

Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales

Les auteurs

Centro Franco-Brasileiro de Documentação Técnica e Científica (Cendotec)

Marion Carli
Felipe Coelho Costa
Orlando Silva

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad)

Jean-Louis Bélot
André Berthaud
Didier Clement
Abigail Fallot
Philippe Girard
Alexia Prades
Patrick Rousset
Pierre Silvie
Gilles Vaitilingom

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária(Embrapa)

Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão
Renato Roscoe

Innov-energie

Christian Bedrossian

Instituto Militar de Engenharia (IME)

Wilma de Araujo Gonzáles

Serviço Florestal Brasileiro (SFB)

Ana Cristina dos Santos Azevedo
Lucelia Alves de Macedo
Waldir Ferreira Quirino

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Diego Aires da Silva

Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales

Coordination : Patrick Rousset



Mise en page : *Denys Márcio de Sousa*

Photos de l'avant :

Árvores Brasileiras, Lorenzi, 1992
Cirrad
Google imagens internet

Photographies du chapitre 1 :

Árvores Brasileiras, Lorenzi, 1992
Ferrão, 1993
Embrapa, 2004
Caetano & Souza, 2006
Sebrae, 2007
Anuário Brasileiro de Agroenergia, 2007
Cetec, 1983
Vasconcelos, 2007
Oliveira, 2007
Google imagens internet, 2008

Cirad

SHIS QI 23 – Bloco “B” – Edifício Top 23

CEP: 71660-120 – Brasília – DF

Téléphone: (61) 3366-1601

Télécopie: (61) 3366-4954

Site Internet: www.cirad.fr

G946 Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales /
Patrick Rousset, Coordonnateur. – Brasília : Cirad, 2008.
288p. : il. color. ; 22cm

1. Huile végétale (Carburants). 2. Huile. I. Rousset, Patrick. II. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement – Cirad. III. Centro Franco-Brasileiro de Documentação Técnica e Científica – Cendotec. IV. Serviço Florestal Brasileiro – SFB. V. Título.

CDU(2.ed.)662.756.3

Cette publication a été imprimée avec des encres végétales sur du papier recyclé.

IMPRIMÉ AU BRÉSIL

Remerciements

Le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad) tient à remercier les auteurs pour avoir produit cette première édition de ce guide technique des oléagineuses pour un usage énergétique.

Les plus vifs remerciements vont également aux partenaires qui ont soutenu la réalisation de cet ouvrage, l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe) et le Ministère Français des Affaires Etrangères Européennes (MAE).

Préface

Les carburants d'origine végétale permettent de participer au développement d'une alternative au tout pétrole et de lutter efficacement contre le changement climatique. Ils apportent une contribution extrêmement importante au secteur des transports pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et au secteur énergétique en permettant une indépendance des régions isolées ou n'ayant pas de réserves pétrolières.

Parmi les biocarburants, les huiles végétales et leurs dérivés présentent des bilans environnementaux très favorables. Pour le biodiesel d'huile de palme, les émissions de gaz à effet de serre et les quantités de CO₂ rejetées dans l'atmosphère sont presque divisées par deux. Il ne faut toutefois pas sous estimer les répercussions des pratiques culturales sur l'environnement et absolument intégrer les critères d'un développement durable, afin d'éviter la déforestation, la perte de biodiversité et l'exploitation des populations locales.

Lorsque l'on parle de biocarburants, une multitude de plantes peuvent être considérées. Les plus médiatisées sont pour la région amazonie, l'éthanol issu de la canne à sucre et l'huile de palme. Convaincu de l'intérêt de l'huile carburant et du potentiel des oléagineux d'Amérique du sud, nous avons souhaité approfondir nos connaissances pour différentes plantes : le ricin, les palmiers amazoniens, le jatropha, l'arachide, le coton, ...

Devant la multitude ou l'absence totale de données, nous avons souhaité soutenir le CIRAD dans l'élaboration d'un guide technique sur les plantes oléagineuses amazoniennes disponibles pour la production de biodiesel.

Ce guide nous permet d'identifier les plantes oléagineuses présentant un intérêt économique et social à l'échelle de la région amazonie et des populations locales. La description des technologies à mettre en œuvre pour transformer la plante, est un véritable outil d'aide à la décision pour tout entrepreneur ou investisseur dans le choix de cultures spécifiques à nos régions.

Préface

Contrairement à l'éthanol, l'expérience brésilienne en matière de biodiesel est très « jeune », ce qui en fait à ce titre une filière particulièrement intéressante. Les interrogations notamment économiques que suscite aujourd'hui le biodiesel brésilien (impact des variations à la hausse du prix de certaines huiles sur la viabilité de certains investissements) mais également la richesse du nombre d'oléagineuses présentes sur tout le territoire brésilien laissent à penser que le développement du biodiesel brésilien ne reposera pas sur l'utilisation d'une seule matière première végétale, contrairement à la canne à sucre pour l'éthanol. Si les huiles de soja ou de ricin ont eu tendance à être privilégiées jusqu'à présent, il est fort probable que la palette des huiles végétales destinées à la fabrication de biodiesel s'élargira dans les années à venir à d'autres matières premières comme les huiles de jatropha, de palme, de tournesol... Cette évolution se confirme depuis quelques mois dans les projets de construction d'usines et, peut être parfois hâtivement, sur le terrain.

L'accroissement probable du nombre des huiles végétales qui seront utilisées durablement dans la production de biodiesel impose une bonne connaissance scientifique et technique préalable des oléagineuses disponibles au Brésil (caractérisation physico-chimique des huiles, besoin en eaux, risques phytosanitaires, exigences logistiques...). Malheureusement, jusqu'à présent, les informations n'étaient pas nécessairement rigoureuses, disponibles, complètes ou tout simplement présentées synthétiquement.

Si la diversité des matières premières disponibles au Brésil pour la fabrication de biodiesel est réelle, elle ne sera une richesse que si elle est au mieux techniquement et scientifiquement caractérisée. Ce guide, par la qualité et la richesse des informations qu'il contient, y contribue pleinement.

Au-delà d'être un outil synthétique, ce guide s'inscrit pleinement dans des débats et enjeux beaucoup plus larges, qu'ils soient environnementaux (changement climatique), sociaux (dimension importante et inhérente au lancement du programme biodiesel au Brésil) ou qu'ils aient trait au développement rural brésilien. Sur ce dernier point, contrairement à

la production de canne à sucre, très concentrée géographiquement, la production d'huiles végétales, devrait concerner une grande partie du territoire brésilien.

*Ambassade de France au Brésil
Manuel Marciaux
Attaché Agricole*

Avant-Propos

Le Brésil est reconnu comme l'un des « géants » de l'agriculture mondiale : premier producteur mondial de sucre, de jus d'orange concentré et de café, deuxième producteur de soja, de volaille et de viande bovine (mais premier exportateur !), troisième producteur de maïs et de fruits...la liste des premiers prix et des accécits est longue.

Depuis 2005, c'est un autre « premier prix » de l'agriculture brésilienne qui a attiré dans ce pays d'nnombrables délégations des gouvernements des principales puissances économiques de la planète, ainsi que des instances internationales et des organismes multilatéraux (FAO, FMI, CE, CNUCED...) : celui de premier exportateur d'éthanol biocombustible (et premier producteur au monde jusqu'en 2006, venant d'être dépassé en 2007 par les USA) !

L'histoire du partenariat entre le Cirad et la recherche agronomique brésilienne est, elle, beaucoup plus ancienne, y compris sur les bioénergies. En 2008, nous célébrons en effet le 30ème anniversaire d'une coopération en continu via des chercheurs (au nombre de 31 en 2008) intégrés dans des équipes locales ! La dimension continentale du Brésil, la diversité de ses climats et de ses agro-systèmes, la richesse de ses ressources naturelles (eau, forêt, biodiversité), l'excellence scientifique de sa recherche, mais aussi la grande proximité culturelle et politique entre les deux pays, sont autant de raisons qui ont permis le développement d'un partenariat avec les institutions scientifiques brésiennes : l'Embrapa, les Universités (fédérales et des Etats fédérés), des centres spécialisés comme l'Ibama ou la Ceplac, et des partenaires associatifs ou privés comme le WWF-Brasil, la Coodetec ou l'Ipef.

L'action du Cirad au Brésil est actuellement, et pour le moyen terme, structurée autour de trois thématiques d'intérêt partagé avec les partenaires brésiliens : la biologie appliquée à l'amélioration variétale, la gestion des ressources naturelles et les politiques publiques pour un développement territorial durable, et les bioénergies. C'est principalement à travers les recherches engagées sur ces deux derniers axes prioritaires que le Cirad et ses partenaires brésiliens en sont venus à s'intéresser au programme Biodiesel brésilien. Lancé en Janvier 2005 par le gouvernement, il a pour

objectif de donner une forte impulsion au développement de la production et de l'utilisation de biodiesel, à travers des mesures réglementaires, des incitations économiques et des appuis à la recherche.

Et c'est pour répondre à un besoin identifié au cours de ces recherches et aussi au cours de rencontres avec les institutions impliquées dans ce secteur que le Cirad a pris l'initiative de coordonner la rédaction du présent guide pratique « guide technique des oléagineuse pour une utilisation énergétique » dont il n'existe pas d'équivalent au Brésil.

Je saisis l'opportunité de cette préface pour adresser, au nom du Cirad, mes sincères remerciements aux auteurs et relecteurs de ces différentes fiches, ainsi qu'au Ministère français des Affaires Etrangères et à l'Agence française pour la maîtrise de l'Energie (ADEME) sans l'appui desquels la réalisation de ce guide n'aurait pas été possible. J'adresse aussi mes félicitations à Patrick Rousset qui a été à l'origine de cette initiative et qui en a coordonné la réalisation jusqu'à son aboutissement heureux.

Je vous souhaite une bonne lecture !

*Philippe Petithuguenin,
Directeur régional du Cirad au Brésil*

Table des matières

Préface	7
Préface	9
Avant-Propos.....	11
Introduction.....	17
Chapitre 1 Fiches descriptives des oléagineuses brésiliennes	19
1. Coton (<i>Gossypium spp.</i>)	21
2. Arachide (<i>Arachis Hypogea L</i>)	33
3. Palmier Babassu (<i>Orbygnia phalerata</i>)	43
4. Palmier Buriti (<i>Mauritia flexuosa L</i>)	49
5. Colza (<i>Brassica napus</i>)	55
6. Palmier à huile (<i>Elaeis guineensis Jacq.</i>).....	61
7. Tournesol (<i>Helianthus annuus</i>)	71
8. Ricin (<i>Ricinus communis L.</i>).....	79
9. Jatropha Curcas (<i>Jatropha curcas L</i>)	87
10. Copaïba (<i>Copaifera langsdorffii</i>)	95
11. Açai (<i>Euterpe oleracea Mart</i>).....	103
12. Palmier Tucuman (<i>Astrocaryum aculeatum</i>)	115
13. Murumuru (<i>Astrocaryum farinosum</i>)	121
14. Bacaba (<i>Oenocarpus bacaba</i>)	125
15. Cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	131
16. Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>).....	138

17. Noix du Brésil (<i>Bertholletia excelsa</i>)	145
18. Andiroba(<i>Carapa guianensis</i>)	153
19. Macauba (<i>Acromonia Aculeata</i>)	159
20. Ucuuba(<i>Virola surinamensis</i>)	167
21. Palmier Indaiá (<i>Attalea borgesiana</i>)	173
22. Pequi (<i>Caroycar Brasiliense</i>).....	179
23. Cocotier (<i>Cocos nucifera L.</i>).....	187
Références Bibliographiques.....	201
Chapitre 2 Extraction, conditionnement et utilisation des Huiles Végétales Pures Carburant.....	207
Introduction.....	209
1. Les Huiles végétales naturelles (ou pures) carburants	211
1.1. Generalites :.....	211
1.2. Caracteristiques.....	211
1.3. Historique :	214
1.4. Avantages des huiles végétales comme carburant :.....	216
Ce qu'il faut retenir:.....	217
2. Extraction et conditionnement des huiles végétales carburant.....	219
2.1. Collecte des amandes, des graines ou des fruits	219
2.2. Pretraitement avant le pressage	220
2.3. Pressage et trituration.....	220
2.4. Traitements et qualite	223
2.5. Decantation et filtration.....	224
2.6. Stockage et distribution.....	226
Ce qu'il faut retenir :.....	227
3. Utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs diesels	229
3.1. Introduction : fonctionnement des moteurs diesel.....	229
3.2. Les moteurs a injection directe et les moteurs a injection indirecte	231

3.3. Problemes rencontres lors de l'utilisation de l'huile végétale pure carburant	233
3.3.1. La viscosité.....	234
3.3.2. Influences de la composition chimiques des huiles	235
3.4. Modifications des chambres de combustion des moteurs a injection directe :	236
3.5. Adaptation type « bicarburation » sur les moteurs a injection directe :	237
3.5.1. Contrôle des conditions de bascule gazole/huile végétale	238
3.5.2. Importance de la charge du moteur sur la bascule gazole/huile végétale	239
Ce qu'il faut retenir :	240
4. Performances et pollution comparees entre huile végétale et fioul dans les moteurs diesels modifies	243
4.1. Performances comparees	243
4.2. Pollution comparee.....	244
Ce qu'il faut retenir :	246
5. Utilisation des huiles végétales pures dans les bruleurs.....	247
5.1. Utilisation des hvp dans les bruleurs :	247
5.2. Principe de fonctionnement des bruleurs modernes :	248
5.3. Adaptations des bruleurs pour utiliser des hvp :	249
5.3.1. Exemple avec l'huile de Palme Brute et brûleurs : problèmes rencontrés et modifications à effectuer	249
5.3.2. Les problèmes d'encrassement :	250
5.4. Performances et pollution comparees entre fioul et huiles végétales	251
5.5. Aperçu des bruleurs hvp disponibles sur le marche :	252
Ce qu'il faut retenir :	253
6. La petite cogeneration a l'huile végétale	255
6.1. Principe.....	255
6.2. Les champs d'application de la cogeneration :	256

6.3. La petite cogeneration a l'huile végétale	256
Ce qu'il faut retenir :	260
7. Exemples de realisation et perspectives.	263
7.1. Exemples d'utilisation.....	264
7.2. Perspectives :	265
Références Bibliographiques.....	269
Chapitre 3 – Eléments d'évaluation économique des huiles-carburants	273
Introduction :comment juger de l'intérêt économique d'une huile-carburant ?	275
Calcul du coût de revient.....	277
Analyse du prix du marché.....	283
Analyse de viabilité.....	285

Introduction

Le Brésil va probablement devenir de part ses espaces cultivables, son dynamisme agricole sa biodiversité végétale et son climat l'un des acteurs mondiaux dans la production de biodiesel. Déjà premier producteur et exportateur de biocarburant avec l'éthanol, le biodiesel et plus spécifiquement les huiles végétales sont devenus une priorité pour la production d'énergie nationale. Le contexte socio-économique est aujourd'hui très différent de celui qui a permis il y a quelques dizaines d'années de développer la filière alcool. D'abord parce que la filière biodiesel devra compter sur des acteurs économiques privés et publics, nationaux ou étrangers pour s'imposer, ce qui n'avait pas été le cas pour l'éthanol. Ensuite parce que de telles cultures énergétiques vont entrer de plein fouet en compétition avec les cultures oléagineuses à vocation alimentaire.

Ces dernières années, de nombreuses études portant sur les huiles végétales, ont été menées au Brésil et dans le monde. Malheureusement, la dispersion des informations due essentiellement à la diversité des équipes et des institutions a rendu difficile la restitution et la diffusion des résultats. Ce manque de cohésion, avec pour conséquence un accès limité à l'information, a été régulièrement soulevé par la profession tant au niveau des instituts de recherche que des industriels. Il est apparu qu'un guide regroupant l'ensemble de ces informations intéresserait bon nombre de lecteurs.

A travers ce guide, nous espérons donner des éléments de réponse à quelques unes des préoccupations des producteurs et utilisateurs des huiles-carburant. Ce livre présentera ainsi :

- les zones géographiques favorables aux différentes cultures énergétiques pour le Brésil,
- les aspects botaniques et agronomiques des plantes oléagineuses présentant le meilleur potentiel,

- les caractéristiques des huiles végétales et de leur sous produits,
- les technologies de transformation et d'utilisation de ces huiles,
- une méthodologie d'aide à la décision permettant d'évaluer au niveau préféabilité l'intérêt technico-économique de projets d'investissement.

Ce livre a été structuré de manière à répondre à des besoins différents. Il est cependant, au niveau des applications, plutôt orienté « force motrice » par une utilisation des huiles végétales pures (HVP). Les procédés de transestérification ne sont pas abordés car ils ont déjà fait l'objet de nombreuses publications que nous n'avons pas souhaité reprendre ici.

Le premier chapitre est organisé sous formes de fiches techniques décrivant la morphologie et les conditions édapho-climatiques propices à la culture des plantes oléagineuses concernées. Des éléments d'information, lorsqu'ils sont disponibles, renseignent sur l'organisation de la production. Ce chapitre présente également les caractéristiques physico-chimiques des huiles végétales. Nous avons voulu des fiches simplifiées où le lecteur pourra trouver les informations de base dont il pourrait avoir besoin. Exceptionnellement, ce chapitre ne traitera pas du soja car une abondante littérature disponible lui est consacrée.

Le deuxième chapitre aborde les domaines d'utilisation des HVP. Il est consacré aux techniques de conditionnement et de transformation des graines oléagineuses pour la production de l'huile et à leur utilisation dans les moteurs, les brûleurs et en petite cogénération (production combinée de chaleur et d'électricité).

Enfin, le chapitre 3 apporte une méthodologie pour juger de l'intérêt économique de l'utilisation d'une huile-carburant pour un projet de substitution.

Nous espérons que ce guide constituera pour les utilisateurs publics et privés une large source d'information à partir de laquelle ils pourront appréhender les potentialités de valorisation des oléagineuses pour un usage énergétique.

Chapitre 1

Fiches descriptives des olèagineuses brésiliennes

Ana Cristina dos Santos Azevedo,
Christian Bedrossian, Jean-Louis Bélot,
Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão,
André Berthaud, Marion Carli,
Didier Clement, Felipe Coelho Costa,
Wilma de Araujo Gonzáles,
Lucelia Alves de Macedo, Alexia Prades,
Waldir Ferreira Quirino, Renato Roscoe,
Patrick Rousset, Diego Aires da Silva,
Orlando Silva, Pierre Silvie



1. Coton

(*Gossypium* spp.)



1. Description botanique

- **Famille** : Malvacée
- **Espèces** : *Gossypium hirsutum* et *G. barbadense*
- **Nom populaire** : Coton, cotonnier



2. Description morphologique

Le cotonnier est un arbuste pérenne, qui sous la pression de la sélection variétale est maintenant cultivé comme une plante annuelle.

Sa tige principale est cylindrique, droite, et porte des rameaux émis au niveau de ses nœuds. Les branches latérales sont soit « végétatives », en nombre variable à la base du plant, soit « fructifères » à partir d'un certain niveau.

Le cotonnier présente plusieurs types de feuilles, les feuilles principales étant généralement lobées, mais avec un grand polymorphisme suivant les espèces et les variétés. La fleur de type hermaphrodite, est symétrique et complète, entourée de bractées, avec des pétales généralement jaunes qui deviennent roses après la fécondation. Le fruit vert est une capsule fermée de 3 à 5 loges, dans laquelle des fibres de coton se développent à la surface des graines. La capsule mûre est déhissante, ce qui permet la récupération des graines et de la fibre (le coton-graine).

Sa racine principale est pivotante, dans la continuité de la tige principale de la plante, pouvant atteindre jusqu'à 2,5 m de profondeur. L'ensemble des racines se situe en grande partie dans les 20 premiers centimètres du sol.

Sur diverses parties de la plante, le cotonnier présente des glandes à gossypol, renfermant divers pigments toxiques.

3. Conditions édapho-climatiques

Le cotonnier est une plante tropicale à relativement large adaptabilité

- **Climat** : chaud, avec une période sèche surtout lors de la maturation de la plante et de la récolte.
- **Sol** : la plante préfère des sols de texture moyenne, profonds et riches en matière organique, perméables, bien drainés et assez fertiles. Toutefois, cette plante à grande adaptabilité, peut être cultivée dans différents types de sols aux caractéristiques physiques plus hostiles et moins fertiles, avec un minimum de corrections.
- **Température** : elle doit être comprise entre 14°C et 40°C, la température idéale se situant entre 23°C et 32°C. Au-dessus de 35°C, la photorespiration est trop élevée ce qui réduit la photosynthèse nette et handicape la capacité productive de la plante.
- **Humidité** : autour de 60%.
- **Précipitation** : de 700 à 1300 mm ; mais une production raisonnable peut être obtenue avec moins de 600 mm de pluies durant son cycle, ou au contraire avec plus de 2.000 mm comme dans l'état du Mato Grosso (MT).
- **Altitude** : peut être cultivé jusqu'à 1.000 m si la température le permet.

4. Localisation de la production

Pour la campagne 2007/08, le Brésil était le 5ème producteur mondial de fibre, avec 1,306 millions de tonnes.

- Depuis le début des années 2000, la production cotonnière au Brésil est concentrée dans le biome *cerrado* de la région centre ouest (états du Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goias,

District Fédéral), et des états de Bahia et du Minas Gerais. Pour la campagne 2007/08, plus de 1 million d'hectares y sont cultivés suivant un système de culture très intensifié et totalement mécanisé.

- Les anciennes régions de culture cotonnière, aussi bien du Nordeste que des états du sud du Brésil (São Paulo et Paraná), traditionnellement d'agriculture familiale ou de petits agriculteurs réalisant la récolte manuelle, représentent moins de 8% de la surface et 5% de la production.

5. Organisation de la production

Tous les paramètres indiquent que le Brésil pourrait accroître significativement sa production, avec des conditions de marché favorables.

La majorité du coton au Brésil est produite dans des systèmes de culture très intensifiés et totalement mécanisés. Les productivités (entre 4 et 5.000 kg de coton-graine/ha) sont les plus élevées du monde pour des systèmes pluviaux, le coton-graine est généralement égrené sur place dans les fermes/entreprises agricoles (*fazendas*), et la fibre commercialisée par le producteur. Le Brésil possède plus de 280 usines d'égrenage, mais seulement 27 sont modernes et de haute capacité. Près de 40% de la fibre est exportée.

Dans le sud et le Nordeste, les petits producteurs sont encadrés par des coopératives ou des usines d'égrenage privées, qui assument souvent le rôle de fournisseur d'intrants, le producteur commercialisant son coton-graine.

Une très petite fraction de la production est destinée à des marchés de niche, coton coloré dans le nordeste (état de Paraíba) ou biologique (régions Nordeste et Sud), grâce à l'organisation de filières intégrées.

6. Cycle de culture

Il varie entre 120 et 210 jours, selon la quantité d'eau et de chaleur reçue et la précocité de la variété. Le cycle doit être positionné de façon à bénéficier de pluies à partir du semis, mais maturation et récolte doivent

avoir lieu au moment de la saison sèche. Les conditions climatiques des *cerrados* s'y prêtent parfaitement.

7. Ravageurs et maladies

• Les maladies

De nombreuses maladies sont présentes au Brésil, favorisées par les conditions d'humidité des *cerrados*. Elles sont provoquées par :

- une bactérie : la bactériose (*Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*) ;
- des champignons: fontes des semis (*Colletotrichum*, *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, etc.), la Ramulose (*Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*), la ramulariose (*Ramularia areola*), l'alternariose (*Alternaria* sp), le stemphylium (*Stemphylium solani*), la fusariose (*Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*) ;
- des virus : la maladie « bleue », causée par un luteovirus transmis par les pucerons, et différentes mosaïques transmises par l'aleurode.

Les nématodes sont en voie d'extension, dont les trois principales espèces : *Meloidogyne incognita*, *Rotylenchulus reniformis* e *Pratylenchus brachyurus*.

• Les ravageurs

La faune des Arthropodes du cotonnier est très diversifiée au Brésil. Les ravageurs reconnus sont :

- des lépidoptères (*Alabama argillacea*, *Heliothis virescens*, *Spodoptera frugiperda* et *S. eridania*, *Pectinophora gossypiella*) ;
- des pucerons (*Aphis gossypii*) ;
- le charançon du cotonnier, ou anthonome (*Anthonomus grandis*) ;
- des acariens (*Tetranychus urticae*, *Polyphagotarsonemus latus*) ;
- des aleurodes, ou mouches blanches (*Bemisia tabaci*) ;
- des punaises (Pentatomidae, *Horciasoides nobilellus* e *Dysdercus* spp.) ;

- des insectes foreurs (*Eutinobothrus brasiliensis* et *Conotrachelus denieri*), notamment dans la région sud ;
- des thysanoptères, ou thrips (*Frankliniella* spp.).

8. La récolte

La récolte peut s'effectuer de manière manuelle ou à l'aide de machines.

Quand manuelle, des sacs de coton ou de jute sont utilisés afin de limiter la contamination avec des fibres de polypropylène, puis le coton-graine est séché au soleil avant stockage. La récolte est réalisée en plusieurs passages, au fur et à mesure de l'ouverture des capsules.

La récolte mécanisée est réalisée par différents types de machines, de type « picker », équipées de fuseaux qui récupèrent le coton-graine, ou bien « stripper », qui arrachent l'ensemble de la capsule. Elle nécessite une préparation préalable de la parcelle, qui doit être sans mauvaises herbes, avec ses plantes défoliées et plus de 90% des capsules ouvertes. Pour cette préparation, le producteur utilise des maturateurs ou des défoliants.

Le coton graine récolté mécaniquement est généralement plus chargé en débris de capsules, de brindilles et de feuilles, que celui récolté manuellement.

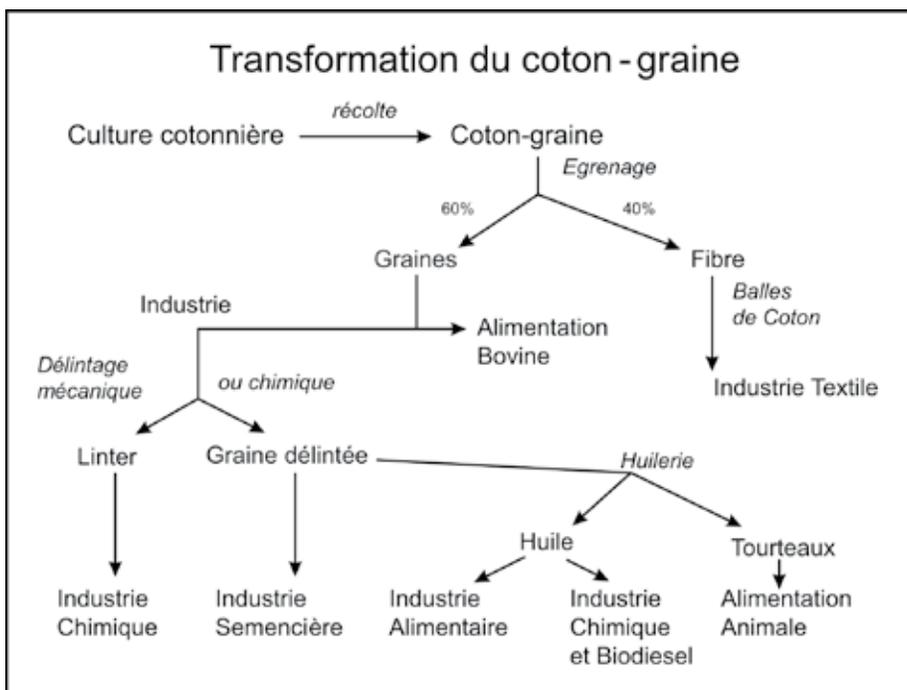
Après la récolte, les restes culturaux sont broyés et incorporés au sol. Cette biomasse ligneuse constitue dans certains pays (Egypte, Inde) une source énergétique significative (emploi de « briquettes »).

9. Description du produit récolté

La récolte des capsules est constituée par du coton-graine, graines et fibres encore liées au tégument de celles-ci. La fibre de coton est en effet un cylindre de diverses couches de cellulose déposée dans de longs poils ayant pris naissance sur des cellules de l'épiderme de chaque graine. Pour être utilisée en industrie textile, la fibre doit donc être au préalable séparée de la graine, processus industriel ou artisanal appelé « égrenage » ou « égrainage ».

10. Etapes de transformation

Dans les usines d'égrenage, le coton-graine est soumis à diverses étapes de nettoyage, séchage et ouverture avant d'être soumis au processus même d'égrenage qui sépare la fibre de la graine.



La fibre

Selon la longueur et la qualité de fibre commercialisée, des processus différents sont employés :

- pour les fibres de longueur moyenne (27 à 31 mm), qui constituent la grande partie de la production brésilienne et mondiale, le processus d'égrenage emploie des égreneuses à scies ;
- pour les fibres longues, dont on veut préserver les qualités, des égreneuses à rouleaux sont utilisées.

Une classification de la qualité est effectuée avant la commercialisation. Chaque balle de coton est classée visuellement et/ou à l'aide d'appareils automatisés appelés HVI, qui analysent un échantillon.

La graine

Après l'égrenage, la graine de coton est encore recouverte de « linter », poils courts présents à la surface. Bien que considéré comme sous-produit de la culture et représentant moins de 10% de la valeur de la récolte, la graine a de nombreuses utilisations. Elle peut être incorporée en l'état à hauteur de 30% dans la ration alimentaire du bétail. Au-delà de cette valeur, le gossypol, pigment toxique également présent dans les graines, peut provoquer des troubles digestifs. En aucun cas elle peut être utilisée pour l'alimentation des animaux monogastriques. En industrie, la graine peut subir un délintage mécanique qui permet de récupérer le linter, composé en grande partie de cellulose. Les graines délintées peuvent servir de semences ou entrer en huilerie.

Dans les huileries, la coque est préalablement séparée de l'amande. La coque est utilisée pour alimenter les chaudières de l'usine. Les amandes subissent les processus d'extraction de l'huile, par pressage mécanique et/ ou chimique, généralement extraction à l'hexane. Dans le cas de la production d'huile pour l'alimentation humaine, l'huile brute passe ensuite par des étapes de dégommeage, neutralisation et clarification. L'huile brute peut suivre d'autres voies de valorisation énergétique ou chimique.

Les résidus d'extraction, tourteaux et farines, bien que de valeur nutritive inférieure aux tourteaux de soja, sont utilisés en alimentation animale. Dans ces tourteaux, le gossypol a été neutralisé en se combinant à certains acides aminés durant les divers processus d'extraction à chaud.

Rendements :

Dans les *cerrados* brésiliens, la productivité moyenne en coton-graine est supérieure à 4.000 kg/ha de coton graine.

Le « Harvest Index » des variétés actuelles, qui est le poids de coton-graine divisé par la biomasse aérienne totale, se situe entre 0,4 et 0,55. La biomasse de tiges ligneuses à la récolte représente donc entre 7 et 10 tonnes/ha.

Le pourcentage de graine se situe autour de 56%, pour 40% de fibre (entre 36 et 44%), la différence représentant les impurétés.

Le pourcentage d'huile dans les graines avec linter se situe aux alentours de 20%, représentant donc une production approximative de 450 kg d'huile par hectare dans les *cerrados*. Les facteurs variétaux et environnementaux peuvent modifier significativement ces valeurs.

11. Logistique

- **Stockage du coton- graine** : après la récolte, le coton-graine peut être directement acheminé vers les usines d'égrenage, soit en vrac dans des remorques spéciales, soit par camion sur lesquels les sacs de récolte manuelle ont été empilés. Dans la majorité des situations de récolte mécanique, le coton-graine est stocké en bord de champs sous la forme de blocs appelés « modules » d'une dizaine de tonnes, confectionnés à l'aide de presses. L'humidité du coton ne peut excéder 12% et chaque module est recouvert de bâches plastiques. Leur température est contrôlée afin de prévenir toute dégradation par fermentation.
- **Egrenage** : les modules sont ensuite transportés directement au moment opportun du champ aux usines d'égrenage sur des remorques spécialement adaptées. Le module est alors défragmenté avant le début du processus d'égrenage du coton-graine.
- **Transport de la fibre et de la graine** : en fin de processus, la fibre est pressée sous la forme de balles de 200 kg, soigneusement enveloppées. C'est sous cette forme de balle de coton que s'effectue le commerce international de la fibre. La graine obtenue est transportée en vrac vers les lieux d'utilisation, pour l'alimentation animale (graine entière ou tourteaux) ou la production d'huiles.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

Composition		teneur	détail
	Acides saturés	18,4 – 37,7%	- mirylique (C14:0) ¹ = 0,4 – 2% - palmitique (C16:0) = 17 – 31% - stéarique (C18:0) = 1 – 4% - béhénique (C20:0) = < 0,7%
	Acides insaturés	62,3 – 81,6%	- palmitoléique (C16:1) = 0,4 – 2% - oléique (C18:1) = 13 – 44% - linoléique (C18:2) = 33 – 59% - linoléique (C18:3) = 0,1 – 2,1%
Viscosité cinématique	37,9 cst ² (à 37,8°C)		
Masse spécifique	0,915 – 0,923 g/cm ³ (à 25°C)		
Pouvoir calorifique	8.050 Kcal/l		
Indice de saponification	189 – 198 mg KOH/g		
Indice d'iode	99 – 113 mg I ₂ /g		

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	Utilisation	
Fibre	HVI (Len, Str, IM etc..)	Textile	Produit principal
Lintier	Cellulose	Textile et chimique	
Coque	Lignine et cellulose	Calorifique et Source de fibres faciles à digérer pour les ruminants	Co-produits primaires
Amande	30% à 40% de protéines 35% à 40% de lipides	Source de protéines pour l'alimentation humaine, après élimination du gossypol	
Huile brute		Industrie chimique ou biodiesel	
Tourteaux et farine		Rations animales, fertilisants	
Huile raffinée		Alimentation humaine	
Bourre			Co-produits tertiaires
Farine dégraissée			

¹ Le premier nombre indique la quantité de carbones de la chaîne et le deuxième la quantité d'insaturations (doubles liaisons).

² 1 cst (centistoke) = 1 mm²/s

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : testée pour du bio diesel.
- Potentiel : excellent en ce qui concerne la production de bio diesel étant donné sa constitution en acides gras, saturés et insaturés.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

L'huile de coton a de nombreuses applications : alimentaire (margarines, biscuits, chocolats), cosmétologique, pharmaceutique, sanitaire, énergétique (chauffage), lubrification, graisses, confection de savons.

Elle présente une excellente qualité nutritionnelle (acides gras essentiels comme l'acide linoléique) et est riche en vitamine E.

16. Organisation du marché

La totalité de la graine de coton produite au Brésil est utilisée sur place, soit pour l'alimentation animale directe, soit transformée en huilerie. En 2005, le Brésil a exporté 7666 tonnes d'huile de coton raffinée au prix de 0,48 dollar le kilo.

Une étude faite par le Centre d'Etudes Avancées en Economie Appliquée – Cepea – Esalq/USP (2006) considère que le bio-diesel produit à partir du coton dans le Nordeste est de bien meilleur marché. Il ne coûte que 0,66/litre. Toutefois, il n'est pas possible de calculer le coût de production de la graine de coton ; il est plus facile de toujours prendre son prix de marché, très fluctuant d'une année sur l'autre. D'après Barros et al. (2006), entre février et mai 2005, la tonne de graine de coton a été vendue à 180,00R\$ dans l'Etat de Bahia et à 214,25 R\$ dans l'Etat du Mato Grosso.

Le Tableau 1 présente les coûts de production d'un litre de bio-diesel de coton aux coûts du marché de la matière première.

Tableau 1 : Coût du litre de bio-diesel de coton à partir des prix du marché dans le cadre d'une production industrielle à trois échelles, dans les régions Nordeste et Centre-Ouest. (Valeurs en R\$).

		Echelle de production		
		10000t/an	40000t/an	100000t/an
Région Nordeste	Matière première au coût du marché*	0,824	0,712	0,662
Région Centre-Ouest	Matière première au coût du marché*	1,904	0,975	0,923

Source: Barros et al. 2006.

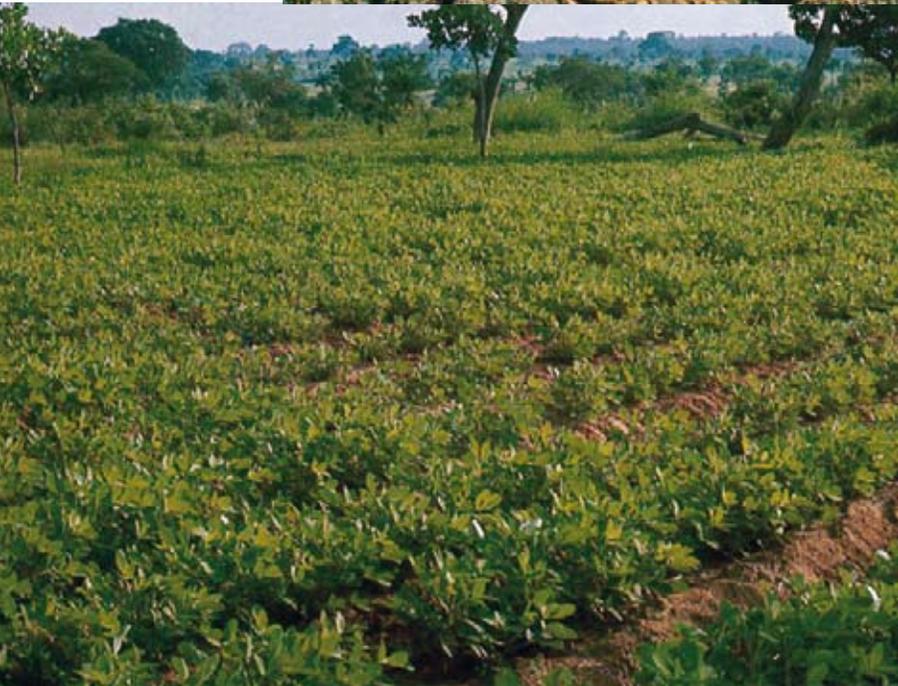
* Information de la récolte 2004/2005.

Les informations trouvées parlent généralement de coton-graine ou de fibre.

Plante relativement peu exigeante en eau, souvent cultivée au Brésil dans les cerrados en rotation avec le soja.

La fibre représente plus de 90% de la valeur du produit récolté, sachant que la graine a de multiples utilisations, tant en alimentation animale et humaine que pour des applications industrielles.

Les espèces cultivées possèdent généralement du gossypol, pigment toxique présent dans les parties aérienne et la graine.



2 – Arachide (*Arachis Hypogaea* L)



1. Description botanique

- **Famille** : Légumineuse
- **Espèce** : *Arachis Hypogaea* L
- **Nom populaire** : Arachide, cacahouète



2. Description morphologique

L'arachide est une herbe composée d'une petite tige et de feuilles trifoliées abondantes. Sa racine pivot mesure entre 30 et 50 cm. Ses fleurs sont de couleur jaunes. Après fécondation elles s'inclinent vers le sol et son fruit (ou gousse) se développe en terre.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : saison végétative chaude, bien définie et pluies modérées
- **Sol** : la plante peut être cultivée dans tous les types de sol. Cependant sa productivité augmente si la parcelle est bien drainée. Des sols sablonneux sont également préférables car ils favorisent la pénétration des gynophores ou « ergots », ainsi que le développement des gousses.
- **Température** : pour une meilleure productivité, il est recommandé qu'elle reste dans une fourchette située entre 22°C et 29°C. La température annuelle moyenne ne peut pas être inférieure à 17°C.

- **Humidité** : variable.
- **Précipitation** : de 500 à 700 mm. La plante résiste bien à la sécheresse grâce à sa longue racine.
- **Altitude** : adaptation à différentes altitudes.

4. Localisation de la production

- **Actuellement** : la prévision de la récolte brésilienne pour 2005/06 est de 286 000 tonnes de gousses. L'Etat de Sao Paulo est le plus gros producteur d'arachides avec 75% de la production nationale, suivi du Mato Grosso 7%, du Mato Grosso do Sul 4,3% et du Paraná avec 3,7%. Il est estimé que 80% des terres laissées en jachère après la culture de la canne à sucre sont occupées par l'arachide. La surface plantée est de 113 000 hectares. L'arachide peut être associée à la culture de la canne à sucre.
- **Potentiel** : 15% de la surface utilisée par la canne à sucre pourrait être consacrée annuellement à la culture de cette oléagineuse. L'arachide a la faculté de fixer les éléments nutritifs dans le sol. D'après les données de l'IEA³ la surface potentielle de culture est de 550 000 hectares dans l'état de Sao Paulo.

5. Organisation de la production

Dans les régions sud du Brésil, la culture de l'arachide est assurée par les propres producteurs mais également par les fermiers des zones de production de la canne à sucre. La récolte est généralement mécanisée. Dans la région Nordeste, la taille moyenne d'une plantation d'arachide varie d'un tiers d'hectare à 5 hectares. Cette culture s'appuie généralement sur une main-d'œuvre familiale.

³ Institut d'Economie Agricole.

6. Cycle de culture

Parmi les cultures tropicales annuelles, il s'agit de la plante qui a le cycle végétatif le plus court. Les variétés les plus précoces sont récoltées au bout de 90 jours. Malgré de nombreuses variétés, il existe deux grands types de cultures :

- les plants à port rampant, qui représente de 85 à 90 % de la production. Ils possèdent un cycle plus long, autour de 130 jours, mais présentent une meilleure productivité, un moindre coût de semences et de ramassage, qui est totalement mécanisé, ainsi qu'une plus grande résistance aux maladies foliaires ;
- les variétés à port érigé, qui représentent de 10 à 15% du total de la production. Elles ont un cycle plus court, de 90 à 120 jours.

7. Ravageurs et maladies

- **Maladies :**

- la cercosporiose, le point noir ou la tache noire (*Cercosporidium personatum*) ;
- la tache foliaire marron ou grise (*Cercospora arachidicola*) ;
- la nécrose (*Sphaceloma arachidis*).

L'aflatoxine, agent naturel cancérigène, est produite par « *Aspergillus flavus* » qui se développe sur les grains entre 9% et 35% d'humidité. Elle est présente dans les grains, la farine et les produits dérivés. Elle est inexistante dans l'huile.

- **Les ravageurs :**

- les thysanoptères (*Enneothrips flavens* et *Caliothrips brasiliensis*) ;
- la cigale (*Empoasca kraemeri*).

8. La récolte

Dans les petites propriétés, c'est une main-d'œuvre familiale qui est généralement mise à contribution lors des opérations de récolte et de transformation. Après un arrachage manuel, les plantes sont mises à sécher, afin de réduire l'humidité des graines. Il n'est pas recommandé de retarder la période de la récolte car les graines peuvent germer dans les gousses, surtout lorsque les agriculteurs, cas du Nordeste, utilisent des variétés du type érigé que ne présentent pas de dormance. Un retard dans la récolte favorise la propagation des maladies et des parasites..

Le système semi-mécanisé, permet de réaliser une coupe des racines avant arrachage. Le séchage est effectué manuellement. La mécanisation permet de récolter 4 rangées à la fois et réduit les pertes d'environ 6%. Cette opération ne doit être effectuée que lorsque les gousses sont complètement mûres. Le séchage peut être fait dans des sécheuses ou sur des tamis où la plante est exposée au moins trois jours au soleil. Le stockage est fait dans un environnement sec et aéré. Si l'arachide est cultivée pour le marché de l' « arachide verte », la récolte doit avoir lieu entre 65 et 70 jours et sa cuisson doit être immédiate.

Dans l'Etat de Sao Paulo, l'utilisation de variétés précoces permet d'effectuer deux ensemencements par an ; en saison humide de septembre à octobre, et en saison sèche de mars à avril.

9. Description du produit récolté

Le produit ramassé est la gousse qui contient de 2 à 4 graines. Les graines contiennent en moyenne 50% d'huile, 22 à 30% de protéines, ainsi que des vitamines (E, B1 et B2), du phosphore, du potassium, du soufre, du calcium, du cuivre et du fer.

10. logistique

- **Transport** : il s'effectue en camions. Que ce soit lors du transport ou du stockage, les grains doivent être protégés de l'humidité, afin d'éviter le développement des champignons responsables de l'aflatoxine.

- **Stockage** : après récolte, les gousses sont mises en sacs de 25 Kg, qui est l'unité de base de commercialisation dans les campagnes.

11. Etapes de transformation

1- Processus de départ : séparer les grains par taille, à la demande du marché agroalimentaire qui est très exigeant. Cette arachide prend alors le nom de « HPS » (Hand Picked up Selected), même si elle n'est plus aujourd'hui séparée manuellement :

- a) ouverture des sacs et ventilation des gousses ;
- b) séparation des impuretés ;
- c) ouverture des gousses et extraction des grains ;
- d) séparation des grains par tailles ;
- e) sélection électronique des grains et élimination automatique de ceux qui sont hors-norme (sans pellicule, cuits, tachés ou cassés) ;
- f) conditionnement en sacs de 50 Kg.

