8 kg).
- b/ Données établies d'après les égrenages au cours de la campagne.
- c/ Séries révisées.

Tableau 4. Production de fibres de coton longues et extra-longues
(en milliers de balles)

	Année commençant le 1er août										Pays
	1967/68	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76	1975/76	
	Fibres à soies longues										
	130	145	135	70	150	135	150	150	160	160	Brazil
1 246	1 241	1 586	1 349	1 423	1 496	1 443	1 280	1 107	1 107	1 107	Egypte
748	1 819	693	719	1 590	997	750	1 414	1 022	1 022	1 022	Etats-Unis ^{a/}
162	114	130	120	200	500	615	1 000	1 365	1 365	1 365	Inde
105	143	88	107	86	53	49	8	2	2	2	Mexique
88	135	155	195	140	95	115	70	70	70	70	Ougand
250	347	265	250	279	222	262	210	165	165	165	Pérou ^{b/}
363	456	465	560	562	725	1 119	1 768	1 118	1 118	1 118	Autres pays
3 092	4 400	3 537	3 370	4 450	4 223	4 503	6 265	4 644	4 644	4 644	Total partie ^{c/}
1 780	1 575	1 550	1 555	1 300	1 425	1 500	1 700	URSS
4 872	5 975	5 087	4 925	5 750	5 648	6 003	7 965	Total mondial ^{d/}
Fibres à soies extra-longues											
768	772	911	997	928	873	815	738	655	655	655	Egypte
69	78	77	57	96	94	78	91	55	55	55	Etats-Unis
-	-	-	-	-	-	305	187	655	655	655	Inde ^{e/}
1	3	5	7	10	15	14	19	12	12	12	Israël
24	30	31	28	40	40	26	24	18	18	18	Maroc
141	160	125	162	118	95	145	155	116	116	116	Pérou
735	860	925	945	935	740	885	810	275	275	275	Soudan
8	30	23	26	25	25	25	21	15	15	15	Yémen démocratique
6	3	2	1	1	1	1	6	2	2	2	Autres pays
1 752	1 936	2 089	2 223	2 153	1 883	2 294	2 051	1 803	1 803	1 803	Total partiel
640	630	635	855	900	955	865	935	925	925	925	URSS ^{e/}
2 392	2 566	2 734	3 078	3 053	2 838	3 159	2 986	2 728	2 728	2 728	Total mondial ^{e/}

Source : Bulletin trimestriel du Comité consultatif international du coton; coton-statistiques mondiales, octobre 1977, vol. 31, Nos 2 et 3.

- a) Coton upland seulement.
- b) Données établies d'après les égrenages de la campagne.
- c) Sauf la Chine.
- d) Les variétés MCU-5 et varalaxmi forment à elles deux 95 % du total.
- e) Séries révisées.

On voit que le rapport entre le poids des fibres et celui de l'ensemble des graines + fibres est de 31,4 p.100. Un moyen aisé de convertir une production de fibres en production de graine entière consiste à multiplier la première par trois : de même, on obtient la production de graine seule en multipliant la première par deux. Néanmoins, ces calculs ne sont qu'approximatifs, car le pourcentage de fibres dans la graine entière dépend des variétés et de nombreux autres facteurs. Il peut se situer entre 30 et 43 p.100, les fourchettes habituelles étant les suivantes :

<u>Variétés</u>	<u>En pourcentages</u>
<u>G. arboreum</u> et <u>G. herbaceum</u>	30 à 33
<u>G. barbadense</u>	30 à 34
<u>G. hirsutum</u> (certaines variétés allant de 40 à 42 p.100)	33 à 39

Les tableaux 2, 3 et 4 montrent quelle a été depuis plusieurs années, l'évolution des surfaces cultivées, des rendements et des productions dans le monde. On voit ainsi qu'en 1976/77 (chiffres provisoires), les rendements en fibres en kg/ha des principaux pays producteurs ont été les suivants :

<u>Pays</u>	<u>En kg/ha</u>
Brésil	232
Chine	479
Egypte	739
Etats-Unis	521
Inde	143,5
Mexique	872
Pakistan	205
Pérou	633
Soudan	349
Turquie	776
URSS	897

Source : Bulletin trimestriel du Comité consultatif international du coton. Coton -Statistiques mondiales, octobre 1977, vol. 31, No 2 et 3.

Exprimée en milliers de tonnes de fibres, la production 1976/77 (chiffres provisoires) des principaux pays producteurs s'établit donc ainsi :

<u>Pays</u>	<u>En milliers de tonnes</u>
Brésil	499
Chine	2 363
Egypte	396
Etats-Unis	2 298
Inde	1 084
Mexique	221
Pakistan	390
Pérou	67
Soudan	152
Turquie	470
URSS	2 645
Total de ces 11 pays	10 585
Total mondial	12 505

Source : Ibid.

Les onze pays considérés ont donc représenté 84,6 p.100 de la production mondiale en 1967/77.

F. Description et composition de la graine de coton

La graine entière de coton comprend les fibres et la graine proprement dits. Dorénavant, il faudra entendre par le mot "graine" sans autre précision la graine dépouillée de ses fibres.

La graine, ainsi définie, est composée de trois parties principales :

- Le duvet ou linters qui est l'ensemble des fibres courtes restant attachées à la graine après égrenage;
- La coque ou spermoderme
- L'amande ou embryon.

Les proportions de ces trois fractions dépendent des variétés, des conditions de culture, du climat, des taux d'humidité de la graine, de sa plus ou moins grande maturité, des conditions de stockage, des traitements subis, etc. En particulier, il a été précédemment indiqué que le taux de linters était nul pour les G. barbadense, compris entre 3 et 5,5 p.100 (parfois inférieur à 2 p.100) pour les G. arboreum et G. herbaceum, entre 8 et 12 p.100 (parfois jusqu'à 15 p.100 pour les G. hirsutum).

Une abondante littérature technique internationale, remontant à la fin du siècle dernier et se poursuivant aujourd'hui encore pour les nouvelles variétés, fournit des informations - d'ailleurs quelquefois contradictoires - sur la répartition des linters, coque et amande, dans les graines de coton. Les valeurs usuelles ^{1/}ci-après, s'appliquent à des graines contenant 10 p.100 d'humidité (tableau 5).

Tableau 5. Composition de la graine de coton en linters, coque et amande (en pourcentage)

	Linters	Coque	Amande	Total
<u>G. hirsutum</u>	9,5 à 12 moyenne 10,5	36 à 40 moyenne 38	50 à 53 moyenne 51,5	100
<u>G. arboreum</u> et <u>G. herbaceum</u>	4 à 5 moyenne 4,5	43 à 46 moyenne 44,5	50 à 52 moyenne 51	100
<u>G. barbadense</u>	0	36 à 41 moyenne 38,5	59 à 64 moyenne 61,5	100

Il faut observer que certains auteurs déterminent les pourcentages par rapport au poids de la graine déshydratée, ce qui change légèrement les résultats.

Examinons maintenant la composition des trois parties de la graine

Les linters

Les linters (quand ils existent) sont, comme le lint, constitués de cellulose presque pure, puisque le taux de celle-ci (cellulose) varie de 95 à 97 p.100. Cependant, une fraction (10 à 20 p.100) de la cellulose est à l'état indésirable d'oxycelluloses, qu'on détecte aisément parce qu'elles sont solubles dans les alcalis. On doit en outre compter 0,20 à 1,50 p.100 d'huiles et de cires solubles dans l'éther ou le benzène, et 0,50 à 2 p.100 de cendres.

La coque

La coque comporte trois grands composants : la cellulose, les pentosanes^{8/} et la lignine. Les proportions varient en fonction des mêmes facteurs que ceux signalés plus haut, mais restent à l'intérieur du cadre suivant (Murti et Achaya, 1975).

^{1/} Certaines variétés sortent de ces limites, mais elles sont l'exception.

^{8/} Les pentosanes résultent de la combinaison d'une molécule d'acide glucoronique (sous la forme d'un polyuronide) avec 10 à 16 molécules de xylose.

	<u>Pourcentage</u>	<u>En moyenne</u>
α -cellulose	35 à 47	44
Pentosanes	19 à 35	30
Lignines	15 à 25	21
Protéines		3,50
Corps gras		0,85
Cendres		1,80

L'amande

Sous réserve des mêmes remarques sur la variabilité des proportions et ses causes, les taux limites habituels des deux constituants les plus importants de l'amande, à savoir l'huile et les protéines, ont été réunis (voir tableau 6). La teneur de ces dernières est calculée en multipliant le pourcentage d'azote par le coefficient de Kjeldahl (6,25) ou par d'autres méthodes ($\text{NH}_3 \times 5,13$).

Tableau 6. Pourcentage d'huile et de protéines dans les amandes de graines de coton

	Huiles (En pourcentage)	Protéines
<u>G. hirsutum</u>	30 à 40 moyenne 35	31 à 41 moyenne 36
<u>G. arboreum</u>	36 environ	27 à 35 moyenne 31
<u>G. herbaceum</u>	32 environ	29 à 37 moyenne 33
<u>G. barbadense</u>	36 à 42 moyenne 39	31 à 38 moyenne 34,5

Bien entendu, il ne faut pas raisonner uniquement en termes de pourcentages, mais regarder aussi le poids des graines, que reflète le seed index (poids de 100 graines pouvant aller de 7 à 17 grammes), et examiner le rapport entre le poids de l'amande et celui de la graine. Tous ces facteurs sont variables, et influent sur le rendement à l'hectare en huile et en protéines.

En dehors de l'huile et des protéines, l'amande contient d'autres composants, auxquels peu d'études sont consacrées. Elle comporte notamment des glucides (environ 14 p.100 du poids sec), composés de mono-, di- et trisaccharides,

pectines, dextranes, hémicelluloses et cellulose, mais avec très peu ou pas du tout d'amidon. Le principal glucide est le trisaccharide raffinose, qui représente 5 à 10 p.100 du poids sec. L'amande comprend aussi des dérivés phosphorés (principalement des sels de l'acide phytique et des phospholipides), des substances minérales, des composés azotés non protéiques, des anti-oxydants, des vitamines liposolubles et hydrosolubles.

Beaucoup d'auteurs rapportent les pourcentages d'huile et de protéines au poids de la graine, sans d'ailleurs se donner en général la peine de préciser s'il s'agit de l'huile et des protéines contenues dans l'ensemble linters + coque + amande, ou seulement dans l'amande. Il est vrai que les résultats ne diffèrent guère, puisque les linters et la coque ne comportent qu'une quantité très faible de ces substances.

On arrive ainsi aux pourcentages moyens ci-après :

Tableau 7. Composition de la graine en huile et protéines
(en pourcentage)

Espèce	Huile (en pourcentage)	Protéines
<u>G. hirsutum</u>	20	21
<u>G. arboreum</u>	18	16
<u>G. herbaceum</u>	16	17
<u>G. barbadense</u>	24	21

La dispersion autour de ces moyennes est importante.

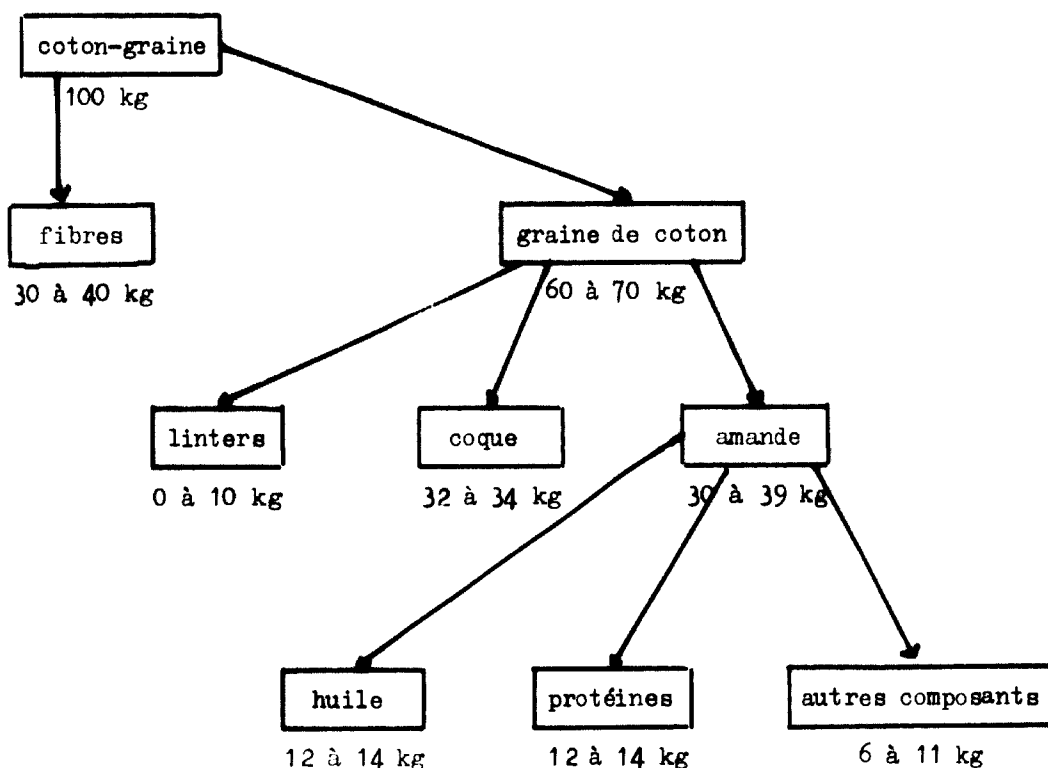
La composition d'ensemble de la graine est donnée au tableau 8.

Tableau 8. Composition d'ensemble de la graine de coton

Composants	En pourcentage du poids de la graine
Eau	10
Huile	20
Protéines	20
Cellulose brute	23
Cendres	4
Autres composants (carbohydrates, etc.)	23

La figure I résume l'essentiel des données qui ont été rassemblées sur la graine de coton. Compte tenu des grandes variations que peuvent enregistrer les pourcentages des différents constituants, seules des limites approximatives peuvent être fournies.

Figure I. Décomposition moyenne en poids de 100 kg de coton-graine (Buffet, 1977)



Il n'est pas question d'étudier ici les effets individuels des différents paramètres qui influent sur la composition de la graine. Il convient cependant de souligner l'un d'entre eux : le degré de maturité de la graine. Si l'on part du jour de la fécondation, on s'aperçoit que le poids des graines fraîches atteint son maximum en cinq semaines, mais à ce moment ne se sont formés que 15 p.100 du poids de l'huile, moins de 50 p.100 du poids des protéines et de la matière sèche totale, par rapport aux poids qui seront atteints au début de la neuvième semaine. C'est donc vers le 60ème jour qu'il est préférable de récolter les graines, du moins si l'on ne considère que ces facteurs, car au-delà le poids de l'huile et celui des protéines régressent.

G. Le gossypol

Le gossypol dans la graine de coton

Les graines de coton, ainsi d'ailleurs que d'autres parties de la plante, sont piquetées de glandes à pigments qui ont une forme ovoïde ou sphérique, et dont le grand axe mesure 100 à 400 μ . Ces glandes se répartissent d'une manière hétérogène dans l'amande de la graine. Elles possèdent une enveloppe constituée par plusieurs couches de cellules épithéliales et, à l'intérieur, différents pigments, dont le plus important est le gossypol, de couleur jaune, qui représente 20 à 40 p.100 du poids de la glande et 95 p.100 du poids des pigments.

Outre le gossypol, on rencontre dans les glandes à pigments, les substances suivantes : la gossypurpurine de couleur pourpre; la gossycaeruleine de couleur bleue, qui n'est pas un constituant de la graine brute mais apparaît durant son chauffage; la gossyfulvine, de couleur orange, très rare, qui est surtout détectée dans les graines stockées sous forte humidité; la gossyverdurine, de couleur verte; des flavones; des anthocyanines, de couleur violette; des caroténoïdes; de la chlorophylle; des résines, etc.

Compte tenu de tous ces composants, les pigments colorent en jaune/rouge l'huile et la farine qu'on extrait des graines de coton.

Le gossypol est insoluble dans l'eau. Toutefois, quand les glandes à pigments d'une amande broyée sont mises en contact direct avec de l'eau, leurs membranes se rompent rapidement, d'ordinaire en un seul point, et les pigments se déversent dans l'eau, d'où ensuite ils précipitent.

Le gossypol est soluble dans le méthanol, l'éthanol, l'isopropanol, le n-butanol, l'éther, l'acétate d'éthyl, l'acétone, le chloroforme, le tétrachlorure de carbone, le diexane froid, le diéthylèneglycol et la pyridine; il est légèrement soluble dans le glycérol, le cyclohexane et les éthers de pétrole à haut point d'ébullition (10-110° C); insoluble dans les éthers de pétrole à bas point d'ébullition (30-60°C). Il est également soluble dans l'huile de coton, dans les solutions alcalines et dans certains sels.

Lorsqu'on utilise des solvants miscibles à l'eau (méthanol, éthanol), cette dernière brise la paroi des glandes à pigments et le gossypol se dissout dans les solvants, mais plus ou moins vite et avec un rendement variable selon la nature et la proportion des produits.

Chimiquement, le gossypol est un binaphtaldéhyde phénolique.

Teneur en gossypol de graines de coton de diverses espèces

Les variétés classiques de graines de coton contiennent toutes du gossypol. Pour cette raison, on les appelle glanded cottonseed, afin de les distinguer des glandless cottonseed dont il sera question plus loin.

La teneur en gossypol dépend de multiples facteurs, mais reste comprise entre 0,30 et 2 p.100 du poids de la graine.

On estime généralement qu'elle est plus basse pour les G. herbaceum que pour les G. hirsutum, et pour ces derniers que pour les G. barbadense, mais les analyses sont tellement contradictoires qu'il ne faut pas accorder trop de valeur à ce classement.

Les inconvénients du gossypol

Coloration de la graine et des produits qui en dérivent

Le stockage de la graine, surtout quand elle est humide (plus de 10 p.100 d'eau) et que ses processus biochimiques dégagent de la chaleur, entraîne la formation d'acides gras libres et la rupture des glandes à pigments. Le gossypol se répand dans la graine, s'oxyde, se combine à l'huile et aux protéines, en assombrissant leur couleur.

On peut y relier le phénomène dit du pink white discoloration, sur lequel on reviendra dans le chapitre V, consacré à l'huile de coton. Il consiste en ceci que les oeufs pondus par des poules nourries avec des tourteaux de coton présentent, après un certain temps de stockage, des teintes anormales : le blanc devient rose ou rouge, le jaune devient brun ou vert olive. Le fait est imputable à l'action combinée du gossypol et de deux acides gras présents dans l'huile de coton en faible quantité, les acides cyclopropéniques : ces derniers modifient la perméabilité de la membrane vitelline de l'oeuf, permettant au gossypol de s'infiltrer dans le jaune et d'altérer sa couleur.

Abaissement de la valeur nutritionnelle des protéines et toxicité

De nombreux travaux ont montré que la valeur nutritionnelle d'une farine de coton est d'autant meilleure qu'elle comporte moins de gossypol.

En effet, durant la cuisson de l'amande concassée qui est la première phase de l'extraction de l'huile, apparaît un gossypol lié, résultat de sa combinaison avec les acides aminés des protéines et particulièrement avec la lysine^{9/}. Cette lysine ainsi associée au gossypol cesse d'être utilisable par l'organisme. De surcroît le gossypol lié réduit la digestibilité des protéines en bloquant l'action des enzymes protéolytiques.

Il est difficile d'éliminer le gossypol lié une fois qu'il s'est formé dans une farine de coton.

D'autre part, le gossypol libre a un léger effet toxique (perte de poids, etc.) sur les animaux monogastriques et sans doute sur l'homme. On peut atténuer ou supprimer cet effet par l'adjonction de sels de fer, ou de potasse. En revanche, il est bien toléré par les ruminants.

Les graines de coton sont consommées depuis longtemps par certaines populations d'Afrique, généralement à l'occasion de disettes ou aux périodes de soudure entre deux récoltes vivrières. On a observé des cas d'œdèmes graves, mais la plupart des groupes ethniques consommateurs savent inactiver partiellement le gossypol par des pratiques culinaires telles que l'addition de potasse sous forme d'eau de cendres.

Procédés de séparation des glandes à pigments de la graine de coton

Flottation des glandes à pigments

Le procédé de flottation des glandes à pigments fut élaboré au Southern Regional Research Center (SRRC) par l'équipe de Boatner en 1946. Ces chercheurs observèrent que la densité des glandes à pigments (1,26 à 1,38 g/cm³) était inférieure à celle du tissu extraglandulaire de l'amande (1,40 à 1,45 g/cm³) et à celle des coques (moins de 1,45 g/cm³). Ils tirèrent partie de ces différences en désintégrant violemment les flocons de graine de coton dans un courant d'hexane mélangé à d'autres solvants lourds dans un rapport tel que le poids spécifique résultant était de 1,378 g/cm³). Dans ces conditions, les glandes qui flottent à la surface peuvent être mécaniquement séparées des huiles et des tissus sans amandes, lesquels précipitent. Le degré de fragmentation doit être fixé avec soin : s'il est trop bas, il demeure trop de gossypol dans les tissus, s'il est trop élevé, l'écart de densité entre les tissus et les glandes est trop faible pour permettre un fractionnement. Une autre difficulté rencontrée fut la nécessité d'employer des solvants lourds à haut point d'ébullition et toxiques.

^{9/} On pense que le principal site de fixation est le groupe libre
ε - amino de la lysine.

Décantation différentielle

Les désavantages du procédé de flottation des glandes conduisirent Vix et ses élèves à étudier une technique de décantation différentielle. Elle s'appuie sur le fait que les fines particules de l'amande (2 à 40 μ) précipitent plus lentement dans une suspension d'hexane que les fragments de coque, les glandes à pigments ou les grosses particules de l'amande ($> 40 \mu$). Quoique le produit obtenu par cette technique contienne aussi peu de gossypol (0,006 p.100) que celui provenant de la flottation des glandes à pigments, l'industrie ne s'y intéressa pas, pour des raisons économiques.

Séparation pneumatique

La séparation pneumatique est un procédé mis au point par Meinke et Reiser. Les amandes de graine de coton, dont le taux d'humidité a été ajusté, sont broyées, puis l'huile est extraite par de l'hexane, et le tourteau débarassé du solvant est désintégré par attrition. Enfin, le tourteau subit une séparation pneumatique. A partir d'une matière comportant initialement 1,08 p.100 de gossypol libre et 50,6 p.100 de protéines, on a obtenu ainsi un tourteau comprenant 0,88 p.100 de gossypol libre et 62,4 p.100 de protéines.

Procédé du cyclone liquide

Le procédé LCP (liquid cyclone process), développé à l'origine par Gastrock et al., avant d'être amélioré par Gardner et al. est la première méthode permettant économiquement, à l'échelle industrielle, de retirer les glandes à pigments de la graine de coton et de produire une farine sans glandes, consommable par l'homme, à forte teneur en protéines. Il s'applique à des graines dont on a retiré la coque et qu'on a moulues en fines particules dans de l'hexane. Les glandes à pigments ne se rompent pas si la matière contient moins de 4 p.100 d'eau^{10/}. Ensuite, cette suspension est introduite sous pression et tangentiellement, ce qui instaure dans l'appareil un vortex, c'est-à-dire un mouvement tourbillonnaire rapide du liquide. La force centrifuge projette les

10/ Des travaux récents ont montré que cette rupture des glandes ne se produit pas, même bien au-delà de 4 p.100 d'eau, si celle-ci contient certaines doses des sels minéraux tels que le sulfate de sodium, le sulfate d'alumine, d'ammonium, de cadmium, de cuivre, etc., ou des chlorures de calcium, de fer ou de magnésium. Le sulfate de sodium est spécialement intéressant, car il ne nuit pas à la solubilité des protéines. Il s'ensuit que le procédé LCP pourrait être envisagé avec diverses solutions aqueuses.

particules lourdes, parmi lesquelles se trouvent les glandes à pigments, vers l'extérieur du cyclone, tandis que les particules légères et la plus grande partie du liquide se concentrent dans son axe. La séparation s'achève ensuite aisément : les particules lourdes descendent au fond de l'appareil, d'où elles sont extraites; le gros du liquide, qui contient les particules légères, monte verticalement le long de l'axe et s'écoule par un orifice supérieur.

Une usine utilisant cette technique fut construite en 1973/74 à Lubbock, Texas (Etats-Unis). Son schéma de fonctionnement peut être ainsi résumé en partant des amandes de graine de coton :

Celles-ci, qui comportent environ un tiers d'huile et deux tiers de matière solide, sont d'abord séchées pour abaisser leur taux d'humidité à moins de 3 p.100 dans le but d'éviter que les glandes à pigments ne se rompent durant le processus. La température de séchage est d'environ 80°C; si elle était plus forte elle risquerait de dégrader les protéines.

Après le séchage, un système pneumatique conduit les amandes dans une paire de broyeurs à aiguilles, qui les moud en particules dont l'épaisseur est de 0,20 à 0,30 mm. Une mouture plus poussée (comme celle entraînée par le laminage des flocons) romprait les glandes à pigments.

Les amandes broyées vont dans un mélangeur, où l'on introduit de l'hexane. Le mélange est dilué à 45 p.100 par un apport supplémentaire de solvant, afin de faciliter la séparation dans le cyclone.

La pâte, contenant 20 à 22 p.100 de matière solide^{11/}, est agitée à mesure qu'elle pénètre à l'intérieur des cyclones. Il y a deux jeux de cyclones doubles (comprenant chacun un cyclone primaire et un cyclone secondaire). Ceci augmente la production et entraîne une meilleure séparation.

Les cyclones scindent la pâte en deux fractions : une fraction sans glandes, contenant 13 à 15 p.100 de matière sèche à haute teneur en protéines, et une farine grossière à 43-45 p.100 de matière sèche, riche en glandes. Après ajustement de cette séparation, les deux fractions subissent des traitements ultérieurs différents.

La fraction sans glandes passe dans un filtre rotatif à tambour, fonctionnant sous vide, qui élimine la plus grosse partie du solvant. Durant cette filtration, le taux d'huile, dans la farine désolvantisée, est réduit à 0,60 p.100 environ.

^{11/} Ce taux est un compromis qui tient compte de la fluidité indispensable dans le cyclone, du coût des solvants et du rendement.

Les traces résiduelles de solvant sont éliminées ensuite par des mélangeurs rotatifs, selon le principe suivant : la farine est chauffée à 82°C; on insuffle de l'azote pour détacher les restes de solvant (leur teneur doit devenir inférieure à 50 ppm) et pendant cette phase on peut élever la température de la farine jusqu'à 93°C afin de tuer le maximum de bactéries. En raison de l'absence d'eau dans la farine, ce chauffage n'a pas d'effet - ou en a très peu - sur la qualité des protéines et sur la couleur de la farine. Ensuite on refroidit celle-ci à 43°C et on l'emballage aseptiquement dans des sacs à double enveloppe de polyéthylène, qu'on place dans des fûts. La composition de cette farine, destinée à l'alimentation humaine, est donnée au tableau 9 ci-après :

Tableau 9. Composition de la farine de la graine de coton destinée à l'alimentation humaine

Composants	En pourcentage
Eau	3,66
Huile	0,62
Gossypol libre	0,03
Gossypol total	0,12
Azote	10,54
Protéines (azote x 6,25)	68,40
Lysine disponible, g/16 g N	3,94
Fibres	2,4
Cendres	7,54
Hexane résiduel	(35 ppm)
Hydrates de carbone et autres composants	17,23

Source : Documentation commerciale de Plains Cooperative Oil Mill.

La fraction riche en glandes contient 3 à 5 p.100 de gossypol, des protéines, du solvant (lui-même comportant de l'huile) et de l'eau. Les protéines ainsi détournées ne représentent pas plus de 35 p.100 du total. La pâte est pompée dans un réservoir où elle est diluée avec de l'hexane, puis envoyée dans un second jeu de deux cyclones pour une nouvelle séparation en fonction de la densité des particules.

La fraction lourde sortant de ces appareils est dirigée vers une cuve munie d'agitateurs, qui alimente un filtre rotatif, fonctionnant sous vide. L'hexane se sépare en entraînant l'huile. La matière filtrée est débarrassée de ses restes de solvant qui sont également récupérés, et elle est alors prête à entrer dans la composition d'aliments pour le bétail.

L'inconvénient de ce procédé est que la fraction à basse teneur en gossypol ne correspond qu'à une partie du poids de l'amande, comme le montre le tableau 10.

Tableau 10. Composition des différentes fractions de graines de coton dans l'extraction à l'hexane

Pour 100 kg de graines on a :	En kg
Linters	10
Coque	38
Huile	18
Farine à basse teneur en gossypol	18
Tourteau à haute teneur en gossypol	13

Source : Documentation commerciale de Plains Cooperative Oil Mill.

D'un point de vue pratique, un atelier utilisant le procédé LCP pour la production d'une farine de graine de coton destinée à l'alimentation doit être adjoint à une usine fabriquant des tourteaux, car :

- L'alimentation humaine exige une matière première de qualité supérieure, comportant un minimum de coques;
- La séparation et la récupération de l'hexane et de l'huile sont plus économiques quand elles s'opèrent dans les installations d'une grande huilerie;
- Le sous-produit riche en gossypol doit être combiné aux autres aliments pour le bétail fabriqués par l'huilerie.

L'usine de Lubbock a été construite avec une capacité initiale de 25 t/jour de farine à basse teneur en gossypol. Cette capacité a pu être doublée par la suite.

Elimination du gossypol de l'huile de coton

L'élimination du gossypol de l'huile de coton peut être accomplie par plusieurs agents chimiques. Il est bien connu que le traitement de l'huile brute de coton par des alcalis ou par des sels alcalins retire non seulement les acides gras libres qui partent dans le soapstock, mais en même temps le gossypol. Ainsi, on rapporte que les soapstocks obtenus à partir d'huile de coton en Inde contiennent 20 p.100 de gossypol. Parmi les autres substances chimiques servant à dégossypoliser l'huile de coton mention peut être faite de l'hypochlorite de sodium, de l'acide p-aminobenzoïque, de l'acide anthranilique, de la diéthylénetriamine, du peroxyde d'hydrogène, du borax, de l'acide p-aminosalicylique, du silicate de sodium.

Elimination ou inactivation du gossypol des tourteaux de coton

On peut éliminer le gossypol des tourteaux, ou l'inactiver, en recourant à des produits chimiques.

L'addition de 2 p.100 de stéarylamine aux amandes pendant leur cuisson en milieu très humide procure des tourteaux ayant moins de 0,01 p.100 de gossypol libre; ils ont une bonne valeur nutritionnelle et ne créent pas sur les oeufs de poule le phénomène désagréable de coloration.

On peut aussi extraire le gossypol avec de l'éther enrichi d'acide acétique, ou avec divers autres solvants (acétone-mélanges azéotropique tels que hexane-acétone-eau, ou butanone-acétone-hexane-eau, avec plusieurs additifs. Citons aussi l'éthanolamine en solution dans l'éthanol).

L'inactivation du gossypol est obtenue par plusieurs sels de fer, par l'hydroxyde de calcium, par la potasse.

Développement des graines de coton sans glandes

La dégossypolisation des farines et des tourteaux de coton n'a pas pris une grande ampleur, car elle implique un outil technologique compliqué et onéreux, sans parvenir à éliminer entièrement le gossypol.

Une solution plus séduisante est offerte par les graines glandless, c'est-à-dire dépourvues de glandes à pigments. Elles sont apparues en 1959 à la suite des travaux du généticien américain Mc Michael.

Immédiatement, débuta un vaste effort de sélection afin d'obtenir des variétés bien adaptées aux Etats-Unis, et de nombreuses recherches furent faites pour déterminer leurs caractéristiques et leurs avantages. Les travaux menés à la Nouvelle-Orléans par le Southern Regional Research Laboratory de l'USDA, et par le Food Protein Research and Development Center à la Texas A & M University, méritent spécialement d'être mentionnés.

Les deux gènes maintenant utilisés par les généticiens qui développent les variétés glandless furent décrits par Mc Michael et sont désignés par les appellations gl_2 et gl_3 . La première solution consista à employer la méthode des rétro-croisements. On espérait que les gènes gl_2 et gl_3 seraient de cette façon incorporés aux variétés existantes et qu'en très peu d'années les plantations américaines de coton passeraient ainsi toutes entières aux variétés glandless.

Ceci a exigé un travail supplémentaire de recherche, qui se poursuit encore aujourd'hui. Aux premières variétés glandless Gregg 25 V et Watson gl 16 ont été substituées d'autres, qui ont un rendement en fibres pratiquement égal à celui des variétés glanded cultivées dans les diverses zones des Etats-Unis (tableau 11) :

Tableau 11. Rendements en fibres de lignées sans gossypol et de témoins avec glandes dans divers programmes d'amélioration (Etats-Unis, 1975)

	1	2	3	4	5	6	7
Meilleure lignée sans gossypol, en livres/acre	671	994	842	960	647	804	735
Témoin avec glandes, en livres/acre	682	929	828	978	599	723	729
Rendement des lignées sans gossypol par rapport au témoin, en pourcentage	98	107	102	98	108	111	101

Source : Buffet, 1977.

