



HAL
open science

Le sal: Shorea robusta (Gaertn.) (Diptérocarpacées)
Anne Mathiez Clerc

► **To cite this version:**

Anne Mathiez Clerc. Le sal: Shorea robusta (Gaertn.) (Diptérocarpacées). Sciences pharmaceutiques. 1992. dumas-03161074

HAL Id: dumas-03161074

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03161074>

Submitted on 5 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance.

La propriété intellectuelle du document reste entièrement celle du ou des auteurs. Les utilisateurs doivent respecter le droit d'auteur selon la législation en vigueur, et sont soumis aux règles habituelles du bon usage, comme pour les publications sur papier : respect des travaux originaux, citation, interdiction du pillage intellectuel, etc.

Il est mis à disposition de toute personne intéressée par l'intermédiaire de [l'archive ouverte DUMAS](#) (Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance).

Si vous désirez contacter son ou ses auteurs, nous vous invitons à consulter la page de DUMAS présentant le document. Si l'auteur l'a autorisé, son adresse mail apparaîtra lorsque vous cliquerez sur le bouton « Détails » (à droite du nom).

Dans le cas contraire, vous pouvez consulter en ligne les annuaires de l'ordre des médecins, des pharmaciens et des sages-femmes.

Contact à la Bibliothèque universitaire de Médecine Pharmacie de Grenoble :

bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr

2^e exemplaire

UNIVERSITE Joseph FOURIER GRENOBLE I
Sciences Technologie Médecine

U.F.R. DE PHARMACIE
Domaine de la Merci - La Tronche

Année: 1992

N° d'Ordre 7014

LE SAL:
***SHOREA ROBUSTA* (GAERTN.)**
(DIPTEROCARPACEES)

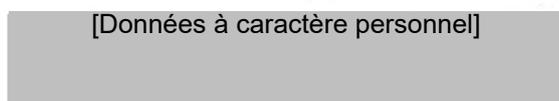
THESE

Présentée à l'UNIVERSITE Joseph FOURIER GRENOBLE I
pour obtenir le grade de DOCTEUR EN PHARMACIE

par:

Anne MATHIEZ (épouse CLERC)

[Données à caractère personnel]



115 012555 0

Cette thèse sera soutenue publiquement le 10 mars 1992

devant

Madame le Professeur Anne-Marie MARIOTTE, Présidente du Jury

Monsieur le Professeur Jean-François DOBREMEZ, *Géologie*

Monsieur Xavier CHABOUD, Pharmacien



UNIVERSITE Joseph FOURIER GRENOBLE I
Sciences Technologie Médecine

U.F.R. DE PHARMACIE
Domaine de la Merci - La Tronche

Année: 1992

N° d'Ordre:

LE SAL:
***SHOREA ROBUSTA* (GAERTN.)**
(DIPTEROCARPACEES)

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE Joseph FOURIER GRENOBLE I
pour obtenir le grade de DOCTEUR EN PHARMACIE

par:

Anne MATHIEZ (épouse CLERC)

[Données à caractère personnel]

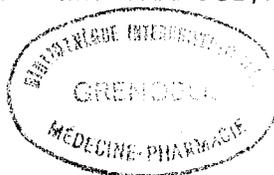
Cette thèse sera soutenue publiquement le 10 mars 1992

devant

Madame le Professeur Anne-Marie MARIOTTE, Présidente du Jury

Monsieur le Professeur Jean-François DOBREMEZ

Monsieur Xavier CHABOUD, Pharmacien



Je dédie ce travail à mes parents, en reconnaissance de toute l'affection et le soutien qu'ils m'ont apportés.

A ma soeur, avec toute ma tendresse.

A mon papy, pour son soutien et ses encouragements.

A ma mamy qui me manque.

A mon grand-père et à Guiguite.

A mes dynamiques beaux-parents.

A Madame Georges.

A la mémoire de mes grands-parents.

A la mémoire de la mémé et du pépé du Pont-Rouge.

A mes amis et tous ceux qui attendaient cette thèse depuis trop longtemps.

Avec une pensée toute particulière pour Dominique.

Armel, toi seul sait tout ce que je te dois et ne le saura jamais.

Merci d'avoir toujours été là.

A Madame A.M. Mariotte, Professeur de Pharmacognosie, qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse. Je lui exprime ma plus vive reconnaissance pour son aide et ses précieuses corrections. Je voudrais la remercier ici pour sa disponibilité, ses stimulants encouragements et sa grande gentillesse.

A Monsieur le Professeur J.F. Dobremez, qui a accepté de faire partie de mon jury.

Je tiens à le remercier pour l'intérêt et la note d'exotisme qu'il a apportés à ce sujet.

A mon maître de stage, Monsieur X. Chaboud, Pharmacien, qui m'a fait bénéficier de son expérience professionnelle.

Je le remercie d'avoir accepté d'être membre de mon jury.

Je voudrais aussi remercier Madame Vigny, pour son aide, sa gentillesse et sa patience; Monsieur Guichard qui m'a permis d'accéder à l'herbier du laboratoire de botanique de l'Université Joseph Fourier, ainsi que Madame Nelly Bennett et son équipe, pour toutes les fois où je les ai dérangées indirectement...

SOMMAIRE

SOMMAIRE**I/ INTRODUCTION (p.7).****II/ BOTANIQUE (p.8-29).**

1/ Place dans la systématique (p.8).

2/ Problème taxonomique de l'ordre (p.8).

3/ Généralités sur la famille des Diptérocarpacées (p.11)

A/ Caractéristiques (p.12).

B/ Les différents genres (p.14).

C/ Répartition (p.16).

4/ Le genre *Shorea*, Roxb (p.16).

A/ Classification botanique du genre (p.16).

B/ Description (p.19).

C/ Répartition (p.19).

5/ *Shorea robusta*, Gaertn (p.19).

A/ Nom vernaculaire (p.19).

B/ Description (p.20).

C/ Répartition (p.24).

D/ Culture - Sylviculture (p.24).

III/ CHIMIE (p.30-71).

1/ Les graines (p.31).

A/ Le beurre de sal (p.33).

a/ Obtention du beurre de sal (p.33).

b/ Fractionnement (p.34).

- c/ Propriétés physico-chimiques (p.36).
 - i/ L'indice d'acide.
 - ii/ L'indice de saponification.
 - iii/ L'indice d'iode.
 - iiii/ L'insaponifiable.
- d/ Les constituants du beurre de sal (p.39).
 - i/ Les triglycérides.
 - ii/ Les DHS-TG.
 - iii/ Les acides gras.
 - iiii/ L'insaponifiable.
- B/ Les tourteaux (p.57).
 - a/ Les tanins (p.57).
 - i/ Structures.
 - ii/ Extraction et identification.
 - b/ Acide organique: l'acide shorbique (p.62).
 - i/ Structure.
 - ii/ Extraction.
 - iii/ Identification.
 - c/ Benzofuranone: 2-(2-acide iminoacétique)-3-(2H)
-benzofuranone (p.64).
 - i/ Structure.
 - ii/ Extraction.
 - iii/ Identification.
 - d/ Amidon (p.66).
 - i/ Structure.
 - ii/ Extraction.
 - iii/ Identification.
 - e/ Les protéines (p.68).

2/ Les autres parties de sal (p.68).

A/ La résine ou damnar (p.68).

B/ Les tanins de l'écorce (p.69).

3/ Conclusion (p.70).

IV/ TOXICOLOGIE (p.72-85).

1/ Introduction (p.72).

2/ Etude toxicologique de la graine de sal (p.72).

3/ Etude toxicologique et nutritionnelle du beurre de sal
(chez le rat) (p.80).

V/ UTILISATIONS (p.86-106).

1/ Utilisations dans l'alimentation humaine (p.86).

A/ Le beurre de sal et les autres corps gras (p.87).

B/ Le beurre de sal comme substitut du beurre
de cacao (p.91).

2/ Utilisations dans l'alimentation animale (p.96).

A/ Chez les volailles (p.96).

B/ Chez le bétail (p.97).

3/ Utilisation en cosmétologie (p.97).

4/ Utilisations diverses en Inde (p.104).

A/ Le bois (p.104).

B/ Les feuilles (p.105).

C/ La résine (p.105).

D/ L'écorce (p.105).

E/ Les graines - Le fruit (p.106).

VI/ CONCLUSION (p.107-111).

VII/ BIBLIOGRAPHIE (p. 112-123).

INTRODUCTION

I/ INTRODUCTION

C'est la lecture d'une composition cosmétique qui m'a amenée à rassembler les données bibliographiques concernant *Shorea robusta*, Gaertn, famille des Diptérocarpacées. En pensant que *Shorea robusta* n'était qu'une source de corps gras de plus, j'ai appris que *Shorea robusta* appelé le sal dans toute l'Asie tropicale, est un arbre très commun qui cache de nombreuses ressources. Son bois, ses feuilles, sa résine, son écorce et ses fruits sont utilisés dans des domaines très divers.

Ce sont surtout les graines de ses fruits qui sont étudiées, puisque ce sont elles qui donnent la graisse ou beurre de sal. Cette graisse, utilisée en Europe dans des produits cosmétiques, est en Inde (et même dans certains pays d'Europe), un substitut du beurre de cacao.

Après avoir présenté l'aspect botanique de *Shorea robusta*, la chimie des graines, et donc celle des corps gras, est développée. Viennent ensuite deux études toxicologiques puisque le beurre de sal est consommé tant par les hommes que par les animaux d'élevage. Enfin, un dernier chapitre sur les utilisations de sal montre les multiples facettes de cet arbre plein de surprises.

BOTANIQUE

II/ BOTANIQUE

1/ Place dans la systématique.

Tous les auteurs sont d'accord pour placer *Shorea robusta* dans la famille des Diptérocarpacées (qui veut dire fruit à deux ailes) (Stoors A & J, 1984; Hutchinson, 1973; Wettstein, (fin XIX^{ème} siècle); Chadeaud & Emberger, 1960; Crété, 1965; Imbesi, 1964; Tackhtajan, 1986).

Par contre la famille des Diptérocarpacées est rattachée à différents ordres selon les auteurs.

La figure "Place dans la systématique" (figure 1) permet d'avoir une vue d'ensemble quant à l'embranchement, le sous-embranchement, la classe, la sous-classe, etc...

2/ Problème taxonomique de l'ordre.

Les auteurs, selon leur époque et leur école, ne classent pas la famille des Diptérocarpacées dans le même ordre. Voici les différents classements rencontrés:

Wettstein (fin XIX^{ème} siècle).

Ordre	Familles
Guttiférales	Dilléniacées
	Ochnacées
	Théacées
	Guttifères
	Diptérocarpacées

Place dans la systématique

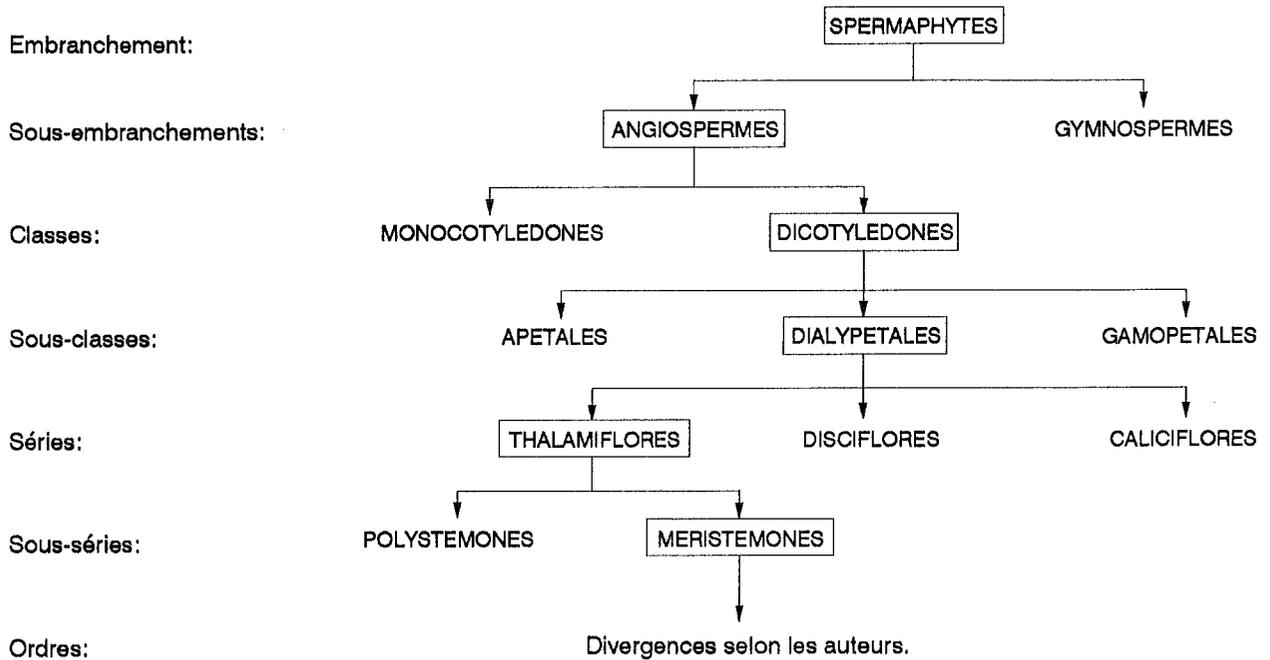


Figure 1.

Crété (1965).

Ordre	Familles
Guttiférales	Elatinacées
	Hypéricacées
	Clusiacées
	Diptérocarpacées
	Actinidiacées
	Ternstroemiacées (Théacées)
	Marcgraviacées

Chadefaud & Emberger (1960).

Ordre	Familles
Pariétales typiques	Dilléniacées
	Actinidiacées
	Sauraujacées
	Eucryphiacées
	Médusagynacées
	Ochnacées
	Strasburgériacées
	Caryocaracées
	Marcgraviacées
	Théacées
	Guttifères
	Diptérocarpacées
	.
	.
	.

Hutchinson (1973).

Ordres	Familles
Ochnales	Diegodendracées
	Strasburgériacées
(les Guttiférales sont rattachées à l'ordre des Théales, et les Ochnales dériverent des Théales)	Ochnacées
	Sarcolénacées
	Sphérosépalacées
	Diptérocarpacées
	Ancistrocladacées

Takhtajan (1986).

Takhtajan est un botaniste moderniste qui adopte une classification particulière:

Division:	Magnoliophytes
Classe:	Magnoliopsides (correspond aux Dicotylédones)
Sous-classe:	Dilléniidées
Super-ordre:	Malvanées
Ordre:	Malvales
Famille:	Diptérocarpacées

3/ Généralités sur la famille des Diptérocarpacées.

C'est une famille qui comprend plusieurs centaines d'espèces (570 selon Takhtajan, 1986), réparties en une vingtaine de genres (15 selon Takhtajan, 1986).

Cette famille rassemble exclusivement des arbres des régions tropicales d'Asie du Sud et du Sud-Est, sauf deux genres que l'on rencontre en Afrique tropicale (*Marquesia* et *Monotes*) et un genre en Guyane (*Pakaraimae*) (Takhtajan, 1986).

A/ Caractéristiques.

Ce sont des arbres résineux, rarement grimpants. Les canaux sécréteurs à oléo-résine sont localisés dans les tiges, sur le pourtour de la moelle, dans le bois secondaire; il s'en trouve également dans le liber et dans l'écorce.

Beaucoup d'espèces sont utilisées pour leur résine. *Shorea wiesneri* (originaire de Sumatra), par exemple, fournit la résine de damnar, mais sous ce nom, on trouve également, dans le commerce, des résines provenant d'autres espèces des genres *Shorea* et *Hopea*.

Dryobalanops aromatica (Gaertn) qui pousse surtout à Bornéo et à Sumatra, fournit le camphre de Bornéo ou bornéol dont la cétone correspondante est le camphre. Il est utilisé dans l'Est de l'Asie en médecine mais aussi pour la fabrication des vernis et dans les cérémonies d'embaumement. En occident, c'est surtout dans la chimie des parfums qu'il est employé.

Vateria indica donne le Copal inden, et *Vateria acuminata* une résine similaire.

Enfin, les bois de certaines Diptérocarpacées, telles que ceux des *Shorea*, des *Dipterocarpus*, sont assez demandés sur le marché mondial, plus pour la bonne forme et la longueur de leurs troncs que pour leurs qualités décoratives (Crété, 1965; Diaz et coll., 1966).

Les feuilles des Diptérocarpacées sont isolées, alternes, simples, à bords entiers, stipulées (voir figure 2). Les stipules sont habituellement petites et caduques, ou bien peu apparentes, quelquefois larges et persistantes, laissant une trace annuelle (cicatrice).

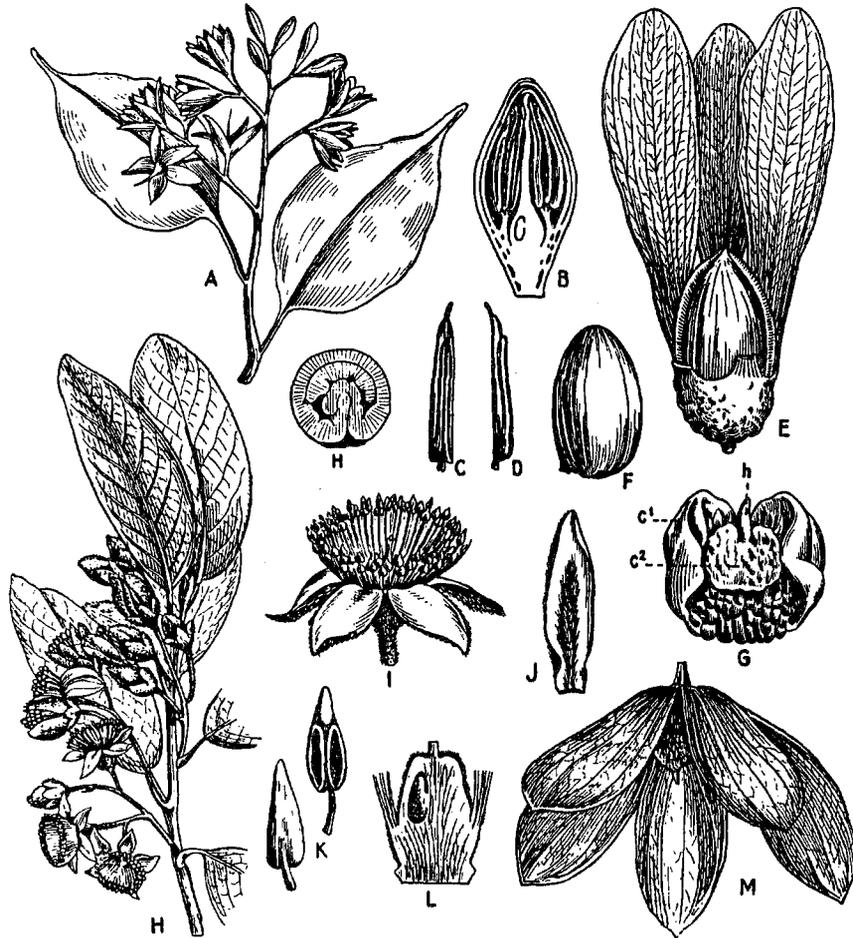


Figure 2: Diptérocarpacées. A à G, *Dryobalanops aromatica* Gaertn. A, rameau fleuri; B, coupe de la fleur; C & D, étamine vue de face et par le côté; E, fruit entouré de son calice accrescent ailé (2 sépales et un des 3 carpelles enlevés); F, graine; G, embryon représenté étalé: le grand cotylédon (C^1) enroule le petit (C^2), h = hypocotyle. H à M, *Monotes africanus* DC. H, rameau fleuri; I, fleur; J, pétale vu de sa face interne; K, étamine de dos et de face; L, gynécée en coupe; M, fruit entouré du calice accrescent (d'après Brandis, Dyer, Gilg, Pierre).

Les fleurs sont très odorantes: à l'époque de la floraison, les forêts à *Shorea* embaument d'un délicieux parfum. Elles se présentent en épis, en grappes axillaires ou terminales ou bien en panicules. Ce sont des fleurs hermaphrodites, de type 5: cinq sépales parfois dimorphes, presque toujours accrescents, cinq pétales libres ou soudés à la base (rarement davantage). Les étamines à connectif souvent très allongé, filiforme, sont au nombre de quinze, vingt, cinquante ou en nombre indéterminé (les épisépales sont presque toujours libres) (voir figure 2).

Le gynécée est supère, rarement semi-infère, formé de trois carpelles ayant chacun deux ovules bitégumentés en placentation axile (ovules anatropes). On observe parfois un court androgynophore (voir figure 2).

Le fruit est un akène enveloppé par le calice persistant dont les cinq lobes ou, seulement deux ou trois s'allongent en forme d'ailes. La graine est habituellement exalbuminée et les embryons ont des formes très diverses (voir figure 2) (Chadefaud & Emberger, 1960).

B/ Les différents genres.

Il me paraît utile de préciser ici quelques points. Les botanistes n'étant pas d'accord quant à l'ordre d'appartenance de la famille des Diptérocarpacées, ils ne le sont pas non plus au niveau des genres. Le problème vient en fait des deux genres africains: *Marquesia* (Gilg) et *Monotes* (A.DC.). Engler (1964) résoud le problème de la façon suivante: il divise la famille des Diptérocarpacées en deux sous-familles.

La première, celle des Monotoïdées comprend seulement les deux genres africains: *Marquesia* (Gilg) et *Monotes* (A.DC.), dont moins d'une trentaine d'espèces sont connues. Ces deux genres diffèrent du reste de la famille par l'absence de canaux à résine.

La seconde sous-famille est celle des Diptérocarpoïdées qui correspond sensiblement quant aux genres qu'elle comprend, à la famille des Diptérocarpacées reconnue par les autres botanistes (sans *Marquesia* (Gilg) et *Monotes* (A.DC.), bien sûr) (Diaz & Coll., 1966; Bisset & coll., 1966).

Selon Hooker (1874), la famille des Diptérocarpacées se répartit en neuf genres selon le calice:

*** Calice très développé dans le fruit - Segments dressés.**

. Calice dans le fruit avec un tube distinct:

- fruit libre*Dipterocarpus*

- fruit soudé au calice

.Tous les lobes du calice développés.

5 ou 10 étamines - Ovaire en une partie*Ancistrocladus* ?

.2 lobes du calice développés

Etamines nombreuses - ovaire en 3 loges*Anisoptera*

. Calice dans le fruit avec un tube invisible:

- Floraison du calice subvalvaire, 15 étamines*Vatica*

- floraison imbriquée du calice

.3 ou tous les segments du calice développés,

15 étamines ou plus*Shorea*

.2 segments du calice développés,

10 ou 15 étamines*Hopea*

.2 segments du calice développés,

15 étamines, avec un appendice émoussé*Doona*

* Calice à peine développé dans le fruit.