2 – L'arachide industrielle est transformée en huile et en farine :

- a) pré-nettoyage : retrait des macro-impuretés, comme les pierres et les morceaux de bois, etc ;
- b) séparation : les grains et les gousses sont séparés ;
- c) pressage pour l'extraction de l'huile, divisé en trois étapes :
 - c1) préparation du grain – trituration + lamination + chaleur humide, afin de diminuer la viscosité et la tension superficielle ;
 - c2) extraction mécanique où 60% de l'huile est retirée. Décantation et retrait des solides ;
 - c3) extraction chimique, utilisation de solvants (hexane) à une température comprise entre 48 et 52°C ;

d) après le pressage, l'huile est raffinée en trois étapes :

- d1) neutralisation et lavage ; avec l'addition de NaOH afin d'éliminer les acides gras libres et d'autres composants. Lors de cette étape la « gomme » est retirée. Ce dérivé est utilisé dans des savons, acides gras, graisses et lubrifiants ;
- d2) blanchiment ; retrait de résidus et substances colorantes. La présence de ces composés oblige à raffiner cette huile ;
- d3) désodorisation ; retrait de saveurs et d'odeurs indésirables par distillation effectuée avec des jets de vapeur. Addition de conservateurs (TBHQ et acide citrique).

Rendement :

- en saison des pluies : 788 Kg d'huile/ha/an ;
- en saison sèche : 563 d'huile/ha/an.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

	teneur	détail
Composition	Acides saturés	13,8% - palmitique (C16:0) = 8,1% - stéarique (C18:0) = 1,5% - arachidique (C20:0) = 1,1% - béhénique (C22:0) = 2,1% - lignocérique (C24:0) = 1,0%
	Acides insaturés	86,2% - oléique (C18:1) = 49,5% - linoléique (C18:2) = 35,4% - palmitoléique (C16:1) = 1,3%
Viscosité cinématique	42 cst (à 37,8°C)	
Masse spécifique	0,911 – 0,914 g/cm ³ (à 25°C)	
Pouvoir calorifique	39,3Mj/kg	
Indice de saponification	187 – 196 mg KOH/g	
Indice d'iode	80 – 106 mg I ₂ /g	

Caractéristiques : arôme, fluidité, peu soluble dans l'alcool.

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	Utilisation
Grain		grain grillé, pâte et pâtisserie.
Farine	0,5 à 0,8% d'huile, Haute teneur protéinique (46%), Haute teneur en aflatoxines	Engrais organiques – café et citrique
Tourteaux	7 à 12% d'huile	Sans utilisation
Gomme	eau résiduelle et glycérine	Fabrication de savons
Gousse		Combustibles, fertilisants

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : bio-diesel.
- Potentiel : bio-diesel testé in natura avec un moteur Elko (problèmes de viscosité, basse volatilité et dépôts de gommages et de vernis).

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Utilisation alimentaire : mayonnaise, graisse hydrogénée (industrie boulangère, pâtisserie et fritures), margarine.

16. Organisation du marché

La production est commercialisée par l'intermédiaire de coopératives ou directement à l'industrie céréalière (transformation), qui évalue la qualité de la production (aflatoxine et rendement), fixe les prix et les délais de paiement (0 à 30 jours). Les prix sont fonction des variations saisonnières du marché (consommation nationale et exportations). La commercialisation est réalisée par des grossistes qui peuvent acheter l'arachide verte (près de 70

jours après l'ensemencement) ou pour répondre à la demande du marché de l'arachide grillée. Lorsqu'elle est cueillie sèche, la commercialisation est faite par les communautés. Cette production est ensuite revendue à des grossistes qui commercialisent le produit sur les marchés locaux (foires, marchés et industries), voire dans les Etats voisins.

En 2005, le Brésil a exporté près de 18 000 tonnes d'huile d'arachide au prix de 0,88 US\$/kg. Le sac de 25 kg d'arachide était vendu dans la région Sud-Est à 25,50 R\$⁴ (moyenne de juin 2004 à juin 2005).

Le tableau 2 présente les coûts de production d'un litre de bio-diesel d'arachide pour trois échelles de production, dans la région Sud-Est.

Tableau 2 : Coût du litre de bio-diesel d'arachide dans la région Sud-Est à partir des coûts de production agricole et des prix du marché dans le cadre d'une production à trois échelles. Valeurs en Réal (R\$).

Origine de la matière première	Echelle de production		
	10000t/an	40000t/an	100000t/an
Matière première au coût du marché*	1,999	1,874	1,800
Matière première au coût de la production agricole**	1,732	1,610	1,541

Source: Barros et al. 2006.

* Cotation moyenne de juin 2004 à juillet 2005.

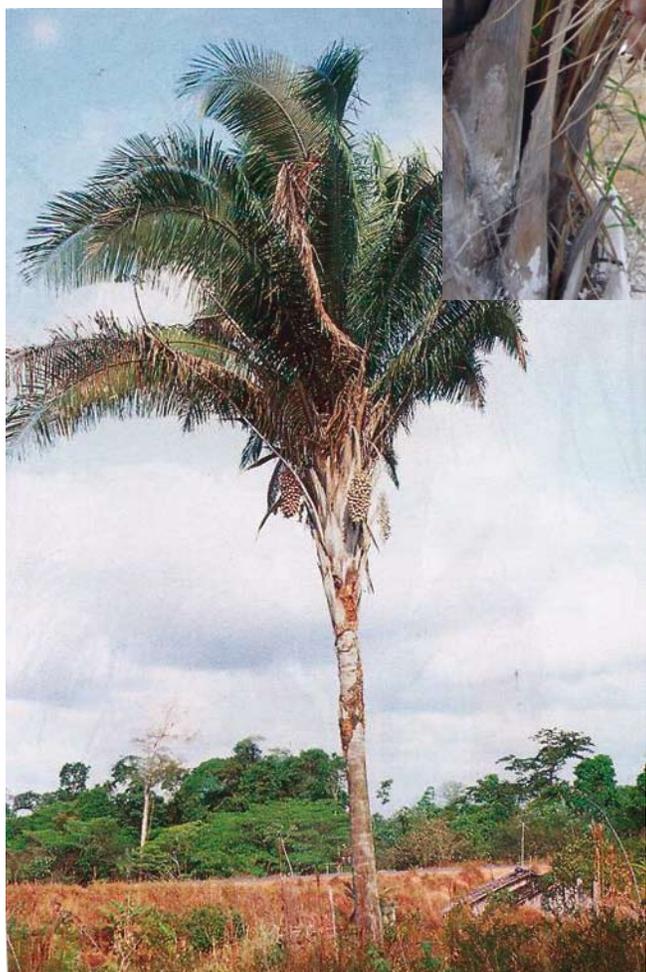
** Information de la récolte 2004/2005.

⁴ R\$ = 1,70 US\$

L'arachide exige du calcaire et du phosphore.

L'aflatoxine, cancérigène naturel développé par l'arachide représente une sérieuse restriction à son utilisation dans les tourteaux et les farines utilisés dans l'alimentation animale.

L'arachide perd de l'espace face au soja, car cette dernière plante produit une huile de qualité et ses tourteaux ou farines, riches en protéines, peuvent être utilisés dans l'alimentation animale sans risque d'aflatoxine. De plus cette production est facilement exportable.



3. Palmier Babassu (*Orbygnia phalerata*)



1. Description botanique

- **Famille** : Arécacée
- **Espèce** : *Orbygnia phalerata* ; *Orbygnia speciosa* ; *Orbygnia martiana*
- **Nom populaire** : babaçu ou babassu



2. Description morphologique

Ce palmier possède un stipe simple qui pousse jusqu'à 20 mètres de hauteur et dont le diamètre varie entre 20 et 25 cm. Il présente les restes des vieilles tiges tombées de son sommet. Les feuilles arquées peuvent atteindre jusqu'à 8 mètres de longueur. Les fleurs forment de longues grappes de couleur jaune-crème. Chaque palmier peut présenter jusqu'à 6 grappes qui fleurissent de janvier à avril.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : Equatorial – cette plante pousse spontanément dans la région amazonienne.
- **Sol** : Non inondé.
- **Température** : L'optimum des températures est de 20-27°C. La moyenne mensuelle des minima ne doit pas être inférieure à 15-24°C et des maxima à 28-34°C.
- **Humidité** : hygrométrie variable comprise entre 60 et 90%.
- **Précipitation** : La pluviosité idéale est de 1500 à 3000 mm par an.
- **Altitude** : <100m.

4. Localisation de la production

- **Actuellement** : Au Brésil, il existe de grandes plantations qui s'étendent dans le Sud du bassin amazonien, région où la forêt humide cède le pas à la végétation typique du Cerrado. Ce domaine occupe neuf états, mais les deux tiers des plantations sont localisées dans l'état du Maranhão, surtout dans les régions de Cerrado, Cocais et Baixada. Le Piauí, le Mato Grosso et Goiás sont les autres états qui en possèdent une quantité non-négligeable. Cette plante se trouve sur 17 millions d'hectares de forêt.
- **Potentiel** : Région Centre-Nord.

5. Organisation de la production

La forêt brésilienne est composée de près de 25 milliards d'arbres et produit près de 7 millions de tonnes d'huile par an. Un des principaux obstacles à l'amélioration de cette production vient de son organisation. En effet, elle ne concerne qu'une exploitation extractive restreinte à des familles pauvres. Cette production s'appuie sur une structure de production/commercialisation avec à la base des petites propriétés et des fermiers travaillant en partenariat avec les grands propriétaires terriens. De plus, la principale main-d'œuvre de cette production se trouve parmi les femmes et les enfants qui cassent et séparent l'amande de la coque. La drupe et l'endocarpe peuvent être utilisés par ces familles comme combustible dans des fours. Le mésocarpe peut servir à l'alimentation.

6. Cycle de culture

Le palmier commence à produire après 8 ou 10 ans d'existence, mais il atteint sa pleine capacité de production à l'âge de 15 ans. Sa vie moyenne est de 35 ans. Il produit de 3 à 6 grappes de fruits par an. Celles-ci sont composées de 150 à 300 noix, dont chacune renferme en moyenne 3 amandes. Le fruit commence à mûrir et à se détacher de la grappe à partir des mois de juillet et août.

7. Ravageurs et maladie

Etant donné qu'il s'agit d'une culture extractive, aucun parasite de cette espèce n'est connu.

Au niveau santé publique, il faut signaler qu'il existe une forte corrélation entre la présence de palmier Babassu à proximité des habitations et l'occurrence de cas de maladie de Chagas dans les populations locales (le palmier babassu étant hôte des insectes pouvant transmettre cette maladie à l'homme).

8. La récolte

La récolte est manuelle et généralement proche des lieux d'habitation. Cette activité est surtout réservée aux hommes.

9. Description du produit récolté

Les fruits sont ovales, légèrement allongés et de couleur marron. Ils poussent en grappes pédonculaires contenant environ 200 fruits. Chacun de ces fruits pèse en moyenne 190 grammes, mesure 9,4 cm de long et 6,0 cm de diamètre.

Répartition du fruit, en masse :

- endocarpe = 58% - 49%
- mésocarpe = 23% - 26%
- épicarpe = 12% - 18%
- amande = 7%

L'huile représente 66% du poids de l'amande.

10. Logistique

- **Transport** : il s'effectue généralement à l'aide d'animaux.
- **Stockage** : Aussi bien le fruit que l'huile peuvent être stockés sur de longues périodes.

11. Etapes de transformation

Après la récolte, le processus d'extraction de l'amande de la noix de babassu est manuel. Il est effectué par des femmes et des enfants qui se servent surtout de hachettes. La noix est placée en équilibre sur le fil de l'instrument coupant qui se trouve entre les jambes de la « casseuse » (nom donné aux femmes qui réalisent cette tâche) ; après avoir été frappée de nombreuses fois avec force, à l'aide d'un morceau de bois, la noix est enfin cassée et délivre ses précieuses amandes. Chaque « casseuse » arrive à

produire en moyenne 5 kg d'amandes par jour. Le rendement d'extraction est très faible car la récupération des amandes ne représentent seulement que 7% du fruit.

Rendement :

De 97 à 175 kg d'huile/ha.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

		teneur	détail
Composition	Acides saturés	84%	- caprylique (C8:0)= 5% - caprique (C10:0)= 6% - laurique (C12:0)= 44% - myristique (C14:0)= 17% - palmitique (C16:0)= 8% - stéarique (C18:0)= 4%
	Acides insaturés	16%	- oléique (C18:1) = 14% - linoléique (C18:2) = 2%
Viscosité cinématique	36 cst (à 37,8°C)		
Masse spécifique	0,915 – 0,920 g/cm ³ (à 25°C)		
Pouvoir calorifique	8950 kcal/kg		
Indice de saponification	249 mg KOH/g		
Indice d'iode	16,3 mg I ₂ /g		

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	Utilisation
Feuilles		Matière première servant à la fabrication d'ustensiles, de charpentes et de couverture de maisons ou d'abris
Fibre		artisanale
Amandes vertes	Fournissent un lait aux propriétés nutritives semblables à celles du lait humain.	alimentaire
Cœur de palmier		alimentaire
Sève	Haute teneur en saccharose	vin
Tourteaux	Riche en fibres (+/- 23%), en matière minérale (+/- 6%), en graisse (+ 51%), en protéine brute (+/- 18%) et même en huile (8%)	Ration alimentaire pour les animaux

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : sans utilisation.
- Potentiel : bio-diesel et production d'électricité dans des communautés isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Caractéristiques : huile riche en acide laurique, aux propriétés émoullientes, ré-équilibrantes de la couverture hydrolipidique, humectantes, hydratantes, lubrifiantes, graisseuses, dispersantes de pigments. Elle solubilise les composants lipophiles et présente de hautes teneurs en acides laurique, myristique et palmitique.

Utilisation : fabrication de savons, savonnettes, cosmétiques, production de tensioactifs (oléochimie).

16. Organisation du marché

En 2005, le Brésil a exporté 110 tonnes d'huile de babassu, surtout vers l'Argentine et les Pays Bas, au prix de 2,21 dollars le kg. La coque est utilisée pour produire du charbon de qualité sidérurgique.

Système d'exploitation extractive.

Faible production d'huile.



4. Palmier Buriti (*Mauritia flexuosa* L)



1. Description botanique

- **Famille** : Arécacée
- **Espèce** : *Mauritia flexuosa* L.
- **Nom populaire** : buriti ou miriti



2. Description morphologique

Palmier au port élégant dont le stipe droit peut atteindre jusqu'à 35 mètres de hauteur. Les feuilles sont grandes et disposées en éventail. Les fleurs forment de longues grappes pouvant atteindre 3 mètres de long, de couleur jaune. Elles fleurissent de décembre à avril. Les fruits ellipsoïdes sont recouverts d'écaillés, de couleur marron-rouge et mesurent de 5 à 6 cm de longueur et de 4 à 5 cm de diamètre. La noix ovale et dure renferme une amande comestible.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : Equatorial.
- **Sol** : La plante préfère des terrains marécageux, acides et avec une grande quantité d'eau.

- **Température** : idéale au-dessus de 30°C.
- **Humidité** : hygrométrie comprise entre 60 et 95%.
- **Précipitations** : La pluviosité idéale est de 1200 à 2800 mm par an.
- **Altitude** : jusqu'à 1000 m.

4. Localisation de la production

- **Actuellement** : Le buriti se trouve surtout dans la région Centrale et au Sud de l'Amazonie, où il est possible de planter jusqu'à 550 pieds à l'hectare.
- **Potentiel** : Terres inondées du Cerrado et Sud de l'Amazonie.

5. Organisation de la production

Exploitation extractive réalisée dans des petites communautés, qui en font de nombreuses utilisations comme la fabrication de liqueurs, de pâtes sucrées, etc. Son huile est généralement achetée par l'industrie cosmétique.

6. Cycle de culture

Ce palmier produit de décembre à juin. Chaque pied produit de 2000 à 6000 fruits. La production moyenne de fruits est de 200 kg/plant, soit 20 kg d'huile/plant/an.

7. Ravageurs et maladies

Etant donné qu'il s'agit d'une culture extractive, aucun parasite de cette espèce n'est connu.

8. La récolte

La récolte est manuelle. Lorsque le fruit commence à mûrir, les grappes tombent et sont ramassées. Le buriti a la particularité d'avoir un épicarpe dur à briser et une pulpe qui y adhère fortement. Pour effectuer cette séparation, on doit « casser » le fruit. Lorsque le fruit éclate, l'épicarpe et la pulpe se séparent facilement du noyau.

9. Description du produit récolté

Les fruits du buriti sont ovales, d'une longueur moyenne de 40 mm et de 70 mm de diamètre. Ils pèsent en moyenne une trentaine de grammes et sont constitués de 50% de pulpe, 45% de noyau et de 5% de drupe. La pulpe est jaune. L'amande est comestible.

10. logistique

- **Transport** : il s'effectue généralement à l'aide d'animaux.
- **Stockage** : Après transformation, l'huile ne présente pas d'altération sur le long terme.

11. Etapes de transformation

Il est nécessaire de faire un traitement thermique avant l'extraction de l'huile par pression de la pulpe. Ce chauffage augmente significativement le rendement d'extraction.

Rendement :

5000 kg d'huile/ha/an.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

	teneur	détail
Composition	Acides saturés	19,4 – 21,3% - myristique (C14:0) = 0,1% - palmitique (C16:0) = 17,3 – 19,2% - stéarique (C18:0) = 2%
	Acides insaturés	77,9 – 84,8% - oléique (C18:1) = 73,3 – 78,7% - linoléique (C18:2) = 2,4 – 3,9% - linoléinique (C18:3) = 2,2%
Viscosité cinématique	Non trouvée	
Masse spécifique	1,29 g/cm ³ (à 24°C)	
Pouvoir calorifique	8780 kcal/kg	
Indice de saponification	190 mg KOH/g	
Indice d'iode	72,6 mg I ₂ /g	

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	Utilisation
Feuilles		Matière première servant à la fabrication d'ustensiles, de produits d'artisanat (hamac)
Pulpe	Haute concentration en vitamine C	Pâte sucrée, glace, crème, confiture, liqueur et jus.
Farine		alimentaire
Cœur de palmier		alimentaire
Sève	Haute teneur en saccharose	vin

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : testée pour du bio-diesel.
- Potentiel : bio-diesel et utilisation pure pour la production d'électricité dans des communautés isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Caractéristiques : huile comestible très riche en vitamine A. Elle a un effet soulageant et cicatrisant, des propriétés énergétiques et vermifuges

Utilisation : alimentaire, fabrication de savons, protection solaire (contre les brûlures), synthèse de composites en polyester et de polymétacrilate.

16. Organisation du marché

Le marché d'huile de buriti est très faible, il n'apparaît pas dans les bases de données de l'IBGE. La seule information concerne la production de fibre qui, en 2004, a été de 492 tonnes.



5. Colza

(*Brassica napus*)



1. Description botanique

- **Famille** : Brassicacée
- **Espèce** : *Brassica napus*
- **Nom populaire** : Colza ou Canola – Le nom de canola est celui d'un colza modifié produit au Canada (Canadian Oil Low Acid). Cette modification a apporté une diminution de la teneur en acides gras considérés comme toxiques pour les êtres humains (à cause de la présence d'acide érucique et de glucosinolates). Les huiles comestibles de haute qualité reçoivent donc l'appellation de Canola. Il s'agit de variétés de colza avec moins de 2% d'acide érucique et moins de 30 micromoles de glucosinolates par gramme de farine non-huileuse



2. Description morphologique

La racine est pivotante. La plante a une hauteur moyenne 130 cm. Les fleurs jaunes présentent de petites graines jaunes noircissant à mesure que se rapproche le moment de la récolte.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : tempéré.
- **Sol** : profond, légèrement ondulé ou plat. La plante ne tolère pas les sols mal drainés. Des sols trop compactés posent des problèmes à ses racines qui ne pénètrent que difficilement. Ils

favorisent un détrempage propice aux maladies.

- **Température** : bonne adaptation à différentes températures.
- **Humidité** : hygrométrie idéale comprise entre 60 et 80%.
- **Précipitation** : important stress hydrique.
- **Altitude** : Plus la latitude est faible plus la plante exige de hautes altitudes, afin que la température nocturne soit basse.

4. Localisation de la production

- **Actuellement** : les principales zones de productions se trouvent dans l'Etat du Rio Grande do Sul, avec 26 000 hectares plantés en 2006, dans l'Etat du Paraná, et, plus récemment dans les Etats de Goiás et de Minas Gerais, avec des plantations commerciales.
- **Potentiel** : La région Sud renferme 3 millions d'hectares pouvant recevoir une culture de colza d'hiver.

5. Organisation de la production

Au Brésil, l'achat de matière première est garantie par différentes fabriques d'huiles. De nombreux producteurs se sont associés en coopératives, parmi celles-ci : Agricola Ferrari, Cotribá, Giovelli & Cie LTDA, Celena Alimentos, Bunge Alimentos.

6. Cycle de culture

Dans la région Sud, la meilleure époque d'ensemencement va du 20 avril au 30 mai. Dans les Etats de la région Centre-Ouest, les meilleurs mois d'ensemencement sont février et mars. Ces périodes correspondent à la période d'après récolte du soja, du maïs et du coton.

La durée moyenne du cycle du colza varie de 110 à 165 jours dans la région Sud, et de 85 à 127 jours dans la région Centre-Ouest.

7. Ravageurs et maladies

Le sclérotinia, causé par le champignon *Sclerotinia sclerotiorum*, est la seule maladie aux effets économiques vraiment importants. Celle-ci

touche également d'autres espèces utilisées dans la production de grains au Brésil.

Le Phoma du colza, causé par le champignon *Leptosphaeria maculans* était, jusqu'en 2003, craint des agriculteurs brésiliens et paraguayens. Cette année-là deux plants résistants à cette maladie ont été produits.

8. La récolte

La récolte est manuelle ou mécanisée à l'aide des mêmes instruments qui sont normalement utilisés pour le soja ou d'autres céréales. Des opérations de nettoyage des graines sont nécessaires.

9. Description du produit récolté

Graines de 1,5 mm à 1,9 mm de couleur jaune-noire.

Rendement de 2000 à 2600 kg/ha.

Pourcentage d'huile : 40% en moyenne.

Pourcentage de protéine : 24 – 27%.

10. logistique

- **Transport** : il s'effectue généralement par camions. Cette étape exige des soins spéciaux étant donné la petite taille du grain.
- **Stockage** : Lors de cette opération, il faut contrôler les paramètres de l'humidité et de la température. Il n'existe pas de restriction quant à l'urgence d'utilisation des grains.

11. Etapes de transformation

Le grain est nettoyé pour en retirer les impuretés. Le pré-chauffage, l'écrasement, la cuisson et le pressage sont les premières étapes de la fabrication de l'huile. Cette huile est filtrée.

La deuxième étape consiste à extraire le reste de l'huile à l'aide de solvants. Ensuite, l'huile est raffinée, clarifiée, désodorisée et neutralisée.

Rendement :

De 400 à 500 kg d'huile/ha/an.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

		teneur	détail
Composition	Acides saturés	6%	- myristique (C14:0) = 0,1% - palmitique (C16:0) = 3,5% - stéarique (C18:0) = 1,5% - arachidique (C20:0) = 0,6% - béhénique (C22:0) = 0,3%
	Acides insaturés	92%	- palmitoléique (C16:1) = 0,2% - oléique (C18:1) = 60,2% - éicosénoïque (C20:1) = 1,4% - érucique (C22:1) = 0,2% - linoléique (C18:2) = 20,3% - linoléinique (C18:3) = 9,7%
Viscosité cinématique	78,2 cst (à 20°C)		
Masse spécifique	0,914 – 0,917 g/cm ³ (à 20°C)		
Pouvoir calorifique	7984 - 8009 kcal/kg		
Indice de saponification	171,90 mg KOH/g		
Indice d'iode	110,8 mg I ₂ /g		

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Le tourteau, source de protéines, est riche en aminoacides, en vitamines et en minéraux essentiels non-toxiques. Il est utilisé dans les rations animales et comme engrais organique.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : bio-diesel.
- Potentiel : bio-diesel et utilisation pure pour la production d'électricité.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Caractéristiques : l'huile de colza présente une faible teneur en acides gras saturés (7%), une forte quantité d'acides gras mono-insaturés (61%), ainsi qu'un niveau modéré d'acides gras polyinsaturés, parmi lesquels de l'acide linoléique (21%) et alpha-linoléique (11%). Elle est également riche en acide érucique.

Utilisation : alimentaire, matière première dans la production de margarine et de mayonnaise ; matière première pour une grande variété de produits industriels, comme les lubrifiants de moteurs, les agents graisseux, plastifiants, cosmétiques, produits pharmaceutiques et tensioactifs.

16. Organisation du marché

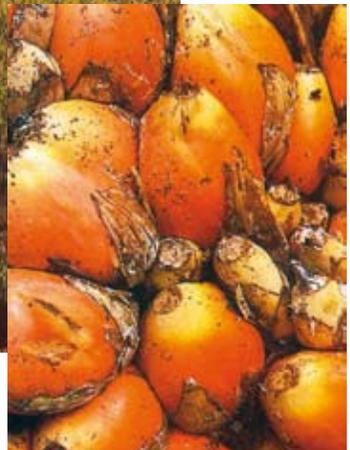
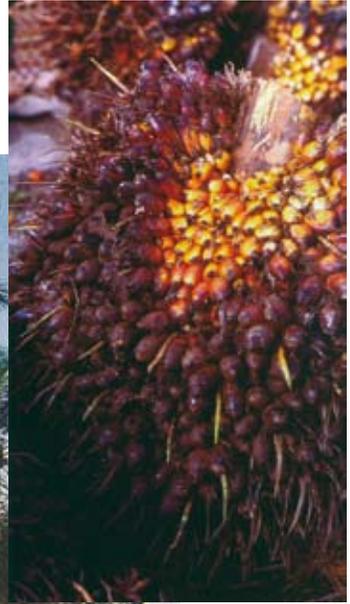
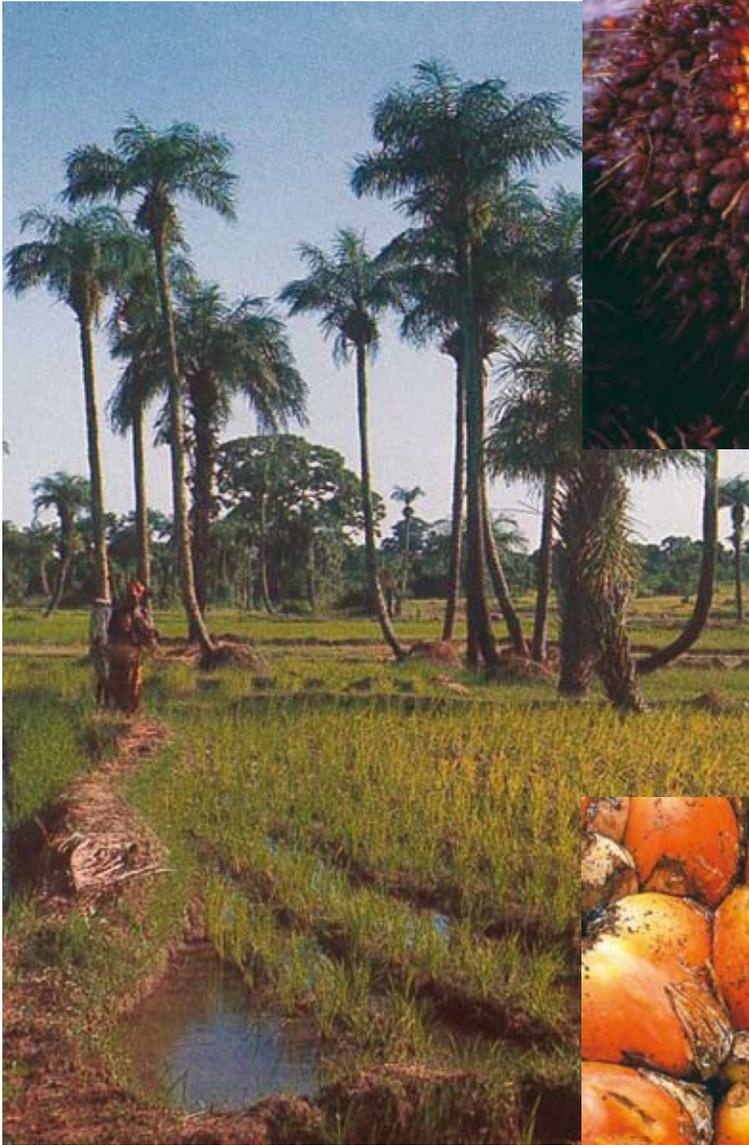
Sur le marché international, le colza a le même prix que le soja. Depuis 2004, les productions du Brésil et du Paraguay sont en grande partie vendues à des entreprises brésiliennes pour répondre à la demande du marché brésilien. L'huile de colza représente moins de 1% du marché interne des huiles végétales. mais devrait augmenter. En 2004, le sac de 60 kg de colza était vendu à 40 R\$.

Plante qui a la capacité de se développer dans des sols pauvres en phosphore.

La culture du colza dans la région Centre-Ouest est la première culture commerciale de ce produit sous de basses latitudes, 17 à 18°.

Le colza réduit les risques de certaines maladies et permet que le blé d'hiver planté après lui soit plus productif, de meilleure qualité et ait un moindre coût de production.

Fort potentiel pour une utilisation pure comme carburant



6. Palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.)



1. Description botanique

- **Famille** : Arécacée
- **Tribu** : Cocoinées
- **Espèce** : *Elaeis guineensis* Jacq.
- **Nom populaire** : dendê, palme africaine



«Carte de répartition géographique Adapté de LAMICA (2004)

2. Description morphologique

Ce palmier est une monocotylédone arborescente qui peut atteindre jusqu'à 25 à 30 mètres de hauteur. Le système racinaire est de type fasciculé. Son stipe est droit, de couleur foncé et annelé à cause des cicatrices des bases petiolaires qui se détachent à partir de 15-20 ans. Les feuilles peuvent atteindre de 5 à 8 mètres de longueur suivant les origines. A la base des feuilles, le pétiole est recouvert d'épines, il se continue par le rachis qui porte les folioles (25 à 300, réparties de part et d'autre du rachis sur plusieurs plans).

Le palmier à huile est une plante monoïque : les deux sexes sont présents sur chaque arbre mais séparés en inflorescences mâles et femelles qui sont émises en cycles successifs.

Le fruit est une drupe pesant de quelques grammes à une trentaine de grammes. Les proportions de pulpe, de coque et d'amande (palmiste) varient suivant le type de fruit (Dura, Pisifera, Tenera), les origines et le degré de sélection génétique.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : Chaud et humide. Ce palmier pousse sur une bande de 10 degrés au nord et au sud de l'équateur.
- **Température** : Les températures minima mensuelles doivent être supérieures à 18°C, et les maxima peuvent varier entre 28 et 34°C. En dessous de 18°C, il y'a des blocages de maturation des régimes et des effets mal connus sur la physiologie de l'arbre.
- **Précipitation** : Au-dessus de 1.800 mm/an, avec une distribution régulière sur toute l'année. Un déficit hydrique consécutif a des saisons sèches plus ou moins longue diminue le rendement de la palmeraie et donc la rentabilité de celle-ci. Il convient d'éviter des plantations dans de régions où le DH est supérieur à 500 mm/an si la possibilité d'apports d'eau significatifs (irrigation ou nappe phréatique près de la surface) est impossible.
- **Insolation** : l'optimum se situe au-delà de 1.800 heures d'insolation/an. Toutefois il est préférable de prendre en compte le rayonnement global dont la moyenne doit être supérieure à 12MJ/m²/jour.
- **Humidité** : un taux de 80% est idéal. Une humidité relative faible, se traduit par une réduction de l'activité photosynthétique due à la fermeture des stomates.
- **Altitude** : jusqu'à 600 m.
- **Sol** : le palmier à huile est assez peu exigeant concernant les sols sur lesquels il est installé. Néanmoins, les types de sols et leur aménagement influencent les performances de la palmeraie d'une façon plus ou moins forte suivant les conditions climatiques.
 - Le sol doit avoir une profondeur effective supérieure à 90 cm et ne doit pas être compacté. Une texture avec 25 à 30% de particules fines est préférable. Il doit être suffisamment perméable pour garantir une bonne aération et circulation d'eau.
 - Le palmier à huile s'accommode assez bien de sols chiquement pauvres, car il est relativement aisé de corriger des carences par l'apport d'engrais appropriés. Il supporte une gamme de pH comprise entre 4 et 6.

- La topographie doit être plane. Il faut prévoir des aménagements spéciaux pour des terrains avec des pentes comprises entre 5 et 15%.
 - De 0 à 5% : aucun aménagement n'est nécessaire,
 - De 5 à 8%, prévoir de mesures anti-érosives (diguettes et fossés d'infiltration en courbes de niveau),
 - De 8 à 15%, terrasses continue en courbes de niveau.

4. Localisation de la production

- **Actuellement** : La culture au Brésil est marginale par rapport à la production mondiale. Elle se situe essentiellement dans les états du Pará (91%) et à de la Bahia (8,5%).
- **Potentiel** : Il est estimé à 70 millions d'hectares, surtout dans l'Etat d'Amazone (54 millions d'ha) où les conditions agricoles et écologiques sont idéales pour la mise en place de la culture de la palme.

5. Organisation de la production

En 2005, le Brésil a produit 132 000 tonnes d'huile de palme. Les producteurs ne sont pas très organisés. Il n'existe qu'un seul grand producteur, l'entreprise Agropalma (PA), qui représente à elle seule 72% de la production brésilienne.

6. Cycle de culture

Ce palmier est une espèce pérenne. Sa période d'incubation (germination, prepépinière et pépinière) est de 12 à 15 mois. Il commence à produire à partir du trentième mois après avoir été planté. Il atteint sa maturité productive (soit de 25 à 30 t/ha/an) à l'âge de huit ans. Cette productivité est maintenue jusqu'à sa 16^{ème} année, ensuite il commence à décliner jusqu'à la fin de sa vie utile, suivant le matériel végétal utilisé et les conditions pedo-climatiques de la zone de culture.

7. Nutrition minérale:

Les besoins nutritionnels du palmier à huile peuvent différer selon la zone de culture (type de sols), le matériel végétal utilisé, l'âge de la culture et le niveau de rendement.

Les éléments minéraux considérés comme les plus importants sont : l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K) ; le magnésium (Mg), le chlore (Cl), le bore (B) ainsi que le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) dans certaines situations particulières.

Le suivi de la nutrition minérale ainsi que l'élaboration du programme annuel de fertilisation, se font sur la base des résultats obtenus sur un essai de fertilisation représentatif des conditions de la plantation (qui permet de définir les niveaux de référence pour chaque élément dans la zone étudiée) et sur la pratique du diagnostic foliaire pour les parcelles industrielles voisines.

8. Ravageurs et maladies

Les palmeraies en Amérique Latine, peuvent être considérées comme un « paradis » pour un entomologiste et un phytopathologiste. Il est difficile d'énumérer tous les ravageurs et maladies qui peuvent affecter le palmier à huile, et la liste ci-dessous n'est qu'un résumé des ravageurs et maladies les plus représentés au Brésil.

Le **Rhynchophore du cocotier** – *Rhynchophorus palmarum* (coléoptère).

La **maladie de l'anneau rouge** – *Rhadinaphelencus cocophilus* (nématode), transmise par le Rhynchophore.

Le **lépidoptère des racines** – *Sagalassa valida*, en jeunes cultures. Les attaques sont contrôlées par des apports de rafles en couronnes au pied des jeunes palmiers ou des traitements insecticides.

Le **lépidoptère du stipe** – *Castnia daedalus*. D'une façon générale, ce ravageur s'installe et prolifère dans des plantations où la récolte est mal faite.

La **Fusariose** – *Fusarium oxysporum f.sp. elaeidis* (champignon). Se contrôle grâce à l'utilisation de croisements résistants par exemple de C 100 F du CIRAD.

Marchitez sorpresiva ou Marchitez – *Phytomonas* sp. (protozoaire). Transmise par une punaise du genre *Lincus*. Se contrôle aisément grâce à des traitements des arbres atteints et des arbres voisins.

Jaunissement fatal (A.F.) – agent causal inconnu. Ce problème est généralisé dans les communes de Santa Barbara, Benevides, Santo Antonio do Tauá, Santa Isabel do Pará, Aracá, Mojú.

Des hybrides interspécifiques de *E. Oleifera* x *E. guineensis* se sont montrés résistants mais moins productifs. Néanmoins, les hybrides actuellement commercialisés ne sont pas résistants à la fusariose et pour cela ne peuvent être utilisés dans les plantations affectés par les deux maladies (AF & Fusariose).

Le jaunissement fatal (AF), analysé en particulier par le Programme Palmier à huile du CIRAD, est le principal obstacle au développement de cette culture en Amérique Latine.

9. La récolte

La récolte est manuelle. Elle a lieu tout au long de l'année et les arbres sont visités tous les 10 jours afin de recueillir des régimes à bonne maturité.

La récolte est faite avec toutes sortes d'instruments, selon l'âge et la hauteur des plantes.

10. Description du produit récolté

Il s'agit de plus ou moins 12 régimes par an. Chacun d'entre eux est composée de 1000 à 3000 fruits. Le fruit est ovale, d'une taille de 5 cm et d'un poids de 10g. Il est composé d'un noyau (8%) et d'un mésocarpe (92%).

11. logistique

- **Transport** : Le transport des grappes doit se faire le plus vite possible. Des parcelles aux points d'amasement, au bord des routes, ce transport est généralement effectué par des animaux,

comme les ânes, les mules, les bœufs ou buffles ou par des machines (petits tracteurs). Du bord des routes aux usines, les grappes sont transportées en camions ou en camions-bennes.

- **Stockage** : Le fruit ne peut pas être stocké. Entre la récolte et le début du processus de transformation (stérilisation), l'attente ne peut pas excéder 24 h, afin d'éviter l'acidification de l'huile.

12. Etapes de transformation

Après le pesage des régimes, ceux-ci sont déversées par une trémie dans un *stérilisateur* où ils sont cuits à une température d'environ 135°C et à une pression de 2 kg/cm², pendant 50 ou 60 minutes (cette étape devant être effectuée sous 24h après la récolte).

Elles passent ensuite dans un *égrappoir* qui sépare les fruits des rafles.

Elles sont enfin envoyées au malaxeur où la structure des cellules de la pulpe est cassée afin de libérer l'huile des cellules oléifères.

La pâte qui sort du malaxeur est pressée pour en extraire l'huile de palme. Ce pressage laisse les noix intactes mais mélangés aux fibres de la pulpe (tourteaux de la pulpe). Ce tourteau est alors séché afin de séparer les fibres des grains. Les grains sont mis dans un cylindre (polisseur) qui retire le reste des fibres. Ils sont séchés ce qui facilite le détachement des amandes de la coque. Ils vont enfin dans un broyeur qui sépare définitivement les amandes des coques. Les amandes sont finalement pressées et l'huile de palmiste produite.

L'huile de palme brute passe par un clarificateur/décanteur qui élimine la matière colloïdale et les impuretés solides. Une grande partie de l'humidité en est également retirée. Après ce processus l'huile de palme et l'huile de palmiste doivent être respectivement stockées à une température de 32 à 40°C et 30 à 35°C.

Rendement :

Il existe deux types d'huile : l'huile de palme, extraite de la pulpe du fruit, et l'huile de palmiste, produite à partir des amandes.

Cet oléagineux est l'un des plus productif avec 4000 à 6000 kg d'huile/ha/an suivant les zones de cultures et le matériel végétal utilisé.

La culture du palmier à huile est une activité agricole qui présente une balance énergétique extrêmement positive, étant donné qu'elle n'utilise que très peu de carburant fossile lors de son processus de production.

Comparaison de trois investissements dans les cultures énergétiques (Wood & Corley, 1993).

	Pays	Rendements (t/ha/an)	Consommation énergétique	
			Gj/ha/an	Gj/t
Soja	USA	0,40	20,0	50,0
Colza	UK	1,02	23,0	22,5
Palmier à huile	Malaisie	3,86	19,2	5,0

13. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

Composition		teneur	détail
		Acides saturés	6%	- laurique (C12:0) = <0,4% - myristique (C14:0) = 0,5 – 2,0% - palmitique (C16:0) = 41,0 – 47,0% - stéarique (C18:0) = 3,5 – 6,0%
Acides insaturés	92%	<ul style="list-style-type: none"> - palmitoléique (C16:1) = <0,6% - oléique (C18:1) = 36,0 – 44,0% - linoléique (C18:2) = 6,5 – 12,0% - linoléinique (C18:3) = <0,5% 	
Viscosité cinématique	39.6 à 43.13 cst (à 37,8°C)		
Masse spécifique	0,915 g/cm ³ (à 15/4°C)		
Pouvoir calorifique	9104 kcal/kg		
Indice de saponification	200 à 203 mg KOH/g		
Indice d'iode	34 - 58 mg I ₂ /g		

14. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	Utilisation
Fibres		Chauffage des chaudières
Coques	Pouvoir calorifique supérieur à celui des fibres	Chauffage des chaudières et revêtement des routes desservant les plantations
Farine		alimentaire
Tourteaux d'amande	Teneur en protéines : 14 à 18%.	Engrais et ration animale

15. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : Bio-diesel – la culture du palmier est soutenue par des aides fiscales gouvernementales pour la production de biocarburants.
- Potentiel : bio-diesel et utilisation pure en motorisation pour la production d'électricité.

16. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Caractéristiques : Utilisation alimentaire de 70% de la production (huile, beurre et margarine).

Huile brute : sidérurgie, laminage des plaques d'acier, bain d'étamage, production de peinture et de vernis, fabrication de savons, savonnets, détergents, bougies, produits pharmaceutiques et cosmétiques, ainsi que confiserie.

17. Organisation du marché

Le coût de production de l'huile de palme est de 136 R\$ par tonne de régimes séchés (cotisations sociales, transport et stockage compris). La cotation de cette matière première sur le marché est de 150 R\$ la tonne (cotation du mois d'août 2005 pour l'Etat du Pará) Barros et al. (2006).

Coût de l'huile de palme brute, d'après différents auteurs :

Coût de l'huile brute (US\$/l)	Source
0,20-0,23	Présidence de la République 2003.
0,17-0,20	Cahiers NAE, 2005. *

* Données de l'entreprise Agropalma.

Coût du litre de bio-diesel pur d'huile de palme (sans retenue fiscale). Valeur en Réal.

		Echelle de production		
		10000t/an	40000t/an	100000t/an
Région Nord	Matière première au coût du marché*	1,349	1,231	1,170
	Matière première au coût de la production agricole **	1,444	1,324	1,262

Source: Barros et al., 2006.

* Cotations moyennes de juin 2004 à juillet 2005.

** Informations de la récolte 2004/2005.

D'après le rapport final du Groupe de travail interministériel sur le bio-diesel (Présidence de la République, 2003), le coût de production du litre de bio-diesel pur d'huile de palme, sans retenues fiscales fédérales et d'Etats, est de 0,494 R\$. Selon ce même rapport, le prix de vente du gazole minéral avec 5% d'additifs bio-diesel d'huile de palme permettrait de réduire le prix de vente de ce carburant de 0,72%, avec retenues fiscales, et de 2,29%, sans retenues fiscales.

Il existe deux types d'huile : l'huile de palme, extraite de la pulpe du fruit, et l'huile de palmiste, produite à partir des amandes.

Cette oléagineuse est la plus productive et la culture du palmier à huile est une activité agricole qui présente une balance énergétique extrêmement positive, étant donné qu'elle n'utilise que très peu de carburant fossile lors de son processus de production.

Fort potentiel pour la production de biodiesel et en utilisation pure dans les régions chaudes et humides.



7. Tournesol

(*Helianthus annuus*)



1. Description botanique

- **Famille** : Astéracées
- **Espèce** : *Helianthus annuus*
- **Nom populaire** : Tournesol



2. Description morphologique

Grandes fleurs (environ 30 cm de diamètre). Sa tige peut atteindre 3 m de hauteur. Ses racines sont pivotantes ou exploratoires, ce qui permet à la plante de mieux exploiter le sol. Sa racine principale peut atteindre 2 m de profondeur. La hauteur moyenne de la plante varie de 182 cm (ensemencement pendant la saison des pluies) à 150 cm (ensemencement à la saison sèche). Le diamètre des capitules varie de 18,0 cm (saison des pluies) à 14,8 cm (saison sèche). Pollinisation croisée et fleurs jaunes. Cycle de 90 à 115 jours. Les graines sont oblongues avec 11,43 mm de longueur, 6,09 mm de largeur et 3,94 mm d'épaisseur. Elles sont noires et rayées de gris.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : s'adapte à différentes conditions climatiques.
- **Sol** : se développe bien dans des sols variant d'une texture sablonneuse à argileuse. La plante n'exige pas une grande fertilité pour produire de façon satisfaisante. Le sol ne doit pas avoir de problème d'acidité (pH minimum = 5,2) et de compactage. Il est préférable d'opter pour des sols corrigés, profonds, fertiles, plats et bien drainés, afin que les racines se développent normalement.