La préférence que certaines espèces d'insectes (mais pas toutes) manifestent pour les glandless demeure plus préoccupante; les différences de rendement qui en découlent dépendent de nombreux facteurs et sont plus ou moins graves.

Par exemple, en Californnie, la variété acala 68160 glandless a un rendement égal à 99 p.100 de la moyenne des acala si elle n'est pas attaquée par l'hémip-
tère Lygus, mais 83 p.100 seulement en cas de forte contamination.

Hors des Etats-Unis, il faut citer les travaux réalisés en Egypte où une variété sans gossypol de l'espèce G. barbadense dénommée bahtin 110 a été obtenue par traitement de giza 45 au phosphore radioactif. Par rapport à giza 45, la variété bahtin 110 a une productivité inférieure, un rendement à l'égrenage plus élevé de 3 p.100 une longueur et une tenacité de fibre plus faible.

Les variétés Badnawar glandless (Bgl) et Indore glandless (Igl) créées en Inde sont davantage attaquées par les insectes que la variété glanded témoin Badnawar 1, mais par le recours aux insecticides on obtient, au moins pour certaines sous-variétés glandless (Bgl 6, Igl 68-1, Igl 68-2, Igl 68-3), des rendements à l'hectare dépassant ceux du témoin.

Des essais de culture ont aussi été entrepris au Brésil, en Iran, au Mexique, en République arabe syrienne, dans divers pays d'Afrique, etc.

D'une manière générale, la culture des variétés glandless demande davantage de pesticides et une surveillance plus étroite afin d'intervenir rapidement contre les ravages non seulement des insectes, mais aussi d'autres prédateurs (rats, souris, lapins, etc.).

Il faudra d'autre part veiller à ce que les graines glandless ne soient pas mélangées aux graines glanded, ce qui impliquera une organisation rigoureuse à tous les stades de production et de transformation de la graine.

Or, il ne faut pas oublier que, pour le producteur, la graine est un sous-produit mineur de la fibre; par exemple, aux Etats-Unis, en septembre 1976, la valeur en dollars des fibres et des graines de coton produites dans un acre furent en moyenne celles-ci :

	<u>En dollars/acre</u>	<u>En pourcentage</u>
Graine	48,00	13,30
Fibre	312,00	86,70
Total	<u>360,00</u>	<u>100,00</u>

L'incidence de l'augmentation de valeur de la graine, due au fait que l'absence de gossypol diminuera le coût du raffinage de l'huile et permettra l'emploi des protéines de la graine de coton dans l'alimentation des animaux monogastriques et des humains, risque donc de ne pas être suffisamment incitative pour pousser le fermier à fournir l'effort d'adaptation nécessaire.

Cependant, on peut espérer que les sélectionneurs parviendront à conférer aux variétés glandless une résistance plus grande aux attaques des insectes, et que par conséquent, leur culture s'étendra peu à peu. De plus, les pays en voie de développement qui manquent de protéines et qui cultivent le cotonnier peuvent adopter des mesures en vue d'encourager les variétés glandless

La composition des graines glandless a fait l'objet de multiples études. En dehors de la quasi-disparition du gossypol, dont le taux dans la graine n'est plus que de 0,002 à 0,01 p.100, les différences avec les graines glanded ne sont pas significatives. Tout au plus peut-on noter une quantité d'huile légèrement supérieure dans les glandless.

Doses limites pour le gossypol dans les produits provenant de la graine de coton

Le Groupe consultatif FAO/OMS/FISE sur les protéines (PAG) a fixé une teneur maximale en gossypol pour les concentrés de protéines, c'est-à-dire pour les farines délipidées de graine de coton convenant à l'alimentation humaine :

En pourcentage maximum
du poids de farine

Gossypol total	1,2
Gossypol libre	0,06

Ce standard a servi de modèle aux législations de différents pays. Par exemple, en Inde, la limite est de 1,1 p.100 pour le gossypol total et de 0,065 p.100 pour le gossypol libre. Le USDA abaisse à 0,045 le taux maximal de gossypol libre.

II. STOCKAGE, TRANSPORT ET EGRENAGE DU COTON-GRAINE

A. Les risques de dégradation pendant le stockage

Des changements biochimiques d'origine interne ou externe risquent d'affecter gravement la qualité de la graine, à différents stades :

Pendant qu'elle est encore attachée à la plante, dans le champ;

Pendant le transport et le stockage avant égrenage;

Pendant le stockage après égrenage.

Parmi les changements d'origine externe, qui correspondent surtout à la contamination par des moisissures, un des plus gênants est la formation de toxines qui peuvent se retrouver dans les tourteaux et les farines.

Changements biochimiques d'origine interne

Les changements biochimiques d'origine interne se traduisent par un dégagement de chaleur et par l'accroissement du taux des acides gras libres, ces deux phénomènes concourant à assombrir la couleur de l'huile et de la farine.

D'autre part, l'élévation de la température abaisse la qualité des fibres et diminue leur longueur. Elle est favorisée par l'humidité, qui est de loin le facteur principal, et n'apparaît que si la graine contient plus de 10 p.100 d'eau. Il convient d'observer que les coques sont en général plus humides que les amandes.

Une graine stockée humide peut atteindre 55°C en une dizaine de jours.

Le dégagement de calories provient de la combustion des hydrates de carbone de l'amande et des pentosanes des coques; les protéines ne sont pas métabolisées mais partiellement hydrolysées et dénaturées; la lipolyse de l'huile conduit, comme il a déjà été dit, à l'augmentation de la teneur en acides gras libres.

Contamination par des micro-organismes

La contamination par des micro-organismes ne se développe que lorsque l'humidité de la graine dépasse 15 p.100

Les micro-organismes susceptibles d'attaquer les graines appartiennent soit à la famille des bactéries (Xanthomonas) lorsque la teneur en eau est très forte, soit le plus souvent à celle des champignons dont les deux grandes catégories concernées sont l'espèce Penicillium et l'espèce Aspergillus (flavus, glaucus, niger, etc.).

Ces micro-organismes, et surtout les champignons, provoquent l'accroissement de la proportion des acides gras libres.

L'Aspergillus flavus est particulièrement à redouter, parce qu'il secrète l'aflatoxine, substance cancérigène très dangereuse, qui demeure inchangée au cours des traitements successifs et se retrouve dans les farines et dans les huiles.

La contamination par Aspergillus flavus apparaît sur la plante elle-même sous l'action des insectes, des pluies abondantes, etc., ou au moment de la récolte, ou durant le stockage. Cette question a suscité, depuis quelques années, de nombreuses études. Les moyens de lutte sont classables en quatre rubriques :

Prévention de la prolifération d'Aspergillus flavus dans la matière première;

Mise en oeuvre de moyens permettant de séparer les produits contaminés des autres;

Traitements chimiques pour inactiver l'aflatoxine;

Extraction par des solvants pour extraire l'aflatoxine.

Afin d'inhiber la multiplication des champignons, le premier remède réside dans la cueillette de coton bien sec ou dans le séchage de celui-ci. On considère que, lorsque la teneur en eau est inférieure à 10 p.100, le danger est écarté. Il faut également éviter que pendant le stockage la température ne reste comprise entre 28°C et 37°C, qui est la zone la plus favorable à la contamination de l'Aspergillus flavus. L'emploi de produits chimiques contre les moisissures (hydrazide maléique, ou dipropionate de propylène glycol mélangé à du 1,3 - dyméthyl - 4,6 - bis benzène) n'est pas recommandé, car ils peuvent également être cancérigènes.

L'autoclavage des tourteaux contaminés humides peut réduire la teneur en aflatoxine, mais la valeur nutritionnelle risque d'en souffrir. On peut aussi les traiter par de l'ammoniac.

L'oxydation de la farine de graine de coton par l'ozone détruit en deux heures 90 p.100 de l'aflatoxine.

Une méthode encore plus sûre est l'extraction de l'aflatoxine par des solvants polaires tels que l'azéotrope d'acétone-hexane-eau et de 2-propanol + eau, les solutions d'acétone ou d'éthanol.

Ceci entraîne bien entendu un supplément de coût, qui doit pouvoir se répercuter sur le produit fini.

B. Manutention et stockage des graines de coton

Il était d'usage, aux Etats-Unis et dans les autres pays producteurs, de sécher après la récolte le coton-graine au soleil - pour autant que les conditions atmosphériques le permettent - en l'étalant sur des bâches ou des claies, de le rassembler en fin de journée et de le remiser dans un hangar bien aéré où on le laissait une semaine, durant laquelle on retournait régulièrement les tas de faible hauteur.

Aux Etats-Unis, ce séchage classique à la ferme perd de son importance depuis une quarantaine d'années pour diverses raisons :

- L'essor de la cueillette mécanique raccourcit la période de récolte, de sorte que les grains arrivent massivement à la ferme;
- Ce facteur, joint à l'extension des surfaces moyennes des plantations, rend difficile le maintien par les producteurs de hangars assez spacieux;
- Le coût de la main-d'oeuvre nécessaire (quand elle existe) devient prohibitif;
- Les fermiers voulant toucher rapidement le produit de leurs récoltes sont incités à se débarrasser de leur coton-graine sans trop tarder;
- Les moyens de transport ont fait de gros progrès et permettent d'acheminer rapidement les graines de la ferme à l'usine d'égrenage.

Le coton-graine est acheminé de la plantation à l'usine d'égrenage dans des remorques. Lorsqu'on se trouve à la pointe de la récolte et que l'usine n'est pas équipée pour stocker le coton-graine il peut y avoir un encombrement des remorques chez le fermier ou à l'usine, ce qui nuit rapidement - en une ou deux journées - à la qualité de la fibre et de la graine.

L'usage de remorques à palettes réduit le nombre de véhicules nécessaires, mais ne raccourcit pas le délai avant égrenage.

Une circonstance aggravante est que le coton-graine, durant son stockage, absorbe l'humidité provenant des parties végétales vertes récoltées en même temps que lui. La teneur moyenne en eau de cette matière "verte" varie de 40 à 60 p.100 avant la période de dessèchement complet des feuilles et avant les gelées.

Le système traditionnel de déchargement du coton-graine à l'usine d'égrenage comprend des dispositifs d'aspiration, de séparation et de contrôle automatique. Le dispositif d'aspiration fournit à un tube télescopique une quantité d'air suffisante pour arracher par succion le coton-graine de la remorque, et le dispositif de séparation sépare le coton-graine de l'air qui sert à le convoyer. Le contrôle automatique consiste dans une trémie, deux roues sous vide et un compteur, et il permet d'acheminer à la cadence désirée le coton-graine vers le séchage, le nettoyage et l'égrenage.

Une autre méthode élimine la manutention pneumatique. Ceci s'obtient en versant la charge de la remorque dans une grande trémie et en la transportant mécaniquement au dispositif de contrôle automatique.

Les usines américaines d'égrenage qui reçoivent (pour les raisons indiquées ci-dessus) le coton-graine en quantités massives, sont de plus en plus incitées à le sécher artificiellement, non seulement pour éviter les risques de dégradation de la fibre et de la graine mais aussi pour faciliter l'enlèvement de la fibre.

Une raison supplémentaire est que stocker le coton-graine avant égrenage plus tardivement dans la saison peut être une meilleure alternative économique que d'installer des moyens d'égrenage supplémentaire, qui ne fonctionneraient que pendant une brève période chaque année.

Les chercheurs américains ont étudié les relations existant entre l'humidité de l'atmosphère, celle de la fibre et celle de la graine, ainsi que les incidences du séchage artificiel, à différentes températures, sur les qualités de ces dernières.

Le séchage artificiel n'a lieu que lorsque le coton-graine est humide et doit être stocké un certain temps avant égrenage.

Il peut se faire par un courant d'air à la température ambiante ou par un courant d'air chaud. Dans ce dernier cas, la chaleur (70°C à 105°C) contribue peu à réduire l'humidité, car elle n'abaisse la teneur en eau de la graine que d'environ 0,7 p.100, mais elle inhibe les enzymes responsables de la formation des acides gras libres. Vers 105°C il y a danger de dégrader les protéines. D'autre part, les températures supérieures à 90°C tendent à "cuire" la fibre, c'est-à-dire réduire sa résistance, et à altérer ses propriétés. Mieux vaut sécher deux fois avec de l'air à 65°C qu'une fois à plus de 90°C.

L'égrenage s'effectue dans des conditions optimales lorsque la fibre a une teneur en eau voisine de 7 p.100 au moment où elle est séparée des graines. Ceci explique pourquoi il n'est pas possible d'égrener de façon satisfaisante un coton humide sans le sécher. Le séchage peut se faire à plusieurs stades successifs : dans la tour de séchage avant son entrée dans le circuit d'égrenage proprement dit, après un premier nettoyage au niveau de l'alimenteur-nettoyeur de l'égreneuse.

C. Egrenage

Nettoyage préalable

Après son premier séchage, le coton-graine doit en général subir un pré-nettoyage destiné à retirer les impuretés telles que les fragments de feuilles, les débris de tiges et d'écorces, le sable, les poussières, etc. Les machines qui font ce travail sont des cylindres (dont le nombre peut varier de 4 à 15) pourvus de pointes ou de dents, tournant au-dessus de tamis. Ils sont placés en série. Non seulement ils nettoient le coton-graine, mais aussi ils le rendent floconneux, ce qui facilite les opérations ultérieures.

Lorsque le coton-graine contient une forte quantité de sable, de poussières et de capsules non ouvertes, une machine spéciale dénommée airline cleaner doit intervenir. Ce nettoyeur ouvre une grande partie des capsules fermées et extrait une proportion appréciable des autres impuretés. Le coton-graine y est convoyé par un courant d'air, parfois chaud.

L'opération suivante est l'extraction. Elle consiste à parachever les nettoyages qui précèdent en éliminant les grosses impuretés et les débris de capsules. L'extraction utilise le principe du cardage : un cylindre de grand

diamètre, couvert de dents de scie et tournant à faible vitesse, saisit le coton-graine; plusieurs petits cylindres dentés situés à la périphérie retirent alors les tiges, les pailles, les capsules vides et les autres particules grossières de matière étrangère. Cette machine, appelée big bur machine ou master extractor, est surtout nécessaire quand le coton est récolté mécaniquement (ou à la main, mais sans soin).

A ce stade, le coton-graine peut être acheminé soit au distributeur qui le répartit par une vis sans fin entre les alimenteurs des égreneuses - un distributeur approvisionne deux à cinq égreneuses-, soit à un second circuit de séchage et de nettoyage.

De toute manière, en arrivant aux égreneuses le coton-graine subit encore un traitement de nettoyage, car la plupart de ces égreneuses sont équipées d'alimenteurs-nettoyeurs ou d'alimenteurs-extracteurs-nettoyeurs qui ont trois fonctions : régler manuellement ou automatiquement le débit d'entrée dans l'égreneuse; nettoyer le coton-graine à l'aide d'une série de cylindres de petit diamètre munis de picots ou de dents de scie; le cas échéant, le sécher par injection d'air chaud. L'efficacité de ces appareils est assez bonne pour leur permettre d'assurer à eux seuls le nettoyage des cotons-graines récoltés soigneusement à la main.

Egrenage proprement dit

On distingue deux grandes familles d'égreneuses :

Les égreneuses à rouleau

Les égreneuses à rouleau sont les plus anciennes. Elles comportent les organes suivants : un rouleau, un couteau fixe, un couteau mobile animé d'un mouvement de va-et-vient qui sépare les graines de la fibre prise entre le rouleau garni de cuir et le couteau fixe. Il existe des modèles à un rouleau et à deux couteaux mobiles (égreneuses à double action), et des modèles à deux rouleaux. La capacité d'une égreneuse à deux rouleaux est environ 1,5 fois plus forte que celle d'une égreneuse à un rouleau.

Les égreneuses à scies

Les égreneuses à scies, dont le rendement horaire est beaucoup plus élevé, sont, de ce fait, utilisées dans les usines modernes, notamment aux Etats-Unis.

Dans ces appareils, le coton-graine venant de l'alimenteur arrive dans une chambre dont le plancher est formé de barreaux. A l'intérieur de cette chambre tourne, autour d'un axe horizontal, une batterie de scies, qui sont des disques dentés, régulièrement espacés et solidaires de l'axe. On compte habituellement 80 à 120 scies par égreneuse et la vitesse de rotation varie de 500 à 800 tours par minute. Les scies passent dans les intervalles des barreaux. Elles mordent sur la masse de coton-graine, saisissent les fibres et les entraînent entre les barreaux, tandis que les graines retenues par ceux-ci sont évacuées ailleurs.

La fibre est enlevée des scies soit par un tambour à brosses, tournant à grande vitesse dans le sens opposé des scies, la mèche des brosses pénétrant jusqu'au fond du profil des dents; soit par un courant d'air envoyé tangentielle-ment aux scies et de haut en bas (système air blast). L'avantage du système air blast est de simplifier la construction et l'entretien de l'égre- neuse, mais avec ce procédé les fibres se détachent moins bien lorsqu'elles sont humides.

Les égreneuses à scies permettent encore de séparer des impuretés qui ont échappé aux nettoyages antérieurs : cette phase de la marche de l'appareil s'appelle le moting (supérieur et inférieur).

Comparaison entre l'égrenage au rouleau et l'égrenage à la scie

Si l'on veut que la comparaison soit équitable, il faut prendre en compte les différents paramètres :

Qualité de la fibre

Les égreneuses à rouleau donnent une fibre qui tend à se tasser, à former de la bourre et de petits noeuds. Au contraire, les égreneuses à scies donnent des fibres floconneuses comme si elles étaient cardées et de qualité plus uniforme. Les égreneuses à scies risquent de couper les fibres. Elles ne peuvent pas être employées pour les fibres extra-longues.

Pureté de la fibre

Les égreneuses à rouleau brisent beaucoup de graines, qui se retrouvent mélangées à la fibre. Au contraire, les égreneuses à scies fournissent une fibre très propre.

Qualité de la graine

Avec les égreneuses à scies, les graines sont entières et propres, mais gardent davantage de duvet.

Rendement horaire

Une égreneuse à scies a une production horaire environ 27 fois supérieure à celle d'une égreneuse à deux rouleaux, 40 fois supérieure à celle d'une égreneuse à un rouleau.

Rendement matière

Les pertes sont plus importantes avec une égreneuse à scies. Par exemple, d'un même coton-graine on extraira 33 à 34 p.100 de fibres à l'aide d'une égreneuse à rouleau, contre 32 p.100 en se servant d'une égreneuse à scies.

Investissement

Une égreneuse à scies coûte beaucoup plus cher qu'une égreneuse à rouleau. Il est donc logique de la faire tourner plus longtemps, si possible quatre à cinq mois par an, afin de l'amortir, et ceci implique un stockage.

Main-d'oeuvre

Au kilo de fibres produit, les dépenses de main-d'oeuvre sont bien moins coûteuses avec des égreneuses à scies. Cependant, il faut un personnel de surveillance plus qualifié.

Energie

Une égreneuse à scies consomme beaucoup plus d'énergie qu'une égreneuse à rouleau, mais l'inverse est vrai si l'on rapporte cette dépense au kilo de fibres produit.

Entretien

L'entretien d'une égreneuse à scies est plus complexe et entraîne l'achat de pièces de remplacement plus onéreuses.

Traitement des fibres après égrenage

Le coton récolté mécaniquement ne peut pas être parfaitement propre en sortant des égreneuses. Aussi a-t-on recours à une machine dénommée lint cleaner, dont il existe plusieurs modèles, les uns utilisant uniquement un courant d'air afin de nettoyer la fibre, d'autres la peignant avec un cylindre garni de dents. On se sert parfois successivement de deux de ces appareils montés en série, mais surtout pour les fibres de bas grade.

Après les lint cleaners, les fibres sont envoyées pneumatiquement dans des condenseurs, qui les forment en nappes, puis tassées en balles sous des presses.

III. LA GRAINE DE COTON EN ALIMENTATION HUMAINE

La mauvaise nutrition due à une carence en protéines, surtout chez les jeunes enfants, est fréquents dans de nombreux pays où l'on cultive le cotonnier. Aussi a-t-on songé depuis une quarantaine d'années, et spécialement depuis 1960, à développer l'emploi en alimentation humaine de la farine de graine de coton, mais les réalisations de cette nature sont encore peu nombreuses et ne concernent encore qu'un très faible pourcentage des tonnages de graine de coton disponibles dans le monde. Les efforts accomplis par les pionniers prouvent cependant que, sous certaines conditions techniques dont nous parlerons plus loin, ce développement est souhaitable et possible avec les graines classiques contenant du gossypol et mieux encore avec celles qui en sont dépourvues.

Soixante-dix pour cent du tonnage des graines de coton récoltées mondialement en 1975 ont été traitées pour obtenir de l'huile et des tourteaux; les 30 p.100 restant correspondent aux quantités entrant directement, sous forme de graine entière, dans l'alimentation des ruminants, enterrées pour servir d'engrais ou brûlées comme combustible.

Malheureusement, une partie des tourteaux fabriqués ne convient pas à l'alimentation des animaux monogastriques, en raison de la présence de gossypol libre dont on a indiqué plus haut les inconvénients. A plus forte raison, elle ne peut être destinée à l'alimentation humaine. On verra dans les pages suivantes quelles sont les précautions à prendre pour augmenter la qualité et obtenir une farine consommable par l'homme, mais il faut être conscient que l'huile est regardée comme la production principale des moulins et que par conséquent les tourteaux (ou la farine) faisant figure de sous-produit, les industriels sont peu incités à améliorer leur qualité et de toute manière ne peuvent s'y intéresser que dans la mesure où ceci ne nuit pas au rendement et à la qualité de l'huile.

A. Éléments indésirables dans les farines de graines de coton

Le gossypol et son incidence sur la teneur en lysine

L'élément le plus indésirable des farines destinées à l'alimentation humaine - que nous désignerons désormais par "farines" tout court - c'est le gossypol. A l'état de gossypol libre, il est toxique; lié aux acides aminés

des protéines, il réduit la valeur nutritionnelle de celles-ci, particulièrement en abaissant la teneur de la lysine disponible^{12/}.

On diminue d'autant plus le taux de gossypol libre qu'on cuit davantage les amandes avant extraction de l'huile; toutefois une cuisson exagérée abaisse la valeur des protéines, non seulement parce que le gossypol se lie à la lysine et à d'autres acides aminés, mais aussi parce que la chaleur favorise d'autres réactions, par exemple celles dites de "Maillard" qui associent certains glucides aux acides aminés : le raffinose de l'amande y donne spécialement lieu avec la lysine. La conséquence est qu'il faut, lors de la cuisson antérieure à l'extraction de l'huile, trouver un compromis qui abaisse aussi bas que possible le pourcentage de gossypol libre sans trop dégrader la qualité des protéines.

Il a été signalé (chap. I, sect. G) que divers procédés permettent d'extraire ou d'inactiver chimiquement le gossypol des tourteaux; certains de ces procédés peuvent être étendus aux farines mais il ne sont pas indispensables, car sans y recourir on peut obtenir, en prenant les soins appropriés, des farines dont les teneurs en gossypol libre et en gossypol total sont satisfaisantes.

L'emploi de graines sans gossypol est une meilleure solution technique, qui a de l'avenir. Il faut seulement observer qu'elle ne supprime pas la nécessité d'éviter les surcuissons susceptibles de déclencher des réactions de Maillard.

Il est instructif de noter quel est le taux de lysine disponible dans les protéines des graines de coton, en fonction du procédé utilisé pour l'extraction de l'huile. Calculé en pourcentage des protéines par la méthode de Kjeldahl (multiplication par 6,25 de la quantité d'azote), il est le suivant :

- Environ 4,5 p.100 dans l'amande elle même^{13/}, avant toute extraction (selon les auteurs, la fourchette varie de 3,2 à 6 p.100, mais la valeur moyenne de 4,5 p.100 paraît la plus vraisemblable). A partir de ce taux de référence, on peut mesurer les effets des traitements ultérieurs;

- De 2,5 à 3 p.100 dans les tourteaux ou farines dont l'huile a été extraite par des presses continues à vis;

- De 3,1 à 3,6 p.100 dans les tourteaux ou farines dont l'huile a été extraite par l'action d'un solvant (hexane) faisant suite à un pressage sur presses à vis;

^{12/} D'autres acides aminés, tels que l'acide glutamique et l'acide aspartique, sont également rendus en partie indisponibles.

^{13/} A cet égard, il n'y a pas de différences significatives entre les espèces cultivées de cotonnier.

- Environ 3,4 p.100 dans les tourteaux ou farines dont l'huile a été extraite directement par l'hexane;

- De 3,7 à 4,4 p.100 dans les tourteaux ou farines dont l'huile a été extraite par le mélange azéotrope acétone-hexane-eau.

Ces pourcentages montrent qu'on ne peut guère espérer aller au-dessus de 3,6 p.100 quand l'huile est extraite par des presses à vis, tandis qu'on monte jusqu'à 4,4 p.100 en ne se servant que de certains solvants, sous réserve, il est vrai, que les traitements antérieurs à l'extraction soient menés avec douceur.

La proportion de lysine disponible, qui elle-même dépend des liaisons établies avec le gossypol et accessoirement avec les glucides de la farine, est un bon indice de la valeur nutritionnelle des protéines des graines de coton. En effet, on le vérifie en mesurant expérimentalement celle-ci par diverses méthodes, dont la plus usuelle consiste à comparer le rapport entre le gain de poids de jeunes rats nourris, d'une part, avec les protéines considérées, d'autre part, avec de la caséine; on obtient ainsi ce qu'on appelle le coefficient d'efficacité protéique, en anglais "protein efficiency ratio", qu'on abrège en PER, étant admis forfaitairement que le PER de la caséine est de 2,50. On constate que le PER des protéines de la graine de coton varie entre 1,50 et 2,20 et se trouve en corrélation avec la teneur en lysine disponible. Une preuve supplémentaire est que le PER peut être augmenté par l'adjonction de lysine. C'est bien la preuve que la lysine est le premier facteur limitant.

Les autres acides aminés limitants des protéines de graine de coton sont l'isoleucine, la méthionine et la thréonine, comme on le verra plus loin, dans le tableau de composition de ces protéines (voir tableau 14).

Substances indésirables autres que le gossypol

Les substances indésirables autres que le gossypol sont nombreuses. On peut citer :

Les pesticides,

Les solvants,

Les huiles de lubrification des machines,

Les fragments de plantes toxiques récoltés en même temps que la graine de coton,

Les aflatoxines (voir chap. II, sect. A),

Les bactéries,

Les débris d'insectes, les poils de rongeurs, etc.

On ajoutera que les deux acides gras cyclopropéniques (acide malvalique et acide sterculique) qui sont responsables, avec le gossypol, de la coloration en jaune des oeufs (voir chap. I, sect. G) peuvent se retrouver dans la farine si celle-ci contient un pourcentage non négligeable d'huile. Leur nocivité pour l'alimentation humaine n'est pas clairement établie, mais on préfère qu'ils soient éliminés.

B. Précautions à prendre pour fabriquer des farines de bonne qualité

Choix de la graine de coton

Il est évident que la matière première doit être de premier choix. Un document, établi en 1965 par le Groupe consultatif FAO/OMS/FISE sur les protéines, intitulé "Cottonseed protein concentrate", révisé en 1970, propose les normes suivantes "la farine destinée à l'alimentation humaine doit être produite à partir de graines de coton de haute qualité, nettoyées, qui à l'analyse ne contiennent pas plus de 1 p.100 de matière étrangère (y compris les graines d'autres espèces), pas plus de 10 p.100 d'eau et pas plus de 1,8 p.100 d'acides gras libres dans l'huile. Le pourcentage des amandes fortement décolorées ne doit pas excéder 5 p.100".

Le gossypol n'est pas nommé à cet endroit (on le retrouvera plus loin, à propos du produit fini), mais on estime qu'il est souhaitable de partir de graines n'en contenant pas trop.

En ce qui concerne l'aflatoxine, le PAG aligne le coton sur le cas des autres plantes protéagineuses : on ne doit pas en déceler - ce qui se traduit par une dose-limite de 30 ppm (30 mg par kg).

Les traitements successifs que subit la graine de coton après la séparation des fibres seront traités au chapitre IV. Une description rapide en est faite ici pour noter les remarques propres au cas particulier des farines.

Stockage

Le stockage doit être particulièrement surveillé, pour que la teneur en eau reste inférieure à 10 p.100 - ce qui peut impliquer un séchage artificiel.

Nettoyage et enlèvement du duvet

Il faut que ces opérations soient plus poussées qu'elles ne le sont d'ordinaire. Aussi est-il souhaitable d'installer des matériels supplémentaires de nettoyage.

Décorticage et séparation des coques

On se sert du matériel classique et on le règle pour que l'élimination des coques soit aussi complète que possible. Cependant, il faut savoir que ceci a une répercussion économique défavorable : une fraction excessive de l'huile part alors avec les coques.

Le pourcentage résiduel de coques est un des facteurs qui influent sur la teneur finale en protéines du produit. Les tourteaux américains de graine de coton destinés aux non-ruminants comportent en général 41 p.100 de protéines, mais on en trouve également à 43 p.100 et même davantage. Pour les farines, dont on a retiré la quasi-totalité des débris de coques, la proportion minimale de protéines est 50 p.100 (voir chap. III, sect. C).

Transformation en flocons et cuisson

La pâte broyée des amandes que l'on appellera désormais plus simplement "la pâte" lorsqu'il n'y aura pas d'ambiguïté possible, doit être réhumidifiée si sa teneur en eau est inférieure à 10 p.100, mais pas au point de dépasser 12 p.100.

Il est préférable que l'épaisseur des flocons ne dépasse pas 0,254 mm.

Comme on l'a déjà dit, les conditions optimales de cuisson de la pâte sont un compromis entre le désir de se débarrasser du gossypol libre et celui de ne pas trop abaisser la qualité des protéines. Une bonne solution consiste à humidifier les flocons pour qu'ils atteignent 12 à 14 p.100 d'humidité et à élever rapidement leur température à 93°C (200° F). La durée de la cuisson dépend du mode ultérieur d'extraction de l'huile : elle doit être de 75 à 85 minutes si l'on emploie des presses à vis, de 30 à 40 minutes seulement si l'on se sert d'un solvant après prépressage. La température de fin de cuisson ne doit pas excéder 110°C.

Ce qui précède s'applique à la graine de coton classique. Avec les graines sans gossypol, il n'est plus indispensable de chauffer autant parce qu'il n'y a plus de gossypol libre à éliminer, de sorte que l'on peut adopter une température plus basse, qui dénature et colore moins les protéines.

Extraction de l'huile

Les presses hydrauliques, qu'on utilise rarement de nos jours, et les presses à vis inactivent la plus grande partie du gossypol libre, mais diminuent beaucoup la valeur nutritionnelle des protéines en raison des températures excessives et de la pression. Ceci se reflète dans le faible niveau de la lysine disponible. On ne peut produire une farine acceptable qu'à la condition de laisser une forte proportion d'eau dans la pâte cuite et il en résulte que la farine contient beaucoup d'huile (par exemple, 6,5 p.100) au détriment de la rentabilité, puisque le premier objectif d'un moulin est de produire de l'huile.

L'extraction de l'huile grâce à un prépressage suivi de l'action d'un solvant laisse très peu de gossypol libre et d'huile dans la farine et détériore moins la qualité des protéines. Elle se prête donc bien mieux à la fabrication de la farine, mais on a vu que la lysine était quand même rendue partiellement indisponible.

On a longtemps pensé que l'extraction directe par les solvants retirait insuffisamment de gossypol libre et par conséquent ne convenait qu'aux graines qui en sont dépourvues. On reconnaissait en même temps qu'elle préservait d'une manière excellente la valeur des protéines. Depuis 1960, cette technique a fait l'objet de nombreuses recherches. Un procédé mis au point par le Southern Regional Research Laboratory (SRRL) à la Nouvelle-Orléans (Etats-Unis) emploie le mélange azéotrope acétone-hexane-eau; le procédé Vaccarino, exploité en Sicile (Italie) emploie l'acétone seule. Ces deux procédés éliminent presque entièrement le gossypol libre, sans nuire à la qualité des protéines. Le taux de lysine disponible est pratiquement égal à celui des protéines présentes dans l'amande avant tout traitement. La quantité d'huile restant dans la farine est faible. Toutefois, on a reproché au procédé SRRL de donner un mauvais goût à la farine. De surcroît, il exige des adaptations de matériel, car les usines qui extraient l'huile à l'aide de solvant se servent d'hexane, et il n'est pas évident que le supplément de prix de vente procuré par l'amélioration de la qualité de l'huile et de la farine paye l'investissement supplémentaire. Il s'ensuit que ni le procédé SRRL, ni le procédé Vaccarino n'ont eu jusqu'à présent un grand succès (sauf en Italie pour ce dernier). Voir la description du procédé LCP (chap. I, sect. G).