.15 étamines ou plus.....*Vateria*

.5 étamines.....*Monoporandra*

C/ Répartition.

La famille des Diptérocarpacées comprend des arbres de grande taille, répartis de l'Afrique tropicale à l'Asie du Sud et du Sud-Est (en Afrique seulement les deux genres *Monotes* et *Marquesia* sont présents) (voir figure 3).

En Asie, les Diptérocarpacées sont localisées surtout dans la partie inter-tropicale et les groupes d'îles adjacentes (Inde, Chine du Sud, Philippines, Nouvelle Guinée, Indonésie, et aussi l'île de Bornéo et l'archipel malais) (voir figure 3).

4/ Le genre *Shorea*, Roxb.

A/ Classification botanique du genre.

La classification botanique usuelle du genre *Shorea* est fondée principalement sur les travaux de Symington (1943). Ses observations, ainsi que celles de garde-forestiers malais, de Meijer (1962) et de Whitmore (1962), ont conduit à diviser le genre *Shorea* en quatre sous-genres:

Shorea

Anthoshorea Heim ex Brandis

Richetia Sym.

Rubroshorea W. Meijer

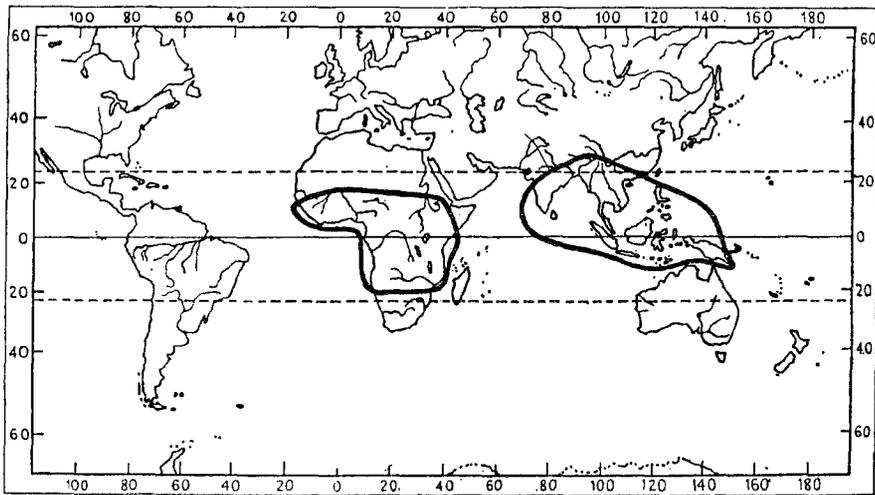


Figure 3: Répartition de la famille des Diptérocarpées
(Hutchinson, *The families of flowering plants*, 1973).

Ashton (1962 & 1967) propose une classification en sections:

Section 1. *Shorea* (a) sous-section *Shorea* (36 espèces).

(b) sous-section *Barbata* Sym. ex Ashton
(9 espèces).

Section 2. *Neohopea* Ashton (1 espèce).

Section 3. *Richetioides* Heim (a) sous-section *Richetoides*
(30 espèces).

(b) sous-section *Polyandrae*
Ashton (1 espèce).

Section 4. *Rubella* Ashton (1 espèce).

Section 5. *Anthoshorea* Heim (26 espèces).

Section 6. *Ovalis* Sym. ex Ashton (1 espèce).

Section 7. *Mutica* Brandis (a) sous-section *Mutica*
(20 espèces).

(b) sous-section *Auriculatae* Ashton
(6 espèces).

Section 8. *Pachycarpa* Heim (8 espèces).

Section 9. *Brachyptera* Heim (a) sous-section *Brachyptera*
(22 espèces).

(b) sous-section *Smithiana* Ashton
(1 espèce).

Les sections 4 et 6 à 9 d'Ashton correspondent au sous-genre *Rubroshorea* de Meijer.

B/ Description.

- Arbres résineux ou pubescents
- Feuilles entières, veinées comme une plume, avec les réticulations intermédiaires souvent peu apparentes.

Stipules larges coriaces et persistantes, ou minuscules et alors fugaces.

- Fleurs en panicule flasque terminal ou axillaire, bractées persistantes, caduques ou inexistantes.

Calice très court, adné au réceptacle, segments ovés ou lancéolés, imbriqués.

Etamines au nombre de quinze ou vingt à cent.

Anthères ovées ou oblongues, rarement linéaires.

Ovaire à trois loges cellées, avec deux ovules par loge.

Capsule coriace, (comme du cuir), indéhiscente, avec une graine, entourée tout près par le calice accrescent (en trois segments). Cotylédons charnus, inégaux (Hooker, 1874).

C/ Répartition.

C'est environ quarante espèces de *Shorea* qui sont réparties en Asie tropicale et dans l'archipel indien (voir figure 3).

5/ *Shorea robusta*, Gaertn.**A/ Nom vernaculaire.**

Shorea robusta est appelé communément le sal.

B/ Description.

Le sal est un grand arbre qui atteint généralement vingt-cinq mètres de haut, mais qui peut grandir jusqu'à trente ou quarante-cinq mètres.

Cet arbre caduque perd rarement toutes ses feuilles. Son feuillage lui donne une apparence caractéristique.

L'écorce des jeunes arbres est lisse, gris foncé tacheté, tandis que celle des vieux arbres est rugueuse, marron et profondément fissurée (voir photographies 1 & 2).

Les feuilles sont simples, alternes, résistantes et coriaces, et d'aspect brillant à maturité. Elles sont oblongues ou ovées, acuminées à la base en forme de coeur, glabres à nervures latérales parallèles (environ douze paires de nervures), et leur largeur varie de dix à trente centimètres, avec un pétiole de deux centimètres environ (voir photographies 3 & 4 et figure 4).

Les fleurs, très odorantes, apparaissent entre mars et avril. Ce sont de petites fleurs veloutées sessiles, jaune pâle, arrangées en panicules légèrement pendants. Ces panicules de fleurs terminales ou axillaires, mesurent de treize à vingt trois centimètres de long.

Les pétales, jaune pâle, d'environ un centimètre de long et en pointe, montrent douze à treize nervures (voir photographie 3 et figure 4).

Les anthères oblongues portent un appendice barbu.

Les étamines sont au nombre de vingt ou plus, jusqu'à cinquante.

L'ovaire est pubescent (stigmate à trois denticules) (voir figure 4).



Photographie 1: *Shorea robusta* (forêt pure dans l'Ouest du Népal, 18 avril 1974).



Photographie 2: Défrichements en zone tropicale du Nord de l'Inde; les grands arbres (ici un *Shorea robusta*) sont cerclés avant de brûler sur pied (13 avril 1974).



Photographie 3: Feuilles et fleurs de *Shorea robusta* (Népal, Est du Terai, 600 mètres d'altitude, 12 avril 1974). Herbarium du laboratoire de botanique de l'Université Joseph Fourier, Grenoble.

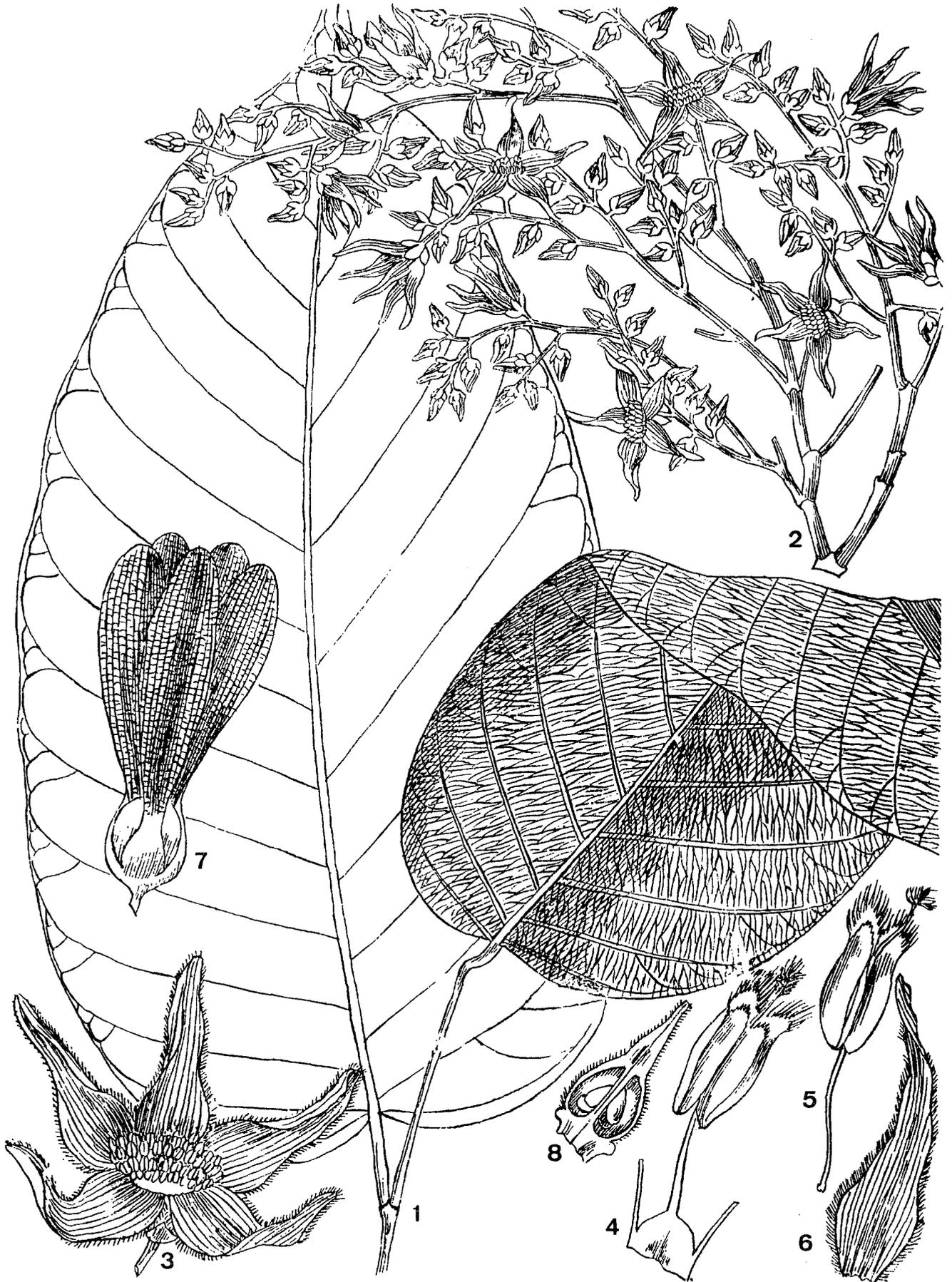


Figure 4: *Shorea robusta*, Gaertn.

1, feuilles; 2, panicule de fleurs; 3, fleur; 4 & 5, étamine vue de face et en coupe; 6, pétale; 7, fruit entouré de ses cinq ailettes; 8, pistil vu en coupe (Basu B. D., Indian medicinal plants, 1918).

Le fruit est un petit akène de un centimètre de diamètre, ovale avec un long appendice, charnu et couvert d'un duvet blanc. Il est entouré de cinq ailettes de six centimètres chacune, qui sont larges au sommet et pointues à la base. Le fruit est composé de l'amande (50 %), de l'enveloppe (30 %), et de la coquille (20 %) (voir photographies 4 & 5 et figure 4) (Hooker, 1874; Storrs A & J, 1984).

C/ Répartition.

Le sal est, par excellence, l'arbre des régions tropicales d'Asie et des basses altitudes (pour le pays). Il pousse sur les contreforts de l'Himalaya jusqu'au Nord-Est de la péninsule indienne, et ceci de cinq cents à mille cinq cents mètres d'altitude.

Voir la carte de l'aire de répartition (figure 5), et la carte de l'aire détaillée de répartition du sal dans les pays de l'Himalaya (figure 6).

En Inde, où le sal représente 13 à 14 % du total des forêts, il pousse dans les provinces du Nord, du Nord-Est et du Centre qui sont l'Orissa, le Bihar, le Madhya Pradesh et l'Uttar Pradesh.

D/ Culture - Sylviculture.

Les forêts où poussent le sal sont fraîches et attirantes, odorantes au printemps grâce aux fleurs. Il est aisé de s'y promener puisqu'il n'y pousse pas d'autres petits arbustes (voir photographie 1).

Ces zones présentent une température élevée: moyenne annuelle



Photographie 4: Jeunes fruits de *Shorea robusta* (Népal, étage tropical supérieur, 15 mai 1969).



Photographie 5: Fruits de *Shorea robusta* (Est du Népal, 750 mètres d'altitude, 13 mai 1969). Herbarium du laboratoire de botanique de l'Université Joseph Fourier, Grenoble.

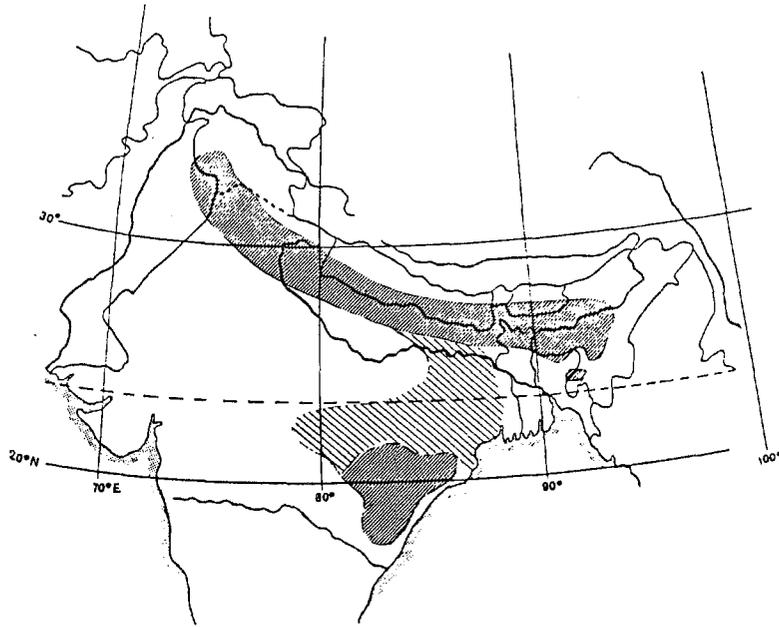


Figure 5: Aire de répartition de *Shorea robusta* Gaertn. Dans les zones en hachures fines (Sud de l'Himalaya, Orissa), l'espèce est largement répandue; entre les deux, les stations sont dispersées, *Shorea robusta* est endémique du Nord du subcontinent indien (Dobremez, Le Népal: Ecologie et Biogéographie, 1976).

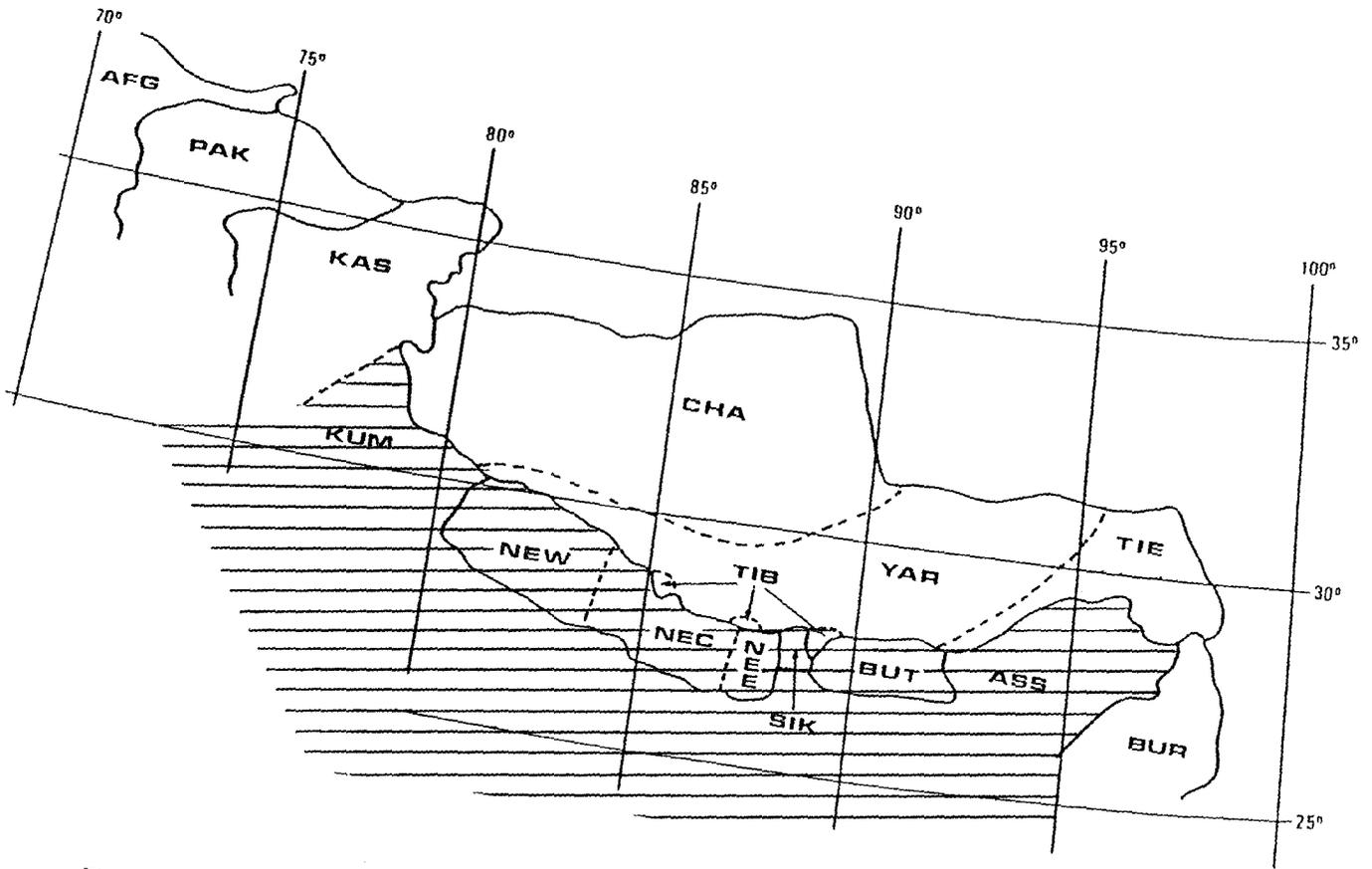


Figure 6: Aire détaillée de répartition de *Shorea robusta* dans les pays de l'Himalaya (hachures) (thèse de Monsieur Dobremez, 1972).

AFG: Afghanistan / ASS: Assam et Arunachal Pradesh / BUR: Burma Nord / BUT: Bhutan /
 CHA: Chantang (haut plateau tibétain) / KAS: Kashmir / KUM: Kumaon et Gahrwal / NEC:
 Népal Centre / NEE: Népal Est / NEW: Népal Ouest / PAK: Pakistan / SIK: Sikkim / TIB: Tibet
 Sud / TIE: Tibet Est / YAR: Vallée de Yarlung-Tsangpo.

de 20 à 21°C, et une humidité moyenne. L'excès d'eau est en effet le facteur limitant de la croissance du sal, on le trouve très rarement dans les zones à fortes précipitations ou près des fleuves.

Différentes catégories de forêts de sal ont été établies: celles où les arbres sont hauts (trente à quarante mètres) et forts notamment dans le Terai (basses vallées des contreforts himalayens au Nord du Népal) où l'on trouve de larges forêts peuplées uniquement de sal, et celles où le sal n'excède pas quinze mètres de haut (forêts près des vallées à rivières, plus au centre du Népal).

Le sal croît sur un large éventail de types de sols (sauf sur les sols gravelleux et sablonneux près des lits des rivières, et sauf sur les sols argileux, et sur les zones calcaires sans eau).

Les jeunes plants peuvent tolérer quelques gelées, cependant dans la plupart des zones à sal, les gelées sont rares. Les jeunes plants, exposés à des conditions défavorables, telles que le gel, la sécheresse ou le feu, meurent souvent. Cependant, la racine peut rester vivante et envoie alors chaque année de nouvelles pousses jusqu'à développer un rhizome très robuste qui produira alors un arbre. Ce processus peut demander entre trois et dix ans. Mais si les conditions sont satisfaisantes, les jeunes plants produisent une pousse qui continue de croître normalement. Cette façon de se comporter rend les jeunes plants considérablement résistants au feu.

Si les feux de forêts guettent le sal, l'homme aussi contribue à sa destruction puisque le sal est un arbre de construction, de chauffage, de fourrage. Ainsi des zones

entières de forêts sont dévastées afin d'utiliser le sal, ou alors c'est la déforestation pour augmenter la surface des terrains agricoles (déforestation légale ou illégale) (voir photographie 2). C'est ainsi, qu'il existe en Inde, des zones protégées de plantations artificielles de sal.

La récolte des fruits du sal dure trois semaines, de fin mai à la mi-juin (les fruits sont alors vert pâle, et les ailettes sèches et marron). Elle s'effectue en secouant légèrement les arbres. La récolte donne actuellement environ deux millions de tonnes de graines, mais il existe un potentiel d'environ cinq à six millions de tonnes. Les récoltes de graines sont variables, environ une année sur quatre est une bonne année, deux sur quatre sont moyennes, et une sur quatre est mauvaise (un kilogramme de graines représente entre cinq cents et mille fruits).

Ces graines sont donc, soit utilisées directement (voir chapitre "Utilisations"), soit utilisées pour la plantation. La germination des graines est rapide, et commence souvent quand les fruits sont encore sur l'arbre. Les graines perdent rapidement leur viabilité et doivent donc être semées au plus vite (seule l'humidité semble prolonger un peu la durée de vie des graines). Pour obtenir un jeune plant, deux graines sont plantées dans un petit pot dès le mois de juin; l'ombre n'est pas nécessaire, mais la taille (coupe) de la racine est recommandée pour qu'elle soit uniforme et robuste. Ainsi les jeunes plants seront prêts à être plantés à la moisson suivante. Si les conditions sont très favorables, la croissance peut être rapide, avec une hauteur de six mètres après cinq ans (Jackson, 1987).

CHIMIE

III/ CHIMIE

A côté de ses cultures d'oléagineux, l'Inde possède environ quatre-vingts espèces d'arbres produisant des oléagineux mais qui ne sont pas récoltés; ces arbres qui poussent de façon sauvage ou non, sont uniquement utilisés pour leur bois. La production des oléagineux étant bien inférieure à la demande sans cesse croissante, il a été nécessaire de chercher d'autres sources d'huiles végétales afin de satisfaire cette demande. C'est ainsi que les travaux des chercheurs indiens (et notamment ceux d'Hilditch & Zaky dès 1942), se sont orientés vers *Shorea robusta* et ses graines, puisqu'il représente l'une des sources "non traditionnelles" d'oléagineux les plus importantes.