- **Température** : idéale entre 27 et 28°C. Cependant, la production ne varie pas beaucoup si les températures restent entre 8°C et 34°C. La germination est inhibée si la température est inférieure à 4°C.
- **Humidité** : Les régions trop humides sont inadaptées à cette culture du fait des maladies qui prolifèrent dans ces environnements.
- **Précipitation** : La plante supporte les périodes de stress hydrique. L'idéal est d'avoir entre 500 et 700 mm de précipitations bien distribuées.
- **Altitude** : Le rendement est peu influencé par l'altitude.

4. Localisation de la production

- **Actuellement** : La principale région productrice de tournesol est le Centre-Ouest, avec 64,7% de la production totale. La région Sud produit 32,4% du total, suivie de la région Sud-Est avec à peine 2,2% de la production.
- **Potentiel** : Le tournesol peut être utilisé comme culture de rotation, surtout avec la canne à sucre. L'Etat de Sao Paulo possède un fort potentiel dans le développement de la production brésilienne de tournesol.

6. Cycle de culture

De 90 à 130 jours. Dans l'état de Sao Paulo, le tournesol est planté de septembre à mars. Il existe deux saisons d'ensemencement : celle de printemps, à partir de la mi-septembre, et celle d'été, fin décembre. La meilleure période d'ensemencement est celle qui va de fin décembre à la mi-février.

7. Ravageurs et maladies

- Ravageurs.
 - Le coléoptère du maïs (*Diabrotica speciosa*),

- La chenille noire (*Chlosyne lacinia saundersii*),
- Les punaises (*Nezara viridula*, *Piezodorus guildinii* e *Euschistus heros*).
- Maladies.
 - L'alterniose (*Alternaria helianthi*),
 - Le mal blanc (*Sclerotinia sclerotiorum*).

8. La récolte

La récolte est mécanisée avec les mêmes matériels normalement utilisés pour le soja ou le maïs mais avec une adaptation pour le tournesol.

9. Description du produit récolté

Le produit contient 47% d'huile et 24% de protéines. Sa productivité va de 800 à 2400 kg/ha, selon la période d'ensemencement.

10. logistique

- **Stockage** : Comme la graine est peu affectée par les champignons et les vrillettes, le produit peut être stocké et utilisé tout au long de l'année. Il n'est pas recommandé de stocker de grandes quantités d'huile vierge, car elle se détériore. Il vaut mieux stocker la graine et effectuer le pressage selon les besoins en huile.

11. Etapes de transformation

La structure industrielle utilisée pour le coton et le soja peut facilement être adaptée au tournesol, sans grands investissements. Pour obtenir l'huile, il faut avant tout effectuer l'égrainage, et ne laisser que 7 à 10% de la coque adhérer à la pulpe, ce qui permet à l'huile de couler au sein de la pâte pressée.

L'huile brute obtenue sera raffinée soit par pressage discontinu, pressage continu. ou la combinaison des deux qui est la méthode la plus

utilisée. Les étapes du processus d'extraction par pressage continu et solvant en circuit fermé sont les suivantes : stockage des graines, nettoyage et tri des graines, égrainage, distillation de l'huile, élimination des cires, tamisage et grillage de la farine.

L'huile brute passe par un processus de neutralisation pour éliminer les acides libres. Après la neutralisation, les cires sont éliminées par refroidissement et centrifugation. Ensuite, l'huile est lavée à l'eau pour éliminer les impuretés et enfin elle est séchée pour retirer l'humidité. Cette huile est dépigmentée et désodorisée par chauffage sous vide qui permet d'éliminer les odeurs, les saveurs et les couleurs indésirables. La brillance et la limpidité sont obtenues par filtrage et polissage.

Rendement :

De 350 à 500 kg d'huile/ha/an.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

	teneur	détail
Composition	Acides saturés	13,4 – 13,65% - myristique (C14:0) = 0,36-0,37% - palmitique (C16:0) = 6,53-6,65% - stéarique (C18:0) = 4,93-5,02% - béhénique (C22:0) = 1,14-1,16% - lignocérique (C24:0) = 0,44-0,45%
	Acides insaturés	84,24 – 86,56% - palmitoléique (C16:1) = 0,36-0,37% - oléique (C18:1) = 16,04-16,33% - gadoléique (C20:1) = 0-0,2% - linoléique (C18:2) = 67,57-69,39% - linoléique(C18:3) = 0,27-0,27%
Viscosité cinématique	4,61 cst (à 40°C)	
Masse spécifique	0,915 – 0,920 g/cm ³ (à 25°C)	
Pouvoir calorifique	7950 kcal/kg	
Indice de saponification	169 - 189 mg KOH/g	
Indice d'iode	103 - 124 mg I ₂ /g	

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
farine	Source de protéines, pauvre en lysine, riche en sulfurés.	ration animale combinée avec de la farine de soja (riche en lysine, pauvre en sulfurés)
Miel	rendement: 20 à 40 kg de miel à l'hectare	
Plante	Matière organique, effet allélopathique sur plusieurs nuisibles, recyclage d'éléments nutritifs par l'intermédiaire des racines.	Engrais vert
coques		Combustible à chaudière
graines		Comestibles

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : bio-diesel.
- Potentiel : huile brute comme combustible (test de la CATI).

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Alimentation et médecine : cicatrisation, prévention des maladies cardio-vasculaires.

16. Organisation du marché

En 2005, le Brésil a exporté 2 104 tonnes d'huile brute de tournesol au prix de 0,63 US\$/kg. Les exportations d'huile raffinée ont été de 122 tonnes pour un cout de 0,83 US\$/kg. Les importations brésiliennes de ce produit, pour la même année, ont été de 8 528 tonnes d'huile brute à 0,58 US\$/kg et de 3270 tonnes d'huile raffinée à 0,80 US\$/kg.

Le plus gros producteur mondial de tournesol est l'Argentine, pays qui représente 87% des importations brésiliennes de tournesol.

Les coûts de production et les prix du marché du tournesol pour les Etats du Rio Grande do Sul, de Sao Paulo et du Mato Grosso se trouvent dans le tableau 5. Le tournesol dans le région Sud-Est est plus rentable s'il est acheté par le marché local au prix moyen de 21,10 R\$ le sac de 60 kg.

Tableau 3. Coûts de production et prix du marché du tournesol.

Etat	Coûts de production (récolte 2004/05)	Coûts du marché (moy. juin/2004 – juin/2005)
Rio Grande do Sul	R\$ 40,31/sac de 60 kg	R\$ 20,30/sac de 60 kg
São Paulo	R\$ 38,95/sac de 60 kg	R\$ 21,10/sac de 60 kg
Mato Grosso	R\$ 26,06/sac de 60 kg	R\$ 24,70/sac de 60 kg

Source: Barros et al., 2006.

Le tableau 6 présente les coûts de production du bio-diesel de tournesol dans différentes régions, à partir de la matière première au coût du marché et au coût de production agricole.

Tableau 4. Coûts du litre de bio-diesel de tournesol calculé sur les coûts de production agricole et les prix du marché pour une production basée sur trois échelles de production industrielle, pour les régions Sud, Sud-Est, Nord, Nordeste et Centre-Ouest. Valeurs en réaux.

Région	Origine de la matière première	Echelle de production		
		10000t/an	40000t/an	100000t/an
Sud	Matière première au coût du marché*	1,003	0,889	0,835
	Matière première au coût de production agricole**	1,771	1,649	1,579
Nordeste	Matière première au coût du marché*	2,348	2,219	2,138
	Matière première au coût de production agricole**	1,707	1,585	1,517
Sud-est	Matière première au coût du marché*	0,973	0,859	0,806
	Matière première au coût de production agricole**	1,656	1,534	1,467
Centre-Ouest	Matière première au coût du marché*	1,371	1,253	1,191
	Matière première au coût de production agricole**	1,150	1,034	0,977

Source : Barros et al., 2006.

* Cotations moyennes entre juin 2004 et juillet 2005.

** Informations récoltes 2004/2005.

D'après le rapport final du groupe de travail interministériel sur le bio-diesel (présidence de la république, 2003), le coût de production du litre de bio-diesel pur de tournesol, sans retenues fiscales fédérales et d'Etat est

de 0,645 R\$. Toujours selon ce rapport, le prix de vente du gazole minéral avec 5% additif de bio-diesel de tournesol entraînerait une réduction du prix de vente de ce carburant de 0,21, avec retenues fiscales, et de 1,79%, sans retenues fiscales.

Plante qui permet de recycler les éléments nutritifs du sol, recommandée pour les systèmes de cultures en rotation. Le produit IAC-larama a spécialement été développé pour un ensemencement fin novembre, surtout dans les régions productrices de canne à sucre.

Il s'agit de l'une des cultures les plus résistantes au manque d'eau, du fait de son système racinaire profond.

Fort potentiel comme combustible pur.





8. Ricin

(*Ricinus communis* L.)



1. Description botanique

- **Famille** : Euphorbiacées
- **Espèce** : *Ricinus communis* L.
- **Nom populaire** : Mamona, Ricin



2. Description morphologique

Cette plante arbustive présente différentes colorations de sa tige, de ses feuilles et de ses rafles (grappes). De la cire peut également être présente sur sa tige et pétioles. Les fruits possèdent normalement des épines, mais dans quelques cas, ils sont inermes. Les graines sont de différentes tailles, formats et de couleurs très variables. Le ricin est xérophile et héliophile. Il est constitué d'un grand nombre d'espèces qui sont regroupées de la façon suivante :

- arborée, qui atteint jusqu'à 5 m de hauteur ;
- haute, avec une hauteur variant entre 2,5 et 4 m. Grandes fleurs (environ 30 cm de diamètre). Sa tige peut atteindre 3 m de hauteur ;
- moyenne, avec une hauteur entre 1,8 et 2,5 m ;
- naine, dont la hauteur est inférieure à 1,8 m.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : Tropical et sub-tropical. Entre le 40°N e 40°S.
- **Sol** : La plante est exigeante et fatigue le sol. Elle demande une bonne topographie, la pente maximale ne doit pas dépasser 12%, et une bonne exposition au soleil. Il lui faut des sols argileux-silicieux ou silicieux-argileux profonds, fertiles et bien drainés. Les sols alluvionnaires sont excellents pour cette plante. Le pH idéal se trouve entre 6 et 7. La production n'est pas bonne dans des sols humides et pauvres.
- **Température** : entre 20 et 30°C.
- **Humidité** : en dessous de 80%, idéale autour de 65%.
- **Précipitation** : de 375 à 500 mm de pluies pendant la période végétative.
- **Altitude** : Entre 300 et 1500 m.

4. Localisation de la production

- **Actuellement** : La région Nordeste assure 90% de la production brésilienne. 80% de cette production régionale est réalisée dans l'Etat de Bahia, les 20% restants viennent du Piauí, du Ceara, Rio Grande do Norte, Pernambuc. Minas Gerais, Sao Paulo et Le Paraná complètent la production brésilienne.
- **Potentiel** : D'après l'étude agricole réalisée par l'Embrapa, 425 communes du Nordeste ont été identifiées pour produire cette culture. 189 d'entre elles se trouvent dans l'Etat de Bahia, soit 41,8% du total.

5. Organisation de la production

En 2004/05, le Brésil a produit 210 000 tonnes de ricin.

6. Cycle de culture

La meilleure saison pour l'ensemencement va d'octobre à novembre. Le cycle de la plante varie entre 180 et 240 jours, selon l'espèce cultivée.

7. Ravageurs et maladies

La Punaise verte: *Nezara viridula* (L. 1785) – (Hémiptère : Pentatomidae) ;

La chenille noctuelle ypsilon: *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1767) (Lépidoptère: Noctuidae) ;

La chenille de la feuille : *Spodoptera latifascia* (Walk, 1856) (Lépidoptère, Noctuidae) ;

L'acarien jaune : *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acarien: Tetranychidae) ;

L'acarien rouge : *Tetranychus ludeni* Zacher, 1913 (Acarien : Tetranychidae).

8. La récolte

La récolte est essentiellement manuelle pour les variétés déhiscentes ou demi-déhiscentes. La récolte est réalisée de 2 à 5 fois par an lorsque les capsules sont devenues dures et cassantes en prenant une coloration brunâtre. Ensuite, on prélève les graines contenues dans celles-ci en écartant les régions médianes de chaque coque. Certaines variétés ont été développées pour une seule récolte mécanique.

9. Description du produit récolté

Selon la variété la graine de ricin varie en :

- poids: 0,3 g à 0,5 g.
- longueur : 10,6 mm à 23,5 mm.
- largeur : 6,7 mm à 14,7 mm.
- épaisseur : 4,7 mm à 8,3 mm.

La graine brésilienne est plus spécifiquement composée de 45% d'huile, 5% d'humidité, 20% de protéines, 13% de carbohydrates, 4% de cendres, 16% de fibres.

10. logistique

- **Transport** : les bogues de ricin sont ramassées et transportées dans des remorques tractées. Aux vues des caractéristiques de la région Nordeste (principale région de cette culture), la remorque est souvent tirée par des mules. Cette culture est donc une source potentielle de revenu pour les muletiers, et, ne consomme pas non plus de carburant. Cette solution a été adoptée en 2004, dans le cadre d'un projet intégré de culture du ricin pour une production d'huile et de bio-diesel à Quixeramobim – CE.
- **Stockage** : Les graines après avoir été séchées et pré-nettoyées, sont stockées en sac de 50 ou 60 kg, qui sont empilés dans des hangars ventilés, secs, protégés des insectes et des rongeurs. Certaines précautions doivent être prises en ce qui concerne le stockage du ricin : les graines abîmées se conservent moins longtemps que celles qui sont intactes ; ces graines accélèrent également la dissémination de champignons qui contribuent à accélérer le processus de détérioration, de germination, et ainsi affectent la vigueur des graines et la qualité de l'huile.

11. Etapes de transformation

La première étape consiste à récolter et à sécher les fruits. Lorsque les fruits sont indéhiscents, il faut les arracher. Un pré-nettoyage est nécessaire pour retirer les macros impuretés. Ensuite, les graines sont cuites, pressées. Ce processus permet de produire de l'huile de type 1, de meilleure qualité, et des tourteaux. Cette huile est ensuite centrifugée (dégommée), neutralisée, clarifiée et filtrée. Une huile servant à la fabrication de solvants chimiques est extraite des tourteaux.

Rendement :

De 500 à 800 kg d'huile/ha.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

Composition	teneur	détail
	Acides saturés	2,3%
Acides insaturés	97,7%	- oléique (C18:1) = 3,0 % - linoléique (C18:2) = 4,2% - linoléinique (C18:3) = 0,3% - dihydroxi-stéarique = 0,7% - ricinoléique = 89,5% (C17H32OHC00H)
Viscosité cinématique	234,4 cst (à 40°C)	
Masse spécifique	0,96 g/cm ³ (à 20°C)	
Pouvoir calorifique	8163 kcal/kg	
Indice de saponification	187 mg KOH/g	
Indice d'iode	85 mg I ₂ /g	

Obs : l'acide ricinoléique contient un hydroxyle dans sa structure.

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Tourteaux	Haute teneur protéinique. Riche en ricine, ricinine et composés allergéniques dérivés.	Engrais organique, ration animale après détoxification (coût élevé)
Tige		Papier et tissus grossiers

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : le ricin et la palmier à huile sont les seules cultures qui reçoivent des aides fiscales du gouvernement pour la production de bio-diesel.
- Potentiel : bio-diesel.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Fabrication de peintures, de vernis, de cosmétiques et de savons (émollient doux, innocuité et humidifiant de la peau humaine), lubrifiant

pour des machines lourdes travaillant à des températures extrêmes (stabilité face aux variations de température).

16. Organisation du marché

Les prix pratiqués au moment de la récolte 2004/05 étaient d'environ 1,00 R\$ les 1,30 kg de ricin en grains. Du fait de l'augmentation de l'offre, les prix ont chuté à 0,30 – 0,40 R\$/kilo.

Après transformation, les prix du marché sont restés stables, soit 2 800 R\$ la tonne d'huile de ricin et 700 R\$ la tonne de ricin brut.

En 2005, le Brésil a exporté 11 782 tonnes d'huile de ricin au prix moyen de 0,82 US\$/kg. La France a acheté près de 80% de cette huile brésilienne.

Le coût de production d'un sac de 60 kg de ricin dans l'Etat de Bahia est de 37,21 R\$ (récolte 2004/2005). La valeur sur le marché de cette matière première est de 54,00 R\$ le sac, prestations sociales, transport et stockage compris (cotations moyennes de juin 2004 à juillet 2005) Barros et al. (2006). Le tableau 7 présente les coûts de production d'huile de ricin par rapport à différents prix du produit brut.

Tableau 5. Coûts du kilo de ricin brut et estimation du coût de production de l'huile.

Prix du kilo de ricin brut *	Coût de production de l'huile*
0,40	0,614
0,45	0,718
0,50	0,823
0,55	0,926
0,60	1,031
0,65	1,135

Source: Alves et al., 2004.

* données 2004 fournies par l'entreprise Tecbio.

Le tableau 8 présente les coûts du ricin dans les régions Nord et Nordeste – coûts de production de la matière première et coûts d'achat sur le marché.

Tableau 6. Coûts du litre de bio-diesel pur de ricin, sans retenues fiscales fédérales et d'Etat, dans les régions Nordeste et Sud-Est.

Région	Coût de production (récolte 2004/05)	Coût du marché (moyenne juin/2004 – juin/2005)
Nordeste	R\$ 1,585/L	R\$ 2,219/L
Sud-est	R\$ 1,610/L	R\$ 1,874/L

Source : Barros et al., 2006.

D'après le rapport final du Groupe de travail interministériel sur le bio-diesel (présidence de la république), le coût de production du litre de bio-diesel pur de ricin, sans retenues fiscales fédérales et d'Etat est de 0,761 R\$/l.

En 2006, les résultats d'une étude réalisée par le Centre d'Etudes avancées en économie appliquée – Cepea – Esalq/USP – en partenariat avec l'entreprise Dedini Indústria de base S/A, ont montré que le bio-diesel produit à partir du ricin, côté aux prix du marché, a coûté 23% plus cher que s'il était obtenu aux coûts de production agricole (soit produit par l'industrie).

D'après le rapport final du Groupe de travail interministériel sur le bio-diesel (présidence de la république, 2003), le prix de vente du gazole minéral avec 5% d'additif de bio-diesel de ricin entraînerait une augmentation du prix de vente de ce carburant de 0,21, avec retenues fiscales. Toutefois, sans retenues fiscales, ce prix de vente pourrait être réduit de 1,36%. Les auteurs de ce rapport considèrent également que cette exemption fiscale aurait des répercussions sur les rentrées d'impôts fédéraux et d'Etat, et que cela pourrait stimuler une adultération des carburants.

Le groupe hydroxyle présent dans l'acide ricinoléique confère à l'huile de ricin la propriété exclusive d'être soluble dans de l'alcool.

Le ricin s'adapte à différentes conditions climatiques. Etant donné qu'il est très résistant à la sécheresse, il est considéré comme option de revenu dans le Sertão du Nordeste.

La nécessité de détoxifier, actuellement à un coût élevé, le tourteau représente une forte limitation à la valorisation de ce co produit et, par conséquence, au développement à grande échelle de la production de ricin.



9. *Jatropha Curcas* (*Jatropha curcas* L)



1. Description botanique

- **Famille** : Euphorbiacées
- **Espèce** : *Jatropha curcas* L.
- **Nom populaire** : Pigne du Paraguay, Pourgère



2. Description morphologique

Il s'agit d'un grand arbuste à croissance rapide d'une hauteur de 2 à 3 m, pouvant atteindre 5 m si les conditions lui sont favorables. Le diamètre du tronc est d'environ 20 cm, son écorce est lisse et la texture de son bois molle. Son canal médullaire est développé et peu résistant ; Ses tissus présentent de longs canaux qui s'étendent jusqu'aux racines et dans lesquels circulent du latex, substance laiteuse qui coule abondamment en cas de coupure. Le tronc est dès sa base subdivisé en branches. Il présente de nombreuses cicatrices causées par la chute des feuilles qui tombent pendant la saison sèche et qui repoussent dès les premières pluies.

Ses feuilles sont vertes, éparses, brillantes, larges et alternées, en forme de palme, avec 3 ou 5 lobules et pétiolées. Leurs nervures sont blanchâtres et sortent sur leur face intérieure.

La floraison monoïque est présente sur la même plante mais avec des sexes séparés. Les fleurs masculines, en plus grand nombre, se trouvent aux extrémités des ramifications, alors que les féminines se trouvent sur les ramifications. Elles sont toutes de couleur jaune-vert, mais les masculines sont sans pédoncules articulés, alors que les féminines sont largement pédonculées.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : des climats les plus humides aux régions semi-arides. La culture de cette plante est conseillée pour les régions chaudes ayant une saison sèche bien définie.
- **Sol** : La plante ne supporte pas un pH inférieur à 4,5. Elle se développe rapidement, même dans des sols pauvres et pierreux. Elle s'adapte aussi bien sur les terrains en pente et arides que dans des sols humides. Cependant, pour obtenir de bonnes productions les sols fertiles sont recommandés, tout comme des corrections et des épandages d'engrais périodiques.
- **Température** : elle ne résiste pas à des températures très basses, mais tolère les gelées légères.
- **Humidité** : très résistante à la sécheresse, mais pour obtenir une bonne production de graines de bonnes conditions d'humidité sont nécessaires.
- **Précipitation** : idéale entre 300 et 1000 mm de pluies par an.
- **Altitude** : les résultats sont meilleurs lorsqu'elle est plantée entre 600 et 800 m.

4. Localisation de la production

- **Actuellement** : Il n'y a pas de grandes régions productrices. Il n'existe que quelques recherches en cours d'élaboration sur de possibles investissements qui permettraient de développer une production commerciale.
- **Potentiel** : Etant donné que cette plante est résistante à la sécheresse, elle peut être considérée comme option de revenu pour les populations du sertão du Nordeste. Néanmoins, elle s'adapte du Rio Grande do Sul à l'Amazonie.

5. Organisation de la production

Il n'existe aucune production organisée.

6. Cycle de culture

Cette culture est pérenne. La plante commence à produire dès la première année, mais n'est vraiment productive qu'après quatre ans. La première floraison a lieu 120 jours après l'ensemencement et les premiers fruits apparaissent après 180 jours. Ensuite, la floraison a toujours lieu au début de la saison des pluies et s'étend indéfiniment, tant que les conditions de température et d'humidité sont réunies. La maturation des fruits a lieu 60 jours après la floraison. Tout indique que la plante est capable de produire commercialement pendant 30 ans. Étant donné le manque de recherche quant à sa production commerciale, il est difficile de déterminer sa productivité moyenne. Certains rapports indiquent une productivité allant de 2000 à 5000 kg de grains/ha/an. Cependant, ces données ne sont que des extrapolations d'observations réalisées sur des plantes adultes isolées.

7. Ravageurs et maladies

Certaines maladies et ravageurs ont déjà été observés dans des régions de plantation. Lors de l'implantation de la culture, il y a une forte incidence de fourmis (saúva et rapa-ropa) ainsi que de termites. Il est donc essentiel de lutter contre ces insectes (surtout la fourmi saúva). Il existe également des rapports indiquant des attaques de grillons quelques semaines après l'ensemencement. Les principaux ravageurs de plantes adultes sont : l'acarien blanc (*Polyphagotarsonemus latus*) et la cigale verte (*Empoasca* sp.) qui provoquent de sérieux dommages, et peuvent rendre non viable toute production si aucune mesure n'est prise. En ce qui concerne la punaise (*Pachycoris* sp.), malgré des observations fréquentes, il n'existe aucune donnée concluante quant aux dommages qu'elle pourrait causer. La maladie la plus répandue est celle de la moisissure blanche (*Oidium* spp.), champignon responsable du blanchiment de la feuille de la plante. La lutte contre les maladies et les acariens consiste simplement à pulvériser sur la plante du soufre en poudre. Il n'existe pas encore de recommandations concernant la lutte contre la cigale verte.

8. La récolte

La maturité des graines s'étale de janvier à juillet suivant les régions. Les capsules de jatropha ne mûrissent pas toutes en même temps ; il faut donc choisir les fruits bien murs c'est-à-dire quand ils sont de couleur brune. La récolte est essentiellement manuelle. Il existe quelques études préliminaires d'adaptation de cueilleuses. On prélève les amandes à l'intérieur des capsules. Ensuite, on casse les amandes pour extraire les graines, chaque capsule contient 2 graines. Après la collecte, les graines, les capsules ont encore une teneur en eau importante. Il ne faut pas conserver les graines dans cet état trop longtemps. Il est nécessaire de passer directement à leur préparation.

9. Description du produit récolté

Le fruit est capsulaire de 2,5 – 4 cm de longueur, de 2 – 2,5 cm de diamètre, de couleur marron foncé lorsqu'il est sec, quasi rond, légèrement striés, aux pointes aiguës, à l'endocarpe dur, au mésocarpe charnu et filiforme, et à l'épicarpe charnu et recouvert de petites élévations en forme de pointes. Il contient trois graines de 2 cm de long, 11 mm de large et 9 mm d'épaisseur. Chacune d'entre elles est oblongue, ellipsoïde, blanchâtre, striée de lignes, réticulée.

La graine contient une amande blanche et tendre, riche en huile. la graine pèse entre 0,48g et 0,72g, dont 66% de coque. Elle produit de 50 à 52% d'huile avec des solvants et de 32 à 35% avec trituration et cuisson de l'amande.

10. logistique

- **Transport** : le transport est semblable à celui du ricin. Etant donné sa faible masse spécifique, son transport sur de longues distances n'est pas viable.
- **Stockage** : Les graines peuvent être stockées de nombreux mois avant leur transformation sans perte expressive en ce qui concerne la qualité de l'huile.

11. Etapes de transformation

Cuisson préalable et pressage dans des presses de type « expeller ». Ensuite, l'huile est filtrée, centrifugée et clarifiée, pour obtenir un produit sans impuretés. Le tourteau contient encore 8% d'huile, qui peut être extraite à l'aide de solvants organiques, généralement de l'hexane.

Rendement :

De 500 à 1500 kg d'huile/ha/an. Des valeurs de 3000 kg d'huile/ha/an sont communément annoncées. Il s'agit généralement de rendement obtenus en laboratoire dans des conditions optimums.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

	teneur	détail
Composition	Acides saturés	19,4% palmitique (C16:0) = 14,3% - stéarique (C18:0) = 5,4%
	Acides insaturés	80,6% - palmitoléique (C16:1) = 1,3% - oléique (C18:1) = 41,1% - linoléique (C18:2) = 38% - linoléinique (C18:3) = 0,2%
Viscosité cinématique	27,3 – 31,5 cst (à 37,8°C)	
Masse spécifique	0,907 – 0,908 g/cm ³ (à 25°C)	
Pouvoir calorifique	9169 - 9380 kcal/kg	
Indice de saponification	189 mg KOH/g	
Indice d'iode	97 mg I ₂ /g	

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Tourteaux	57% de protéine brute, carbohydrates, lipides, haute teneur en nitrogène, phosphore et potassium. Haute teneur en curcasine et acide jathropique toxiques.	Engrais organique, ration animale après détoxification.
Coque	Haute teneur en lignine	Charbon végétal.
Plante	latex caustique coulant des feuilles arrachées ou déchirées.	Ficelle, support pour d'autres plantes et fixateur de dunes sur le littoral.
Graine		Médicinale: purgatif, traitement de la peau, de l'hydropisie, de la goutte, de la paralysie et des rhumatismes.
Latex		Médicinale: cicatrisant, hémostatique, purgatif
Racines		Médicinale : diurétique et anti-leucémique
Feuilles		Médicinale : contre les maladies de la peau, les rhumatismes et contre la syphilis.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : bio-diesel – combustible utilisé dans des lanternes.
- Potentiel : bio-diesel et utilisation de l'huile pure dans les moteurs (ce procédé a déjà été utilisé pendant la 2^e Guerre Mondiale en Afrique et a donné des résultats satisfaisants).

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Fabrication de savon et de stéarine, de produits purgatifs pour les bovins et dans la médecine populaire (cf. utilisation de la graine), de peintures et de vernis, d'huile à lustrer, d'insecticide.

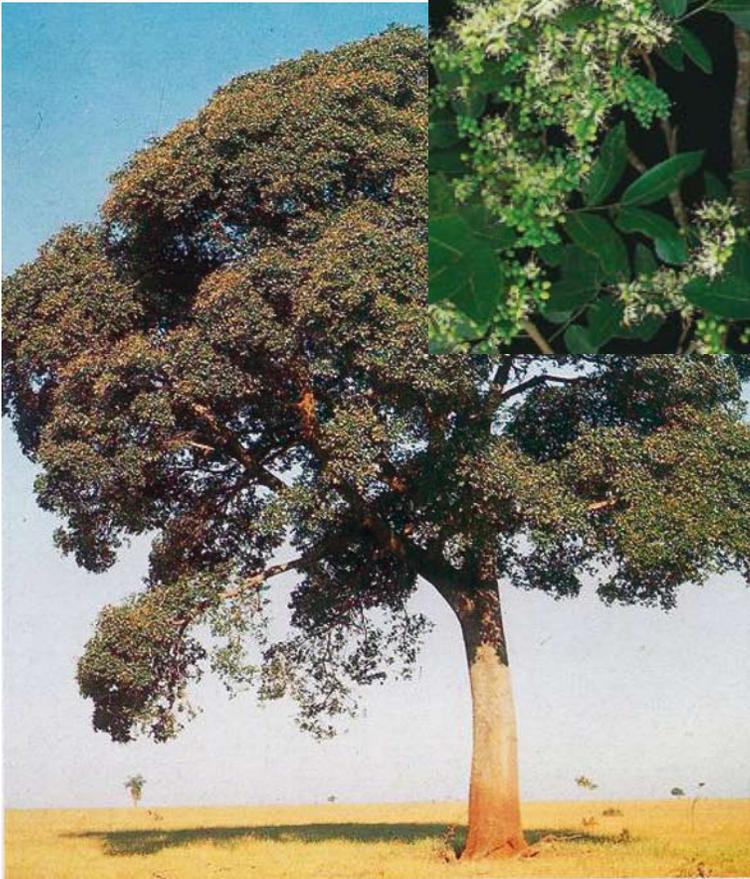
16. Organisation du marché

Il n'existe pas de marché organisé au Brésil.

La culture de cette plante est peu connue. Son cycle n'est pas bien étudié. Les graines peuvent être conservées longtemps, sans détérioration de l'huile.

L'huile n'est pas comestible car elle est fortement toxique pour tous les êtres vivants.

Des études sont encore nécessaires avant d'envisager un développement à grande échelle.



10. Copaïba (*Copaifera langsdorffii*)



1. Description botanique

- **Famille** : Légumineuses – Césalpinées
- **Espèce** : *Copaifera langsdorffii*
- **Nom populaire** : Copaïba, copaïba rouge, huilier, bois à huile

2. Description morphologique

Arbre atteignant une hauteur de 15 à 20 m, à l'écorce aromatique, au feuillage dense, aux feuilles composées de 1 à 12 paires folioles ; inflorescences paniculées avec de petites fleurs, nombreuses sessiles et disposées en épis ; quatre sépales ; généralement dix étamines, ovaires stipités ; deux ovules ;

fruits secs et ovoïdes avec deux valves, type haricot, mono-spermes et déhiscentes, généralement lisses, avec un endocarpe sous-fibreux, de couleur marron, d'une taille de 4,5 cm, périodicité annuelle ;

graines solitaires de couleur noire, ovoïdes, brillantes et recouvertes par un arille riche en lipides.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : cette plante s'adapte à une grande variété de climats. Elle pousse en forêts sèches ou sur des terres inondées, au bord des lacs et des bras des fleuves Amazone, ainsi que dans les forêts du Cerrado du centre du Brésil.
- **Sol** : l'arbre se trouve sur des sols sableux et argileux.
- **Température** : moyenne annuelle de 17,6 °C (Jaguariaíva, PR) à 27°C (Floriano, PI).
- **Humidité** : hygrométrie comprise entre 60 et 75%.
- **Précipitation** : de 800 mm à Bahia à 2400 mm dans le Maranhão.
- **Altitude** : variable (0 à 1000m).

4. Localisation de la production

L'espèce pousse au Brésil surtout dans les biomes amazoniens et du cerrado, dans des forêts semi-décidues, ombrophiles denses et araucarias. Elle peut être également présente dans les états du Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Sao Paulo et Paraná. Dans ce dernier, elles sont localisées dans les forêts à feuilles larges du bassin du Paraná.

5. Organisation de la production

Il n'y a pas de production organisée au Brésil. La production d'huile résinée de copaiba varie d'arbre en arbre et les facteurs qui déterminent ces variations sont mal connus. De façon générale, les caractéristiques génétiques, les conditions édaphiques et l'époque de l'année sont considérées comme des sources de variations de la production, de la proportion d'individus productifs et de leurs caractéristiques physico-chimiques (Alencar, 1982 ; Rigamonte-Azevedo, 2004 ; Ferreira & Braz, 2006).

6. Cycle de culture

Certaines institutions recommandent de respecter un intervalle de récolte d'au minimum 2 (SEBRAE-AC, 1995 apud Shanley et al., 2005) ou 3 ans (Leite et al., 2001), mais sans aucun fondement technique et scientifique, car la récolte, si elle est effectuée de façon incorrecte, peut entraîner la mort d'un individu, voire des réponses physiologiques inconnues.

7. Ravageurs et maladies

Il n'y a pas de problèmes sérieux de ravageurs et de maladies de cette plante. Dans certaines parcelles naturelles, un champignon attaque les plantules, mais ne semble pas limiter sa croissance sur le terrain, même si ces attaques arrivent sur tous les rejets de l'espèce.

8. La récolte

La récolte est manuelle et extractive. L'huile de copaïba se trouve dans des poches distribuées sur les feuilles et dans le xylème primaire dont la sécrétion a lieu dans les canaux axiaux. Ces canaux sont verticaux et interconnectés de telle façon que l'huile résine est drainée quand l'un d'eux est perforé. Ainsi, il est possible d'utiliser une tarière pour extraire cette huile résine au lieu de la méthode traditionnellement utilisée qui consiste à effectuer une coupure latérale sur le tronc avec une hache ou une tronçonneuse (Alencar, 1982).

9. Description du produit récolté

L'huile résine de copaïba est composée d'une partie solide (55 à 60%) et des acides diterpènes, dilués dans de l'huile essentielle surtout composée de sesquiterpènes. La résine est une huile vitreuse, insoluble dans l'eau, onctueuse – elle adhère aux mains avec facilité –, à réaction acide

et avec une odeur peu prononcée (Fernandes, 1949). L'huile essentielle est extraite par distillation et présente des arômes marquants, raison pour laquelle elle est utilisée par la parfumerie (Veiga et Junior ; Pinto, 2002). Ses caractéristiques physiques varient de la transparence à l'opaque, du plus ou moins visqueux, du jaune pâle au brun clair doré, voire parfois transparent. Son arôme présente une odeur de coumarin forte et pénétrante, à la saveur aigre persistante, légèrement amère et très désagréable. Lorsqu'elle est exposée à l'air, cette huile résine devient plus sombre, plus visqueuse et plus dense (Wadt, Azevedo ; 2002).

10. logistique

- **Transport** : En 1993, l'IBAMA a fait publier l'arrêté N° 44 qui exige l'obtention d'une autorisation (ATPF) aussi bien pour l'exploitation que pour le transport de copaïba. Le produit ne peut sortir de sa région de production qu'avec ce formulaire. Cependant, du fait des difficultés de contrôle rencontrées par l'IBAMA, le marché noir et la contrebande sont monnaies courantes. Aujourd'hui, l'huile de copaïba peut être achetée n'importe où, puisqu'elle sort d'Amazonie cachée dans du bois, du café, etc.
- **Stockage** : L'huile est vendue en capsules et /ou en flacons, avec une validité de deux ans.

11. Etapes de transformation

Le procédé de transformation de l'huile résine consiste avant tout à séparer l'essence (huile essentielle) de la résine. Le rendement oscille entre 45 et 55% d'huile essentielle. L'huile essentielle est encapsulée et commercialisée comme produit pharmaceutique. La résine peut être commercialisée pour diverses applications industrielles, telles que : les cosmétiques, les vernis, les graisses, les fixateurs de pellicules, etc.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

Composition		teneur	détail
	Acides saturés	%	- palmitique (C16:0) = 24,9%
Acides insaturés	%	- oléique (C18:1) = 35,3 % - linoléique (C18:2) = 35,7% - arachidique = 1,1% - bonique = 3,0% - coumarin = 0,15%	
Viscosité cinématique	Sans données		
Masse spécifique	0,8925 g/cm ³ (à 25°C)		
Pouvoir calorifique	10 044 kcal/kg		
Indice de saponification	133,2 mg KOH/g		
Indice d'iode	147,2 mg I ₂ /g		

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Bois		Construction, ébénisterie, manches à balais et à outils, charonnage, parquets, portes, lambris, planches, etc.
Arbre		Arborisation et plantation en zone érodée.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : N'a jamais été utilisée.
- Potentiel : bio-diesel et production électrique dans des régions isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

L'utilisation la plus commune de cette résine est surtout médicinale. Elle est utilisée comme anti-inflammatoire et anti-cancéreux. Du fait de ses propriétés chimiques et médicinales, l'huile de copaïba est très recherchée sur les marchés régionaux, nationaux et internationaux (Taylor, 1971).

Elle est également utilisée comme composant dans des vernis résistants aux hautes températures et dans la cosmétologie (fixateur de parfums) (France, 1987). Elle est finalement utilisée par l'industrie photographique afin d'améliorer la clarté des images dans des environnements peu contrastés. La résine peut être utilisée comme fixateur du papier Nascimento (1980).

16. Organisation du marché

Les informations existantes sur le marché national et international de l'huile et ses co-produits sont peu nombreuses. Historiquement, le Brésil est le plus grand producteur et exportateur de copaïba du monde. Des petites quantités de cette huile sont produites au Venezuela, Colombie et Guyanes (Sebrae, 1998).

Les exportations brésiliennes d'huile de copaïba sont estimées à 100t/an. Les principaux importateurs du produit sont les Etats-Unis (50%), la France (30%) et l'Allemagne (15%). La région Nord a ainsi exporté près de 120 tonnes de ce produit en 1994. Plus de 80% de ce volume est sorti du port de Manaus. L'Etat de Rondônia est en train de développer cette production avec 10t commercialisées 'in natura' vers les Etats-Unis en 1993 et 30t en 1994. Cette huile a une importance significative dans le cadre des exportations de produits forestiers non-ligneux de l'Etat d'Amazonie. En effet, avec une moyenne d'exportation de 89 t/an, ce produit représente une recette de 215 000 US\$/an. L'Amapa a également commencé à exporter ce produit.

Le tableau 9 présente les prix de vente de l'huile de copaïba en 1994 pour l'Etat du Pará.

Tableau 7. Prix de l'huile de copaïba dans différentes communes de l'Etat du Pará.

Vendeur	Prix de vente (R\$/litre)
Caboclo do Rio Capim, Pará.	2
Maison de ventes plantes médicinales, Belém.	25
Scieries, Paragominas	30
Propriétaires de scierie (de Paragominas vers Sao Paulo)	50
Marché Ver-o-peso, Belém (emballages de 20 ml, R\$ 1,50 l'unité).	75
Aéroport, Belém (emballages de 20 ml, R\$ 4,50 l'unité).	225

Source: Shanley & Medina (2005).



11. Açaiï

(*Euterpe oleracea* Mart)



1. Description botanique

- **Famille** : Palmier - Arécacées
- **Espèce** : *Euterpe oleracea* Mart
- **Nom populaire** : Açaiï, Palmier açaiï, açaiï de l'Amazonie, Jussara



2. Description morphologique

Palmier à stipes multiples, de 3 à 20 m de hauteur, ses tiges sont lisses et font de 7 à 18 cm de diamètre ; de 40 à 80 amandes de chaque côté, ouvertes et régulièrement regroupées sur un même plan. Ses feuilles, de 2 m de longueur, sont au nombre d'une dizaine. Les fleurs, en grappes, sont petites, jaunes et fleurissent surtout de septembre à janvier, même s'il peut y en avoir toute l'année. Chaque pied produit de 6 à 8 grappes à partir de 4 ans, soit à l'âge adulte. Ses fruits mûrissent également en grappes et sont violacés, presque noirs à maturité.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : tropical pluvieux. Ce palmier rencontre des conditions climatiques satisfaisantes dans les régions où la distribution des pluies est régulière ou dans des zones où même s'il y a une saison sèche définie, l'humidité est satisfaisante.
- **Sol** : Terre ferme (latosol rouge), plaines et bras de fleuves. Les plus grandes concentrations de ces palmiers se trouvent dans

les plaines et les marécages. Ils forment un écosystème de forêt naturelle en massifs connus comme ‘forêt d’açai’ et couvrent une zone estimée à 1 million d’hectares. Cette espèce mésophile se développe bien dans des sols dont le pH varie entre 4,5 et 6,5, pauvres en calcaire, comme les sols de terre ferme, et surtout les plaines se trouvant le long des fleuves (Enríquez et al., 2003).

- **Température** : Les moyennes annuelles oscillent entre 22°C et 27°C, avec des maxima entre 28°C et 33°C et des minima entre 17°C et 23°C.
- **Humidité** : l’humidité relative de l’air varie entre 70% et 91% et est étroitement liée à la pluviométrie.
- **Précipitation** : La région reçoit entre 1300 et 3000mm de pluies par an. Celles-ci sont distribuées sur deux périodes, grande et petite saison des pluies (Bastos, 1972 ; Bastos et al. 1986).
- **Altitude** : Sans données.

4. Localisation de la production

- L’Etat du Pará est la principale région de développement de ce palmier. Des populations natives ont également été trouvées dans les Etats de l’Amapa, du Maranhão, du Mato Grosso et du Tocantins ; ainsi que dans des pays d’Amérique du Sud (Venezuela, Colombie, Equateur, Surinam et Guyana) et d’Amérique Centrale (Panama). Néanmoins, c’est la région de l’estuaire du fleuve Amazone qui présente les populations naturelles les plus denses.

5. Organisation de la production

La production des fruits qui venait essentiellement d’une culture extractive a commencé au début des années 1990. Elle s’organise autour de plantations naturelles et cultivées implantées dans des régions de plaines, en terre ferme, présentant une importante pluviométrie, en système individuel ou associatif, avec ou sans irrigation. Des données statistiques prouvent que près de 80% de la production des fruits reste extractive et que les 20% restants proviennent de ces nouvelles régions de plantation.

6. Cycle de culture

Cette plante commence à produire après 3 ou 4 ans. Son inflorescence est formée d'un ensemble de branches présentant un nombre variable de fleurs masculines et féminines qui, après le développement des fruits est appelée grappe. La floraison a lieu toute l'année dans l'Etat de l'Amapa et la production de fruits est plus importante entre les mois de janvier et de juin, avec un pic de production qui va de février à avril. Dans l'Etat d'Amazonas, la production s'étend de janvier à août. Toutefois, il existe des variations de production des fruits entre les différentes régions productrices.

7. Ravageurs et maladies

Avec l'expansion des cultures commerciales dans la région Nord du Brésil, les attaques d'insectes ont fortement augmenté causant de fortes pertes. Ces ravageurs, susceptibles d'attaquer cette plante, depuis son ensemencement jusqu'à sa phase adulte sont encore assez mal connus. Les principaux d'entre eux sont :

- *Cerataphis lataniae* Boisudval, (Hétéroptère : Aphididae). Connu comme le puceron noir du cocotier, il attaque plus facilement la plante en serre et durant ses trois premières années de vie.
- *Alleurodicus cocois* (Hétéroptère : Alyrodidae). Connu comme la mouche blanche, elle attaque le palmier en serre et pendant ses premières années de vie.
- *Atta* spp. (Hyménoptère : Formicidae). Fourmis plus connues sous les noms de 'sauvas', 'tanajura' et fourmis sauvas, elles attaquent la plantule de l'açaï lors de l'ensemencement, les plants en serre et pendant les premières années de sa vie, étant donné que ses feuilles sont alors très tendres. Les spécimens les plus connus sont : *A. laevigata* (sauva de la forêt), *A. cephalotes* (sauva à la tête de verre) et *A. sexdens sexdens* (sauva du citron du nord ou fourmi du manioc).
- *Rhynchophorus palmarum* Linnaeus, (Coléoptère : Curculionidae). Lépidoptère connu comme le foreur du cocotier ou rhynchophore du cocotier, il attaque la plante à partir de sa troisième année, lorsque son stipe est suffisamment développé. Ce ravageur attaque d'autres palmiers, surtout le cocotier et la palme africaine.