Refroidissement, broyage et tamisage de la farine

La farine se refroidit pendant plusieurs jours avant d'être envoyée au broyage.

Cette dernière opération, jointe au tamisage qui vient ensuite, permet d'ajuster au degré désiré la teneur de la farine en débris de coques. Elle complète l'action du décorticage qui ne peut abaisser à moins de 10 p.100 la teneur de la pâte en débris de coques sans réduire exagérément le rendement matière (une fraction de l'huile et de l'amande part dans ce cas dans les coques).

Le broyage s'opère avec le matériel habituel, réglé normalement, ou à un degré un peu supérieur à la normale. Les broyeurs à marteau semblent en général mieux convenir et dépenser moins d'énergie que les broyeurs par frottement, mais ceci dépend du pourcentage résiduel de coques.

Le tamisage fin est malaisé quand la farine contient plus de 3 p.100 d'huile.

Plusieurs matériels de broyage utilisés aux Etats-Unis font appel à un procédé de séparation par entraînement différentiel dans un courant d'air. Les résultats sont plus satisfaisants que ceux du tamisage, sous réserve qu'il ne subsiste pas des fragments de duvet, qui seraient aspirés avec la farine - mais on peut alors s'en débarrasser par un tamisage final.

C. Caractéristiques de la farine

Normes du PAG

Ce texte, dont on a donné, dans la section B de ce chapitre, la partie relative à la matière première, spécifie que les usines où se font les traitements successifs de la graine doivent répondre aux critères sanitaires usuels régissant les fabricants d'aliments destinés à la consommation humaine.

Les procédés d'extraction de l'huile doivent être adaptés à la production de farine; en particulier, il faut contrôler la température très soigneusement afin de détruire ou d'inactiver le gossypol, en réduisant aussi peu que possible la qualité des protéines : durant le traitement, on ne dépassera pas 121°C (250°F).

Les solvants doivent être non chlorés et être conformes à la liste de ceux admis dans l'industrie alimentaire. Les lubrifiants doivent être également exempts de dérivés chlorés.

Le propaniate de sodium peut être employé comme fongicide à condition qu'il n'en reste pas plus de 0,3 p.100 dans la farine.

Les normes de composition de la farine sont les suivantes :

Eau	10,0 % maximum du poids de la farine
Huile	6,0 % maximum du poids de la farine
Acide gras libres	1,8 % maximum du poids de l'huile
Protéines (N x 6,25)	50,0 % minimum du poids de la farine
Protéines solubles ^{14/}	65,0 % minimum du poids total des protéines
Gossypol total	1,2 % maximum
Gossypol libre	0,06 % maximum
Lysine disponible	3,6 % maximum du poids des protéines (16 g N)

Autres caractéristiques recommandées :

- Aucune odeur de moisi ou de solvant;
- Pas plus de 20 000 bactéries par gramme, et parmi elles aucune variété pathogène (E. Coli, salmonelles, etc.);
- Aucun insecte ou fragment d'insecte, aucun poil et aucun excrément de rongeur;
- Au maximum 1 p.100 de matière minérale d'origine extrinsèque (sable, boue, etc.);
- Pas plus de 0,03 ppm (30 mg par kg) d'aflatoxine,
- La farine doit être conditionnée dans des emballages garantissant une bonne protection (papier kraft multicouches dont certaines enduites de polyéthylène, par exemple).

Les farines existantes

Peu de farines de graines de coton existent sur le marché, mais de nombreux essais de fabrication ont été faits, à titre expérimental ou commercial, et ils montrent qu'on peut obtenir industriellement des farines conformes aux normes ci-dessus, sous réserve de prendre les précautions énumérées précédemment.

^{14/} Le taux de protéines solubles fournit une indication sur l'intensité des traitements thermiques subis et sur la perte de valeur nutritionnelle qu'ils ont causée : la solubilité est d'autant meilleure qu'elles sont moins importantes.

Les procédés d'extraction par solvant, après ou sans prépressage, permettent d'y arriver plus facilement que l'extraction par des presses à vis, mais même dans ce dernier cas il est possible d'y parvenir.

Si on reprend un par un les divers éléments de la norme, on constate :

- Il n'y a aucune difficulté pour maintenir une teneur en eau inférieure à 10 p.100. La moyenne est de 7 à 9 p.100;
- La limitation à 6 p.100 du taux d'huile se justifie par le désir d'éviter le rancissement. Les presses à vis procurent des farines ayant aux environs de 4 p.100 d'huile; avec les procédés à solvant on descend au voisinage de 1 p.100;
- La teneur en protéines varie selon la variété de la graine et selon le pourcentage résiduel de débris de coques. Il est fréquent de dépasser 50 p.100; on peut même atteindre 65 p.100;
- La limite fixée pour la teneur totale en gossypol semble assez large, mais après séparation du duvet, de la coque et de l'huile, l'amande en comporte ordinairement entre 0,7 et 1,5 p.100, si bien que toutes les fabrications ne conviennent pas. Les graines sans gossypol sont évidemment la meilleure matière première;
- La limite de 0,06 p.100 pour le gossypol libre est fondamentale, puisqu'elle est une protection contre la toxicité;
- Le taux de lysine exigé implique l'extraction de l'huile par des solvants.

Les meilleures farines de graines de coton, préparées à partir de graines classiques ou mieux encore de graines sans gossypol, ont une couleur claire, peu d'odeur, et répondent aux normes du PAG. En outre, elle contiennent 2 à 4 p.100 de la fibre brute, 6 à 10 p.100 de cendres, parmi lesquelles les cations principaux sont le phosphore et le potassium, et un pourcentage intéressant de vitamines du groupe B. Le reste de la composition (glucides, etc.) n'a pas fait l'objet de beaucoup de travaux.

D. Valeur nutritionnelle de la farine de qualité supérieure

On comparera la composition en acides aminés d'une farine de graine de coton supposée de qualité supérieure (graine sans gossypol et/ou extraction de l'huile par des solvants seuls) à celles de la farine de soja, également de qualité supérieure, et des deux protéines animales de référence : blanc d'oeuf et caséine (tableau 12).

Tableau 12. Composition en protéines^{a/} de la farine comparée à celle du soja, de la caséine et du blanc d'oeuf

Acides aminés indispensables et semi-indispensables	Farine de graine de coton b/	Farine de soja	Blanc d'oeuf	Caséine de lait de vache
Arginine	11,2	7,0	6,3	4,1
Cystine	2,0	1,2	2,5	0,4
Histidine	2,7	2,8	2,7	3,1
Isoleucine	3,9	4,7	7,2	5,8
Leucine	6,1	7,9	8,5	9,2
Lysine	4,2	6,3	7,0	7,6
Méthionine	1,5	1,3	4,1	2,8
Phénylalanine	5,2	5,3	6,1	5,4
Thréonine	3,4	3,9	5,2	4,5
Thryptophane	1,4	1,3	2,0	1,3
Tyrosine	3,2	3,8	4,6	5,7
Valine	4,9	5,0	8,8	7,1

a/ Poids dans 100 g de protéines - N x 6,25.
 b/ Valeurs indiquées par Bailey, 1948.

On voit que les protéines de graine de coton sont déficientes en lysine par rapport non seulement aux deux protéines animales de référence mais aussi à la farine de soja. Cependant, elles en contiennent davantage que les protéines de céréales, dont les teneurs moyennes en lysine sont données ci-dessous, en pourcentage :

<u>Blé</u>	<u>Orge</u>	<u>Avoine</u>	<u>Seigle</u>	<u>Mais</u>	<u>Riz</u>	<u>Sorgho</u>
2,3	3,5	3,7	2,9	2,9	4,1	1,6

On constate que les protéines de graine de coton ont aussi des déficiences en méthionine (au même titre que la farine de soja, dont c'est le premier facteur limitant), en isoleucine et en thréonine.

De nombreux auteurs ont étudié chez des animaux de laboratoire ou d'élevage et chez l'homme quelle est l'efficacité nutritionnelle de la farine de coton pure, supplémentée en certains acides aminés (surtout lysine et méthionine), ou mélangée à d'autres protéines (de soja, de céréales, par exemple).

Il ressort de tous ces travaux que la valeur nutritionnelle de la farine de graine de coton est inférieure à celle de la farine de soja, et qu'on obtient ainsi un résultat généralement jugé satisfaisant pour l'alimentation des enfants.

En réalité, tout dépend du terrain de comparaison choisi : nul doute que les protéines du lait demeurent supérieures, mais beaucoup de pays des zones tropicales en manquent et n'ont pas assez de moyens financiers pour s'en procurer suffisamment; si ces pays cultivent le cotonnier ils peuvent y trouver une ressource protéique d'appoint qui a le mérite d'élever notablement la valeur nutritionnelle des farines de céréales.

Ces considérations synthétiques sont illustrées à la suite par trois exemples d'application.

Incorporation au pain

De multiples recherches ont été menées à ce sujet. Citons celles de Rooney et al. (1972), Matthews et al. (1970), Tsen et al. (1971), Harden et Yank (1975). Cette dernière équipe remplaça 18,8 p.100 de la farine de blé par de la farine de graine de coton ayant deux origines différentes : graine de coton sans gossypol et graine traitée par le procédé LCP. Il en résulte un pain comportant 20 p.100 environ de protéines par rapport à son poids total (lequel comprend 22 à 26 p.100 d'eau), contre 10 p.100 environ pour le pain usuel. L'aspect de ce pain enrichi rappelait le pain complet par sa couleur sombre, sa texture était grossière et compacte, sa densité forte. On enregistra avec lui chez de jeunes rats un gain de poids nettement plus important qu'avec le pain ordinaire.

Amélioration de la farine de sorgho

Le sorgho, qui par son importance vient au troisième rang des ressources mondiales en céréales (derrière le blé et le riz), contient des protéines de basse valeur nutritionnelle, par la faute notamment de leur insuffisance en

lysine : Pomeranz (1966) et Bookwalter (1971) ont montré que l'adjonction de farine de soja les améliorait quantitativement et qualitativement. Bookwalter, Warner et Anderson (1977) firent ensuite des essais avec de la farine de graine de coton et enregistrèrent une augmentation satisfaisante de la valeur nutritionnelle, mais inférieure à celle procurée par la farine de soja.

Incorporation à de la bouillie de mil

Des chercheurs français de l'ORSTOM (Office de la recherche scientifique et technique d'outre-mer) ont expérimenté dans la République du Tchad les effets physiologiques de l'incorporation de farine de graines de coton à la bouillie de mil consommée par de jeunes enfants. Ils ont constaté que ce mélange était bien accepté, bien toléré et assurait une meilleure croissance.

De nombreux autres travaux ont été faits dans divers pays (par l'Institut de nutrition de l'Amérique centrale et de Panama -INCAP- en Amérique centrale et en Amérique du Sud, par exemple), mais en mentionner davantage n'apporterait guère d'informations utiles du point de vue global où l'on se place ici.

E. Les isolats des protéines

Lorsque la teneur en protéines de la farine est augmentée jusqu'à dépasser 90 p.100, on obtient ce qu'on appelle un isolat.

Le procédé classique d'extraction consiste à laver la farine avec de l'eau afin d'en extraire les matières solubles, puis à dissoudre en milieu basique (grâce à l'addition de soude) la masse restante et à en précipiter l'isolat par acidification.

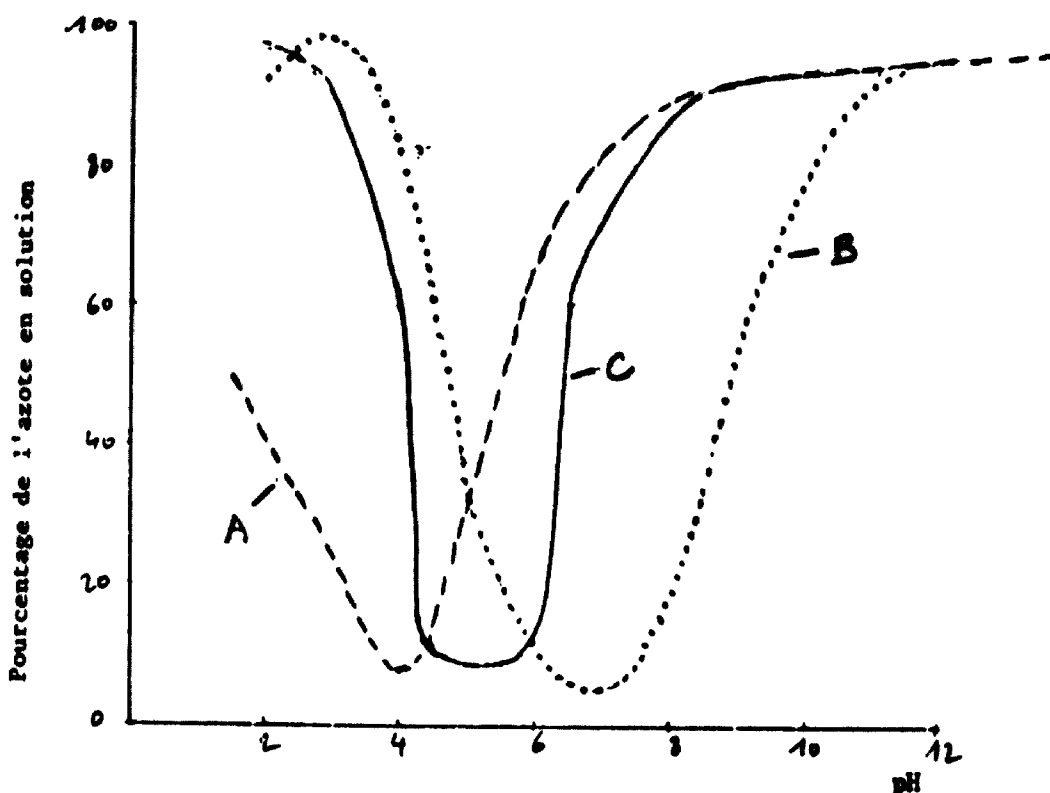
Les propriétés de l'isolat dépendent des méthodes utilisées pour l'obtenir, comme l'ont prouvé les différentes études consacrées à ce sujet.

A partir de 1969, Bérardi et ses collègues ont montré que les protéines des graines de coton sont composées de deux fractions :

- Une fraction soluble dans l'eau, mais précipitable à pH 4, qui représente 30 p.100 de l'azote total;
- Une fraction insoluble dans l'eau, mais qui devient soluble en milieu basique (pH > 9) et qu'on peut ensuite précipiter à pH 7, qui représente 60 p.100 de l'azote total.

La figure 2 donne l'allure des courbes de solubilité en fonction de pH pour ces deux fractions séparées et pour l'ensemble des deux :

Figure II. Courbe de solubilité des protéines de la graine du coton en fonction du pH



Légende A = fraction soluble
B = fraction insoluble
C = ensemble de deux fractions

Cette distinction est importante, parce que les protéines solubles qui ont un faible poids moléculaire ont une valeur nutritionnelle nettement supérieure à celle des protéines insolubles, grâce à un taux plus élevé de lysine et d'acides aminés soufrés, comme le montre le tableau suivant. En revanche, la fraction insoluble, qui provient des protéines de réserve de la graine, est un bon additif fonctionnel, notamment en panification où elle modifie peu la couleur et la texture, et elle a la propriété inhabituelle d'être soluble en milieu acide, ce qui permet de l'incorporer aux boissons acidifiées.

Tableau 13. Aminogrammes des deux fractions des protéines de graines de coton

Acides aminés indispensables et semi-indispensables	Protéines solubles seules	Protéines insolubles seules
Arginine	10,4	11,3
Cystine	2,6	0,3
Histidine	2,6	3,0
Isoleucine	2,6	3,1
Leucine	5,1	5,8
Lysine	6,0	3,0
Méthionine	1,7	1,0
Phénylalanine	3,7	6,3
Thréonine	2,9	2,7
Tryptophane	?	?
Tyrosine	3,3	2,6
Valine	3,3	4,4

Source : Martinez et al., 1970.

Le tableau 13 montre que la fraction soluble contient presque autant de lysine que la farine de soja et davantage d'acides aminés soufrés (méthionine/cystine). Son PER atteint 2,3.

Les mêmes auteurs décrivent leurs procédés d'extraction :

- Si l'on procède en une étape en dissolvant les protéines dans une solution diluée de soude (pH 9,85) et en les précipitant ensuite à pH 5, on obtient le mélange des deux fractions :

- Si l'on veut au contraire les séparer, il faut procéder en deux étapes. D'abord on dissout dans de l'eau (pH 6,7) les protéines solubles et on les précipite à pH 4. Ensuite, on prend la partie insoluble; on la solubilise en ajoutant de la soude (pH 9,8) et on la précipite à pH 7. Il est également possible de précipiter les protéines insolubles en utilisant la propriété qu'elles ont de former des complexes insolubles avec les ions calcium, à pH 3 : on ajoute un acide et du chlorure de calcium.

Les isolats de graine de coton comprennent d'ordinaire 93 à 98 p.100 de protéines, ce taux étant calculé par la méthode de Kjeldahl. Lorsque la graine employée est une variété sans gossypol, la couleur est claire - moins pourtant que celle des isolats de soja ou d'arachide - et la saveur légère.

F. Les utilisations de protéines de graine de coton en alimentation humaine

En dépit de l'existence d'un marché pour la farine de graine de coton, peu de firmes s'y intéressent. Aux Etats-Unis, plusieurs variétés, qui ont un contenu de protéines de 55 à 65 p.100, sont vendues en vue de leur utilisation en boulangerie. En Italie, la farine obtenue d'après le procédé Vaccarino est vendue non seulement en Italie, mais aussi un peu à l'étranger.

L'Institut de nutrition de l'Amérique centrale et de Panama (INCAP) a étudié depuis une vingtaine d'années diverses compositions contenant de la farine de graine de coton, baptisées Incaparina. Il a préparé sous ce nom plusieurs formules, qui associent des farines de céréales (riz, maïs, sorgho, blé ou autres espèces) à de la farine de graine de coton, à de la farine de soja ou aux deux à la fois (tableau 14).

Tableau 14. Formulation de l'Incaparina

Composants en g/100 g	Trois formules de l' <u>Incaparina</u>		
	No 9	No 14	No 15
Farine de céréale précuite	58	58	58
Concentré de protéines			
Concentré de graine de coton	38	-	19
Concentré de soja	-	38	19
Additifs			
Levure Torula	3	3	3
Carbonate de calcium	1	1	1
Total	100	100	100

Source : FAO

La teneur en protéines varie de 25 à 28 p.100.

L'INCAP ne fabrique pas l'Incaparina mais donne sa licence à des sociétés.

Caractéristiques générales d'emploi

Les farines, les concentrés et les isolats de graine de coton^{15/} peuvent être utilisés dans un but nutritionnel, dans un but fonctionnel (amélioration de la texture, de l'aspect, de la conservation, etc., des aliments), ou pour ces deux raisons à la fois.

Leur valeur nutritionnelle a été indiquée plus haut.

En ce qui concerne les propriétés fonctionnelles, il suffit de noter que les protéines de la graine de coton :

- Fixent l'eau (le concentré de protéines de coton absorbe 2,5 fois son poids d'eau), mais moins que les protéines de soja (les concentrés et les isolats de soja absorbent cinq à six fois leur poids d'eau ou d'arachide;

- Ont une moindre solubilité que les protéines de soja. Bien entendu, cette solubilité dépend du pH et n'est pas la même pour les deux fractions isolables;

- Ont donc une certaine viscosité et peuvent créer des gels puisque ceci découle de la rétention d'eau et de la solubilité, mais moins que les protéines de soja;

- Absorbent les huiles à peu près autant que les protéines de soja (le concentré retient 1,5 fois son poids d'huile);

- Emulsifient les corps gras mieux que les protéines de soja. C'est un avantage possible dans les préparations de carnées comme les chairs à saucisse.

Il est difficile d'obtenir une couleur parfaitement claire. Quant au goût, il est assez neutre. La présence de lipides résiduels qui s'oxydent au stockage se traduit par un rancissement et une teinte foncée, aussi faut-il qu'il en subsiste le moins possible.

Les applications

Panification, biscuiterie, pâtisserie

L'Institut américain de la boulangerie a, en particulier, fait toute une série d'essais d'incorporation de farines, de concentrés et d'isolats de graine de coton dans des pains, en remplacement de farine de blé et/ou de poudre de lait

^{15/} Bien que les farines soient-elles-mêmes des concentrés de protéines, il est d'usage de réserver cette appellation à celles qui en contiennent plus de 50 p.100, c'est-à-dire en pratique de 50 à 70 p.100.

écrémé. A des taux respectifs de 3, 2,6 et 1,6 p.100, les farines, les concentrés et les isolats de graine de coton donnaient des résultats égaux à 3 p.100 de poudre de lait écrémé, sous réserve de diminuer la durée du pétrissage. Des taux de substitution beaucoup plus élevés, de l'ordre de 10 p.100 aboutissaient à des pains encore convenables avec des farines et des concentrés de graine de coton, mais en ajoutant du bromate. Au contraire, avec des isolats de graine de coton un taux de 10 p.100 et même de 15 p.100, sans addition de bromate, donnait un pain de bonne qualité boulangère.

Quelques boulangeries américaines utilisent des protéines de graine de coton dans un but fonctionnel (par exemple afin de retenir l'eau et d'améliorer la couleur de la croûte), à des doses minimales, en remplacement de la poudre de lait écrémé. Pour de tels usages la valeur nutritionnelle ne joue pas.

Des chercheurs soviétiques se sont livrés à des recherches analogues.

Les protéines de coton peuvent être ajoutées à d'autres articles à base de pâte que les pains. Des expériences ont été faites avec :

- Des biscuits, qui atteignent grâce à cette addition un taux de protéines compris entre 10 et 18;
- Des beignets, pour profiter de la faculté qu'ont les protéines en général et celles de graines de coton en particulier de fixer les corps gras;
- Des snacks foods, des breakfast cereals.

Les concentrés de protéines de coton peuvent entrer jusqu'à concurrence de 20 p.100 dans les formules de ces articles, en remplacement de la farine de blé.

Autres aliments à base de céréales

L'Incaparina est consommable dans le colada, qui est un fin gruau apprécié en Amérique latine, dans des gâteaux, des soupes, etc., ou dans une boisson dénommée "atole".

En Israël, un mélange de concentré de farine de coton et de farine de blé contient 35 p.100 de protéines; il est, après addition de sucre et d'eau, un aliment pour enfant;

Au Tchad et au Cameroun, l'ORSTOM a testé des boulettes, des bouillies, des beignets, des pâtes alimentaires et des sauces associant de la farine de graine de coton à des céréales locales (sorgho notamment).

Dans divers autres pays, comme l'Inde, le Pakistan et le Pérou, des essais de formulation ont été tentés pour des farines infantiles contenant des protéines de graine de coton. Ceci ne semble guère avoir dépassé le stade des laboratoires.

Produits carnés

Les protéines de graine de coton ont des propriétés gélifiantes inférieures à celles du soja, mais des propriétés émulsifiantes supérieures. Selon les cas, leur emploi est, par conséquent, plus ou moins profitable sur le plan fonctionnel.

Elles se prêtent bien à la texturisation par des techniques originales qui ne sont ni l'extrusion, ni le filage : en une seule étape, avec un chauffage vers 80-90° C, un réglage du pH et une bonne agitation, on obtient des mélanges protéines de graine de coton + lipides + hydrates de carbone + arômes qui imitent la consistance de la viande.

L'extrusion n'est cependant pas écartée. Ce procédé est à l'étude.

Autres produits

La propriété des protéines de réserve - qui est la fraction la plus importante - d'être solubles en milieu acide a incité divers chercheurs à en mettre dans les boissons fruitées, à la dose maximale de 6 p.100. Cependant, il faut observer que la médiocre valeur nutritionnelle de cette fraction diminue l'intérêt de leur adjonction, au demeurant peu significative.

Les protéines de graine de coton, en tant qu'agent rétenteur d'eau, sont parfois utilisées en confiserie.

G. Conclusions

La quantité totale de farine de graine de coton consommée par l'homme dans le monde ne doit pas dépasser 10 000 t/an. C'est très peu de chose; surtout si l'on pense à l'étendue des besoins protéiques non satisfaits dans beaucoup de pays qui cultivent cette plante.

Les obstacles sont techniques et économiques, accessoirement psychologiques.

D'abord, pour que la farine de graine de coton soit admise en alimentation humaine il faut, comme on l'a vu, qu'elle réponde à certaines conditions, qui ne sont pas toujours faciles à respecter. C'est ainsi qu'un taux correct de lysine disponible n'est en fait accessible que si l'on extrait l'huile par des solvants. Or, dans de nombreux pays elle ne l'est encore que par des moyens mécaniques (presses hydrauliques et presses à vis) : il faudrait donc changer de matériel. Il est vrai que les graines sans gossypol faciliteraient la tâche, mais elles sont encore peu répandues.

Ensuite, il faut être compétitif avec la farine de soja, qui est produite industriellement à une échelle bien plus grande et dont la valeur nutritionnelle est supérieure. Ceci est déjà constaté au niveau des tourteaux : le cours du tourteau de soja à 44 p.100 avec une décote variable, mais souvent de l'ordre d'un dixième. Quand il s'agit de farine, il est également nécessaire de retrouver un avantage de prix en faveur du coton; or, les traitements nécessaires pour se conformer aux normes du PAG coûtent cher, surtout lorsqu'on part de graines de coton classiques.

Il s'ensuit que la farine de graine de coton ne pourra se substituer d'une façon notable à la farine de soja que le jour où les graines sans gossypol seront produites en quantité suffisante, et sous les conditions supplémentaires ci-après :

En tant qu'additif fonctionnel, dans les pays riches tels que les Etats-Unis, il faudra qu'elle apporte aux industriels utilisateurs une économie importante, ce qui ne semble pas le cas aujourd'hui. En effet, si son prix est égal ou légèrement inférieur à celui de la farine de soja, les industriels préfèrent continuer à employer cette dernière, par habitude et aussi pour tenir compte de ses propriétés fonctionnelles meilleures dans la plupart des usages.

En tant qu'agent de suppléments nutritionnelle, dans les pays producteurs de coton et dont certaines couches de la population souffrent d'une carence en protéines, il faudra un soutien financier de la puissance publique dont l'incidence devra être calculée cas par cas.

IV. LES TECHNIQUES D'EXTRACTION DE L'HUILE ET DES TOURTEAUX DE GRAINE DE COTON

A. Stockage, nettoyage et délintage des graines

Le stockage

Ce qui a été écrit dans le chapitre II sur les risques de dégradation du coton-graine et sur les moyens de les éviter s'applique aussi à la graine de coton. Il est inutile de le répéter ici.

La teneur optimale en eau lors de l'égrenage est de 7 p.100. Il est souhaitable que l'humidité de la graine reste à ce niveau, ou même un peu plus bas, quand on la stocke pendant une longue durée. Etant donné que les huileries reçoivent des lots de qualité inégale, dont certains peuvent être en cours de dégradation, il importe d'exercer un contrôle permanent de la teneur en eau et de la température.

Une température supérieure à 35° C signifie que l'échauffement menace et il convient alors de ventiler le hangar ou le silo de stockage^{16/}. Certains huiliers ventilent systématiquement toutes les graines qu'ils reçoivent et veillent à ce qu'elles demeurent entre 15 et 20°C.

Il arrive aussi qu'on sèche par insufflation d'air chaud les graines humides, afin notamment d'inactiver les enzymes responsables de la lipolyse. Dans ce cas, il est bon de refroidir ensuite pour se ramener au voisinage de la température ambiante.

Les graines de coton, surtout celles ayant une forte proportion de duvet, sont difficiles à manutentionner et s'écoulent mal d'elles-mêmes. Il faut donc prévoir des moyens de manutention appropriés. Les dispositifs pneumatiques ont l'avantage de les refroidir et de les aérer, éventuellement de les sécher un peu, mais on emploie également des systèmes mécaniques.

Le nettoyage

Dans divers pays, dont les Etats-Unis, le développement de la cueillette du coton-graine par des machines a augmenté le taux des débris étrangers qui, après égrenage, restent attachés à la graine, c'est-à-dire en fait au duvet :

^{16/} Dans les régions à climat sec, on peut empiler les graines à l'air libre, bâchées ou non, sur des aires cimentées qui sont équipées de tuyaux d'aération.

il atteint maintenant 1 à 4 p.100 du poids de la graine. Ces impuretés sont des cailloux, de la terre, du sable, des fragments de capsule, des débris végétaux de toute sorte, des parcelles métalliques, etc. Les matières végétales ont tendance à se décomposer quand la teneur en eau est élevée et à intensifier ainsi l'échauffement des graines. Les matières minérales usent prématurément les délinteurs et les décortiqueurs; elles risquent de déclencher des étincelles susceptibles de mettre le feu. Enfin et surtout, on n'obtient des duvets et des tourteaux de bonne qualité que si l'on élimine les substances indésirables.

L'égrenage (voir chap. II, sect. C) laisse plus ou moins de rebut selon la façon dont il est conduit.

On peut faire un pré-nettoyage avant le stockage des graines, mais il n'a qu'une efficacité limitée, car les livraisons à l'usine étant très importantes durant un bref laps de temps, on n'a pas le loisir de parfaire l'opération. En pratique, on retire aisément une partie du sable, par exemple en perçant des petits trous dans les tuyaux où passent les graines. Il existe aussi des appareils, dénommés en anglais boll reels, qui sont des tambours pivotants munis de tamis, dont les mailles sont assez larges pour laisser passer les graines et les objets de même taille, mais retiennent ceux de taille supérieure (en particulier les graines qui ont conservé leurs fibres), et des appareils dénommés sand reels, similaires aux précédents, qui sont pourvus de tamis dont les mailles fines ne laissent passer que le sable. Les boll reels et sand reels sont souvent montés ensemble, les premiers en haut et les seconds en bas d'une même carcasse. La capacité est de 100 à 200 tonnes par 24 heures. On améliore l'efficacité en se servant d'appareils pneumatiques. Ils comprennent deux (ou quatre) tamis vibrants, qui reçoivent des volumes soigneusement contrôlés de graines, lesquelles passent auparavant devant un électro-aimant pour être débarrassées des parcelles métalliques. Le tamis du haut permet d'éliminer les impuretés de grand format, celui du bas les impuretés de petit format. Les deux tamisages sont assortis d'une aspiration d'air, qui les facilite. La capacité, selon les modèles, varie de 25 à 120 tonnes par 24 heures.

Les huiliers sont fréquemment obligés de reprendre le nettoyage des graines qu'ils reçoivent des usines d'égrenage. D'ailleurs, on est en droit d'estimer, pour des motifs économiques, qu'il vaut mieux nettoyer les graines dans les huileries que dans les usines d'égrenage, puisque ces dernières devant être disséminées sont beaucoup plus nombreuses, et elles travaillent moins longtemps chaque année.

En plus des boll and sand reels et des nettoyeurs pneumatiques, on peut utiliser en huilerie des "paniers nettoyeurs" qui sont placés à l'entrée des délinteurs, ou des appareils de conception plus récente, dénommés ARS differentiator or cleaning belt, qui reposent sur les cinétiques différentes auxquelles obéissent les graines normales, les graines anormales et les impuretés lorsqu'elles sont soumises à une projection.

Au total, on ne parvient à retirer que 50 p.100 environ des corps étrangers avec les bolles and sand reels, 55 à 60 p.100 avec les nettoyeurs pneumatiques, jusqu'à 65 p.100 avec le procédé ARS.

Le délitage

Le délitage est l'opération qui consiste à retirer le duvet de la graine, quand il existe - les graines de l'espèce G. barbadense n'en comportent pas.

Les taux moyens de duvet sont indiqués au chapitre I. Aux Etats-Unis, dans le cas des G. hirsutum, le duvet représente 10 p.100 environ du poids de la graine.

Il n'est pas toujours rentable de délinter la graine, car le matériel est assez coûteux et il faut trouver un débouché pour le duvet. Par exemple, en Afrique où ce débouché n'existe pas^{17/}, on estime aujourd'hui préférable de supprimer le délitage dans les huileries nouvelles, donc d'économiser ainsi l'investissement et la dépense d'énergie, et de décortiquer directement les graines couvertes de leur duvet. On y reviendra plus loin à propos du décorticage.

La méthode classique de délitage s'appuie sur l'emploi de machines à scies, appelées "délinteuses" qui ressemblent aux égreneuses à scies (chap. II, sect. C). Environ 2,5 p.100 du duvet est laissé sur la graine afin d'aider à la séparation ultérieure de la coque et de l'amande. S'il en restait plus de 4 p.100, ce serait un inconvénient lors du décorticage, avec les matériels existants.