Le sal est devenu un arbre à fort potentiel d'utilisations. En effet, outre son bois qui est employé en Inde et au Népal pour pratiquement toutes les constructions, ses graines sont utilisées maintenant en Inde afin de produire des corps gras. C'est la raison pour laquelle dans ce chapitre est exposé principalement la chimie des graines. Cependant, comme il a été précisé dans la partie botanique, la famille des Diptérocarpacées comprend des arbres résineux, et sal en est un. C'est pourquoi une brève partie sera consacrée à la résine sécrétée par le sal, appelée résine de damnar, et aux tanins de l'écorce.

1/ Les graines.

Les fruits de sal (graines ailées) contiennent les amandes ou graines vert sombre qui représentent 72 % du fruit (Yella Reddy & Prabhakar, 1986). Ces graines, une fois broyées, donnent d'un côté une graisse dure vert foncé (13 à 15 %) (Yella Reddy & Prabhakar, 1986), et de l'autre les tourteaux (encore appelés "cake" par les indiens) (Yella Reddy & Prabhakar, 1989). Les tourteaux contiennent de l'amidon, des tanins, des protéines, un acide organique et une benzofuranone. Les tourteaux constituent le sous-produit des graines, et sont utilisés comme aliment pour la volaille et le bétail, car ils sont riches en protéines et en glucides. Quant à la graisse de sal (ou beurre de sal), elle est essentiellement constituée par des triglycérides, triesters d'acides gras et du glycérol. Elle renferme en plus faible quantité des stérols, des terpènes, des tocophérols... Sous diverses influences, le beurre de sal s'altère: il contient alors des acides gras libres, des peroxydes... Le beurre de sal est le réel atout de cette graine puisqu'il est un substitut du beurre de cacao.

Il est utilisé notamment en cosmétologie (en Europe), ainsi que dans divers domaines de l'industrie agro-alimentaire (en Asie, et en Inde plus particulièrement). La Grande-Bretagne et le Danemark ont légitimé l'utilisation du beurre de sal comme substitut du beurre de cacao dans la limite de 5 % de la matière grasse (Soulier & coll., 1989).

Il est donc important de bien connaître la composition chimique de ce beurre de façon à déterminer d'éventuelles falsifications du chocolat et à déterminer sa valeur nutritionnelle.

Teneur en eau de la graine.

Avant de commencer l'étude des matières grasses du beurre de sal obtenu à partir des graines, il me paraît utile de s'arrêter quelque peu sur la graine elle-même.

Le dosage de l'humidité est délicat, la différence entre l'humidité et l'eau de constitution étant difficile à faire.

On entend par teneur en eau et en matières volatiles des graines oléagineuses, la perte de masse qu'elles subissent, lorsqu'elles sont soumises à dessiccation, jusqu'à masse pratiquement constante (Wolff, 1968).

Technique:

Dessiccation des graines à 60 +/- 5°C dans une étuve sous vide (Ramanna & Saramandal, 1984).

Résultats:

Les mesures sont faites sur des graines fraîches, commerciales (raffinées et blanchies), ou sur des échantillons plus vieux (Ramanna & Saramandal, 1984).

	Humidité (en %)
Graines fraîches	6,73 +/- 0,67
Graines commerciales	9,80 +/- 1,20
"Vieux" échantillons	8,53 +/- 0,10

Pour donner un ordre de comparaison, les graines de colza contiennent 6 à 12 % d'humidité, et les graines de sésame 3 à 5 % (Wolff, 1968).

A/ Le beurre de sal.

a/ Obtention du beurre de sal.

Par définition, l'huile (ou le beurre dans le cas de sal) c'est la totalité des lipides extraits de la graine par un solvant défini qui est en général l'hexane ou l'éther de pétrole (Wolff, 1968).

Ainsi la graisse de sal, obtenue après broyage des graines, est soumise à un épuisement par l'éther de pétrole dans un extracteur continu de type Soxhlet (Ramanna & Saramandal, 1984).

En 1969, Srinivasulu & Mahapatra étudient différentes procédures pour obtenir le beurre de sal. Ils utilisent comme solvant le n-hexane ou le tétrachlorure de carbone. Le rendement étant identique qu'il s'agisse du n-hexane ou du tétrachlorure de carbone, c'est donc le n-hexane ou l'éther de pétrole qui sont utilisés préférentiellement (le tétrachlorure de carbone est plus toxique que les deux autres solvants).

La graisse jaune vert obtenue donne des rendements différents selon les auteurs:

* 19 à 20 % selon Reddy & coll., 1976.

* 13 à 15 % selon Yella Reddy & Prabhakar, 1986.

Elle est purifiée ou raffinée. Le raffinage d'un corps gras vise à éliminer de ce dernier un certain nombre de constituants non glycéridiques comme les phosphatides et les acides gras libres.

En outre, les corps gras bruts contiennent de l'eau qui ne se retrouvera pas dans le corps raffiné.

La graisse de sal est décolorée par passages successifs sur la terre de Fuller décolorante ou sur colonne d'alumine et blanchie par alcali (Wolff, 1968; Grover & coll., 1985).

b/ Fractionnement.

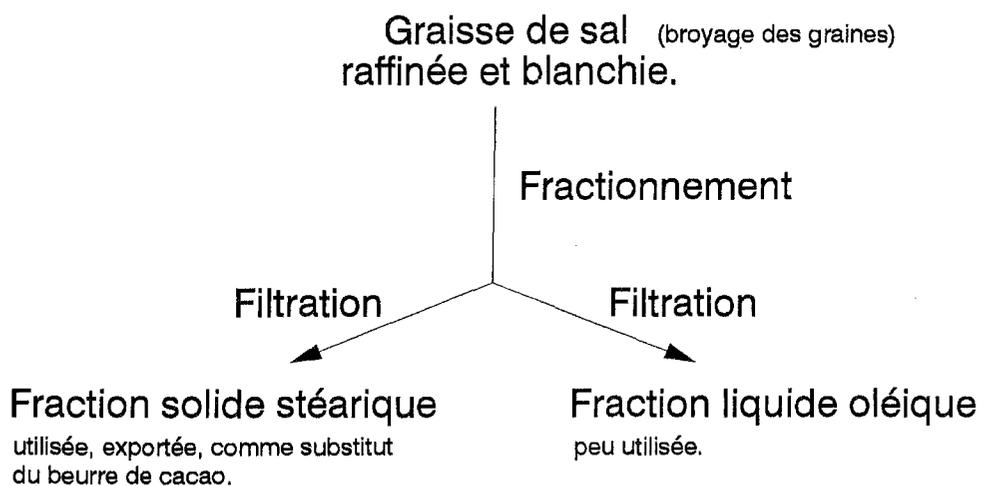
Le fractionnement, dans l'industrie des corps gras, est une opération ayant pour but d'obtenir, à partir d'une graisse, une huile alimentaire fluide et une fraction plus dense, souvent utilisée en savonnerie, dans l'industrie cosmétique ou pour certains usages alimentaires (par exemple justement comme substitut du beurre de cacao).

Dans le cas du sal plusieurs éventualités peuvent se présenter:

- soit la graisse de sal est consommée telle quelle, simplement après raffinage et blanchiment, de cette manière elle est moins chère.
- soit la graisse subit le fractionnement.

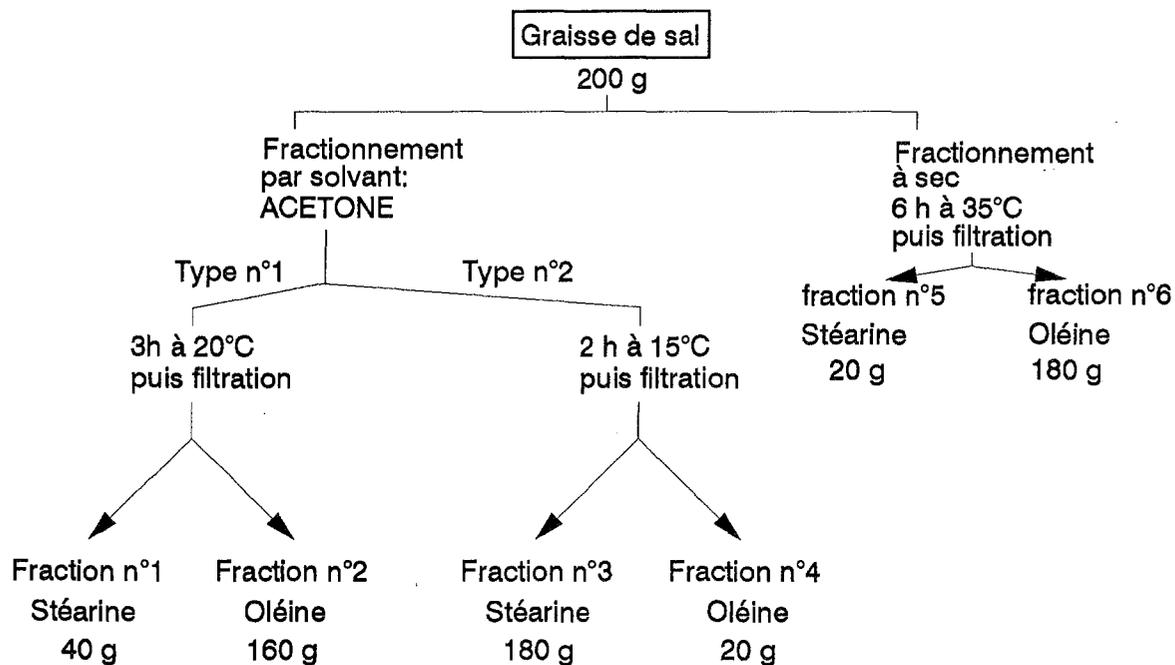
Celui-ci fournit deux fractions bien distinctes: une fraction solide stéarique et une fraction liquide oléique (voir figure 7).

La fraction solide stéarique est exportée vers l'Europe ou le Japon où elle est vendue comme substitut du beurre cacao ou pour être incorporée dans des préparations cosmétiques (voir



Adhikari & Adhikari, 1989

Figure 7: Principe du fractionnement.



Yella Reddy & Prabhakar, 1985

Figure 8: Différents procédés de fractionnement.

chapitre "Utilisations"). L'Inde utilise également cette fraction stéarique dans l'industrie du chocolat. Depuis quelques années (1989), l'Inde a trouvé une utilisation à la fraction liquide oléique, qui était jusqu'alors le sous-produit du fractionnement et qui n'était pas utilisée, tout comme la fraction oléique d'autres graines. En effet, la graisse de sal, n'est pas le seul corps gras à subir le fractionnement. *Madhuca indica* et *Madhuca butyracea* (famille des Sapotacées), aussi utilisées comme substitut du beurre de cacao, subissent le fractionnement. L'Inde se trouve alors avec des quantités de fractions oléiques inutilisées, et perdues.

Il faut aussi ajouter que selon la méthode de fractionnement employée, la proportion des deux fractions n'est pas identique (voir figure 8). Un fractionnement à sec privilégie la fraction oléique, ce qui n'est pas souhaitable. D'après Adhikari S. & J. (1989), la fraction oléique peut être utilisée. Elle peut même être stockée pendant quatre à cinq mois sans anti-oxydant, ou pendant seize à dix-huit mois avec 0,01 % de tertio-butyl hydroquinone. Elle peut servir directement comme huile de friture, ou bien en mélange avec d'autres huiles comme huile d'assaisonnement.

c/ Propriétés physico-chimiques du beurre de sal.

Les différentes valeurs physico-chimiques du beurre de sal avant et après raffinage sont énumérées ci-dessous (ce sont des valeurs moyennes).

	Beurre de sal brut	Beurre de sal raffiné
Indice d'acide	4,2	0,53
Indice de saponification	190	190
Indice d'iode	40	42
Insaponifiable	2,3	1,8

(Srinivasulu & Mahapatra, 1969; Sundaravalli & coll., 1978; Grover & coll., 1985)

Quelques précisions sont nécessaires pour saisir la signification de ces critères physico-chimiques.

i/ L'indice d'acide.

Les corps gras, en s'hydrolysant naturellement donnent naissance à des acides gras libres et à du glycérol. Dans la plupart des corps gras, le glycérol est rapidement détruit au cours du stockage, et les corps gras bruts ne contiennent plus de glycérol libre.

La mesure de l'acidité libre d'un corps gras est un des meilleurs moyens de déterminer son altération par hydrolyse. La teneur en acides gras libres d'une matière grasse s'exprime par l'indice d'acide, qui est le nombre de milligrammes de potasse (KOH) nécessaires pour neutraliser l'acidité d'un gramme de corps gras.

L'indice d'acide du beurre de sal est de 4,2 pour le non raffiné, et 0,53 pour le raffiné. Ces valeurs suggèrent que lors du raffinage, il y a élimination des acides gras libres de la matière grasse brute.

ii/ L'indice de saponification.

C'est le nombre de milligrammes de potasse nécessaires pour transformer en savon les acides gras et les glycérides d'un gramme de corps gras (norme AFNOR). Lors de la détermination de l'indice de saponification des triglycérides, il y a également détermination de l'indice de saponification des glycérides partiels (mono ou diglycérides), des esters de mono-alcool, et des acides gras. Les valeurs obtenues lors de ce dosage "global" des corps sont égales (190 dans les deux cas) que le beurre soit raffiné ou non. Ceci prouve que lors du processus de raffinage du beurre de sal, il n'y a aucune perte de corps gras.

iii/ L'indice d'iode.

C'est le nombre de grammes d'iode fixés par cent grammes de corps gras (norme AFNOR).

Les liaisons éthyléniques, en particulier celles des acides gras, fixent les halogènes. Cette réaction d'addition peut être utilisée pour déterminer quantitativement l'insaturation globale des chaînes grasses (Wolff, 1968).

La valeur de l'indice d'iode est légèrement plus élevée après raffinage (42) qu'avant (40).

Il y a donc eu une légère oxydation lors du processus de raffinage.

iiii/ L'insaponifiable.

On appelle insaponifiable l'ensemble des constituants, naturels ou accidentels, qui ne réagissent pas avec la soude ou la potasse pour donner des savons, et qui après

saponification restent solubles dans les solvants classiques des corps gras (hexane, oxyde diéthylique,...).

L'insaponifiable comprend les substances insaponifiables des matières grasses (stéroïls, carbures d'hydrogène, résines,...) ainsi que les substances organiques non volatiles à 100°C (huiles minérales,...) étrangères aux matières grasses, mais qu'elles peuvent éventuellement contenir (Wolff, 1968).

Dans le cas de sal, au cours du raffinage sont éliminés quelques corps comme les stéroïls et les résines. En effet, l'insaponifiable passe de 2,3 à 1,8.

d/ Les constituants du beurre de sal.

Les triglycérides, composés majeurs du beurre de sal seront présentés en premier. Différentes méthodes d'obtention et d'analyse des triglycérides sont proposées selon les auteurs.

Ensuite, seront présentés les acides gras, constituants des triglycérides.

i/ Les triglycérides.

*** Séparation des triglycérides en fonction de leur degré d'insaturation.**

Les triglycérides sont séparés en fonction de leur nombre de doubles liaisons sur colonne de Kiesegel (70 %) et AgNO_3 (30 %).

En utilisant le benzène comme solvant d'élution, il est possible de séparer les triglycérides mono-insaturés, di-insaturés et tri-insaturés.

Puis l'analyse des triglycérides en fonction de la nature des acides gras est réalisée par HPLC (chromatographie liquide haute pression ou performance), à l'aide d'une colonne de type RP 18 5 μ (25 cm de long et 4 mm de diamètre intérieur), l'éluant est le propionitrile. La fraction triglycéridique a été trans-estérifiée par le méthanol en présence de méthylate de sodium, et les esters méthyliques d'acides gras (EMAG) sont analysés par CPG (chromatographie en phase gazeuse) (Wolf, 1968; Soulier & coll., 1989).

La composition pondérale des triglycérides du beurre de sal selon Soulier & coll., 1989 est présentée ci-dessous:

OOO.....3,6 %	SSL.....2,0 %
SOL.....1,3 %	POS.....10,0 %
POO.....2,9 %	OOA.....4,9 %
PSL.....1,1 %	SOS.....40,0 %
POP.....0,8 %	SOA.....16,1 %
SOO.....14,7 %	

avec:

O: Oléique / S: Stéarique / P: palmitique / L: Linoléique /
A: Arachidique.

*** Séparation des triglycérides par lipolyse.**

Une équipe indienne (Mani & Lakshminarayana, 1970) a hydrolysé avec de la lipase pancréatique de la graisse de sal. La lipase pancréatique possède une spécificité de position lors de l'hydrolyse des triglycérides. En sa présence, les acides gras occupant les positions externes (1 et 3 ou alpha) sont hydrolysés beaucoup plus vite que ceux occupant la position interne (2 ou bêta). Il est donc

possible de libérer les acides gras fixés sur les fonctions alcool primaire du glycérol en laissant estérifié l'acide gras fixé sur la fonction alcool secondaire. Il s'est avéré que cet acide en position 2 est pratiquement toujours l'acide oléique. Les triglycérides sont hydrolysés à pH 8,2 - 8,3 jusqu'à ce que 60 % environ des acides gras soient libérés, en présence de lipase pancréatique, de chlorure de calcium et de sels biliaires. L'hydrolyse est alors stoppée par adjonction d'acide chlorhydrique. Le mélange glycérides partiels - acides gras est alors extrait au chloroforme du milieu réactionnel, et ses constituants sont séparés par chromatographie sur plaque, après élimination préalable des acides gras. L'analyse des acides gras des différentes fractions est ensuite réalisée à l'aide d'un ordinateur et d'un logiciel informatique adapté.

Les résultats sont les suivants:

POP.....1,0 %	SOA.....17,7 %
SOP.....14,1 %	AOA.....1,5 %
SOS.....51,9 %	POA.....2,4 %

avec:

O: Oléique / S: Stéarique / P: palmitique / L: Linoléique /
A: Arachidique.

*** Autres résultats.**

Ganapathy (1976) avec des techniques similaires obtient les résultats suivants:

Triglycérides tri-saturés (GS_3).....1,0 - 3,1 %
 Triglycérides mono-insaturés (GS_2U).....64 %

dont:

OPP..... -
 POS.....8,0 %
 SOS.....42,0 %
 SOA.....14,0 %

Triglycérides di-insaturés (GSU_2).....34 %

dont:

POO.....5,0 %
 SOO.....25,0 %
 AOO.....4,0 %

Conclusion:

Selon les techniques, certains triglycérides mineurs ne sont pas analysés (PSL, SOL,...), mais les triglycérides majoritaires sont toujours SOS et SOA, et leurs valeurs sont du même ordre de grandeur (entre 40,0 et 51,9 % pour SOS, et entre 14,0 et 17,7 % pour SOA).

ii/ Les DHS-TG.

Les indiens, qui commercialisent le beurre de sal comme substitut du beurre de cacao, ont décelé une anomalie. Selon les lots de graisse de sal, il n'y a pas de reproductibilité dans les propriétés de solidification, certains échantillons se solidifient plus tôt que d'autres (Yella Reddy & Prabhakar, 1986).

Il s'agit en fait de la surfusion: phénomène par lequel un corps reste liquide à une température inférieure à son point de fusion.

Cette inconstance est due à des composants mineurs: les triglycérides contenant l'acide 9,10-dihydroxystéarique ou l'acide 9,10-époxytéarique. Ces triglycérides particuliers sont notés DHS-TG, et ils représentent 3 % des triglycérides (Yella Reddy & Prabhakar, 1985).

Des courbes de refroidissement de triglycérides normaux, de triglycérides + DHS-TG (1, 2 et 3 %), montrent que les modifications dans la capacité à la surfusion apparaissent dès que le taux des DHS-TG atteint 2 % (Yella Reddy & Prabhakar, 1985).

En fait, les DHS-TG cristallisent en premier dans le mélange, et ces cristaux agissent comme noyau ou support pour les autres triglycérides. Le point de formation des cristaux diminue avec l'augmentation dans le mélange du taux de DHS-TG (Yella Reddy & Prabhakar, 1985).

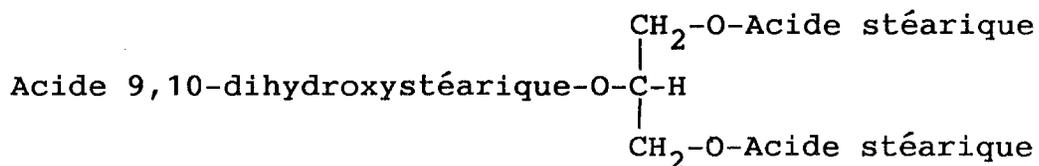
*** Composition des DHS-TG (Yella Reddy & Prabhakar, 1985).**

Ils sont constitués de :

- 30,5 % d'acide 9,10-dihydroxystéarique.
- 57,5 % d'acide stéarique.
- 5,80 % d'acide arachidique.
- 6,00 % d'acide palmitique.

Les acides 9,10-dihydroxystéarique et stéarique sont largement majoritaires (88,0 %). Les DHS-TG sont donc constitués d'une mole d'acide 9,10-dihydroxystéarique pour deux moles d'acide gras saturé (principalement de l'acide stéarique).

D'autre part, Mani & Laskhminarayana (1970) montrent après hydrolyse par la lipase pancréatique que c'est en position 2 du glycérol que l'on trouve l'acide 9,10-dihydroxystéarique. Ainsi, dans la majorité des cas, la formule d'un DHS-TG est la suivante:



L'acide 9,10-époxyatéarique remplace l'acide 9,10-dihydroxystéarique, lorsque les graines sont jeunes. En effet, voici un tableau qui permet de comprendre la transformation:

	Acide 9,10-époxy- atéarique	Acide 9,10-dihydroxystéarique
Graines fraîches	1,04 +/- 0,3 %	Nul
Graines raffinés et blanchies	1,00 +/- 0,22 %	Nul
Graines âgées	0,22 %	0,86 %

(Ramanna & coll., 1984).

L'acide 9,10-époxyatéarique est donc un composant naturel de la graisse de sal. Mais avec le temps, le taux d'acide 9,10-époxyatéarique diminue au profit de l'acide 9,10-dihydroxystéarique.

En fait, l'acide 9,10-époxyatéarique est réduit en acide 9,10-dihydroxystéarique. C'est la raison pour laquelle les dosages, qui sont pratiquement toujours effectués sur de

vieux échantillons, révèlent la présence de l'acide 9,10-dihydroxystéarique et non celle de l'acide 9,10-époxy-stéarique qui est trop faible pour être détecté.

D'autre part, il est à noter que ni le raffinage, ni le blanchiment de la graisse n'ont d'effet sur les taux de ces deux acides.