- *Mytilococcus (Lepidosaphis) bechii* (Hétéroptère : Diaspididae). Connue comme la cochenille virgule, elle attaque la plante en serre et pendant ses premières années de vie.
- *Alleurothrixus floccosus* (Hétéroptère : Aleyrodidae). Connue sous le nom de mouche blanche ou poux farineux, elle attaque l'açaï en serre, ainsi que les jeunes plantes.
- *Eutropidacris cristata* (Orthoptère : Acrididae). Connue comme le criquet du cocotier, il attaque surtout les plantes jeunes et les plants en serre.
- *Synale hylaspes* (Lépidoptère : Hesperidae). Connue comme la chenille verte du cocotier ou chenille verte, elle attaque la plante en serre. Elle attaque aussi d'autres palmiers (Gallo et al. 1988).
- *Hemisphaerota tristis* (Coléoptère: Crysmeliade).
- *Brassolis sophorae* (Lépidoptère: Nyphalidae). Connue comme la chenille des feuilles, chenille de la feuille de cocotier et brassolis.
- *Opsiphanes invirae* (Lépidoptère : Brassolidae). Connue comme chenille mangeuse de feuilles et opsiphane.
- *Eupalamides dedalus* (sin. *Castnia dedalus*, Lépidoptère : Castniidae). Connue comme foreur du stipe, foreur de la couronne foliaire et foreur des grappes du palmier africain.
- Les escargots : il s'agit de mollusques à coquille de 10mm de longueur qui se trouvent sur toute la plante, surtout lors de ses deux premières années de vie. Ils se trouvent plus particulièrement sur la flèche et les folioles les plus jeunes car ils s'en alimentent. La lutte la plus efficace est le ramassage manuel périodique sur les jeunes plantes.
- Les limaces : il s'agit de mollusques sans coquilles dont les habitudes alimentaires ressemblent à celles des escargots. Elles attaquent ce palmier en serre ou en terre. Elles s'alimentent des flèches et des folioles les plus jeunes. Elles se font plus présentes pendant la saison la plus pluvieuse et dans les endroits humides. Elles peuvent causer de sérieux problèmes aux jeunes plants dans leurs premières années de vie. La lutte peut être faite par ramassage manuel et nettoyage autour des serres, car elles se reproduisent dans des matériaux végétaux humides en décomposition.

8. La récolte

La récolte commence 180 jours après l'anthèse, lorsque l'épicarpe est violet-noir ou vert foncé, et qu'il est recouvert d'une couche grisâtre. La culture est difficile du à la hauteur des stipes (10 à 15 m) et à leur fragilité. Le ramassage a lieu généralement le matin pour éviter les pluies de fin de journée, les stipes devenant plus glissants et difficiles à escalader. Immédiatement après la cueillette, les fruits indésirables sont écartés.

Le ramasseur escalade le stipe à l'aide d'une corde, il coupe la grappe à sa base en faisant attention de ne pas faire tomber un trop grand nombre de fruits. Après la coupe, normalement, la grappe est déposée sur le sol, mais il est recommandé de la laisser sur une bâche ou un plastique, afin d'éviter une contamination des fruits.

L'Embrapa de l'Amazonie Orientale a testé avec succès une cueilleuse de grappe de palmier pêche (*Bactris gasipaes* H.B.K) qui peut être utilisée et adaptée au procédé de cueillette des grappes d'açai. Cet appareil consiste en une perche d'environ 6 m de longueur en aluminium munie d'une lame en son extrémité, d'un récipient où est déposée la grappe et d'une poulie, qui permet de descendre et de monter ce récipient. Il permet donc de faciliter et de rationaliser la récolte des fruits dans des régions d'exploitations intenses. Le ramasseur est plus en sécurité puisqu'il n'a plus besoin de grimper sur la plante.

9. Description du produit récolté

Les fruits sont globuleux et lisses, mesurent un peu plus d'un centimètre de diamètre, présentent une riche pulpe comestible, ainsi qu'un noyau fibreux et dur. Ils sont de couleur noir-violet quand ils sont mûrs et sont utilisés dans la fabrication de liqueurs, de sucreries et de jus. Lorsque le fruit est sec, il renferme près de 4% d'une huile vert-foncé à l'odeur agréable (Pesce, 1941). La partie comestible du fruit représente de 5 à 15% de son poids et contient 25% d'humidité (Rogez, 2000).

10. logistique

- **Transport** : l'horaire de transport idéal est le matin parce que les fruits sont à une température plus basse, ce qui réduit leur

dégradation. Quand le transport est réalisé très tôt le matin, les fruits peuvent arriver, selon la distance, dans les grands centres de consommation, comme Belém, le lendemain de la récolte.

Quand le laps de temps entre la récolte et le dépulpage est de plus de 48 heures, les fruits sont transportés dans des sacs en polypropylène de 60 kg recouverts de glace. Néanmoins, la glace ne peut pas être en contact direct avec le fruit car elle brûle l'épicarpe, diminue la qualité du produit et augmente la zone d'exposition de celui-ci à l'attaque des micro-organismes. Le transport fluvial, dans les bateaux qui transportent le poisson, est possible à la condition de respecter des conditions d'hygiène convenables.

Dans la région amazonienne, le moyen de transport le plus utilisé est le transport fluvial, qui facilite l'écoulement de la production des fruits de l'açaï provenant des plaines fluviales. Ce transport est réalisé avec de petites embarcations dont la capacité varie de 200 kg à quelques tonnes. Ce type d'embarcation ne couvre que les petites distances et les opérations de transport ont généralement lieu la nuit et ne dure pas plus de 3h.

Lorsqu'il faut transporter des quantités plus importantes de fruits, les embarcations utilisées ont une capacité de 10 à 20 tonnes. Les petits producteurs riverains commercialisent souvent leurs productions loin des centres de consommation. Elles doivent donc être transportées sur de plus grands bateaux.

La production provenant des régions de terre ferme est normalement transportée par la route, en camion ou en camionnettes. Les fruits sont alors conditionnés dans des sacs de 60 kg, des paniers, des cageots ou des caisses en plastique. Le transport dans des récipients inappropriés, comme les paniers, provoque souvent des dommages et accélère la dégradation des fruits.

Pendant le transport, les fruits ne doivent pas être mis en contact avec des produits chimiques, des graisses, des combustibles, des engrais, des animaux vivants ou morts, comme le poulet et le poisson, ou n'importe quelle autre substance capable d'accélérer la contamination des fruits de l'açaï.

Après le déchargement, le véhicule utilisé au transport des fruits doit être nettoyé afin d'éviter la propagation de micro-organismes ou de ravageurs et des risques de dommages futurs.

Pendant l'intersaison dans l'Etat du Pará, les industries de transformation se trouvant à Belém sont fournies en fruits provenant des Etats du Maranhão et de l'Amapa. La production du Maranhão est transportée par la route, celle de l'Amapa par bateaux dotés de chambres froides ou de compartiments à glace.

- **Stockage** : Les endroits de stockage des fruits avant leur transport doivent être exclusivement destinés à l'açaï. Ces fruits ne peuvent pas être mis en contact avec d'autres aliments, matériels de nettoyage, carburants, lubrifiants, pièces de moteurs, engrais agricoles ou d'autres produits contaminant. L'endroit du stockage doit être préservé de ravageurs qui pourraient contaminer les fruits, directement ou indirectement.

Après chaque récolte, et avant la suivante, il est recommandé de nettoyer l'endroit du stockage, d'éliminer les saletés, les insectes ou n'importe quel autre matériau étranger ou indésirable.

Les fruits de l'açaï sont extrêmement périssables, ils doivent donc être dépulés sous les 24 heures après leur ramassage, surtout s'ils sont stockés à température ambiante. Le processus de dégradation est accéléré, particulièrement quand les températures sont élevées dans les zones de production et de commercialisation. La protection du produit aux radiations solaires est un facteur important qui évite des pertes. L'excès d'eau est préjudiciable à la pulpe car elle occasionne une diminution des rendements et l'açaï présente alors une coloration incorrecte, ce qui restreint son acceptation sur le marché.

La préservation des fruits après récolte peut être prolongée, comme dans le cas d'autres fruits tropicaux, s'ils sont conditionnés à une température d'environ 10°C, bien qu'il n'existe pas d'étude formelle sur la conservation de ces fruits dans un environnement réfrigéré.

11. Etapes de transformation

La transformation industrielle de l'açaï comporte les étapes suivantes :

- La réception des fruits : Les fruits sont conditionnés en cageots, paniers ou caisses en plastique. Ils sont pesés (Fig. 1) et envoyés vers le triage.
- Le triage : Il est manuel et généralement réalisé sur des tables en acier inoxydable dotées de passoirs dont les dimensions permettent de retenir les fruits et de laisser passer les impuretés plus petites, comme les restes de sépales, de terre, les fruits secs et mous, etc. Lors de cette étape, les fruits verts, ceux dont l'état phytosanitaire est précaire ou qui présentent un défaut qui les empêche d'être utilisés, sont éliminés. Dans certaines entreprises, les fruits passent dans une machine équipée de ventilateurs qui retirent les saletés provenant du ramassage, du transport, voire des fruits eux-mêmes.
- Prélavage, amollissement et lavage : les fruits sont envoyés vers un système où ils sont lavés 4 fois en série - dans le 1^{er} les fruits sont trempés dans l'eau pour retirer les saletés qui y ont adhéré. Dans le 2^e, les fruits sont mis à tremper pour ramollir l'épicarpe et le mésocarpe, afin de faciliter le dépulpage. Les variables de cette étape sont la température de l'eau et le temps d'immersion. En effet, selon les spécialistes, ils varient conformément à la provenance des fruits et à leur degré de maturité. La température de l'eau varie de 40 °C à 60°C, mais ne doit pas excéder cette dernière température. Le temps de ramollissement va de 10 à 60 min. Plus le degré de maturité du fruit est important plus le temps d'immersion est court. Ces données sont empiriques car il n'existe pas, jusqu'à ce jour, d'études techniques portant sur l'amélioration du dépulpage sans affecter les propriétés de la matière première. Le 3^e lavage est fait avec de l'eau chlorée (20ppm à 50ppm par l de chlore actif), pendant 20 à 40 mn. La solution de chlore ne doit pas être utilisée plusieurs fois car le pouvoir désinfectant de la solution diminue en raison de l'oxydation et de l'évaporation du chlore. Le 4^e lavage, fait par aspersion d'eau potable, retire l'excès de chlore.
- Dépulpage et raffinage : les fruits sont envoyés par tapis roulant jusqu'au dépulpeur, type vis sans fin. Dans un premier temps les fruits sont dépulvés par injection d'eau. Exemple : pour préparer un 1 l de solution avec 50 ppm de chlore actif, il faut

2,5 ml d'hypochlorite de sodium à 2%. La pulpe est constituée de l'épicarpe et du mésocarpe du fruit. Après cette séparation, les noyaux sortent de la vis de transport des résidus et la pulpe tombe par gravité dans une cuve de raffinage (deuxième temps) où des passoires retirent tous les résidus indésirables. Dans un troisième temps, le produit obtenu est transféré dans une cuve pour être homogénéisé.

Procédé traditionnel ou semi-industriel :

Ce procédé à recours à des machines de dépulpage traditionnel, populairement appelées batteuses. Elles sont construites en acier inoxydable, leur forme est verticale et elles procèdent au dépulpage des fruits par addition d'eau. La batteuse reçoit des fruits qui passent par des palettes dont le mouvement circulaire crée un frottement sur les fruits, ensuite de l'eau est progressivement ajoutée. Le produit obtenu tombe par gravité dans une passoire fine et l'açaï se retrouve dans des cuves en acier inoxydable. Le rendement varie selon la provenance, la période de production, le laps de temps écoulé entre la récolte et la transformation des fruits.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

	teneur	détail
Composition	Acides saturés	- myristique (C14:0) = 4,7% - palmitique (C16:0) = 9,3% - stéarique (C18:0) = 10,2% - dodécanoïque (C12:0) = 3,5%
	Acides insaturés	- oléique (C18:1) = 45,7% - palminoléique (C16:3) = 4,8%
Viscosité cinématique	Sans données	
Masse spécifique	0,9880 g/cm ³ (à 25°C)	
Indice de saponification	193,7 mg KOH/g	
Indice d'iode	70 mg I ₂ /g	



13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Fruit		Vin, pulpe ou fruits servent à fabriquer des glaces, des liqueurs, des sucreries et des gelées. Production de colorants et d'anthocyanine.
Noyau	Il correspond à 85% du poids total du fruit	Utilisé dans la production de cosmétiques
Fibre		Confection de meubles, plaques acoustiques, contreplaqué, industrie automobile ou autres ; les noyaux sont nettoyés dans les entreprises qui industrialisent les produits de type A4 sont utilisés dans la torréfaction du café, la boulangerie, l'extraction d'huile comestible, la phytothérapie et les rations animales. Elle est également utilisée pour produire de la vapeur, du charbon végétal et des engrais organiques.
Pulpe	Elle correspond à 15% du poids total du fruit.	Consommation alimentaire, glaces et autres produits dérivés.
Feuilles		Couverture de maisons et confection de chapeaux.
Stipes		Décoration, production de cœur de palmier, constructions rustiques, poutrelles, planchettes, etc.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : utilisation des noyaux comme source d'énergie, surtout dans des chaudières.
- Potentiel : bio-diesel et production d'énergie dans des communautés isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Les huiles extraites des fruits sont utilisées dans des formules cosmétiques.

16. Organisation du marché

Ses dernières années, la valorisation du fruit a contribué à consolider la culture de l'acaï natif en tant que principale activité du programme d'aide

au développement de cultures extractives (PRODEX), créé en juin 1996. L'intérêt pour cette culture a fait passer la surface cultivée de 9 223 ha en 1996 à 18 816 ha en 2002, destinée aussi bien à la production de fruits qu'à celle de cœur de palmier. Cette activité concerne 5000 producteurs, dont 92,1% se trouvent au Pará. En fort développement, le marché du fruit de l'açaï a été le principal élément de cette expansion.

Le fruit de l'açaï concerne un marché régional important car il occupe une place importante dans l'alimentation des populations locales. A Belém, il y a environ 3000 points de vente de ce fruit qui commercialisent journalièrement près de 120 000 litres . Il concerne des populations dont les revenus sont faibles. Dans l'Etat du Pará, où l'açaï fait partie de la culture, la consommation n'a fait qu'augmenter tout au long de ces années. Le produit est ainsi congelé afin de pouvoir être consommé toute l'année.

La demande d'açaï hors de la région est également en augmentation, surtout à Rio de Janeiro (500t/mois), Sao Paulo (150t/mois), Brasilia, Goiás et dans la région Nordeste (200t/mois).

En l'an 2000, une exportation de pulpe congelée a été effectuée vers les Etats-Unis et l'Italie. Le marché extérieur croît de 20% par an, avec la commercialisation d'açaï concentré en boîtes et avec la popularisation de ce produit dans des mélanges énergétiques destinés aux sportifs.

Comme tous les produits de culture extractive, il est difficile de quantifier l'offre de l'açaï. Cette offre est concentrée en Amazonie brésilienne, surtout dans l'Etat du Pará, principal producteur avec 92% de l'offre, suivi du Maranhão, de l'Amapa, de l'Acre et de Rondônia. L'ouverture de nouveaux marchés contribue à augmenter le déficit du produit, surtout au moment de l'intersaison de production.

Les prix du fruit varient beaucoup en fonction de l'offre locale, de la distance du marché consommateur et de la taille de ce marché. Le prix du fruit est fixé au moment de son arrivée chez le grossiste. Le prix 'd'ouverture', est le premier prix du jour, il correspond toujours au dernier prix de la veille. L'augmentation de la production provoque une diminution du prix de vente. Dans la commune d'Igarapé-Miri, au Pará, en 2004, un lot de 28kg coûtait 12 R\$, mais il pouvait atteindre 45 R\$ ou même 60R\$ à l'intersaison. Pour le producteur, le temps de retour sur investissement est surtout fonction de la distance à parcourir entre la zone de production et la zone de vente ou de consommation en raison des coûts du transport.



12. Palmier Tucuman (*Astrocaryum aculeatum*)



1. Description botanique

- **Famille** : Arécacées
- **Espèce** : *Astrocaryum aculeatum*
- **Nom populaire** : Palmier Tucuman, Tucuman de l'Amazonie



2. Description morphologique

La plante présente un stipe unique, droit, mesurant de 10 à 25 m de hauteur et 30 cm de diamètre, garni d'épines noires, fines, longues, piquantes, disposées en anneaux de plus en plus dense sur sa moitié supérieure. Les feuilles en épis mesurent de 4 à 5 m de longueur et présentent des épines sur toute leur surface, même s'il y en a plus sur la tige. L'inflorescence dressée mesure jusqu'à 2m de longueur, avec des fleurs femelles plus concentrées à la base des pédicelles et des fleurs males en plus grand nombre occupant le reste de chacune d'entre elles (FAO, 1987 ; Cavalcante, 1991).

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : Tropical humide.
- **Sol** : pousse dans des sols pauvres, sur des terres fermes. La plante peut produire sans engrais pendant des années.

- **Température** : L'optimum des températures est compris entre 24 et 27°C. La moyenne mensuelle des minima varie de 15 à 24°C et des maxima de 28 à 34°C.
- **Humidité** : forte humidité comprise entre 80 et 90%.
- **Précipitation** : Variation annuelle comprise entre 1900 et 2800 mm.

4. Localisation de la production

L'espèce se trouve le plus fréquemment dans l'Etat d'Amazonas, mais aussi dans l'Acre, Rondônia, Roraima, Pará et Mato Grosso. Il se trouve aussi dans les Guyanes, au Venezuela, en Colombie, au Pérou et en Bolivie.

Il pousse dans des forêts de terre ferme, forêts secondaires (capoeiras), savanes, pâturages et champs. La plante est exceptionnellement tolérante aux sols pauvres et érodés (FAO, 1987).

5. Organisation de la production

Le Tucuman est commercialisé sur les marchés des villes de Porto Velho (Rondônia) et de Rio Branco (Acre). Les commerçants de Manaus le classent selon trois critères : excellent, bon et mauvais. La qualité du fruit détermine le prix d'un sac avec des valeurs pouvant évoluer d'un facteur 1 à 5.

6. Cycle de culture

Bien que cette plante soit apparemment peu exigeante quant à la fertilité des sols, sa culture en Amazonie est faible car il est difficile de faire germer les graines.

La production moyenne d'un palmier est de 12 kg de fruits par an. La fructification commence tard, lorsque l'arbre a 7 ans et a atteint une hauteur de 6-9 mètres (Cymers, 2005).

Il fructifie toute l'année, mais sa production est plus importante de janvier à juin (Miranda et al, 2001).

7. Ravageurs et maladies

- *Angiopolybia pallens*
- *Polistes pacificus*
- *Polybia quadrincincta*
- *Protopolybia char tergoides*
- *S ymbeca surinama*
- *Symoeca virginea*
- *Ectatomma brunneum*: Seulement les fruits jeunes (8 à 10 mm de diamètre)
- *Terries* sp.: espèce de Curculionidé
- *Demotispa pr. Pallida*: dont les larves et les adultes rongent la coque du fruit.

8. La récolte

La récolte est manuelle et extractive.

9. Description du produit récolté

Les fruits, drupes sous-globuleux et ellipsoïdes, mesurent de 4,5 à 6 cm de long et 3,5 à 4,5 cm de diamètre ; ils pèsent de 60 à 80 g et présentent un calice et une corolle persistantes. L'épicarpe lisse et dur présente une coloration vert-jaune et mesure de 1 à 1,5 mm d'épaisseur. Le mésocarpe mesure de 7 à 8 mm d'épaisseur, il est compact, ferme, légèrement fibreux, oléagineux, de coloration jaune ou orangée. L'endocarpe est noir, consistant et ligneux, il mesure de 2 à 5 mm d'épaisseur et présente trois pores, disposés sur les sommets d'un triangle, dont seulement l'un d'entre eux verra émerger la plantule. En général, il n'y a qu'une graine par fruit, mais quelquefois il peut également y en avoir deux (FAO, 1987 ; Cavalcante, 1991 ; Kahn & Millán, 1992 ; Mendonça, 1996).

Les graines sont globulaires, oblongues et rarement ellipsoïdales. Elles mesurent près de 4 cm de diamètre et pèsent de 20 à 50 g, le tégument



fin a une coloration gris-marron ; l'endocarpe est solide (partie extérieure homogène, consistante et blanche) et liquide (partie intérieure et incolore) ; l'embryon, qui est inséré dans l'endosperme solide mesure environ 4mm de longueur et 2mm de diamètre, il est droit, cylindrique et présente deux régions : la proximale, qui correspond au pétiole cotylédonaire et enveloppe l'axe embryonnaire ; et la distale, qui équivaut au limbe cotylédonaire et deviendra la racine lors du processus de germination, absorbant les nutriments de l'endosperme et nourrissant la plantule en formation (Mendonça, 1996). La pulpe est jaunâtre et assez huileuse. Parmi les fruits de palmier qui peuvent être consommés *in natura*, il s'agit d'un des plus appréciés, aussi bien pour sa pulpe que pour son amande.

10. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

	teneur	détail
Composition	Acides saturés	47,3% - caprylique (C8:0)= 0,6 % - caprique (C10:0)= 0,8 % - laurique (C12:0) = 44,4% - myristique (C14:0) = 27,7% - palmitique (C16:0) = 8,3% - stéarique (C18:0) = 3,2%
	Acides insaturés	52,7 % - oléique (C18:1) = 14,7 % - linoléique (C18:2) = 0,1% - linoléénique (C18:3) = 0%
Viscosité cinématique	Sans données	
Masse spécifique	1,3 g/ml	
Indice de saponification	245,2 mg KOH/g huile de la pulpe interne et 220, 2 mg KOH/g huile de la pulpe externe	
Indice d'iode	12,2 mg I ₂ /g huile de la pulpe interne et 46,4 mg I ₂ /g huile de la pulpe externe.	

11. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Pulpe	Riche en carotène, protéines, minéraux, lipides, carbohydrates, huiles et fibres.	Consommée in natura ou utilisée pour faire des glaces, des sandwichs, des vins et des crèmes pour des pains
Amande		Verte, elle sert d'aliment et mûre, elle produit de l'huile utilisée pour faire des savons
Coque du fruit		Utilisée dans le traitement de la gomme
Tronc	assez résistant	Utilisé dans des constructions rurales
Fibre		Tissage d'éventails et de tapis

12. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : testée pour du bio-diesel.
- Potentiel : bio-diesel et production électrique dans des régions isolées.

13. Utilisations non-énergétiques de l'huile

L'amande mûre produit une huile qui est utilisée comme matière première dans la fabrication de savons (Miranda *et al*, 2001).

14. Organisation du marché

En 2003, le Tucuman était vendu dans les rues et les foires de Manaus de 0,50 R\$ à 3 R\$ la douzaine ; de 4 à 10 R\$ la centaine ; et de 12 à 80 R\$ le sac de 50 ou 60kg. A l'intersaison de production, la centaine est vendue à plus de 8 R\$ et le sac coûte entre 40 et 100R\$. Le prix de la pulpe est d'environ 20R\$/kg et ne varie guère pendant toute l'année.



13 – Murumuru (*Astrocaryum farinosum*)



1. Description botanique

- **Famille** : Arécacées
- **Espèce** : *Astrocaryum farinosum*
- **Nom populaire** : Palmier Murumuru, Huicungo



2. Description morphologique

Palmier mono-stipe pouvant mesurer jusqu'à 10 mètres de hauteur, épineux reconnaissable par ses grandes feuilles en épis de 60 à 70 cm de côté régulièrement regroupées et disposées sur un même plan, blanchâtres sur leur face intérieure.

Le tronc est garni d'épines noires, larges, disposées en anneaux. Les feuilles à la tige vigoureuse présentent d'abondantes épines ; inflorescence en rafles larges.

Les fruits drupes, globuleux et ellipsoïdes sont verts, jaunes ou rougeâtres lorsqu'ils sont mûrs. Ils sont recouverts de fines aculéoles. Sa pulpe jaune et acide peut atteindre 8mm d'épaisseur.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : tropical humide.
- **Sol** : depuis des terres sableuses à des sols argileux, il pousse généralement sur des sols inondables, le long des berges des lacs, fleuves et bras de fleuves.
- **Température** : l'optimum des températures est compris entre 26 et 28°C avec des maximas variant de 26 à 28°C et des minimas variant de 21 à 24°C.

- **Humidité** : hygrométrie varie de 75 à 89%.
- **Précipitation** : elles sont comprises entre 1900 et 2700 mm/an.
- **Altitude** : variables.

4. Localisation de la production

L'espèce se trouve le plus fréquemment dans la région amazonienne.

5. Organisation de la production

L'huile de cette plante est commercialisée dans l'Etat de l'Acre. Les fruits sont achetés aux indigènes pour la production de cosmétiques.

6. Cycle de culture

La fructification a lieu de novembre à décembre.

7. Ravageurs et maladies

Etant donné qu'il s'agit d'une culture extractive, les ravageurs de la plante ne sont pas connus.

8. La récolte

La récolte est extractive. Les fruits sont ramassés au sol ou sur l'arbre lorsqu'ils sont rouges et mûrs. La récolte est réalisée entre les mois de janvier à mai.

9. Description du produit récolté

Le poids moyen du noyau de murumuru est de 12g et est composé de 50-55% de coque ligneuse et de 50-45% d'amande. Les amandes contiennent de 40 à 42% d'huile. Son huile n'est pas très différente de celle du Tucuman, du palmier à huile et du cocotier. Cependant, elle est plus consistante à cause de son point de fusion (32,5°C) supérieur à celui du palmier africain (25°C) et du cocotier (22,7°C). Cette caractéristique est intéressante pour des mélanges avec des huiles végétales qui ont point de fusion inférieur.

10. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

		teneur	détail
Composition	Acides saturés	91,3%	- Caproïque (C6:0) = 1,2% - Caprique (C10:0) = 1,3% - Laurique (C12:0) = 47,8% - myristique (C14:0) = 29,0% - palmitique (C16:0) = 8,9% - stéarique (C18:0) = 3,1%
	Acides insaturés	6,3 %	- linoléique (C18:2) = 6,3%
Masse spécifique	0,9325 g/cm ³ (à 15°C)		
Indice de saponification	241,6 mg KOH/g		
Indice d'iode	11 mg I ₂ /g		

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Pulpe	Riche en carotène, protéines, minéraux, lipides, carbohydrates, huiles et fibres.	Consommée in natura ou utilisée pour la fabrication de glaces, des vins et des pâtes à tartiner
Feuilles		Lorsqu'elle est mûre, la fibre en est extraite pour fabriquer des sacs, couvertures, etc.
Fruit		Lorsqu'il est mûr, il est utilisé dans l'alimentation animale.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : utilisé comme combustible sur des moteurs stationnaires.
- Potentiel : bio-diesel et production électrique dans des régions isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

L'huile est utilisée comme matière première dans la fabrication de savons.

L'huile de murumuru est grise et n'a pas d'odeur, ni de goût marquant, elle est donc utilisée dans la fabrication de margarine et de graisses végétales. Comme elle est assez consistante, cette huile peut remplacer le beurre de cacao dans la fabrication de chocolats.



14. Bacaba (*Oenocarpus bacaba*)



1. Description botanique

- **Famille** : Arécacées
- **Espèce** : *Oenocarpus bacaba*
- **Nom populaire** : Palmier Bacaba, bacaba véritable (Brésil)



2. Description morphologique

Palmier mono-stipe lisse, de 7 à 22 m de hauteur et de 12 à 25 cm de diamètre ; la plante produit de 70 à 200 fruits regroupés et disposés sur différents plans.

Le fruit est une drupe moins allongé quand il est jeune et moins globuleux à l'âge adulte. Il peut peser jusqu'à 3 grammes. Ce palmier se reproduit par germination. Ses graines germent entre 60 et 120 jours et poussent lentement.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : forêt vierge dense et en terre ferme.
- **Sol** : pauvre, argileux et non-marécageux.

- **Température** : l'optimum des températures est compris entre 24 et 28°C avec des maxima variant de 28 à 34°C et des minima variant de 21 à 24°C.
- **Humidité** : variable comprise entre 80 et 90%.
- **Précipitation** : comprise entre 1800 et 2700mm/an.

4. Localisation de la production

L'espèce se trouve le plus fréquemment dans la région amazonienne, dans tout le bassin de l'Amazone, mais avec une plus forte densité dans les Etats de l'Amazonas et du Pará.

5. Organisation de la production

Toute la production est consommée localement.

6. Cycle de culture

La plante commence à produire après 6 ans, lorsqu'elle atteint 3 à 4 m de hauteur. Dans l'état du Pará, ce palmier fleurit de juin à août et fructifie entre décembre et avril durant la saison des pluies. Toutefois, les fruits se rencontrent toute l'année.

7. Ravageurs et maladies

Etant donné qu'il s'agit d'une culture extractive, les ravageurs de la plante ne sont pas connus.

8. La récolte

La récolte est faite manuellement quand les feuilles sont mûres. Le ramasseur monte à l'arbre et attache la grappe avec une corde ou une liane et la descend délicatement jusqu'au sol.

9. Description du produit récolté

Les grappes pèsent normalement entre 6 et 8 kilos, mais peuvent atteindre un poids supérieur à 20 kg. Les fruits ellipsoïdes, globuleux et lisses, mesurent entre un et deux centimètres de diamètre. Ils sont d'une coloration violet-noir. Ils ont en moyenne une teneur en humidité de 25%. Les fruits sont composés pour 38% d'une pulpe huileuse et 62% de noyau. La pulpe de couleur jaunâtre et recouverte d'une fine coque violet-rouge et d'une poudre blanche. La pulpe du fruit pèse en moyenne 2g et contient 25% d'huile, soit 10% du fruit.

10. Etapes de transformation

Vin de bacaba : les fruits sont mis à tremper dans une eau chaude, pour être ramollis. Ils sont alors écrasés à la main ou avec un mixer.

Huile de bacaba : les fruits ramollis sont écrasés au pilon et transformés en pâte. Celle-ci est chauffée en présence d'eau avant de séparer l'huile par décantation.

11. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

		teneur	détail
Composition	Acides saturés	21,33%	- Laurique (C12:0) = 0,63% - palmitique (C16:0) = 17,1% - stéarique (C18:0) = 3,60%
	Acides insaturés	77,02 %	- oléique (C18:1) = 62,42% - linoléique (C18:2) = 13,68% - linoléinique (C18:3) = 0,92%
Viscosité cinématique	Sans données		
Masse spécifique	Sans données		
Indice de saponification	198,7 mg KOH/g		
Indice d'iode	67,5 mg I ₂ /g		

12. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Pulpe	Nutritive, grasse et énergétique	Production de vin
Amande	Extraction d'une huile jaune claire à la saveur agréable, sans odeur	Elle peut être utilisée dans l'alimentation et remplacer l'huile d'olive (MIRANDA et al., 2001).
Fruit		Comestible après avoir été cuisiné ou transformé en vin fort. Il est également utilisé pour faire de la glace, des sorbets et de la bière.
Cœur de palmier		alimentation
Jeunes feuilles	Encore fermées	Fabrication de balais
Stipe	dur	Utilisé pour des étagères, poutrelles, planchettes et manches à outils.
Noyau		engrais, ration pour les porcs. Lorsqu'il est sec, confection de colliers.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : Sans utilisation.
- Potentiel : bio-diesel et production électrique dans des régions isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

L'huile a une saveur agréable et peut remplacer l'huile d'olive dans l'alimentation. Elle est aussi utilisée pour fabriquer des savons.

16. Organisation du marché

A Rio Branco, dans l'Acre, l'huile est vendue 10 R\$/l. Le vin de bacaba est consommé localement, même si son marché n'est pas très développé.



15. Cacao

(*Theobroma cacao* L.)



1. Description botanique

- **Famille** : Malvacées
- **Espèce** : *Theobroma cacao* L.
- **Nom populaire** : Cacao, cacaotier, arbre de la vie



2. Description morphologique

Le cacaotier (ou cacaoyer) est un petit arbre pérenne typique du climat tropical et natif des régions de forêts humides de l'Amérique. Son tronc entier (ou tige) présente une écorce noire chez la plante adulte. La hauteur de celui-ci varie de 1m à 1,50 m, de cette tige partent des branches qui forme sa couronne. Postérieurement, ces branches vont donner naissance à d'autres branches qui vont former la frondaison de l'arbre. Le cacaotier est cultivé et reproduit à partir de ses graines et peut atteindre de 5 à 15 m de hauteur. Il peut également être cloné (bouture ou greffage) et a alors une taille plus petite. Ses fleurs, petites, naissent sur le tronc, l'inflorescence dénommée coussins floraux peut produire des fruits pendant plusieurs années. Sur le pistil, l'ovaire peut présenter de 30 à 60 ovules. Le cacaotier produit des fruits indéhiscentes, rugueux, pigmentés, de tailles et de formats variés. Les graines qui constituent le produit de cette culture (industrie du chocolat), varient également en tailles, en poids, de formes et de couleur selon les plantes. Le poids moyen des graines sèches est de 12 g. Elles sont composées de 30% de coque et de 70% d'amandes (fèves). Les fèves contiennent 27% d'huile blanche.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : tropical chaud et humide.
- **Sol** : il doit être profond et bien drainé. Dans les régions du littoral, les sols les plus indiqués sont les latosols rouges foncés, podzoliques rouge-jaune, ainsi que les terrains alluvionnaires naturellement fertiles.
- **Température** : la température idéale varie entre 24 et 28°C. Les températures inférieures à 12°C empêchent ou réduisent la fructification.
- **Humidité** : Les zones de cultures sont généralement très humides (le cacaotier supporte des petites périodes sèches).
- **Précipitation** : idéale entre 1800 et 2500 mm/an.
- **Altitude** : généralement les plantations de cacaotiers se trouvent à basse altitude.

4. Localisation de la production

La production nationale de fèves de cacao est concentrée au sud de l'Etat de Bahia (83% de l'offre brésilienne) et plus particulièrement dans les communes d'Itabuna, Camacã et Ilheus. A un moindre niveau, il existe une production dans le Pará (9,9% de l'offre brésilienne) – commune de Medicilândia, Uruará, Altamira et Tomé-Açú) et à Rondônia (5,4% de la production du Brésil), concentrée sur les communes se trouvant le long de la BR-364 ou Transamazonienne.

5. Organisation de la production

La production de cacao est organisée par la Commission exécutive du plan pour la culture cacaotière – CEPLAC, organe du Ministère de l'agriculture, de la pêche et du ravitaillement. Cette commission développe ses activités dans six Etats du Brésil : Bahia, Espirito Santo, Pará, Amazonas, Rondônia et Mato Grosso. La mission de la CEPLAC est de développer la compétitivité et la durabilité de l'élevage, de l'industrie forestière et de la structure agro-industrielle des régions productrices de cacao, en partenariat avec leurs clientèles. Créée le 20 février 1957, époque à laquelle l'économie cacaotière traversait une grave

crise, elle a d'abord commencé par aider surtout la culture cacaotière. Depuis sa création, la CEPLAC accumule les succès, grâce à un modèle d'action intégrée, où un seul et même organe développe des activités de recherches, d'expansion rurale et d'enseignement agricole.

6. Cycle de culture

Le cacaotier peut vivre plus de 100 ans et commence à fructifier à l'âge de deux ans. L'arbre produit abondamment à partir de 8 ans, et jusqu'à l'âge de 30 ans produit de façon satisfaisante. Les régions dont les températures moyennes annuelles varient entre 24°C et 28°C sont celles qui présentent les meilleures conditions de culture. Des températures inférieures à 12°C empêchent ou réduisent la fructification. Dans les plantations, l'arbre est généralement taillé lorsqu'il dépasse 4 m de hauteur.

La productivité de cette culture dépend de facteurs génétiques, édaphiques, climatiques et de traitement. Dans les plantations, les cacaotiers sont temporairement plantés à l'ombre, généralement avec des bananiers. Dans le sud de Bahia, la plupart des plantations de cacaotiers se trouvent sous les arbres de la forêt atlantique. Ce type de culture est dénommée « cabruca ». Dans le cas des cacaotiers, le taux de couverture foliaire pour une bonne production est difficile à définir. Il est cependant possible d'affirmer qu'il existe deux types de tailles ; une taille de formation et une taille d'entretien.

Au Brésil, la récolte est faite deux fois par an : de novembre à février – grande récolte – et d'avril à août (petite récolte). Les niveaux de production, aussi bien au Brésil que dans d'autres pays producteurs de cacao, varient de 200 kg/ha à 2000 kg/ha.

7. Ravageurs et maladies

Les maladies et les ravageurs qui attaquent la plante peuvent être communs ou spécifiques à chaque région productrice de cacao (fourmi, trips, coléoptère du cacao, punaises, chenilles et maladies fongicides). Toutefois, la maladie la plus importante à Bahia et en Amazonie brésilienne est la maladie du balai de la sorcière (*Moniliophthora perniciosa*). La pourriture brune des cabosses (*Phytophthora* spp.) attaque dans toutes les régions productrices de cacao dans le monde, mais est plus grave en Afrique. La Moniliose

(*Moniliphthora roreri*) qui affecte aussi les cabosses, ne touche pas le Brésil, mais les autres pays producteurs de l'Amérique du Sud et Centrale.

8. La récolte

La récolte est facilitée par la taille de l'arbre lorsqu'il dépasse 4 m. Le cacaotier peut vivre plus de 100 ans ; à l'âge de 3 ans, il fructifie ; il atteint sa maturité entre l'âge de 8 et de 30 ans. Les cabosses sont récoltées pendant pratiquement toute l'année. La récolte du cacao consiste à ramasser les cabosses mûres. Lors de la récolte, il faut également éliminer les fruits malades. Après la récolte, les fèves doivent être retirées des cabosses pour fermenter. C'est cette étape qui va contribuer au développement des caractéristiques de saveur et d'arôme du chocolat. Au Brésil, cette fermentation est généralement réalisée sur des auges de bois (fermentation), de 2 à 6 jours. L'étape suivante est celle du séchage, procédé qui élimine l'excès d'eau de la fève. Le pourcentage d'humidité doit être d'environ 8%. Le séchage peut être naturel, au soleil (au Brésil, « barcasse »), ou artificiel (avec plusieurs modèles de machines).

9. Description du produit récolté

Les cabosses ou les fruits mesurent jusqu'à 25 cm de longueur et deviennent, quand elles sont mûres, verdâtres, jaunâtres, voire violettes. Chaque cabosse contient une cinquantaine de fèves entourées d'une pulpe visqueuse et blanchâtre. A partir de la cinquième année, les récoltes sont faites deux fois par an : la grande récolte (novembre à février) et la petite récolte (avril à août). A partir de la septième année, le rendement est de 1200 à 1500 Kg/ha.

10. logistique

- Transport : Généralement des grossistes achètent la récolte pour des exportateurs.
- Stockage : Les fèves fermentées et sèches sont emballées et stockées dans un endroit propre à l'humidité réduite (sans rongeurs, insectes ou substances qui exhalent de fortes odeurs).

11. Etapes de transformation

La transformation du cacao et la production de chocolat sont deux étapes différentes. La transformation du cacao signifie que la fève est transformée en liqueur, en beurre, en tourteaux ou en poudre. La fabrication du chocolat comprend le mélange de la liqueur raffinée de cacao, du beurre, de la poudre à d'autres ingrédients comme du lait et du sucre.

Pour être transformés, les fèves doivent être bien propres. Elles peuvent être torréfiées avec ou sans leur coque. En général, les fabricants de chocolat préfèrent griller les fèves avec leur coque, les producteurs de cacao sans. Après la torréfaction, la coque est retirée et la liqueur de cacao est fabriquée. Elle est destinée à être transformée en beurre, en tourteaux et en chocolats fins. Elle passe par une presse hydraulique qui en extrait un pourcentage en beurre de cacao et transforme le reste en tourteaux de cacao.

Le tourteau deviendra de la poudre, principalement utilisée par la pâtisserie et la boulangerie. Le beurre de cacao est utilisé dans la fabrication du chocolat. Il est mélangé à de la liqueur de cacao et à du sucre. Ce mélange part ensuite vers des cuves pour le conchage et est chauffé à hautes températures. Ce procédé homogénéise les particules et peut prendre de quelques heures à trois jours. Le chocolat liquide ainsi obtenu sera utilisé par la pâtisserie, la confiserie, la boulangerie, voire l'industrie laitière qui le transformera en barre et le vendra dans les supermarchés.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

		teneur	détail
Composition	Acides saturés	60,4%	- palmitique (C16:0) = 26,0% - stéarique (C18:0) = 34,4%
	Acides insaturés	38,3 %	- palmitoléique (C16:1) = 0,3% - oléique (C18:1) = 34,8% - linoléique (C18:2) = 3,0% - linoléénique (C18:3) = 0,2%
Viscosité cinématique	Sans données		
Masse spécifique	0,973 g/cm ³		
Pouvoir calorifique	3650 Kcal/kg		
Indice de saponification	189 - 196 mg KOH/g		
Indice d'iode	33 - 42 mg I ₂ /g		

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Fève	Principale production commercialisée (après fermentation et séchage, pour la fabrication du chocolat)	Extraction du beurre, très utilisé dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique, du tourteau, de la poudre et de la liqueur, utilisées par les chocolatiers et confiseurs.
Pulpe	Riche en sucres	Fabrication de gelées, vin, liqueur, vinaigre et jus.
Coque des cabosses		Alimentation de bovins, de porcs, de volailles et de poissons, aussi bien in natura que sous forme de farine sèche ou d'ensilage. Bio-fertilisant servant à la fabrication de protéines microbiennes ou unicellulaire, à la production d'alcool et de pectine. Une tonne de cacao sec produit 8 tonnes de cabosses.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : la cabosse peut être utilisée pour la production de bio-gaz.
- Potentiel : bio-diesel et production électrique dans des régions isolées.

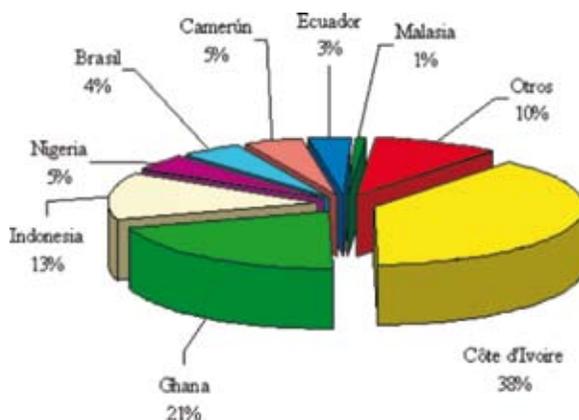
15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

La graisse du cacao est transformée en beurre. Celui-ci est très utilisé par l'industrie pharmaceutique et cosmétique. Le tourteau et la poudre sont utilisés par l'industrie chocolatière dans la fabrication de pâtisseries, confiseries et pâtes.

16. Organisation du marché

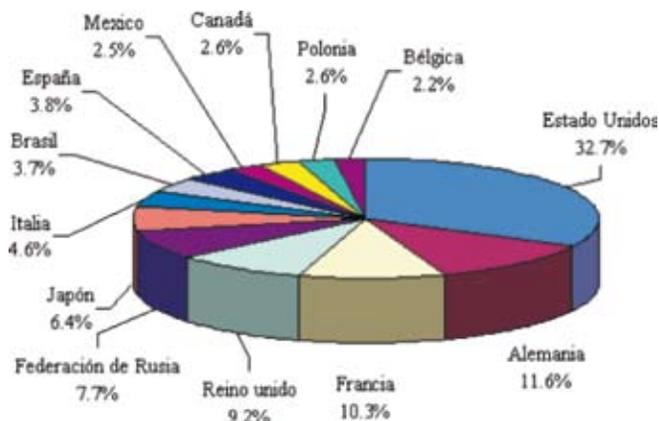
Les huit principaux producteurs mondiaux de cacao sont (en ordre décroissant) : la Côte d'Ivoire, le Ghana, l'Indonésie, le Nigeria, le Cameroun, le Brésil, l'Equateur et la Malaisie. Ces pays représentent 90% de la production mondiale. Les graphiques suivants montrent les principaux producteurs et consommateurs de cacao dans le monde.

Pourcentage de production du cacao par pays (prévision 2005/2006)



Source : UNCTAD – basée sur la statistique de l'Organisation Internationale du Cacao (ICCO), bulletin trimestriel des statistiques du cacao

Principaux pays consommateurs en 2004/05

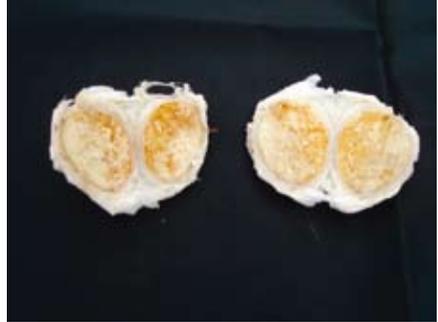


Source : UNCTAD – basés sur la statistique de l'Organisation Internationale du Cacao (ICCO), bulletin trimestriel des statistiques du cacao

Le Brésil et la Malaisie ne sont pas de grands exportateurs de cacao à cause de la taille de leurs usines de transformation. Leur production reste presque entièrement dans le pays.



16 – Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)



1. Description botanique

- **Famille** : Sterculiacées
- **Espèce** : *Theobroma grandiflorum*
- **Nom populaire** : Cupuaçu, cacao blanc, etc

2. Description morphologique

Arbre natif de 20 à 40 m de hauteur et de 45 à 80 cm de diamètre. Bois marron-jaune, l'écorce externe est fibreuse, de couleur orangée se présentant sous forme de lambeaux. Les feuilles sont simples alternées et avec des stipules. Les fleurs bisexuelles sont généralement au nombre de trois à cinq. Le fruit en capsule elliptique ou oblongue.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : chaud et humide.
- **Sol** : il doit être profond et bien drainé. La plante s'adapte aux sols de plaines fluviales.
- **Température** : Moyenne annuelle entre 22 et 27°C.
- **Humidité** : Au-dessus de 75%.
- **Précipitations** : Au-dessus de 1500 mm et bien distribuées.