Délitage à la scie

Les délinteuses à scies fonctionnent selon le même principe que les égreneuses à scies, mais comme le duvet est plus court que les fibres, les scies sont plus rapprochées, les dispositifs d'approvisionnement sont modifiés pour que les graines se présentent bien devant les scies, et d'une manière

^{17/} Il n'existe pas localement et le duvet supporte mal le coût du transport à longue distance.

générale tous les mécanismes doivent être plus soignés, plus précis, plus stables. La plupart des délinteuses modernes possèdent 141 ou 176 scies circulaires, de diamètre 12-5/8 pouces (32 cm), qui sont affutées à intervalles réguliers (toutes les 8 à 36 heures) grâce à des machines spéciales. La vitesse de rotation est d'environ 400 tours/minute. La machine extrait en 24 heures 400 kg de duvet de 15 tonnes de graine. D'ordinaire le délintage s'opère en plusieurs étapes, c'est-à-dire par des passages sur plusieurs délinteuses successives. Les caractéristiques de ces différents passages - et donc de leurs rendements qualitatif et quantitatif - peuvent être librement choisis par les industriels en fonction des résultats auxquels ils souhaitent arriver.

On distingue ainsi :

- Les duvets mill run, obtenus après une seule opération de délintage et comprenant tous les duvets qui auraient été séparés pendant un délintage en deux phases;
- Les duvets first cut (première coupe), obtenus lors du premier passage. Ils ont d'habitude une longueur de 2 à 6 mm, parfois plus;
- Les duvets second cut (seconde coupe), obtenus lors du second passage. Ils ont généralement de 1 à 3 mm de long.

On va quelquefois jusqu'à trois ou quatre passages.

Si l'on se contente de deux passages, pour le premier une délinteuse retirera 400 kg de duvet à partir de 15 tonnes de graines en 24 heures, pour le second il faudra deux délinteuses, chacune d'elles retirant en 24 heures 450 kg de duvet à partir de 7,5 tonnes de graine ayant subi la première coupe.

Les délinteuses de seconde coupe tournent plus vite (600 à 725 tours/minute).

En 1965 est apparu une délinteuse de haute capacité, le modèle HC2 de Carven Cotton Gin Co. Ses scies ont un diamètre plus grand (18 pouces, soit 45,7 cm); l'appareil a une contenance supérieure; il tourne plus vite. Aussi ses performances sont-elles meilleures : travaillant en un seul passage (mill run) il peut traiter environ 10 tonnes par 24 h de graines et ne laisser que 2,5 p.100 de duvet; travaillant en deux passages, il peut traiter en première coupe jusqu'à 25 tonnes par 24 h de graines et leur laisser 7,3 p.100 de duvet, tandis qu'en seconde coupe il traitera 12 à 18 tonnes par 24 h.

Autres méthodes

Le délintage à la scie consomme beaucoup d'énergie, exige des matériels onéreux et délicats, produit beaucoup de poussière et de bruit.

Il est possible de le supprimer complètement ou bien envisager d'autres voies :

- Le brûlage du duvet exige un contrôle très rigoureux de la température pour ne pas nuire à la graine;

- Le délintage à l'acide (chlorhydrique ou sulfurique) a été employé, mais il faut ensuite neutraliser par une base (gaz ammoniac). Les incidences sur la qualité nutritionnelle de la graine et sur la corrosion des appareils doivent être regardées de près;

- Le délintage par abrasion dépense davantage d'énergie que le délintage à la scie; il dégage autant de bruit et de poussière et les investissements sont élevés.

Nettoyage du duvet

A la sortie des délinteuses, le duvet comporte encore des impuretés, dont il faut le débarrasser si l'on veut qu'il ait une bonne valeur marchande. En effet, les utilisateurs ont besoin, pour les usages les plus nobles, de cellulose aussi pure que possible.

Dans les huileries modernes, chaque batterie de délinteurs est équipée d'un dispositif d'évacuation pneumatique du duvet, lequel est aspiré dans un condenseur où une partie des poussières est éliminée. Le nettoyage proprement dit a lieu ensuite. Il se fait dans des batteurs à multiples tambours, qui sont munis d'une aspiration d'air. Ces appareils comportent plusieurs chambres, de grandes dimensions; le duvet est projeté contre les parois perforées au travers desquelles partent les impuretés de petite taille, et notamment la poussière de coque.

On peut nettoyer séparément le duvet de première coupe et celui de seconde coupe.

B. Décorticage et séparation des coques

Le décorticage consiste à briser la coque de manière à libérer l'amande, dont il ne reste plus après qu'à séparer les débris de coques.

Il n'est pas universellement pratiqué. Néanmoins, il paraît justifié, car les coques contiennent très peu d'huile et de protéines, et beaucoup de cellulose (voir chap. I, sect. F). De ce fait, leur maintien réduirait le taux de récupération d'huile - les fragments de coques absorberaient de l'huile lors du laminage des amandes -, diminuerait la teneur en protéines et augmenterait celle en cellulose, lignines, etc., des tourteaux. En outre, les huiles brutes seraient plus colorées.

Les décortiqueurs sont de deux types : décortiqueurs cylindriques et décortiqueurs à disques.

Le décortiqueur à cylindre est formé de deux parties essentielles : un tambour rotatif et un bâti fixe, tous deux portant des couteaux amovibles en acier extrêmement dur, à arêtes parfaitement aiguisées. On règle à volonté leur écartement. La vitesse de rotation va de 650 à 950 tours par minute. La quantité de graines qu'on peut traiter en 24 heures dépend des dimensions de l'appareil et du pourcentage désiré de décorticage : elle varie de 75 à 150 tonnes si l'on admet que seulement 80 à 85 p.100 des graines soient décortiquées, le solde devant subir un deuxième passage.

Le décortiqueur à disques, moins répandu que le précédent, comprend deux plateaux circulaires, l'un fixe et l'autre mobile, pourvus d'arêtes vives. Les faces des deux plateaux sont concaves pour permettre l'introduction des graines par le centre. La force centrifuge entraîne celles-ci dans un espace qui va en se rétrécissant vers la périphérie, où elles sont sectionnées par les arêtes des plateaux, dont l'écartement est réglable.

En amont des décortiqueurs se trouve un batteur de graines dont la fonction est de retirer quelques impuretés (duvet, etc.), et en aval s'opère la séparation des coques et des amandes, dont l'importance est primordiale, puisque d'elle dépend la composition des débris de coques, qui doivent entraîner le minimum d'huile, d'amandes, de graines entières, et la composition des amandes, qui doivent être débarrassées du duvet, de la poussière, et ne contenir que la proportion de coques compatible avec l'objectif qu'on s'est fixé pour la teneur en protéines du futur tourteau.

Les facteurs qui interfèrent sont la teneur en eau des graines, leur degré de détérioration, le pourcentage résiduel de duvet, la quantité d'huile absorbée par la coque avant le décorticage et la séparation, la quantité d'impuretés, le matériel de séparation et son réglage.

Une usine moderne approvisionnée avec des graines de bonne qualité qui contiennent 10 à 12 p.100 d'eau et moins de 2,5 p.100 de duvet doit rejeter des coques retenant une proportion d'huile négligeable (0,5 p.100).

Il convient de distinguer trois procédés :

Décorticage-séparation simple

Dans le procédé de décorticage-séparation simple, un seul appareil décortique 80 à 85 p.100 des graines en un premier passage; les amandes sont séparées dans un tamis à secousses, tandis que les coques et les graines entières sont retraitées dans un batteur, puis dans un appareil spécial qui récupère les graines non décortiquées, lesquelles sont renvoyées dans le décortiqueur. L'équipement est complété par un dispositif purificateur d'amandes, qui en retire les coques et le duvet.

Décorticage-séparation double

Dans le procédé de décorticage-séparation double, on utilise deux groupes de décortiqueurs et de séparateurs. Le premier décortiqueur est réglé pour produire des morceaux d'amandes aussi gros que possible et éviter ainsi toute absorption d'huile par les coques. Les graines non décortiquées vont avec le mélange coques-amandes jusqu'au tamis-séparateur, les amandes passent au travers des perforations, les coques et les graines sont acheminées vers le batteur où a lieu la récupération des particules d'amandes adhérant encore aux coques, puis les coques et les graines aboutissent à un second groupe d'appareils qui recommencent l'opération de décorticage (avec un réglage plus serré des couteaux) et de séparation. Cette méthode implique davantage d'investissements que la précédente, elle laisse une proportion plus grande de particules fines de coques dans les amandes et d'huile dans les coques, au détriment à la fois de la qualité du tourteau (du moins pour les non-ruminants) et du rendement en huile. Elle est plutôt employée lorsque le duvet n'a pas été préalablement retiré des graines ou lorsqu'il y a beaucoup de graines non mûres.

Systeme universel de decorticage-separation

Le systeme universel de decorticage-separation est une combinaison des deux autres. Les coques du premier separateur repassent dans le second decortiqueur, regle serré, puis dans un second groupe d'appareils separateurs-batteurs. Ceci est interessant quand on traite des graines conservant du duvet et qu'on vise a laisser dans la farine une forte proportion de fines coques, en vue de produire un tourteau a faible teneur en proteines.

On admet que, dans des conditions normales d'extraction, 94 p.100 environ de l'azote contenu dans les graines se retrouvent dans le tourteau.

Les points principaux a surveiller dans le decorticage sont l'alimentation reguliere des machines, le reglage des couteaux et le bon entretien de ceux-ci.

Certains appareils regroupent les fonctions de separation, de battage et de purification.

On utilise parfois des defibrateurs afin de recuperer le duvet qui demeure avec les coques : aux Etats-Unis, on extrait ainsi 60 p.100 du duvet subsistant dans les coques, soit de 1,2 a 1,5 p.100 du poids originel de la graine. Un defibrateur peut traiter 10 a 12 tonnes de coques en 24 heures.

Le decorticage de graines riches en duvet et n'ayant pas subi l'operation de delintage soulève des difficultes techniques : l'alimentation doit se faire plus lentement, le pourcentage d'amandes et d'huile partant avec les coques duveteuses est superieur, la separation devient difficile a conduire en raison d'une tendance constante au bourrage sur les tamis. Il faut donc accepter un debit plus faible et adapter le materiel pour que les coques n'entraînent pas trop d'amandes et d'huile. Ceci a été étudié aux Etats-Unis par S.P. Clark (Texas, A & M University), en France par Speichim. On observera que le duvet agglomère les debris de coques, si bien que les amandes obtenues n'en contiennent pratiquement plus; c'est un avantage pour les farines destinees a l'alimentation humaine, mais il complique le travail des presses dans les huileries et est superflu pour la fabrication de tourteaux.

Des calculs économiques faits aux Etats-Unis par S. Clark en 1976 montrent que si le prix^{18/} de vente du duvet par les huiliers est de 4 cents par livre

^{18/} Prix moyen pondéré de l'ensemble première + seconde coupe.

(1 livre = 453,59 g, ceci correspond donc à 8,8 cents par kg) ou plus élevé, il vaut mieux en tout état de cause délinter avant décorticage, mais qu'en-dessous de 3 cents par livre (6,6 cents/kg) on peut envisager de décortiquer sans délitage, ou de délinter à l'acide.

C. Transformation par laminage des amandes en flocons

Après le décorticage et la séparation, les amandes sont vulnérables au développement des moisissures et même avec de faibles taux d'humidité (7 p.100) se conservent très peu de temps. Il risque de se produire en quelques jours une acidification. Aussi est-il recommandé de traiter ces amandes le plus vite possible.

Le laminage des amandes est une nécessité, d'abord pour faire éclater les parois d'une partie des cellules contenant l'huile, et surtout pour diviser fortement la matière, de façon à l'exposer le mieux possible à la chaleur et à la vapeur d'eau au cours de la cuisson ultérieure, ce qui favorisera l'extraction de l'huile.

On doit commencer par humidifier les amandes afin de porter à 10-11 p.100 leur teneur en eau.

Le laminage est réalisé habituellement par un appareil qui comprend cinq cylindres superposés, rectifiés avec soin, en fonte trempée très dure. Il arrive que l'on se satisfasse de deux cylindres horizontaux, mais la capacité est inférieure.

Un alimenteur, dont le débit est contrôlé de près, distribue uniformément les amandes sur toute la longueur du cylindre supérieur; elles sont entraînées ensuite entre le premier et le second cylindre, puis finalement entre le quatrième et le cinquième, où elles supportent le poids des quatre cylindres placés plus haut.

Le diamètre des cylindres varie de 12 à 20 pouces (30,5 à 51 cm), leur longueur de 24 à 60 pouces (61 à 152 cm). La quantité d'amandes à admettre ne peut dépasser celle correspondant à 1,5 tonnes de graines en 24 heures et par pouce de longueur.

Les flocons doivent être aussi minces que possible. On peut descendre jusqu'à 0,005 pouce (0,127 mm), mais d'ordinaire leur épaisseur se situe entre 0,008 et 0,013 pouce (0,203 à 0,330 mm).

Les principaux éléments à surveiller sont la teneur en graines non décortiquées, la proportion de coques résiduelles, la régularité de l'alimentation de l'appareil, le bon état de surface des rouleaux.

D. Cuisson des flocons

Cette cuisson a plusieurs objectifs :

- Compléter la rupture des parois des cellules qui enferment l'huile;
- Augmenter la fluidité de l'huile en élevant la température de la matière;
- Coaguler et précipiter les protéines, ce qui facilite l'extraction de l'huile;
- Coaguler et précipiter de même les phosphatides;
- Transformer les matières pectiques en substances mucilagineuses insolubles dans l'huile;
- Coaguler et précipiter de même les phosphatides;
- Transformer les matières pectiques en substances mucoilagineuses insolubles dans l'huile;
- Détoxifier le gossypol en le fixant aux protéines;
- Détruire les moisissures, bactéries et enzymes qui pourraient nuire à l'huile (en favorisant le développement d'acides gras libres) et aux tourteaux;
- Enfin, porter le degré d'humidité de la pâte au degré d'humidité souhaitable pour l'opération suivante d'extraction de l'huile.

La cuisson et le séchage final de la pâte peuvent être réalisés dans divers types d'appareils, mais les plus courants comprennent quatre à six (parfois jusqu'à dix) cuves superposées, pourvues de doubles parois à l'intérieur desquelles circule de la vapeur pour le chauffage et d'agitateurs pour brasser la matière. Cette dernière conduisant très mal la chaleur, les agitateurs doivent être puissants. Les flocons sont enfournés dans la cuve supérieure, où l'on ajoute de l'eau chaude ou de la vapeur d'eau pour porter leur taux d'humidité entre 11 et 14 p.100. Ils descendent ensuite de cuve en cuve, où ils subissent des températures croissantes.

Le rendement en huile et la couleur de celle-ci, la valeur nutritionnelle et la saveur du tourteau dépendent beaucoup de la manière dont la cuisson est conduite. Les paramètres sont la quantité d'eau ajoutée, les températures des différentes cuves, les durées de séjour dans chacune d'elles, les vitesses

d'agitation. On les règle en fonction des caractéristiques de la matière dont on part et de celle qu'on veut obtenir. En particulier, la technique d'extraction d'huile qui sera utilisée dans la phase suivante influe sur leur détermination.

Un des buts primordiaux étant de désactiver le gossypol sans trop dégrader la qualité des protéines (voir chap. III, sect. A), on est obligé de chercher un compromis entre une insuffisance et un excès de chauffage.

De plus, il faut atteindre rapidement la température de 88° C (190° F), car jusqu'à ce seuil les enzymes en présence d'eau sont très actives et pourraient provoquer une hydrolyse ou une lipolyse (production d'acides gras) indésirables.

En pratique, dans un cuiseur à cinq cuves, la température varie ainsi :

<u>Cuve</u>	<u>Température</u>	
	<u>En °C</u>	<u>En °F</u>
1	79 à 90	175 à 195
2	82 à 96	180 à 205
3	93 à 102	200 à 215
4	102 à 107	215 à 225
5	107 à 113	225 à 235

Dans la première cuve, la température de la matière doit être portée à 88° C environ en une vingtaine de minutes. La durée totale de la cuisson dépend des procédés ultérieurs d'extraction d'huile : 80 à 120 minutes avec les presses hydrauliques, 75 à 85 minutes si l'on se sert de presses à vis, 30 à 40 minutes si l'on emploie un solvant après pré-pressage.

La teneur en eau de la pâte baisse régulièrement de la première à la dernière cuve. Son optimum à la sortie est de 5,5 à 7 p.100 si l'on extrait l'huile par une presse hydraulique, 3 à 5 p.100 si l'on se sert de presses à vis, 4 à 5 p.100 si l'on extrait l'huile par de l'hexane.

Ce type de cuiseur a la capacité de traiter de 125 à 150 tonnes de graines en 24 heures.

Quand le cuiseur est exploité à sa capacité normale de production, on constate que le tourteau après passage au travers de la presse à vis ne comporte plus que 4,2 p.100 environ d'huile, mais lorsqu'on fait fonctionner le cuiseur au-delà de sa capacité cette teneur résiduelle augmente. On n'a donc pas intérêt à forcer le débit.

Il existe d'autres modèles de cuiseurs, par exemple les cuiseurs-sécheurs horizontaux où la cuisson et le séchage sont opérés dans des cylindres différents.

E. Extraction de l'huile^{19/}

L'extraction par des presses hydrauliques

L'extraction de l'huile par des presses hydrauliques est un procédé démodé, mais encore en vigueur dans plusieurs pays. Il comporte une phase préparatoire de moulage, puis la matière passe dans une presse hydraulique à plateaux (elle a ordinairement 15 plateaux). Si la marche de l'opération est bien réglée, la matière s'épuise progressivement, l'huile ne contient que peu d'impuretés, les toiles qui entourent la pâte n'accusent pas d'usure prématurée. La durée d'un cycle est d'environ 30 minutes, mais peut monter à 45 minutes. Avec un cycle de 30 minutes, la capacité d'extraction en 24 heures équivaut à 15 tonnes de graines, et les tourteaux conservent 5,5 à 6,5 p.100 d'huile.

Le tourteau est vendu tel quel, ou concassé en petits morceaux, ou finement moulu en farine sur des broyeurs à disques ou à marteaux et ensuite tamisé. Parfois la farine est humidifiée, chauffée et comprimée en petits cubes.

L'extraction par presse hydraulique a quelques avantages par rapport aux presses à vis : l'investissement est plus léger, les dépenses d'énergie moindres, l'huile est plus claire et contient moins de gossypol libre. Néanmoins, ces avantages ne compensent pas les désavantages suivants : les dépenses de main-d'oeuvre sont plus fortes, l'utilisation du matériel manque de souplesse, le rendement en huile est moindre, il subsiste davantage de gossypol libre dans le tourteau. Enfin et surtout, la presse à vis peut se prêter facilement au traitement de graines autres que celles de coton. Pour toutes ces raisons, la presse hydraulique est de plus en plus abandonnée au profit de la presse à vis.

L'extraction par des presses à vis

Les presses à vis fonctionnent en continu.

Il existe de nombreux modèles d'appareils, depuis le premier construit par Anderson au début du siècle.

^{19/} Pour les descriptions techniques utilisées pour extraire et traiter l'huile, consulter les ouvrages spécialisés, comme ceux de K. Murti et K. Achaya, 1975.

Leur capacité dépend du nombre d'arbres, du profil et surtout de la vitesse de rotation de ceux-ci. Chiffrée en tonnage équivalent de graines de coton traitées en 24 heures, elle varie de 6 à 100 tonnes, et parfois dépasse même ce dernier montant. Cependant, la capacité habituelle est de l'ordre de 50 tonnes. Plus l'arbre tourne vite, plus la production est élevée, mais il risque de rester un pourcentage plus grand d'huile dans les tourteaux : on obtient alors des tourteaux gras, qui peuvent contenir 9 à 15 p.100 d'huile.

Avec un appareil bien réglé et tournant à vitesse normale (environ 45 tours par minute), le tourteau ne comporte plus que 3,5 à 4,5 p.100 d'huile.

Si l'on ne veut faire qu'un pré-pressage et extraire ensuite l'huile résiduelle par solvant, on augmente la capacité qui dans ce cas correspond souvent à 100 tonnes de graines traitées par 24 heures, et le tourteau sort de la presse avec 10 p.100 d'huile.

L'énergie absorbée est partiellement convertie en chaleur. La pâte atteint ainsi environ 150°C (300° F). Un tel échauffement, joint à la pression considérable qui règne dans la presse, nuit à la qualité des protéines (voir chap. III, sect. A et B). Il faut donc refroidir, un autre motif étant que l'excès de chaleur conduit à une huile colorée et comportant trop d'impuretés. On obtient ce refroidissement par divers moyens, le plus souvent en recourant à un échangeur thermique.

A la sortie de la presse, le tourteau est trop sec (seulement 1 à 4 p.100 d'eau) et trop chaud. On le refroidit et on le rehumidifie en même temps grâce à un jet d'eau froide. On le ventile aussi. Il ne reste plus qu'à le broyer avec un broyeur à marteaux ou à double disque tournant : le premier consomme moins d'énergie, mais donne un produit plus granuleux, moins fin.

Le tourteau moyen comprend 3,5 à 4,5 p.100 d'huile, 41 à 43 p.100 de protéines, 8 p.100 d'eau, 0,04 p.100 de gossypol libre. La teneur en lysine disponible de ses protéines n'est que de 2,5 à 3 p.100 (voir chap. III, sect. A).

De son côté, l'huile brute contient des impuretés insolubles, qu'on appelle des "pieds" et des acides gras libres (en moyenne 1,2 p.100). Elle enregistre au raffinage des pertes de 8,5 p.100. L'élimination des "pieds" se fait par une décantation ou par un tamisage, puis par une clarification au travers d'un filtre-pressé. Pendant ces opérations, il est souhaitable que l'huile soit aux alentours de 55°C. Une fois séparés de l'huile, les "pieds" sont recyclés, soit

dans une presse à vis affectée à cette fonction, soit dans celle servant à la fabrication, mais il faut alors sauter par-dessus la phase de cuisson préalable, sous peine d'avoir une huile colorée.

La teneur de l'huile en acides gras libres dépend de l'état des graines dont on part. Si elles sont livrées déjà très acides, la cuisson et le pressage (dont, en tout état de cause, l'effet est d'augmenter cette teneur de 70 p.100 en moyenne) devront être surveillés de près. En particulier, il faudra qu'à l'entrée en cuisson les flocons comprennent au minimum 12 p.100 d'eau, et que la durée du chauffage soit plus longue qu'à l'accoutumée. Ces graines acides se traduisent souvent par un pourcentage important de "pieds".

Il n'est pas rare que le taux d'acide gras libres dans l'huile monte jusqu'à 2 p.100.

Les fractions d'huile sont généralement plus acides que les autres; il s'ensuit que si l'on pousse très loin l'extraction, l'huile se raffinera avec de moins bons résultats.

Les mucilages, ou plus exactement les matières pectiques provenant des substances interposées entre les membranes cellulaires, passent d'autant plus aisément dans l'huile que l'humidification a été plus intense. Par le fait qu'elles retardent le dépôt du soapstock elles gênent le processus de raffinage et sont, par conséquent, souvent responsables des mauvais rendements à ce stade.

La teneur en gossypol de l'huile est variable, selon la matière première et les traitements subis. Elle oscille entre 0,3 et 1 p.100. Pendant la neutralisation, qui est une des étapes du raffinage, le gossypol se combine avec la soude et passe dans le soapstock.

Il arrive dans certains pays, par exemple en Inde, qu'on traite dans des presses à vis des graines non délintées et non décortiquées. Le rendement en huile est moins bon, l'huile et le tourteau sont de qualités inférieures, la capacité des presses est diminuée, mais il est évident que la rusticité du procédé le rend peu onéreux.

Il arrive aussi qu'on presse des graines décortiquées sans délintage préalable. L'huile et le tourteau ont des qualités convenables, mais une partie de l'huile (4 p.100) est perdue.

En Union soviétique est employé un procédé original d'extraction de l'huile, baptisé Skipin du nom de son inventeur. Il comporte trois phases : la matière est d'abord humidifiée, pour porter sa teneur en eau entre 14,5 et 20 p. 100, et chauffée vers 70°C. Ceci sépare l'huile de la pâte. Elle tombe, en traversant un tamis, au fond de l'appareil, où elle est recueillie. On sèche le tourteau partiellement déshuilé pour abaisser son humidité au niveau qu'impose l'extraction finale par solvant. Le gossypol se retrouve tout entier dans l'huile.

L'extraction par solvant

L'extraction par solvant peut s'appliquer à :

- Des graines de coton non décortiquées, parfois même non délintées;
- Des graines décortiquées;
- Des tourteaux partiellement déshuilés par un passage préalable sur des presses, généralement à vis (technique dite pre-press solvent).

Son principal avantage par rapport aux méthodes d'extraction mécanique vues précédemment est d'améliorer le rendement en huile, car les tourteaux n'en comportent plus que 0,5 à 2 p.100. De surcroît, la matière étant moins chauffée, les protéines ont une valeur nutritionnelle supérieure (voir chap. III, sect. A et B).

Toutefois, il y a des inconvénients :

- L'extraction par solvant impose des investissements plus lourds et ne se conçoit donc que lorsque les tonnages à traiter sont assez importants;
- Les solvants inflammables, en particulier ceux provenant des hydrocarbures pétroliers (hexane notamment), impliquent des risques d'incendie et d'explosion par mélange avec l'air;
- Les tourteaux tendent à être poussiéreux;
- Si la cuisson est insuffisante, il risque de demeurer du gossypol libre dans les tourteaux.

L'extraction directe par des solvants de l'huile contenue dans des graines décortiquées est en outre assez délicate, parce que la matière étant friable des parcelles fines peuvent se mélanger aux miscellas, dont la définition est donnée

plus loin, et il faut prendre des précautions pour éviter ou corriger ce défaut. Si l'on part de graines non décortiquées, l'extraction est plus aisée, mais l'huile est plus colorée et les tourteaux sont de qualité médiocre.

La technique d'extraction par solvant après pré-pressage (pré-press solvant) se traduit par un rendement en huile légèrement supérieur à celui de l'extraction directe. Elle semble davantage préconisée aujourd'hui.

Il n'est pas question de décrire ici le procédé dans tous ses détails, avec toutes ses variantes, mais son principe peut être ainsi résumé :

Principe de l'extraction par solvant

Il faut mettre en contact, d'une manière aussi intime que possible, la matière et le solvant. Ceci suppose une quantité importante de solvant à une température adéquate (50 à 65° C), une matière à un bon degré d'humidité (qui varie suivant les types de matériels) et dans un état de granulométrie satisfaisant, un mélange prolongé de la matière et du solvant :

- Avec des appareils à fonctionnement discontinu, il est préférable d'en utiliser plusieurs en série;

- Avec des appareils à fonctionnement continu, on fait circuler la matière et le solvant à contre-courant (méthode actuellement moins en faveur) ou en parallèle;

- Avec la technique dite de "filtration-extraction", la matière et le miscella sont d'abord maintenus un certain temps dans un mélangeur, avant d'être séparés dans un filtre rotatif horizontal travaillant sous vide en continu.

On obtient ainsi une solution d'huile dans le solvant appelée miscella, de concentration variable selon la quantité de solvant utilisée et la richesse en huile de la matière. Dans les appareils modernes fonctionnant en continu, les miscellas contiennent 20 à 25 p.100 d'huile - parfois davantage. Les appareils continus d'un modèle ancien et les appareils discontinus conduisent à des miscellas dont le taux d'huile est bien inférieur.

On filtre les miscellas (afin de retirer les parcelles de tourteau entraînées), on les concentre, on les distille dans un évaporateur à simple ou à double effet, puis on les envoie dans un finisseur placé ordinairement sous vide partiel et comportant une injection de vapeur pour l'élimination intégrale du solvant.

Les vapeurs ainsi produites sont condensées dans des appareils classiques à circulation d'eau, tandis que l'huile est refroidie et stockée. Le liquide sortant des condenseurs est recueilli dans un séparateur où le solvant est débarrassé de l'eau provenant de la vapeur injectée.

Il faut également récupérer le solvant resté dans la matière traitée. On y parvient par chauffage, soit dans l'extracteur lui-même, soit dans un séchoir indépendant. Là encore, les dernières traces de solvant sont chassées à l'aide de vapeur vive, chaque fois que la nature de la matière le permet. Dans certains appareils, l'opération peut être faite sous un vide plus ou moins poussé, ce qui permet de travailler à basse température et donc de ménager les tourteaux. Après refroidissement, ces derniers sont généralement broyés.

Les gaz non condensés qui demeurent dans les différents appareils sont récupérés en reliant ces derniers à une colonne d'huile de vaseline, à des charbons actifs, à une installation frigorifique, ou par combinaison de plusieurs de ces moyens.

Les tourteaux peuvent être complètement débarrassés du solvant ou en conserver un peu, par exemple 0,1 p.100, mais alors il y a un risque d'explosion lors du stockage ou du transport, et une odeur peu agréable, sans oublier l'inconvénient sur le plan nutritionnel.

Il faut insister sur le fait que ce résumé des opérations successives est très sommaire et que les techniques sont en rapide évolution, particulièrement en ce qui concerne la désolvantisation, où des progrès notables ont été accomplis depuis une quinzaine d'années.

Remarques sur les opérations précédant l'extraction

Le nettoyage, le délintage, le décorticage et la séparation des coques se font de la même manière qu'avec les procédés mécaniques d'extraction. Il n'en va pas tout à fait de même pour le laminage en flocons et la cuisson.

Dans le cas d'extraction par solvant après pré-pressage, la principale différence est que la cuisson peut avoir lieu à une température inférieure d'environ 20°C, durer moins longtemps et laisser 8 à 9 p.100 d'eau dans la pâte. Celle-ci comprend encore 10 à 12 p.100 d'huile. On la broie et on la lamine de nouveau en flocons, et on l'envoie dans l'extracteur à solvant, d'où elle

sort avec une teneur en huile qui peut tomber aussi bas que 0,3 à 0,5 p.100, tandis que le procédé d'extraction directe par solvant ne donne pas un rendement aussi excellent, car il aboutit habituellement à des tourteaux retenant entre 1 et 2 p.100 d'huile. La matière est moins friable et les miscellas contiennent moins d'impuretés. Le tourteau comporte moins de gossypol libre, ainsi aussi moins de lysine disponible que celui provenant d'extraction directe par solvant.

Dans le cas d'extraction directe par solvant, on écrase les amandes sous des rouleaux, on porte leur teneur en eau à 10 p.100 environ, on les cuit à une température beaucoup plus faible que dans les autres procédés, c'est-à-dire entre 50 et 80°C, on les lamine en flocons aussi fins que possible (épaisseur comprise entre 0,006 et 0,010 pouces, soit entre 0,15 et 0,25 mm). Il va de soi que l'extraction directe doit employer beaucoup plus de solvant que l'extraction après pré-pressage. La technique de filtration-extraction, qui est une variante de l'extraction directe, exige une cuisson s'étageant de 93 à 107° C (200 à 225° F) et 9 à 20 p.100 d'eau dans la pâte pendant cette opération.

Choix du solvant

Le solvant le plus couramment utilisé aux Etats-Unis est l'hexane, hydrocarbure paraffinique provenant de la distillation du pétrole. Son point d'ébullition, sous la pression normale, varie de 63,3 à 69° C selon les fournisseurs. Les méthylpentanes, qui ont la même origine, bouillent à une température plus basse (59,4 à 63° C) et de ce fait exigent une moindre dépense d'énergie, mais malgré cet avantage et leur bonne efficacité comme solvant de l'huile de coton, ils sont beaucoup moins employés que l'hexane.

Le trichloréthylène présente l'intérêt d'être beaucoup moins inflammable que les hydrocarbures. Il bout à 87° C sous la pression normale. C'est un excellent solvant. Cependant, il consomme davantage d'énergie que l'hexane pour sa distillation, ce qui donne des huiles plus foncées, difficiles à décolorer, surtout si l'on part de graines non décortiquées. De plus, la trichloréthylène doit être stabilisé avant utilisation afin d'éviter qu'il ne s'acidifie, et ses vapeurs étant corrosives le matériel en contact avec elles doit être en acier inoxydable ou en aluminium. Enfin, il y a doute quant à la toxicité des tourteaux ainsi traités, de sorte que le trichloréthylène n'est pas employé aux Etats-Unis.

L'isopropanol pourrait être une bonne solution. Il a la propriété d'extraire complètement le gossypol en même temps que l'huile, par conséquent les tourteaux sont débarrassés de leur gossypol libre, mais il faut aussi l'éliminer de l'huile au prix de quelques précautions supplémentaires. Ce solvant ne semble encore employé dans aucune usine.

L'éthanol est également un solvant possible. Il a été un peu négligé aux Etats-Unis, où l'on a jugé plus simple et plus économique de recourir aux hydrocarbures paraffiniques issus du pétrole. Dans d'autres pays, il pourrait être judicieux de se servir d'éthanol d'origine agricole afin de diminuer les sorties de devises.

Le procédé Vaccarino exploité en Italie, se sert d'acétone, et le procédé SRRL (voir chap. III, sect. B) d'un mélange azéotrope acétone-hexane-eau. L'un et l'autre retirent presque complètement le gossypol libre du tourteau, le second encore mieux que le premier, mais il revient plus cher que l'extraction à l'hexane.