Bringi en 1972 et en 1976 étudie de près ces deux acides, et il précise que l'acide 9,10-époxy-stéarique est en fait un isomère cis-9,10-époxy-stéarique et qu'il devient après réduction l'acide thréo-9,10-dihydroxystéarique.

*** Isolement.**

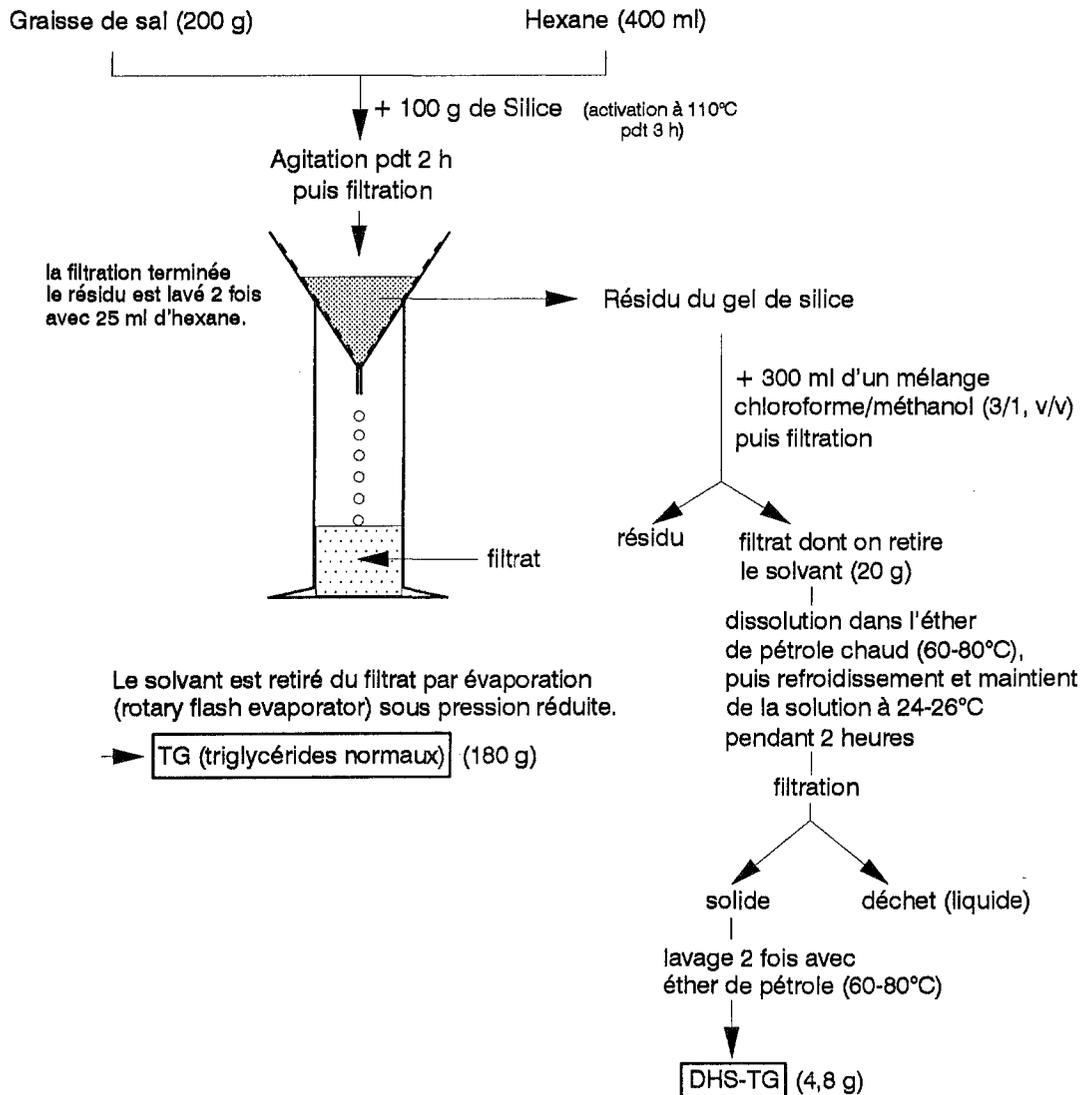
Ces DHS-TG affectent les propriétés de solidification de sal, il faut les isoler.

Yella Reddy & Prabhakar (1985) proposent une méthode de purification des triglycérides afin d'isoler les DHS-TG (voir figure 9).

iii/ Les acides gras.

La méthode d'analyse des acides gras est plus simple. Le beurre de sal est saponifié par la potasse alcoolique (1 M). La saponification des graisses donne comme son nom l'indique les savons (acides gras) et le glycérol solubles dans l'eau, et l'insaponifiable insoluble dans l'eau.

Après obtention des acides gras, ceux-ci sont estérifiés. Selon les auteurs, la transformation des acides gras en esters méthyliques peut se faire selon différentes méthodes.



Yella Reddy & Prabhakar, 1985

Figure 9: Purification des triglycérides contenant l'acide 9,10-dihydroxystéarique (DHS-TG).

- Estérification par le méthanol en présence d'un acide fort (Adhikari S. & J., 1989).
- Estérification par une solution de trifluorure de bore dans le méthanol (Soulhier & coll., 1989).
- Méthylation par le diazométhane (Yella Reddy & Prabhakar, 1985; Yella Reddy & Prabhakar, 1987).

Les esters méthyliques d'acides gras (EMAG) ainsi obtenus sont analysés par chromatographie en phase gazeuse (colonne capillaire imprégnée de Carbowax 20 M). Les esters méthyliques d'acides gras sont aussi analysés après silylation par une solution pyridinique d'un mélange à parties égales de triméthylchlorosilane et d'hexaméthylidisilazane, par chromatographie en phase gazeuse. Les résultats de l'analyse des acides gras totaux, selon les auteurs, sont résumés dans la figure 10. Les acides palmitique (C16 : 0), stéarique (C18 : 0), arachidique (C20 : 0) et 9,10-dihydroxystéarique sont des acides gras saturés. L'acide oléique (C18 : 1) est un acide gras mono-insaturé, l'acide linoléique (C18 : 2) est un acide gras di-insaturé et l'acide linoléique (C18 : 3) est un acide gras tri-insaturé.

Remarque: l'acide 9,10-dihydroxystéarique, qui est présent en faible quantité n'apparaît que dans la méthode des dérivés silylés.

Conclusion:

- Les acides gras majoritaires sont les acides stéarique et oléique (dont le pourcentage est voisin de 40 % dans les deux cas).
- Il faut noter la présence originale de l'acide 9,10-dihydroxystéarique et de l'acide linoléique.

Auteurs: (%) Acides:	Zabotto & Griat, 1982.	Ganapathy, 1976.	Adhikari S. & J., 1989.	Bhattacharya & coll., 1985.	Soulier & coll., 1989.
stéarique C18 : 0	34.2 - 48.4	44.2 - 45.2	33.5 - 34	43.9	42.8
oléique C18 : 1	35.9 - 42.2	38.4 - 42.2	49.1 - 50.0	41.1	42.6
palmitique C16 : 0	2.2 - 8.3	4.5 - 7.4	4.4 - 5.3	5.4	5.3
arachidique C20 : 0	5.5 - 12.3	5.8 - 6.3	4.0	6.8	6.9
linoléique C18 : 2	1.9 - 3.2	2.8 - 3.2	3.8 - 4.1	2.0	1.9
linoléinique C18 : 3	-	-	3.3 - 3.5	-	-
9,10-dihydroxy- stéarique	-	-	0.5	-	0.1

Figure 10: Composition en acides gras du beurre de sal (*Shorea robusta*) (selon différents auteurs).

iiii/ L'insaponifiable.

On appelle insaponifiable l'ensemble des constituants, naturels ou accidentels, qui ne réagissent pas avec la soude ou la potasse pour donner des savons, et qui après saponification restent solubles dans les solvants classiques des corps gras (hexane, oxyde diéthylique).

L'insaponifiable contient des stérols, des alcools triterpéniques, des tocophérols...

Le fractionnement de l'insaponifiable en ses divers groupes de constituants (stérols, alcools, tocophérols) est le préambule indispensable à toute étude complète de sa composition. Ce fractionnement s'effectue par chromatographie sur colonne ou sur plaque d'alumine.

* Les composés de la filière triterpénique.

Structures.

Les différents auteurs sont d'accord tant sur les corps identifiés que sur leurs proportions respectives (Jeong & coll., 1975; Kolhe & coll., 1981; Soulier & coll., 1989; Soulier & coll., 1990). Le tableau ci-dessous en est une illustration.

Stérols.....	65,5 %
β-sitostérol (10b).....	40,5 %
Campesterol (10a).....	14,8 %
Stigmastérol (10c).....	5,6 %
Isofucostérol (10d).....	3,2 %
Non identifiés.....	1,2 %

Alcools triterpéniques.....	30,4 %
β-amyrine (6).....	9,2 %
Butyrospermol (3).....	-
α-amyrine (5) + lupéol (4).....	7,3 %
Cycloarténol (1f).....	7,1 %
Méthylène-24 cycloartanol (1e).....	2,7 %
ψ-taraxastérol (7).....	2,7 %
Méthylène-24 parkéol (2e).....	1,2 %
Non identifiés.....	0,2 %
Méthyl-4 stérols.....	4,3 %
Cycloeucalénol (9e).....	1,4 %
Méthylène-24 lophénol (11e).....	1,0 %
Citrostadiénol (11d).....	0,9 %
Obtusifoliol (8e).....	0,7 %
non identifiés.....	0,3 %

Les numéros entre parenthèses renvoient aux formules de la figure 11.

Extraction.

Les alcools triterpéniques, les méthyl-4 stérols, et les stérols sont obtenus par fractionnement de l'insaponifiable sur colonne d'alumine hydratée à 5 %, avec un mélange hexane / éther éthylique de polarité croissante (de 100:0 à 60:40). L'élution de chacune des trois catégories de composés est contrôlée par chromatographie sur couche mince sur plaque de silice (éluant: hexane / éther éthylique, 70:30). Les différentes fractions sont analysées par chromatographie en phase gazeuse, et les temps de rétention relatifs sont

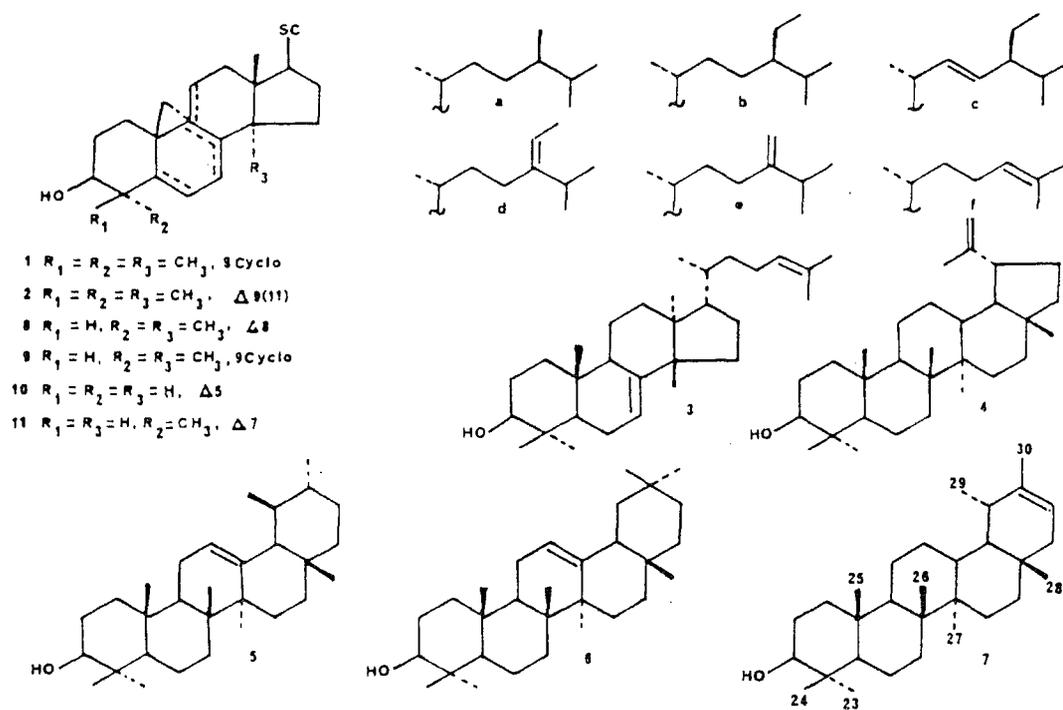


Figure 11: Stérols, méthyl-4 stérols et alcools triterpéniques du beurre de sal (*Shorea robusta*).

mesurés par rapport au temps de rétention du cholestérol (12 minutes).

Les constituants individuels de chaque catégorie sont fractionnés et purifiés soit par chromatographie sur couche mince (CCM) argentique, soit par chromatographie liquide haute pression (ou performance) semi-préparative, soit par combinaison des deux méthodes. De plus, des analyses par spectrométrie de masse et par résonance magnétique nucléaire (RMN) du proton permettent de les identifier sans ambiguïté (Jeong & coll., 1975; Kolhe & coll., 1981; Soulier & coll., 1989; Soulier & coll., 1990).

Discussion.

Les alcools triterpéniques de la filière du cycloarténol ainsi que les stérols et méthyl-4 stérols qui en dérivent sont des composés couramment rencontrés dans les lipides des graines. Par contre il n'en va pas de même pour les alcools triterpéniques provenant de la cyclisation chaise / chaise / chaise / bateau de l'époxysqualène: à côté de composés courants comme les α et β -amyrines et le lupéol, il est important de noter la présence du butyrospermol, et du ψ -taraxastérol, rarement rencontrés dans les graines. Le ψ -taraxastérol, en particulier, est intéressant pour la détection du beurre de sal dans des préparations, car son temps de rétention relatif en chromatographie en phase gazeuse est assez élevé.

L'équipe indienne de Kohle (1981) a identifié en plus des constituants cités ci-dessus, une quatrième catégorie de composés insaponifiables: les cétones-3 triterpéniques. Elles représentent une originalité du sal. Elles proviennent

d'une oxydation par une déshydrogénase des triterpènes (possédant une fonction -OH en position 3).

Ces cétones-3 triterpéniques sont:

- La β -amyrénone (oxydation de la β -amyrine)

Rf = 0,85

Point de fusion: 240 - 241°C

Pouvoir rotatoire: (α) 25 D +77°

- La cycloarténone (oxydation du cycloarténol)

Rf = 0,65

Point de fusion: 123 - 124°C

Pouvoir rotatoire: (α) 25 D +61°

- La lupénone (oxydation du lupéol)

Rf = 0,75

Point de fusion: 214 - 215°C

Pouvoir rotatoire: (α) 25 D +45°

Il apparait que c'est la première fois que des cétones-3 triterpéniques sont rencontrées dans une graisse végétale.

* Les tocophérols.

Structures.

α -Tocophérol (vitamine E).....79,3 (en mg/Kg de graisse)

β -Tocophérol.....traces

γ -Tocophérol.....5,6

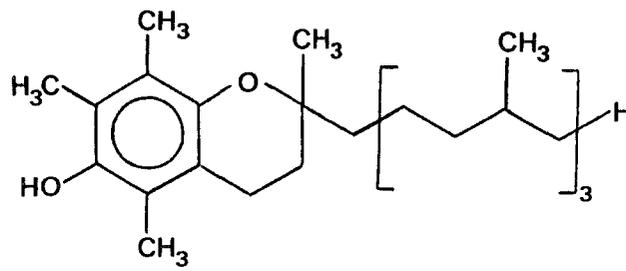
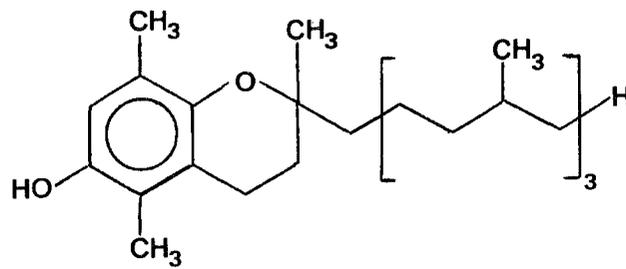
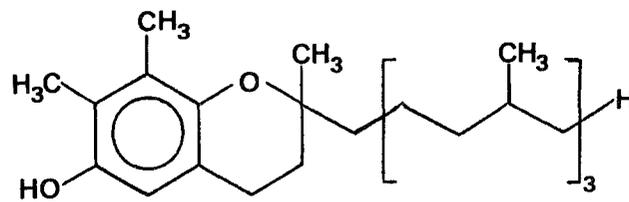
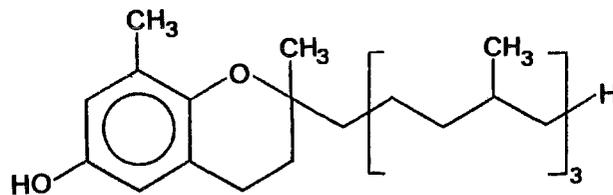
δ -Tocophérol.....27,8

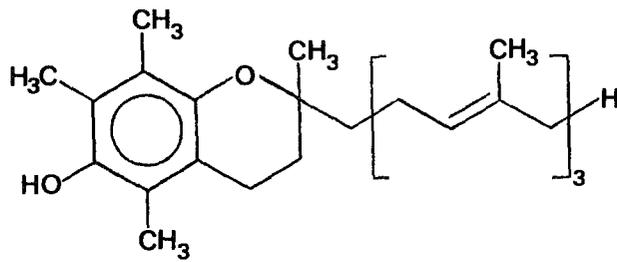
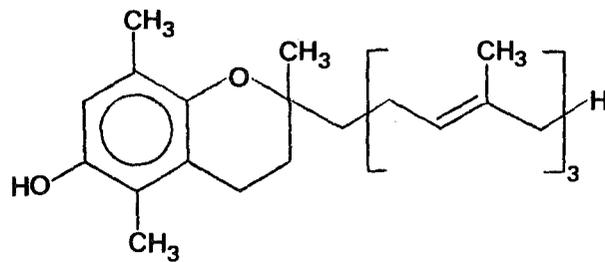
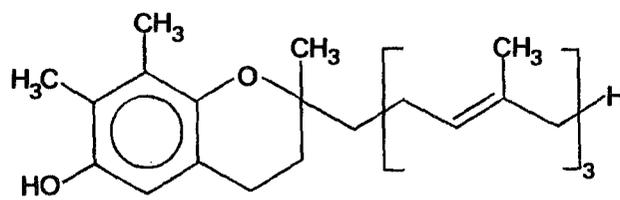
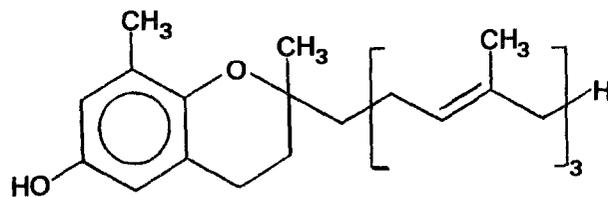
α -Tocotriénol.....1,6

β -Tocotriénol..... -

γ -Tocotriénol.....traces

δ -Tocotriénol.....1,7 (Soulier & coll., 1989)

α -Tocophérol β -Tocophérol γ -Tocophérol δ -Tocophérol

α -Tocotriénol β -Tocotriénol γ -Tocotriénol δ -Tocotriénol

Obtention - Dosage.

Les méthodes de dosage global des tocophérols sont toutes basées sur la méthode d'Emmerie-Engel:

les tocophérols sont des réducteurs qui peuvent en solution alcoolique réduire le fer ferrique en fer ferreux. Ce dernier est dosable colorimétriquement après réaction avec l' $\alpha\alpha'$ -dipyridyle. Ce dosage peut être fait sur l'insaponifiable ou directement sur la graisse.

L'équipe de Soulier (1989) utilise l'orthophénantroline comme complexant du fer ferreux: le complexe est plus stable que celui obtenu avec l' $\alpha\alpha'$ -dipyridyle et son coefficient d'extinction molaire est plus élevé, ce qui rend la méthode plus sensible.

L'analyse des tocophérols individuels est réalisée par chromatographie liquide haute pression (ou performance) sur colonne de silice, l'éluant étant un mélange hexane / alcool isopropylique (98,5:1,5 - v/v). L'identification des tocophérols et tocotriénols individuels est faite par comparaison avec les composés correspondants des huiles de soja, de palme, de tournesol. L'analyse est réalisée sur la graisse totale et sur l'insaponifiable. Un meilleur chromatogramme est obtenu dans ce dernier cas.

Discussion.

D'après les résultats observés, il faut noter la présence d'une petite quantité de tocotriénols très rarement rencontrés dans les graines végétales. Les quantités mesurées sont relativement faibles, ce qui nuit à la bonne

conservation de ce beurre (Soulier & coll., 1989). La vitamine E (α -tocophérol) est le constituant majoritaire.

B/ Les tourteaux.

Les composés décrits ci-dessous se trouvent dans les tourteaux. Cependant, quelquefois, pour des raisons pratiques d'extraction, l'analyse se fera à partir de la graine entière et non directement sur les tourteaux qui représentent 85 % de la graine (Madhusudanama & coll., 1983).

a/ Les tanins.

Ils représentent 10 à 12 % des tourteaux selon Devendra Kumar, 1979, et 14 % selon Madhusudanama & coll., 1983.

La toxicité des tourteaux, qui sont très riches en protéines et en amidon et donc utilisés pour comme nourriture pour la volaille et le bétail, est due au pourcentage élevé de tanins, et plus particulièrement au facteur polyphénolique carcinogénique (Reddy & coll., 1976).

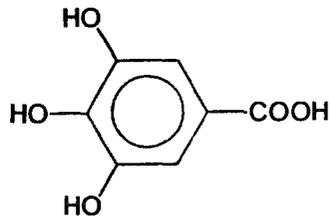
Un tanin est une substance organique amorphe de masse moléculaire élevée, possédant un grand nombre de groupes phénoliques libres. Les tanins sont classés en deux grands groupes :

- Tanins hydrolysables ou galliques.
- Tanins condensés ou catéchiques.

Les tanins du sal sont principalement des tanins hydrolysables: des esters de l'acide gallique et de l'acide élлагique sous forme de glycosides.

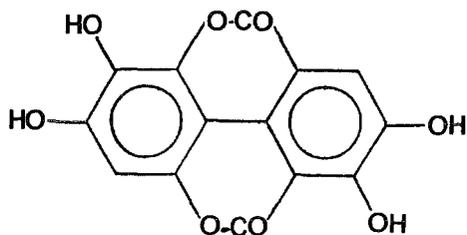
i/ Structures.

* L'acide gallique ou acide trihydroxy-3,4,5 benzoïque de formule brute $C_7H_8O_6$, a pour formule développée:



Son point de fusion est égal à 252°C . Cet acide est le principal constituant de la noix de Galle (obtenu par hydrolyse des tanins de la noix), d'où son nom.