4. Localisation de la production

L'espèce se trouve concentrée dans la région amazonienne. L'Etat du Pará est le principal producteur, suivi de l'Amazonas, de Rondônia et l'Acre. L'aire dédiée à cette culture dans l'état du Pará représente 14 000 ha pour une production annuelle de 21 500 tonnes de pulpe en 2000.

5. Organisation de la production

La culture du cupuaçu peut être mécanisée mais généralement celle-ci est manuelle et est réalisée dans les zones déboisée appelée capoeira. Elle fait appel à une main-d'œuvre familiale ayant une capacité réduite d'investissement. Contrairement à la culture mécanisée, il n'y a pas d'utilisation d'intrants et les plans ne sont pas irrigués. Dans le cas d'une culture mécanisée, des cultures intercalaires ou conjointes intensives peuvent être associées.

Les fruits sont transformés directement chez le producteur et le principal produit commercialisé est la pulpe qui sera congelée. Les graines produisent le cupulate (sorte de chocolat) et la graisse obtenue est utilisée par l'industrie cosmétique.

Il existe une association de producteurs, de vendeurs et d'industriels du cupuaçu (Club do Cupu), dont le siège se trouve à Manaus.

6. Cycle de culture

La Région Nord du Brésil est celle qui présente la production la plus importante de ce fruit. Dans la région du sud de Bahia, la floraison a lieu d'août à décembre et la fructification de janvier à juin, avec une production plus importante de mars à mai. Il peut également y avoir une production de fruits de juillet à septembre, selon les variations climatiques (Lopes, 1999). En Amazonie, la floraison a lieu de juillet à décembre (Prance et Silva, 1975) ou de juin à mars (Falcão et Lleras, 1983) et la fructification d'août à avril.

La récolte a lieu quatre à cinq mois après la floraison. La productivité maximale de la plante est atteinte au bout de la cinquième année après la mise en terre. Des premières fructifications jusqu'à la troisième année, la production est considérée comme faible, de 4 à 7 fruits par plante/an. Elle passe de 20 à 30 fruits par plante/an lors de la cinquième année. La productivité dépend de la culture, du climat, du sol et des pratiques. La

récolte commence 18 à 24 mois après la mise en terre. Il est recommandé de laisser mûrir le fruit sur la plante.

7. Ravageurs et maladies

- **Maladies** : balai de la sorcière (champignon *Moniliophthora perniciosa*), Antracnose (*Colletotrichum gloesporioides*) et *Pellicularia Koleroga*.
- **Les ravageurs** : le coléoptère (*Costalimaita* sp.), le criquet, la fourmi sauva, le puceron, le foreur des troncs (*Conotraquelus* sp.), attaquent aussi cette plante.

8. La récolte

Le fruit est ramassé après être tombé au sol ou lorsqu'il dégage une odeur caractéristique de sa maturité Ribeiro et al. (2005). La récolte est journalière et la commercialisation ou le dépulpage doit être effectués très rapidement pour éviter l'oxydation du fruit. Lors du transport, il faut éviter les chocs afin de protéger le duvet périphérique qui conserve le fruit et retarde sa déshydratation. La commercialisation du fruit « in natura » doit se faire dans les cinq jours après la récolte. La pulpe congelée est commercialisable jusqu'à 12 mois après son conditionnement.

9. Description du produit récolté

Le fruit ellipsoïdal mesure 20 cm de longueur et 10 à 13 cm de diamètre. Il est constitué d'une coque rigide de couleur marron-rouge, mesurant 3 à 4 cm d'épaisseur et recouverte d'un duvet protecteur. A l'intérieur, les graines sont complètement recouvertes d'une masse molle, adhérente, blanche, très aromatique, un peu acide, semblable à celle du cacao. L'amande renferme 60% d'huile. Le poids moyen de l'amande est de 1,5g. Elle est composée de 25% de coque et de 75% de chair (Pesce, 1941).

10. logistique

- **Transport** : il est fait du lieu de la récolte aux usines de transformation immédiatement après le ramassage.

- **Stockage** : la pulpe doit être congelée et conservée entre -12 et - 18°C.

11. Etapes de transformation

Après la récolte, les fruits sont envoyés vers les entreprises de transformation. Ils sont dépulper manuellement ou mécaniquement. La pulpe congelée se conserve pendant 12 mois sans présenter d'altérations de sa composition chimique, ou de pertes substantielles de ses propriétés sensorielles (Ribeiro, 1996).

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

		teneur	détail
Composition	Acides saturés	51,3%	- palmitique (C16:0) = 6,7% - stéarique (C18:0) = 35,5% - arachidique (C20:0) = 9,1%
	Acides insaturés	48,3 %	- oléique (C18:1) = 45,0% - linoléique (C18:2) = 3,3%
Viscosité cinématique	Sans données		
Masse spécifique	0,9074 g/cm ³		
Indice de saponification	187,5 mg KOH/g		
Indice d'iode	43,4 mg I ₂ /g		

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Graine		Elaboration du cupulate (produit dont les caractéristiques ressemblent à celles du chocolat) et de graisse pour l'industrie cosmétique.
Pulpe	Principal produit	Utilisée in natura et surtout pour des jus, des glaces, des yaourts, des nectars, dans la pâtisserie, la confiserie et autres préparations.
Feuilles		Utilisées comme calmants. Le jus des feuilles est utilisé dans des traitements de bronchites et de problèmes rénaux. Une tisane faite à base d'écorce traite les diarrhées.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : La coque du cupuaçu peut être utilisée pour produire de l'énergie. Un projet qui utilise la coque comme biomasse pour produire de l'énergie est en phase de test dans une communauté de l'Etat d'Amazonas. Lorsqu'elle est soumise à un procédé de brûlage incomplet, elle produit du gaz au lieu de produire de la fumée. Ce gaz, mélangé dans des moteurs diesel réduit la consommation de gazole jusqu'à 80%. L'énergie produite est utilisée pour alimenter l'industrie agroalimentaire qui transforme le fruit, qui auparavant était vendu in natura.
- Potentiel : bio-diesel et production électrique dans des régions isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Savonnettes en barres et liquides, crèmes et lotions, produits de traitement pour les cheveux, base dans des pommades pharmaceutiques, protecteur solaire, crème de massages, rouge à lèvres et maquillages.

16. Organisation du marché

Au même titre que la majorité des produits agricoles, la commercialisation du cupuaçu est réalisée directement par le producteur, par un grossiste ou par des centrales régionales. Les prix de ce produit sont très variables (Coral, 2000). Elle a généralement lieu dans les marchés locaux. Les fruits sont vendus entre 1,50 et 2,00 R\$ l'unité. La pulpe congelée, principale forme de commercialisation du fruit, a un prix qui varie de 3,00 à 3,50 R\$/l. Quelques entreprises exportent le cupuaçu vers le Sud-est du Brésil, l'Europe et les Etats-Unis.



17. Noix du Brésil

(*Bertholletia excelsa*)



1. Description botanique

- **Famille** : Lecythidacées
- **Espèce** : *Bertholletia excelsa*
- **Nom populaire** : Noix du Brésil, noix de l'Amazonie, Noix Du Pará



2. Description morphologique

La noix du Brésil est un grand arbre, à la frondaison émergente, qui atteint fréquemment 50 à 60 m. Son tronc droit et cylindrique est sans branche jusqu'à la frondaison. Il mesure jusqu'à 2,5 m de diamètre et est recouvert d'une écorce rugueuse marron-gris, présentant des fissures longitudinales bien visibles. La frondaison, qui peut atteindre de 20 à 30 m de diamètre, est composée de branches bien séparées qui émergent de la forêt. Ces feuilles sont simples et oblongues, alternées, coriaces, décidues. Elles sont arrondies à la base et pointues au sommet, les bordures sont totalement ou partiellement crénelées. Les pétioles mesurent entre 20 et 35 cm de long.

La fleur de couleur blanche-jaune est zigomorphe, possède six pétales et est structurée en épi isolé. Inflorescence terminale ou sur les axilles des feuilles supérieures, avec des épis arrangés en panicules.

Le fruit de couleur marron est ligneux, de structure sèche, , indéhiscents. Qualifié « d'oursin » , il renferme de 10 à 25 graines (amandes). La graine de couleur marron mesure 4 cm.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : Grande tolérance climatique.
- **Sol** : La plante préfère les terres hautes, argileuses ou argilo-siliceuses. Les sols de culture doivent être profonds, bien drainés, de texture moyenne, avec une topographie légèrement ondulée et non-inondable. L'analyse chimique des sols de plantation de noix du Pará à Porto Velho a donné le résultat suivant : sol argileux jaune-rouge, dystrophique, texture argileuse. A Rondônia, la noix du Brésil présente un bon développement en hauteur et en diamètre quand les sols ont un pH acide, des valeurs de saturation de bases faibles, un sol dystrophique avec une faible capacité d'échange de cations et une forte saturation en aluminium (Locatelli et al., 2003).
- **Température** : Moyenne annuelle idéale entre 24,3 et 27,2°C.
- **Humidité** : la moyenne annuelle d'humidité relative de l'air doit rester entre 79% et 86%, avec des variations saisonnières entre 66% et 91%, sans vents froids.
- **Précipitation** : entre 1400 et 2800 mm.

4. Localisation de la production

Au Brésil, cette culture se rencontre essentiellement dans les états du Maranhão, Mato Grosso, Pará, Acre, Rondônia, Amapa, Roraima et Amazonas. L'espèce se trouve également au Venezuela, Colombie, Pérou, Bolivie et Guyanes.

5. Organisation de la production

Après la décadence du caoutchouc, la noix du Brésil est devenue la principale culture extractive d'exportation de la Région Nord du Brésil.

L'exploitation d'arbres natifs de cette espèce est légalement protégés (Décret 1282 du 19 octobre 1994) et ses fruits ont une très grande valeur en tant que produits de culture extractive forestière, ce qui n'empêche pas sa plantation dans un but de reforestation, aussi bien à des fins agricoles que dans le cadre de systèmes de cultures conjointes. L'avancée des fronts pionniers en Amazonie réduit progressivement la culture extractive de la noix et augmente les distances entre les zones de production et de commercialisation.

La noix ne pourra occuper une place de choix dans le système des exportations et sur le marché intérieur que si une politique d'aide à la culture extractive est mise en place. Une des voies avancées est la participation communautaire dans la gestion des forêts. Des recherches d'amélioration génétique et de germination sont en cours. Elles cherchent à obtenir des variétés plus précoces, ainsi qu'à améliorer les techniques de culture de cette espèce, tout en modernisant les procédés d'industrialisation de production et de stockage.

En 2004, deux usines de transformation de la noix ont été mises en place par le gouvernement de l'Etat de l'Acre. Des coopératives pratiquant cette culture extractive existent dans cet état mais aussi dans les états du Pará et Rondônia avec pour objectif principal une rationalisation de la chaîne de production.

6. Cycle de culture

La floraison a lieu généralement entre les mois d'octobre et décembre. Les fruits mûrissent entre décembre et février. Dans l'état du Pará, la floraison a lieu entre septembre et février, les fruits commencent à tomber entre janvier et avril.

7. Ravageurs et maladies

Le ravageur le plus commun est la fourmi saúva. Aucune maladie importante n'a été identifiée jusqu'à ce jour.

8. La récolte

La récolte manuelle est effectuée annuellement par toute la famille après que les fruits soient tombés au sol pendant la saison des pluies. Ce ramassage doit être rapide pour éviter l'attaque de rongeurs, de champignons et d'insectes. La récolte doit être réalisée avec beaucoup de précautions car les fruits sont lourds et tombent d'une hauteur de 40 à 50 m, pouvant causer de sérieuses blessures. Généralement les producteurs gèrent également la transformation et la vente de la noix.

9. Description du produit récolté

En moyenne, la production est de 470 noix par an et par pied. Le fruit de couleur marron est de type ligneux, a structure sèche et indéhiscent. Il forme une bogue qui est surnommée « oursin ». Il renferme 10 à 25 amandes. Une noix pèse en moyenne 5 à 20 g avec une humidité moyenne de 28%. Elle est composée de 50% de coque ligneuse et de 50% d'amande. Cette dernière contient près de 70 à 72% d'huile et riche en substances albuminoïdes, protéine et caséine (25,50%) (Pesce, 1941). Son huile est jaune claire et contient un fort pourcentage d'acides gras et de vitamines.

10. logistique

- **Transport** : Sans données. De la forêt au fleuve, les noix sont transportées dans de gros sacs à dos d'homme. Ensuite les sacs sont acheminés par barque jusqu'à un campement où ils seront ensuite transportés par camions vers les zones de consommation
- **Stockage** : Les amandes peuvent être stockées 8 mois sans altérations majeures. dans un environnement où l'humidité relative de l'air n'excède pas 70%. La noix entière, partiellement déshydratées, avec 6,8% d'humidité, peut être stockée 6 mois dans des environnements dont l'humidité relative de l'air peut atteindre 80% (Yokoya *et al.*,1971).

11. Etapes de transformation

Afin que le tégument soit retiré plus facilement, les graines sont mises à tremper pendant 48 heures. Ensuite, elles sont envoyées dans une presse qui casse le tégument. La coque délicatement retirée à l'aide d'un casse-noix dont la pointe ressemble à un bec de perroquet en évitant d'atteindre l'amande. Une fois la coque enlevée, il faut faire attention de ne pas abîmer l'amande, pour éviter que le plant ait des problèmes.

Les amandes oléagineuses sont très sensibles aux champignons, il faut donc contrôler l'humidité des serres et les traiter avec des fongicides. Il est recommandé de traiter la graine avec une solution fongicide à base de propiconazole à 0,2% (2g du produit par litre d'eau), durant 90 mn et un brassage toutes les 10 mn. Les graines sont ensuite séchées à l'ombre pendant deux heures, de préférence sur du papier absorbant (journal). Elles sont alors triées, celles qui présentent des fissures sont écartées.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

	teneur	détail
Composition	Acides saturés	24,15% - myristique (C14:0) = 0,05% - palmitique (C16:0) = 13,85% - stéarique (C18:0) = 10,25%
	Acides insaturés	75,85 % - oléique (C18:1) = 30,50% - linoléique (C18:2) = 44,90% - palmitoléique (16:1) = 0,45
Viscosité cinématique	Sans données	
Masse spécifique	0,9120 g/cm ³	
Pouvoir calorifique	9000 Kcal/Kg	
Indice de saponification	192,5 mg KOH/g	
Indice d'iode	95,2 mg I ₂ /g	

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Bois		Bâtiment et construction navale, étauçon et échafaudages, reforestation.
Noix	Principal produit	Alimentation (in natura ou bonbons, glaces, confiserie, farine ou concentré pour condimenter la nourriture)
Coque ou « Bogue »		Artisanat, jouets, médicaments, charbon, petits pilons, récipients à gomme.
Ecorce		Médicaments (tisanes) pour les diarrhées.
Tourteau		Résidu de la fabrication d'huile utilisé dans des mélanges de farines ou de rations.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : pas d'utilisation à ce jour.
- Potentiel : bio-diesel et production électrique dans des régions isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Le commerce de cette huile est récente. Elle est destinée à des usines d'alimentation et de cosmétiques.

16. Organisation du marché

La production est essentiellement exportée vers les Etats-Unis et l'Angleterre et représente un chiffre d'affaire de 28 à 65 millions de dollars/an. En 2004, à Brasília, le seau de noix coûtait 9,50R\$. à Rio Branco, le paquet de 250 g de noix coûtait 4,50 R\$ en supermarché. A Belém, le litre

de noix est vendu 1 R\$. L'huile utilisée comme cosmétique atteint le prix de 40R\$/l. La noix décoquée coûte en moyenne 5,27 US\$/kg et la noix entière 0,96 US\$/kg (Ministère du développement, de l'industrie et du commerce extérieur – MDIC, 2003).



18. Andiroba (*Carapa guianensis*)



1. Description botanique

- **Famille** : Méliacées
- **Espèce** : *Carapa guianensis*
- **Nom populaire** : Andiroba, purge de Saint Ignace, tibiru, Cèdre-mâle, mandiroba, jandiroba, gendiroba, penaiba, aboridan Andirova, yandiroba, carapá



2. Description morphologique

Arbre pouvant atteindre 30 m de hauteur, au tronc cylindrique, droit, avec des divisions tubulaires à sa base. Sa frondaison est dense avec de nombreuses branches portant de longues feuilles; elles sont composées d. Celles-ci possèdent de longs pétioles et mesurent de 30 à 60 cm de long et 50cm de large. Les folioles opposées sont vert-foncé, de forme ovale-oblongue, à la pointe courte, à surface plate et aux bordures complètes. L'inflorescence est une panicule axillaire de 30 cm. Les fleurs sont subsessiles, glabres, sous-globuleuses de couleur crème.

Le fruit est une capsule globuleuse, déhiscente, possédant 4 valves qui se séparent lorsqu'il tombe. Le fruit est composé de 4 à 12 graines de couleur rouge à partir desquelles une huile « huile d'andiroba » amère et épaisse, de couleur jaune-foncé sera produite. Les graines pèsent de 20 à 25g chacune. La coque du fruit est grosse, amère et se détache facilement en grandes plaques. La germination est de type hypogée et cryptogame.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : tropical.
- **Sol** : la plante pousse sur les terres alluvionnaires, les débuts de pentes et les petites dépressions dont le drainage est lent. Elle croît en sols profonds, à la texture franche et argileuse. Les sols sableux sont à éviter. Elle se trouve également dans des sols de terre ferme.
- **Température** : entre 17,5 et 22°C .
- **Humidité** : forte hygrométrie comprise entre 80 et 90%
- **Précipitation** : entre 1200 mm et 2400.
- **Altitude** : 20 m à 1100 m.

4. Localisation de la production

La production est localisée dans toute l'Amazonie, les forêts de plaines fluviales ou les régions inondées. Elles forment parfois des futaies. On trouve cette espèce également dans les Antilles, au Nicaragua, au Pérou, au Surinam, au Venezuela, en Colombie, dans les Guyanes et en Afrique tropicale.

5. Organisation de la production

Il n'y a pas de marché organisé. L'huile d'andiroba est artisanale et est vendue sur les marchés locaux en petits flacons.

6. Cycle de culture

La floraison et la fructification commence après trois ans depuis la plantation. En Amazonie, la floraison a lieu d'août à octobre et la fructification de janvier à mai.

7. Ravageurs et maladies

Ce bois a une saveur amère, il n'est donc attaqué ni par les tarets ni par les termites. Dans les plantations en terre, les plants sont attaqués par le foreur *Hipsiphylla grandella*.

8. La récolte

La récolte est manuelle. Les graines sont ramassées après être tombées de l'arbre. Elles pourrissent rapidement, elles sont très vulnérables à l'attaque des rongeurs et des insectes.

9. Description du produit récolté

Le fruit est une bogue ronde, formée de quatre valves, de 3-4 mm d'épaisseurs, coriaccées, dures, de couleur marron. Lorsque le fruit est mûr, il libère de 7 à 9 graines. Celles-ci sont grosses, polygonales, aplaties sur leur partie intérieure et convexes sur leur partie extérieure. Les graines contiennent 43% d'huile ; l'amande sans coque 56% (Pesce, 1941).

Le poids moyen d'une graine sèche est de 25 g. Elle est composée de 25% de coque et de 75% de pâte huileuse.

L'huile contenue dans l'amande est un liquide transparent jaune-clair et extrêmement amer. Elle se solidifie à une température inférieure à 25°C en une graisse blanche. L'huile a un point de fusion qui commence à partir de 22°C et prend fin à 28°C. Elle contient des substances comme de l'oléine, de la palmitine et de la glycérine. Ses propriétés sont antiseptiques, anti-inflammatoires, cicatrisantes et insecticides.

10. logistique

- **Transport** : Dans des sacs à dos d'homme depuis la forêt, puis par barque et camions jusqu' aux zones de consommation.
- **Stockage** : Petits flacons en verre ou en plastique.

11. Etapes de transformation

L'huile est produite de deux façons différentes :

- la méthode artisanale est utilisée par les peuplements indigènes. Il consiste à cuire les graines dans de l'eau durant 2 ou 3 heures et à les laisser reposer à l'ombre pendant deux ou trois semaines. Avant de fabriquer l'huile, les graines sont décoquées et écrasées. La pâte ainsi obtenue est alors mise sur un plan incliné afin que

l'huile décante lentement. Le rendement de cette méthode est de 4%, c'est-à-dire de 40g d'huile par kg.

- la méthode industrielle consiste à casser les graines en petits morceaux et à les mettre dans un four à 60-70°C. Ensuite, ces morceaux sont pressés. Le rendement industriel est deux fois supérieur à celui de la méthode artisanale, soit 8% (80g d'huile/ kg).

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

		teneur	détail
Composition	Acides saturés	33,6%	- palmitique (C16:0) = 26,0% - stéarique (C18:0) = 7,6%
	Acides insaturés	63,8 %	- oléique (C18:1) = 56,1% - linoléique (C18:2) = 7,3% - palmitoléique (16:1) = 0,4%
Viscosité cinématique	Sans données		
Masse spécifique	0,93 g/cm ³		
Pouvoir calorifique	9065 Kcal/Kg		
Indice de saponification	195 - 205 mg KOH/g		
Indice d'iode	58 - 76 mg I ₂ /g		

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Coque		Tisane pour les affections cutanées, huile contre les insectes et comme cicatrisant pour des plaies
Bois	Saveur amère	Construction (poutres, planchettes, plinthes, garnitures, moulures) meubles contreplaqués, caisses d'emballage, finition interne de bateaux et navires.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : l'huile est utilisée comme combustible pour l'éclairage dans les lampes à huile.

- Potentiel : bio-diesel et production électrique dans des régions isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

L'huile d'andiroba est utilisée comme crème émolliente et hydratante, huile de shampooings, lotions, gels etc. Elle est aussi utilisée dans la phytothérapie comme anti-inflammatoire, anti-bactérien, anti-tumoral, analgésique, balsamique, fongicide. Elle est indiquée pour combattre l'arthrite, les distensions musculaires, l'altération superficielle des tissus, la cicatrisation, antiseptique et antiparasitaire. Elle est aussi utilisée comme protection contre les insectes, surtout les attaques d'acariens microscopiques sur les personnes qui circulent en forêt.

16. Organisation du marché

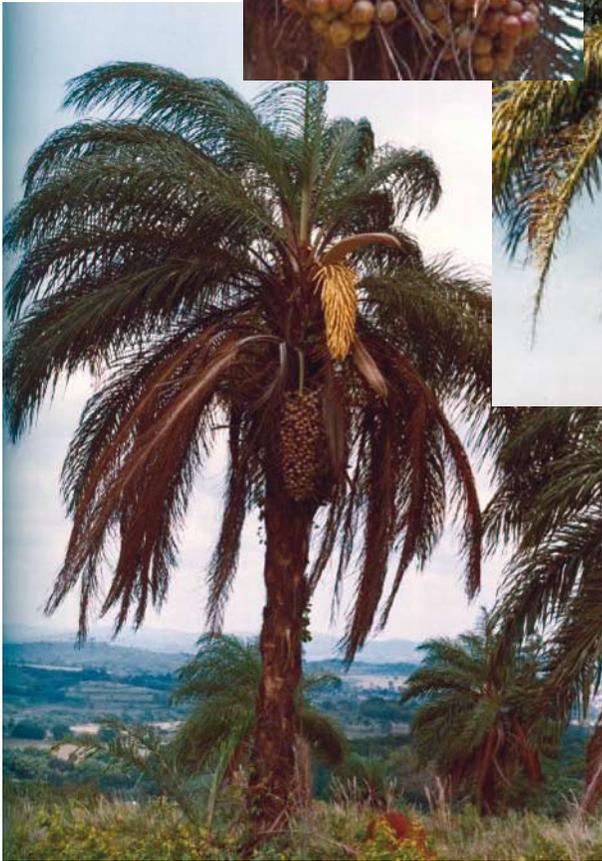
Cette huile est l'un des produits médicinaux les plus vendus en Amazonie. De la production à la vente, ce produit réalise une plus-value de 100% (Enríquez et al., 2003). Le prix moyen de vente chez les grossistes d'Amazonie étant de 8,00R\$ le litre d'huile.

Le tableau suivant donne les prix des principaux dérivés (co-produits) de l'Andiroba dans l'Etat du Pará.

Prix des co-produits de l'Andiroba à Belém, Pará en 2001.

Produit	Unité	Prix moyen de revente		
		Producteur (R\$)	Grossiste (R\$)	Consommateur (R\$)
Bois d'Andiroba	Un.	10,00		
graines	kg	0,15 à 0,25		
Huile	l	3,50 à 4,00	5,00	7,00 à 8,00
Huile industrielle	l	-	-	71,00
Huile en poudre	kg	-	-	470,00
Bio-diesel	l	-	-	

Source : Enríquez et al. 2003 (adaptées).



19. Macauba (*Acronomia Aculeata*)



1. Description botanique

- **Famille** : Palme Arécacées
- **Espèce** : *Acrocomia* sp.
- **Nom populaire** : macajuba; coco-de-espinho mucajá, mocujá, mocajá, macaúba, macaíba, macaiúva, bacaiúva, bocaiúva, umbocaiúva, imbocaiá, mbocaiúva ou mbocaíba



2. Description morphologique

Ce palmier présente un stipe droit et cylindrique de 30 à 40 cm de diamètre, pouvant atteindre 15 m de hauteur. Il est doté sur presque toute la longueur du tronc de cicatrices foliaires annulaires distantes de 10 cm. La couronne est constituée de 20 à 30 feuilles de forme allongée, de 3-5 m de longueur, pétiole et rachis sont couverts de grosses épines noires très pointues, de 10 cm de longueur.

La frondaison est peu épaisse et ouverte avec des feuilles inférieures arquées ; inflorescence en épi, de 50-80 cm de longueur, pendante, protégée par des spathes aux aculés marron ; folioles au nombre de 70 à 80, longues et pointues, souples et vertes sur leur partie supérieure ; fleurs monoïques jaune-clair.

Fruits et drupes globuleux, sphériques ou légèrement aplatis, de 3,5 à 5,0 cm de diamètre ; coque ou épicarpe vert-jaune, dure mais cassante ; pulpe ou mésocarpe jaune ou blanchâtre, comestible, fibreux

et mucilagineux, saveur acidulée, riche en glycérine ; endocarpe adhérent fortement à la pulpe fibreuse, paroi osseuse grisâtre ; albumen ou amande oléagineuse comestible.

L'arbre est robuste ; il présente un développement racinaire considérable, résistant aux sécheresses et aux incendies.

Des épines circulaires peuvent couvrir toute la longueur du tronc de la base à la couronne du palmier.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : Des climats les plus humides aux régions semi-arides.
- **Sol** : Cambisol, latosol rouge foncé et rouge-jaune. La plante se développe bien dans différents types de sols, mais elle préfère des sols neutres et très fertiles. Elle est d'ailleurs utilisée comme indicateur de fertilité des sols dans certaines régions de l'Etat de Minas Gerais. De grandes populations natives sont trouvées dans les vallées et les pentes où affleurent les roches calcaires.
- **Température** : Entre 15 et 35°C, plus fréquente dans les régions où la température moyenne est plus élevée. Toutefois, elle tolère bien les températures basses, voire les gelés sporadiques.
- **Humidité** : Résiste bien à la sécheresse et aux inondations. Néanmoins, elle se développe mieux dans les terres bien drainées et assez humides.
- **Précipitation** : la plante supporte de 300 mm à 2000 mm de pluies. Cependant, les populations natives se trouvent dans des régions où les précipitations typiques sont celles du cerrado, soit de 1200 à 1400 mm sur une durée de 4 ou 5 mois et une sécheresse bien définie.
- **Altitude** : Du niveau de la mer jusqu'à 1000 m.

4. Localisation de la production

Ce palmier a une distribution géographique très étendue. Il s'étend dans les régions Centre-Ouest, Nordeste et Nord Brésil. Il atteint même

l'Amérique Centrale. Les peuplements les plus denses sont dans les états du Minas Gerais, Goiás et au Mato Grosso.

5. Organisation de la production

- **Actuelle** : la production commerciale n'est pas encore très significative. Elle est basée sur une culture extractive.
- **Potentielle** : grande adaptation aux conditions climatiques du Cerrado brésilien. Ce palmier pourrait devenir hautement rentable pour les populations de cette région.

6. Cycle de culture

Ce palmier a un faible taux de germination naturelle, la production de plants est donc difficile. Il existe quelques techniques de propagation d'embryons in vitro, mais à des coûts encore très élevés. Actuellement, les plantations sont faites à partir de prélèvement de plants natifs qui sont trouvés sous les arbres les plus productifs. Le palmier croit de presque un mètre par an jusqu'à atteindre sa taille adulte. La fructification a lieu même avant que la plante atteigne son plein développement, en général vers six ans. Selon les conditions de sol et de climat, il est possible d'obtenir une pleine fructification dès l'âge de quatre ans. Les fleurs sont regroupées en grappes qui font jusqu'à 80 cm de longueur, elles se développent d'octobre à janvier. Le fruit, lorsqu'il est mûr prend une coloration marron-jaune. La récolte du fruit n'a lieu que pendant 5 mois de l'année, de décembre à avril. De façon générale, un même palmier a une production décroissante tous les trois ans, il est probable qu'une année de grande production fatigue le palmier qui a besoin d'un certain temps pour retirer du sol les éléments essentiels à une nouvelle fructification abondante.

7. Ravageurs et maladies

Il n'existe pas d'études à ce jour.

8. La récolte

La récolte est faite lorsque les fruits sont pleinement mûrs, c'est-à-dire quand ils tombent de la grappe. Il faut alors récolter toute la grappe, car les fruits se détériorent rapidement quand ils sont au sol. Il est recommandé de traiter les fruits au maximum jusqu'à 48 heures après la récolte, afin de ne pas risquer d'altérer les qualités de l'huile et de la pulpe. La récolte est manuelle. Elle est effectuée par les femmes et les enfants. Ils collectent les noix puis les transportent dans des hottes jusqu'à des tombereaux ou des charrettes, puis jusqu'aux fabriques de savons, où ils sont vendus et transformés.

9. Description du produit récolté

La noix du macauba est sphérique, légèrement aplatie, dont le diamètre peut varier de 3,0 à 4,5 cm pour les fruits vert-jaune et de 5,0 à 6,0 cm pour les fruits marrons. Le fruit est constitué d'une coque externe, dure et cassante, contenant environ 10% d'huile, dont la couleur verdâtre provient des xanthophylles.

La pulpe, huileuse et fibreuse, est de couleur jaune-orangée, due à la présence de carotène dans les fruits les plus communs, et jaune-blanc dans les noix marron plus grosses.

L'endocarpe, noir et dur entoure une ou deux amandes oléagineuses.

Lors du mûrissement, alors que le fruit est encore attaché à la grappe, la pulpe adhère fortement à la coque externe et à l'endocarpe. Après la chute de la noix, un espace se développe entre la pulpe et la coque externe, conséquence de la réduction graduelle de l'humidité du fruit, ce qui permet une élimination plus facile de la coque. L'huile extraite des amandes exhale un arôme caractéristique, de couleur blanche, incolore à légèrement jaune. L'huile se solidifie pour des températures inférieures à 20°C.

10. logistique

- **Transport** : les noix sont transportés dans des hottes jusqu'à des tombereaux ou des charrettes, puis jusqu'aux fabriques. Le

transport doit être fait rapidement et avec précaution pour éviter la rupture des coques, qui accélère la fermentation et la libération d'acides gras libres..

- **Stockage** : après la récolte, les fruits sont stockés de 10 à 20 jours. La pulpe exposée à l'humidité ambiante est soumise à l'attaque de bactéries et de champignons qui hydrolysent les glycérides et les transforment en acides gras. La noix peut éventuellement être utilisée à des finalités plus nobles, comme la production d'huiles comestibles ou de combustibles de type diesel par transtérification.

Contrairement à ce qui est observé avec la pulpe, les amandes de ce palmier peuvent être stockées sur de longues périodes sans risques de détérioration, si elles sont conditionnées dans un environnement sec.

11. Etapes de transformation

Méthode artisanale :

Pour la production de savon. Après la récolte des fruits, ceux-ci sont mis en tas et recouverts d'herbe ou de paille pendant 10 ou 20 jours, temps nécessaire à la fermentation de la pulpe. Ensuite, les noix sont cassées dans des pilons ou des broyeurs, pour finalement passer dans des pressoirs à traction animale. L'apport d'eau chaude facilite l'extrusion de l'huile.

Après décantation, l'huile obtenue, avec un rendement inférieur à 10% du poids du fruit frais initial, présente une acidité supérieure à 40%.

A cause de la structure et de la composition du fruit, la transformation de la noix présente certaines difficultés, qui n'existent généralement pas chez les autres espèces oléagineuses. Le transport des noix aux fabriques doit être rapide et fait avec soin, pour éviter la rupture des coques, qui accélère la fermentation et la libération d'acides gras libres.

Méthode industrielle :

La transformation industrielle commence après réception de la matière première oléagineuse. Elle est pesée à l'arrivée et envoyée au dépôt qui contrôle les flux destinés à la transformation. Ensuite, les noix sont

nettoyées afin d'en retirer toutes les impuretés comme la terre ou d'autres éléments indésirables. Cette opération est faite à l'aide de filtres vibrateurs ou à air comprimée.

Les fruits sont stérilisés à la vapeur ce qui limite les risques de fermentation, qui augmenterait l'acidité de l'huile. Dans ces conditions, l'humidité de la noix est sensiblement réduite. Les albumines et les mucilages éventuellement présents dans la pulpe du fruit peuvent également coaguler, ce qui facilite l'extraction postérieure de l'huile.

Après la stérilisation, les fruits sont décoqués et dépulpés. Les noyaux qui contiennent l'amande sont alors transformés en farine. Celle-ci passe dans une presse hydraulique ou une presse à vis. Toutefois, l'huile doit être centrifugée pour éliminer les impuretés ou mucilages éventuellement présents.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

	teneur	détail
Composition	Acides saturés	71,2% - caprylique (C8:0) = 6,2% - caprique (C10:0) = 5,3% - laurique (C12:0) = 43,6% - myristique (C14:0) = 8,5% - palmitique (C16:0) = 5,3% - stéarique (C18:0) = 2,4%
	Acides insaturés	28,8 % - oléique (C18:1) = 25,5% - linoléique (C18:2) = 3,3%
Viscosité cinématique	42,5 cst	
Masse spécifique	0,9208 g/cm ³	
Pouvoir calorifique	9090 Kcal/Kg	
Indice de saponification	194 mg KOH/g – huile de la coque 192 mg KOH/g – huile de la pulpe 221 mg KOH/g – huile de l'amande	
Indice d'iode	78 mg I ₂ /g – huile de la coque 84 mg I ₂ /g – huile de la pulpe 20 mg I ₂ /g – huile de l'amande	

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Feuilles		Fourrage pour les animaux et fibres textiles utilisées pour faire des filets et des lignes de pêches.
Pétiole des feuilles		Paniers, hottes et chapeaux.
Epines	Dures et résistantes	Aiguilles de dentellières.
Pulpe	Sucrée et légèrement aromatique	Alimentation, ration animale, huile à savon.
Amandes	Huile fine, semblable à l'huile d'olive.	Alimentation, huile à savon.
Cœur de palmier		Alimentation (cœur de palmier, féculs nutritives et vin)
Farine d'amande	Co-produit de l'huile	Haute valeur nutritive, rations animales
coque	Epaisse et dure	Revêtement externe pour des décorations et des bijoux artisanaux, L'endocarpe dur est utilisé pour produire de l'énergie dans des fours (domestiques ou industriels) et/ou du charbon.
Stipe		Ornemental, poutres, planchettes et piliers dans le bâtiment.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : l'huile est utilisée comme combustible dans des lanternes.
- Potentiel : bio-diesel et production électrique dans des régions isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

L'huile issue de la pulpe est utilisée dans la fabrication de savon, mais elle peut également être utilisée dans des secteurs plus spécifiquement industriels : filage, sidérurgie ou procédés de laminage à froid, sous la forme d'émulsion aqueuse. De part son caractère acide, l'huile peut être associée à des procédés de flottaison dans la séparation de différents minerais.

En ce qui concerne l'huile de l'amande, sa richesse en acide laurique est une des garanties de sa valeur économique sur le marché des huiles saturées, avec celles du babaçu, du palmier à huile, dont l'offre est essentiellement destinée à la fabrication de margarine et de savons.



20. Ucuuba (*Virola surinamensis*)



1. Description botanique

- **Famille** : Myristicacées
- **Espèce** : *Virola surinamensis*
- **Nom populaire** : Ucuuba-cheirosa, ucuuba-amarela, ucuuba-verdadeira, cumala-blanca-hojaparda, caupuri, camala-colorada, moussigot, ucuúba, ucuúba-branca, ucuúba-de-igapó, ucuúba-da-várzea, bicuíba, bicuíba-branca, arbre à suif, virola, noix-muscade (PA), etc



2. Description morphologique

Cet arbre au port moyen est composé d'un tronc unique et d'une frondaison cunéiforme. Il peut mesurer jusqu'à 40m de hauteur. Le tronc présente des ramifications régulières, verticillées, presque horizontales ; son écorce est épaisse, blanchâtre et marron sur sa partie intérieure. Les branches présentent des feuilles alternées, vertes, glabres, avec une base obtuse et un sommet pointu. L'inflorescence est en forme de panicules axillaires ou sous axillaires, avec des pédicules opposés latéralement ; fascicules de 8 à 15 fleurs aux extrémités des branches ; fleurs féminines rares, à l'ovaire ovoïde et style court ; le stigma est émarginé, bifide et dressé.

Le fruit est en forme d'ellipse, de 14 à 16 mm de longueur, court, stipité. La fructification a lieu de février à juillet.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : tropical humide.
- **Sol** : plaine fluviale et forêts marécageuses, berges du fleuve.
- **Température** : L'optimum des températures oscille entre 24 et 28°C. La moyenne mensuelle des minima ne doit pas être inférieure à 18°C.
- **Humidité** : varie de 80 à 90%.
- **Précipitation** : comprise entre 1800 et 2800 mm/an.
- **Altitude** : variable

4. Localisation de la production

Au Brésil, cette espèce se concentre dans le bassin amazonien, dans les états d'Amazonas, du Pará et une partie du Maranhão. On la rencontre en moins forte densité dans le Ceara et Goiás. Cette espèce se rencontre également dans les Guyanes, au Venezuela et aux Antilles.

5. Organisation de la production

Il n'y a aucun marché officiellement organisé.

6. Cycle de culture

Sa phénologie reproductive est annuelle et commence à l'âge de six ans. En Amazonie centrale, la floraison a lieu d'octobre à novembre et la fructification de février à mai. A Curá-Una/PA, l'arbre fleurit entre février et avril, fructifie entre juin et août, et perd partiellement ses feuilles entre mars et avril. Ses graines sont disséminées par les oiseaux et les singes, voire par les eaux de fleuves. La dispersion coïncide avec la période des pluies et l'élévation des eaux en Amazonie. Ses graines sont récalcitrantes et perdent toute viabilité après déshydratation.

7. Ravageurs et maladies

Aucune étude n'a été menée pour identifier les ravageurs et les maladies.

8. La récolte

La récolte est faite lorsque les fruits commencent à s'ouvrir de façon spontanée visible quand les graines sont entourées d'un arille rouge. Les graines tombent et s'accumulent le long des berges où elles sont ramassées. Cet environnement favorise une récolte de graines sans impuretés.

9. Description du produit récolté

Les graines sont composées d'une pâte blanche, marbrée de jaune. Celle-ci a un point de fusion élevé et est appelée beurre ou suif de ucuuba. La graine a une forme arrondie, pèse de 1 à 3 g et est recouverte d'une coque fragile, non-adhérente et relativement fine.

L'amande représente de 80 à 88 % de la graine et contient de 60 à 65% de graisse. La graine est ramassée au sol et présente une humidité de 20 à 25%, avec de faibles taux d'acides gras libres, ce qui lui donne un goût aromatique agréable. Un kg de graines représente entre 710 et 750 unités.

10. logistique

- **Transport** : Il doit être effectué le plus vite possible jusqu'au lieu de la transformation. Il faut éviter que les graines se réchauffent, sèchent ou refroidissent, pendant le transport.
- **Stockage** : les graines doivent être conditionnées dans des sacs en raphia ou en matière plastique.

11. Etapes de transformation

Les fruits doivent être stockés dans un endroit sec et aéré et à l'ombre, pour terminer de s'ouvrir et faciliter la séparation des graines.

L'arille est retiré manuellement à l'aide d'eau et d'un tamis. Si les graines sont semées, il n'est pas nécessaire de retirer l'arille.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

	teneur	détail
Composition	Acides saturés	94,6% - laurique (C12:0)= 16,5% - myristique (C14:0)= 71,0% - palmitique (C16:0)= 6,5% - stéarique (C18:0)= 0,6 %
	Acides insaturés	5,4 % - oléique (C18:1) = 4,5% - linoléique (C18:2) = 0,6% - palmitoléique (16:1) = 0,3%
Viscosité cinématique	Sans données	
Masse spécifique	Sans données	
Pouvoir calorifique	9161 Kcal/Kg	
Indice de saponification	219 – 221 mg KOH/g	
Indice d'iode	9 - 14 mg I ₂ /g	

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Ecorce		Indiquée comme cosmétique pour le traitement de l'érysipèle, cicatrisant et anti-inflammatoire. Traite les coliques abdominales, dyspepsie, cicatrise les plaies, émoullient, hémorroïdes, problèmes digestifs, érythème, gastralgie (phytothérapie)
Bois		Constructions d'intérieurs, charpenterie, menuiserie, fabrication de caisse, allumettes, contreplaqués, papier.
Graines	Extraction d'une huile riche en trimyristine	Fabrication de bougies, savons, cosmétiques et parfums.

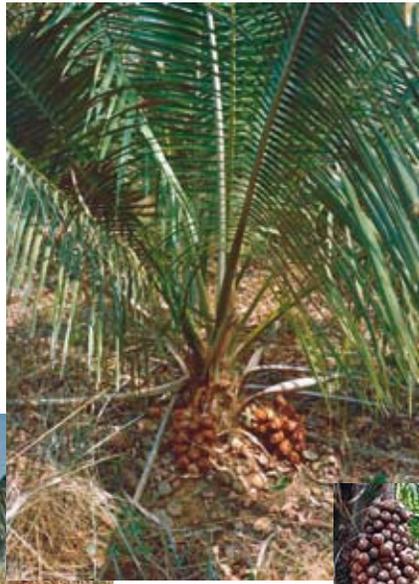
14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : sans utilisation.
- Potentiel : bio-diesel et production électrique dans des régions isolées.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Le suif de la plante est utilisé dans des traitements médicaux tels que les rhumatismes, arthrite, etc.





21. Palmier Indaiá (*Attalea borgesiana*)



1. Description botanique

- **Famille** : Palmier - Aracacées
- **Espèce** : *Attalea borgesiana*
- **Nom populaire** : Palmier indaiá, indaiá-guaçu, Pindoba, Indaía rampante



2. Description morphologique

Arbre aux tiges visiblement marquées par des stigmates naviculaires, foliaires ou parfois avec une tige souterraine ; feuilles longues de plus d'un mètre, composant un épi, avec une tige foliaire peu développée, pétiole court aux bordures fibreuses, régulièrement espacées autour de l'axe ou regroupées ; plantes monoïques aux fleurs diclines en grappes séparées ou sur la même grappe ; spathes ligneuses avec de forts sillons et sommet rostré ; spathe androgyne ramifié aux nombreuses fleurs ; grandes fleurs femelles protégées par deux bractées avec trois sépales convexes inégales et trois pétales semblables ; gynécée avec anneau staminoïdal et style peu développé ; spathes masculines multi-ramifiées avec des fleurs distiques sur l'axe ou irrégulièrement distribuées avec trois sépales et trois pétales, celles-ci étant plus grandes que les premières ; 6-15 étamines sur chaque fleur, anthères droites aux thèques congénitax plus petits que les pétales ; fruits à 1-5 graines à l'exocarpe fibreux, mésocarpe amylicé ou oléagineux, occasionnellement avec des sclérenchymes fibreux ; endocarpe lignifié bien

développé, constituant près de 50% de l'épaisseur du fruit qui contient un péricarpe persistant ; anneau staminoïdal se développant avec des graines à l'endosperme homogène.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : chaud et sec, avec des pluies d'été.
- **Sol** : sablo-quartziques profonds, alluvions fertiles, textures moyennes, hydromorphique, latosol rouge-jaune dystrophique.
- **Température** : entre 20 et 35°C.
- **Humidité** : entre 50 et 80%.
- **Précipitation** : entre 850 et 1160 mm.
- **Altitude** : entre 400 et 500 m.

4. Localisation de la production

Ce palmier est plus fréquent dans les états de la Bahia et du Minas Gerais.