Indications très succinctes sur le matériel

Comme il a déjà été signalé, l'extraction peut être discontinue ou continue. Cette dernière est la technique la plus moderne. Les extracteurs continus sont classables en deux catégories :

- Les appareils travaillant par immersion, où la matière est noyée dans le solvant;
- Les appareils travaillant par percolation, où le solvant s'écoule au travers d'une couche de matière mobile ou immobile.

Pour divers motifs, on préfère maintenant la percolation à l'immersion.

Le procédé de filtration-extraction se rattache à la percolation, mais avec ses caractéristiques propres.

Les capacités, chiffrées en tonnages équivalents de graines de coton traitées en 24 heures, sont de 40 t à 120 t pour les appareils à immersion, de 100 t à 250 t pour les appareils à percolation^{20/}, de 100 t pour les appareils de filtration-extraction.

^{20/} Il existe aussi des modèles plus petits, de 25 à 75 t.

On rencontre des extracteurs de capacité beaucoup plus forte (500 t à 2 000 t en 24 heures), conçus pour des usines traitant de grandes quantités de graines, qui peuvent d'ailleurs provenir de plantes différentes (coton, soja, etc.).

Dans toutes les installations, il faut veiller à la régularité du flux de matière et de solvant.

Quand le matériel est moderne et bien employé, les pertes de solvant correspondent à moins de 1 p.100 du poids de la matière entrant dans les extracteurs : ce taux peut descendre à 0,5 et même 0,3 p.100.

Conclusions

Dans l'état actuel des choses, l'extraction par presse à vis et l'extraction par solvant après pré-pressage paraissent économiquement les plus intéressantes.

Le développement des variétés sans gossypol pourra à l'avenir favoriser l'extraction directe par solvant.

F. Raffinage de l'huile

L'huile brute contient, en dehors des triglycérides, une proportion variable d'impuretés diverses : les acides gras libres, l'eau, les résines, les matières albuminoïdes, mucilagineuses, gommeuses, les phosphatides, les stérols, les pigments, les matières odorantes et sapides (notamment des cétones et des aldéhydes), ainsi que divers produits de dégradation. Certaines de ces matières sont insolubles dans l'huile, d'autres s'y trouvent en solution ou à l'état de suspension colloïdale.

Le rôle du raffineur consiste à éliminer, aussi complètement que possible, les substances non glycéridiques, afin de produire une huile directement comestible et de bel aspect, ou mise sous la forme convenant le mieux à la production de graisses alimentaires.

Les étapes principales du raffinage seront examinées successivement. Ce sont :

- La démucilagination ou dégommage
- La neutralisation
- La décoloration
- La désodorisation

Il ne sera pas question de deux traitements qui se rattachent à la transformation de l'huile raffinée : l'hydrogénation, qui a pour but de convertir l'huile liquide en graisse solide ou semi-solide grâce à la saturation partielle ou totale des doubles liaisons, et la démargarination qui au contraire retire de l'huile les triglycérides ayant un point de fusion élevé, afin qu'elle demeure limpide même à des températures basses^{21/}.

D'une manière générale, on peut dire que le raffinage de l'huile de coton obéit aux mêmes principes que celui des autres huiles comestibles, mais est particulièrement délicat en raison de la nécessité d'éliminer le gossypol. Le développement des graines sans gossypol apportera donc, là aussi, une simplification.

Le stockage de l'huile brute

L'huile brute, avant d'être stockée, doit être débarrassée des impuretés insolubles que sont les fragments de graine, la poussière, l'eau^{22/}, etc., faute de quoi les enzymes que comportent ces impuretés déclencheraient une lipolyse qui augmenterait la teneur en acides gras libres. De plus, il pourrait se produire une prolifération de micro-organismes, contribuant eux aussi à la lipolyse et provoquant en outre des putréfactions nauséabondes. Les impuretés insolubles sont retirées par décantation, filtration ou centrifugation, la filtration étant le procédé le plus courant (par exemple avec des filtres-presses).

Au stockage, les pigments (gossypol et autres substances) risquent de se fixer sur les triglycérides d'une façon irréversible. Cette réaction évolue assez vite. Elle est fonction de la teneur en pigments et de la température. Il est donc recommandé de stocker les huiles brutes de coton, bien filtrées et déshydratées, le moins longtemps possible et à la plus basse température compatible avec leur fluidité.

Le dégommeage

Il consiste à retirer les gommes, les résines, les mucilages, les protéines, les phosphatides^{23/} et autres constituants existant dans l'huile à l'état de fines dispersions colloïdales. On désignera en abrégé ces substances par "gommes".

^{21/} L'huile de coton normale se trouble au-dessous de 5 à 7° C. Après démargarination, elle demeure transparente à 0° C.

^{22/} Presque toutes les huileries brutes contiennent environ 0,5 p.100 d'eau.

^{23/} Les phosphatides, dont le mieux connu est la lécithine, se rencontrent dans l'huile de coton à un taux compris entre 0,7 et 2,7 p.100. Tandis qu'on extrait industriellement la lécithine du soja, il n'est pas économique de l'isoler de l'huile de coton, compte tenu de sa couleur sombre qui l'écarte des applications en alimentation humaine.

Après leur extraction, elles sont ajoutées au tourteau, dont elle facilite la granulation en augmentant sa cohésion, ou au soapstock, dont la définition est donnée plus loin (chap. VII, sect. C).

Il existe plusieurs procédés de dégomme. Le plus classique est le procédé par hydratation, mettant à profit la propriété qu'ont les gommes de gonfler et de former des gels en présence d'une quantité d'eau bien définie. Ces gels, de poids spécifique plus élevé, précipitent au fond du récipient contenant de l'huile. En pratique, on injecte une quantité d'eau correspondant à un pourcentage du poids de l'huile compris entre 2 et 5 p.100, on opère à une température qui varie de 60 à 90° C selon les techniques, et les gommes sont séparées par centrifugation. L'huile épurée de ses gommes gardant 0,4 à 0,8 p.100 d'eau, on l'envoie dans un séchoir où elle est portée à 70° C environ, sous faible vide; ensuite elle est refroidie et stockée. Cette phase de déshydratation est délicate, car il ne faut pas colorer l'huile, ni accroître sa teneur en acide gras libres. L'incorporation d'une solution très diluée de carbonate de soude a un effet stabilisant.

On peut également dégommer en utilisant des additifs spéciaux qui rendent les gommes insolubles : acide acétique, ammoniac, acide citrique, acide oxalique, acide citrique, acide oxalique, acide phosphorique, etc.

On peut encore, et c'est la solution la plus simple, dégommer et neutraliser dans le même appareillage. La solution de savon formée par la neutralisation des acides gras libres entraîne avec elle, lorsqu'elle se dépose, la plus grande partie des gommes. Par conséquent, avant de monter une installation indépendante de dégomme il faut regarder si c'est justifié économiquement.

La neutralisation

La neutralisation a pour objectif d'extraire les acides gras libres, dont l'huile contient une proportion de 0,9 à 2,8 p.100.

On se sert le plus souvent de soude caustique, qui est très efficace et qui décolore mieux que les alcalis plus faibles, mais elle présente le désavantage de saponifier une petite partie des triglycérides. D'autres alcalis moins puissants, comme le carbonate de soude, ont donc été employés occasionnellement. Cependant, ils ont d'autres inconvénients. En particulier ils ne peuvent abaisser la teneur de l'huile en acides gras libres au-dessous de 0,10 p.100, alors qu'avec la soude on arrive à 0,01-0,03 p.100, et il faut compléter leur action par divers moyens.

Les substances solubles présentes dans l'huile dégommée comprennent, en plus des acides gras libres, une très petite proportion de mono- et de diglycérides, du gossypol et d'autres matières colorantes, des stérols et des tocophérols (qui n'ont pas besoin d'être extraits, au contraire), ainsi que divers produits plus ou moins bien identifiés.

Durant la neutralisation à la soude, le gossypol et les autres pigments de la graine réagissant vivement avec la soude et partent en grande partie dans le soapstock, qui est le résidu de l'opération.

Le soapstock brut se compose d'un mélange de savon, d'impuretés organiques non glycéridiques, d'eau et d'huile à l'état d'émulsion.

Le processus de neutralisation se divise en deux phases essentielles : premièrement le mélange, au cours duquel la soude réagit sur les substances à éliminer, deuxièmement la rupture de l'émulsion et la précipitation des substances neutralisées.

La soude n'agit avec efficacité que si elle est diluée et le choix du taux de dilution dépend de nombreux paramètres. La presque totalité de l'eau de dilution passe, après neutralisation, dans le soapstock.

Il existe de nombreuses techniques de neutralisation, dont la description, même résumée, nous entraînerait trop loin. Elles peuvent être classées aujourd'hui de la manière suivante :

- Neutralisation par de la soude caustique
 - En discontinu
 - En continu
- Neutralisation par des alcalis plus doux
 - En continu, avec l'action successive d'un carbonate alcalin et d'un alcali
 - En continu avec de l'ammoniaque
- Neutralisation du miscella par de la soude caustique
- Extraction des acides gras libres par d'autres méthodes (solvants divers, vapeur d'eau, résines échangeuses d'ions, etc.)

La neutralisation se fait généralement à des températures modérées, et en plusieurs étapes. Les résidus sont séparés par centrifugation. L'huile est ensuite débarrassée des restes d'alcali, de savon et d'eau. De même, le soapstock est purifié, l'huile neutre qu'il contient est récupérée, et divers autres traitements lui sont appliqués.

La quantité totale d'acides gras libres et d'autres substances qui se trouve retirée de l'huile par la neutralisation dépend de la matière dont on part et du procédé utilisé. Elle représente 3,5 à 9 fois la quantité d'acides gras libres quand celle-ci est faible, 1,5 à 2 fois quand elle est forte. Ces pertes sont supérieures à ce qu'on obtient d'habitude avec des huiles d'autres graines, à acidité égale.

Pour obtenir une huile de bonne qualité, on neutralise souvent en deux étapes, la seconde employant un alcali plus concentré. Quand on se sert pour cela de soude caustique, il en résulte une perte d'huile supplémentaire.

La neutralisation en continu donne des résultats qualitatifs comparables à ceux de la neutralisation discontinue, mais les réactions secondaires responsables de l'augmentation des pertes sont mieux contrôlées grâce à la réduction du temps de contact entre l'huile et le savon, ce qui permet d'améliorer nettement la rentabilité et de traiter des huiles plus riches en acides gras libres. Elle demande un personnel moins spécialisé; néanmoins l'investissement ne se justifie qu'à partir d'une capacité de traitement d'au moins 30 tonnes de graines en 24 heures.

La neutralisation directe du miscella fournit des huiles habituellement plus claires et avec un meilleur rendement que la méthode classique, mais elle exige un investissement en général plus élevé, un personnel plus qualifié, et des précautions particulières dues au risque d'explosion qu'impliquent les solvants. Elle s'est donc peu répandue malgré ces avantages.

Les soapstocks obtenus à partir des solutions concentrées de soude et les mucilages (quand ils n'ont pas été antérieurement éliminés par dégomme) sont très visqueux. Aussi est-il nécessaire d'avoir des centrifugeuses puissantes, en bon état et faciles à nettoyer sans démontage.

La décoloration

L'huile neutralisée a normalement une couleur jaune d'or, qui convient bien aux usages alimentaires, mais il arrive que sa teinte soit rougeâtre. En outre, lorsqu'elle est destinée à la confection de corps gras solides on préfère une couleur blanche.

Aussi est-on ramené à la décolorer, afin de retirer les divers pigments qui n'ont pu être éliminés par la neutralisation.

On y parvient grâce à des adsorbant, qui sont des terres décolorantes ou des charbons activés.

Le procédé de décoloration ne présente pas de particularités par rapport à celui des autres huiles. On utilise les équipements classiques, discontinus ou continus. La température maximale est de 100 à 105° C. Les terres décolorantes doivent représenter 0,5 à 2 p.100 du poids de l'huile, les charbons activés un peu plus (jusqu'à 10 p.100).

La désodorisation

Plus que les autres huiles végétales, celle de coton conserve une odeur et un goût désagréables dus à diverses substances étrangères, notamment à des aldéhydes et à des cétones. Il est par conséquent indispensable de la désodoriser.

La désodorisation de l'huile de coton n'a rien de particulier. On se sert des équipements habituels, discontinus, semi-continus ou continus.

L'huile de coton se désodorise assez facilement. Les substances à éliminer étant volatiles, il suffit de chauffer à une température élevée et d'injecter de la vapeur d'eau qui les entraîne. Elle sont ensuite condensées et évacuées.

En Europe, les paramètres caractéristiques sont une température de 180°C, un vide de 5 à 6 mm de mercure, une durée de 4 à 5 heures. Aux Etats-Unis, où l'on fait appel à des températures plus hautes (230 à 240° C), la durée peut être réduite à une heure et demie ou deux heures. Il en résulte une couleur plus claire et une destruction plus ou moins complète des acides cyclopropéniques (acide malvalique et acide sterculique), ce qui est un des buts recherchés. Toutefois, il faut alors des installations en acier inoxydable, plus onéreuses.

La capacité d'un désodoriseur varie de 10 à 30 tonnes en 24 heures.

G. Considérations générales sur la stratégie d'investissement dans le traitement de la graine de coton

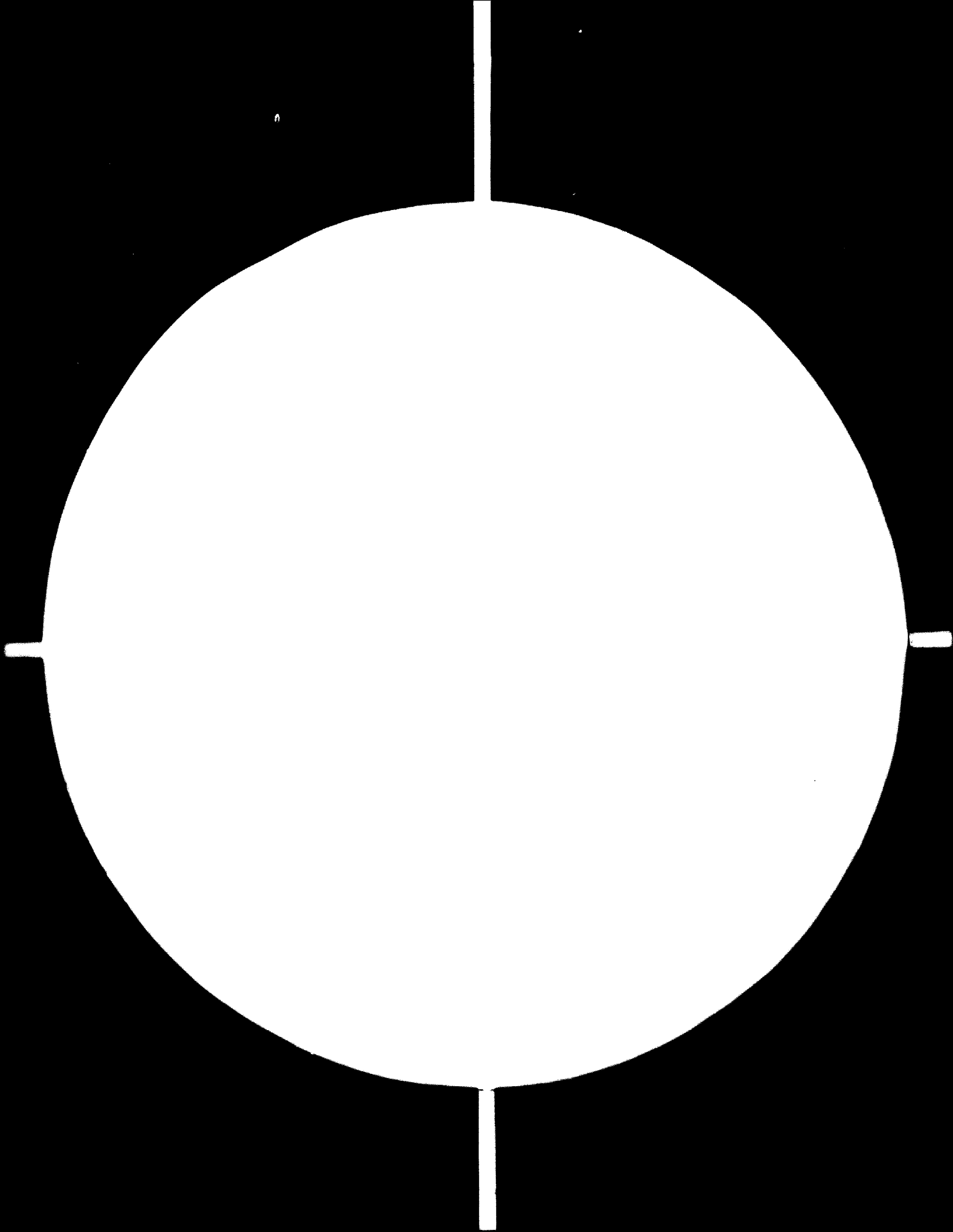
Le traitement proprement dit de la graine de coton débute après l'égrenage et et on a vu qu'il comportait les étapes suivantes :

Nettoyage	}	Préparation de la graine
Délintage		
Décorticage et séparation des coques		

G - 7



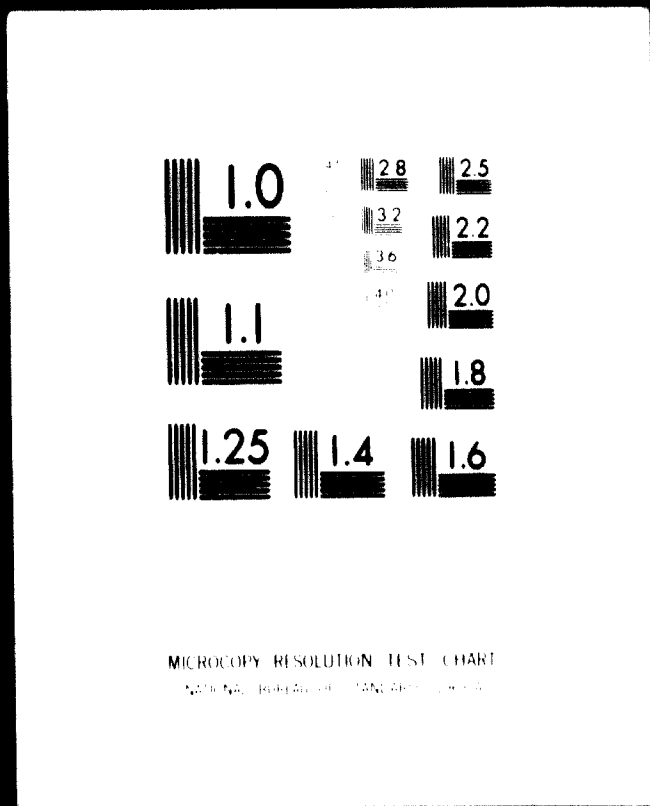
79.11.12



2 OF 2

08210

F



24x
C

On trouvera dans le tableau 17 les indices d'iode et les températures de solidification des principaux corps gras végétaux, classés dans l'ordre d'insaturation décroissante.

Tableau 17. Caractéristiques physiques de quelques huiles comestibles

Huile naturelle de	Indice d'iode	Température de solidification (en °C)
Tournesol	115-135	-18,5 à -16
Soja	121-142	-18 à -8
Mais	111-123	-15 à 0
Coton	99-119	+2 à +4
Colza	94-105	0
Sésame	100-108	-6 à -3
Arachide	84-105	-2 à +3
Olive	78-95	-9 à 0
Huile de palme	44-56	+24 à +30
Huile de palmiste	16-23	19 à +30
Huile de coprah	7-9,6	+14 à +25

Source : FAO, Etude sur les politiques en matière de produits, No 22, Rome, 1967.

L'huile de coton appartient au premier groupe, dont les positions extrêmes sont occupées par l'huile de tournesol et par l'huile de colza^{32/}. Les huiles de cette famille ont une teneur élevée en acide linoléique - à l'exception de l'huile de colza - (C₁₈ : 2, c'est-à-dire acide gras à 18 atomes de carbone et à deux doubles liaisons). Ceci entraîne plusieurs conséquences :

- Elles rancissent davantage que les autres pendant le stockage;
 - Elles sont moins résistantes à l'altération sous l'effet de la chaleur.
- Elles se prêtent donc mal à la friture;

^{32/} L'huile de pépins de raisin en fait également partie.

- En revanche, leur teneur élevée en acide linoléique est regardée avec faveur par les nutritionnistes, car de nombreux auteurs estiment souhaitable d'augmenter la proportion de cet acide gras di-insaturé dans l'alimentation de l'homme, afin de lutter contre l'hypercholestérolémie et ses conséquences;

- De plus, l'acide linoléique est un des acides gras indispensables, dont l'injection est particulièrement recommandée aux enfants.

Il faut aussi considérer l'acide linoléique, qui est indésirable, car il s'oxyde très facilement en donnant des dérivés qu'il vaut mieux écarter de l'alimentation. On remarquera que l'huile de coton n'en comporte pas, contrairement aux huiles de soja et de colza. C'est un avantage. Il est vrai que l'hydrogénation, qui a pour but principal de rendre concrètes les huiles fluides, permet en même temps d'éliminer plus ou complètement l'acide linoléique, comme on le voit en comparant la composition d'une huile de soja naturelle et d'une huile de soja hydrogénée.

<u>Acides gras principaux</u>	<u>Huile naturelle de soja</u>	<u>Huile hydrogénée de soja</u>
C ₁₈ : 0	10,2	9,7
C ₁₈ : 0	4,6	4,1
C ₁₈ : 1	25,6	51,1
C ₁₈ : 2	51,8	35,1
C ₁₈ : 3	7,8	0,0
	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>

Par conséquent, on peut dire que l'hydrogénation s'impose moins pour l'huile de coton que pour l'huile de soja, parce que dans le premier cas elle n'a plus d'intérêt nutritionnel, mais seulement technique (modification de la consistance).

L'huile de colza occupe une place particulière. Elle contient assez peu d'acide linoléique, mais beaucoup d'acide érucique, qui a été accusé de provoquer des cardiopathies chez l'homme et chez l'animal. Ceci a entraîné une baisse de sa consommation dans certains pays. Les généticiens ont sélectionné des variétés de graine de colza dans lesquelles l'acide érucique n'existe plus, étant remplacé par de l'acide oléique.

Parmi les huiles du premier groupe figure également celle de pépins de raisin, dont les quantités fabriquées sont très faibles. Elle a le pourcentage le plus fort d'acide linoléique.

Il faut observer que la température de solidification de l'huile de coton est la plus haute de toutes celles des huiles fluides. Vers 5 à 7°C apparaît déjà un trouble. C'est un désavantage en hiver et pour la conservation dans le réfrigérateur; on y remédie par la winterization (voir chap. IV, sect. E).

Les huiles du deuxième groupe (sésame, arachide, olive) auxquelles d'ailleurs on aurait pu rattacher l'huile de colza, sont composées principalement de l'acide gras monoinsaturé qu'est l'acide oléique. Leur stabilité est meilleure que celle des huiles de premier groupe. Elles conviennent à la friture.

Les autres corps gras végétaux mentionnés dans le tableau 17 sont des huiles concrètes, c'est-à-dire solides à la température ordinaire. L'huile de palme contient encore beaucoup d'acide oléique, tandis que l'huile de palmiste et surtout l'huile de coprah comprennent essentiellement des acides gras saturés à chaîne courte. Elles entrent dans la fabrication des margarines et des shortenings. Elles conviennent à toutes les cuissons et fritures.

C. Interchangeabilité avec les autres huiles

Les critères de choix des corps gras dépendent évidemment de l'usage auquel ils sont destinés.

Les caractéristiques à prendre en considération sont, entre autres :

- Les pourcentages des acides gras saturés, monoinsaturés, polyinsaturés
- La nature exacte des acides gras
- La température de solidification
- La viscosité à différentes températures
- Le goût, l'odeur, la couleur.

Il faut rappeler que l'huile de coton, appartenant au groupe des huiles riches en acides gras polyinsaturés, est moins stable que les huiles du deuxième groupe (sésame, arachide, olive) et que les huiles concrètes. Toutefois, elle l'est davantage que l'huile de soja, à cause de l'absence d'acide linoléique très instable et de la présence de tocophérols, qui sont des inhibiteurs naturels d'oxydation. Il faut noter que le gossypol aurait la même propriété, mais il est presque totalement retiré de l'huile pendant le raffinage.

D'une manière générale, l'hydrogénation a permis d'augmenter beaucoup l'interchangeabilité des matières grasses en permettant d'une part à des huiles comportant normalement un taux élevé d'acides gras polyinsaturés d'améliorer leur conservation sans rancissement et leur résistance à la chaleur, d'autre part d'acquérir la consistance solide ou semi-liquide convenant à la fabrication des margarines.

Huiles à salade

On appelle huiles à salades toutes les huiles qui sont utilisées telles quelles, ou à l'état d'émulsion, pour assaisonner des aliments consommés froids. Elles doivent être fluides, ce qui écarte les huiles concrètes, sauf dans les pays chauds - l'huile de palme fournit par fractionnement une huile fluide à salade.

L'interchangeabilité des différentes huiles est théoriquement très grande, mais elle est limitée par les habitudes culinaires des différentes régions. En effet, le goût est un facteur décisif, et si l'on arrive maintenant très bien à désodoriser des huiles, il est exclu de leur communiquer artificiellement une saveur qu'elles n'ont pas.

En pratique, on peut considérer trois cas :

Dans les pays à faible pouvoir d'achat, le public continue à préférer, par tradition et par nécessité, l'huile produite à partir de matière première locale. S'il n'y en a pas, l'importation porte en général sur les huiles les plus économiques.

Dans les pays développés, on s'oriente de plus en plus vers des mélanges de plusieurs huiles fluides, de goût assez neutre, sauf pour certaines populations qui restent fidèles à des huiles plus typées (huile d'olive, par exemple).

En ce qui concerne l'emploi dans les sauces froides (mayonnaise, etc.), le goût de l'huile a peu d'importance, car il est couvert par celui des autres ingrédients. On demande surtout à l'huile de se laisser facilement émulsionner.

L'huile de coton se prête bien aux trois types de consommation suivants :

- Consommation traditionnelle (elle n'existe pas toujours, mais peut être suscitée ou accrue) dans les pays producteurs de coton et à faible pouvoir d'achat;

- Incorporation aux mélanges d'huiles pour salade, dans les pays développés. Ici, l'intérêt de l'huile de coton est d'équilibrer la composition des acides gras grâce à sa forte teneur en acide linoléique, qui de surcroît est un argument diététique (peu mis à contribution en dehors des Etats-Unis). A cet égard, elle entre en concurrence avec l'huile de tournesol, l'huile de maïs, l'huile de pépins de raisin (pour mémoire), et aussi l'huile de soja non hydrogénée, dont le taux d'acide linoléique est un handicap;

- Utilisation dans les sauces froides. Ce débouché est beaucoup plus étroit. L'huile de coton produit des émulsions correctes.

Huiles à frire et à cuire

L'interchangeabilité est plus réduite, parce qu'il faut avoir une huile qui ne s'altère pas à la chaleur (la friture élève la température entre 180 et 220°C).

L'huile de coton, à l'état pur, de même que les autres huiles du premier groupe, ne convient qu'aux cuissons à basse température. Cependant, elle se dégrade moins que l'huile de soja ou l'huile de colza, en raison de son moindre pourcentage d'acide linoléique.

Après hydrogénation, les huiles du premier groupe deviennent interchangeables avec les huiles du deuxième groupe et avec les huiles concrètes, tant pour les cuissons classiques que pour les fritures.

On vend de plus en plus, pour ces usages, des mélanges d'huile, dont la teneur en acide linoléique est volontairement limitée (2 p.100).

L'huile pure d'arachide, ou de coprah, ou de palme, se prête très bien aux cuissons et aux fritures, et l'huile d'olive est également appréciée dans les pays méditerranéens, en dépit ou à cause de l'arôme prononcé qu'elle communique aux mets.

Matières grasses à tartiner (margarine)

La margarine doit avoir un bon goût et présenter des qualités de consistance (plasticité, tartinabilité, température de fusion) comparables à celles du beurre.

Compte tenu de l'hydrogénation, l'interchangeabilité des corps gras est à peu près totale.

La tendance est actuellement d'augmenter la proportion d'acide linoléique, afin de tenir compte des critiques des nutritionnistes. Il existe même un marché, encore petit mais croissant, de margarine diététiques qui en contiennent un fort pourcentage.

Ceci pourrait jouer en faveur de l'huile de coton non hydrogénée, mais il semble que l'huile de maïs et l'huile de tournesol soient davantage employées dans ce but.

Matières grasses utilisées dans la fabrication de biscotterie-biscuiterie-pâtisserie et d'autres produits à base de farine

Dans ces industries, le corps gras finement dispersé en milieu aéré et aqueux étant chauffé lors de la cuisson, sa résistance à l'oxydation et à l'hydrolyse est un critère de choix très important. Ce n'est toutefois pas le seul, car ses propriétés rhéologiques (plasticité, pouvoir crémant, etc.) ont une extrême importance.

Compte tenu de l'hydrogénation et d'autres processus industriels de transformation (interestérification, techniques diverses de fractionnement), l'interchangeabilité des matières grasses est en principe totale. En pratique, on se sert beaucoup d'huiles concrètes et de graisses animales.

L'emploi, à l'état pur, c'est-à-dire sans hydrogénation, de l'huile de coton et des autres huiles fluides est exclu.

Alimentation animale

Dans les "lacto-remplaceurs" (aliments d'allaitement des jeunes mammifères) les matières grasses employées sont surtout le suif, l'huile de coprah, l'huile de palme, le saindoux.

Afin d'améliorer la ration des animaux adultes, on incorpore des corps gras aux produits secs (aliments composés fabriqués par un industriel ou par l'agriculteur lui-même). L'estomac des animaux n'ayant pas les mêmes exigences que celui des humains, les corps gras employés sont en général de qualité alimentaire inférieure. Le critère essentiel de choix est le prix, de sorte que l'interchangeabilité est limitée à des matières grasses telles que les graisses animales et certaines huiles concrètes.

Utilisation non alimentaire des matières grasses

Dans beaucoup d'applications industrielles, l'interchangeabilité est restreinte et en tout cas n'englobe pas l'huile de coton :

- Pour les peintures et revêtements, on se sert d'huiles siccatives, riches en acides gras polysaturés du type linoléinique (huile de lin, d'aleurite, un peu d'huile de soja, etc.);

- Pour les fabrications de textile artificiel ou de plastique, on se sert de l'huile de ricin;

- Pour l'étamage à chaud ou le laminage à froid on se sert d'huile de palme.

En revanche, on retrouve une interchangeabilité chez les savonniers, qui peuvent soit combiner des matières grasses avec une base pour fabriquer un savon en récupérant le glycérol soit combiner directement des acides gras avec une base - cependant, l'interchangeabilité est limitée par les quantités d'acides gras saturés et insaturés de diverses natures qu'ils doivent employer - et chez les fabricants d'acides gras; pour eux la matière grasse est choisie uniquement en fonction des quantités d'un ou de plusieurs acides qu'ils peuvent obtenir en la fractionnant. Ce choix est réduit lorsqu'il s'agit d'obtenir certains acides qui ne se trouvent que dans des corps gras déterminés et qu'on ne peut produire par hydrogénation d'acides gras insaturés ayant le même nombre d'atomes de carbone. Il est beaucoup plus large si l'on recherche un acide comme l'acide stéarique $C_{18} - 0$, qui peut être fabriqué par hydrogénation de l'acide oléique $C_{18} : 1$, de l'acide linoléinique $C_{18} : 2$, donc à partir de la plupart des huiles et graisses.

En conclusion, l'interchangeabilité des huiles dépend des utilisations, mais a été considérablement étendue par l'hydrogénation.

Pour l'huile de coton, l'interchangeabilité la plus directe a évidemment lieu avec les autres huiles du premier groupe (tournesol, soja, maïs, colza).

VI. LES TOURTEAUX DE COTON

A. Caractéristiques des tourteaux

Les Américains désignent par cottonseed cake le tourteau de coton, décortiqué ou non, obtenu après extraction de l'huile par des moyens mécaniques, c'est-à-dire par des presses hydrauliques ou par des presses à vis; et ils désignent par cottonseed meal celui dont l'huile a été extraite par des solvants. En français, ils sont désignés respectivement "tourteaux délipidés par presses" et "tourteaux délipidés par solvant").

La composition des tourteaux de coton est variable. Elle dépend :

- De la variété de graine de coton dont on part;
- Des soins apportés au délintage et au décorticage. Il arrive même que l'on ne pratique pas ces opérations (voir chap. IV, sect. A et B);
- Des conditions de cuisson, qui influent sur la teneur en gossypol libre ou lié aux protéines;
- Du procédé d'extraction de l'huile et de son mode d'utilisation (par exemple, vitesse de rotation de l'arbre des presses à vis, choix du solvant);
- De la proportion de certains sous-produits ajoutés aux tourteaux (une fraction des coques, quelques-unes des impuretés - appelées aussi "pieds", séparées lors du raffinage de l'huile brute).