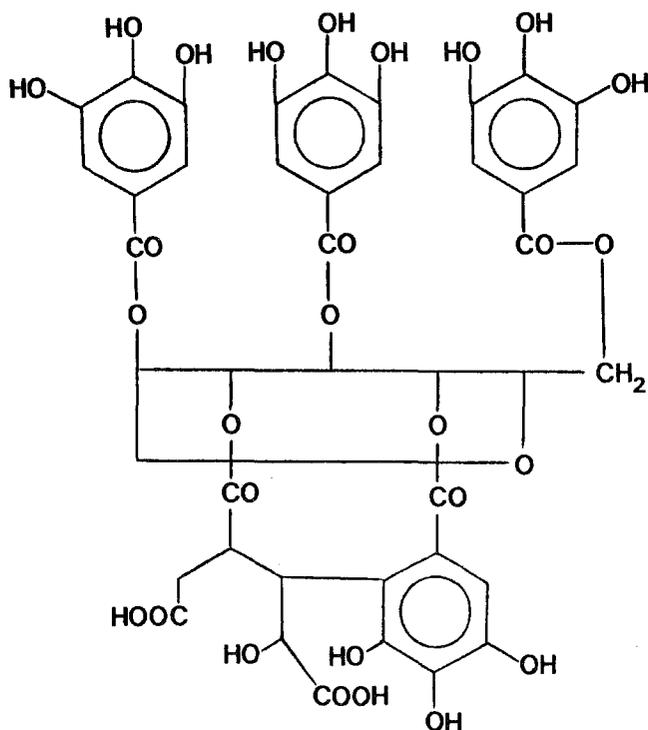
* L'acide élлагique est une dilactone dérivée du biphenyle, de formule brute $C_{14}H_6O_8$, $2 H_2O$ et de formule développée:



Son point de fusion est de 360°C . Cet acide se forme spontanément dans les noix de Galle, et on peut le préparer par oxydation de l'acide gallique.

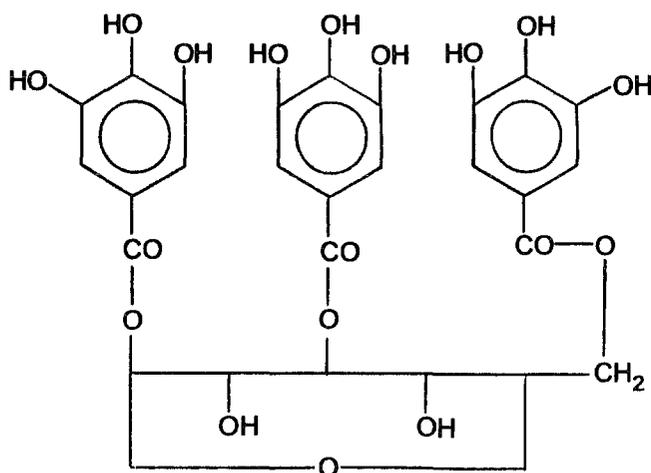
L'acide élлагique est employé comme hémostatique.

* L'acide chébulinique de formule brute $C_{41}H_{34}O_{28}$, a pour formule développée:



Point de fusion: $240^{\circ}C$ - Pouvoir rotatoire: $(\alpha)_{29} D +62^{\circ}$

* La corilagine de formule $C_{27}H_{22}O_{18}$, a pour formule développée:



Point de fusion: $208^{\circ}C$ - Pouvoir rotatoire: $(\alpha)_{29} D -238^{\circ}$

ii/ Extraction et identification.

L'extrait acétonique des graines est fractionné en une fraction phénolique et une fraction carboxylique. La poudre de graines (2 kilogrammes) est extraite successivement par de l'hexane (3 fois 4 litres) et de l'acétone (90 %, 3 fois 4 litres). L'extrait hexanique qui contient la graisse de sal est mis de côté. L'extrait acétonique est filtré, évaporé. Puis le pH de cette solution est ajusté à 6,3 (avec du NaHCO_3) et extrait par de l'acétate d'éthyle (4 fois 500 ml). C'est ainsi qu'est obtenue la fraction phénolique.

Une aliquote de la solution est ajustée à un pH égal à 2,2 (avec de l'acide orthophosphorique), et extraite par de l'acétate d'éthyle pour obtenir la fraction carboxylique.

Ces deux fractions sont analysées sur papier chromatographique Whatman à deux dimensions.

Pour la première dimension, le solvant est l'acide acétique à 6 %, tandis que pour la seconde dimension, le solvant est un mélange de butanol, d'acide acétique et d'eau (14/1/5, v/v).

Les révélateurs sont: le chlorure ferrique et le ferrocyanure de potassium suivi d'une diazotation par la benzidine (Reddy & coll., 1977).

*** La corilagine.**

La fraction phénolique est extraite à contre-courant (eau / acétate d'éthyle). Le solide obtenu est laissé dans l'eau contenant un peu d'acide acétique et gardé pendant quatre jours à 0°C pour obtenir la corilagine sous forme de cristaux blancs.

*** L'acide éllagique et l'acide gallique.**

La fraction phénolique est hydrolysée avec de l'acide sulfurique (1 N) pendant soixante-douze heures. Il apparait un précipité marron qui cristallise avec la pyridine pour donner des aiguilles jaunes: c'est l'acide éllagique.

Outre le précipité marron, la solution aqueuse est extraite par de l'éther et déshydratée par du sulfate de sodium (Na_2SO_4). Le solvant est évaporé et le résidu cristallise: c'est l'acide gallique.

Remarques:

- Les acides gallique et éllagique sont identifiés selon leur R_f en chromatographie sur papier, chromatographie sur couche mince, selon leurs spectres UV et IR, par comparaison avec des substances de référence.
- L'hydrolyse de la fraction phénolique fournit aussi du glucose identifié par chromatographie sur papier.

*** L'acide chébulinique.**

La fraction carboxylique est dissoute dans l'eau et à froid. Il apparait un précipité d'acide gallique. Dans le surnageant cristallise l'acide chébulinique, qui est isolé après évaporation (Reddy & coll., 1976; Reddy & coll., 1977; Devendra Kumar, 1979; Madhusudanama & coll., 1983).

Point de fusion: 240°C

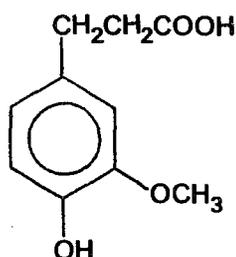
Pouvoir rotatoire: $(\alpha)_{29\text{ D}} +62^\circ$

b/ Acide organique: l'acide shorbique.

i/ Structure.

Il a été isolé à partir des graines dégraissées de sal, donc à partir des tourteaux, un nouvel acide phénolique du nom d'acide shorbique. Il est à noter ici qu'il ne faut pas le confondre avec l'acide shoréique, acide triterpénique rencontré dans d'autres espèces de *Shorea*.

L'acide shorbique de formule brute $C_{10}H_{12}O_4$, a pour formule développée:



ii/ Extraction.

Les tourteaux sont extraits par le méthanol. Après élimination du solvant, le résidu est repris par l'éther. La solution étherée est extraite avec de la soude 3 % puis acidifiée dans le froid par l'acide chlorhydrique.

Un précipité "gommeux" acide est obtenu, puis est extrait par l'éther. Cet extrait étheré est lavé avec de l'eau jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de réaction acide. Il est ensuite séché sur sulfate anhydre de sodium. Après élimination de l'éther, l'extrait est chromatographié sur colonne de silice,

l'éluant est successivement du chloroforme, de l'éther de pétrole, du benzène. C'est dans la fraction chloroformique que l'on obtient l'acide shorbique. Il est cristallisé dans un mélange éther de pétrole / benzène.

iii/ Identification.

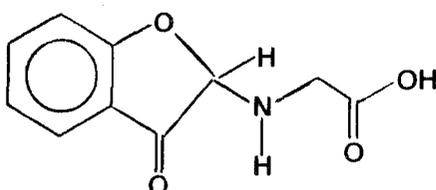
L'acide shorbique $C_{10}H_{12}O_4$ est identifié par son:

- Point de fusion: 93°C.
- Absorption IR à: 3450, 1690, 1610, 1650 cm^{-1} .
Les fractions hydroxyphénoliques et méthoxy sont identifiées.
- Absorption UV à: 231, 284 nm qui correspond au groupement aromatique.
- RMN du proton, elle donne:
 - . à 6,22ppm (déplacement chimique), le signal proton du groupement phénolique
 - . à 3,81 ppm, le signal proton du groupement méthoxy.
 - . à 11,02 ppm, le signal proton du groupement carboxylique.
 - . à 6,42 et 7,83 ppm, les signaux des protons aromatiques.
- Spectrométrie de masse: (M^+ 196; m/e 150, 137, 77).
Trois pics sont obtenus dont le plus important signe le groupement aromatique (Saha & Ganguly, 1979).

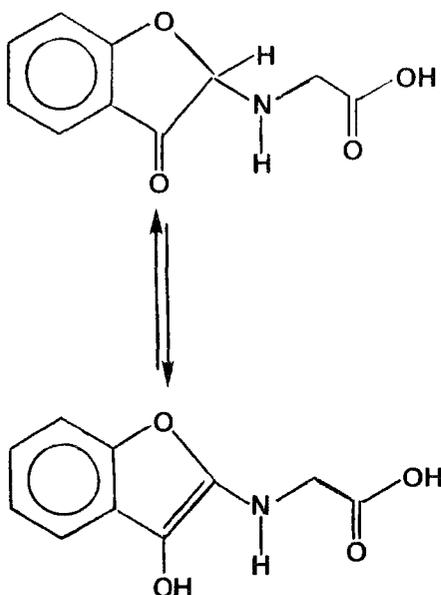
c/ Benzofuranone: 2-(2-acide iminoacétique)-3-(2H)-
benzofuranone.

i/ Structure.

Cette benzofuranone de formule brute: $C_{10}H_{12}O_4$, a pour
formule développée:



Ce corps est en équilibre avec sa forme énolique:



ii/ Extraction.

Ce métabolite est isolé avec l'acide gallique et éllagique. Les tourteaux sont extraits par de l'acétate d'éthyle. L'extrait est déposé sur une colonne de gel de silice et élué avec du chloroforme contenant 2 % de méthanol. Cela donne un solide brun jaune.

iii/ Identification.

- Point de fusion: 340°C.

- Absorption UV à 288, 255, 222 nm.

Ces longueurs d'onde correspondent au groupement carbonyle conjugué.

- Spectrographie de masse:

M^+ à m/e 207.

161 (63,6 %); 148 (67,3 %); 133 (32,7 %); 120 (base du pic)
92 (67,3 %); 65 (45,5 %).

- Spectre IR:

. à 3390 cm^{-1} : identification de la fonction imino

. à 1705 cm^{-1} : identification de la fonction carboxylique

. à 3400-2800 cm^{-1} : identification de la fonction hydroxyl

. à 755 cm^{-1} : preuve de 1,2-disubstitution du benzène

- RMN du proton:

Elle est faite dans l'acétone marquée, elle donne le reste des indications pour la structure du corps sur le produit naturel et sur son dérivé diméthylé.

. à 9,40 ppm: le signal proton du groupement carboxylique.

. à 4,0-2,8 ppm: le signal proton du groupement amine.

. à 7,5; 7,3; 7,0; 6,95 ppm: les signaux protons des quatre hydrogène du cycle benzénique.

. à 3,8 ppm: le signal proton du groupement méthylène.

d/ Amidon.

C'est la principale forme de réserve glucidique des végétaux, surtout abondante dans les racines, les tubercules, les fruits et les graines.

Il est donc logique de trouver de l'amidon dans les graines de sal, et ceci à raison de 30 à 40 % (Bhattacharyya & Samaddar, 1987).

i/ Structure.

L'amidon est un polymère du glucose $(C_6H_{10}O_5)_n$.

C'est un enchaînement de molécules cycliques de d-glucopyranose liées par des ponts éther en 1-4.

ii/ Extraction.

L'amidon est extrait à partir de la farine de sal ou tourteaux (Bhattacharyya & Samaddar, 1987).

100 g de farine de sal, dont les particules sont inférieures à 80 um, sont mis en suspension avec 400 ml de NaOH à 1,25 % pendant 90 minutes à 30°C.

Le produit obtenu est filtré, blanchi à l'hypochlorite de sodium (NaOCl, eau de Javel), puis lavé à l'eau et enfin séché.

L'amidon peut être dégraissé par l'éther de pétrole à 60/80°C suivi d'une extraction avec du méthanol à 80 %.

iii/ Identification.

L'identification et même le dosage de l'amidon se fait avec de l'iode libre. Celui-ci forme avec l'amylose (composant de l'amidon) un composé violacé.

Les grains d'amidon, selon leur forme, sont caractéristiques de l'espèce.

Caractéristiques des grains d'amidon de sal:

- Taille: 3,5 à 12,5 µm.
- Forme: ronde à ovale.
- Surface: lisse et sans fissure (les éventuels dépôts à la surface des grains d'amidon sont dus aux impuretés protéiques qui n'auraient pas été complètement enlevées lors de l'extraction).

La température de gélatinisation (qui correspond à la désorganisation de la structure semi-cristalline) sert aussi d'identification.

Cette température est de 85-90°C (plus élevée que celle du maïs ou du tapioca).

Une température de gélatinisation élevée signe un haut pouvoir d'association et un bon arrangement des macromolécules.

La capacité à fixer l'eau est un moyen comparatif: l'amidon de sal a une forte capacité à fixer l'eau par rapport à l'amidon de maïs ou de tapioca (Soni & Coll., 1987).

e/ Les protéines.

Les tourteaux sont naturellement riches en protéines (10-12 % selon Devendra Kumar, 1976; 12,86 % selon Madhusudanama & coll., 1983; 10 % selon Reddy & coll., 1976). Ces protéines sont constituées d'acides aminés dont voici la liste et le pourcentage:

- thréonine: 7,8 %.
- valine & méthionine: 7,0 %.
- histidine: 4,8 %.
- lysine: 5,7 %.
- phénylalanine & tryptophane: 3,4 %.
- arginine: 6,8 %.
- norleucine, isoleucine & leucine: 12,0 %.

2/ Les autres parties de sal.

A/ La résine ou damnar.

Une particularité des Diptérocarpacées (et aussi de conifères d'Indonésie, d'Asie du Sud-Est, de Nouvelle Zélande et d'Australie) est de fournir une résine ou plutôt une oléorésine appelée en malais damnar.

Cette résine de damnar ou oléorésine est une sécrétion naturelle de ces végétaux formée d'une essence et de la résine résultant de l'oxydation de cette essence.

La résine de damnar composée d'un mélange de produits résineux, terpènes et alcools hydro-terpéniques, sert de matière première dans la fabrication des vernis, peintures, linoléums ainsi qu'à l'emballage des pilules.

L'équipe de l'institut de chimie de Strasbourg, qui a beaucoup travaillé sur les résines des genres *Dipterocarpus*, *Doona* et *Shorea*, a montré que ce dernier présente des analogies quant à la composition de sa résine avec les autres genres de la famille des Diptérocarpacées (de nombreuses espèces de *Shorea* ont été étudiées à l'exception de *Shorea robusta*). La résine est constituée de triterpènes neutres: β -amyrine, aldéhyde ursolique, triterpènes damnaraniques (diptérocarpol et damnarènediol); d'hydrocarbures sesquiterpéniques, et des acides triterpéniques dérivés du squelette du damnarane.

De plus, la résine de damnar contient une association copaène, β -élémente, et caryophyllène (Chavanel, V., thèse de docteur es sciences physiques, 1972; Bisset & coll., 1966; Diaz & coll., 1966; Hegnauer, 1966).

B/ Les tanins de l'écorce.

D'une manière générale, les tanins sont des substances organiques amorphes de masse moléculaire élevée, possédant un grand nombre de groupements phénoliques libres et capables de se combiner avec le collagène, constituant principal de la peau, et de rendre cette dernière imputrescible. (Cf: utilisations dans l'industrie du tannage du cuir).

On classe les tanins en deux grands groupes :

- Tanins hydrolysables ou galliques.
- Tanins condensés ou catéchiques.

(classement selon leur comportement et leurs produits de décomposition par la chaleur et les acides).

On peut noter qu'en pharmacie, on connaît le tanin officinal ou tanin à l'éther. C'est un astringent antidiarrhéique et hémostatique. Combiné à l'iode, il est tonique et dépuratif. Il forme avec les alcaloïdes et certains métaux des tannates insolubles, d'où son emploi en toxicologie comme contrepoison.

Le sal contient dans son écorce surtout des tanins. Ce sont des dérivés du pyrogallol et de l'acide gallique qui existent sous forme condensée de type acide éllagique et sous forme glycosylée, ce sont alors des esters d'acide gallique de type bergerine.

On signale également des flavonoïdes (myricétine) et des leuco-anthocyanes.

3/ Conclusion.

Les fruits de sal contiennent des graines qui après être broyées donnent d'un côté la graisse de sal et de l'autre les tourteaux.

La graisse de sal, afin d'être utilisée, subit le fractionnement qui permet d'obtenir la fraction oléique liquide (peu utilisée) et la fraction stéarique solide utilisée comme substitut du beurre de cacao.

La graisse de sal est définie par ses propriétés physico-chimiques (indice d'acide, indice de saponification, indice d'iode et l'insaponifiable), et par ses constituants, qui sont les triglycérides, les acides gras et la fraction insaponifiable. Les triglycérides majoritaires sont de type SOS (acide stéarique, acide oléique, acide stéarique) (environ 45%) et SOA (acide stéarique, acide oléique, acide

arachidique) (environ 15%).

Il est à noter à propos des triglycérides, une classe particulière les DHS-TG: les triglycérides ayant en position 2 l'acide 9,10-dihydroxystéarique ou l'acide 9,10-époxytéarique, en sachant que les positions 1 et 3 sont occupées par l'acide stéarique.

Les acides gras majoritaires sont les acides stéarique (C18:0), et oléique (C18:1) (chacun à raison d'environ 40 %). La fraction insaponifiable est constituée de stérols (principalement le β -sitostérol et le campestérol), d'alcools triterpéniques (principalement la β -amyrine et le cycloarténol), des méthyl-4 stérols (principalement le cycloeucalénol) et des tocophérols (dont la vitamine E).

Les tourteaux (85 % de la graine) sont naturellement riches en protéines (10 à 12 %), et en amidon (30 à 40 %). Ceux de sal contiennent en outre des tanins hydrolysables dont l'acide gallique, l'acide éllagique, l'acide chébulinique, la corilagine, de l'acide shorbique comme acide organique, et une benzofuranone.

Hormis la chimie des graines, il faut noter la présence d'une résine de damnar, et celle de tanins dans l'écorce.

TOXICOLOGIE

IV/ TOXICOLOGIE.

1/ Introduction.

Le sal est un bois de construction couramment employé en Inde, mais le but actuellement est d'exploiter aussi ses fruits qui donnent le beurre de sal.

Jadis déjà, les populations nourrissaient leurs animaux domestiques (poules, veaux,...) en incorporant des graines de sal à leur nourriture habituelle. Quelquefois, lors de disettes, les graines sont même consommées simplement après torréfaction par les indiens (Grover & coll., 1985).

C'est pourquoi des études toxicologiques de la graine et du beurre sont réalisées chez le rat. En effet, comme nous l'avons vu dans le chapitre "Chimie", les tourteaux de la graine contiennent des tanins dont la toxicité est reconnue, mais la graine est aussi riche en amidon, protéines, triglycérides et acides gras dont les acides 9,10-dihydroxystéarique et 9,10-époxytéarique.

Grâce à ces études, les réelles possibilités et applications, ainsi que la toxicité de la graine et du beurre de sal sont ainsi mieux cernées.

2/ Etude toxicologique de la graine de sal (chez le rat).

Le principe de cette étude (Gandhi & coll., 1975) est le suivant:

Vingt-quatre rats (douze mâles et douze femelles) âgés de

trente jours sont partagés en quatre groupes. Chaque groupe subit un régime alimentaire différent.

Le régime alimentaire de base est composé de:

- 10 grammes de caséine.
- 10 grammes d'huile d'arachide.
- 70 grammes d'amidon.
- 6 grammes de cellulose.
- 4 grammes d'un mélange de sels minéraux ("Jones Foster Salt").

Les trois autres régimes dérivent du régime alimentaire de base auquel est ajouté 10, 30 ou 60 % de graines de sal (la quantité d'amidon est alors respectivement égale à 61, 43 et 16 grammes, et celle de caséine à 9, 7 et 4 grammes dans le régime de base). Les autres substances sont présentes en quantité identique à celles du régime alimentaire de base.

La prise de nourriture et le poids des animaux sont mesurés chaque jour.

A la fin du quarante-cinquième jour les animaux encore vivants sont sacrifiés et autopsiés. L'hémoglobine et les protéines sériques sont alors dosées. Le foie, les reins et les capsules surrénales sont pesés, et, tout comme le coeur et la rate, seront examinés histologiquement.

Les résultats expérimentaux sont les suivants:

- Mortalité.

Tous les animaux qui ont reçu des rations alimentaires comprenant 60 % de graines de sal sont morts après une période qui n'excède pas neuf jours, tandis qu'aucun mort n'a été enregistré dans les autres groupes.

- Ration alimentaire ingérée et prise de poids.

La ration alimentaire ingérée et la prise de poids des rats recevant le régime alimentaire comprenant 10 % de graines de sal ou le régime alimentaire de base, sont similaires pendant la période expérimentale.

Les résultats obtenus lorsque les rats reçoivent le régime alimentaire comprenant 30 % de graines de sal montrent une baisse significative de la ration alimentaire ingérée par les rats, ainsi qu'une faible prise de poids.

Les rats recevant une ration alimentaire comprenant 60 % de graines de sal consomment deux fois moins de nourriture que les rats témoins durant les cinq premiers jours, et ceci est accompagné d'une perte de poids qui ne cesse de croître.

Le rapport gain de poids sur ration alimentaire ingérée est du même ordre de grandeur dans le groupe contrôle et dans le groupe de rats recevant un régime alimentaire comprenant 10 % de graines de sal, par contre ce rapport est bien plus faible dans le groupe où la ration alimentaire comprend 30 % de graines de sal (voir figure 12).

- Poids des organes.

Les poids relatifs (pour 100 grammes de rat) du foie et des reins des animaux nourris avec 30 % de graines de sal dans leur régime alimentaire sont plus importants (respectivement +30 % et +25 %) que ceux des animaux nourris avec le régime alimentaire comprenant 10 % de graines de sal ou avec la ration alimentaire de base.