5. Organisation de la production

Production de culture typiquement extractive et peu productive mais dont les populations locales retirent quelques bénéfices économiques.

6. Cycle de culture

Il est possible de semer le fruit ou la graine sans pulpe. L'ensemencement peut être fait directement en terre ou en milieu contrôlé avant d'être mis en terre. Des pentes supérieures à 5% ne sont pas adaptées à cette culture. Le cycle productif commence après 2 ou 3 ans. La germination peut être inhibée pour une période assez longue, et il est recommandé de couper le fruit sur la longueur de son axe pour lever cette inhibition. Les amandes proviennent des noix mûres récemment récoltées.

7. La récolte

La récolte est typiquement extractive et peu productive, elle a lieu entre juin et novembre. Elle est manuelle et presque toujours faite par des femmes et des enfants qui parcourent les palmeraies pour y ramasser les fruits mûrs tombés au sol. Les noix sont ensuite transportées dans des paniers, généralement par des mules, jusqu'au lieu de cassage manuel ou seront traités en moyenne 5 kg/j/personne.

8. Description du produit récolté

Les fruits de forme arrondis présentent une couleur orangée lorsqu'ils sont mûrs. Chaque grappe contient entre 20 et 30 fruits.

La noix est constituée de l'épicarpe, facile à retirer lorsqu'il est mûr. Il contient 5% d'huile, dont la coloration est jaune-orangée à cause de la présence de substances caroténoïdes et de terpènes, ce qui explique l'odeur agréable émanant de cette huile brute.

La pulpe, fibreuse, à la saveur sucrée contient près de 35% d'huile

L'endocarpe, au pouvoir calorifique élevé (4770 Kcal/kg), dur et compact, contient 1-5 amandes.

La noix a une humidité moyenne distribuée de façon uniforme entre les différentes parties du fruit ;50% pour la pulpe et de 15 à 20% pour l'amande.

9. logistique

- **Transport** : après la récolte, les fruits sont acheminés vers des usines de transformation généralement proches des palmeraies, afin d'être stérilisés.
- **Stockage** : la façon la plus efficace de conserver une bonne qualité aux fruits est la stérilisation par choc thermique (80 à 110°C), procédé qui élimine les enzymes lipolytiques et réduit l'humidité du fruit. Les noix ainsi traitées peuvent alors être stockées dans un endroit sec. Dans ces conditions l'acidité de l'huile est maintenue stable sur de longues périodes.

10. Etapes de transformation

La transformation est essentiellement artisanale. La noix est cassée sur le fil d'une hache. Après séparation, les amandes sont chauffées dans des fours en terre pour être ensuite écrasées dans des hachoirs (du type des hachoirs à viande) afin d'en retirer l'huile. Cette dernière est déversée dans des seaux après avoir été filtrée dans des torchons. Ensuite, l'huile est chauffée dans des fours à bois et est de nouveau filtrée. Ce procédé suffit à fournir une huile de bonne qualité alimentaire. La farine résiduelle, très protéinée, est utilisée dans la production de biscuits et de pâtisseries domestiques, voire comme ration animale.

11. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

		teneur	détail
Composition	Acides saturés	84,7%	<ul style="list-style-type: none"> - caprylique (C8:0) = 9% - caprique (C10:0) = 10% - laurique (C12:0) = 44,2% - myristique (C14:0) = 11,9% - palmitique (C16:0) = 6,7% - stéarique (C18:0) = 2,9%
	Acides insaturés	14,8 %	<ul style="list-style-type: none"> - oléique (C18:1) = 12,8% - linoléique (C18:2) = 2,0%
Viscosité cinématique	31,0 cst (à 37,8°C)		
Masse spécifique	0,9188 g/cm ³ (à 25°C)		
Pouvoir calorifique	9050 Kcal/Kg		
Indice de saponification	198 mg KOH/g – huile de la pulpe 255 mg KOH/g – huile de l'amande		
Indice d'iode	73 mg I ₂ /g - huile de la pulpe 16 mg I ₂ /g - huile de l'amande		

12. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Feuille		Toitures de maisons, production de fibres (confection artisanale de hamacs, paniers, tamis, sacs et chapeaux), fourrage pour le bétail.
Fruits		Alimentation et huile pour la production de margarine
Farine protéinique		Fabrication de biscuits et de pâtisseries locales et/ou ration animale.
Endocarpe		Charbon, combustible pour les chaudières à vapeur et les foyers de cuisson
Coque et tourteau de la pulpe		Production d'énergie thermique et électrique.

13. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : sans utilisation
- Potentiel : huile brute comme combustible et base pour la production de bio-diesel.

14. Utilisations non-énergétiques de l'huile

Fabrication de margarine alimentaire. Cette utilisation peut être diversifiée dans la sidérurgie, dans des fabriques de savons et de détergents.

16. Organisation du marché

Le marché est organisé par les petits propriétaires et ouvriers ruraux dont certains travaillent dans les plantations de cocotiers. Ils achètent les amandes ou les échangent contre d'autres marchandises. Certains, plus autonomes, vendent leur production directement aux consommateurs des villes les plus proches représentant un complément de revenu. Dans villes disposant d'installations industrielles de production d'huiles végétales, les prix sont généralement plus élevés, ce qui augmente l'intérêt des populations rurales voisines, qui récoltent systématiquement les amandes de ce palmier ou d'autres palmiers comme le Babassu.





22. Pequi (*Caryocar Brasiliense*)



1. Description botanique

- **Famille** : Caryocaracées
- **Espèce** : *Caryocar brasiliense*
- **Nom populaire** : piqui, pequi, piquiá, pequiá, noz de surava, pequiá-ête, pequi banane, pequiá jaune, arbre à beurre, piquiá orange, piquiá rana de peixe, tatajombá e piquiá rana da várzea, Piquirana



2. Description morphologique

Espèce relativement petite, jusqu'à 15 m dans le cerrado.; feuilles opposées, tri-foliolaires, pubescentes, crénelées et ovales, grandes fleurs blanches de 5 cm de diamètre, grandes étamines, 4 styles, ovaire à 4 loges, développement rare dans les 4 carpelles ;

Le fruit drupacé contient de 1 à 4 amandes riches en huile, vitamines et protéines.

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : tropical humide de savane avec des hivers, et tropical chaud avec saison des pluies marquées.

- **Sol** : Eutrophique de type podzolique, rouge foncé et sables quartzeux. Cette plante pousse dans les sols du cerrado, généralement acides, pauvres en calcaire, en magnésium et matière organique, profonds et poreux, avec une saison des pluies et une saison sèche bien définies. Sa culture est recommandée dans des systèmes agro-forestiers.
- **Température** : Entre 20 et 28°C.
- **Humidité** : Entre 50 et 80%.
- **Précipitation** : 800 mm.
- **Altitude** : Entre 400 et 800 m.

4. Localisation de la production

Cette plante se trouve surtout dans les états du Piauí, Ceara, Minas Gerais, Goiás et Bahia.

5. Organisation de la production

La production est de forme extractiviste. Il n'existe pas encore de production à partir de plantations.

6. Cycle de culture

Les graines sont propagées par les rongeurs se nourrissant des fruits au moment de la récolte. La production fructicole commence après 4 ou 5 ans, pour des plants produits à partir de graines. L'utilisation de plants greffés permet d'anticiper la fructification après 2 ou 3 ans. La production varie de 500 à 2000 fruits par arbre/an, ce qui donne entre 5 et 20 caisses de fruits/an. Dans un système de culture homogène, avec des arbres espacés de 10x10 m, il est possible d'atteindre une productivité de 1200 caisses par ha/an.

7. Ravageurs et maladies

Les principales maladies constatées sont la pourriture de la racine et la rouille ; afin de minimiser l'incidence de la pourriture de la racine, il est recommandé de ne pas trop irriguer et d'utiliser un substrat avec 10% de fumier et 40% d'argile, bien aéré et bien drainé, ainsi que des sacs plastiques perforés sur les côtés et dans le fond, pour éviter l'accumulation d'eau. La rouille peut être contrôlée par une pulvérisation sur les feuilles de fongicides cupriques.

Les termites et les fourmis sont des ravageurs naturels. Des traitements insecticides doivent être appliqués.

8. La récolte

La récolte a normalement lieu entre novembre et mars. Lorsque les fruits arrivent à maturité, ils tombent de l'arbre. Les fruits sont ramassés à même le sol ou cueillis directement sur l'arbre. Ils sont alors mis en sacs et transportés vers le lieu de transformation et commercialisation.

9. Description du produit récolté

Le fruit est un drupe constitué d'une fine coque externe vert-gris, d'un mésocarpe peu fibreux et riche en tanins, qui enveloppe de 1 à 4 noyaux de couleur jaune et dont le nombre détermine la forme du fruit ; sphérique s'il ne contient qu'un noyau, à lobules s'il a plus de deux noyaux. Ces derniers sont facilement détachables du mésocarpe après mûrissement complet. Toutefois, ils adhèrent fortement à la pulpe si le fruit est vert. Le poids du fruit est très variable, selon son origine, du type de sol et des conditions climatiques. Son noyau est revêtu d'une pulpe huileuse de coloration jaune causée par la présence de caroténoïdes. Sous la pulpe se trouve l'endocarpe proprement dit, dur et ligneux, à l'intérieur se trouve une amande blanche et riche en huile. Des épines fines et noires sont disposées à l'intérieur de l'endocarpe. Elles constituent un obstacle à l'extraction manuelle de l'amande.

10. logistique

- **Transport** : De nombreux problèmes sont associés au transport de ce fruit, avec des pertes qui vont croissantes tout au long du parcours. La lenteur et les difficultés de déchargement réduisent la qualité du produit.
- **Stockage** : L'amande est stérilisée pour éliminer les enzymes lipolytiques et réduire l'humidité du fruit. Les amandes peuvent alors être stockées dans un endroit sec sans développement d'une acidité dans l'huile. Dans ces conditions, la pulpe est peu altérée.

11. Etapes de transformation

Ce fruit est traditionnellement cultivé pour la production d'huile. Les techniques d'exploitation sont très rudimentaires. Afin de faciliter l'extraction de l'amande, le fruit est mis à sécher au soleil pendant quelques jours. L'endocarpe est ensuite cassé à l'aide d'instruments coupants. La pulpe et le noyau sont séparés manuellement. La pulpe est ensuite mise à macérer dans des pilons en bois, afin de faciliter l'extraction de l'huile. La pâte huileuse obtenue est mélangée à de l'eau et est portée à ébullition afin de retirer l'huile par décantation. qui sera filtrée dans des sacs de lin. L'huile ainsi produite est séchée et embouteillée dans des flacons de 600 ml, pour être vendue sur les marchés locaux. Son prix est trois ou quatre fois supérieur à celui des huiles comestibles traditionnelles.

12. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

	teneur	détail
Composition	Acides saturés	34,5% - myristique (C14:0) = 0,4% - palmitique (C16:0) = 32% - stéarique (C18:0) = 2,1%
	Acides insaturés	65,1 % - palmitoléique (C16:1) = 1,3% - oléique (C18:1) = 56,3% - linoléique (C18:2) = 7,2% - linoléinique (C18:3) = 0,3%
Viscosité cinématique	40,0 cst (à 37,8°C)	
Masse spécifique	0,915 – 0,923 g/cm ³ (à 25°C)	
Pouvoir calorifique	9380 Kcal/Kg	
Indice de saponification	202 mg KOH/g – huile de la pulpe 203 mg KOH/g – huile de l'amande	
Indice d'iode	53,5 mg I ₂ /g - huile de la pulpe 54,6mg I ₂ /g - huile de l'amande	

13. Caractéristiques et utilisations des co-produits

Produit	Caractéristiques	utilisation
Bois	Dur et résistant aux champignons	Fabrication de poteaux, piliers, poutres, roues. De façon plus générale, il est utilisé dans le bâtiment et la construction navale.
Ecorce	Haute teneur en tanins	Fabrication d'encre et autres teintures.
Feuilles	Haute teneur en tanins	Fabrication d'encre et autres teintures, extrait éthanolique (activité anti-tumeur).
Noyau	Riche en lipides et vitamines A.	Alimentaire (nature ou cuit)
Noyau résiduel	Amande interne blanche oléagineuse, très nutritive.	alimentation
Tourteaux d'amandes	Source de vitamines et de protéines brutes	Haute teneur protéinique, supérieure au tourteau de soja, sésame ou tournesol.

14. Utilisations énergétiques de l'huile

- Actuellement : testée pour du bio-diesel et l'éclairage en zones rurales.
- Potentiel : utilisée pure comme carburant ou pour la fabrication de bio-diesel.

15. Utilisations non-énergétiques de l'huile

L'huile est utilisée comme condiment dans des préparations de riz et de viandes. Elle contient des protéines, des sucres, de la vitamine A, de la thiamine, des sels de calcium, du fer et du cuivre. Elle est utilisée pour combattre les gripes et les rhumes.

Elle est également utilisée comme lubrifiant, ainsi que pour d'autres applications nobles, comme dans l'industrie pharmaceutique pour la production de fortifiants « Emulsion de Pequi » ou « Vita-huile ».

16. Organisation du marché

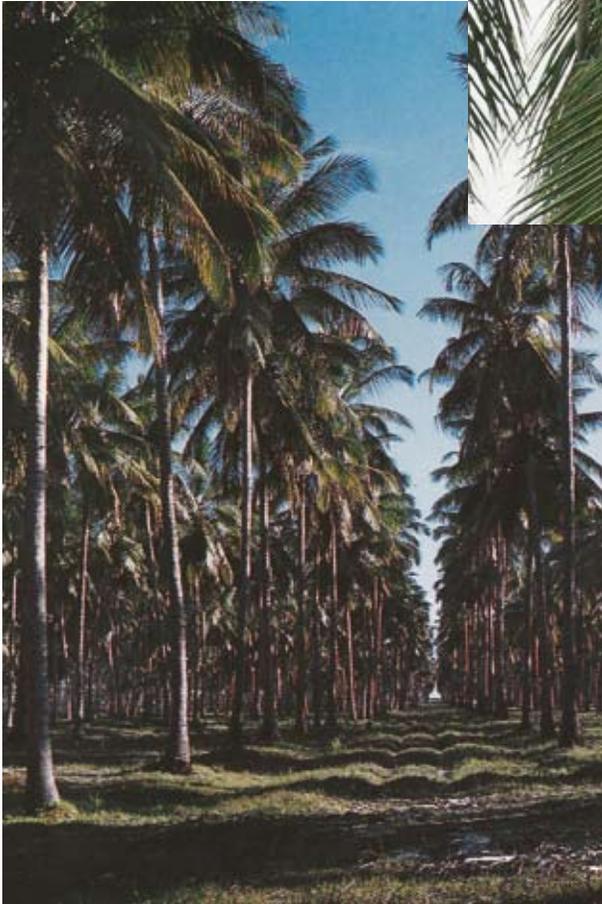
La récolte extractiviste implique les agriculteurs, les petits producteurs, les ouvriers agricoles, les grossistes et les détaillants. Pour certains agriculteurs ou producteurs de régions plus pauvres, les revenus du Pequi sont une opportunité pour augmenter leurs revenus.

Les grossistes sont en contact direct avec les récoltants et les communautés. Ils organisent la chaîne de production depuis la récolte avec les agriculteurs jusqu'à la vente avec les détaillants.

Le fruit est vendu emballée dans des sacs plastiques. Une partie de la récolte est transformée en liqueurs et en huile. Le rendement de la pulpe correspond à 30 ou 40% du poids du fruit sans coque.

Cet intérêt peu commun pour ce fruit permet une valorisation optimisée de cette plante. Ses fruits représentent une réserve alimentaire naturelle pour une consommation domestique, mais également un source

de revenus supplémentaires. En effet, lors des périodes de récoltes, les excédents sont commercialisés dans les centres urbains les plus proches. Ces centres distribuent l'huile à des fins domestiques ou industrielles (fabricants de savons, préparateurs pharmaceutiques).



23. Cocotier

(*Cocos nucifera* L.)



1. Description botanique

- Monocotylédone
- Famille : Arecacae
- Genre : *Cocos*
- Espèce (une seule) : *Cocos nucifera* L.



On peut classer les cocotiers en deux groupes : les Grands et les Nains à partir desquels sont créés les hybrides. L'hybride le plus répandu sur la planète est le PB121 ou croisement entre un Nain Jaune de Malaisie et un Grand Ouest Africain (NJMxGOA) ou Malayan Yellow Dwarf x West African Tall (MYDxWAT). Cet hybride porte différents noms selon les pays de culture (ex : Maypan aux Philippines).

2. Description morphologique

Le cocotier présente un appareil végétatif en trois parties :

- un système racinaire en cône renversé. De toute la surface du plateau racinaire partent 3000 à 5000 racines de 0.8cm de diamètre environ. Ces racines peuvent atteindre 7 à 8 m de long et portent des racines d'ordre II, III et IV. Ces dernières alimentent la plante en eau.
- un stipe (aussi « injustement » appelé tronc) constitué d'un grand nombre de faisceaux libéro-ligneux primaires. La base du tronc

est plus ou moins renflée selon les écotypes. Le stipe est lisse, à croissance continue, et porte les cicatrices des points d'insertion des feuilles. L'accroissement transversal (radial) se produit par développement de la zone méristématique. La croissance en hauteur est variable selon l'âge, les variétés et les écotypes. Vers 10 ans, la croissance est de 15 à 30 cm par an pour les Nains et de 70 à 100 cm par an pour les Grands.

- les feuilles ou palmes constituent la couronne foliaire. Cette dernière comporte une trentaine de feuilles. La palme de cocotier comprend un pétiole prolongé par un rachis sur lequel viennent s'insérer 200 à 300 folioles. Ces dernières sont de taille variable selon leur position et possèdent une nervure centrale très rigide. Les feuilles sont réparties sur cinq spirales (tournant soit vers la gauche, soit vers la droite). La durée de vie d'une feuille est de cinq ans avec une phase visible de 25 à 30 mois. Le rythme d'émission des feuilles est différent selon les variétés et les conditions climatiques (16 à 17 feuilles par an pour les Nains et 13 à 14 feuilles par an pour les Grands).

L'inflorescence se trouve à l'aisselle de chaque feuille. La floraison commence entre 2 et 7 ans après la plantation. Les Nains sont les plus précoces (2 à 4 ans). Les Grands fleurissent pour la première fois vers 7 ans alors que les hybrides se situent entre les deux, 4 à 5 ans. Avant ouverture, la fleur se présente sous la forme d'une spathe de 50 cm à 1 m de long. L'inflorescence est formée d'un rachis sur lequel s'insèrent de nombreux épillets portant des fleurs femelles (petites boules de 25 mm) à la base et de nombreuses fleurs mâles plus petites. Le taux de nouaison est d'environ 40% pour des arbres sains en bonnes conditions environnementales.

Les variétés de Nains sont autogames, celles de Grands sont plutôt allogames. Après fécondation, une partie des fleurs femelles évoluent en fruit, drupe monosperme, improprement appelée noix. La noix de coco, fruit de taille inhabituelle (1,2kg en moyenne), comporte quatre compartiments principaux :

- un mésocarpe fibreux, enveloppe appelée bourre ou « husk » en anglais, recouvert d'un épiderme lisse dont la couleur avant maturité est très variable (vert, rouge en passant par des jaunes orangés) ; cette couleur est fonction de la variété ;

- un endocarpe qui se rigidifie au fur et à mesure de la croissance : la coque (shell en anglais) ;
- un albumen liquide : l'eau de coco (« coconut water »), liquide incolore et parfois très parfumé (selon les variétés) à ne pas confondre avec le lait de coco, blanc et crémeux, qui est issu du pressage de l'amande râpée ;
- un albumen solide : l'amande, partie blanche oléagineuse de 10 à 15 mm d'épaisseur dans laquelle est fiché l'embryon ; cet albumen déshydraté jusqu'à 6% de teneur en eau est connu sous le nom de coprah, débouché principal de la culture du cocotier (N.B. : dans tous les pays producteurs d'Asie mais pas au Brésil).

Tableau 8 : Composition moyenne des noix de coco de plusieurs pays. Les variétés diffèrent ainsi que les conditions édapho-climatiques

	Ghana	Mozambique	Philippines	Ste Lucie	Côte d'Ivoire
Poids total (kg)	1,06	1	1,05	1,1	1,2
	% poids frais total de la noix de coco				
Bourre	50	36	35	36	47
Coque	10	22	12	22	15
Eau	13	17	28	17	9,5
Amande	27	25	25	25	28,5

3. Conditions édapho-climatiques

- **Climat** : le cocotier a besoin de chaleur et d'humidité. Les bords de mer des zones inter-tropicales constituent l'habitat naturel du cocotier.
- **Sol** : le cocotier, généralement cultivé sur des sols très pauvres (sables côtiers) s'adapte à divers types de sols. De façon générale, pour les zones à pluviosité satisfaisante, on évitera les zones hydromorphes et mal drainées; pour les zones à pluviosité marginale, on éliminera les sols peu profonds, trop argileux ou gravillonnaires.

- **Température** : l'optimum des températures est de 27°C. La moyenne mensuelle des minima ne doit pas être inférieure à 18°C. L'ensoleillement optimal est de 2000 à 2200 heures par an.
- **Précipitation** : la pluviosité idéale est de 150 mm par mois bien répartie sur toute l'année. Mais le cocotier s'adapte au rythme des saisons sèches et humides.
- **Humidité** : il a besoin d'une hygrométrie importante : 80 à 90%. Le vent peut être un frein à la croissance des cocotiers qui sont plus sensibles aux cyclones entre 3 à 5 ans après plantation.

4. Localisation de la production

La production du cocotier se situe en zone intertropicale essentiellement en Asie et Océanie. La surface mondiale récoltée est estimée à 10.7 millions d'hectares en 2004 (fig.1, source FAOStats 2005) dont 83.5% en Asie. Les principaux pays producteurs (2004) sont l'Indonésie (16.3 Mt de noix de coco), les Philippines (14.3 Mt) et l'Inde (9.5 Mt). Une partie marginale de la production est réalisée en Amérique centrale et du Sud (4.7%). Le Brésil a produit 3.2 Mt de noix de coco en 2005 à comparer aux 1.9 Mt de 2000. Sa progression est la plus importante au monde. En comparaison l'Indonésie est passée de 15.2 à 16.3 Mt sur la même période. +68.4% pour le Brésil contre +7.2% pour l'Indonésie.

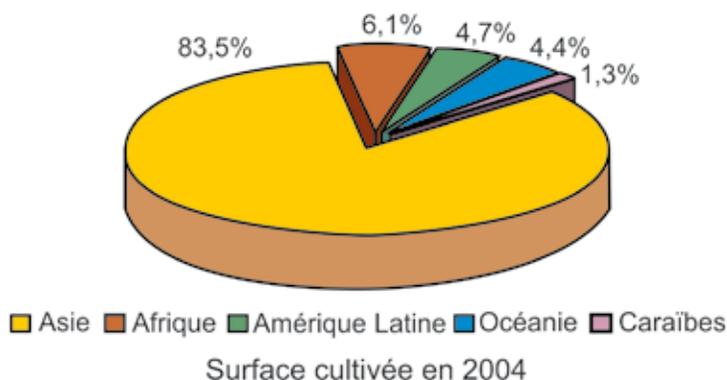


Figure 1 : Répartition mondiale de la surface cultivée en cocotiers (Source FAOStats2005)

Les plantations de cocotier au Brésil se situent dans l'Etat du Nordeste en zones côtières. Le développement de ces plantations est relativement récent. Les cocoteraies sont jeunes et plantées de variétés « naines » sélectionnées (généralement *Nain Vert du Brésil*).

5. Organisation de la production

96% de la cocoteraie mondiale est constitué de petites plantations (0,5 à 4 ha) dont le rendement moyen est de 850 kg de coprah/ha/an alors que le potentiel agronomique de certains hybrides se situent à 4.5 t/ha (rendements obtenus en stations expérimentales).

Au Brésil, on rencontre de grandes plantations industrielles destinées à la production d'huile ou de noix « à boire ». Certaines de ces plantations sont irriguées (parfois à l'eau de mer) pour limiter les effets de la longue saison sèche du Nordeste.

6. Cycle de culture

Le cocotier est une plante pérenne dont la production s'étale sur toute l'année. Sa densité de plantation dépend des conditions climatiques et de la variété. La densité de plantation pour les Nains est de 205 à 235 arbres/ha, celle des Grands varie entre 143 et 160 et celle des hybrides entre 160 et 180.

Etant donné la vitesse moyenne d'émission foliaire (et donc, d'inflorescence) d'une feuille par mois, on trouve, sur un même arbre, des régimes de noix de coco à différents stades de maturité. Chaque régime présent est environ un mois plus âgé que son prédécesseur. Le régime le plus mûr est situé sous les dernières feuilles du bas de la couronne.

7. Ravageurs et maladies

Les ravageurs du cocotier peuvent être localisés à certaines régions, certains pays mais ils peuvent se rencontrer dans toute l'aire de culture de la plante. Leur impact peut être variable allant de la défoliation, de la déformation, du jaunissement, de la pourriture jusqu'à la mort de l'arbre.

Les ravageurs du cocotier appartiennent à différents ordres de la classe des insectes et peuvent attaquer différents organes de la plante : feuilles, bourgeon terminal, stipes, inflorescences, fruits, racines.

a – Les insectes défoliateurs

Ils consomment le feuillage en totalité ou en partie, réduisant la photosynthèse et par conséquent la production de l'arbre. C'est le cas des Limacodidae (Lépidoptère) en Indonésie et du genre *Setora nitens*.

Au Brésil, on peut citer *Mecistomella corallina*, hispine qui, en cas de forte attaque, donne un aspect brûlé aux feuilles dont les folioles peuvent se déchirer en lanières.

b – Les insectes piqueurs

Certains s'attaquent au feuillage et aspirent la sève, provoquant le jaunissement du feuillage auquel peut s'ajouter le développement de fumagines qui asphyxient les feuilles ; ceci ayant pour conséquence la diminution de la photosynthèse. C'est le cas de la cochenille *Aspidiotus destructor* (Hémiptère) au Timor Oriental mais répartie partout sur le globe où pousse le cocotier, de l'aleurode *Aleurotrachelus atratus* (Hémiptère) aux Comores. Certains s'attaquent aux fleurs et aux fruits et provoquent le dessèchement des inflorescences, voire la chute prématurée des jeunes noix ou leur déformation avec pour conséquence la réduction de la quantité de coprah.

Certains insectes piqueurs sont vecteurs de maladies.

Au Brésil, on peut citer *Eriophyes guerreronis*, acarien qui s'attaque aux fruits et provoque des tâches au niveau des pétales qui, en s'étendant envahissent le péricarpe et provoquent le craquellement de l'épiderme de la noix. Les noix restent accrochées mais sont déformées, petites et l'albumen est réduit. L'impact économique reste faible pour la transformation en huile de coprah.

c – Les insectes foreurs

A partir de leurs pièces buccales, ils creusent des galeries dans le stipe ou le bourgeon terminal. Ils peuvent être vecteurs de

maladies. On peut citer en Amérique Latine, *Rhynchophorus* sp. (Coléoptère) qui pond au niveau de blessures et se développe dans le cœur de l'arbre et provoque la mort du bourgeon terminal. L'arbre meurt en quelques semaines. Il est vecteur du nématode qui provoque la maladie de l'anneau rouge. *Statagus* sp. (Coléoptère) creuse aussi des galeries à proximité des cocotiers et attaque le plateau radiculaire pour remonter dans le stipe. Quand la galerie atteint le méristème, l'arbre meurt.

Castnia dedalus est un Lépidoptère qui se développe à l'intérieur du stipe de l'arbre en pondant ses œufs au niveau d'une base pétiolaire et en creusant des galeries. Les larves peuvent atteindre 10 cm et on peut trouver un nombre important de larves par stipe.

Tirathaba rufivena (Lépidoptère) s'attaque aux fleurs et aux jeunes fruits et entraîne l'avortement et la chute prématurée des noix. Les dégâts sont reconnaissables à l'accumulation de déjections sur les jeunes noix.

Ordre	Organe attaqué	Espèces	Forme nuisible
Coléoptères	Stipe Tissus internes Feuilles	Oryctes sp. Rhynchophorus sp. Brontispa longissima	Adulte Larve et adulte Feuillage
Lépidoptères	Feuille Racines Fleurs Fleurs	Limacodidae Sufetula sp. Synechodes papuana Tirathaba rufivena	Chenille Chenille Chenille Chenille
Hémiptères	Feuilles Feuilles	Aspidiotus destructor Aleurotrachelus atratus	Larve et adulte Larve et adulte
Orthoptères	Feuilles	Segestes decoratus	Tous les stades

Les méthodes de lutte peuvent être

- chimiques et les modes d'application peuvent consister en une pulvérisation, une injection dans le stipe, une absorption racinaire, une application sur le sol.

- culturales : éradication des plantes hôtes, semis d'une plante de couverture, destruction des bois et stipes morts et en décomposition, éradication des arbres malades, application de fumures minérales.
- identification de matériel végétal résistant ou tolérant.
- biologiques : application d'insecticides biologiques, lâchers de parasitoïdes, introduction de prédateurs ou parasitoïdes, utilisation de virus ou autres organismes entomopathogènes, piégeage olfactif...

A part les maladies qui n'affectent que le feuillage et les fruits et sont essentiellement d'origine fongique, les autres entraînent presque toujours la mort de l'arbre. Elles sont transmises par des insectes généralement piqueurs, parfois foreurs. L'agent causal peut-être un champignon, un nématode, un trypanosome, un mycoplasme, un virus, un viroïde. Certaines maladies ne se développent qu'au jeune âge.

Quelques exemples :

- la pourriture sèche du cœur dont l'agent vecteur est *Sogatella kolophon* et *S. cubana*. Cette maladie consiste en un arrêt de croissance avec ouverture de la flèche avant la sortie du pétiole ou bien en un dessèchement prématuré de celle-ci.
- la pourriture brune (blast) dont l'insecte vecteur est *Recilia mica*. La flèche devient brune et noirâtre.
- la maladie de l'anneau rouge transmise par un nématode *Rhadinaphelenchus cociphilus* lui-même véhiculé par *Rhynchophorus palmarum* (Coléoptère). L'extrémité des feuilles basses jaunit et les jeunes feuilles cessent de se développer. Les jeunes noix tombent au sol et les inflorescences dépérissent. Une entaille dans le stipe à 1 m du sol permet de vérifier la présence de l'anneau.
- le Hartrot provoqué par des trypanosomes et dont l'insecte vecteur est une punaise du genre *Lincus*. On observe un jaunissement et brunissement des feuilles et une chute des noix immatures.

- l'helminthosporiose provoque des taches brunes circulaires et entourées d'un halo jaune sur les plus jeunes feuilles. Elles s'agrandissent et le centre se dessèche prenant une teinte grise et se couvre d'une poudre marron à noire.
- le Jaunissement mortel ou Lethal Yellowing est probablement la pire menace qui pèse aujourd'hui sur la culture du cocotier. L'agent causant est un mycoplasme transmis vraisemblablement par un Cixiidae du genre Myndus. Les cocotiers atteints dépérissent, jaunissent. Morts, ils subsistent à l'état de « poteau télégraphique ». Cette maladie touche gravement l'Afrique de l'Ouest et plus particulièrement le Ghana. Elle a été détectée en Amérique Centrale et dans les Caraïbes. Aucun moyen de lutte efficace n'est à ce jour disponible. Le CIRAD dispose d'une unité de recherche (chercheurs) consacrée à l'étude du jaunissement mortel.

8. Récolte

La récolte est manuelle. Elle s'effectue tous les mois, voire tous les deux mois.

Les noix destinées à la production du coprah (amande séchée jusqu'à 6% de teneur en eau), du lait de coco ou du coco râpé sont récoltées à maturité. Deux méthodes prédominent : soit on laisse tomber les noix et le passage dans la parcelle consiste simplement à les rassembler en tas. Soit les régimes sont coupés sur l'arbre à l'aide d'une faucille fixée sur un manche en bambou. Les noix sont également rassemblées en tas. Deux modes de traitement sont ensuite appliqués :

- soit les tas sont chargés manuellement sur des camions ou des motos équipées de remorques et transportés jusqu'au lieu de la première transformation : le four à coprah, l'usine de coco râpé....
- soit les noix sont ouvertes sur place à la machette et seule l'amande fraîche est placée dans des sacs de jute de 50 kg avant transport jusqu'à l'unité de transformation.

Il arrive également que les tas de noix soient laissés sur la parcelle 3 à 4 semaines (c'est ce que l'on appelle le « seasoning »). Cette pratique se rencontre essentiellement en Asie.

Les noix destinées à la consommation en frais comme boisson sont récoltées à des stades immatures. Il n'existe donc qu'un mode de récolte : à la faucille sur l'arbre. Si le cocotier est grand (hauteur > 8m), le régime devrait être descendu avec une corde de façon à ne pas détériorer les noix (au stade immature, la coque est encore très fragile). Mais ce dernier mode de récolte est très coûteux et rarement pratiqué.

9. Caractéristiques physico-chimiques du produit récolté

Nous présentons ici les caractéristiques des noix mures à la récolte.

Tableau 9 : Composition moyenne des noix de coco (hors Nains) mures de plusieurs pays issues de diverses variétés.

	Ghana	Mozambique	Philippines	Ste Lucie	Côte d'Ivoire
Poids total (kg)	1,06	1	1,05	1,1	1,2
	% poids frais total de la noix de coco				
Bourre	50	36	35	36	47
Coque	10	22	12	22	15
Eau	13	17	28	17	9,5
Amande	27	25	25	25	28,5

10. Logistique

Traditionnellement, les plantations de cocotier étant des plantations villageoises, le transport est peu mécanisé entre la parcelle et le lieu de première transformation. Le transport des sacs de noix ou d'amande se fait à « dos d'homme » ou à « tête de femme » en Afrique. Des vélos ou motos peuvent être utilisés, équipés d'une petite remorque.

Une fois l'amande séchée, le coprah est placé en sacs de jute de 50 kg et stockés dans des hangars ou sous de simples abris dont les toitures sont faites de palmes tressées. Les sacs doivent être tenus, le plus possible à l'abri de l'humidité et des insectes. Il faut donc les stocker sur des structures assurant un passage d'air sous les sacs. La ventilation limitera l'apparition de moisissures pouvant produire des aflatoxines. Le premier défaut rencontré sur le coprah, après un séchage insuffisant ou un séchage direct

ayant entraîné la détérioration du produit par les fumées, est la présence importante de toxines microbiennes. Mener un bon séchage et stocker correctement le coprah évite toute contamination de ce type.

Travailler sur de la matière fraîche pour extraire l'huile est également une autre méthode qui permet de supprimer les défauts liés à la fumée et aux microorganismes mais demande des infrastructures de transformation à proximité des sites de production.

11. Etapes du procédé

Source Memento de l'agronome, dernière édition.

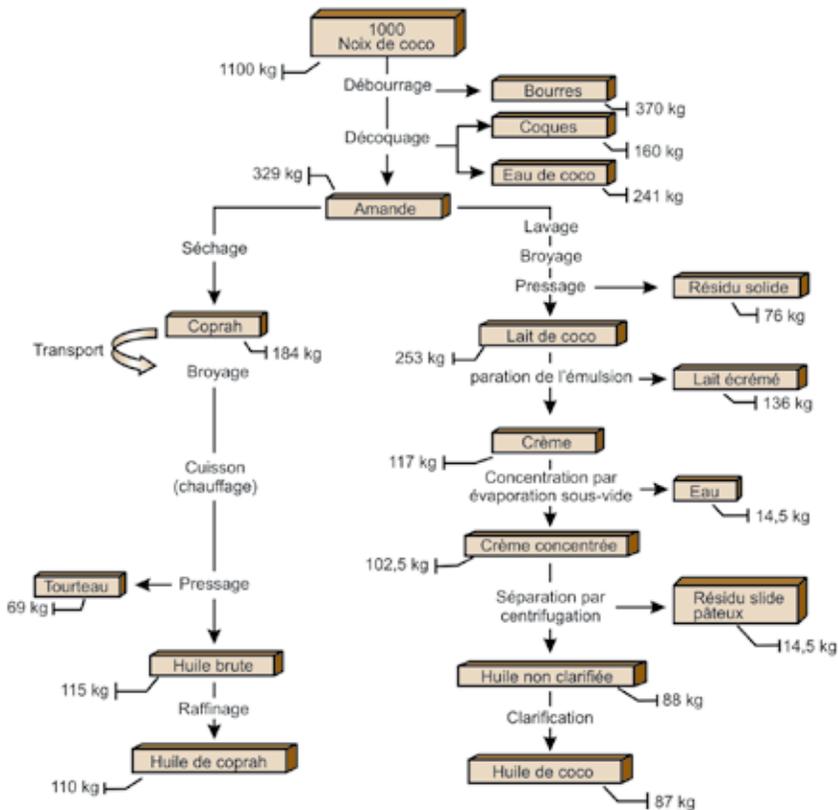


Figure 2 : Procédés de production d'huiles de coprah et de coco par la voie sèche (coprah) et la voie humide (coco).

12. Caractéristiques de l'huile de coprah

Tableau 10. Exemples de normes définissant les caractéristiques physico-chimiques de l'huile de coprah.

	Philippines Grade I (huile raffinée)	Codex alimentarius (huile raffinée)	Inde (huile raffinée)
Acidité (% acide laurique/MT)	0,1	0,6	0,5
Teneur en eau (%MT)	0,1	-	0,1
Insaponifiables (%MT)	0,5	1,5	0,5
Couleur (échelle Lovibond)	2	visuel	2
Indice de saponification	255	248-265	min. 250
Indice d'iode	7,5-9,5	6,0-11,0	7,5-10
Densité	0,915-0,920	0,908-0,914	0,915-0,920
Indice de réfraction (à 40°C)	1,448-1,449	1,448-1,45	1,448-1,449

13. Caractéristiques des co-produits

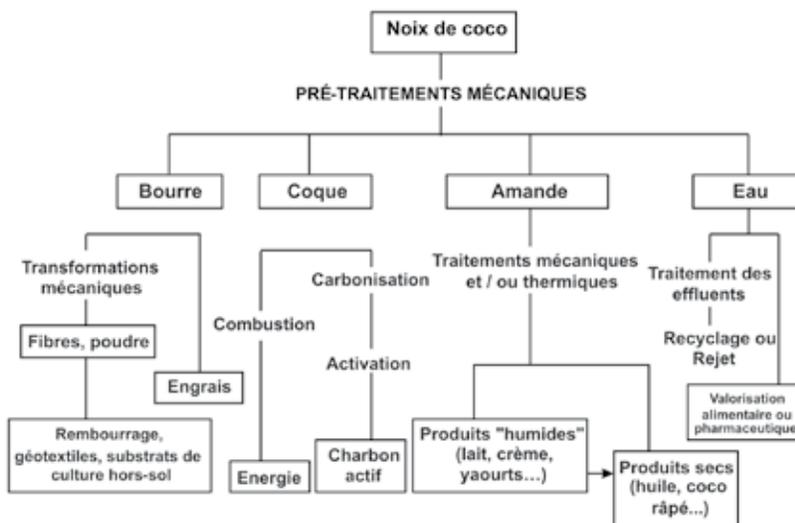


Figure 3 : Panorama des débouchés possibles des produits du cocotier. Le bois est également utilisé comme bois d'œuvre et la sève sert à faire du sucre et des boissons fermentées.

Tableau 11. Composition en acides gras de l'huile de coprah.

Pourcentage des acides gras	
Acide caprylique C8	5.0-10.0
Acide caprique C10	4.5-8.0
Acide laurique C12	43.0-53.0
Acide myristique C14	16.0-21.0
Acide palmitique C16	7.5-10.0
Acide stéarique C18	2.0-4.0
Acide oléique C18:1	5.0-10.0
Acide linoléique C18:2	1.0-2.5

14. Utilisation énergétique de l'huile

L'huile de coprah est utilisée depuis plusieurs années en Océanie (Nouvelle-Calédonie, Vanuatu, Fiji...) pour alimenter des groupes électrogènes. Elle est également introduite en mélange dans les carburants.

15. Utilisation non énergétique de l'huile

L'huile de coprah est une huile laurique et s'utilise dans tous les débouchés classiques de ce type d'huile : détergents, cosmétiques, alimentation (biscuiterie, pâtisserie...).

L'huile de coco extraite artisanalement par voie humide est une huile comestible non raffinée aux propriétés gustatives recherchées sur certains marchés des pays du Sud-Est Asiatique et au Ghana où elle est très utilisée. L'huile vierge de coco extraite par voie semi-humide (extraction sur amande fraîche « à froid ») est actuellement en plein essor. Ses vertus nutraceutiques sont vantées par de nombreux fournisseurs sur Internet (cf.§ ci-dessous) mais ces allégations restent à prouver scientifiquement.

16. Organisation du marché

Le marché international est encore aujourd'hui dominé par les échanges de coprah ou d'huile brute de coprah (CNO) non raffinée.

Toutefois, en 23 ans, les volumes d'exportation de coprah dans le monde ont baissé de 75%. Ceux d'huile de coprah ont augmenté (+60%) mais en bien moins grande proportion que ceux de noix de coco « fruits » (noix récoltées à maturité et dégagées de leur enveloppe fibreuse), qui ont triplé. Alors que les échanges d'huile de coprah subissent les aléas du marché des huiles végétales, le marché des noix de coco « fruits » reste stable et présente une courbe de croissance continue depuis 1997. Le coco râpé subit, quant à lui, le contrecoup du marché des oléagineux et présente une croissance moins spectaculaire que celle des fruits bien que les volumes aient doublé en 23 ans.

Depuis quelques années, l'augmentation de la production provient essentiellement des pays d'Amérique latine, et notamment du Brésil. La participation importante de ces pays au maintien d'un niveau de production constant, semble due à la conjonction d'une augmentation des surfaces plantées (+20000 ha au Brésil) et d'une amélioration non négligeable de leurs rendements. De 1999 à 2004, les rendements d'Amérique latine sont passés de 6.8 à 8.8 tonnes de noix/ha contre 4.4 à 5 tonnes/ha pour l'Asie. En équivalent coprah (facteur 0.3), cela représente des rendements moyens en 2004 de 1.5 t de coprah/ha en moyenne mondiale et 2.6 t de coprah/ha en Amérique latine.

Entre 1996 et 2001, les prix du coprah ont chuté puis sont remontés péniblement pour atteindre en 2004 leur niveau de 1980 à savoir 450 US\$/t.

Le marché brésilien des noix de coco est en plein essor et très captif car tourné vers la consommation en frais de noix de boisson : « agua de coco verde ». Les noix sont le plus souvent issues de plantation de variétés Naines.

Références Bibliographiques

ABSY, M. L.; BEZERRA, E. B.; KERR, W. E. 1980. Plantas nectaríferas utilizadas por duas espécies de *Melipona* da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 10, n. 2, p. 271-281.

ACORDO SUDAM/PNUD. Estudo de Mercado de Matéria-Prima: corantes naturais (cosméticos, indústria de alimentos), conservantes e aromatizantes, bio-inseticidas e óleos vegetais e essenciais (cosméticos e oleoquímica). Belém: 2000.

AGUIAR, J. P. L.; MARINHO, H.A.; REBELO, Y.S.; SHRIMPTON, R. Aspectos nutritivo de alguns frutos da Amazônia. *Acta Amazônica*, v.10, n.4, p.755-758, 1980.

AGUIAR, ROSA HELENA – Avaliação de girassol durante o armazenamento, para uso como semente ou para extração de óleo. Campinas, SP, 2001. 63p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola.

ALBUQUERQUE, Marcos L. S. et al. Characterization of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil by absorption and emission spectroscopies. *J. Braz. Chem. Soc.* 2005, vol. 16, n. 6a. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532005000700004. Acesso em: 15 dez2006.

ALENCAR, J. da C. Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijuga* HAYNE-LEGUMINOSAE, na Amazônia Central. 2 – Produção de óleo resina. *Acta Amazônica*, v. 12, n. 1, p. 79-82. 1982.

ALICE Web. Disponível em: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>. Acesso em 19 de outubro de 2007.

ALVES, M. O.; SOBRINHO, J. N.; CARVALHO, J. M. M. Possibilidades da mamona como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel no nordeste brasileiro. Documentos do ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004. 42p.

AMARAL, J.A.B. et al. – Zoneamento de risco climático para a mamona no Estado do Ceará. Safra 2004/2005. Comunicado Técnico 223. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Campina Grande, PB, 2004. Disponível em: www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/2004/COMTEC223.pdf. Acesso em 26 set2006.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO ALGODÃO – 2006. Disponível em: <http://www.anuarios.com.br/port/2006/algodao/default.php>. Acesso em: 17 nov2006.

BARROS, G. S. C.; SILVA, A. P.; PONCHIO, L. A.; ALVES, L. R. A.; OSAKI, M.; CENAMO, M. Custos de produção de biodiesel no Brasil. *Revista Política Agrícola* Ano XV – Nº. 3 – Jul./Ago./Set. 2006.

BORSARI, S. Filho – Potencial da cultura do amendoim como fonte de matéria-prima para o PNPB. Coplana. Piracicaba, SP, 2006. Disponível em: <http://www.ciagri.usp.br/~simpol/downloads/04%20Amendoim%20COPLANA.pdf>. Acesso em: 23/10/06.