On trouve donc des tourteaux ayant les teneurs suivantes en protéines (N x 6,25), huile, eau, fibre brute, cendres, qui sont les seuls composants habituellement mesurés (voir tableau 18) :

Tableau 18. Composition de différents types de tourteaux de coton
(en pourcentage)

	Protéines	Huile	Eau	Fibre brute	Cendres
Tourteaux non décortiqués, délipidés par presses	20 à 30	5 à 8	4 à 15	23 à 28	9 à 10
Tourteaux décortiqués, délipidés par presses	37 à 43	3 à 7	7 à 9	10 à 15	7 à 9
Tourteaux délipidés par solvant	40 à 45	0,5 à 2	9 à 11	10 à 18	2 à 2,5

Il existe des tourteaux dont la composition sort du cadre ci-dessus, mais c'est une minorité (il s'agit notamment des tourteaux gras de presses à vis, qui peuvent comporter jusqu'à 15 p.100 d'huile).

D'autre part, les tourteaux de coton comprennent des proportions variables d'éléments indésirables : gossypol libre ou lié, aflatoxines, pesticides, solvants, débris d'insectes (voir chap. I, sect. G et chap. III, sect. A).

Les normes de la National Cottonseed Products Association (Etats-Unis) exigent un taux minimal de protéines égal à 36 p.100^{33/}. La première qualité doit avoir une bonne odeur, une bonne couleur, et ne pas comporter de moisissures. Les tourteaux peuvent être livrés tels quels, ou être broyés en grains de taille diverses, allant de la grosseur d'une noix à celle d'une farine. Une catégorie spéciale dite low-gossypol est caractérisée par une teneur maximale en gossypol libre de 0,04 p.100.

B. Composition en acides aminés et utilisation en alimentation animale

Comme il a été déjà indiqué dans le chapitre III, le taux de lysine disponible, en pourcentage des protéines, est :

- De 2,5 à 3 dans les tourteaux délipidés par presses à vis
- De 3,1 à 3,6 dans les tourteaux délipidés par solvant après pré-pressage;
- De 3,4 environ dans les tourteaux délipidés directement par de l'hexane;
- De 3,7 à 4,4 dans les tourteaux délipidés par le mélange azéotrope acétone-hexane-eau.

La lysine étant le premier facteur limitant des protéines de graine de coton (les autres acides aminés déficients sont l'isoleucine, la méthionine et la thréonine), le mode d'extraction de l'huile influence donc beaucoup leur qualité nutritionnelle.

Le tableau 19 permet de comparer les compositions en acides aminés du tourteau de coton et de six autres tourteaux.

Si l'on regarde leur teneur en lysine, on voit que les protéines de soja et de colza ont une valeur nutritionnelle supérieure à celle des protéines de coton, comme on l'a déjà constaté, et que les protéines d'arachide, de tournesol, de sésame, de lin, ont une valeur comparable ou inférieure à celle des protéines de coton, selon que ces dernières ont été délipidées par solvant ou par presses.

^{33/} Sauf pour les tourteaux non décortiqués, où ce taux est abaissé à 22 p.100

Tableau 19. Composition moyenne des protéines de divers tourteaux
(en pourcentage)

Acides aminés indispensables et semi-indispensables	Tourteau de coton	Tourteau de soja	Tourteau de colza	Tourteau d'arachide	Tourteau de tournesol	Tourteau de sésame	Tourteau de lin
Arginine	11,2	7,0	5,7	11,0	8,7	10,0	8,5
Cystine	2,0	1,2	1,2	1,4	2,1		1,7
Histidine	2,7	2,8	2,6	2,4	2,4	2,4	2,2
Isoleucine	3,9	4,7	3,9	3,6	4,6	3,6	4,5
Leucine	6,1	7,9	7,0	6,5	6,1	6,1	5,9
Lysine	2,5 à 4,4	6,3	5,9	3,5	3,5	2,7	3,7
Méthionine	1,5	1,3	1,8	1,1	1,8	2,1	1,7
Phénylalanine	5,2	5,3	3,9	5,5	4,7	4,5	4,5
Thréonine	3,4	3,9	4,4	3,0	3,6	3,5	3,8
Tryptophane	1,4	1,3	1,3	0,9	1,5	1,2	1,6
Tyrosine	3,2	3,8	2,3	4,5	2,3	4,7	2,2
Valine	4,9	5,0	5,0	4,3	5,6	4,8	5,8
Teneur moyenne en protéines du tourteau	40 à 45	44 à 50	35	44 à 50	37 à 40	45	34 à 38

I I I I

Transformation par laminage des amandes en flocons	}	Séparation de l'huile et des tourteaux
Cuisson des flocons		
Extraction de l'huile		
Raffinage de l'huile		
Dégommage	}	Raffinage de l'huile
Neutralisation		
Décoloration		
Désodorisation		

Pour chacune de ces phases, il a été indiqué entre quelles limites variait la capacité, chiffrée en tonnage équivalent de graines traitées en 24 heures, des différents types d'appareils utilisables.

En amont, se place l'égrenage du coton graine, qui peut être assuré indépendamment, puisque son rôle essentiel est de fournir des fibres à usage textile.

Ce qu'on appelle une huilerie est susceptible de prendre en charge une fraction plus ou moins large des étapes de la fabrication et d'autre part elle peut fixer pour chaque phase de traitement la capacité qu'elle désire, en choisissant la capacité individuelle et le nombre des appareils.

De nombreuses combinaisons sont donc possibles.

Une solution est l'intégration complète, partant du nettoyage des graines, ou éventuellement de l'égrenage, et englobant toutes les opérations suivantes, raffinage inclus.

Une autre solution consiste à mettre en chaîne plusieurs usines, dont chacune assure une partie du processus.

Seule une étude détaillée permet, dans chaque cas particulier, de déterminer quel est l'optimum économique, en fonction des tonnages de graines^{24/} à traiter, de leur dispersion géographique, des coûts de transport de la matière sous ses différents états de transformation, des disponibilités locales en main-d'oeuvre et en énergie, de la valorisation des sous-produits (duvets et coques), etc.

^{24/} Il est question ici de graines, et non de graines de coton seules, parce que certains équipements (ceux d'extraction et de raffinage, par exemple) sont polyvalents, en ce sens qu'ils peuvent traiter plusieurs sortes de graines.

Il arrive qu'il soit plus rentable d'égrener et de préparer le graine (nettoyage, délitage, décortilage et séparation des coques) dans des unités situées près des lieux de récolte et de taille modeste (par exemple 15 t/24 heures).

Il arrive également, dans certains pays, que le délitage ou le décortilage ne soient pas rentables, comme on l'a déjà signalé.

Le laminage en flocons et la cuisson sont toujours liés à l'extraction. Cette dernière, quand elle est effectuée par des presses hydrauliques ou par des presses à vis, peut s'accompagner de capacités modestes (15 à 50 t/24 h). Lorsqu'on extrait l'huile par des solvants, avec ou sans pré-pressage, les investissements ne sont ordinairement justifiés que pour de grosses capacités (200 t/24 h).

Les ateliers de raffinage ne sont pas toujours installés dans les huileries. Néanmoins le commerce international ne porte que sur des huiles neutralisées. On peut choisir entre des unités locales de raffinage, de capacité maximale de 30 t/24 h, fonctionnant en discontinu et des unités plus importantes travaillant en continu.

Il est parfois souhaitable de prévoir, à l'extraction et au raffinage, le traitement d'autres graines. Ces usines polyvalentes sont approvisionnées plus régulièrement et sur une période de l'année plus longue, du moins quand les périodes de récolte sont différentes; les matériels peuvent donc tourner un plus grand nombre d'heures par an, les capacités de stockage et de fabrication sont mieux proportionnées aux tonnages traités; enfin, le tonnage total étant augmenté, on bénéficie de l'économie d'échelle, tant pour les investissements que pour les dépenses de main-d'oeuvre à la tonne^{25/}. On peut ainsi avoir des ateliers polyvalents de 700 à 2 000 t/24 h pour l'extraction et de 300 t/24 h pour le raffinage.

^{25/} Dans les pays où la main-d'oeuvre coûte cher, le prix de revient décroît beaucoup quand la capacité est fortement augmentée, car le personnel est à peu près le même pour des unités d'extraction de 200 et de 1 000 t/24 h.

V. L'HUILE DE GRAINE DE COTON

A. Normes de qualité

Huile brute

Le prix auquel est payée l'huile brute dépend de la quantité d'huile raffinée qu'elle permettra d'obtenir et de la qualité de celle-ci, principalement de sa couleur.

On mesure ces facteurs en laboratoire, grâce à une méthode standard.

Afin de faciliter les transactions commerciales et d'éviter les litiges, des grades ont été créés, chacun d'eux désignant une qualité d'huile brute dont les pertes pendant le raffinage et l'indice de couleur ne doivent pas dépasser certains plafonds.

Aux Etats-Unis, les normes sont celles de la National Cottonseed Products Association (NPCA), qui distinguent cinq catégories principales d'huile brute de coton :

- Prime crude oil, lorsque les pertes au raffinage n'excèdent pas 9 p.100 que l'indice de couleur AOCs ne dépasse pas 7,6 Red, la teneur en acides gras libres 3,25 p.100 et que l'odeur et la saveur, après raffinage, sont agréables;
- Basis prime crude oil; lorsque les pertes au raffinage n'excèdent pas 20 p.100 et que l'indice de couleur ne dépasse pas 20 Red;
- Off crude oil, lorsque les pertes au raffinage n'excèdent pas 25 p.100 et que l'indice de couleur ne dépasse pas 20 Red;
- Reddish off crude oil, lorsque les pertes au raffinage n'excèdent pas 40 p.100 et que l'indice de couleur ne dépasse pas 30 Red;
- Low grade crude oil, lorsque l'huile ne correspond pas aux spécifications qui précèdent.

Huile raffinée

Classification commerciale usuelle

Aux Etats-Unis, la NPCA répartit l'huile raffinée de coton en dix classes, selon leur taux de matières étrangères, leur couleur, leur saveur et leur odeur, les proportions d'acides gras, d'eau et de matières volatiles.

- a) Huiles neutralisées;

- Choice summer yellow oil : doit être exempte de matières étrangères apparentes, être claire et brillante à la température de fusion de la stéarine, avoir une saveur et une odeur douces ainsi qu'une couleur maximale égale à 7,6 Red. Elle doit en outre contenir au maximum 0,125 p.100 d'acides gras libres et 0,10 p.100 d'humidité et de matières volatiles.

- Prime summer yellow oil : doit être exempte de matières étrangères apparentes, être claire à la température de fusion de la stéarine, avoir une saveur et une odeur douces ainsi qu'une couleur maximale égale à 7,6 Red. Elle doit en outre contenir au maximum 0,25 p.100 d'acides gras libres et 0,10 p.100 d'humidité et de matières volatiles.

- Prime winter yellow oil : doit être exempte de matières étrangères apparentes, avoir une saveur et une odeur douces et une couleur maximale égale à 7,6 Red; résister à l'essai à froid comme prescrit par le règlement. Elle doit contenir au maximum 0,25 p.100 d'acides gras libres et 0,10 p.100 d'humidité et de matières volatiles.

- Good off summer yellow oil : peut avoir une saveur et une odeur de qualité inférieure, doit être exempte de matières étrangères apparentes et avoir une couleur maximale égale à 7,6 Red. Elle doit en outre contenir au maximum 0,25 p.100 d'acides gras libres et 0,10 p.100 d'humidité et de matières volatiles.

- Summer yellow oil : doit être exempte de matières étrangères apparentes, avoir une saveur et une odeur douces et une couleur maximale égale à 12 Red. Elle doit en outre contenir au maximum 0,25 p.100 d'acides gras libres et 0,10 p.100 d'humidité et de matières volatiles.

- Off summer yellow oil : peut avoir une saveur et une odeur de qualité inférieure, doit être exempte de matières étrangères apparentes et avoir une couleur maximale égale à 12 Red. Elle doit en outre contenir au maximum 0,50 p.100 d'acides gras libres et 0,10 p.100 d'humidité et de matières volatiles.

- Reddish off summer yellow cottonseed oil : peut avoir une odeur et une saveur de qualité inférieure, doit être exempte de matières étrangères apparentes et avoir une couleur maximale égale à 20 Red. Elle doit en outre contenir au maximum 0,75 p.100 d'acides gras libres et 0,10 p.100 d'humidité et de matières volatiles.

b) Huile neutralisée destinées à la décoloration;

- Prime bleachable summer yellow oil : doit être exempte de matières étrangères apparentes, être claire à la température de fusion de la stéarine, avoir une saveur et une odeur douces et, après décoloration suivant les prescriptions du règlement, avoir une couleur maximale égale à 2,4 Red. Elle doit en outre contenir au maximum 0,25 p.100 d'acides gras libres et 0,10 d'humidité et de matières volatiles.

c) Huiles décolorées

- Prime summer white oil : doit être exempte de matières étrangères apparentes, être claire à la température de fusion de la stéarine, avoir une saveur et une odeur douces, autres qu'une saveur terreuse, ainsi qu'une couleur maximale égale à 2,5 Red. Elle doit en outre contenir au maximum 0,25 p.100 d'acides gras libres et 0,10 p.100 d'humidité et de matières volatiles.

- Prime winter white oil : doit être exempte de matières étrangères apparentes, être brillante, avoir une saveur et une odeur douces, autres qu'une saveur terreuse ainsi qu'une couleur maximale égale à 2,5 Red et résister à l'essai au froid comme prescrit par le règlement. Elle doit en outre contenir au maximum 0,25 p.100 d'acides gras libres et 0,10 p.100 d'humidité et de matières volatiles.

Normes internationales recommandées par la FAO (1969)

Après avoir rappelé les caractéristiques de l'huile de coton :

Densité relative à 20° C	0,918 - 0,926
Indice de réfraction à 40° C	1,458 - 1,466
Indice de saponification ^{26/} (mg K O H/g huile)	189 - 198
Indice d'iode ^{27/} (Wijs)	99 - 119
Matière insaponifiable ^{28/}	au maximum 15 g/kg
Réaction d'Halphen ^{29/}	positive

^{26/} Il mesure le poids moléculaire moyen des glycérides dans l'huile.

^{27/} Il mesure le degré d'insaturation, c'est-à-dire le contenu en doubles liaisons

^{28/} Les matières insaponifiables comprennent les stérols, les hydrocarbures, les tocophérols, les alcools aliphatiques, les alcools terpéniques, etc.

^{29/} La réaction d'Halphen, qui est propre à l'huile de coton et à quelques huiles rares (comme l'huile de kapok) provient des acides gras cyclopropéniques (acide malvalique et acide sterculique). Leur teneur dans l'huile de coton varie entre 0,04 et 2,0 p.100 (1 p.100 en moyenne). L'acide malvalique est plus abondant que l'acide sterculique. Ils ont des propriétés biologiques spéciales, et sont plus ou moins éliminés lors du raffinage.

Le document de la FAO donne ses critères de qualité :

Indice d'acide : au maximum 0,6 mg K O H/g huile

Indice de peroxydes : au maximum 10 milliéquivalents d' H_2O_2 /kg d'huile

Couleur : caractéristique du produit désigné

Odeur et saveur : caractéristiques du produit désigné et exemptes de saveur et d'odeur étrangères et de toute rancidité

Contaminants^{30/} (niveau maximal) :

	<u>En pourcentage</u>	<u>En mg/kg</u>
Matières volatiles à 105°C	0,2	
Impuretés insolubles	0,05	
Savon	0,005	
Fer		1,5
Cuivre		0,1
Plomb		0,1
Arsenic		0,1

enfin, les normes de la FAO stipulent la nature et les taux des additifs autorisés ainsi que les méthodes d'analyse et d'échantillonnage.

B. Composition en acides gras de l'huile de coton

La composition de l'huile de coton en acides gras varie peu selon les espèces de gossypium considérées.

Le tableau 15 montre quelle est la composition comparée en acides gras de l'huile de coton et de onze autres huiles comestibles (fluides ou concrètes) choisies parmi les plus courantes.

Les pourcentages que nous avons retenus pour l'huile de coton sont ceux mesurés par John L. Iverson (Food and Drug Administration, Washington, Etats-Unis) en 1969, grâce à la technique de chromatographie en phase gazeuse^{31/}. Le tableau 16 qui contient les résultats d'autres mesures, plus anciennes, prouve une certaine dispersion, due à la fois aux différences des huiles de coton et aux diverses méthodes d'analyse employées.

^{30/} Le gossypol est saponifié au raffinage et part dans le soapstock.

^{31/} Pour les autres huiles, nous nous sommes appuyés notamment sur des documents de l'Institut technique d'études et de recherches des corps gras (ITERG) ont servi de base.

Tableau 15. Composition moyenne en acides gras des huiles végétales fluides et concrètes, à l'état naturel^{a/}
(en pourcentage)

	Coton	Arachide	Colza	Maïs	Olive	Pépins de raisin	Soja	Tournesol	Coprah	Palme	Palmiste	Sésame
<u>Acides saturés</u>												
Caprylique C ₈		-	-	-	-	-	-	-	5-10	-	3	-
Caprique C ₁₀		-	-	-	-	-	-	-	5-10	-	3-6	-
Laurique C ₁₂		-	-	traces	traces	-	-	-	45-50	-	50-55	-
Myristique C ₁₄	0,7-0,9	-	-	1	traces	-	-	-	18-20	1,4	12-6	-
Palmitique C ₁₆	16,7-24,9	6-8	1-6	10-16	7,5-20	6,4-6,7	6,5-12	3-6	5-7	38-43	6-8	7-9
Stéarique C ₁₈	0,9-2,4	3-5	-	1,5-2,7	0,5-3,5	2,6-2,8	2,3-4,5	2-3	3-5	1-6	1-4	4-5
Arachidique C ₂₀	0,2-0,3	0,2	-	traces	traces	-	0,7-1	0,5-1	-	-	-	1
Bébéniq. C ₂₂		5-7	-	traces	traces	-	0-0,1	-	-	-	-	-
<u>Acides monoinsaturés</u>												
Myristoléique C ₁₄ ^{b/}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Palmitoléique C ₁₆	0,3-0,4	-	-	traces	0,3-3,5	-	-	-	-	-	-	-
Oléique C ₁₈	14,4-19,5	55-70	17-40	27-43	56-83	11,6-14,3	21-34	25-34	5	40-50	10-16	45-46
Erucique C ₂₂			45-55	-	traces	-	-	-	-	-	-	-
<u>Acide di-insaturé</u>												
Linoléique C ₁₈	51,8-59,0	14-28	14-30	42-60	3,5-20	73,8-79	49-59	57-66	-	8-11	0,5	35-41
<u>Acide tri-insaturé</u>												
Linoléique C ₁₈			1-4	0,1-1,9	-	-	2-8,5	-	1	-	0,1	-

a/ C'est-à-dire sans hydrogénation des huiles fluides.
b/ Egalement dénommé hexadécénoïque.

Tableau 16. Composition comparée de l'huile de coton à onze autres huiles comestibles

Composition en acides gras de l'huile de coton (en pourcentage)	D'après P.H. Mensier, 1957	D'après J.L. Iverson, 1969	D'après Achaya, Chakrabarty & Meara (Inde), cité par Murti et Achaya	D'après Mitchell 1943 (Etats-Unis) cité par Pilette et Bagot	Sources diverses recensées par Pilette et Bagot
<u>Acides saturés</u>					
C 14 : 0 (Myristique)	1,4	0,7 à 0,9	0,2 à 1,0		
C 16 : 0 (Palmitique)	23,4	16,7 à 24,9	23,1 à 28,1		
C 18 : 0 (Stéarique)	1,1	0,9 à 2,4	1,8 à 3,2		
C 20 : 0 (Arachidique)	1,3	0,2 à 0,3			
Total	27,2	environ 23,5	environ 28,7	27,0	25,4 à 29,5
<u>Acides monoinsaturés</u>					
C 16 : 1 (Palmitique)	2,0	0,3 à 0,4	0,6 à 2,5		
C 18 : 1 (Oléique)	22,9	14,4 à 19,5	15,6 à 23,7	19,0	22,2 à 27,3
Total	24,9	14,7 à 19,9	environ 21,2	19,0	22,2 à 27,3
<u>Acide di-insaturé</u>					
C 18 : 2 (Linoléique)	47,8	51,8 à 59,0	47,3 à 56,5	54,0	42,0 à 46,2

Cependant, il faut considérer d'autres facteurs.

Les tourteaux de colza contiennent des composés soufrés dont les dérivés d'hydrolyse exercent des actions antinutritionnelles et toxiques. Leur emploi est donc limité malgré l'existence de procédés de détoxification physico-chimiques ou fermentaires. La sélection récente de variétés dépourvues de ces substances indésirables doit résoudre le problème, mais il s'écoulera du temps avant leur généralisation en grande culture, comme dans le cas des graines de coton sans gossypol. En outre, le décorticage des graines de colza ne semble pas encore au point.

Les tourteaux d'arachide ne renferment pas de matières antinutritionnelles, mais leurs conditions de récolte et de stockage font qu'ils sont souvent contaminés (plus souvent et plus gravement que la graine de coton) par des moisissures qui secrètent des aflatoxines.

Les tourteaux de tournesol ne contiennent pas de substances antinutritionnelles.

On peut ajuster, dans une certaine mesure, la valeur nutritionnelle d'un tourteau en lui ajoutant des acides aminés achetés à l'industrie, et notamment de la lysine. Encore faut-il que ce soit justifié économiquement.

D'une manière générale, le tourteau de soja est de loin le plus utilisé et les lois du marché font que les cours des autres tourteaux s'établissent par rapport au sien.

Les fabricants d'aliments pour animaux cherchent en permanence à optimiser leur rentabilité et font entrer en concurrence non seulement les tourteaux désignés au tableau 24 mais aussi la supplémentation en lysine - et éventuellement en méthionine -, l'azote non protéique (urée) pour les ruminants, la farine de luzerne, les ensilages d'herbes, les pulpes de betterave, les farines de poissons, d'os, de sang, la poudre de lait, la poudre de lactosérum, etc., en tenant compte des besoins propres aux ruminants et aux non-ruminants, adultes ou jeunes.

Quant au tourteau de coton, il ne fut pas, pendant longtemps, utilisé comme aliment, mais simplement remis en terre comme engrais. Cette pratique existe encore^{34/}, mais l'emploi en alimentation animale se développe de plus en plus, surtout dans les pays producteurs.

^{34/} Une autre pratique consistait, après enlèvement des fibres de coton (égrenage), à donner les graines telles quelles aux ruminants, sans prendre la peine d'extraire l'huile.

Ajouté à des céréales, à des fourrages verts, etc., il entre couramment dans la préparation des rations équilibrées destinées aux ruminants, lesquels ne paraissent guère sensibles à la présence de gossypol libre et peuvent de surcroît assimiler une fraction cellulosique provenant des coques.

En revanche, les monogastriques (porcs et volailles) supportent moins bien le gossypol libre et la cellulose ne leur apporte aucun élément nutritif. Comme il a été précédemment indiqué (voir chap. I, sect. G), l'action combinée du gossypol et des acides cyclopropéniques modifie désagréablement la couleur des oeufs de poule. Il faut, par conséquent, pour les monogastriques, veiller à réduire le plus possible le taux de gossypol libre - sans pour autant abaisser trop la qualité des protéines - et laisser peu de débris de coques. Les variétés sans gossypol élargiront le débouché. Le contrôle de la contamination par des aflatoxines est également un point important pour les non-ruminants.

Les tourteaux de coton peuvent être stockés et transportés en vrac ou emballés. Il convient qu'ils ne soient pas rehumidifiés au-delà de leur teneur normale en eau, ni recontaminés par des moisissures, des micro-organismes, des insectes, etc.

C. La pelletisation

La pelletisation est un procédé dans lequel un tourteau finement divisé, généralement poussiéreux, quelquefois de faible densité, et presque toujours difficile à manutentionner, est compacté et extrudé en particules plus grosses, par l'action combinée de la chaleur, de l'humidification et de la pression.

Les appareils modernes comprennent :

- Un convoyeur à vis qui achemine le tourteau en haut de l'appareil;
- Un mélangeur à palette, dont l'arbre tourne à une vitesse comprise entre 150 et 500 tours par minute. Il reçoit de la vapeur d'eau à haute pression qui chauffe et humidifie le tourteau. Quand celui-ci est extrêmement sec, on ajoute de l'eau.
- Une chambre de pelletisation, avec à l'intérieur deux ou trois rouleaux. Le cylindre perforé et les rouleaux tournent dans le même sens, à des vitesses comprises entre 160 et 400 tours par minute. La pâte, comprimée entre les rouleaux et le cylindre, sort au travers des filières et est coupée par deux ou trois couteaux fixes.

Lorsque les pellets ont été formés, il est nécessaire de les rafraîchir et de les sécher, parce que pendant l'opération leur teneur en eau peut atteindre 15 à 16 p.100 et leur température 80 à 90°C, en soufflant l'air ambiant à travers une couche uniforme de pellets. Ils ne conservent plus alors que 10 à 12,5 p.100 d'eau et sont ramenés à quelques degrés de la température ambiante. Les appareils utilisés pour sécher et refroidir appartiennent à deux types, selon qu'ils sont horizontaux ou verticaux.

L'installation peut être complétée en amont par un dispositif de nettoyage des tourteaux et en aval par un tamis.

Dans quelques rares cas on broie les pellets en parcelles plus petites, sur des cylindres cannelés.

Actuellement, presque tous les pellets proviennent de tourteaux délipidés par solvant, auxquels ont été incorporés les "pieds" de raffinage : ceux-ci jouant un rôle de lubrifiant facilitent la pellétisation et augmentent la cohésion des pellets.

La capacité des appareils est d'une tonne par heure pour chaque tranche de 10 CV, et les puissances vont de 30 à 300 CV.

Les pellets ont des volumes variant de 4,1 à 14,3 cm³.

VII. SOUS-PRODUITS ET RESIDUS

Afin de fixer dès le départ l'importance relative des deux principaux sous-produits que sont les linters et les coques, par rapport à l'huile et au tourteau (eux-mêmes sous-produits de la fibre de coton), le tableau 20 indique quelle a été en 1970, aux Etats-Unis, la décomposition en poids et en valeur des matériaux obtenus à partir d'une tonne de graines de coton.

Tableau 20. Importance relative des différents produits et sous-produits de la graine de coton

Sous-produits	Poids en livres	Prix moyen en cents par livre	Valeur en dollars	Pourcentage de la valeur totale
Huile	325	14,70	47,78	50,5
Tourteau (à 41 % de protéines)	927	3,68	34,11	36,0
Linters	194	3,83	7,43	7,8
Coques	468	1,15	5,38	5,7
	<u>1 914</u>	<u>4,95</u>	<u>94,70</u>	<u>100,0</u>

Source : US Fats and Oils Statistics

Ces données montrent que les linters et les coques représentent respectivement environ 8 et 6 p.100 de la valorisation de la graine de coton après égrenage, du moins aux Etats-Unis.

A. Le duvet ou linters

Les différences de qualité

On a vu précédemment (chap. IV, sect. A) que le délintage des graines de coton à la scie était le procédé le plus fréquemment employé et pouvait se faire, soit en une seule opération ce qui aboutit à des linters dits mill-run, soit en deux opérations successives, qui donnent des linters first cut et second cut, soit même en trois ou quatre passages.

Il faut rappeler que le poids de linters extraits dépend à la fois de la qualité présente autour de la graine (ce pourcentage va de 0 à 12, selon les variétés), du type de délintage choisi, et de la façon dont on conduit ce délintage ainsi que le nettoyage qui lui fait suite.

Aux États-Unis, le classement des linters est fondé sur quatre critères :

- La distribution de la longueur des petites fibres composant les linters. Les duvets first cut mesurent habituellement 2 à 6 mm, les duvets second cut, 1 à 3 mm. Si l'on ne fait qu'une seule opération, les linters comprennent des fibres de longueurs très variables, ce qui est un inconvénient pour certains usages, car plus la dispersion de la longueur des fibres est grande, moins en général la valeur marchande est élevée;
- Le taux des matières étrangères, qui sont surtout des débris végétaux, de la poussière et des fragments de coques hull pepper;
- La couleur (vert olive, blanc crémeux, rosâtre, etc.);
- Le caractère, qui combine trois éléments : la dispersion de la longueur des fibres, leur texture soyeuse ou rude, la présence de rugosités et de noeuds. Il est influencé par la nature du sol, le climat et la variété des graines. On le désigne par une des trois appellations suivantes : western, valley, south-eastern.

A partir de ces critères et des besoins des utilisateurs, les Américains distinguent sept classes de linters, qui sont rangées dans l'ordre décroissant de la longueur des fibres :

Les classes 1 et 2 sont généralement des first cut

La classe 3 est du first cut ou du mill run

La classe 4 est du mill run

La classe 5 est du mill run ou du second cut

Les classes 6 et 7 sont des second cut

Les classes 1 à 4 sont utilisées pour des applications textiles, les classes 5 et 7 pour des applications chimiques comme on le verra plus loin.

Ces dernières se préoccupent surtout de la pureté chimique des linters, car elles demandent une cellulose aussi pure que possible : il leur faut une matière très propre, contenant le minimum d'oxycelluloses^{35/}, de cires et d'huiles d'huiles^{36/}, de cendres^{37/} et spécialement de fer^{38/}. Les second cut conviennent donc mieux que les first-cut, parce qu'elles sont moins chargées d'impuretés.

^{35/} Elles sont solubles dans les alcalis. Les linters en comportent 10 à 30 p.100

^{36/} Elles sont solubles dans l'éther et dans le benzène. Leur taux ne doit pas dépasser 2 p.100.

^{37/} Le taux usuel est de 2,5 à 3,5 p.100. Il vaut mieux qu'il n'excède pas 3 p.100

^{38/} Il faut rester en dessous de 500 ppm.

La longueur des fibres n'est néanmoins pas entièrement indifférente, parce que les fibres vraiment très courtes risquent d'être perdues pendant les traitements de lavage.

Les emplois des linters

Applications textiles

Les applications textiles sont les plus répandues aux Etats-Unis.

On peut utiliser les linters tels quels pour la fabrication d'ouate hydrophile, de rembourrage pour matelas, pour meubles (fauteils, canapés, tête de lit), pour harnais, etc. On se sert à cet usage des classes 2, 3 et 4.

Les industries textiles proprement dites s'intéressent plus particulièrement aux classes 1 et 3 et fabriquent des feutres, ou des filés qui servent à la confection de ficelles, mèches, torchons, couvertures, pansements, etc.

On peut également se servir des classes 1 et 2, le cas échéant de la classe 3, en papeterie. Un traitement des linters par l'oxyde d'éthylène (hydroxyéthylation) améliore ses propriétés.

Applications chimiques

Comme on l'a dit, on emploie des fibres courtes.

Ces applications ont été développées dans certains pays, par exemple en Inde.

La supériorité des linters par rapport aux matières premières concurrentes et notamment à la pulpe de bois réside dans leur plus haute teneur en cellulose, et dans l'absence de pentosanes et de lignine.

Sans entrer dans le détail des réactions chimiques et sans donner, pour chaque usage, les matières concurrentes, on se contentera de citer les principaux débouchés :

- La production d'acétate de cellulose, laquelle sert à fabriquer la rayonne (viscose), entre dans la préparation des films photographiques et est aussi employée dans des moulages par injection;

- La production de nitrocellulose, explosif bien connu. Pour cette raison, les cours des linters tendent à augmenter en temps de guerre. On le constatera en 1950 aux Etats-Unis (guerre de Corée). Cependant, le nitrate de cellulose a beaucoup d'autres usages : laque pour automobiles, cuir artificiel, revêtements de papiers, films, etc.;

- La production de carboxyméthyl-cellulose et d'autres dérivés semblables, qui sont des agents épaississants utilisés en papeterie, dans l'industrie textile, en alimentation, dans les détergents, etc.

Pour toutes ces applications chimiques, les linters sont concurrencés par d'autres produits de plus faible valeur (pâte à papier, matières synthétiques, etc.).

Considérations économiques

Comme on l'a déjà signalé dans le chapitre IV (sect. A), il n'est pas toujours opportun de délinter à la scie, lorsqu'il n'existe pas un débouché satisfaisant pour le linter. Le délitage à la scie exige des investissements assez lourds, consomme de l'énergie, produit de la poussière et du bruit.

D'autres procédés de délitage (brûlage, délitage par abrasion, délitage à l'acide) sont envisageables; ils détruisent les linters ou abaissent leur qualité, mais peuvent être plus économiques.

Lorsque les graines livrées à l'usine sont très sales, les linters seront de qualité médiocre.