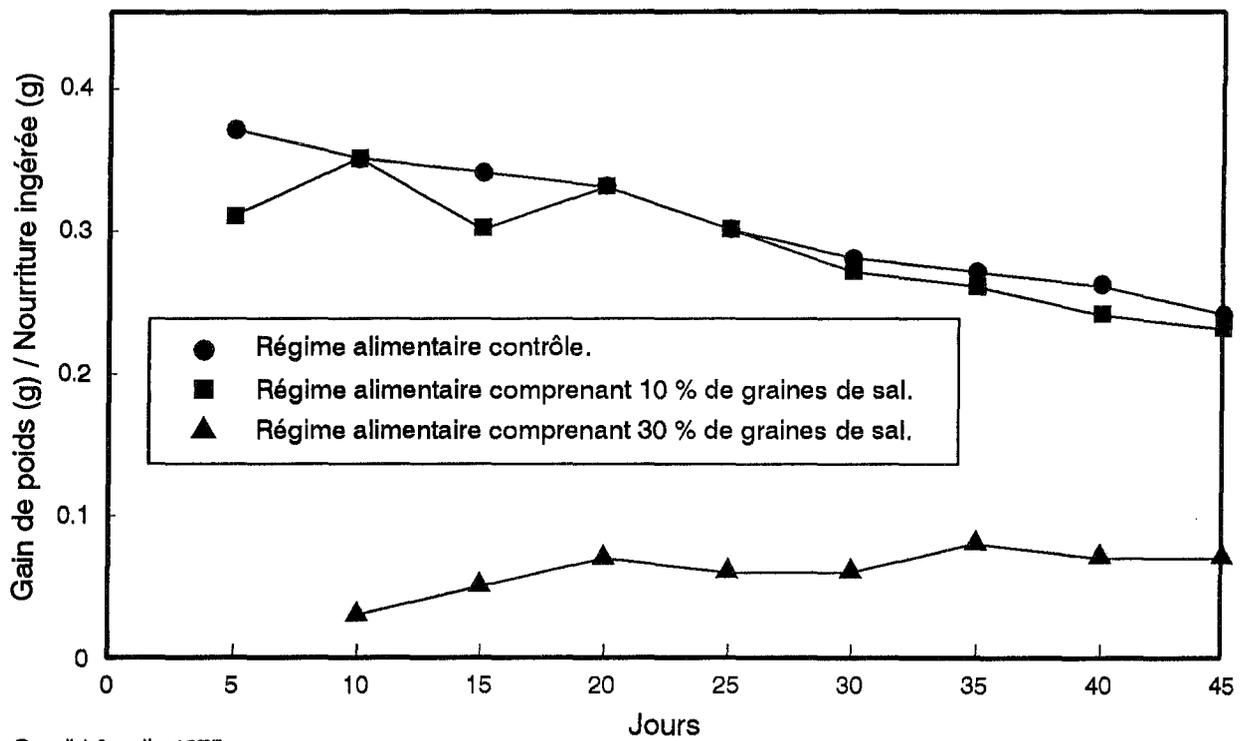


Figure 12: Etude de la croissance des rats en fonction de différents régimes alimentaires.

- Analyse sanguine.

Il n'y a aucune différence significative au niveau des concentrations d'hémoglobine et de protéines sériques entre les rats nourris avec la ration alimentaire de base ou celle contenant 10 % de graines de sal. Par contre, les rats nourris avec la ration alimentaire comprenant 30 % de graines de sal sont victimes d'une baisse des concentrations d'hémoglobine et des protéines sériques (respectivement -9 % et -23 %).

- Autopsie.

Les organes de tous les animaux contrôles et ceux des animaux nourris avec 10 % de graines de sal sont normaux en apparence à l'autopsie, exceptés une femelle et un mâle du dernier groupe dont les foies sont plus pâles.

Les rats nourris avec 30 % de graines de sal dans leur ration alimentaire sont jaune pâle et émaciés. Ils ont très peu de gras péri-rénal, les reins paraissent normaux. Les foies sont jaunâtres et deux d'entre eux sont tachés inégalement. Les rates de ces animaux ont une couleur noirâtre.

Dans le groupe de rats nourris avec 60 % de graines de sal dans le régime alimentaire, les foies des animaux sont congestionnés et de couleur noire.

- Histologie.

Au niveau du foie, de sévères modifications dégénératives avec des vacuoles graisseuses et des dommages nucléaires sont observés uniquement chez les animaux nourris avec 30 % de graines de sal dans régime alimentaire.

De très légers changements dégénératifs sont observés au niveau du foie des rats dont le régime alimentaire comprend 10 % de graines de sal.

De façon régulière des tumescences sont observées au niveau des reins des animaux dont le régime alimentaire comprend 30 % de graines de sal.

De très petites tumescences sont observées au niveau des reins des rats nourris avec 10 % de graines de sal dans la ration alimentaire.

Aucune anomalie n'a été détectée au niveau de la rate, du coeur et des glandes surrénales de chaque animal et ceci quelque soit le groupe.

- Conclusion.

Cette étude de Gandhi et ses collaborateurs (1975) démontre que l'incorporation de 10 % de graines de sal (dont environ 1 % de tanins) dans un régime de base (comprenant 9 % de caséine) produit de légères modifications au niveau du foie et des reins, mais permet une croissance normale des rats.

Par contre, lorsque la quantité de graines de sal atteint 30 % (environ 3 % de tanins) dans la ration alimentaire de base (comprenant 7 % de caséine), il y a une baisse de la prise de nourriture par les rats, probablement due à une augmentation de l'astringence et du goût non agréable de la nourriture.

La croissance normale des animaux ne se produit pas non plus lorsque 3 % de la caséine est échangée contre 3 % de protéines de la graine de sal. Les protéines de sal ne contiennent donc pas tous les acides aminés essentiels (cf Chimie).

Les animaux deviennent alors plus sensibles aux principes toxiques contenus dans les graines de sal, à savoir les tanins. Ceci se manifeste par une diminution des taux de protéines sériques et d'hémoglobine, une augmentation relative du poids des organes (foie et reins) et des changements dégénératifs au niveau du foie et des reins. Les tanins forment une encre bleu noir avec les composés métalliques, et cette encre évacuée par la rate est probablement responsable de la coloration noire de cet organe observée à l'autopsie.

Les effets toxiques sont le plus notablement observés quand le régime alimentaire (4 % de caséine) contient 60 % de graines de sal (environ 6 % de tanins). Dans ce régime, le goût non agréable de la nourriture entraîne une réduction importante de la prise de nourriture et les animaux de ce groupe deviennent rapidement moribonds et meurent.

A partir des résultats de ces expériences, il est démontré que les protéines de sal sont de médiocres qualités et qu'elles ne doivent pas être considérées comme des protéines de remplacement. Dans le cadre d'un régime alimentaire contenant des graines de sal, le calcul de la ration protéique ne doit pas faire intervenir les protéines contenues dans les graines de sal.

Il a été aussi démontré dans d'autres expériences que des rats recevant un régime alimentaire contenant 60 % de graines de sal (6 % de tanins) pouvaient survivre pendant une longue période si le régime alimentaire contenait 10 % de caséine.

Les tanins contenus dans la matière végétale entravent l'absorption et l'utilisation des protéines contenues dans le régime alimentaire. En fait, les manifestations toxiques produites par les tanins peuvent être évitées en incorporant dans le régime alimentaire des rats, de forts pourcentages de caséine. De cette façon, si un excès de protéines de bonne qualité est capable de complexer de grandes quantités de tanins, ce dernier ne manifestera pas sa toxicité. La toxicité des tanins est donc annihilée par cette méthode mais au prix d'un gaspillage nutritionnel puisque les protéines complexées ne sont pas absorbées.

Les tanins sont connus pour être toxiques. Boyd & coll., 1965 ont montré que la DL_{50} des tanins par voie orale en administration aiguë est de 2,26 g / Kg chez le rat. Les signes cliniques de l'intoxication incluent somnolence, cyanose, anoxie, perte de poids, diarrhée, albuminurie et finalement convulsions suivies par la mort; les changements pathologiques incluent de sévères nécroses du foie, des néphrites et une hyperplasie du foie.

Par conséquent, un régime alimentaire contenant 8 à 12 % de tanins devra être détoxifié avant d'être donné à l'animal de telle façon que les protéines contenues dans la ration alimentaire ne soient pas toutes complexées et donc gaspillées puisque non utilisables par l'animal.

De plus, un régime alimentaire contenant des graines de sal après détoxification devra être utilisé préférentiellement pour sa richesse en carbohydrates (amidon) que pour ses protéines de médiocre qualité.

Devendra Kumar (1980) et Madhusudanama et ses collaborateurs (1983) étudient eux aussi la toxicité des tanins. Comme Gandhi et ses collaborateurs (1975), ils soulignent que les tourteaux ou "cake" ne sont pas agréables au goût, qu'ils sont hautement astringents, ceci à cause des tanins. La toxicité des tanins est due selon Devendra Kumar (1980) au fait qu'ils inactivent les enzymes en les précipitant. D'autre part, les tanins interfèrent avec le système métabolique par un processus d'oxydo-réduction: le tanin agissant comme un véritable anti-oxydant.

Madhusudanama et ses collaborateurs (1983) expliquent qu'en enlevant les tanins (il en reste alors 3 à 4 %), on peut augmenter énormément les quantités de graines de sal dans la ration alimentaire. Les tanins peuvent être éliminés par un traitement alcalin (chaux hydratée à 5 % ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ou solution aqueuse de bicarbonate de sodium (NaHCO_3)). Et comme rien ne se perd, ces tanins peuvent être ensuite utilisés dans l'industrie du cuir (tannage du cuir).

3/ Etude toxicologique et nutritionnelle du beurre de sal (chez le rat).

Cette étude a été réalisée par Sundaravalli & coll., 1978. Des rats albinos âgés de vingt-huit jours et d'un poids initial moyen de 37,8 grammes sont séparés en trois groupes (10 rats par groupe) et sont soumis à des régimes alimentaires différents.

Les trois régimes alimentaires sont composés d'une partie commune contenant:

- 22,8 % de caséine.
- 64,2 % d'amidon.
- 3,0 % d'un mélange de sels minéraux et de vitamines.

et d'une partie spécifique composée d'un corps gras (10 %). Ce corps gras est soit le beurre de sal, soit de l'huile végétale hydrogénée, soit de l'huile d'arachide.

- Croissance et quantité de lipides dans les tissus.

L'ensemble des résultats sur le gain de poids et la quantité de nourriture ingérée en fonction des différents régimes alimentaires sont présentés dans la figure 13.

Quelque soit le régime alimentaire, la quantité de nourriture ingérée et le gain de poids sont du même ordre de grandeur d'un groupe à l'autre.

Les concentrations de cholestérol total et de lipides totaux contenus dans le sérum en fonction des différents régimes alimentaires sont résumées dans la figure 14.

Le taux de cholestérol total contenu dans le sérum des rats est similaire que le régime alimentaire comprenne du beurre de sal ou de l'huile végétale hydrogénée. Ce taux (compris entre 57 et 55,3 mg / 100 ml) est plus faible que celui obtenu lorsque le régime alimentaire contient de l'huile d'arachide (65 mg / 100 ml).

La concentration de lipides totaux contenus dans le sérum des rats nourris avec le régime alimentaire contenant du beurre de sal (0,62 mg / 100 ml) est plus importante que celle des rats nourris avec comme corps gras dans la ration alimentaire l'huile végétale hydrogénée ou l'huile d'arachide (ces

Graisse dans le régime alimentaire	Poids final (g) (Poids initial moyen de chaque rat: 37.8 g)	Gain de poids hebdomadaire (g)	Nourriture ingérée (g)	$\frac{\text{Gain de poids}}{\text{Nourriture ingérée}}$
Beurre de sal	203.4	20.7	656	0.25
Huile végétale hydrogénée	199.4	20.2	677	0.24
Huile d'arachide	213.0	21.9	663	0.27

Sundaravalli & coll., 1978.

FIGURE 13: Gain de poids et nourriture ingérée chez les rats en fonction de différents régimes alimentaires.

Graisse dans le régime alimentaire	Cholestérol total		Lipides totaux	
	Sérum (mg/100 ml)	Foie (mg/g)	Sérum (mg/100 ml)	Foie (g/100 g)
Beurre de sal	57.0	2.54	0.62	4.02
Huile végétale hydrogénée	55.3	2.77	0.53	3.78
Huile d'arachide	65.7	3.02	0.51	4.29

Sundaravalli & coll., 1978.

Figure 14: Cholestérol total et lipides totaux contenus dans le sérum et le foie des rats en fonction de différents régimes alimentaires.

concentrations sont respectivement égales à 0,53 et 0,51 mg / 100 ml).

Quel que soit le régime alimentaire les diverses quantités de cholestérol dans le foie des rats sont du même ordre de grandeur (comprises entre 2,54 et 3,02 mg / g de foie).

Les quantités de lipides totaux dans le foie des animaux sont aussi voisines (comprises entre 3,78 et 4,29 g / g de foie).

- Absorption d'azote, de calcium et de phosphore.

Quel que soit le régime alimentaire aucune différence n'a été observée dans l'absorption d'azote, de calcium et de phosphore (voir figure 15).

La présence du beurre de sal dans le régime alimentaire des rats n'affecte pas l'absorption de ces trois éléments.

- Digestibilité des graisses.

A partir des résultats présentés dans la figure 16, on observe que la quantité de graisse ingérée est similaire dans les trois groupes, et que la charge fécale des rats nourris avec un régime alimentaire comportant du beurre de sal est plus importante que celle des rats nourris avec les deux autres régimes alimentaires. L'excrétion des graisses est bien plus importante lorsque les rats subissent le régime alimentaire comprenant du beurre de sal.

Il apparait donc que le coefficient de digestibilité pour le beurre de sal (69,1%) est bien plus faible que celui obtenu pour l'huile végétale hydrogénée (90,3%) ou l'huile d'arachide (93,3%). Ceci est dû au fait que le beurre de sal contient une forte proportion d'acide stéarique (environ 41%) et il est reconnu que les triglycérides composés d'une forte

Graisse dans le régime alimentaire	AZOTE		CALCIUM		PHOSPHORE	
	Ingestion (mg)	Absorption (%)	Ingestion (mg)	Absorption (%)	Ingestion (mg)	Absorption (%)
Beurre de sal	351.9	39.7	68.6	27.7	46.8	45.5
Huile végétale hydrogénée	358.9	41.1	64.7	37.9	44.7	44.5
Huile d'arachide	340.9	38.1	62.8	31.8	46.4	40.7

Sundaravalli & coll., 1978.

Figure 15: Ingestion et absorption d'azote, de calcium et de phosphore chez les rats en fonction de différents régimes alimentaires.

Graisse dans le régime alimentaire	Graisse ingérée (g)	Poids des fèces (g)	Graisse excrétée (g)	Digestibilité (%)
Beurre de sal	7.10	4.48	2.20	69.1
Huile végétale hydrogénée	6.59	2.80	0.64	90.3
Huile d'arachide	6.62	2.41	0.44	93.3

Sundaravalli & coll., 1978.

Figure 16: Excrétion fécale des graisses chez les rats et digestibilité des graisses en fonction de différents régimes alimentaires.

proportion d'acide stéarique sont très faiblement absorbés par rapport à ceux composés d'une forte proportion d'acide oléique.

Cette faible absorption dans le cas du beurre de sal est objectivée par la quantité importante de graisse excrétée dans les fèces.

Le pourcentage de digestibilité obtenu avec le beurre de sal (69,1%) est comparable à celui obtenu avec le beurre de cacao (63,3%), qui contient lui aussi une forte proportion d'acide stéarique (35%) (voir chapitre "Utilisations").

- Conclusion.

L'ensemble de ces résultats et surtout cette faible digestibilité du beurre de sal (due à la forte proportion de graisses saturées) démontrent que le beurre de sal ne peut être la seule source de corps gras dans un régime alimentaire comme l'est l'huile d'arachide ou d'autres huiles végétales. La solution semble donc d'utiliser le beurre de sal en mélange: il faut rationner le sal dans la nourriture. Cela va dans le même sens que les remarques faites par Grover et ses collaborateurs (1985), qui soulignent en plus, que les effets nuisibles du beurre de sal se font ressentir à long terme. Ils ajoutent que la toxicité est aussi due aux acides 9,10- dihydroxystéarique et 9,10-époxytéarique. Comme cela a été évoqué dans le chapitre "Chimie", la présence de ces deux acides modifie les propriétés de surfusion d'un échantillon à l'autre selon leur teneur. De plus, ces deux acides, peu communs dans une graisse végétale, ont un effet inhibiteur sur la synthèse de la vitamine E.

UTILISATIONS

V/ UTILISATIONS.

1/ Utilisations dans l'alimentation humaine.

Dans toute l'Asie tropicale, le sal est un arbre très commun, dont les fruits sont des graines oléagineuses. Les indiens ont donc cherché à exploiter cette ressource.

L'Inde produit annuellement environ douze millions de tonnes de graines oléagineuses commerciales. A coté de cela, elle produit aussi deux millions et demie de tonnes de graines oléagineuses de second ordre, mais ce tonnage est bien en dessous de ses capacités puisque son potentiel de production est en fait de soixante sept millions de tonnes (Chaudhuri & coll., 1983).

Parmi celles-ci, il y a une classe unique: les beurres végétaux qui ont pour origine les arbres, qui en vertu de leur composition en acides gras et triglycérides, et de leurs propriétés physiques ressemblent au beurre de cacao et peuvent être utilisés comme tel après modifications. C'est à cette classe qu'appartient *Shorea robusta*, mais il n'est pas le seul. Voici les espèces qui présentent actuellement une importance commerciale:

la mangue (*Mangifera indica*, famille des Anacardiacees), mowrah (*Madhuca latifolia*, famille des Sapotacees), phulwara (*Madhuca butyracea*, famille des Sapotacees), kokum (*Garcinia indica*, famille des Guttifères), dhupa (*Vateria indica*, famille des Diptérocarpacees), et bien sûr sal (*Shorea*

robusta, famille des Diptérocarpacées) qui représente environ un million de tonnes de graines (Chaudhuri & coll., 1983; Yella Reddy & Prabhakar, 1989).

Avant d'aborder le beurre de sal en tant que substitut du beurre de cacao, il est important de le comparer à d'autres corps gras connus.

A/ Le beurre de sal et les autres corps gras .

La fraction stéarique du beurre de sal, obtenue après fractionnement (voir chapitre "Chimie") est utilisée par les populations indiennes comme beurre tout simplement dans la cuisine et la pâtisserie (Chaudhuri & coll., 1983). La fraction oléique (fluide), qui était jusqu'alors jetée, est maintenant utilisée comme huile de friture et d'assaisonnement (Adhikari S. & J., 1989).

En fait, les indiens consomment rarement le beurre de sal seul mais en mélange avec de l'huile d'arachide (25 % de beurre de sal + 75 % d'huile d'arachide) (Grover & coll., 1985). Un autre mélange du nom de vanaspati est aussi très employé en Inde. Il s'agit d'une graisse semi solide ou solide faite de graisses partiellement hydrogénées dont le point de fusion est compris entre 31 et 37°C, l'indice d'iode entre 65 et 72, le pourcentage d'acides gras saturés entre 20 et 35 %, le pourcentage d'acides gras mono-insaturés entre 60 et 65 %, et entre 2 et 5 % d'acide linoléique (Adhikari & coll., 1981).

L'important pour une huile ou un beurre est, outre la nature de ses acides gras, la proportion en acides gras saturés et insaturés.

La composition en acides gras connus utilisés dans l'alimentation est présentée dans la figure 17.

La première remarque concernant le beurre de sal par rapport à ses concurrents est qu'il est composé à 80 % de deux acides gras: un saturé (acide stéarique) et un mono-insaturé (acide oléique) en quantité égale. Les deux acides gras qui arrivent ensuite par ordre d'importance (acides arachidique et palmitique) sont deux acides gras saturés.

La seconde remarque est la présence d'acide linoléique (acide à trois doubles liaisons). Sa présence n'est cependant pas systématique selon les auteurs.

Il est clair en analysant ce tableau que d'après sa composition en acides gras le beurre de sal ne se rapproche d'aucune huile, par contre la similitude avec le beurre de cacao est frappante.

En additionnant les différents acides gras selon leur degré de saturation, les corps gras peuvent être classés en saturés majoritaires, mono-insaturés majoritaires, poly-insaturés majoritaires. Ainsi comme le montre la figure 18, la graisse de sal se classe finalement dans les corps gras saturés puisque son taux d'acides gras saturés est le plus important, même s'il est pratiquement égal au taux d'acides gras mono-insaturés. L'inconvénient du beurre de sal est son taux d'acides gras insaturés trop faible (par rapport à l'huile d'arachide par exemple). En effet, le rapport poly-insaturés / saturés des graisses est un facteur nutritionnel important. Un rapport élevé contribue à diminuer la cholestérolémie, à modifier la structure des membranes plasmiques et leur perméabilité, à diminuer l'agrégabilité plaquettaire, à

Composition en acides gras des principales huiles.
--

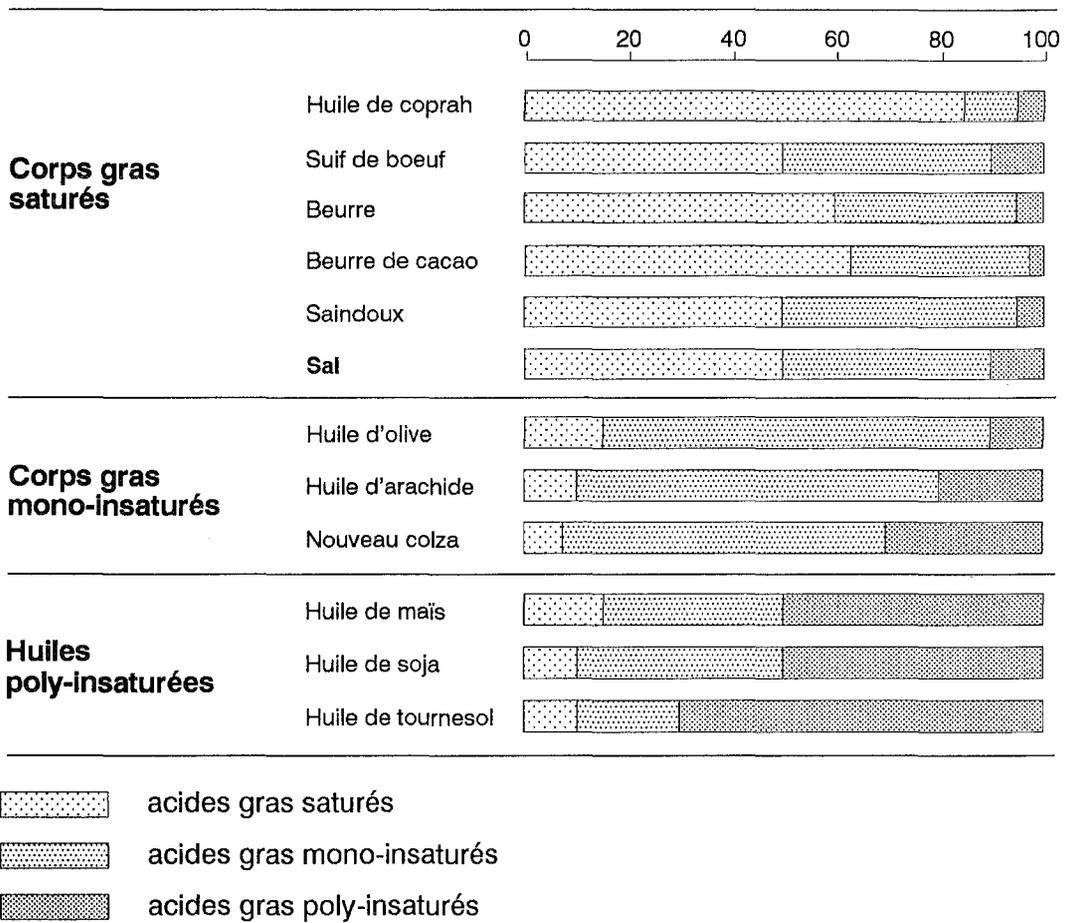
	Acides gras saturés											Acides gras insaturés						
	Butyrique C4	Caproïque C6	Caprylique C8	Caprique C10	Laurique C12	Myristique C14	Myristoléique C14'	Palmitique C16	Palmitoléique C16'	Stéarique C18	Oléique C18'	Linoléique C18''	Linoléénique C18'''	Arachidique C20	Gadoléique C20'	Béhnéique C22	Erucique C22'	Lignocérique C24
Huiles fluides																		
Arachide							10		4	60	20		2	2	3	1	1	
Colza nouveau							6		2	55	23	10		3		1		
Maïs							12		2	29	55	2						
Noix							8.5		2	19.5	58	12						
Soja							11		5	24	53	7						
Pépin de raisin							8		4.5	17	70	0.5						
Tournesol							6.5		5	20	68	0.5						
Olive							10	2	2	78	6	2						
Huiles concrètes																		
Coprah			6	6	47	17		9	3	10	2							
Palme						1		47	5	37	10							
Palmiste			3	3	44	17		10	3	17	3							
Graisses animales																		
Saindoux						3		27	2	20	42	5	1					
Beurre	3	1	1	3	4	12	2	28	4	10	25	4	1	2				
Beurre de sal								5	41	39	2.5	3.5	8.5					
Beurre de cacao								27	0.2	35	34	3.2	0.6					

Il ne s'agit que de valeurs moyennes exprimées en pourcentage.
Des différences importantes peuvent exister pour un même type d'huile.
Sources: Astra-Calvé Information Lipo-Diététique.