CADERNOS NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Nº. 2 (jan. 2005). - Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005.

CALZAVARA, B.B.G.; MULLER, C.H. & KAHWAGE, O.N.C. 1984. Fruticultura tropical: o cupuaçuzeiro. Cultivo, beneficiamento e utilização do fruto. EMBRAPA/CPATU, Belém.

CÂMARA, G.M.S. – Introdução à cultura do amendoim. Piracicaba, SP, 2000. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

CÂMARA, G.M.S.; HEIFFIG, L.S. – Agronegócio de plantas oleaginosas: matérias-primas para biodiesel. Piracicaba, SP, 2005, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Produção Vegetal. 256p.

CARVALHO, L.O. - Cultura da mamoneira (*Ricinus Communis L.*). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. São Paulo.

CASA CIVIL. Grupo de Trabalho Interministerial (GTI) – biodiesel: relatório final. Brasília, DF, 2003.

CÁUPER, G. C. de B.; BIODIVERSIDADE AMAZÔNICA – FLORA AMAZÔNICA -VOLUME III; Manaus – Amazonas; 2006. Disponível em: http://www.povosdamazonia.am.gov.br/pdf/bio_vol3.pdf. Acesso em 11 novembro de 2007.

CAVALIERO, Carla Kazue Nakao; SILVA, Ennio Peres da. Estudo de viabilidade da introdução do uso de óleos vegetais na geração de energia elétrica nos sistemas isolados. Encontro de Energia no Meio Rural, 2000, Campinas, SP. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000200044&lng=en&nrm=iso. Acesso em 15 dez2006.

CLAY, J. W.; SAMPAIO, P. T. B.; CLEMENT, C. R. Biodiversidade Amazônica: exemplos e estratégias de utilização. 1 ed. Manaus: SEBRAE/AM, 2000, v. 1. 409 p.

CORREA, M.P; Dicionário de Plantas Úteis do Brasil, Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, 1926.

EMATER – Canola: informações práticas para o cultivo. Rio Grande do Sul, EMATER/RS – ASCAR, 2003. 12p.

EMBRAPA – A dendeicultura na visão do setor privado.

EMBRAPA – SPI – Dendê. Coleção Plantar. 1995.

Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais – EMATER. A cultura do Pequi. Acesso em: 08 de novembro de 2007. Disponível em: <http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload//LivrariaVirtual/a%20cultura%20do%20pequi.pdf>.

ENRÍQUEZ, G.; SILVIA, M.A.; CABRAL, E. Usos e potencialidades dos mais importantes produtos naturais do Pará. Belém: NUMA/UFGPA, 2003. 179p.

FALCÃO, M.A. & IERAS, e. 1983. Aspectos fenológicos, ecológicos e de produtividade do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.). Schum). Acta Amazônica.

FAO. Especies Forestales Productoras de Frutas y Otros Alimentos: ejemplos de América Latina. Roma, 1987. 241p.

FAO/CATIE. 1983. Palmeras poco utilizadas de America Tropical. Catie, Turrialba, Costa Rica, 245p.

FERNANDES, J. Sobre o óleo-resina de Copaíba e sua aplicação industrial. Manaus: Associação Comercial do Amazonas. 1949.

FERREIRA, E. J. L. F. Manual das palmeiras do Acre, Brasil. Disponível em: http://www.nybg.org/bsci/acre/www1/manual_palmeiras.html. Acesso em: 10 ago de 2005.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Programa Energia. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Relatório final. Belo Horizonte, 1983. 2v.

KABACZNIK, A. Aproveitamento energético do caroço de açaí (*Euterpe oleracea*) para fins industriais. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Química, UFGPA, Belém-PA, 1999.

LEITE, A.; ALECHANDRE, A.; RIGAMONTE-AZEVEDO, C.; CAMPOS, C. A.; OLIVEIRA, A. Recomendações para o manejo sustentável do óleo de copaíba. Rio Branco: UFAC/ SEFE, 2001. 38 p. il.

LORENZI, H., SOUZA, H. M., MEDEIROS-COSTA, J. T., CERQUEIRA, L. S. C. & E. J. L. FERREIRA. 2004. Palmerias brasileiras e exóticas cultivadas. Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 416p.

LORENZI, H.; SOUZA H. M. de; MEDEIROS COSTA, J. T.de; CERQUEIRA, L. S. C. de; VAN BEHR, N. Palmeiras no Brasil: nativas e exóticas. s.l.: Ed. Plantarum Ltda. 1996. 303p.

MIRANDA, E. M.; SOUZA, J. A.; PEREIRA, R. C. A. Subsídios técnicos para o Manejo Sustentável da Unha-de-gato (*Ucariá spp.*) no Vale do Rio Juruá-AC. Rio Branco: EMBRAPA, 2001. 21p.

MIRANDA, R.M. ; MOURA R.D. - Óleo de dendê, alternativa ao óleo diesel como combustível para geradores de energia em comunidades da Amazônia.

NAGHETINI, C. C. da; Caracterização físico-química e atividade antifúngica dos óleos essenciais da cúrcuma. Faculdade de Farmácia da UFMG; Belo Horizonte – MG 2006. Disponível em: <http://dspace.lcc.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/MBSA-6W7GYR/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o+mestrado.pdf>. Acesso em 27 de outubro de 2007.

NASCIMENTO, J.C. 1980. Ecological studies of sesquiterpenes and phenolic compounds in leaves of *Copaifera multijuga* Hayne (Leguminosae) in a Central Amazonian rain forest. Thesis PhD, University of California.

NETO, M.S.A. et al – Zoneamento agroecológico e definição da época de semeadura do algodoeiro no Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v.9, n.3, 2001 (no especial: Zoneamento Agrícola). p.422-428. Disponível em: www.agritempo.gov.br/modules.php?name=Downloads&d_op=getit&lid=19. Acesso em: 08 nov 2006.

PESCE, C. 1941- Oleaginosas da Amazônia. Oficinas gráficas da Revista veterinária, Belém, Pará.

PINTO, P.G. 1963. Características Físico-Químicas e outras informações sobre as principais Oleaginosas do Brasil. Bol. Téc. 18. Ministério da Agricultura, Recife, Pernambuco.

PORTO, Maria José Fernandes – Estudo preliminar de dispositivo de quebra e caracterização dos parâmetros físicos do coco babaçu. São Luís, MA, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas – Comissão de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

PRANCE G. T. & SILVA, M. F. 1975. Árvores de Manaus. CNPQ-IMPA, Manaus.

PRANCE G. T. 1987. Botânica Econômica de algumas Espécies Amazônicas: Açaí, buri, Pupunha, Pau-rosa, Araçá –boi, Camu-camu, Abiu, Copaíba, Piassaba, Patuá, Sorva, e Tucumã. Relatório de Botânica Econômica, IMPA/FUA, Manaus.

REZENDE, Josiane de Castro – Amendoim: uma alternativa no mercado de óleos refinados. São Paulo, SP, 1999. Trabalho de formatura – Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Produção.

RIBEIRO, G. D.; COSTA, R. S. C. C.; FERREIRA, M. G. R. F.; NASCENTE, A. S.; NUNES, A. M. L.; TEIXEIRA, C. A. D.; BENTES-GAMA, M.M. Cultivo do cupuaçu em Rondônia. Embrapa Rondônia. Sistemas de Produção, 9. ISSN 1807-1805 Versão eletrônica. Dez./2005.

RIGAMONTE-AZEVEDO, O.C.; WADT, P. G. S.; WADT, L. H. de O. Copaíba ecologia e produção de óleo-resina. Rio Branco: EMBRAPA Acre. 2004.

- RITTNER, H. – Óleo de mamona e derivados. São Paulo, SP, 1996. 559p.
- ROCHA FILHO, G. N. da; A estabilidade de óleos vegetais. II Workshop de química e meio ambiente. UFPR/ Laboratório de catálise e bioquímica. 2006. Disponível em: http://www.eln.gov.br/Conhecimento/IIIWorkshopQuimica/_palestras/Palestra_14_Narciso.pdf. Acesso em 10 de outubro de 2007.
- RODRIGUES SOBRINHO, F. das C.; SANTANA, J.N. A agroindústria do palmito no Estado de Rondônia: estudos preliminares. Ouro Preto do Oeste, RO: CEPLAC/SUPOC, 1999. n.p.
- SANTOS, R. C.; GONDIM, T. M. S.; FREIRE, R. M. M. Cultivo do amendoim: produção e comercialização. Embrapa algodão. Sistemas de Produção, nº7. ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica. Dez/2006.
- SANTOS, R. C.; GONDIM. Cultivo do amendoim: colheita e pós colheita. Embrapa algodão. Sistemas de Produção, nº7. ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica. Dez/2006.
- SEBRAE/SUFRAMA/MMA. Produtos potenciais da Amazônia: urucum, 1998.
- SEBRAE-SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DO ACRE. Opções de investimento no Acre com Produtos Florestais Não-Madeireiros. Rio Branco, 1995.
- SHANLEY, P.; CYMERIS, M.; GALVÃO, J. Frutíferas da mata na vida amazônica. Belém: [s. n.], 1998. p. 91-98.
- SHANLEY, P.; MEDINA, G. Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica. Belém: CIFOR, Imazon, 2005. 304p.
- TEIXEIRA, M. A. Estimativa do potencial energético na indústria do óleo de babaçu no Brasil. Encontro de Energia no Meio Rural, 2000, Campinas, SP. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000200045&lng=en&nrm=iso. Acesso em 08 dez2006.
- TEIXEIRA, S. M.; MILHOMEM, A. V.; ROLIM, H. M.V. Cultivos alternativos para sustentabilidade da Agricultura familiar nos cerrados. Acesso em: 08/11/2007. Disponível em: www.herbario.com.br/dataherb13/Paper0553.pdf.
- TOMM, G.O. – Canola: alternativa de renda e benefícios para os cultivos seguintes. Revista Plantio Direto, v. 15, n. 94, p.4-8, jul./ago. 2006. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/canola-rev_plantio_direto2006.pdf. Acesso em 30nov2006.
- UNGARO, M.R.G. – Potencial do Girassol como fonte de matéria-prima para o PNPB. II Simpósio do Agronegócio de Plantas Oleaginosas. IAC. Disponível em:

<http://www.ciagri.usp.br/~simplol/downloads/05%20Girassol%20IAC.pdf>. Acesso em: 30 out2006.

ZONA, S. & A. HENDERSON. 1989. A review of animal-mediated dispersal in palms.

• Sites Internet :

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/> – Embrapa

www.ibge.com.br – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

www.agricultura.gov.br – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

www.conab.gov.br – Companhia Nacional de Abastecimento

www.iac.sp.gov.br – Instituto Agronômico

www.biodieselbr.com – Portal do Biodiesel

www.cnpa.embrapa.br – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

www.aboissa.com.br – Aboissa Óleos Vegetais

www.agropalma.com.br – Grupo Agropalma

www.orgadem.org – Organização de Apoio ao Desenvolvimento dos Municípios

www.campestre.com.br – Campestre Indústria e Comércio de Óleos Vegetais LTDA

www.iea.sp.gov.br – Instituto de Economia Agrícola

www.cnpso.embrapa.br – Embrapa Soja

www.wikipedia.org – A Enciclopédia Livre

www.agrobyte.com.br – Agrobyte, Semeando Informações

www.algodao.agr.br – Algodão Brasileiro

www.canola-council.org – Canola Council of Canada

www.bibvirt.futuro.usp.br/especiais/frutasnobrasil – Frutas no Brasil

www.assema.org.br – Associação em Áreas de Assentamento no Estado do Maranhão

www.biologo.com.br/plantas/cerrado – Plantas do Cerrado

www.agenciaamazonia.com.br – Espécie nativa do Acre pode virar biodiesel

<http://www.latelierparfums.com.br/murumuru.htm> – Latelier Cultural/ Pesquisa e literatura

<http://r0.unctad.org/infocomm/espagnol/cacao/tecnologia.htm> – UNCTAD

Chapitre 2

Extraction, conditionnement et utilisation des Huiles Végétales Pures Carburant

Christian Bedrossian, Gilles Vaitilingom

Introduction

L'après pétrole, unique fournisseur de carburants liquides, est inéluctable parce que depuis la fin des années 80 les découvertes couvrent à peine l'augmentation de la demande mondiale. Dans l'état actuel de nos modes de consommation l'apparition de nouvelles sources de carburants renouvelables ou non est une nécessité. L'arrivée de biocarburants dans les fiouls et essences est fortement prévisible que ceux-ci soient issus de ressources nationales ou pas.

Le Brésil est un des pays pilote dans l'utilisation et la production de biocarburant. A lui seul, il produit déjà 34% de la production mondiale en bioéthanol.

Dans ce contexte de forte croissance des prix du baril de pétrole et de préoccupations environnementales, certains acteurs socio-économiques, issus notamment du monde agricole et para agricole, commencent à s'intéresser à l'utilisation des huiles végétales pures pour des usages énergétiques comme la carburation automobile, les moteurs fixes (pompes, groupes électrogènes), la combustion (chauffage de bâtiments, serres...), ou certaines applications industrielles (lubrifiants, solvants non toxiques, peintures, encres...).

Ces huiles sont produites à partir d'oléagineuses (Colza, Tournesol, Buriti, Babassu, Palme...) Cette production est fonction des contextes économiques et sociaux. Le secteur agricole leur accordent une attention de plus en plus importante et s'interrogent sur leur utilisation comme alternative partielle aux énergies d'origine fossile.

Depuis 2005, un des principaux objectifs du Brésil est de développer la production des biocarburants à partir des huiles végétales afin de :

- développer l'activité économique locale,
- favoriser l'inclusion sociale,
- produire un produit de qualité à prix compétitifs.

L'implication du Brésil dans cette démarche lui permettra de se diversifier autant dans la fabrication de biocarburants que dans la production des matières premières en ne négligeant aucune région.

1. Les Huiles végétales naturelles (ou pures¹) carburants

1.1. Généralités :

Les substances à partir desquelles sont produites les huiles sont soit des graines ou des amandes soit des fruits. En fait, toutes les graines, tous les fruits et toutes les amandes contiennent de l'huile, mais seuls sont appelés oléagineux ceux qui servent à produire industriellement de l'huile et qui sont cultivés dans ce but.

Parmi les graines de plantes cultivées pour leur huile, les plus connues sont : l'arachide, le colza, le ricin, le soja et le tournesol. Il faut y joindre les graines de plantes cultivées pour fournir des fibres textiles - et subsidiairement de l'huile tel que le coton et le lin principalement. Quant aux fruits oléagineux et aux amandes, ils proviennent principalement du cocotier (noix de coco contenant le coprah), du noyer, du palmier à huile (palme et palmiste) et de l'olivier (olives).

1.2. Caractéristiques

La composition chimique des huiles végétales correspond dans la plupart des cas à un mélange de 95 % de triglycérides et 5 % d'acides gras libres, de stérols, cires, et autres composants minoritaires. Les triglycérides

¹ Le terme anglais Pure Vegetable Oil se traduit mal en français par : « Huile Végétale Pure ». En effet le mot « Pure » signifie « utilisée seule » alors que le sens désigne ici une huile végétale non modifiée chimiquement soit une huile végétale « Naturelle ». C'est sous le nom d'HVP (Huiles Végétales Pures) que celles-ci se diffusent en France.

sont des tri-esters formés par la réaction d'acides gras sur les trois fonctions alcools du glycérol (Figure 1). R, R', R'', = C7H15, C9H19, C11H23, . . . , C17H35, C17H33, C19H39

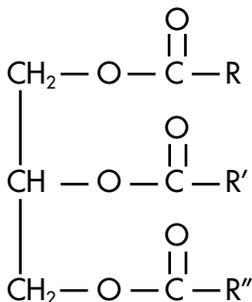


Figure 1 : Formule triglycéride

Classification :

Les huiles végétales peuvent se diviser en 4 grands groupes, l'indice d'iode servant à les discriminer :

- les huiles dites saturées de type : indices d'iode de 5 à 50
 - lauriques : coprah, palmiste, babassu,...
 - palmitiques : palme, buruti
 - stéariques : karité
- les huiles monoinsaturées (semi-siccatives) : indices d'iode de 50 à 100
 - oléiques : olive, arachide, colza, sésame, jatropha curcas, ricin
- les huiles di-insaturées (semi-siccatives) : indices d'iode de 100 à 150
 - linoléique : tournesol, coton, maïs, soja,....
- Les huiles tri-insaturées (siccatives) : indices d'iode > 150
 - linoléniques : lin
 - éléostariques : huile de bois de chine

L'indice d'iode permet de se rendre compte de l'insaturation d'une huile : il varie entre 0 et 200g/100g. Il correspond au nombre de grammes d'iode fixés par 100g de corps gras (NF T60-203). Il est donc en rapport direct avec le degré d'insaturation d'un corps gras : plus une huile est insaturée, plus l'indice d'iode est élevé.

Cette mesure consiste à mettre en présence de grande quantité de diiode avec de l'huile (deux atomes d'iodes liés par un atome de chlore et de l'acide acétique, soit I₂ (acide) + Cl (acide)). L'I₂ coupe les doubles liaisons et se fixe à l'acide gras. Ensuite, on détermine combien d'ion I⁺ ont été capturés par les doubles liaisons. On peut ainsi en déduire le degré d'insaturation du corps gras analysé.

D'un point de vue « qualité » carburant, plus l'huile est saturée ou plus faible est son indice d'iode, meilleure elle est. En revanche les huiles saturées présentent des températures de solidification élevées et posent des problèmes pratiques d'utilisation. Il en est de même pour leurs esters éthyliques ou méthyliques (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques physiques et "carburant" des huiles végétales comparées au Diesel et à l'ester méthylique d'huile de colza

	Masse volumique (20 °C) g.cm ⁻³	Viscosité (20 °C) mm ² /s	Point	Point de trouble °C	Point éclair °C	Indice de cétane	Résidus de carbone %	Pouvoir calorifique MJ/kg
Diesel	0,836	6	-18	-9	93	50	< 0.01	43.8
Ester méthylique de colza	0,880	7	-12	-4	183	52	0.02	41
Coprah	0,915	30*	23/26	28	230	43	0,5	37.1
Palme	0,945	60*	23/40	31	280	39	0.42	36.9
Buriti	0,912 à 25°C	138,3	-4	-	-	-	-	39,08
Ricin	0,955	850-1100	-10 à -20	-	265	-	0,1	37,20
Babassu	0,946	25,5 à 25°C	22/26	26	234	38	0,28	35,28
Coton	0,921	73	-2	1	243	34	0.49	36.8
Pourghère	0,920	75,7	-3	2	236	35	1.31	38.8
Arachide	0,914	85	-1	9	258	32	0.5	39.3
Colza	0,920	78	-6	-4	285	32	0.5	37.4
Soja	0,920	61	-4	-4	330	30	0.54	37.3
Tournesol	0,925	58	-6	-2	316	32	0.35	37.8

* viscosité cinématique à 40 °C

Les huiles végétales ont des caractéristiques similaires à celles du fioul. En particulier, un indice de cétane qui indique une aptitude au fonctionnement en cycle Diesel. Plus il est élevé, plus le carburant est apte à l'auto inflammation. Mais, si les valeurs présentées dans les tableaux permettent une classification en terme de qualité des huiles végétales, elles ne sont pas directement comparables à celles du fioul. En effet, l'huile de tournesol qui présente un indice de cétane de 32 se comporte mieux dans un moteur diesel que des fiouls de mêmes indices.

En fait, les spécifications actuelles des carburants pétroliers sont issues d'un passé, d'une histoire de l'industrie pétrolière liée étroitement au développement des moteurs à combustion interne. Les valeurs normalisées ou communément admises sont les fruits de données pratiques et empiriques. Beaucoup de ces spécifications sont des tests "pétroles" qui perdent leur sens comparatif dans certain cas.

- la température de distillation : la norme prévoit que 90 % du produit doit être distillé dans la fourchette 282-338°C. Or il n'y a pas de réelle distillation des huiles végétales mais seulement d'une partie des acides gras, puis décomposition thermique.
- le point de trouble : la norme prévoit 2°C, ce qui exclut l'huile de palme, par exemple, solide à 20°C alors qu'elle est considérée comme un bon biocarburant.
- Notons que les points éclair élevés des huiles végétales garantissent une meilleure sécurité au stockage.

1.3. Historique :

L'intérêt des huiles végétales en tant que carburant des moteurs à cycle Diesel n'est pas nouveau. Dans les années 1920, ingénieurs et chercheurs se sont consacrés à l'étude de carburants végétaux dans le souci de valoriser un carburant dont les caractéristiques se rapprochaient le plus des huiles de pétrole, ceci sans aucun préalable de non faisabilité ou d'excentricité de telles solutions. En effet, c'était une solution très attractive pour les zones coloniales, riches en oléagineux, qui avaient sur place une source d'énergie renouvelable les rendant indépendantes d'approvisionnements problématiques par leur isolement des métropoles.

Citons à ce propos une communication de M Rudolf Diesel (1858-1913) lui-même en 1911

“On ignore généralement que l’on peut employer directement dans les moteurs diesels les huiles animales ou végétales En 1900, la société OTTO avait exposé à l’Exposition Universelle de Paris un petit moteur qui, à la demande du gouvernement français marchait à l’huile d’arachide et fonctionnait tellement bien que très peu de gens s’apercevait du changement. Le moteur était construit pour employer les huiles* ordinaires et fonctionnait à l’huile végétale sans aucune modification. J’ai récemment recommencé ces essais sur une grande échelle avec plein succès et ils ont entièrement confirmé les résultats obtenus précédemment. Le gouvernement français avait en vue l’utilisation des grandes quantités d’arachide dont on dispose dans les colonies africaines et qui sont d’une culture facile. On pouvait ainsi doter les colonies d’usines de production de force motrice et d’établissements industriels, sans qu’il soit nécessaire d’y importer de la houille ou du combustible liquide.

Des essais semblables, couronnés du même succès, ont également été faits à Saint Pétersbourg avec de l’huile de ricin. On a même essayé avec plein succès les huiles animales telle que l’huile de poisson.”

* de pétrole (ndlr)

Exemples d’utilisations des HVP entre 1920 et 1950.

- Il y eut des essais isolés mais également des utilisations pratiques et de longue durée au début de la dernière guerre. Notamment dans le port d’Abidjan (Côte d’Ivoire) où le ravitaillement en carburants classiques devenant difficile, la Société de Construction du port utilisa, dans ses moteurs de 50 à 800 chevaux, de l’huile de palme filtrée à raison de 100 tonnes par mois.
- Durant la dernière guerre, 30 à 40 camions de l’armée française fonctionnant à l’huile d’arachide effectuaient chaque semaine la liaison Dakar-Alger (3 500 km)

Les essais et recherches, renforcés au cours de la dernière guerre, se poursuivirent jusqu’en 1952 dans plusieurs laboratoires spécialisés

français (Laboratoire de Mécanique physique de St Cyr ; UTAC Union Technique de l'Automobile et du Cycle; etc). La recherche connaît un regain d'engouement dans les années 1975, à la suite du premier et du second choc pétrolier. Les constructeurs de machines agricoles étudient la possibilité d'utiliser les huiles végétales comme substitut du fuel ou du gazole (JOHN DEERE, CATERPILLAR, INTERNATIONAL HARVESTER, VOLKSWAGEN, FIAT, MERCEDES,...), beaucoup d'essais sont alors réalisés jusqu'en 1984.



Photo 1 : Moteur à l'huile de palme
(Photo Cirad)

1.4. Avantages des huiles végétales comme carburant :

Les huiles végétales naturelles ont des propriétés énergétiques proches de celles du fioul. Produites par l'agriculture, elles ne sont pas un substitut direct de l'essence mais bien du gazole qui est le principal carburant agricole. Par ailleurs, elles se mélangent très bien aux fiouls. Les huiles issues de cultures annuelles ou de plantations pérennes peuvent être produites directement sur l'exploitation. L'impact sur l'écosystème local est aisément évaluable. Les moyens de production s'appuient sur des techniques et des technologies disponibles et existantes en petites, moyennes ou grandes capacités. La qualité requise en tant que carburant n'est pas aussi exigeante que pour l'alimentation humaine. Les stockages et transferts, s'ils exigent de la propreté, ne nécessitent pas de matériaux alimentaires. Une huile impropre ou toxique à la consommation humaine peut être utilisée comme carburant comme par exemple l'huile de ricin (mamona). Enfin leur utilisation en tant que biocarburant peut se faire selon deux voies :

- en tant que carburant industriel : par trans-estérification à l'aide d'un alcool méthylique ou éthylique ou par cracking catalytique².

² Le cracking catalytique est une réaction effectuée à 400°C minimum, elle permet de séparer, sous forme de CO₂, la partie oxygénée d'une huile végétale et de couper ses longues chaînes en molécules plus petites. Cela permet de se rapprocher de produits pétroliers tels que essence, gazole et gaz.

- en tant que carburant local en circuit court d'autoconsommation. Dans ce cas on privilégiera l'usage sous leur forme naturelle.

La première voie nécessite une transformation chimique sophistiquée si l'on ne veut pas générer trop de pertes lors de l'estérification. Cette voie s'applique généralement aux moyennes ou grandes productions industrielles, elle s'éloigne souvent des exploitations agricoles.

La seconde voie peut s'envisager sur les lieux de production de la matière première. Elle est rapidement applicable et peut ne pas nécessiter d'intrants souvent onéreux.

La production d'huiles végétales biocarburant³ présente des avantages écologiques. Ainsi, l'agriculture produit de cinq à dix fois l'énergie qu'elle consomme. Cette énergie se présente sous la forme de produits alimentaires énergétiques et de sous-produits utilisables pour produire de l'énergie (bagasse de canne à sucre par exemple). Mais aujourd'hui l'agriculture moderne dépend de la mécanisation. Laquelle est totalement dépendante de carburant liquide. L'intérêt du circuit court d'autoconsommation d'huile végétale naturelle permet de produire le carburant nécessaire à la production agricole dans un rapport proche de l'idéal qui est de 1 pour 10. Autrement dit, un hectare de tournesol ou de colza peut produire 9 hectares d'oléagineux sans recours à du carburant pétrolier. Enfin, l'intérêt, pour des unités de production agricoles petites ou moyennes est de pouvoir produire localement l'huile alimentaire, le carburant nécessaire à la production, le sous-produit (tourteau) utilisable directement en alimentation animale.

Ce qu'il faut retenir:

Les huiles végétales présentent des caractéristiques proches de celles des fiouls et se révèlent de bons carburants pour les moteurs diesels. Alors, pourquoi aujourd'hui si peu d'applications carburant des huiles végétales ?

³ L'utilisation d'huiles végétales bio carburant permet de ne pas augmenter le volume de CO₂ rejeté dans l'atmosphère (la quantité rejetée pendant la combustion équivaut à la quantité stockée par l'activité photo synthétique des plantes), au contraire de l'utilisation de carburant fossile, et joue donc un rôle positif dans le contrôle de l'effet de serre. En circuit court, l'usage de 1000 litres d'huiles végétales permet d'atteindre 3,2 tonnes de CO₂ évité.

L'histoire indique que M. Diesel, inventeur de ce type de moteur, les avait qualifié comme carburant dès 1900. C'est l'évolution économique et industrielle mondiale qui a spécialisé les moteurs vers le pétrole, ressource plus abondante et, hier, plus facile d'accès.

Comme toutes les « énergies vertes », l'huile végétale est en période normale et à moyen terme plus chère que le pétrole. Par ailleurs, les huiles ne respectent pas, par nature, les spécifications standards établies pour les produits pétroliers, ce qui pose des problèmes techniques à leur usage dans les moteurs courants et leur interdit des homologations d'usage dans beaucoup de pays développés (eux-mêmes constructeurs des moteurs).

Enfin, la compétition entre usages énergétique et alimentaire demeure un facteur de blocage fort.

2. Extraction et conditionnement des huiles végétales carburant

La production d'huiles végétales à destination carburant utilise les mêmes équipements que la production alimentaire traditionnelle que ce soit à l'échelle artisanale ou industrielle. Les différentes étapes de la récolte à l'obtention de l'huile « carburant » sont données dans la figure 2.

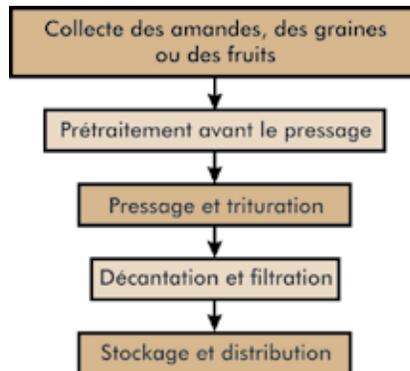


Figure 2 : Diagramme pour la production des huiles carburants

2.1. Collecte des amandes, des graines ou des fruits

La récolte peut s'effectuer manuellement ou mécaniquement (cf fiches techniques). Dans certains cas, l'usage d'une machine peut entraîner une dégradation des fruits, des graines ou des amandes



Photo 2 : Récolte mécanisée
(Photo David Nance.
www.diplomatie.gouv.fr/)

augmentant l'acidité de l'huile. En généralisant, la récolte des graines se fait mécaniquement alors que celle des fruits s'effectue à la main.

Tableau 2 : origine de quelques huiles et type de récolte

	Origine de l'huile :	Mécanisation de la récolte :	Types de machine
Coprah	amande	non	
Palme	pulpe du fruit	non	
Buriti	Pulpe du fruit	non	
Ricin	amande	oui	Temo-ingrequip
Babassu	amande	non	
Coton	graine	oui	Cotton pickers ou cotton stripper
Pourghère	amande	non	
Arachide	graine	oui	Récolteuse à arachide
Colza	graine	oui	Moissonneuse batteuse
Tournesol	graine	oui	Moissonneuse batteuse

2.2. Prétraitement avant le pressage

Nous invitons le lecteur à se referer aux fiches techniques

2.3. Pressage et trituration

Elle s'effectue en trois étapes :

- le pressage/trituration à froid, sans modification chimique,
- la décantation,
- la filtration.

Pour produire l'huile, on peut installer les équipements de l'huilerie (silo de stockage des graines, presse, cuves de décantation et filtre) sous un abri ou dans un hangar.

Le pressage des fruits à pulpe peut être réalisé par extraction manuelle (Photo 1) ou extraction thermique/mécanique. Lorsque celle-ci est mécanisée, on parvient ainsi à un rendement nettement supérieur. Pour

cela, on peut utiliser le pressurage ce qui permet d'obtenir l'huile de palme brute et les tourteaux. L'extraction peut être mécanisée. Les principaux procédés sont :

- les presses hydrauliques, presses à vis sans fin ou à barreau, qui laissent 9 à 11% d'huile sur fibre sèche,
- les presses en continu qui laissent entre 8 à 9% d'huile sur fibre sèche mais qui cassent beaucoup les noix et qui extraient des huiles fortement chargées en boue,
- lesessoreuses centrifuges qui conviennent bien aux fruits pauvres en pulpe,
- le malaxage/lavage qui consiste à laver la pulpe avec de l'eau très chaude pour entraîner l'huile mais sa récupération dans les boues est difficile.



Photo 3 : Presse manuelle à huile de palme. Amazonie (Photo Cirad)

Le pressage des amandes et graines oléagineuses est optimisé avec un taux d'humidité de graines ou amandes compris entre 5 et 8 % et un taux d'impuretés inférieur à 2 %. Pour ces différentes graines oléagineuses, on peut utiliser soit des presses manuelles soit des presses motorisées. Toutes les presses motorisées sont équipées d'une vis, mais la cage de presse et la forme de la vis sont différentes d'une marque à l'autre et aussi en fonction de l'amande traitée. Les presses manuelles font souvent appel à l'ingéniosité de leur concepteur qui cherche à appliquer une très forte pression à un lot d'amandes préparées pour l'extraction. Pressions par cric hydraulique, vis de vérin, bras de levier (voir photo ci-dessus) sont toutes efficaces. On peut obtenir de très bons taux d'extraction avec ces équipements le

plus souvent fabriqués artisanalement. En revanche les quantités horaires d'huile produite sont très réduites. Au delà de 10 litres d'huile par jour on préférera une presse motorisée.

■ Les presse à vis à barreaux (40kg/h à plus de 2 000 kg/h) :

L'huile passe à travers des barreaux ou des anneaux dont l'espacement est réglable en fonction du type de graines à presser. Un diamètre croissant de la vis augmente la pression sur les graines. L'espacement en sortie de presse est également réglable, les tourteaux sortent sous la forme de plaquettes ou écailles (Photo 2).



Photo 4 : Presse à barreaux (Photo Cirad)

■ Presse à vis à cage percée (< 50 kg/h) pour les petites capacités

Le corps de la presse est percé pour permettre l'écoulement de l'huile au fur et à mesure du pressage. La vis présente un diamètre croissant pour augmenter la pression en fin de parcours des graines. Les tourteaux passent dans des buses interchangeables dont ils épousent la forme. Une bague de réchauffement évite les blocages dans les buses au démarrage (Photo 3). Les tourteaux sortent sous forme de granulés.

Selon le type de presse et la manière dont on presse les graines, on obtient des tourteaux avec des teneurs en matières grasses différentes allant de 7 à 25 %. Par ailleurs, le rendement d'extraction est lié à la vitesse de rotation de la vis et au diamètre de la buse de sortie : plus la vitesse de rotation est faible et le diamètre de la buse réduit, plus le rendement d'extraction est élevé. Toutefois dans ce cas, le rendement horaire décroît.



Photo 5 : Presse à vis pour huile de palme (Photo Cirad)

Le pressage industriel utilise le même type de matériels mais à plus grande échelle. L'industrie ajoute généralement une étape de raffinage des huiles. C'est une succession de traitements tels que : la désodorisation, la décoloration, la neutralisation, etc...

2.4. Traitements et qualité

Les exigences de « qualité carburant » sont différentes de celle des huiles alimentaires. Elles dépendent également du type d'oléagineux traité ; coprah et palme ne contiennent pas de cires comme le tournesol, lequel contient peu de gommes comparé au colza. Par ailleurs, elles sont liées au procédés d'extraction utilisé : les huiles brutes industrielles sont chargées de phosphore et de cires ce qui ne sera pas le cas des huiles artisanales. D'autre part, la qualité dépend de la manière dont on extrait l'huile mais aussi de la qualité de la graine ou du fruit récolté ainsi que de son stockage avant pressage.

Pour favoriser une certaine qualité de l'huile végétale carburant, il est nécessaire de ne pas laisser trop de temps entre la préparation et l'extraction. Il faut privilégier une pression à basse température. Un cisaillement trop important des graines produit une élévation de température de l'huile. Ce point est important, car une température élevée favorise la libération dans l'huile des phospholipides contenus dans les parois cellulaires des graines. Ces derniers sont des facteurs d'encrassement lors d'une utilisation dans des moteurs ou des brûleurs. Précisons que l'apparition de phospholipides en quantités indésirables est surtout liée au pressage du colza. Ce n'est généralement pas le cas pour les graines de tournesol qui, en revanche, génèrent des cires tout aussi indésirables. Il n'y a pas de cires non plus dans

les huiles de palme ou de babassu et leur contenu en phospholipides est généralement faible.

Pour améliorer la qualité des huiles végétales, on procède à une série de traitement. Pour les huiles naturelles carburant, les traitements sont simples mais les huiles doivent respecter les exigences citées ci-dessous:

- Elles doivent contenir peu de matières insolubles. Moins de 500 ppm après une filtration à 10 microns.
- Elles ne doivent pas contenir plus de 50 ppm de phosphore (révélateur des phospholipides. On mesure leur taux par le dosage du phosphore).
- Elles ne doivent pas contenir plus de 500 ppm de cires.

Pour répondre à ces différents critères et à la normalisation des huiles végétales carburants, on effectue une décantation puis une filtration afin d'éliminer les impuretés et de diminuer la teneur en phospholipides et en cire.

2.5. Décantation et filtration

Le procédé de décantation est simple (Figure 3). Il consiste à mettre en série des cuves et à introduire l'huile d'après pressage. Les matières les plus lourdes sont entraînées au fond des cuves. Le trop plein passe dans la cuve suivante et ainsi de suite jusqu'à clarifier suffisamment l'huile.

La figure ci-joint, nous montre un des procédés de décantation. Il a la particularité d'avoir des vannes afin d'éliminer les matières en fond de cuve. Les simples cuves en cascade sont efficaces mais elles ont l'inconvénient de devoir être nettoyées régulièrement.

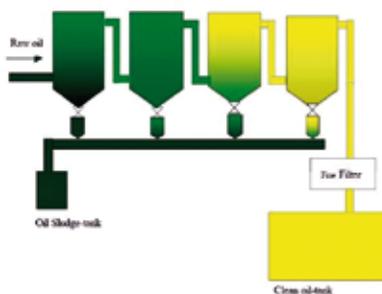


Figure 3 : Procédé de décantation schématisé

Pour utiliser l'huile dans un moteur ou comme combustible en chaudière, il est nécessaire de nettoyer l'huile par filtration soit directement en sortie de presse, soit après des phases de décantation. Il est préférable de l'effectuer après décantation afin de minimiser le temps de filtration et les problèmes rencontrés lors de la filtration d'une huile chargée en impuretés (obstruction des filtres, usure du matériel de filtration,..).

Dans le cas d'utilisation en chaudière une filtration à 10 μm est généralement suffisante. Mais pour éviter l'encrassement des filtres à gazole des moteurs, il faut une filtration minimum de l'huile de 5 μm , mais on peut affiner jusqu'à une porosité de 1 μm . Plus on utilisera un filtre de fine porosité plus on optimisera la qualité de l'huile mais avec un temps de filtration beaucoup plus long.

Il existe plusieurs systèmes de filtration :

- à cartouche. Les cartouches, qui doivent être changées tous les 6 000 à 8 000 litres, éliminent les particules supérieures à 1 μm . Ces filtres sont interdits pour les usages alimentaires en raison des composés utilisés pour leur fonctionnement mais sont utilisables pour de l'huile carburant.
- à plaque (Figure 4). Des cadres de filtration en coton ou en polypropylène retiennent les impuretés. L'huile est « recirculée » à travers le « gâteau » formé par les impuretés jusqu'à ce qu'on atteigne le degré de filtration souhaité (filtration par accumulation).. Une autre technique consiste à faire passer l'huile sous pression entre les cadres (filtration tangentielle). L'huile ne fait alors qu'un seul passage.
- à membrane. Des poches existent en différentes matières avec plusieurs grades de filtration (100 à 1 μm). La plupart sont lavables et peuvent être utilisées 3 à 4 fois. Ces poches sont adaptées aux petites productions (<1000 litres/jour) telles que celles des circuits courts.

Pour obtenir une huile carburant filtrée à 1 μm , il est préférable de procéder à deux filtrations successives. La première filtration permet d'éliminer toutes les particules de tailles supérieures à la porosité du filtre choisi (par exemple 50 μm) tout en gardant un débit suffisant. Ensuite, on effectue une seconde filtration avec le filtre de faible porosité (1 μm) pour éliminer toutes les particules d'une taille supérieure à 1 μm .

L'emploi d'une seule filtration entraîne des colmatages du filtre dont la fréquence est fonction du taux d'impuretés de l'huile à traiter. L'intérêt d'une bonne étape de décantation apparaît ici, même si cette dernière mobilise volumes et espaces dans les ateliers de production.

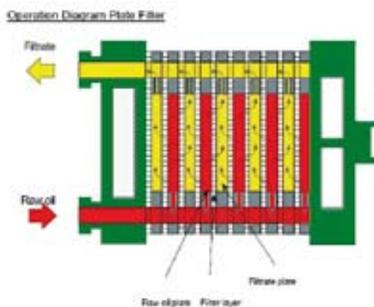


Figure 4 :Exemple de filtre à plaque(Photo CIRAD)

2.6. Stockage et distribution

Afin de minimiser la pollution d'une huile végétale, il est préférable de stocker les graines plutôt que l'huile car le stockage de l'huile reste un poste exigeant en terme de qualité et de propreté (citernes propres et réservées à l'huile végétale). Pour favoriser une bonne conservation de l'huile, des précautions de stockage devront être appliquées telles que:

- l'utilisation de cuves insensibles à l'acidité en raison de la présence d'acides gras libres. Les cuves en métal sont à éviter car le cuivre et le fer favorise l'oxydation de l'huile. Elles peuvent être en polyester par exemple (on évitera les PVC). Elles doivent être hermétiques pour protéger l'huile de la poussière et de l'oxygène de l'air,
- la conservation des cuves à une température constante pour éviter l'oxydation de l'huile, elles doivent être abritées de la lumière et de l'humidité,
- le nettoyage régulier des cuves.

Au cours de la distribution, il faut éviter de pomper au fond des cuves car la décantation se poursuit lors du stockage.

Ce qu'il faut retenir :

Produire de l'huile naturelle carburant peut s'envisager en utilisant les outils artisanaux ou industriels existants pour la filière alimentaire. Mais si les exigences de qualité sont moins grandes et moins coûteuses qu'en production alimentaire elles demeurent cependant obligatoires. Elles concernent essentiellement la filtration et le stockage. Néanmoins, le respect des teneurs en sédiments est parfois plus contraignant pour les huiles carburant que pour les huiles alimentaires en particulier dans les pays tropicaux.

3. Utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs diesels

3.1. Introduction : fonctionnement des moteurs Diesel

Dans un moteur diesel, la combustion se déclenche par auto-inflammation : le combustible finement nébulisé par un injecteur est introduit dans une masse d'air suffisamment comprimée pour que sa température atteigne la valeur à laquelle le mélange s'enflamme. L'énergie dégagée par la combustion engendre alors un mouvement rectiligne du piston transformé en mouvement rotatif en sortie de vilebrequin par l'intermédiaire du système bielle-manivelle.

Cycle Diesel à Quatre temps

Les moteurs diesels fonctionnent selon le principe du cycle à quatre temps qui comprend les phases suivantes : admission, compression, inflammation-détente et échappement (Figure 5).

Chaque cycle correspond à deux tours de vilebrequin. On exprime généralement le temps au cours d'un cycle en degrés angulaires de rotation du vilebrequin ($^{\circ}V$). Ainsi, au régime de 3000 tr/mn par exemple, 1 $^{\circ}V$ représente 0.056 ms. Un cycle, soit 2 tours de moteur, s'effectue en 40 ms.

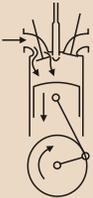
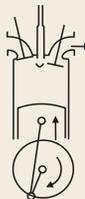
Couse du piston	Phases	Opérations	Schéma
Premier temps du P.M.H. au P.M.B.	Admission	Remplissage des cylindres avec de l'air à pression atmosphérique ou précomprimé.	
Deuxième temps du P.M.B. au P.M.H.	Compression	L'air est fortement comprimé et porté à une température supérieure à celle d'auto-inflammation du carburant (+ de 400 °C). Le rapport volumétrique est très élevé (15/1 à 22/1).	
Troisième temps du P.M.H. au P.M.B.	Inflammation – détente	Le carburant est injecté sous pression (100 à 200 bars) en fin de compression. Il s'enflamme spontanément au contact de l'air échauffé. La combustion dure tant que dure l'injection.	
quatrième temps du P.M.B. au P.M.H.	Echappement	Évacuation des gaz brûlés	

Figure 5 : Fonctionnement du moteur diesel selon le principe du cycle à quatre temps

Délai d'inflammation : le carburant injecté doit s'auto enflammer sous l'effet de l'élévation de température résultant de la forte compression de l'air. En fait, il s'écoule un certain temps entre le début de l'injection et le début de la combustion. Cet intervalle de temps s'appelle le délai d'inflammation.

3.2. Les moteurs à injection directe et les moteurs à injection indirecte

Globalement, il existe deux familles de moteurs à cycle Diesel : les moteurs à injection direct et les moteurs à injection indirecte (Figure 6).

- Les moteurs à injection directe. Ils équipent les tracteurs agricoles et routiers, et grand nombre de moteurs industriels de toute puissance : de 0,5kW jusqu'au mégawatt. Sans modifications, ceux-ci n'acceptent pas les huiles végétales naturelles. Alimentés avec des huiles végétales non estérifiées ils connaissent rapidement des problèmes de fonctionnement. Ces problèmes sont la formation de dépôts carbonneux à l'intérieur du moteur (Photo 4) et une forte *dispersion cyclique*⁴ pouvant conduire à des dégâts mécaniques parfois importants.

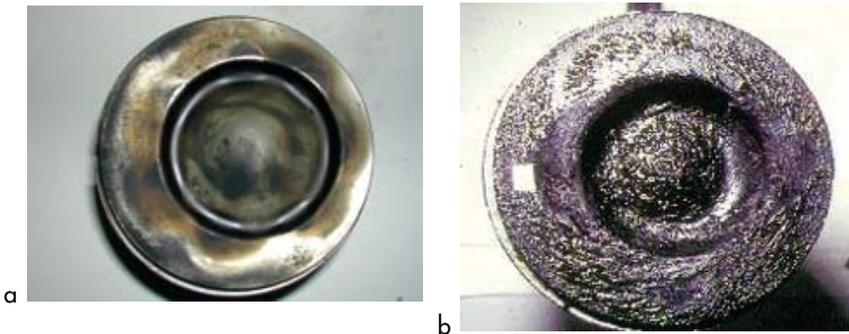


Photo 6 : a) Piston injection directe au fioul
b) après 21 heures fonctionnement à l'huile végétale (Photo Cirad)

L'utilisation de mélanges significatifs d'huile végétale et de fioul (contenant plus de 10 % d'huile) ne résout pas les problèmes. L'encrassement existera toujours, seul le temps de formation est fonction du taux d'huile végétale.