Cependant, il faut tenir compte de l'incidence du délitage sur les autres phases du traitement de la graine; le décortilage de graines gardant plus de 4 p.100 de linters soulève des difficultés techniques et entraîne des pertes d'huile et d'amande; les amandes obtenues après un décortilage de graines non délintées contiennent moins de débris de coques.

Les calculs de S. Clark (voir chap. IV, sect. B) établissent que si le prix moyen de vente des linters excède 4 centes par livre il vaut mieux délinter avec décortilage, mais qu'en-dessous de 3 cents par livre on peut envisager de décortiquer sans délitage, ou de délinter à l'acide.

En pratique, il semble pourtant que le délitage à la scie soit de règle aux Etats-Unis, afin d'abaisser à moins de 4 p.100 la teneur en linters.

L'opération peut se faire en une fois (mill run), en deux fois (first cut et second cut), en trois ou en quatre fois, et le choix entre ces différentes options découle de la comparaison entre leurs coûts et les prix de vente des linters correspondants.

Ordinairement, les linters second cut se valorisent mieux que les autres et ceci incite les usines à délinter en deux fois, mais les fluctuations de cours, qui proviennent de facteurs extérieurs à la profession, sont si importantes que les calculs de rentabilité peuvent arriver à des conclusions totalement opposées d'une année à l'autre : selon les prix, il y aura intérêt à délinter en une fois ou en deux, et à régler ces opérations pour laisser plus ou moins de duvet sur les graines.

B. Les coques

La composition des coques a été indiquée dans le premier chapitre (sect. F).

Après broyage, on peut séparer les coques, à l'aide d'appareils du type "cyclone" ou par tamisage, en deux fractions :

- Les "fibres de coques" qui contiennent environ 70 p.100 d' α -cellulose. Elles ont une longueur moyenne de 3 mm;
- Le "son de coques" qui contient peu d' α -cellulose, mais beaucoup de pentosanes et de lignines.

Il serait même possible de mieux séparer les constituants, par des procédés, physico-chimiques :

- Les pentosanes et les lignines étant solubles à chaud (130 à 140°C) dans des solutions diluées d'alcalis, on pourrait séparer ainsi des α -celluloses presque pures, et s'en servir pour préparer de la rayonne;
- En traitant le "son de coques" par de l'eau qui élimine les gommes et les cendres, puis par de l'acide sulfurique, on brise les molécules de pentosanes et on obtient du xylone. On peut aussi transformer les pentosanes au furfurool, qui est utilisé dans les peintures et dans les plastiques;
- L'hydrolyse acide de la cellulose donne du glucose et laisse un résidu solide, qui est la lignine. Les applications de celle-ci sont d'ailleurs très étroites.

En fait, les coques sont un de ces nombreux sous-produits agricoles (bagasse de canne à sucre, épis de maïs, enveloppes du grain d'avoine et du grain de riz, coques de noix de coco, etc.) dont la valorisation n'est pas facile.

Emploi comme engrais

Les coques sont, grâce à leur faible densité et à leur composition, un bon fixateur de l'humus dans le sol.

Emploi comme combustible

Leur valeur calorifique correspond à 40 p.100 environ de celle du mazout. Il faut cependant prendre la précaution de ne les brûler que dans des fours construits avec des briques réfractaires à haute teneur en alumine, car autrement les cendres donneraient naissance à des produits de corrosion qui attaqueraient les briques.

Emploi comme fourrage pour les ruminants

C'est de loin l'utilisation la plus fréquente. Bien que leur valeur alimentaire soit faible (environ la moitié de celle d'un bon foin), qu'elles soient déficientes en vitamine A et en certains sels minéraux essentiels, elles peuvent être assez correctement assimilées par les ruminants lorsqu'elles sont mélangées aux rations.

Aussi, dans certains pays, adopte-t-on la voie la plus facile en laissant les coques avec les tourteaux, c'est-à-dire en ne décortiquant pas, mais alors le rendement en huile baisse (voir chap. IV, sect. B).

Il serait possible d'augmenter la valeur nutritionnelle des coques en attaquant les fibres par des acides et des alcalis, accroissant ainsi la digestibilité.

Emplois divers

Ce sont des emplois potentiels : fabrication de charbon actif - utilisation en papeterie - extractions séparées de la cellulose, de la lignine, du xylose et du furfurol.

C. Le soapstock

Le soapstock est le sous-produit de la neutralisation de l'huile de coton.

Il est toujours de couleur foncée et sa composition est très variable, car elle dépend de la qualité de l'huile brute envoyée au raffinage, du procédé de neutralisation employé et de l'existence ou de la non-existence d'un dégommeage préalable.

Il contient de l'eau, du savon de soude, de l'huile neutre, des acides gras, des pigments (et en particulier du gossypol, dont la teneur varie de 0,01 à 11 p.100), des phosphates, des résines, des carbo-hydrates, etc.

Son mode d'utilisation le plus simple consiste à le faire entrer comme matière première dans la fabrication des savons et des détergents. C'est une manière assez fréquente de s'en débarrasser, mais elle est peu souhaitable en raison des nombreuses impuretés du soapstock, qui nuisent à la qualité du produit fini.

Le contenu en acides gras (libres ou liés sous forme de savon de soude) du soapstock fait qu'il est plus intéressant de récupérer ceux-ci. On y parvient en traitant le soapstock par de l'acide sulfurique qui se combine à la soude du savon et libère les acides gras, dans un processus continu ou discontinu; puis on peut, si nécessaire, distiller ces acides gras afin d'éliminer les impuretés restantes et de séparer d'une part l'acide palmitique relativement pur d'autre part un mélange d'acide oléique et linoléique. Le résidu de la distillation, dénommé cotton pitch, est composé de corps gras polymérisés, d'acides gras, plus ou moins modifiés, de diverses matières insaponifiables et d'impuretés : c'est une substance noire, amorphe, qui en raison de son imperméabilité peut figurer dans des formules de vernis, de peintures, d'enduits (isolation des fils électriques, par exemple), de bitumes, etc.

Les acides gras extraits du soapstock trouvent leur principal débouchés en savonnerie. Ils servent aussi de matière première à l'industrie chimique, pour de nombreuses applications (composés pour caoutchouc naturel et synthétique, couleurs, vernis et enduits, plastiques, lubrifiants, traitement des métaux, cosmétologie et articles de toilette, insecticides, etc.).

D. Les terres décolorantes usagées

Les terres de décoloration usagées ont des teneurs en huile variables. La proportion dépend de la terre employée, de la présence ou de l'absence de charbon actif et enfin de la méthode d'essorage des filtres-presses (soufflage ou non à l'air ou à la vapeur). On a ainsi des teneurs de 20 à 60 p.100. L'huile se dégrade et s'oxyde très rapidement à l'air. Elle peut être récupérée par deux procédés : par traitement par une solution alcaline à l'ébullition en autoclave ou par récupération au solvant dans un filtre-presse adapté.

N'ayant pas été exposée à l'air, l'huile récupérée par le second procédé peut être recyclée, après la désolvantisation, dans la fabrication d'huile alimentaire. De telles installations sont néanmoins coûteuses et le danger d'explosion dû au solvant (surtout l'hexane) fait qu'elles doivent être installées à l'écart.

Les huiles récupérées par le premier procédé peuvent être utilisées en savonnerie, pour la fabrication d'acides gras distillés ou en alimentation du bétail.

E. Autres sous-produits

Les phosphatides (voir chap. IV, sect. F) contiennent de la lécithine et peuvent être récupérées, mais la couleur foncée de celle-ci l'empêche d'être compétitive par rapport à la lécithine de soja.

Les distillats de désodorisation représentent 0,1 à 0,3 p.100 de l'huile produite. Ils comprennent des acides gras libres, des acides gras oxydés, des aldéhydes et un pourcentage important d'insaponifiables, dont des stérols. Leur récupération a été moins étudiée que celle des distillats de la désodorisation de l'huile de soja.

F. Effets sur l'environnement

Les huileries de coton sont relativement peu polluantes.

Toutefois, lorsque les conditions locales imposent de ne rejeter que des eaux d'excellente qualité, une station d'épuration chimique, et le cas échéant biologique, sera indispensable parce que :

- Les eaux d'extraction contiennent des traces de solvants quand ceux-ci sont utilisés;

- Les eaux de dégomme et de lavage des huiles au raffinage contiennent, comme on l'a vu, diverses matières;

- Les eaux de désodorisation contiennent des distillats plus ou moins solubles ou émulsionnés.

Tous les effluents doivent être munis de décanteurs permettant la récupération des matières grasses.

En ce qui concerne la pollution de l'atmosphère, l'air qui entoure une huilerie est ordinairement peu chargé, sauf l'air sortant des cheminées des chaufferies : il comporte du soufre si le combustible est un produit pétrolier, des cendres si les coques sont brûlées.

Le matériel d'huilerie est bruyant (transporteurs, délinteurs, décortiqueurs, presses), mais on peut diminuer le niveau sonore en prenant certaines précautions lors de l'installation.

Enfin, il faut signaler une pollution spécifique des magasins à tourteaux : lorsque ces derniers sont répandus sur le sol et ultérieurement mouillés, ils forment une pâte collante, qui peut fermenter. La propreté doit être de rigueur dans ces locaux.

VIII. LE MARCHÉ DE LA GRAINE DE COTON

A. Les principaux pays producteurs

Les surfaces cultivées, les rendements en fibres et les productions de fibres, de 1973/74 à 1976/77 (prévisions), ont été indiqués dans le premier chapitre, pays par pays.

On y trouvera de même des indications sur les sortes de cotonniers cultivés dans les principaux pays producteurs. Ceci a une certaine importance pour l'industrie de la transformation des graines, car les pourcentages de linter varient beaucoup avec les sortes et les teneurs en protéines diffèrent aussi.

Selon les données statistiques de la FAO, l'évolution de la production mondiale des graines de coton entre 1970 et 1976, en millions de tonnes a été la suivante :

<u>1970</u>	<u>1971</u>	<u>1972</u>	<u>1973</u>	<u>1974</u>	<u>1975</u>	<u>1976</u>
22,1	13,5	24,7	24,9	25,9	22,9	23,6

On voit qu'elle est restée presque étale, le rapport entre l'année de plus forte production (1974) et celle de plus faible production (1970) n'étant que de 1,17.

Le tableau 21 indique la répartition des productions entre les principaux pays producteurs, pour les années 1973, 1974, 1975 et 1976. On constate que presque les deux tiers de la production mondiale sont réalisés par quatre pays : Chine, Etats-Unis, Inde, URSS (les statistiques de la Chine sont entachées d'incertitude).

B. Comparaison avec les autres plantes oléagineuses

Le tableau 22, chiffré en millions de tonnes, montre quelles ont été les productions des principales graines oléagineuses, de 1970 à 1976.

Tableau 21. Production de graines de coton par pays
(en milliers de tonnes)

Pays	1973		1974		1975		1976	
	Quantité	Pourcentage du total	Quantité	Pourcentage du total	Quantité	Pourcentage du total	Quantité	Pourcentage du total
URSS	4 970	20,0	5 460	21,1	5 130	22,3	5 400	22,9
Chine	4 295	17,2	4 295	16,6	4 337	18,9	4 900	20,7
Etats-Unis	4 550	18,3	4 134	16,0	3 175	13,8	3 661	15,5
Inde	2 398	9,6	2 580	10,0	2 450	10,7	2 292	9,7
Pakistan	1 318	5,3	1 268	4,9	1 020	4,4	1 029	4,4
Brésil	1 215	4,9	1 070	4,1	1 015	4,4	795	3,4
Turquie	821	3,3	958	3,7	745	3,2	750	3,2
Egypte	862	3,5	753	2,9	730	3,2	680	2,9
Soudan	358	1,4	432	1,7	432	1,9	208	0,8
Mexique	572	2,3	852	3,3	335	1,5	369	1,5
Iran	406	1,6	411	1,6	328	1,4	275	1,2
Argentine	244	1,0	237	0,9	270	1,2	258	1,1
République arabe syrienne	248	1,0	244	0,9	240	1,0	230	1,0
Colombie	243	1,0	283	1,1	210	0,9	215	0,9
Nicaragua	178	0,7	225	0,8	200	0,9	199	0,8
Pérou	148	0,6	125	0,5	141	0,6	135	0,6
Autres pays	2 074	8,3	2 573	9,9	2 206	9,6	2 224	9,4
Total	24 900	100,0	25 900	100,0	22 964	100,0	23 620	100,0

Source : FAO, Annuaire de la production, 1976. Rome, 1977.

Tableau 22. Production des principales graines oléagineuses
de 1970 à 1976
(en millions de tonnes)

Graines	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Soja	46,5	48,5	52,3	62,3	56,9	68,9	62,1
Coton	22,1	23,5	24,7	24,9	25,9	22,9	23,6
Arachides	18,4	19,2	15,9	17,0	17,3	19,6	18,5
Tournesol	9,9	9,7	9,5	12,0	10,9	9,4	10,0
Colza	6,7	8,1	6,8	7,1	7,2	8,4	7,5
Coprah	3,6	3,9	4,4	3,7	3,6	4,5	4,9
Lin	4,1	2,8	2,5	2,4	2,3	2,5	2,5
Sésame	2,2	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0

Source : FAO, Annuaire de la production, 1976, Rome, 1977.

Les graines sont classées dans l'ordre des tonnages décroissants.

Le coton occupe donc la deuxième place, mais loin derrière le soja.

D'autre part, il est bon de comparer les teneurs moyennes en huile et en protéines de ces différentes graines, à l'exception de celle de lin, dont l'huile n'est pas consommable par l'homme.

Tableau 23. Teneur en protéines et en huiles
de différentes graines oléagineuses

Graines de :	Teneurs moyennes des graines d'oléagineux	
	En huile	En protéines
	<u>En pourcentage</u>	
Soja	20	42
Coton	19	21
Arachide décortiquée	48	19
Colza	51	20
Sésame	50	25
Tournesol	39,6	13,6 ^{a/}
Coprah	69	7,4

Source : ONUDI, ID/126.

a/ D'autres auteurs avancent des teneurs plus élevées, allant de 16 à 21 p.100

D'après le tableau 23, la position de la graine de coton n'est pas excellente, car si sa teneur en huile est presque identique à celle de la graine de soja, cette dernière contient beaucoup plus de protéines; l'arachide, le colza, le sésame et le tournesol, d'autre part, sont bien plus riches en huile^{39/}, laquelle est le facteur principal de valorisation des graines.

Toutefois, ce raisonnement n'est que partiellement valable, car il néglige les différences de rendement à l'hectare et ne tient pas compte des fibres, qui sont propres au coton et forment l'essentiel de sa valeur : la graine de coton est un sous-produit des fibres.

Il en résulte que les cours commerciaux de l'huile et des tourteaux de coton ne s'établissent pas à partir des coûts intrinsèques de production, mais s'ajustent sur ceux des autres huiles et tourteaux, en particulier de soja, avec des coefficients majorateurs ou minorateurs qui reflètent les écarts respectifs dans les compositions des huiles (voir chap. V) et des tourteaux (voir chap. VI), ces taux d'ajustement présentant eux-mêmes certaines fluctuations en fonction de la situation des marchés (rapports entre les offres et les demandes), du niveau des stocks, des prévisions de récoltes, etc.

C. Commerce international des graines de coton

Le commerce international des graines de coton porte sur une proportion infime de la production mondiale : environ 1 p.100.

La graine de coton est en effet peu riche en huile, contient beaucoup de coque (40 p.100 environ) de faible valeur, a une faible densité, se manutentionne difficilement, et, en outre, de nombreux pays se sont équipés pour l'utiliser sur place, soit telle quelle dans l'alimentation du bétail, soit par séparation de l'huile et des tourteaux.

Les pays producteurs désirant exporter préfèrent donc vendre des huiles et des tourteaux, afin d'éviter d'avoir à supporter des frais de transport onéreux avec une marchandise ne contenant que 50 p.100 de matière utile.

Le tableau 24 montre quels ont été en 1976 les principaux pays exportateurs et importateurs.

^{39/} Le coprah aussi, mais c'est un cas un peu différent.

Tableau 24. Principaux pays exportateurs et importateurs de graines de coton en 1976

Pays exportateurs	Exportations de graines	
	En milliers de tonnes	En pourcentage du total
Total mondial		
se décomposant ainsi :	227,3	100,0
Afrique	63,4	27,9
dont : Mali	(16)	(7)
Côte d'Ivoire	(11,4)	(5)
Tchad	(10)	(4,4)
Amérique	96,3	42,4
dont : Etats-Unis	(64,8)	(28,5)
Nicaragua	(31,2)	(13,7)
Asie	14,6	6,4
Europe	2,4	1,0
URSS	49,8	21,9
Océanie et Australie	0,8	0,4
Pays importateurs	Importations de graines	
	En milliers de tonnes	En pourcentage du total
Total mondial		
se décomposant ainsi :	236,3	100,0
Afrique	0,5	0,2
Amérique	70,6	29,9
dont : Mexique	(64,1)	
Asie	117,1	49,6
dont : Japon	(95,0)	
Liban	(22,0)	
Europe	48,1	20,3
dont : Grèce	(46)	
URSS, Océanie et Australie	0	

Source : FAO, Annuaire du commerce, 1976, Rome, 1977.

D. Evolution des prix de la graine de coton

Les prix de la graine de coton dépendent évidemment des caractéristiques et de la qualité de la graine, des conditions de vente (prix à la production, prix de gros, prix à l'importation f.o.b. ou c.i.f.), et des pays considérés. Si on les convertit tous en dollars par tonne, il faut également considérer que les taux d'échange entre le dollar et les autres monnaies sont variables.

Tous les chiffres qui suivent sont extraits de documents de la FAO et en particulier du bulletin mensuel "Economie et statistiques agricoles".

Prix à la production

En Egypte : 44 à 49 dollars/t de 1975 à 1977^{40/}
Aux Etats-Unis : 75 à 145 dollars/t de 1975 à 1977

Prix de gros

En Inde : 109 à 216 dollars/t de 1975 à 1977

Prix à l'importation

Au Japon, en provenance de l'ancienne Afrique occidentale française, prix c.a.f. : 163 à 256 dollars/t de 1975 à 1977.

En Europe (Anvers, Rotterdam), graines provenant du Soudan, prix c.a.f.

Année :	<u>1972</u>	<u>1973</u>	<u>1974</u>	<u>1975</u>
En dollars/t	106	153	230	219

A titre de comparaison, il faut signaler que, d'après le même bulletin mensuel de la FAO, les cours extrêmes enregistrés entre le 1er janvier 1975 et le 31 décembre 1977 pour la graine de soja ont été :

Pour le producteur américain, 157 à 338 dollars/t

Pour l'importateur britannique, c.i.f. Royaume-Uni, 186 à 393 dollars/t.

Ceci illustre l'écart de cotation en faveur de la graine de soja.

^{40/} L'expression "1975 à 1977" signifie que les cours ont été analysés mois par mois durant ces trois dernières années et que seules les valeurs extrêmes ont été retenues.

E. Incidence des frais de transport
en fonction des modes de livraison

Le coût du transport entre pour une part importante dans le prix final des graines de coton.

Lorsqu'il faut franchir un océan ou une partie d'océan, ce qui est fréquent, le transport par bateau peut se faire de deux façons : en vrac dans la cale ou dans les containers.

L'expédition par containers à l'avantage de ne pas entraîner de rupture de charge à l'embarquement et au débarquement, et de mieux protéger la qualité, mais lorsque les quantités le permettent il est plus économique de les transporter en vrac dans les cales de navires ayant une capacité de 2 500 à 3 000 t. On peut même réduire encore le coût en groupant les expéditions de manière à pouvoir affréter un navire de plus de 10 000 t.

Sur le tableau 25 sont indiqués les éléments du coût en 1978 d'un transport maritime au départ de la Côte d'Ivoire et de l'Inde, à destination d'un port français. Ils sont fondés sur les tarifs "conférence" actuellement en vigueur^{41/} et chiffrés en dollars par tonne.

Tableau 25. Coût de transport des graines de coton

Pays expéditeurs	Pays destinataires	Conditionnement	Tarif fret de base	Supplément divers	Coût total
En dollars/t					
Inde	France	en containers	70	30	100
Côte d'Ivoire	France	en vrac, par 2 500 à 3 000 t	24	8	32
Côte d'Ivoire	France	en vrac, par 10 000 t ou plus	20	7	27

Sources : Compagnie générale maritime
Burry Rogliano Salles

^{41/} On appelle "conférence" le regroupement des compagnies de navigation qui desservent les même lignes régulières. On compte, par exemple, deux conférences entre la côte est des Etats-Unis et les ports du nord de l'Europe. Le trafic maritime est ainsi réparti en un certain nombre de "conférences" au sein desquelles les transporteurs s'accordent pour pratiquer des tarifs de fret identiques.

Il en découle que quoique le transport par containers, ou éventuellement dans des sacs, soit possible pour de petites quantités^{42/}, il entraîne des frais maritimes beaucoup plus onéreux que le transport en vrac, de sorte que ce dernier est la solution habituelle.

F. Standards de qualité

L'étude et la définition des standards de qualité de la graine de coton ont fait l'objet de beaucoup de travaux depuis le début du XXème siècle.

Aux Etats-Unis, on détermine le "grade" en multipliant un index de quantité par un index de qualité et en divisant le résultat par 100.

L'index de quantité

On calcul l'index de quantité à l'aide de la formule suivante :

$$i = 4 p_1 + 6 p_2 + p_3 + 5$$

dans laquelle :

p_1 = pourcentage d'huile

p_2 = pourcentage d'ammoniaque

p_3 = terme correctif pour tenir compte du pourcentage de linters

Ce terme p_3 se détermine ainsi :

Pourcentage de linters
dans la graine

10,6 et au-dessus

10,5

10,4 à 9

8,9 à 4

3,9 à 0

Terme correctif

prime = ($\%$ linters - 10,5) x 1

néant

remise = (10,5 - $\%$ linters) x 1

remise = $\left[(9 - \%$ linters) x 2 $\right]$

remise = $\left[(4 - \%$ linters) x 2,5 $\right]$
+ 1,5
+ 11,5

^{42/} On peut utiliser des containers de 20 ou de 40 pieds de longueur qui ont respectivement des volumes utiles de 27 ou de 54 m³.

L'index de qualité

Prime quality cottonseed

On désigne ainsi les graines de coton qui ne contiennent pas plus de 1 p.100 de matières étrangères, pas plus de 12 p.100 d'eau, pas plus de 1,8 p.100 d'acides gras libres, et on leur attribue un index de qualité égal à 100.

Below prime quality cottonseed

Lorsque les taux de matières étrangères, d'eau et d'acides gras libres dépassent les seuils de la précédente rubrique, on réduit l'index de qualité par le calcul suivant :

- Réduction de 0,4 pour chaque 0,1 p.100 d'acides gras libres situé au-dessus de la limite de 1,8 p.100;
- Réduction de 0,1 pour chaque 0,1 p.100 de matières étrangères situé au-dessus de la limite de 1 p.100;
- Réduction de 0,1 pour chaque 0,1 p.100 d'eau situé au-dessus de la limite de 12 p.100.

Off-quality cottonseed

Cette catégorie comprend les graines de coton ayant subi des traitements autres que ceux classiques (nettoyage, déshydratation, égrenage, éventuellement stérilisation), les graines fermentées ou chaudes, ou celles contenant 12,5 p.100 ou plus d'acides gras libres, ou plus de 10 p.100 de matières étrangères, ou

Below grade cottonseed

Lorsque le grade, calculé comme il est dit plus haut, est inférieur à 40, la graine est rangée dans cette dernière classe, sans que son grade soit précisé à l'acheteur.

La méthode américaine de classement présentée ci-dessus date de 1963. Elle est assez complexe et bien entendu suppose que les prélèvements soient faits correctement, mais elle a l'avantage de fournir une échelle de référence qui intègre de nombreux facteurs et qui reflète avec fidélité le rendement en huile et en tourteau qu'on retirera de la graine.

D'autres pays, comme l'Inde, utilisent des modes différents de classement.

IX. LE MARCHE DE L'HUILE DE COTON

A. La production mondiale

La production mondiale d'huile de coton se situe, en moyenne, un peu au-dessus de 3 millions de tonnes (tableau 26).

Tableau 26. Production mondiale d'huile de coton

	1972	1973	1974	1975	1976	Prévisions 1977
Production mondiale d'huile de coton, en millions de tonnes	2,79	3,01	3,15	3,30	2,83	3,76
Pourcentage de la production mondiale de graine de coton	11,3	12,1	12,2	14,4	12	-

La teneur moyenne en huile de la graine de coton étant de 19 p.100, on en déduit que seulement 65 p.100 environ du tonnage mondial de graine de coton donne lieu à l'extraction de l'huile.

Les tableaux 27 et 28 permettent de comparer la production de l'huile de coton à celle des autres corps gras. Le tableau 27 montre que l'huile de coton a représenté, entre 1973 et 1977 (prévisions), 6 à 9 p.100 de la production mondiale de corps gras alimentaires et non alimentaires.

Tableau 27. Pourcentage de la production mondiale d'huile de coton par rapport à la production globale de corps gras

	1972	1973	1974	1975	1976	Prévisions 1977
Production mondiale d'huile de coton, en pourcentage de la production mondiale de corps gras	7,1	6,7	7,2	7,2	5,9	7,8

Tableau 28. Production mondiale des corps gras et des huiles.
Données annuelles 1973-1976 et projection 1977
(en millions de tonnes)

Matière première	1973	1974	1975	1976	1977 (prévisions)
Soya	7,38	9,30	8,27	10,10	9,53
Tournesol	3,58	4,51	3,97	3,56	4,17
Colza	2,41	2,37	2,50	2,47	2,43
Palmier	2,25	2,61	2,94	3,23	3,58
Poisson	0,80	1,00	0,97	0,91	0,99
Arachide	2,91	3,05	3,01	3,45	3,28
Saindoux	4,26	4,46	4,33	4,30	4,50
Lauracées ^{a/}	2,95	2,69	3,27	3,53	3,36
Coton	3,01	3,15	3,30	2,83	3,76
Autres produits comestibles ^{b/}	7,17	7,22	7,09	7,57	6,66
Suif et graisses	4,43	4,92	4,70	4,70	4,80
Autres produits non comestibles ^{c/}	1,51	1,67	1,50	1,52	1,45
Total	42,66	46,95	45,85	48,17	48,51
Etats-Unis	10,64	12,34	10,18	11,50	10,83
Autres pays	32,02	34,61	35,67	36,67	37,68

Source : National Renkerers Association, 1976.

a/ Comprend les huiles de noix de coco, de déchets de palmier et de babassou.

b/ Comprend les huiles de sésame, de carthame, de maïs, d'olive, de beurre et de baleine.

c/ Comprend les huiles de lin, de ricin, d'oiticique, de tungstène, de résidus d'huile d'olive et de sperme.

D'autre part, la comparaison montre que la production mondiale d'huile de coton se classe loin derrière la production mondiale d'huile de soja, un peu en-dessous de celle d'huile de tournesol, à parité avec l'huile d'arachide. On remarquera aussi l'accroissement régulier de la production des huiles provenant du palmier (huile de palme extraite de la pulpe du fruit, huile de palmiste tirée de l'amande. La première a un tonnage mondial égal à environ six fois celui de la seconde).

La production d'huile brute de coton aux Etats-Unis, de 1974 à 1976 est la suivante :

	<u>1974</u>	<u>1975</u>	<u>1976</u>
Production d'huile brute de coton, en millions de tonnes	0,686	0,551	0,446

B. Le commerce international de l'huile de coton

L'huile de coton est essentiellement autoconsommée par les pays producteurs. Le commerce international porte sur 10 p.100 de la production mondiale, soit en moyenne 300 000 t/an. Les Etats-Unis sont le principal exportateur, puisqu'en 1976, par exemple, sur un total mondial de 280 000 t exportées, ils ont figuré pour 244 000 t. Cette même année, les principaux pays importateurs furent l'Egypte (138 000 t), le Venezuela (27 000 t), l'Iran (20 000 t); le Japon (13 000 t), la Turquie (11 500 t).

Il est intéressant de comparer le commerce international de l'huile de coton à celui des autres huiles végétales comestibles (voir tableau 29).

Tableau 29. Commerce mondial des différentes huiles en 1975

Huiles végétales comestibles de :	Exportations mondiales de 1975	
	En milliers	En pourcentage
Soja	1 364	21,1
Palme	2 046	31,6
Coprah	1 031	16
Arachide	405	3
Coton	375	5,8
Tournesol	624	9,6
Palmiste	259	4
Colza	353	5,4
Sésame	3	-
Divers	8	-
Total	6 468	100

On voit, sur le tableau 29, que l'huile de coton occupe une place modeste (de l'ordre de 6 p.100) dans le commerce internationale des huiles végétales.

L'huile de soja et l'huile de palme représentent ensemble 53 p.100 des exportations mondiales d'huiles végétales comestibles et l'on pense que ce pourcentage pourrait atteindre 67 p.100 en 1990. En effet, la nécessité et la stimulation économique se combinent pour augmenter les cultures de soja à travers le monde entier. Les Etats-Unis continuent à dominer ce marché, mais les plantations s'étendent rapidement au Brésil et en Argentine.

Cependant, la contribution la plus importante à l'accroissement des ressources en huiles comestibles sera l'huile de palme. Les exportations mondiales sont déjà de 2 millions de tonnes, ce qui correspond à une multiplication par quatre en l'espace des dix dernières années. La Malaisie a été le principal agent de cette croissance. La production y était de 200 000 t en 1967 et est aujourd'hui d'environ 1 500 000 t. D'ici 1990, les Malais envisagent de porter ce montant à 5 500 000 t. Simultanément, d'autres pays développent leur production, en particulier la Côte d'Ivoire et l'Indonésie. Il faut aussi considérer que les palmiers plantés à travers le monde et qui n'ont pas encore atteint le stade de la fructification, ainsi que les palmiers qui ne sont pas encore à leur rendement optimal, annoncent la production dans le monde d'un million de tonnes d'huiles de palme supplémentaire pour les trois ou quatre années à venir, c'est-à-dire une augmentation de 30 p.100.

La conséquence est que la part relative de l'huile de coton dans la production mondiale d'huiles végétales diminuera, et encore plus sa part relative, déjà très mince, dans les exportations. Une autre conséquence, qui concerne toutes les graines oléagineuses, est qu'on s'attend à une baisse^{43/} des prix des huiles.

C. Le prix de l'huile de coton

Huile brute

L'huile brute, en wagons citernes, f.o.b. Valley Points (Etats-Unis), a eu, selon la FAO, un prix de gros moyen de :

^{43/} En valeur réelle, déduction faite de l'inflation des monnaies.

<u>Années</u>	<u>En dollars/t</u>
1975	600
1976	514
1977 (janvier à septembre)	578

Huile semi-raffinée

Les huiles de coton faisant l'objet du négoce international sont toujours semi-raffinées et correspondent à la qualité prime bleachable summer yellow, appellation qui désigne une huile neutralisée de première qualité destinée à la décoloration. La définition en a été donnée au chapitre V.

Le tableau 30 permet de comparer les prix c.a.f. Europe des différentes huiles, entre 1960 et 1976.

Les prix pratiqués par le commerce international placent l'huile de coton au voisinage de l'huile d'arachide ou légèrement en-dessous, presque au même niveau que l'huile de tournesol (sauf de 1966 à 1969 inclus), et assez nettement au-dessus de l'huile de soja, mais les différences de cours sont variables en valeur absolue et en valeur relative. En effet, les prix des huiles sont très sensibles à tous les facteurs qui font varier le rapport entre l'offre et la demande - notamment aux conditions climatiques, qui influent sur les récoltes -, sans oublier l'évolution des monnaies et la spéculation sur les stocks.

L'étude comparée des courbes d'évolution des cours établit qu'il existe des corrélations entre les diverses huiles.

Les huiles de coton négociées à l'intérieur des pays producteurs le sont en général sous la forme d'huile brute ou d'huile neutralisée (Inde).

Le négoce, international ou national, porte donc surtout sur des huiles de coton semi-raffinées. La raison en est que l'huile brute doit être neutralisée sous un bref délai, sinon les pigments colorés risquent de se fixer d'une manière indélébile; ce phénomène apparaît en quelques jours ou en quelques semaines, de sorte que les entreposages et les transports de longue durée sont déconseillés à l'état brut.