Adhikari, S. & Adhikari, J., 1989.
Zabotto & Grilat, 1982.
Ganapathy, 1976.
Bhattacharya, & coll., 1985.
Soulier & coll., 1989.

Figure 17.

Pourcentages d'acides gras saturés, mono-insaturés, et poly-insaturés dans les principaux corps gras alimentaires.



Sources: Astra-Calvé Information Lipo-Diététique.
 Adhikari, S. & Adhikari, J., 1989.
 Zabotto & Griat, 1982.
 Ganapathy, 1976.
 Bhattacharya, & coll., 1985.
 Soulier & coll., 1989.

Figure 18.

modifier les dérivés des prostaglandines actives sur la coagulation (thromboxane A₂ et prostacycline), et certains facteurs immunitaires.

Pour un bon régime alimentaire, la ration ne devrait pas comporter plus de 30 à 35 % de lipides, dont au maximum un quart de graisses saturées, la moitié de graisses mono-insaturées, et un quart de graisses poly-insaturées.

Sal, avec un taux quasi-identique d'acide stéarique (saturé) et d'acide oléique (mono-insaturé) ne peut-être considérée comme une huile diététique mais elle est une source de graisses saturées et mono-insaturées appréciable dans un pays où il n'existe pas encore de "sur-consommation" de lipides comme dans les pays industrialisés.

En fait, le beurre de sal (outre encore une fois sa ressemblance avec le beurre de cacao) peut être aisément rapproché du saindoux ou du beurre. Ainsi ce beurre végétal issu d'un arbre peut finalement se comparer à des graisses animales.

Donc, même si le beurre de sal présente des qualités nutritionnelles (ce que les indiens ont compris depuis longtemps, puisqu'ils l'utilisent), son principal atout est d'être un substitut du beurre de cacao

B/ Le beurre de sal comme substitut du beurre de cacao.

De part sa composition en acides gras (voir figure 17), il est clair que le beurre de sal est très proche du beurre de cacao. La seule différence majeure réside dans le taux d'acide palmitique qui est cinq fois plus élevé pour le

beurre de cacao, ce qui le classe dans les corps gras saturés (voir figure 18) (ceux-ci sont nettement majoritaires).

Le beurre de cacao est une matière première de la chocolaterie, de la pâtisserie, de l'industrie pharmaceutique en Inde, de la cosmétique et d'autres industries parallèles (Ganapathy, 1976). Cependant pour deux principales raisons les chercheurs se sont tournés vers d'autres graisses végétales. La première raison est le prix élevé du beurre de cacao à cause d'une demande excessive supérieure à une offre limitée, et la seconde est la température. En effet, en été, surtout en région tropicale, la température ambiante est supérieure à la température de fusion du beurre de cacao. Il devient alors très difficile de manipuler le beurre de cacao. Alors des huiles et des graisses contenant des acides gras en C16 et C18 ont été étudiées comme substitut.

Ce sont l'huile de palme, l'huile des graines de coton, le suif ou la cire de Bornéo issu de *Shorea stenoptera* (famille des Diptérocarpacées), et aussi la graisse de mangue: *Mangifera indica* (famille des Anacardiacees), la graisse de mowrah: *Madhuca latifolia* (famille des Sapotacées), la graisse de phulwara: *Madhuca butyracea* (famille des Sapotacées), la graisse de kokum: *Garcinia indica* (famille des Guttifères), la graisse de dhupa: *Vateria indica* (famille des Diptérocarpacées), et la graisse de sal: *Shorea robusta* (famille des Diptérocarpacées) (Yella Reddy & Prabhakar, 1989; Chaudhuri & coll., 1983).

A titre de comparaison, voici les pourcentages d'acides gras saturés et insaturés des graisses les plus étudiées (Yella Reddy & Prabhakar, 1989; Chaudhuri & coll., 1983; Ali & coll., 1991).

	Acides gras saturés (%)	Acidesgras insaturés (%)
Beurre de sal.....	56.....	43
Beurre de cacao.....	56.....	40
Graisse de mangue.....	50.....	48
Graisse de dhupa.....	60.....	37
Graisse de kokum.....	57.....	42
Graisse de phulwara.....	70.....	28

Les études ont été approfondies pour le sal du fait de l'abondance de l'arbre, et aussi parce qu'il requiert les qualités d'un substitut tel que :

- Un point de fusion précis.
- Fonte rapide dans la bouche sans goût de cire.
- Durcissement rapide.
- Facilité à être moulé, démoulé, et à glacer des surfaces.
- Compatibilité avec le beurre de cacao, le cacao, le chocolat.
- Rétraction lors du refroidissement pour un démoulage facile.
- Résistance à l'oxydation, qui rend le corps rance lors du stockage.

Le but est d'obtenir une matière grasse de consistance, de propriétés de solidification et de goût semblables au beurre de cacao. Mais la sensation de frais dans la bouche donnée par le beurre de cacao est difficile à retrouver.

Pour cela, des mélanges sont réalisés.

La graisse de sal est riche en acide stéarique qui est une matière grasse de consistance dure. Il faut alors diminuer la dureté en mélangeant la graisse de sal avec une graisse de consistance plus molle, donc avec une graisse plus riche en acide gras à chaîne carbonée plus réduite. La graisse de phulwara (*Madhuca butyracea*) est riche en acide palmitique (C16) "plus mou" que l'acide stéarique. Un mélange en proportions adaptées des deux graisses permet d'obtenir un bon substitut du beurre de cacao.

Les deux graisses sont mélangées après fractionnement par acétone (deux fractionnements successifs sont nécessaires pour obtenir la fraction stéarique de la graisse de phulwara) (Yella Reddy & Prabhakar, 1989).

Des mélanges en proportions différentes sont réalisés:

85% de sal + 15% de phulwara.

67% de sal + 33% de phulwara.

50% de sal + 50% de phulwara.

Leurs courbes de refroidissement sont analysées et comparées à celle du beurre de cacao (voir figure 19).

La courbe c (85% de sal + 15% de phulwara) est très proche de la courbe g (beurre de cacao). Ainsi le mélange 85% de sal + 15% de phulwara s'avère être un excellent substitut du beurre de cacao, d'un très bon rapport qualité / prix. Le beurre de sal est alors un substitut au sens propre car il existe aussi la possibilité de faire un mélange beurre de sal / beurre de cacao, afin de diminuer le coût d'une préparation et d'économiser le beurre de cacao (Yella Reddy & Prabhakar, 1989; Chaudhuri & coll., 1983).

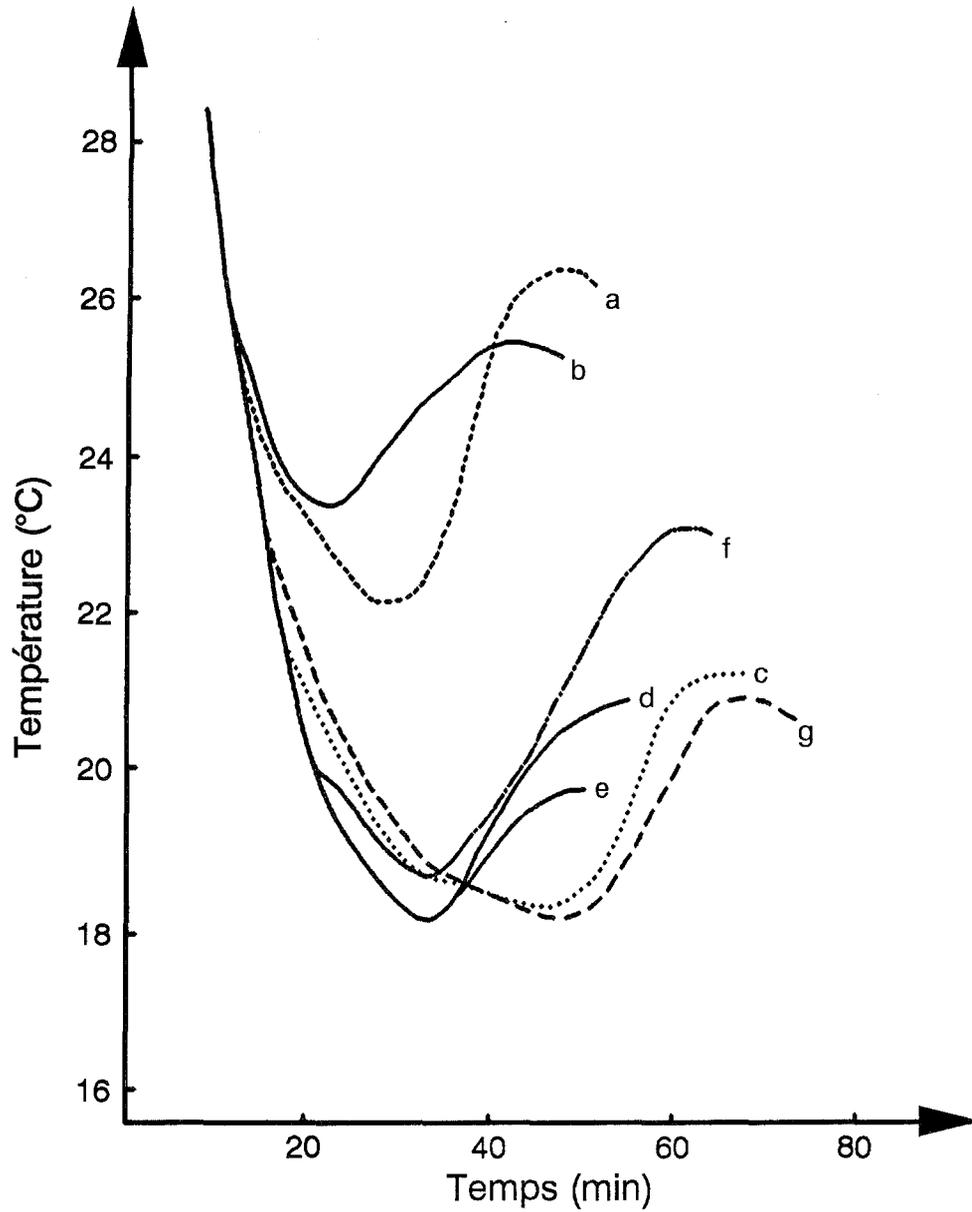


Figure 19: Courbes de refroidissement de :

- a: Fraction stéarique de la graisse de sal (FSS).
- b: Fraction stéarique du beurre de phulwara (FSP).
- c: FSS + FSP (85/15).
- d: FSS + FSP (67/33).
- e: FSS + FSP (50/50).
- f: c + beurre de cacao (50/50).
- g: Beurre de cacao.

2/ Utilisations dans l'alimentation animale.

Dans un pays comme l'Inde où la population ne cesse de croître, et où la demande de nourriture augmente sans cesse, il est difficile de nourrir correctement les animaux.

A/ Chez les volailles.

Les céréales représentent 50 à 60 % de la nourriture des volailles. La pénurie de céréales oriente les recherches vers des produits de substitution tel que le sal. Panda & Pradhan (1967) étudient la valeur nutritionnelle des graines de sal, et les comparent avec le blé et l'avoine. Leurs conclusions sont les suivantes: le sal décortiqué est comparable au blé, le sal non décortiqué à l'avoine; le blé et l'avoine sont moins riches en énergie que le sal. Ainsi, les graines de sal (fruits décortiqués) peuvent être utilisées comme substitut des céréales.

Nayak & Tripathy (1967) approfondissent l'étude. Ils démontrent que la substitution dans la ration alimentaire de 2,5% ou 5% de maïs par des graines de sal ne produit pas de déficience nutritionnelle, ni de lésions, et donne de meilleurs résultats que ceux obtenus lorsque le produit de substitution est l'huile d'arachide.

Les auteurs recommandent donc de remplacer 5% du maïs de la ration donnée aux volailles par des graines de sal. Cela réduit le coût et la préparation de la nourriture pour les volailles (surtout dans les régions riches en forêts à *Shorea robusta*).

B/ Chez le bétail.

Garg & coll. (1984) substituent 30, 45 et 60 % du régime alimentaire classique par les tourteaux de sal (il est courant de donner des tourteaux, sous-produits des huileries, au bétail).

Jusqu'à 30 % de tourteaux dans la ration alimentaire, aucune modification n'est observée chez les animaux. Au delà, le problème est la trop forte quantité de tanins absorbée par les animaux.

Selon leurs résultats, il est clair que les graines de sal peuvent être un moyen de diminuer les coûts d'alimentation des animaux élevés industriellement.

3/ Utilisations en cosmétologie.

Le beurre de cacao est utilisé en chocolaterie, en pharmacie (pour la fabrication des suppositoires, mais il est de plus en plus remplacé par des produits synthétiques), en cosmétique dans les crèmes et surtout dans le rouge à lèvres. Sal étant un substitut du beurre de cacao, il est donc tout naturel d'avoir pensé à l'utiliser en cosmétologie. C'est ainsi qu'en France il existe des crèmes cosmétiques qui contiennent du beurre de sal. Il en est ainsi pour les produits de la gamme Plénitude de L'Oréal, et dans les crèmes nutritives 1 et 2 de Vichy. Le beurre de sal constitue la phase grasse de la crème, et ceci fait même l'objet de brevet (L'Oréal a déposé son brevet en 1982).

Il est utile ici de s'arrêter sur les compositions cosmétiques, qui peuvent être: des émulsions huile dans eau, ou eau dans huile, des gels, des laits, des produits de maquillage ou même des huiles. Une composition cosmétique est constituée de deux phases: une phase grasse et une phase aqueuse.

La phase grasse est un mélange dont les proportions varient selon la consistance et les propriétés de la composition visée.

On y trouve des huiles et graisses, des cires et des composés divers.

* **Les huiles et graisses**, qui, mis à part la différence de consistance à température ambiante (les graisses sont solides à 21° C) ont des propriétés similaires.

Elles doivent s'étendre facilement sur la peau, laisser un film hydrophobe, être émoullientes, lubrifiantes et nourrissantes ce qui donne à la peau souplesse et protection contre les agressions atmosphériques.

On citera :

- *Les graisses végétales:*

Beurre de cacao

Huile de ricin hydrogénée

Beurre de karité

- *Les huiles végétales ou animales:*

Huile d'amande douce

Huile d'avocat

Huile de ricin

Huile d'olive

Huile de jojoba

Huile de Calophyllum,
La lanoline et ses dérivés.

- *Les huiles minérales:*

Huile de vaseline

- *Les huiles synthétiques:*

Palmitate d'éthyle et d'isopropyle.

Myristates d'alkyle tels que le myristate d'isopropyle, de butyle, de cétyle

Stéarate d'hexyle

Triglycérides des acides octanoïques et décanoïques.

Ricinoléate de cétyle

Octanoate de stéaryle (ou huile de purcellin)

Polyisobutène hydrogéné

Huile de silicone soluble dans d'autres huiles.

* **Les cires** sont solides à température ambiante.

Elles augmentent les propriétés émoullientes des huiles et des graisses en élevant le point de fusion du film laissé sur la peau.

Elles sont émulsionnantes ou co-émulsionnantes mais surtout épaississantes en améliorant l'onctuosité et la texture générale des émulsions.

Voici quelques exemples de cires:

- Cire de carnauba
- Cire d'abeille
- Cire de candellila



Compte tenu du grand nombre de produits gras utilisables, le choix d'une phase grasse pose de nombreux problèmes aux cosmétologues.

Les substances ne permettent pas toujours de conférer aux compositions cosmétiques toutes les propriétés requises et plus particulièrement la douceur, le confort, l'onctuosité. De plus les films gras laissés sur la peau n'ont pas toujours un effet protecteur et assouplissant.

Les cosmétologues ont constaté que l'on pouvait obtenir d'excellents résultats en utilisant un certain pourcentage de graisse de *Shorea robusta*.

La graisse de sal apporte notamment de la douceur et de l'onctuosité lors de l'application des compositions cosmétiques qui en contiennent, et laisse par ailleurs sur la peau un film mat, doux et protecteur qui tout en assouplissant la peau a également un effet adoucissant.

En outre, on a constaté que par rapport à certains produits gras tels que le beurre de cacao, il était possible d'utiliser la graisse de sal dans des compositions aqueuses à forte concentration en eau (supérieure à 30 %) sans que l'on n'observe la formation de produits rances.

Ces nouvelles compositions comprennent donc une phase grasse essentiellement constituée par de la graisse de sal. Celle-ci, pour être incorporée dans des préparations cosmétiques doit répondre à certaines normes (fixées par le brevet) établies en fonction des caractéristiques physico-chimiques du beurre de sal. Ces normes sont les suivantes:

- point de fusion : 30 - 38,5° C
- densité (à 30° C) : 0,860 à 0,900
- indice de réfraction à 40° C : 1,4560 - 1,4580

- indice de saponification : 180 - 220
- indice d'iode : 36 - 42
- indice d'acide : de 0,1 à 18,9
- insaponifiable : 0,73 - 2,2 %

Quant à la composition en acides gras, la graisse de sal utilisée dans la préparation cosmétique doit contenir les acides suivants présents dans la fourchette de pourcentage indiquée:

- acide palmitique: 2,2 - 8,3 %.
- acide stéarique: 34,2 - 48,4 %.
- acide arachidique: 5,5 - 12,3 %.
- acide oléique: 35,9 - 42,2 %.
- acide linoléique: 1,9 - 3,2 %.

Les normes exigées sont en accord avec les valeurs citées dans le chapitre "Chimie".

Dans les produits cosmétiques, la graisse de sal est présente à une concentration qui peut aller de 2 à 80 % (poids/poids total de la composition) (par exemple de 2 à 20 % s'il s'agit d'une émulsion, de 80 % pour un baume).

*** les composés divers:**

* Des alcools à longue chaîne à dix-huit ou vingt carbones, dont la concentration est comprise entre 0,5 et 5 %.

* Des polymères tels que le poly Laurate de vinyle.

* Des agents émulsionnants: ils sont présents si la composition est une crème ou un lait (une émulsion eau dans huile ou huile dans eau). La phase grasse représente alors 4 à 60 %, la phase eau 30 à 90 %, et l'agent émulsionnant 1 à 20 % (de préférence 2 à 12 %).

Il est intéressant de noter ici qu'une composition peut être constituée uniquement par la phase grasse et on a alors une huile : huile anti-solaire si filtre solaire ; huile pour les mains, le corps, les cheveux, huile de pré-rasage ou après rasage, huile pour le bain.

Parmi les agents émulsionnants on citera :

- les alcools gras polyoxyéthylénés ou polyglycérolés
- les sulfates d'alkyl oxyéthylénés ou non
- les mélanges: lanolate (de Mg, Ca, Li, Zn, Al), lanoline hydrogénée et/ou alcool de lanoline
- les esters d'acides gras et de polyols (glycérol ou propylène glycol.
- le "TWEEN"

* Des agents épaississants ou gélifiants :

- des silicates de Mg et d'Al
- des copolymères éther-vinyle / anhydride maléique ("VISCOFAS X.100.000")
- des polymères carboxyvinyliques ("CARBOPOL L.100")

* Agents Colorants, Parfums, Conservateurs, Filtres UV, Pigments , Agents nacrant, Charges minérales ou organiques.

* Agents Anti-Oxydants tels que :

- BHA (Butyl Hydroxy Anisole)
- BHT (Butyl Hydroxy Toluène)

à raison de 0,002 à 0,2 %.

Pour illustrer, voici quelques exemples de compositions cosmétiques:

*** Exemple 1:** Crème de soins sous forme d'une émulsion eau dans huile.

Phase grasse:

- Cire microcristalline (1%).
- Huile vaseline (10%).
- Huile germe de maïs (2%).
- Graisse de *Shorea robusta* (6%).
- Esters d'acides gras en C8 - C18 et d'alcools gras en C12 - C18 (1%).

Monoisostéarate de sorbitan (5%).

Gel de montmorillonite modifiée organiquement et d'huile neutre (triglycérides d'acides caprylique et caprique) (5%).

Polypropylène glycol (3%).

BHA + BHT (0,01%).

Eau + conservateur (q.s.p. 100%).

*** Exemple 2:** Savon crème à rincer.

Phase grasse:

- Huile minérale (15%).
- Graisse de *Shorea robusta* (5%).