Tableau 30. Prix comparés de diverses huiles végétales de 1960 à 1976
(en dollars/t, c.a.f. Europe)

Année	Huiles de :							Palmiste ^{i/}	
	Soja ^{a/}	Tournesol ^{b/}	Coton ^{c/}	Arachide	Colza ^{a/}	Olive ^{f/}	Palme ^{g/}		Coprah ^{h/}
1960	225	243	235	326	219	585	228	312	317
1961	287	311	305	331	280	561	232	254	263
1962	227	246	266	275	221	631	216	251	255
1963	223	236	243	268	215	871	222	286	287
1964	205	255	250	315	252	586	240	297	299
1965	270	294	278	324	263	663	273	348	353
1966	261	263	333	296	244	661	236	324	271
1967	216	212	378	283	206	690	224	328	249
1968	178	172	305	271	161	681	169	399	367
1969	228	213	291	332	200	666	181	361	306
1970	307	331	354	379	293	699	260	397	429
1971	323	375	392	441	295	727	261	371	335
1972	270	326	324	426	232	916	217	234	244
1973	465	480	500	546	395	1 399	378	513	491
1974	795	983	939	1 077	745	2 174	669	998	1 010
1975	619	739	726	857	551	2 436	433	393	439
1976	376	600	645	675	390	2 350	370	340	360

- a/ Brute, Etats-Unis, c.a.f. Rotterdam.
b/ Toute origine, ex tanker, Rotterdam.
c/ Prime bleachable summer yellow, Etats-Unis, c.a.f. Rotterdam.
d/ Nigéria, Gambie, toute autre origine, c.a.f. Europe.
e/ Pays-Bas, f.o.b., en provenance du moulin.
f/ Espagne, comestible.
g/ Malaisie, c.a.f., Royaume-Uni.
h/ Philippines, Indonésie, en vrac, c.a.f. Rotterdam.
i/ Afrique occidentale, c.a.f. Royaume-Uni.

D. Incidence des frais de transport en fonction des modes de livraison

Les expéditions par bateau peuvent se faire dans des containers lorsque les quantités sont faibles, mais plus souvent à bord de navires spécialement aménagés en tankers. Le tableau 31 fournit des exemples de coût.

Tableau 31. Coût de transport de l'huile de coton^{a/}

Pays expéditeurs	Pays destinataires	Conditionnement	Tarif		Coût total
			fret base	Suppléments divers	
					En dollars/t
Inde	France	en tank	65	25	90
Etats-Unis (Côte est)	France	en containers	180	28	208

Sources : Compagnie générale maritime et Burry Rogliano Salles.

a/ Tarifs "conférence".

On constate que le transport par tankers est beaucoup plus économique, d'autant que des conditions encore meilleures peuvent être obtenues dans certains cas.

E. Standards de qualité

Pour les standards de qualité auxquels doit répondre l'huile de coton, il convient de se reporter au chapitre V, section A, où ils sont énumérés.

F. Pratiques commerciales

Sur les marchés intérieurs les ventes s'effectuent souvent entre huiliers et raffineurs-margariniers, directement ou par l'intermédiaire de courtiers.

Sur les marchés internationaux, le négoce se fait par les grandes maisons de commerce et par les courtiers des principales places. Un certain courant commercial est lié aux mesures spéciales prises par les Etats-Unis pour les exportations.

X. LE MARCHÉ DES TOURTEAUX DE COTON

A. La production mondiale

Chiffrée en milliers de tonnes de tourteaux, la production des principaux pays producteurs a évolué entre les années 1974 et 1976, comme le montre le tableau 32.

Tableau 32. Evolution de la production de tourteaux de coton de 1974 à 1976

	1974	1975	1976
URSS	1 600/1 800	1 800/2 000	1 600/1 800
Etats-Unis	1 910	1 510	1 230
Chine	900/1 100	900/1 100	1 000/1 200
Inde	900/1 000	900/1 000	900/1 000
Pakistan	500/ 600	450/ 600	300/ 400
Brésil	400/ 500	350/ 450	300/ 400
Turquie	300/ 400	300/ 400	200/ 400
Mexique	200/ 300	200/ 300	100/ 200
Argentine	50/ 100	100/ 200	90/ 150
Total approximatif	7 235	7 035	6 250

Source : Ch. Robert, 1977.

Ce tableau n'est cependant pas complet, parce qu'il manque des pays dont la production n'est pas négligeable, comme la Colombie, l'Egypte, le Guatemala, le Nicaragua, le Paraguay, le Soudan.

Le tableau 33 permet de comparer les productions mondiales des divers tourteaux, chiffrées en milliers de tonnes de protéines.

On voit la très large prédominance du tourteau de soja; cependant le tourteau de coton vient à la deuxième place et représente 13 p.100, environ du total.

Il est intéressant de noter que la production mondiale moyenne de graines de coton ayant été de 24,6 millions de tonnes durant la période 1973-1975, si on admet que leur teneur en protéines s'élève à 21 p.100, ceci correspond à un tonnage potentiel de 5,2 millions de tonnes de protéines. Etant donné que

la production de tourteaux équivaut à 3,66 millions de tonnes de protéines, il en ressort d'après ce calcul approximatif que seulement 70 p.100 du tonnage mondial de graines de coton donne lieu à la fabrication de tourteaux. On a vu (chap. X, sect. A) qu'un raisonnement analogue appliqué à l'huile aboutissait à un pourcentage de 65 p.100, donc du même ordre de grandeur, comme on pouvait s'y attendre.

Tableau 33. Production mondiale de divers tourteaux

Tourteaux de :	Production de protéines de tourteaux (valeur moyenne pour la période 1973-1975)	
	En milliers de tonnes	En pourcentage
Soja	17 270	63,7
Coton	3 660	13,5
Arachide	1 990	7,3
Tournesol	1 630	6,0
Colza	1 340	5,0
Lin	470	1,7
Coprah	280	1,0
Divers	490	1,8
Total	27 130	100,0

Source : Données statistiques de la FAO

B. Le commerce international des tourteaux de coton

Le commerce international des tourteaux de coton porte sur des quantités beaucoup plus importantes que celui des graines et des huiles de coton et s'établit comme suit, de 1972 à 1976 :

	<u>1972</u>	<u>1973</u>	<u>1974</u>	<u>1975</u>	<u>1976</u>
Total des exportations mondiales de tourteaux de coton en milliers de tonnes	1 419	1 428	1 071	1 088	894

Le tableau 34 montre quels ont été en 1974, 1975 et 1976, les principaux pays exportateurs et importateurs.

Tableau 34. Données statistiques relatives au commerce international
des tourteaux de coton

	1974		1975		1976	
	En milliers de tonnes	En pourcentage	En milliers de tonnes	pourcentage	En milliers de tonnes	En pourcentage
<u>Exportations</u>						
Afrique	215	20,1	250,6	23,0	217,2	24,3
Égypte	(23,5)		(38,2)		(17,0)	
Éthiopie	(19,8)		(13,0)		(14,4)	
Mozambique	(22,8)		(18,4)		(13,0)	
Ouganda	(26,6)		(16,1)		(16,2)	
République-Unie de Tanzanie	(39,7)		(43,3)		(28,8)	
Soudan	(55,8)		(93,7)		(100)	
Amérique	363,3	33,9	289,6	26,6	310	34,7
Argentine	(24,2)		(59,2)		(95)	
Brésil	(86,2)		(19,1)		(3,5)	
Colombie	(29)		(60,4)		(44)	
États-Unis	(44,6)		(14,4)		(29,5)	
Guatemala	(61,5)		(27,7)		(35)	
Nicaragua	(73,7)		(70,4)		(60)	
Paraguay	(18,5)		(20,6)		(28)	
<u>Asie</u>	386,5	36,1	444,2	40,8	262,6	29,4
Inde	(145,9)		(192,4)		(130)	
Iran	(43,2)					
Pakistan	(14,7)		(12,5)		(30,1)	
Turquie	(152)		(217,8)		(88,9)	
Europe	95,8	8,9	98,8	9,1	104	11,6
Allemagne Rep. féd.	(0,6)		(0,9)		(12,9)	
Danemark	(16,9)		(15,7)		(8,9)	
Grèce	(60,8)		(75,4)		(63,0)	
Italie	(11,4)		(4,3)		(0,07)	
Pays-Bas	(0,3)		(0,2)		(10,6)	
URSS	10	1	5	0,5		
Total mondial	1 071	100,0	1 088	100,0	894	100
<u>Importation</u>						
Afrique	14,7	1,5	14,4	1,4	14,8	1,7
Rhodésie	(11,2)		(11,8)		(12,4)	
Amérique	6	0,6	2,8	0,3	14	1,6
États-Unis	(3,1)		(0,6)		(12)	
Asie	5,4	0,6	5	0,5	-	
Europe	946,7	97,3	1 024	97,9	850	96,7
Allemagne Rép. féd.	(160,7)		(178,6)		(170,4)	
Danemark	(372,2)		(500)		(433,6)	
Irlande	(4,8)		(7,5)		(17)	
Norvège	(26,8)		(20,8)		(20,8)	
Pays-Bas	(3,1)		(2,8)		(11,4)	
Pologne	(46,7)		(70)		(50)	
République démocratique allemande	(46)		(58)		(30)	
Royaume-Uni	(68,5)		(34,7)		(32,5)	
Suède	(84,5)		(71)		(56,3)	
URSS	-	-	-	-	-	
Total mondial	973	100,0	1 046	100,0	879	100,0

Source : FAO, Annuaire du commerce, 1976 Rome, 1977.

On constate que pratiquement seule l'Europe est importatrice, et en Europe surtout le Danemark, avant la République fédérale d'Allemagne.

Les pays exportateurs sont mieux répartis à travers le monde, puisqu'ils sont répartis entre l'Asie, l'Amérique et l'Afrique^{44/}. Les plus importants sont l'Inde et la Turquie. Viennent ensuite le Soudan, l'Argentine, etc.

Le tableau 35 permet de situer le commerce international des tourteaux de coton par rapport à celui des autres tourteaux.

Tableau 35. Comparaison des exportations mondiales des différents tourteaux

Tourteaux de :	Exportations mondiales de tourteaux en 1975	
	En milliers de tonnes	En pourcentage
Soja	8 745	68,8
Arachide	1 158	9,1
Coton	1 115	8,8
Coprah	697	5,5
Tournesol	358	2,8
Colza	272	2,1
Palmiste	374	2,9
Total	12 719	100

Les tourteaux de coton viennent donc à la troisième place dans le négoce international, très loin après les tourteaux de soja, mais presque à égalité avec ceux d'arachide.

En pratique, les échanges commerciaux entre pays producteurs et pays consommateurs de tourteaux sont souvent le prolongement de courants traditionnels : par exemple, la France continue d'importer beaucoup de tourteaux d'arachide, parce qu'elle en avait pris l'habitude à l'époque où ses colonies s'étendaient sur une grande partie de l'Afrique occidentale, mais importe extrêmement peu de graines et de tourteaux de coton.

^{44/} On y trouve même des pays d'Europe, par exemple la Grèce, qui importent des graines, les triturent, consomment l'huile et exportent les tourteaux.

C. Les prix des tourteaux de coton

Prix de gros

Les bulletins mensuels de statistiques agricoles donnent séparément les prix de gros des cottonseed cake et cottonseed meal, c'est-à-dire des tourteaux deshuilés par extraction mécanique ou par l'action des solvants.

Le cottonseed cake fabriqué au Danemark, avec 46 p.100 de protéines, a eu en bourse de Copenhague un cours moyen de :

<u>Année</u>	<u>En dollars/t</u>
1975	174
1976	214
1978 (janvier à août)	247

Le cottonseed meal fabriqué aux Etats-Unis, avec 41 p.100 de protéines, a été vendu en vrac à Memphis (Tennessee) au cours moyen de :

<u>Année</u>	<u>En dollars/t</u>
1975	131
1976	175
1978 (janvier à juillet)	212

Prix à l'importation

Ce même bulletin mensuel de la FAO indique les prix moyens c.a.f. Liverpool d'un cottonseed cake de toutes origines, à 43 p.100 de protéines :

<u>Année</u>	<u>En dollars/t</u>
1975	172
1976	207
1977 (janvier à juillet)	255

Oil World Semi-Annual donne le prix c.a.f. Hambourg d'un cottonseed cake à 45-46 p.100 de protéines : 153 dollars/t en moyenne durant l'année 1975.

Comparaison avec les autres tourteaux

Il est intéressant de comparer, d'après les bulletins mensuels de la FAO, les prix de gros aux Etats-Unis d'un cottonseed meal et d'un soyabean meal, tous deux vendus en vrac (voir tableau 36).

Tableau 36. Comparaison du prix de gros du tourteau de coton et de celui d'arachide aux Etats-Unis

	Moyenne 1975	Moyenne 1976 <u>En dollars/t</u>	Moyenne de janvier à juillet 1977
Tourteau de coton à 41 % de protéines	131	175	212
Tourteau de soja à 44 % de protéines	147	190	258

Ceci confirme qu'il existe un léger supplément de prix en faveur du tourteau de soja.

Quant aux tourteaux d'arachide, leurs prix sont en général voisins de ceux des tourteaux de coton.

D. Incidence des frais de transport^{45/} en fonction
des modes de livraison

Les transports maritimes de tourteaux, compte tenu des grandes quantités en cause, se font presque toujours en vrac dans les cales spéciales (tanks) des navires. Pour une livraison de l'Inde en France il faut compter, suppléments inclus, 27 à 32 dollars/t. Les opérations de chargement et de déchargement se font avec appareils de manutention spécialisés à grand rendement, qui éliminent presque complètement la main-d'oeuvre.

L'expédition dans des sacs est peu pratiquée, ainsi que celle par containers : elles ne conviennent qu'à de faibles tonnages et sont plus onéreuses. Par exemple, pour une livraison en containers de l'Inde en France le coût du transport, suppléments inclus, s'élève à 100 dollars/t.

Durant leur transport, il faut veiller à ce que les tourteaux de coton ne soient pas rehumidifiés au-delà de leur teneur normale en eau, ni recontaminés par des moisissures, des micro-organismes, des insectes, des excréments de rongeurs, etc.

E. Standards de qualité

Les standards de qualité exigés pour les tourteaux de coton sont indiqués au chapitre VI, section A.

^{45/} Les sources utilisées sont, comme pour les transports d'huile et de graine la Compagnie générale maritime et Burry Rogliano Salles.

F. Importance des tourteaux dans la valorisation des composants de la graine de coton

Le tableau 20 montre l'importance relative des tourteaux par rapport aux autres sous-produits de la graine de coton.

G. Pratiques commerciales

Le négoce international s'effectue la plupart du temps par l'intermédiaire de maisons de négoce internationales, de courtiers et de distributeurs, qui touchent directement les fabricants d'aliments pour animaux d'élevage.

Dans certains pays producteurs de graines et de tourteaux, l'exportation est strictement réglementée par le gouvernement. Le commerce peut être confié à un monopole d'Etat, ou laissé à l'initiative des industriels, mais dans le cadre de dispositions légales qui peuvent, par exemple, fixer des quotas.

H. Cas des pays en voie de développement

Comme pour les tourteaux d'arachide, les frais de transport des pays producteurs vers les principaux pays consommateurs d'Europe sont assez importants par rapport à la valeur du produit. De ce fait, les pays producteurs pourraient avoir intérêt à valoriser chez eux leur production, mais dans la plupart des nations en voie de développement l'industrie de l'alimentation animale est pratiquement inexistante, faute de débouchés vers des élevages intensifs. La demande intérieure y est donc réduite et les tourteaux non exportés sont soit distribués en l'état aux animaux, soit simplement détruits.

Le développement du marché intérieur des tourteaux dans ces régions reste donc tributaire de celui de l'élevage, lui-même fonction du niveau de vie et des habitudes locales de consommation de viande. De façon générale, l'élevage y est pratiqué de façon extensive et, malgré les efforts entrepris par certains gouvernements, on est éloigné du seuil industriel qui marquerait un développement rapide des besoins en tourteaux.

Bibliographie

- Aflatoxins in cotton seeds : Influence of weathering on toxin content of seeds and a method for mechanically sorting seeds lots. By L. Ashworth et al. Phytopathology (St. Paul) 53, 1:102-107, 1963.
- Ammoniated cottonseed meal as a protein supplement for laying hens. By P. Waldroup et al. Poultry science, 55, 3:1011-1019, 1976.
- A note on roller ginning and saw ginning. Cotton development, 3, 4:5-6, 1974.
- Bagot, Y. Extraction de l'huile par solvant. In L'huilerie de coton. Paris, Institut de recherche pour les huiles et les oléagineux, 1956, p. 65-112.
- Bailey, A. Cottonseed and cotton seeds products. New York, Interscience, 1948, 936 p.
- Bookwalter, G., K. Warner and R. Anderson. Fortification of dry-milled sorghum with oilseed proteins. Journal of food science (Chicago) 42,4: 969-973, 1977.
- Bressani, R. and L. Gonzala Elías. Cambios en la composición química y en el valor nutritivo de la proteína de la semilla de algodón durante su elaboración. Archivos latinoamericanos de nutrición, 13, 4:319-339, 1963.
- Brown, H. and J. Ware. Cotton. 3. éd. New York, MacGraw Hill, 1958. 566 p.
- Pelleted and nonpelleted cottonseed hulls for lactating dairy cows. By W. Brown et al. Journal of dairy science (Champaign) 60, 6:919-923, 1977.
- Buckle, T. and S. de Gloria Silva. Protein isolate from Colombian cottonseed meals. In Proceedings of the International Union of Food Science and Technology, v. 5. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1974. p. 323-332.
- Buffet, M. La graine du cotonnier. Son importance comme source de matières grasses et de protéines utilisables dans l'alimentation de l'homme et des animaux. Paris, Institut de recherche du coton et des textiles exotiques, 1977. 25 p.
- Cater, C. and C. Lyman. Effect of bound gossypol in cottonseed meal on enzymic degradation. Lipids, 5, 9:765-769, 1970.
- Clark, S. Expeller processing for quality protein. Oils and oilseed journal (Bombay) 22, 12:4-6, 1970.
- Hulling-separating cottonseed without delinting. Journal of the American Oil Chemists' Society, 54,7:286-288, 1977.
- Cocoa butter-like fats from fractionated cottonseed oil. 2. Properties. By N. Lovegren et al. Journal of the American Oil Chemists' Society, 50, 2:53-57, 1973.

- Cornu, A., F. Delpeuch et J. Favier. Utilisation en alimentation humaine de la graine de coton sans gossypol et de ses dérivés. Paris, Institut de recherche du coton et des textiles exotiques, 1975. 93 p.
- Utilisation en alimentation humaine de la graine de coton sans gossypol et de ses dérivés. Annales de la nutrition et de l'alimentation, 31, 3:140-144, 1977.
- Coton. Statistiques mondiales. Bulletin trimestriel du Comité consultatif international du coton, 30, 9;2, 1977.
- Cottonseed protein: versatile nutrient. Food engineering, 45, 5:G-23-G-26, 1973.
- Cottonseed to join soybean as human-protein source. Chemical engineering, 77, 13:96-98, 1970.
- Dehulling cottonseed and separating kernels and hulls: comparison of several varieties of seed. By S. Clark et al. Journal of the American Oil Chemists' Society, 51, 4:142-147, 1974.
- Dimitrochenko, A. Influence des méthodes de stockage et de traitement sur la disponibilité des protéines de ration à base de graines et de tourteaux de tournesol et de coton. Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock, 13, 1-2:245-252, 1969.
- Edible flour from cottonseed by liquid classification using hexane. By E. Gastrock et al. Cereal science to-day, 14, 1:3-11, 1969.
- Edlin, H. A critical revision of certain taxonomic groups of the Malvales. New phytologist (Oxford) 34: 120, 122-143.
- El-Nockrashy, A., Y. El-Shattory and A. Gad. Physical and chemical characteristics of crude and refined hydraulic and solvent extracted cottonseed oil. Grasas y aceites (Seville) 20, 6:236-239, 1969.
- El-Nockrashy, A., S. Fiad and A. Gad. Studies on Egyptian cottonseed. 1. Pigment and nonpigment constitution of eight varieties grown at different localities. Grasas y aceites (Seville) 20, 5:223-227, 1969.
- Degossypolisation of cottonseed meal. 1. Chemical and nutritional evaluation of solvent extracted meal. Grasas y aceites (Seville) 23, 3:226-232, 1972.
- Degossypolisation of cottonseed meal. 2. Chemical and nutritional evaluation of hydraulic pressed meal. Grasas y aceites (Seville) 23, 5:359-362, 1972.
- El-Nockrashy, A., A. Hamdy Khalil and A. Gad. Degossypolisation of cottonseed meal. 3. Chemical and nutritional evaluation of ammonia and ferrous sulphate treated cottonseed meal. Grasas y aceites (Seville) 23, 6:427-431, 1972.

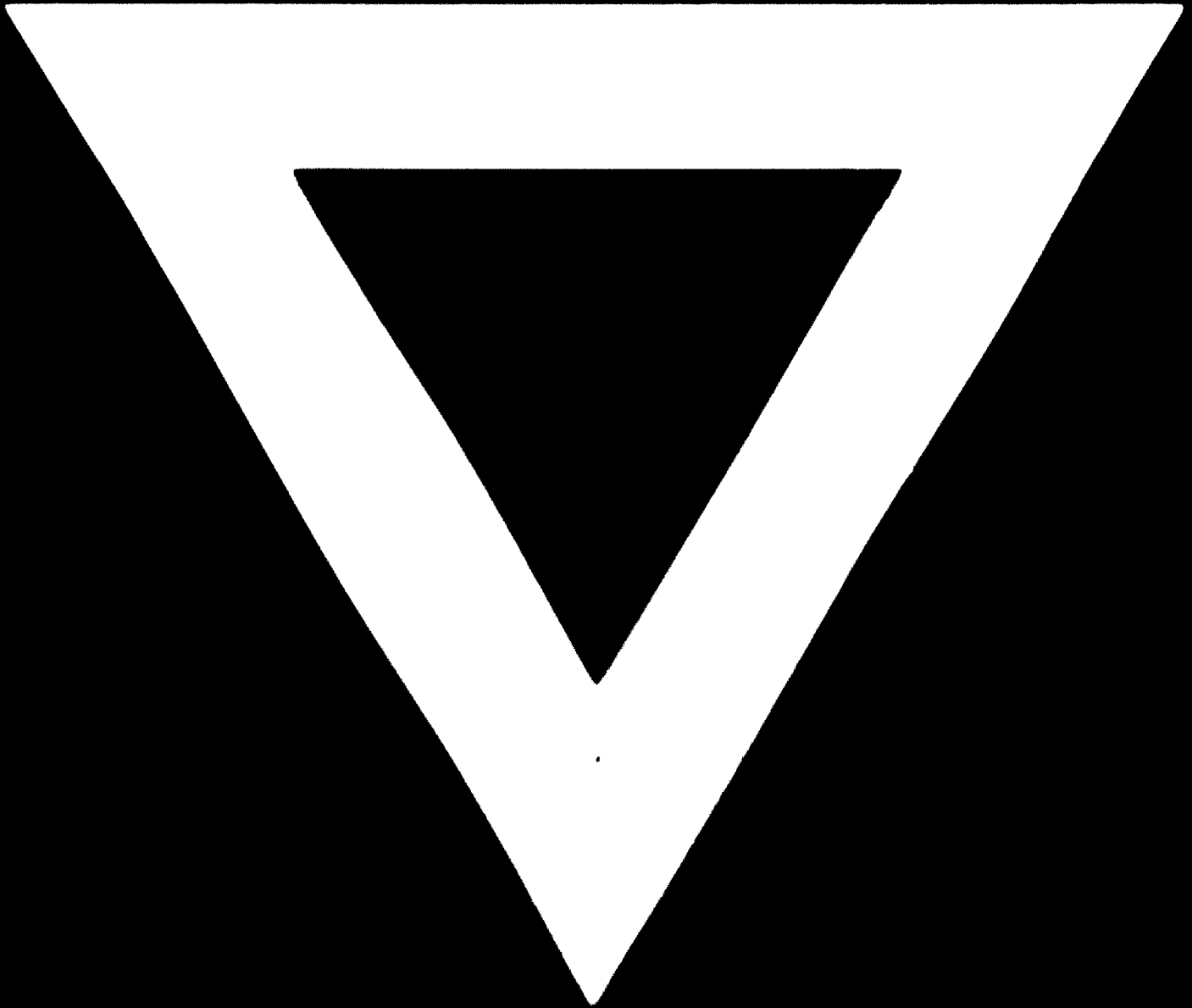
- Estudios del uso de harina de semilla de algodón en el crecimiento y engorde de cerdos. By R. Jarquin et al. Archivos latinoamericanos de nutrición, 13, 1:59-63, 1968.
- Evolution of new gossypol free lines of cotton and their possible uses. By A. Parma et al. Cotton development, 3, 2:13-21, 1973.
- Feuge, R., B. Gajee and N. Lovegren. Cocoa butter-like fats from fractionated cottonseed oil. 1. Preparation. Journal of the American Oil Chemists' Society, 50, 2:50-52, 1973.
- Gardner, H., R. Hron and H. Vix. Removal of pigment glands -gossypol- from cottonseed. Cereal chemistry, 53, 4:549-560, 1976.
- Govind Rao, M., Dheerayacharya and V. Krishnamoorthi. Studies on indigenous cottonseed: part 14. Dehulling of high-linted cottonseed-buri: 0394. Oils and oilseed journal (Bombay) 22, 12:10-12, 1970.
- Gutknecht, J. L'épuration du coton aux Etats-Unis. Coton et fibres tropicales, 15, 11:31-130, 1960.
- Hansa, T. Studies on Aspergillus flavus invasion of cottonseed at harvest and during storage. Thesis Ph.D. University of Georgia, 1976. 120 p.
- Hansa, T. and J. Ayres. Factors affecting aflatoxin contamination of cottonseed. 1. Contamination of cottonseed with Aspergillus flavus at harvest and during storage. Journal of the American Oil Chemists' Society, 54, 6:219-224, 1977.
- Harden, M. and S. Yang. Protein quality and supplementary value of cottonseed flour. Journal of food science, 40, 1:75-77, 1975.
- Harris, W. Temperature effects during the storage of cottonseed. Journal of the American Oil Chemists' Society, 46, 6:303-304, 1969.
- Hess, D. Genetic improvement of gossypol-free cotton varieties. Cereal food world, 22, 3:96-105, 1977.
- High-protein foods. Foods for tomorrow, p. 4-6, 1971.
- Husby, F. and G. Kroenig. Energy value of cottonseed meal for swine. Journal of animal science, 33, 3:592-594, 1971.
- Ismailov, M. Influence de l'huile de coton soumise à un traitement thermique sur quelques aspects du métabolisme des lipides et des protéines et sur l'activité des enzymes dans le foie des rats. Voprosy pitaniya, 28, 3:31-35, 1969.
- Iverson, J. Fatty acid composition of crude and refined cottonseed oils. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 52, 6:1146-1150, 1969.
- Lagière, R. Le cotonnier. Paris, G.-P. Maisonneuve et Larose, 1966. 306 p.
- La teneur en huile des graines de coton; caractéristiques variétales et critères de sélection. Paris, Institut de recherche du coton et des textiles exotiques, 1976, p. 22-24.

- Lawhon, J., C. Cater and K. Mattil. Evaluation of the food use potential of sixteen varieties of cottonseed. Journal of the American Oil Chemists' Society, 54, 2:75-30, 1977.
- L'huilerie de coton. Paris, Institut de recherche pour les huiles et les oléagineux, 1956. Série scientifique, 10. 112 p.
- Lovegren, N., M. Gray and R. Feuge. Sharp-melting fat fractions from cottonseed oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 50, 5:129-131, 1973.
- Markman, A. and B. Belgil'Man. Traitement des graines de coton décortiquées. Maslo-Zhirovaja promyshlennost', 33, 9:3-10, 1967.
- Martine, W., L. Berardi and L. Goldblatt. Cottonseed protein products. Composition and functionality. Journal of agricultural and food chemistry, 18, 6:961-963, 1970.
- Masalykin, I. et G. Pavlov. Hydrogénation d'acides gras distillés de soapstock de coton. Maslo-Zhirovaja promyshlennost', 34, 7:42-43.
- Markman, A. and V. Rahekhin. Gossypol and its derivatives. Jerusalem. Israel programme for scientific translations, 1969, p. 1-9.
- Mensier, P. Lexique des huiles végétales. Paris, SETCO, 1946. 167 p.
- Muller, L., T. Jacks and T. Hensarling. Aqueous solvents for extracting glanded cottonseed protein without gland rupture. Journal of the American Oil Chemists' Society, 53, 9:598-602, 1976.
- Murti, K. and K. Achaya. Cottonseed chemistry and technology in its setting in India. New Delhi, Publication and Information Directorate, Council for Scientific and Industrial Research, 1975. 348 p.
- Nations Unies. Groupe consultatif du système des Nations Unies sur les protéines. Cottonseed protein concentrate. Guideline No. 4. New York, Nations Unies, 1972. 4 p.
- Nwkolo, E., D. Bragg and W. Kitts. The availability of amino acids from palm kernel, soybean, cottonseed and rapeseed meal for the growing chick. Poultry science, 55, 6:2300-2304.
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Annuaire de la production 1976, 30. Rome, FAO, 1977. 296 p.
- _____ Annuaire du commerce 1976, 30. Rome, FAO, 1977. 354 p.
- _____ Tableaux statistiques. Bulletin mensuel: Economie et statistique agricoles 26, 10:28-29, 33, 38-39, 1977.
- _____ Examen des politiques et plans nationaux de l'Inde pour les graines oléagineuses et huiles végétales. Bulletin mensuel: Economie et statistique agricoles, 24, 7-3:1-4, 1975.

- _____ Norme internationale recommandée pour l'huile comestible de
coton. Rome, FAO, Commission du Codex Alimentarius, CAC-RS 22-1969, 1970.
19 p.
- _____ Technology of the production of cottonseed flour for use in protein
foods. Agricultural Services Bulletin, 7. Rome, FAO, 1971. 42 p.
- Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.
Etudes de préinvestissement et planification rationnelle dans l'industrie
des huiles végétales. 36 p. ONUDI, ID/122. New York, Nations Unies, 1974.
Numéro de vente: F. 74 II.B.6.
- _____ Guidelines for the establishment and operation of vegetable oil
factories. 113 p. ONUDI ID/196. New York, Nations Unies. Numéro de vente:
E.77.II.B.I.
- _____ Revue et analyse comparative des matières premières oléagineuses et
des procédés de fabrication de produits protéiques pour la consommation
humaine. 40 p. ONUDI, ID/126. New York, Nations Unies, 1974. Numéro de
vente: F.74.II.B.5.
- Pandey, S. Study on cotton seed from different stages of growth. Cotton
development: 2, 1:11-15, 1972.
- Pilette, M. Décorticage et séparation des coques, p.12-19; L'extraction par
pression, p.20-25; Stockage moderne et délintage des graines, p.1-11.
In L'huilerie de coton. Paris, Institut de recherche pour les huiles et
les oléagineux, 1956.
- _____ La technique de l'égrenage du coton. Bruxelles, Imprimerie
Gutenberg, 1959. 211 p.
- Pilette, M. et Y. Bagot. Raffinage de l'huile. In L'huilerie du coton. Paris,
Institut de recherche pour les huiles et les oléagineux, 1956, p. 65-112.
- Pringuet, A. Le décorticage des graines de coton non délintées. Revue française
des corps gras, 22, 5:271-274, 1975.
- Rayner, E., E. Dollear and L. Codifer. Extraction of aflatoxins from cottonseed
and peanut meals with ethanol. Journal of the American Oil Chemists' Society,
47, 1:26, 1970.
- Rayner, E., S. Koltun and F. Dollear. Solvent extraction of aflatoxins from
contaminated agricultural products. Journal of the American Oil Chemists'
Society, 54, 3:242A-244A, 1977.

- Reduction of aflatoxin levels in cottonseed and peanut meals by ozonisation. By C. Dwarakanath et al. Journal of the American Oil Chemists' Society, 45, 2:93-95, 1968.
- Rhee, K., K. Mattil and C. Cater. Recovers protein from peanuts. Food engineering 45, 5:82, 1973.
- Ridlehuber, J. Cottonseed preparation. Journal of the American Oil Chemists' Society, 54, 6:477A-480A, 1977.
- Roberson, R. A comparison of glandless cottonseed meal and soybean meal in laying diets supplemented with lysine and methionine. Poultry science, 49, 6:1579-1589, 1977.
- Robinson, R. Meal pelleting and cooling. Journal of the American Oil Chemists' Society, 54, 6:459A-499A, 1977.
- Roux, J. Production et utilisation de la graine de coton sans gossypol dans plusieurs pays africains. Paris, Institut de recherche du coton et des textiles exotiques, 1976. 6 p.
- Shemer, M. Isolation of cottonseed protein and its use in high protein baby food. Thesis, Israel Institute of Technology, Haifa, 1970.
- Soy, cottonseed proteins introduced. Food engineering, 45, 7:49, 1973.
- Trevín Muñoz, J. Mejora del valor nutritivo de la torta de algodón. Avances en alimentación y mejora animal, 9, 2:7-17, 3:7-17, 1963.
- Tourteaux et autres matières riches en protéines (1975-1976). Paris, Charles Robert SA, 1977, 49 p.
- Ziemba, J. First cottonseed protein plant now on-stream. Food engineering, 45, 11:124-131 1973.
- _____ Cottonseed proteins enter new era. Food engineering, 44, 6:70-72, 1972.

G-7



79.11.12