Propylène glycol (10%).

Viscofas X.100.000 (0,4%).

Arginine (0,35%).

Stéarate de triéthanolamine (12%).

BHA + BHT (0,005%).

Eau + conservateur (q.s.p. 100%).

*** Exemple 3: Huile avant shampoing.**

Graisse de *Shorea robusta* (50%).

BHA + BHT (0,025%).

Huile de coprah (q.s.p. 100%).

Remarque: Les pourcentages cités dans ces trois exemples correspondent à des poids.

4/ Utilisations diverses en Inde.

A/ Le bois.

Le sal est l'un des arbres de construction le plus répandu en Inde et au Népal. C'est un bois fort et élastique dont le coeur est très résistant. Il a cependant le désavantage d'être difficile à sécher, à conditionner, à raboter à cause de ses fibres très irrégulières.

Il sert aux constructions de charpentes, menuiseries, portes, châssis de fenêtres, planchers...

Les chemins de fer l'utilisent pour les traverses et les wagons encore souvent en bois.

Dans les temples religieux, Sal est un bois d'art pour les statues, sculptures, poutres et portes décorées.

C'est aussi un excellent bois de chauffage (surtout le bois de coeur), et on en fait du charbon de bois (Storrs A. & J., 1984).

B/ Les feuilles.

Dans les marchés de Katmandu ou d'autres grandes villes, on achète des plats traditionnels consommés sur place ou des friandises servis dans des "assiettes" confectionnées à partir de feuilles de Sal, sorte d'assiettes en carton biodégradables !!!

Les feuilles constituent un excellent fourrage pour le bétail, fourrage peu onéreux et abondant. C'est ainsi que l'on peut voir le long des routes (vers Katmandu) des centaines de Sal réduits à leur tronc avec seulement quelques touffes de feuilles ici et là (Storrs A. & J., 1984).

C/ La résine.

Une résine blanche : "Sal dammar" est extraite des troncs. Elle est brûlée comme encens dans certaines cérémonies religieuses, utilisée comme désinfectant ou même pour calfater les navires (Reddy & coll., 1976).

D/ L'écorce.

Elle est bien évidemment riche en tanins (9 à 10 %) et donc utilisée pour tanner.

Les fibres ligneuses sous l'écorce peuvent servir à confectionner des cordages (Jackson, 1987).

E/ Les graines - Le fruit.

Les graines donnent donc une graisse qui peut être utilisée (autre comme substitut du beurre de cacao), pour :

- les lampes à huile.
- la fabrication des savons (après mélange avec le corps gras).
- comme cires et vernis.
- la fabrication du papier couché.

CONCLUSION

VI/ CONCLUSION.

Ce mémoire rassemble les données bibliographiques sur *Shorea robusta* (Gaertn), famille des Diptérocarpacées. Si tous les botanistes sont d'accord quant à la famille, il n'en est pas de même pour l'ordre. En effet, selon les auteurs, *Shorea robusta* appartient à l'ordre des Guttiférales, ou des Pariétales, ou des Ochnales, ou même à celui des Malvales.

Shorea robusta est un arbre de vingt-cinq mètres de haut environ, qui pousse dans toute l'Asie tropicale. En Inde, où il représente environ 15 % des forêts, il est appelé communément le sal. Son bois fait de lui un arbre de construction très courant. Ses feuilles sont simples et coriaces, les panicules de fleurs jaunes très odorantes apparaissent entre mars et avril. Le fruit, quant à lui est un akène entouré de cinq ailettes ayant en son centre une graine.

Ce sont ces graines qui représentent le véritable atout de cet arbre, puisque le but est de les utiliser comme graines oléagineuses. Une fois broyées, elles donnent, d'un côté la graisse de sal, et de l'autre les tourteaux. La graisse, avant d'être utilisée subit le fractionnement qui permet d'obtenir deux fractions: une fraction oléique liquide (peu utilisée) et une fraction stéarique solide utilisée comme substitut du beurre de cacao.

Le beurre de sal est défini par ses propriétés physico-chimiques: indice d'acide, indice de saponification, indice d'iode et l'insaponifiable.

Ce corps gras est constitué de triglycérides eux-mêmes composés de glycérol et d'acides gras, et de la fraction insaponifiable.

Les triglycérides majoritaires sont SOS (40 %) (acide stéarique, acide oléique et acide stéarique) et SOA (acide stéarique, acide oléique et acide arachidique). Mais l'originalité des triglycérides réside dans la présence de DHS-TG: triglycérides qui contiennent en position 2 de l'acide 9,10-dihydroxystéarique ou de l'acide 9,10 époxystéarique, en sachant que les positions 1 et 3 sont occupées par l'acide stéarique. Dans les jeunes graines, on trouve l'acide 9,10-époxystéarique qui est réduit avec le temps en acide 9,10-dihydroxystéarique.

De nombreux auteurs ont étudié la composition en acides gras du beurre de sal, et les résultats concordent:

les acides stéarique (acide gras saturé à 18 atomes de carbone) et oléique (acide gras mono-insaturé à 18 atomes de carbone) représentent 80 % des acides gras (40 % environ chacun). Puis viennent par ordre d'importance: l'acide arachidique et l'acide palmitique (deux acides gras saturés respectivement à 20 et à 16 atomes de carbone), l'acide linoléique (di-insaturé à 18 atomes de carbone) et l'acide linoléique (tri-insaturé à 18 atomes de carbone) (sa présence n'a été décrite que dans une seule publication). Il ne faut pas omettre de citer l'acide 9,10-dihydroxystéarique (environ 0,5 %).

La fraction insaponifiable est constituée de stérols (principalement le β -sitostérol et le campesterol), d'alcools triterpéniques (principalement la β -amyrine et le cycloarténol), des méthyl-4 stérols (principalement le cyclo-

eucaléno). Une équipe indienne a identifié une quatrième catégorie originale: les cétones-3 triterpéniques qui proviennent d'une oxydation des triterpènes possédant une fonction -OH en position 3. Il apparaît que c'est la première fois que des cétones-3 triterpéniques sont rencontrées dans une graisse végétale. La fraction insaponifiable comprend aussi des tocophérols (surtout de la vitamine E: l' α -tocophérol) et des tocotriénols qui sont eux aussi rarement rencontrés dans les graisses végétales.

Outre le beurre de sal, le broyage des graines fournit les tourteaux naturellement riches en amidon (30 à 40 %) et en protéines (10 à 12 %). Hélas ces protéines sont de piètre qualité car elles sont pauvres en acides aminés essentiels.

Les tourteaux des graines se révèlent être riches, trop riches, en tanins (10 à 12 %), esters de l'acide gallique et éllagique sous forme de glycosides. C'est ainsi qu'ils contiennent de l'acide gallique, de l'acide éllagique, de l'acide chébulinique et de la corilagine.

Il faut aussi noter dans ces tourteaux, la présence d'un acide organique phénolique: l'acide shorbique et d'une benzofuranone.

Les graines ne doivent cependant pas faire oublier que le sal est un arbre résineux. Il fournit une résine appelée damnar composée d'un mélange de terpènes et d'alcools hydroterpéniques, et les tanins de son écorce sont encore utilisés pour tanner le cuir.

En vue d'une utilisation alimentaire des graines, deux études toxicologiques (une de la graine, et une du beurre) sont réalisées chez le rat.

La première révèle que l'incorporation de 10 % de graines de

sal (environ 1 % de tanins) dans un régime de base, permet une croissance normale des rats, et que les protéines de sal sont de médiocre qualité (le calcul de la ration protéique ne doit pas faire intervenir les protéines contenues dans les graines de sal. En fait, les manifestations toxiques produites par les tanins peuvent être évitées en incorporant de forts pourcentages de caséine qui complexe les tanins.

La seconde étude toxicologique menée sur le beurre de cacao démontre qu'il ne peut être la seule source de corps gras dans un régime alimentaire à cause de sa faible digestibilité (due à la trop forte proportion de graisses saturées). Mais, le beurre de sal n'a d'influence néfaste ni sur la quantité de cholestérol ou de lipides dans le foie des rats, ni sur l'absorption de l'azote, du calcium, ou du phosphore.

L'utilisation du beurre de sal dans l'alimentation humaine, de part sa composition en acides gras, se rapproche davantage d'une graisse animale tel que le beurre ou le saindoux. En fait, les indiens le consomment rarement seul mais surtout en mélange.

Le principal intérêt est en tant que substitut du beurre de cacao puisque la similitude de composition (sauf pour l'acide palmitique dont le taux est cinq fois plus élevé pour le beurre de cacao) est frappante. Alors pour se rapprocher le plus possible, encore une fois, on procède à des mélanges avec un corps gras riche en acide palmitique: la graisse de phulwara (*Madhuca indica*, famille des Sapotacées).

En ce qui concerne la nourriture pour animaux: chez les volailles, 5 % du maïs de la ration alimentaire peut être remplacé par des graines de sal; chez le bétail, 30 % de tourteaux peuvent être incorporés à la ration alimentaire.

La similitude du beurre de sal avec celui du cacao nous entraîne dans l'univers de la cosmétologie. La graisse de sal est alors un constituant de la phase grasse des compositions cosmétiques et ceci même dans des compositions à forte concentration en eau, sans que l'on observe la formation de produits rances. La société L'Oréal l'a bien compris puisqu'un brevet a été déposé en 1982.

Cependant, *Shorea robusta* dans une préparation cosmétique n'est que la face visible de l'iceberg. *Shorea robusta* est bien plus: c'est un arbre précieux et utile à multiples facettes. Son bois sert aux constructions, à la sculpture, au chauffage, ses feuilles sont utilisées comme fourrage pour le bétail, sa résine sert à calfater les navires, son écorce pour le tannage des peaux.

Au terme de cette étude, nous constatons qu'à côté de constituants largement répandus le sal se distingue par des composés de la filière triterpénique originaux, qui portent des potentialités intéressantes.

BIBLIOGRAPHIE

VII/ BIBLIOGRAPHIE

- .Adhikari, S. & Adhikari, J. (1989).
Sal olein and mahua olein for direct edible use.
JAOCs **66**, 1625-1630.
- .Adhikari, S., Dasgupta, J., Bhattacharyya, D.J. &
Chakrabarty, M.M. (1981).
*Studies on preparation of plastic fats from non-traditional
oils and fats by interesterification process.*
Fette Seifen Anstrichmittel **83**, 262-267.
- .Ali, A.R.Md, Embong, M.S., Omar, H. & Fliingoh, C.H. Oh
(1991).
*Effect of oleo-disaturated triacylglycerol content on
properties of palm mid fractions, sal stearin and Borneo
tallow blinds.*
JAOCs **68**, 328-331.
- .Ashton, P.S. (1963).
Gdn's Bull Singapore **20**, 229.
- .Ashton, P.S. (1967).
Gdn's Bull Singapore **22**, 259.

- .Babbar, O.P., Joshi, M.N. & Chowdhury, B.L. (1983).
Protection induced in chick embryos against Raniket disease virus by some plant extracts or their fractions.
Indian journal of experimental biology **21**, 637-638.
- .Bajpai, M. & Vasishtha, A.K. (1987).
Directed interesterification of sal (Shorea robusta) fat.
Journal of the oil technologists' association of India **19**, 76-78.
- .Basu, B.D. (1918).
Indian medicinal plants.
Jayyed Press, Delhi, Part I, 113.
- .Bhattacharyya, D.K., Chakrabarty, M.M. & Kar, K. (1985).
Acidolys reaction of sal fat (Shorea robusta) with palmitic acid.
Fette Seifen Anstrichmittel **87**, 278-282.
- .Bhattacharyya, D.K. & Khatoon, S. (1986).
Effect of processings and additives on properties of sal fat and sal stearin.
Journal of the oil technologists' association of India **18**, 41-46.
- .Bhattacharyya, D.K. & Samaddar, G. (1987).
Isolation of starch from sal meal.
Journal of the oil technologists' association of India **19**, 52.

.Bisset, N.G., Diaz, M.A., Ehret, C., Ourisson, G., Palmade, M., Patil, F., Pesnelle, P. & Streith, J. (1966).

Etudes chimio-taxonomiques dans la famille des Diptérocarpacées -II.

Phytochemistry **5**, 865-880.

.Bisset, N.G., Chavanel, V., Lantz, J.P. & Wolff, R.E. (1971).

Constituants sesquiterpéniques et triterpéniques des résines du genre Shorea.

Phytochemistry, **10**, 2451-2463.

.Boyd, F.M., Berecky, K., & Godi, I. (1965).

The acute toxicity of tannic acid administered intragastrically.

Can. Med. Ass. J. **92**, 1292-1299.

.Bringi, N.V., Padley, F.B. & Timms, R.E. (1972).

Fatty acid and triglyceride compositions of Shorea robusta fat: occurrence of cis-9,10-epoxystearic acid and threo-9,10-dihydroxystearic acid.

Chemistry and Industry, 805-806.

.Bringi, N.V. (1976).

Unusual constituents of oils and fats.

Journal of the oil technologists' association of India **8**, 81-83.

.Chadefaud, M. & Emberger, L. (1960).

Traité de botanique (Systématique).

Masson & Cie, Paris.

.Chaudhuri, P.G., Chakrabarty, M.M. & Bhattacharyya, D.K.
(1983).

*Modification of some tree borne seed fats for the preparation
of high priced confectionery fats.*

Fette Seifen Anstrichmittel **85**, 224-227.

.Chavanel, V. (1972).

Structure du kawangénol C, alcool sesquiterpénique.

Etude chimio-taxonomique du genre Shorea.

Thèse de Doctorat es Sciences Physiques, Strasbourg (203 p).

.Chopra, R.N., Nayar, S.L. & Chopra, I.C. (1956).

Glossary of indian medicinal plants.

Council of scientific & industrial research, New-Delhi, 226.

.Crété, P. (1965).

Précis de botanique, tome II.

Masson et Cie, Paris, 185-186.

.Devendra, K. (1979).

*2-(2-iminoactic acid)-3-(2H)-benzofuranone: a new metabolite
from Shorea robusta seeds.*

Heterocycles **12**, 1281-1284.

- .Devendra, K. (1980).
Tannin composition of sal (Shorea robusta) seeds.
Journal of food sciences and technology India 17, 144-145.
- .Diaz, M.A., Ourisson, G. & Bisset, N.G. (1966).
Etudes chimio-taxonomiques dans la famille des
Diptérocarpacées -I.
Phytochemistry, 5, 855-865.
- .Dobremez, J.F. (1972).
Mise au point d'une méthode cartographique d'étude des
montagnes tropicales. Le Népal, écologie et phytogéographie.
Thèse de Doctorat es Sciences, Grenoble (373 p).
- .Dobremez, J.F. (1976).
Le Népal. Ecologie et biogéographie.
CNRS, Paris (356 p).
- .Engler, A. (1964).
Syllabus der Pflanzenfamilien, 12^e Ed., Vol. 2. Gebr.
Borntraeger, Berlin.
- .Ganapathy, A. (1976).
Cocoa butter and its substitutes.
Indian food packer 30, 28-34.

- .Gandhi, V.M., Cherian, K.M. & Mulky, M.J. (1975).
Utilisation of non-traditional indigenous oil seed meal -Part I.
Toxicological studies on sal (Shorea robusta) seed meal.
Journal of the oil technologists' association of India,
39-43.
- .Garg, A.K., Agrawal, D.K. & Nath, K. (1984).
Effect of sal (Shorea robusta) seed meal tannins on serum enzymes, nutrient utilization and growth in growing calves.
Agricultural wastes **11**, 307-317.
- .George, G., Ramesh, B.S. & Sen, D.P. (1986).
Effect of interesterified fats and isolated fatty acids on serum lipid classes in cholesterol-bile salt stressed rats.
Fette Seifen Anstrichmittel **88**, 307-315.
- .Grover, M.R., Motghare, M., Sarma, N.V. & Mathew, T.V. (1985).
Studies on Physico-chemical characteristics of sal seed fat. Its suitability for edible use.
Research and Industry **30**, 386-389.
- .Hegnauer, R. (1966).
Chemotaxonomie der Pflanzen, Birkhauser Verlag, Basel, Stuttgart.
- .Hilditch, T.P. & Zaky, Y.A.H. (1942).
J. Soc. Chem. Ind. **61**, 34.

.Hooker, J.D., C.D. (1874).

Flora of India, Vol 1, Royal botanical garden, Kew, 294-307.

.Hutchinson, J. (1973).

The families of flowering plants. Third edition.

Clarendon press, London, 350-351.

.Imbesi, A. (1964).

Index plantarum.

Quae in omnium popularum pharmacopoeis sunt adhuc receptae.

Messina, 633.

.Jackson, J.K. (1987).

Manual of afforestation in Nepal.

Department of forest, Katmandu, 350-352.

.Jeong, T.M., Itoh, T., Tamura, T. & Matsumoto, T. (1974).

Analysis of sterol fractions from twenty vegetable oils.

Lipids 9, 921-927.

.Jeong, T.M., Itoh, T., Tamura, T. & Matsumoto, T. (1975).

Analysis of methyl sterol fraction from twenty vegetable oils.

Lipids 10, 634-640.

.Kershaw, S.J. (1987).

Technical note: heterogeneity in commercial contractual samples of illipute nut (Shorea spp).

Food Science and Technology 22, 67-72.

- .Kolhe, J.N., Bhaskar, A. & Bringi, N.V. (1981).
Occurrence of 3-keto triterpenes in the insaponifiable matter of sal (Shorea robusta) seed fat.
Lipids **16**, 775-776.
- .Madhusudanama, W., Sundara Rao, V.S., Vijayaramaya, T., Reddy, K.K. & Sastry, K.N.S. (1983).
Studies on sal (Shorea robusta) seeds: Part III extraction of tannins from deoiled sal seeds.
Leather Science **30**, 280-281.
- .Mani, V.V.S. & Lakshminarayana, G. (1970).
Pancreatic lipase hydrolysis of four seed fats and calculation of the glyceride composition using a computer.
Fette Seifen Anstrichmittel **72**, 434-438.
- .Meijer, W. (1962).
Acta Bot. Neerl. **12**, 319.
- .Nayak, N.C. & Tripathy, S.B. (1967).
Use of decorticated sal (Shorea robusta) seed as poultry feed - a preliminary trial.
Indian Vet. J. **44**, 706-711.
- .Panda, N.C. & Pradhan, S.C. (1967).
Chemical composition of sal fruit (Shorea robusta).
Indian Vet. J. **44**, 62-64.

.Ramanna, B.R., Saramandal, C.V. & Sen, D.P. (1984).

Epoxy stearic acid content of sal (Shorea robusta) kernel fat.
Journal of Food Science and Technology India **21**, 322-324.

.Reddy, K.K., Vijajaramayya, T., Sundara Rao, V.S., Sastry, K.N.S. & Santappa, M. (1976).

Studies on sal (part I).

Leather Science **23**, 403-405.

.Reddy, K.K., Vijajaramayya, T., Sundara Rao, V.S., Sastry, K.N.S. & Santappa, M. (1977).

Studies on sal (part II).

Leather Science **24**, 243-244.

.Saha, P.K. & Ganguly, S.N. (1979).

Shorbic acid, a new phenolic acid from the seeds of Shorea robusta.

Fitoterapia **50**, 79.

.Soni, P.L., Sharma, H.W., Bisen, S.S., Dehra Dun, Srivastava, H.C., Gharia, M.M. & Ahmedabab (1987).

Unique physico-chemical properties of sal (Shorea robusta) starch.

Starch / Stärke **39**, 411-413.

χ .Soulie, P., Lecerf, J.C., Farines, M. & Soulie, J. (1989).

Composition chimique des beurres de sal et d'illipe.

Revue française des corps gras **36**, 361-365.

- .Soulhier, P., Farines, M. & Souhier, J. (1990).
Triterpene alcohols, 4-methylsterols and 4-desmethylsterols of sal and illipe butters.
JAACS **67**, 338-393.
- .Srinivasulu, C. & Mahapatra, S.N. (1969).
Studies on salseed, Shorea robusta Gaertn F.; Part I
IO & SJ **34**, 147-150.
- .Storrs, A. & Stoor, J. (1984).
Discovering trees in Nepal and the Himalayas.
Sahayogi press, Katmandu, 264-267.
- .Sundaravalli, O.E., Guttikar, M.N., Desai, B.L.M. & Shurpalekar, K.S. (1978).
Nutritional studies on refined sal (Shorea robusta) fat.
Journal of the Oil Technologists' association of India **10**,
147-150.
- .Symington, C.F. (1943).
Forests' Manual of Dipterocarps.
Malayan Forest Records n°16.
- .Takhtajan, A. (1986).
Floristic regions of the world.
University of California press, Berkeley, Los Angeles,
London (522 p).

.Whitmore, T.C. (1962).

Gdns' Bull, Singapore **19**, 321.

.Wolff, J.P. (1968).

Manuel d'analyse des corps gras.

Azoulay, Paris (552 p).

.Yella Reddy, S. & Prabhakar, J.V. (1985).

Effect of triglycerides containing 9,10-dihydroxystearic acid on the solidification properties of sal (Shorea robusta) fat.

JAOCS **62**, 1126-1130.

.Yella Reddy, S. & Prabhakar, J.V. (1986).

Study on the polymorphism of normal triglycerides of sal (Shorea robusta) fat by the DSC.

JAOCS **63**, 672-676.

.Yella Reddy, S. & Prabhakar, J.V. (1987).

Isolation of 9,10-dihydroxystearic acid from sal (Shorea robusta) fat.

JAOCS **64**, 97-99.

.Yella Reddy, S. & Prabhakar, J.V. (1989).

Effect of triglycerides containing 9,10-dihydroxystearic acid on polymorphism of sal (Shorea robusta) fat.

JAOCS **66**, 805-808.

.Yella Reddy, S. & Prabhakar, J.V. (1989).

Confectionery fats from sal (Shorea robusta) fat and phulwara (Madhuca butyracea) butter.

Food Chemistry **34**, 131-139.

.Zabotto, A. & Griat, J. (1982).

Composition cosmétique sous forme aqueuse ou anhydre contenant une phase grasse à base de graisse de Shorea robusta.

Brevet N° 8219062.

Classification internationale A 61 K 7/00.

Déposé le 15 novembre 1982 par la société anonyme dite:
L'Oréal. - FR.



AUTORISATION D'IMPRESSION

De la Thèse dont l'intitulé est : *Shorea robusta* (Gaertn.)
Femelle des Diptero carpacées

CANDIDAT : M^{me} - Anne Mathiez ep. Clerc .

VU

GRENOBLE, le 10 janvier 1992

Le Président du Jury

Alariotte

VU

GRENOBLE, le 27 janvier 1992

Le Président de l'Université

Joseph FOURIER GRENOBLE I
Sciences. Technologie. Médecine

Le Président de l'Université
Joseph-Fourier - Grenoble I

A. NEMOZ