⁶ Certains cycles connaissent des « ratées » d'allumage. Jusqu'à 1 cycle tous les 50, c'est inaudible sur un moteur 4 cylindres

- Les moteurs à injection indirecte. Ils équipent les véhicules automobiles, les gros moteurs industriels (supérieur au Mégawatt), mais aussi une gamme encore bien fournie de petits moteurs industriels. Ces derniers tolèrent les huiles végétales brutes mais filtrées efficacement.

Un fonctionnement correct est même à signaler avec les moteurs à chambre de turbulence répandus dans les automobiles de type diesel. Mais les tendances des 20 dernières années les ont rendus minoritaires face aux injections directes moins “gourmands” en carburant.

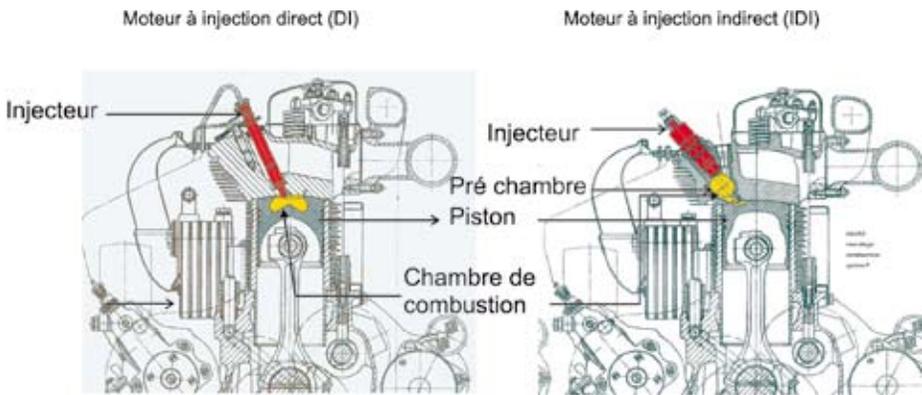


Figure 6 : Schémas des moteurs à injection directe et indirecte

L'huile végétale naturelle dans des tracteurs non modifiés : réalité ou mythe ?

Les huiles végétales brutes ou raffinées ne sont pas utilisables en l'état dans des moteurs diesels à injection directe. Ces derniers équipent les tracteurs agricoles depuis plus de 25 ans, or on entend dire que nombre d'utilisateurs emploient depuis longtemps, dans la plus grande discrétion, des huiles de colza ou de tournesol dans leurs propres tracteurs n'ayant subi aucune modification. Qu'en est-il de ces informations ?

Faute de pouvoir accéder à des témoignages vérifiables, rappelons les raisons qui obligent à modifier les moteurs à injection directe.

Lorsqu'ils délivrent jusqu'à la moitié de leur puissance nominale, ces moteurs présentent des températures moyennes de chambre inférieures à 200°C. Or, l'huile de tournesol possède une température de point éclair largement supérieure à celle du fioul : 316°C pour l'huile contre 96°C pour le fioul. Ce qui signifie qu'une part de gouttelettes d'huile ne va pas se vaporiser mais va se « coller » aux parois provoquant des dépôts « goudronneux » semblables à ceux bien connus des friteuses de cuisine. Ces dépôts vont vite s'accumuler sur le nez des injecteurs perturbant ainsi la pulvérisation et dégradant le fonctionnement. Ils vont également se loger dans la gorge du premier segment lui interdisant son élasticité ce qui mène à des grippages et/ou une usure rapide de celui-ci. Il y a perte de compression, difficultés de démarrage à froid et détérioration du rendement (augmentation anormale de la consommation). Si alors la dilution d'huile végétale dans le lubrifiant dépasse 3% il peut y avoir une rapide polymérisation de l'huile de graissage provoquant le grippage total du moteur.

Dans les moteurs diesels à injection indirecte de type « chambre de turbulence », la température moyenne de la préchambre* est d'environ 500 à 600°C dès 10 % de puissance délivrée. Les huiles végétales brûlent complètement.

Enfin, et c'est ce dernier point qui peut faire douter de la véracité des témoignages, les pompe à injection rotatives (Lucas CAV rotodiesel et Stanadyne) qui équipent un très grand nombre de tracteurs agricoles, cassent par temps froid quand le pourcentage d'huile dépasse 35%. Voilà qui aurait dû engendrer une toute autre réputation à l'huile naturelle avant de décourager les plus fanatiques compte tenu des coûts élevés des pompes à injection en pièce détachée.

*: ici il s'agit de chambre « divisée ».

3.3. Problèmes rencontrés lors de l'utilisation de l'huile végétale pure carburant

Parmi les caractéristiques physico-chimiques particulières des huiles végétales, deux d'entre elles influencent directement le bon fonctionnement des moteurs diesels : la viscosité élevée qui pose des problèmes d'ordre

pratique et la composition chimique en acides gras qui entraîne une chaleur élevée d'évaporation et ne permet pas une distillation complète des huiles végétales.

3.3.1. La viscosité

La viscosité des huiles est significativement plus élevée que la viscosité des gazoles à température ambiante ce qui pose des problèmes de pompage et d'écoulement à travers les tuyaux et les filtres. Mais également une détérioration des caractéristiques du jet injecté dans la chambre du moteur. Dans la Figure 7, la zone verte figure la zone de viscosité normalisée pour les équipements diesels. Il est à noter qu'à partir de 83°C l'huile de colza (courbe a) respecte les exigences techniques établies. Un constat similaire peut être fait pour les autres huiles (sauf le ricin qui nécessite des températures supérieures à 150°C). Les températures de réchauffage à atteindre sont fonction de la viscosité de l'huile ou du mélange fioul/huile en présence. Par exemple, le mélange 50 % fioul et 50 % colza (courbe b) ne devra être réchauffé qu'à 62 °C « seulement ».

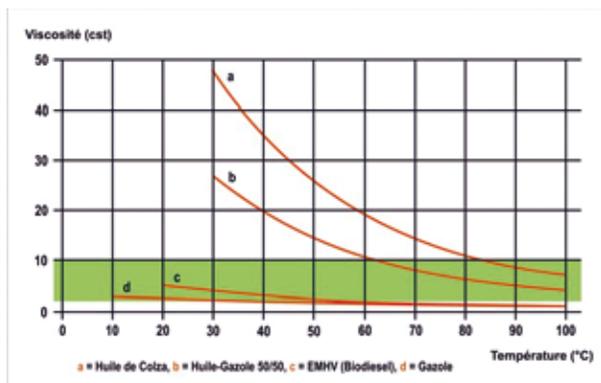


Figure 7 : Viscosité du carburant en fonction de la température
(www.huilecarburant.free.fr)

L'ajout d'un réchauffeur et d'une pompe dans le circuit d'alimentation permettra de limiter les problèmes liés à la viscosité des huiles végétales.

3.3.2. Influences de la composition chimiques des huiles

Le délai d'inflammation est plus long pour une majorité des huiles quand la température de la chambre de combustion est inférieure à 500°C (Figure 9). Par ailleurs, la combustion de l'huile, même réchauffée, purifiée et raffinée, ne s'effectue pas complètement ce qui entraîne des pertes de puissance et de rendement et des rejets en CO, NO_x et HC plus importants que pour le gazole. Il se produit également une dégradation et un encrassement des nez d'injecteurs, des segments et des cylindres conduisant à des détériorations mécaniques.

Pour des températures de chambre supérieures à 500°C, il est constaté une nette amélioration de comportement de l'huile. Le délai d'inflammation est quasi-identique à celui du gazole. La combustion est complète et les rejets observés peuvent être moins importants que ceux du gazole (Figure 8). Le fonctionnement est proche du fonctionnement au gazole avec des performances équivalentes et des rendements globaux parfois meilleurs.

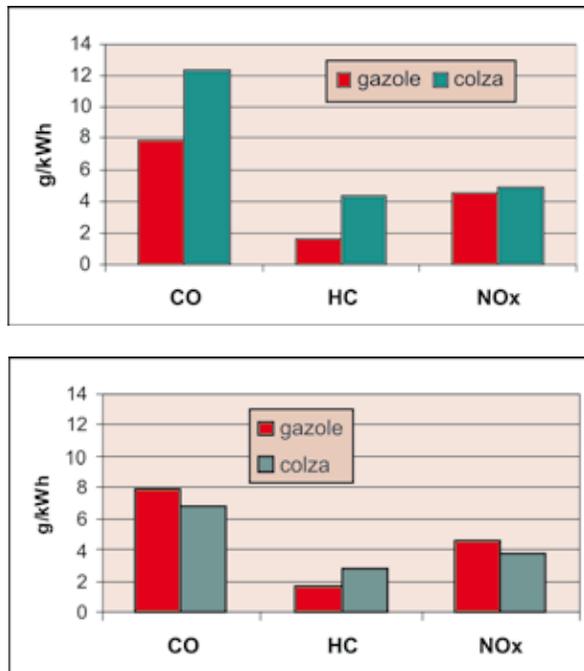


Figure 8 : Gaz rejeté avec a) T < 500°C et b) T > 500°C, (CIRAD)

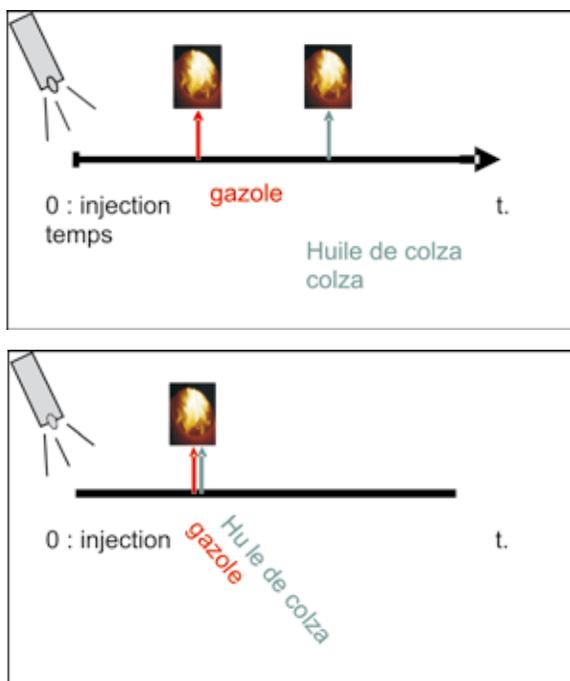


Figure 9 : Délai d'inflammation en fonction du carburant : a) $T < 500^{\circ}\text{C}$ et b) $T > 500^{\circ}\text{C}$ (CIRAD)

3.4. Modifications des chambres de combustion des moteurs à injection directe:

Si l'on ne veut pas modifier le carburant (estérification par exemple), on peut agir sur les chambres de combustion afin que les conditions de températures lors du fonctionnement permettent une combustion complète des huiles végétales. Mais ces modifications doivent respecter simultanément la conception et l'architecture interne du moteur et les matériaux et les jeux fonctionnels mécaniques. Il faut alors que les températures maximales atteintes restent raisonnables. Ce type de modifications, développées au CIRAD depuis 1990, permet toujours l'usage du fioul et du mélange d'huile/fioul sans pertes de puissance et sans interventions mécaniques supplémentaires. Cet aspect est important et représente un des avantages forts de cette solution. A tout moment les utilisateurs peuvent remplir le

réservoir indifféremment avec de l'huile et/ou du fioul. Les pistons sont modifiés pour recevoir une chambre de forme spéciale en acier réfractaire. Après 500 heures de fonctionnement à l'huile de colza, le piston est intact ce qui permet d'augmenter la longévité des pièces du moteur (Photo 5).



Photo 7 : a) Conception CAO des modifications. b) Exemple de réalisation. c) Piston modifié après 500 heures à huile de colza (Photo Cirad)

3.5. Adaptation type « bicarburation » sur les moteurs à injection directe:

Une autre voie sans modifications internes des moteurs est l'adaptation d'un circuit d'alimentation en bicarburation. Ce procédé a été mis en place et appliqué par le CIRAD sur des tracteurs, des camions et des groupes électrogènes. Il consiste à installer un second circuit d'alimentation pour l'huile végétale pure en parallèle à celui du gazole. Sur ce circuit, on trouve en série (Figure 10) :

- un filtre à carburant adapter à l'huile végétale,
- un réchauffeur, pour réduire la viscosité de l'huile et se rapprocher de celle du gazole
- une pompe de circulation et de gavage de la pompe à injection,
- une électrovanne qui permet de basculer d'un carburant à un autre ; c'est-à-dire permettant au véhicule de fonctionner soit au gazole soit à l'HVP.

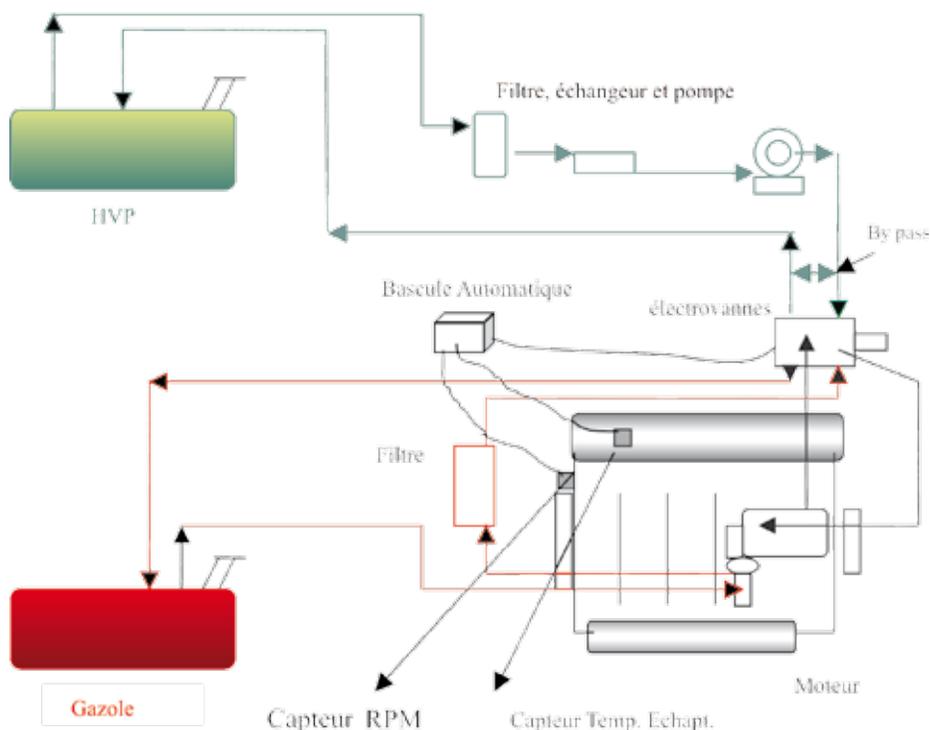


Figure 10 : Schéma des modifications du circuit d'alimentation

3.5.1. Contrôle des conditions de bascule gazole/huile végétale

Le principe de la bicarburation est simple : tant que les chambres de combustion n'ont pas les niveaux de température suffisants pour une bonne combustion de l'huile végétale, le moteur reste alimenté en gazole. Dès que la température des chambres est suffisante le système de bascule pilote l'électrovanne qui alimente alors le moteur grâce au circuit huile végétale.

Le pilotage du système de bascule peut s'effectuer en contrôlant ces deux paramètres ; la température d'échappement et la vitesse de rotation du moteur

- La température de l'échappement

La température des gaz d'échappement est proportionnelle à la température moyenne des chambres de combustion. On peut la mesurer

en plaçant une sonde au niveau de la sortie des chapelles d'échappement dans le flux gazeux.

- La vitesse de rotation du moteur

Elle se mesure grâce à des capteurs de rotation qui seront connectés au système de bascule automatique. Il est à noter que pour des applications à vitesse constante (groupes électrogènes, certains groupes de pompage,...) ce capteur est inutile. La valeur de la vitesse est directement programmée comme constante dans le système de bascule.

3.5.2. Importance de la charge⁵ du moteur sur la bascule gazole/huile végétale

La figure 11 présente les courbes de puissances mesurées sur un moteur diesel à injection directe.

- La courbe supérieure relie les points de puissance maximale pour différentes vitesses de rotation du moteur, elle est appelée « courbe enveloppe à pleine charge ».
- La courbe inférieure relie les points de puissances intermédiaires pour différentes vitesses de rotation, elle est appelée « courbe de puissances à charge partielle ». Il est possible de tracer de nombreuses « courbes à charges partielles » qui s'intercaleront entre puissance « nulle » et « l'enveloppe à pleine charge ». Mais celle-ci est particulière : elle relie des points de puissance à différentes vitesses où la température d'échappement en sortie de culasse est d'environ 500°C. Pour chaque vitesse de rotation, tout point en dessous de cette courbe affichera une température d'échappement inférieure à 500°C car la quantité de carburant brûlée sera insuffisante pour l'atteindre.
- Par contre, tout point compris entre les deux courbes correspondra à des températures supérieures à 500°C où il sera donc possible d'injecter de l'huile végétale sans souci de combustion.

⁵ Pourcentage de la puissance d'un moteur pour une vitesse de rotation donnée.

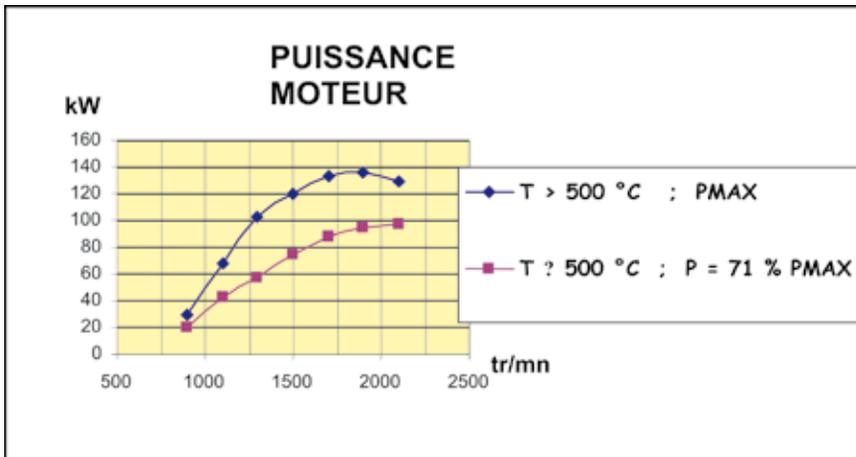


Figure 11 : Enveloppe de pleine charge et courbe à charge partielle sur un moteur à injection directe. Graphique CIRAD

Par exemple, une vitesse de rotation égale à 1800 tours par minutes représente 71 % de la puissance maximale (ou 71 % de charge). Ce qui signifie que le moteur ne fonctionnera à l'huile végétale que lorsque la puissance demandée au moteur dépassera 71 % du maximal de puissance à cette vitesse de rotation (à 1500 tr/mn, c'est à 65 % de la puissance maximale que le passage à l'huile s'effectuera).

Ce qu'il faut retenir :

Il est possible de résoudre les difficultés d'usage pratiques des huiles végétales en les réchauffant afin de ramener leur viscosité dans des valeurs proches de celles des produits pétroliers.

Une fois la viscosité de l'huile ou du mélange ramenée dans les valeurs acceptées par les équipements d'alimentation des moteurs, il demeure les problèmes de combustion incomplète dus à la nature chimique différente des huiles vis-à-vis des fiouls et gazoles.

Il apparaît que si la température moyenne de la chambre de combustion est suffisamment élevée, les huiles végétales courantes brûlent complètement avec de bons rendements globaux et des niveaux d'émissions polluantes similaires à celles des gazoles.

Il y a plusieurs façons de s'assurer d'un niveau de température suffisant des chambres de combustion dans les moteurs à injection directe. soit par modifications mécaniques des pistons et de pièces internes au moteur, soit sans modifications mécaniques mais en utilisant un fonctionnement en bicarburant.

4. Performances et pollution comparées entre huile végétale et fioul dans les moteurs diesels modifiés

La quasi-totalité des tracteurs agricoles et des moteurs à poste fixe sont à injection directe. Il conviendra donc de les modifier pour qu'ils puissent utiliser de l'huile végétale naturelle comme biocarburant en circuit court d'autoconsommation. Ces modifications ont un impact sur les performances et la pollution des gaz d'échappement. Des tests comparatifs ont été réalisés sur deux tracteurs modifiés de marque New Holland et John Deere. Les résultats montrent une augmentation de la longévité des moteurs fonctionnant à l'huile de tournesol et l'entretien est le même qu'au fioul. Ceci a été vérifié par plusieurs cotations effectuées selon la procédure CEC M-02-A-78 à la demande du Cirad.



Photo 8 : Tracteurs avec moteur à injection direct modifié. Huile de tournesol, France, 2001 (Photo Cirad)

4.1. Performances comparées

Les puissances obtenues sont très proches (Figure 12) . A puissance égale on observe une augmentation de la consommation horaire de 5 % en volume. Ceci est directement dû au plus faible pouvoir calorifique de l'huile de tournesol. Les rendements des moteurs sont améliorés avec le tournesol.

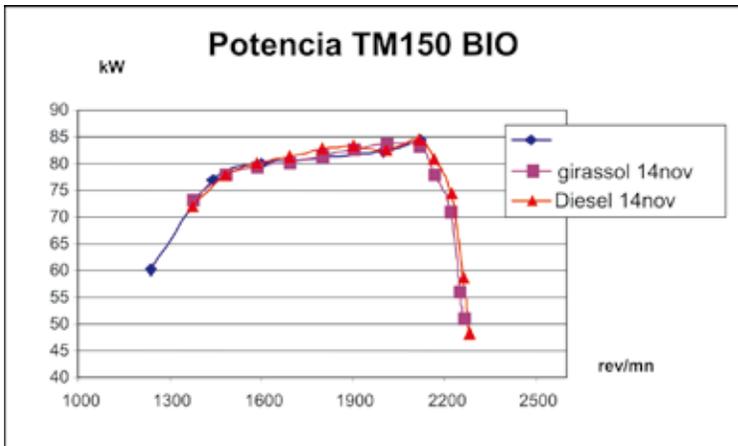


Figure 12 : Puissance comparée entre fioul et huile de tournesol Tracteur New Holland TM150.

4.2. Pollution comparée

Deux tracteurs modifiés et deux tracteurs non-modifiés sont comparés. Les analyses des produits toxiques CO, HC et NOx ont été réalisées sur les deux tracteurs modifiés. Les résultats sont comparables et très proches de ceux obtenus avec le fioul (Tableau 3). Les tracteurs respectent les limites de polluants imposées par les normes européennes d'homologation définies par les directives de l'ISO 8178 et les facteurs de pondération du cycle C1.

Tableau 3 : Comparaison des émissions gazeuses au couple maximal et régime correspondant pour le tracteur New Holland TM 150 modifié.

Tracteur N°	TM150 orig. fioul	TM150 BIO tournesol
N tr/mn	1350	1456
Puissance. kW	81.4	75.4
Puissance ch	110.6	102.4
Consommation en carburant l/h	23.4	24.0
Température air admis °C	21	22
Température échappement °C	383	435
CO ppm	1218	960
CO2 %	8.6	8.0
HC ppm	53	82
O2 %	9.1	10.0
NOx ppm	1530	1450
Excès air	0.79	0.93

Tableau 4 : Comparaison des émissions gazeuses au couple maximal et régime correspondant pour le tracteur John Deere 7710 modifié.

Tracteur N°	JD 7710 orig. fioul	JD 7710 BIO tournesol
N tr/mn	1304	1302
Puissance. kW	110.2	102.2
Puissance ch	149.7	138.9
Consommation en carburant l/h	27.8	25.9
Température air admis °C	20	22
Température échappement °C	608	609
CO ppm	2143	692
CO2 %	10.1	9.7
HC ppm	53	59
O2 %	7.3	7.8
NOx ppm	1246	1324
Excès air	0.54	0.59

Ce qu'il faut retenir :

- L'utilisation des huiles végétales carburants nécessite parfois des modifications importantes sur les moteurs et les circuits d'alimentation. La modification des moteurs à injection directe rend possible l'utilisation d'huiles végétales pure en substitution des fiouls. Il est aussi possible d'adapter des systèmes de bicarburant permettant l'utilisation d'une part significative d'huile végétale sans avoir à modifier les parties internes des moteurs. Il faut rappeler que le bon fonctionnement du moteur dépend également de la qualité du carburant.
- Les performances sont identiques et les émissions gazeuses respecte les limites imposées par les normes européennes d'homologation définis par les directives de l'ISO 8178 et les facteurs de pondération du cycle C1.
- La longévité des moteurs est accrue quand ils utilisent les huiles végétales naturelles.

5. Utilisation des huiles végétales pures dans les brûleurs

5.1. Utilisation des HVP dans les brûleurs :

Les caractéristiques énergétiques des huiles végétales sont suffisamment proches de celles du fioul pour que l'on puisse s'attendre à une substitution aisée dans un brûleur.

Tableau 5 : Caractéristiques physico-chimiques utiles à la prédiction des performances globales

	Gazole	Huile de coton	Huile de coprah
Densité (kg/dm ³) 20°	0.836	0.921	0.915
Pouvoir Calorifique Inférieur (kJ/kg)	43800	36400	37950
Indice de Cétane	50	34	41
Composition chimique (% masse)			
C	85.1	76.7	73.1
H	14.9	11.8	12.0
O	-	11.4	14.8
Formule globale	C ₂₁ H ₄₄	C _{17.94} H _{33.18} O ₂	C _{13.17} H ₂₆ O ₂

Les caractéristiques physico-chimique des HVP vis à vis du fioul impose une adaptation des chaudières et/ou une modification des brûleurs afin d’optimiser la combustion et éviter l’encrassement dans les parties “froides”. Les brûleurs pour fioul “lourd” se prêtent mieux à l’usage des HVP. Mais on ne les trouve généralement que dans des puissances comprises entre 300 kW et 1000 kW. Des études en conditions réelles de brûleurs de moyenne puissance (de 150 à 400 kW) modifiés pour les HVP ont été réalisées par le Cirad. Les résultats ont montré qu’il est possible de les utiliser jusqu’à 100 % d’HVP. Quelques constructeurs ont déjà commencé à s’engager sur ce créneau de moyenne puissance. Dans les petites puissances (< 50 kW), les résultats sont plus dispersés et moins fiables. Seuls quelques modèles ont faits leur preuve mais dans des puissances de 50 kW et plus. Dans la gamme 20 à 30 kW, ce qui correspond aux installations domestiques individuelles, il y a peu d’unité en fonctionnement.

5.2. Principe de fonctionnement des brûleurs modernes :

Un jet pulvérisé de carburant est assuré grâce à une pompe volumétrique mécanique, il est accompagné d’un flux d’air de combustion contrôlé respectant la quantité d’air nécessaire à la combustion complète de la quantité de carburant augmenté d’un excès d’air prédéterminé (3 à 5 % d’oxygène supplémentaire).

Tableau 6 : Pouvoirs comburivores comparés (sans excès d’air).

	Gazole ou FOD	Huile de coton	Huile de coprah
Pco pouvoir comburivore g.air/g.carb.	14.84	12.35	11.86

Le jet est assuré par un gicleur choisi pour son débit à une pression déterminée et en fonction de la géométrie de la chambre de combustion. Généralement, un moteur électrique entraîne la pompe de pression et le ventilateur d’air de combustion. Un système de contrôle/commande assure le fonctionnement et les mises en sécurité du brûleur. La plupart des brûleurs, en particulier les petits brûleurs domestiques, utilisent les mêmes organes (pompes, ventilateurs, boîtiers de contrôle) provenant de quelques équipementiers.

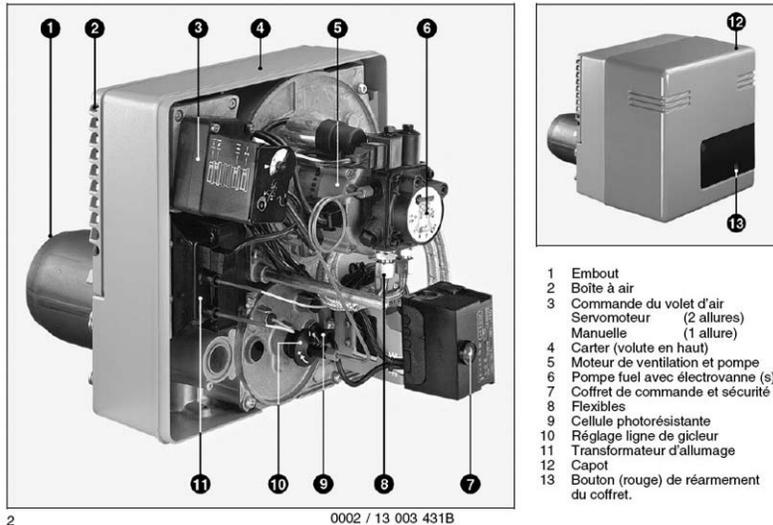


Photo 9 : Brûleur de chaudière (Document Cuenod)

5.3. Adaptations des brûleurs pour utiliser des HVP :

La viscosité des huiles végétales a une forte influence sur le fonctionnement des brûleurs. Ceci a pour conséquence la nécessité de régler spécialement ces derniers voire de changer certains éléments tels que les gicleurs. Mais, quelle que soit la taille du brûleur, il reste à vérifier, une fois les exigences technologiques remplies, si la combustion des huiles végétales est complète et quelles sont les performances globales et la pollution émise, comparées au fonctionnement gasoil.

5.3.1. Exemple avec l'huile de Palme Brute et brûleurs : problèmes rencontrés et modifications à effectuer

- Pour une incorporation de 25 à 30% d'HVP, il faut réchauffer le mélange sinon l'allumage ne se produit lors de l'injection.
- Les mélanges jusqu'à 50% sont utilisables s'ils sont réchauffés à 80 °C et homogénéisés. La pression de pulvérisation en sortie de pompe doit être augmentée de 10-11 à 15-16 bars.

- Pour des mélanges de 50 à 75 % d'huile de palme il est nécessaire de réchauffer le combustible à 100°C. La pression de pulvérisation en sortie de pompe doit être remontée à 18-20 bars.
- Pour des taux supérieurs à 75 % et jusqu'à 90 % d'huile, il est possible d'obtenir un fonctionnement correct avec une température de mélange de 120°C et une pression de pulvérisation de 20 bars.
- A 100 % d'huile, la température doit être de 140°C et la pression de pulvérisation en sortie de pompe de 25 à 30 bars. Il apparaît généralement qu'après la seule intervention en réglages (140 °C pour l'huile et 30 bars de pression), les premiers essais à 100 % montrent un démarrage totalement fiabilisé, des teneurs en polluants des fumées bien en dessous des normes admises en Europe avec cependant un encrassement rapide du foyer et un « gouttage » de la tête de combustion. Il faut alors redéfinir un modèle de gicleur mieux adapté, re-concevoir le déflecteur d'air et redéfinir les réglages d'admission d'air.

5.3.2. Les problèmes d'encrassement :

Sur la plupart des modèles de brûleurs, le déflecteur d'air (partie froide car ventilée en permanence) s'encrasse. Le détecteur de flamme (cellule photoélectrique) n'est plus sensible à la lumière émise par la flamme et arrête le fonctionnement du brûleur par sécurité d'absence de flamme. Pour exemple, ces arrêts se produisent tous les 4 à 5 jours avec un mélange 50/50 colza/fioul (Photo 7).



Photo 10 : Déflecteur d'air après 4 jours à 50/50, tournesol/fioul (à droite : après nettoyage) (Photo Cirad)

Par ailleurs, si trop de gouttelettes échappent à la combustion on va les retrouver sous forme de produits partiellement polymérisés sur les parois les plus « froides » des échangeurs de chaleur (les tubes de fumées par exemple) ce qui va rapidement diminuer leur capacité d'échange. On retrouve ici les problèmes rencontrés dans les chambres des moteurs diesels quand ils sont utilisés à des charges insuffisantes.

5.4. Performances et pollution comparées entre fioul et Huiles végétales

Nous avons reporté dans le Tableau 6 les résultats comparés, après optimisation des réglages, des performances et des émissions sur brûleurs de petite et moyenne puissance.

Tableau 7 : Brûleur Riello N10 (34 à 100 kW), 100% coton (essais Cirad 2007)

Type de Combustible	100% Coton	Fioul
CO2 %	8.3	9.3
CO mg/kWh	13	1
O2 %	9.9	8.3
NO mg/kWh	125	113
NOx mg/kWh	130	118
SO2 ppm	0	74
TEMP. FUMEES °C	705	662
TEMP. AMBIANTE °C	22	22

Pression en sortie de pompe :18 bars. Température du mélange : 40°C

Des essais ont porté sur un brûleur C22.2 (160 à 240 kW) modifié par le Cirad et Iribiom. Des locaux de la mairie d'Orléans ont été chauffés pendant 3 mois uniquement à l'huile de colza..

Tableau 8 : brûleur Cuenod C22.2, application en chauffage collectif, 100 % huile de colza (essais Cirad/Iribiom 1996).

Type de Combustible	100 % Colza	Fioul
CO2 %	11.2	10.7
CO mg/kWh	4.8	1.3
O2 %	6.2	6.4
NO mg/kWh	71	93
NOx mg/kWh	74	98
SO2 ppm	0	21
TEMP. FUMÉES °C	228	236
TEMP. AMBIANTE °C	23	19

Pression en sortie de pompe :30 bars. Température de l'huile de colza : 140°C

Rappel : les limites selon EN267 sont : CO < 110 mg/kWh ; NOx < 185 mg/kWh.

5.5. Aperçu des brûleurs HVP disponibles sur le marché :

- Riello : modèles adaptés aux HVP et garanti de 34 à 1000,kW, <http://www.riello.fr>
- Raps Heizung (HPO) : modèles de 40 à 90 kW, <http://www.raps-heizung.de>
- Kroll : modèles de 50 à 200 kW, <http://www.kroll.de>



Photo 11 : Brûleur spécial huiles végétales Riello/Cirad ; 300 à 1100 kW
Huile de palme brute, Cameroun, 2007.
(Photo Cirad)



Photo 12 : Brûleur spécial Riello/Cirad ; 34 à 110 kW
Huile de coton brute, 2007.
(Photo Cirad)

Ce qu'il faut retenir :

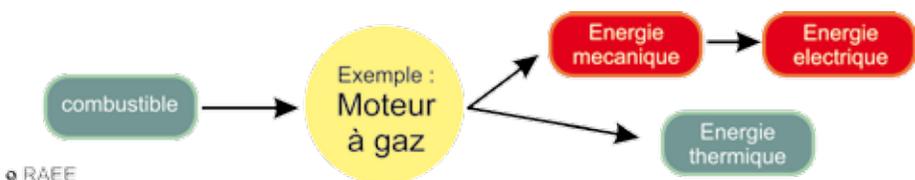
- Les caractéristiques physico-chimique des HVP vis à vis du fioul impose une adaptation des chaudières et/ou une modification des brûleurs afin d'optimiser la combustion et éviter l'encrassement dans les parties "froides".
- Les brûleurs pour fioul "lourd" se prêtent mieux à l'usage des HVP.
- La viscosité des huiles végétales a une forte influence sur le fonctionnement des brûleurs. Il faut alors redéfinir un modèle de gicleur mieux adapté, re-concevoir le déflecteur d'air et redéfinir les réglages d'admission d'air.

6. La petite cogénération à l'huile végétale

6.1. Principe

La cogénération, n'est pas une invention récente puisqu'elle date de 1824. Elle est le résultat des avancées remarquables réalisées dans le secteur de la thermodynamique et de l'électricité qui ont eu lieu à cette époque.

La cogénération est la production simultanée de chaleur et d'énergie mécanique, généralement transformée en électricité, à partir d'une même source d'énergie primaire. Prenons l'exemple d'une installation de cogénération utilisant un moteur à combustion interne (technologie la plus répandue pour les installations de petite cogénération). Il s'agit d'un moteur classique, dérivant directement de ceux des véhicules « routiers » pour les cogénérations de petite puissance, alimenté au diesel ou au gaz naturel. Celui-ci entraîne un alternateur qui transforme l'énergie mécanique en électricité. La chaleur contenue dans les gaz d'échappement, dans l'eau de refroidissement et dans l'huile de lubrification, est récupérée pour le chauffage ou la production d'eau chaude sanitaire.



6.2. Les champs d'application de la cogénération :

Les applications de la cogénération concernent aussi bien le secteur industriel que les collectivités ou le secteur tertiaire. La chaleur peut être utilisée sous forme de vapeur ou d'eau chaude, pour des usages industriels ou collectifs (par exemple chauffage urbain par réseau de chaleur, production de « froid » par systèmes frigorifiques à absorption) ou sous forme d'air chaud (par exemple des processus industriels de séchage). Cependant, il faut que les installations de cogénération soient proches des sites de consommation de chaleur, du fait des difficultés liées au transport de celle-ci, qui ne peut se faire que sous forme de fluide à haute température. L'électricité et la chaleur produites peuvent être consommées pour les besoins propres du site et/ou commercialisées. Le champ d'application de la cogénération est très vaste et on peut citer entre autres :

- Industrie : besoin d'eau chaude ou d'air chaud important et forte consommation d'électricité (unités de séchage pour l'agroalimentaire, papeterie, chimie,...)
- Tertiaire (banques, immeubles de bureaux, centres commerciaux, ...)
- Secteur para-public (hôpitaux, maisons de retraite, habitat collectif, aéroports ...)
- Collectivités (piscines, réseaux de chaleur, bâtiments des communes, ...)

6.3. La petite cogénération à l'huile végétale

Le pétrole et le gaz naturel sont des énergies fossiles et leur consommation entraîne un rejet direct de CO₂ dans l'atmosphère. Ces ressources sont limitées et leur coût va croître irrémédiablement dans les décennies à venir. Parmi les sources d'énergies alternatives, l'huile végétale figure en bonne position. Produite à partir de graines oléagineuses (colza ou tournesol par exemple), elle s'inscrit dans un cycle naturel durable puisque le CO₂ émis lors de la combustion est fixé par la plante lors de sa croissance. Le bilan global d'émission de CO₂ (culture, pressage et transport compris) est 6 fois moindre que pour le mazout de chauffage. La cogénération, par son rendement combiné très élevé (jusqu'à 92%) permet

de valoriser cette précieuse énergie en chaleur et en électricité de manière optimale. L'huile "qualité carburant" doit répondre à la norme allemande DIN51605 ou RK Standard 02/2000.

Les défis liés à l' HVP sont ceux décrit précédemment :

- Diminuer la viscosité de l'huile (pré chauffage), augmenter la température de combustion (choix moteur, réglages, régime de fonctionnement)
- Optimiser l'injection (forme des injecteurs, pression d'injection)
- Eviter la polymérisation de l'huile de lubrification (choix d'une huile de lubrification à base végétale)
- Faire tourner une cogen à l'huile végétale quelques centaines d'heures est facile. En garantir la disponibilité pendant 70.000 heures demande une véritable maîtrise technologique, non seulement du moteur, mais également des tous les composants annexes

Le Tableau 8 donne les valeurs des émissions de gaz polluants pour une unité de 20 kW avec pot catalytique: niveau d'émission Ta Luft 2002 équivalent à vlarem 2

Tableau 9 : émissions de gaz polluants pour une unité de 20 kW (COGENGreen)

Valeurs	ecoGen 20 AH	Ta Luft 2002
NOx (mg/m3)	960	< 1000
CO (mg/m3)	40	< 300
Particules (mg/m3)	15	< 20

Exemple de fiche technique du module ecoGEN25-AH, Fabricant : COGENGREEN

Puissances

Module avec alternateur asynchrone pour la production de courant triphasé 400 V, 50 Hz , d'eau chaude à 90/70 °C, à partir d'huile végétale répondant à la norme DIN51605. Respect du niveau d'émissions de la norme TA-Luft (2002) .Puissances pour une altitude d'installation de 400 m et une

température de l'air de de 20 °C. Les valeurs de puissance sont diminuées de 1% tous les 100m d 'altitude et de 2% tous les 5°C au dessus des valeurs de référence. Les rendements annoncés sont susceptibles de diminuer de 2% sur la période allant de la mise en service à la révision complète (25.000 heures).

Puissance électrique – couplé réseau : $P=25 \text{ kW (+/- 1\%)}$
Puissance thermique : $P=44 \text{ kW (+/- 2,5 \%)}$
Consommation : $8,1 \text{ l/h (PCI =9,528 kWh/litre) (+/- 2,5 \%)}$
Puissance élec. consommée par les périphériques : $P=800\text{W (+/- 5 \%)}$

Moteur avec accessoires:

- Type de moteur : KUBOTA V 3300 T BG
- Procédé de combustion : moteur diesel à combustion interne
- Mode de fonctionnement : 4 temps
- Nombre de cylindres : 4 en ligne
- Alésage, course : 98/110 mm
- Cylindrée : 3,318 dm³
- Vitesse : 1500 tours/minute
- Rapport de compression : 22 : 1
- Puissance continue sv. ISO3046 : 32,1 kW

Description du moteur : (y compris modifications)

- soupapes mécaniques disposées suspendues, pour chaque cylindre une soupape d'admission et une soupape d'échappement.
- guides de soupapes d'échappement graissés à l'huile sous pression, tige de commande de soupapes en métal dur.
- un collecteur des gaz d'échappement et un turbocompresseur sur les gaz d'échappement refroidi à l'eau (intercooler eau/air) .
- pompe à engrenages pour graissage par circulation sous pression, filtre à huile tandem sur le courant principal et refroidissement par refroidisseur d'huile .

- dispositif automatique de maintien du niveau de l'huile de graissage.
- aspiration d'air dans la salle des machines à travers des filtres secs.
- circuit fermé de refroidissement à eau glycolée avec pompe de circulation monophasée 230V (consommation 190 W), soupape de sûreté et vase d'expansion , pour le refroidissement du moteur.
- collecteur de gaz d'échappement et conduite de gaz d'échappement refroidie à l'eau vers l'échangeur de chaleur des gaz d'échappement.
- démarreur électrique 12 V, 2,5 kW.
- pompe d'injection en ligne BOSCH 4M Mini pump.

Alimentation en huile végétale

- Pompe électrique à engrenages. Débit max : 12 litre/h.
- Diamètre des conduites d'alimentation : DN12
- consommation en 220V : 35 W

Emissions polluantes

TA Luft 2002 pour moteurs stationnaires à combustibles liquides. Valeurs d'émission rapportées à 5 % de O₂ dans les gaz d'échappement, pour la puissance nominale:

NO_x < 1000 mg/Nm³ et CO < 300 mg/Nm³

Carburant

Caractéristiques de l'huile végétale :

- suivant DIN51605

Production de chaleur

Données de dimensionnement pour installations de chauffage à eau chaude:

- Puissance thermique modulante 22 / 44 kW
- Température retour vers le module min./max. 50/70 °C

- Débit variable piloté par la régulation : 0 / 2,2 m³/h
- Pression de service maximum admissible : 6 bar
- Perte de charge de l'échangeur à plaques intégré : 0.5 bar

Capacités de remplissage

- Capacité en huile de lubrification : 25 litres
- Réservoir d'huile d'appoint : 15 litres
- Eau de refroidissement du circuit primaire : 19 litres

Dimensions et poids

- Longueur 2070 mm
- Largeur : 800 mm
- Hauteur : 1370 mm
- Poids en service : 1400 kg
- Admission et retour de chauffage : R 1 1/4''
- Gaz d'échappement (bride) : DN 54
- Huile végétale DN 12

Liste de fabricants Européens de modules HVP: non exhaustive

KW Energie Technik , Germany, www.kw-energietechnik.de

NET Neue Energie Technik , Austria, www.neue-energie-technik.net

COGENGREEN, Belgique, www.cogengreen.com

Ce qu'il faut retenir :

La technique de cogénération, qui consiste à récupérer cette chaleur via des échangeurs thermiques, augmente l'efficacité énergétique de l'installation.

Elle permet ainsi d'exploiter au maximum le potentiel énergétique du combustible et d'atteindre des rendements globaux (électricité + chaleur) de 80 à 90 % contre 35 à 40 % pour une installation classique de production d'électricité et 55% pour un cycle combiné au gaz.

Les défis liés à l' HVP sont

- Diminuer la viscosité de l'huile et augmenter la température de combustion
- Optimiser l'injection
- Eviter la polymérisation de l'huile de lubrification
- Garantir et maîtriser la technologie

7. Exemples de réalisations et perspectives

Les huiles végétales et leurs dérivés (Biodiesel,...) font partie des solutions de remplacement et de complément des produits pétroliers. Elles sont par nature des substituts des fiouls et gazoles. Les rendements globaux sont plutôt meilleurs que les gazoles. Leur champs d'application est actuellement essentiellement local et/ou régional car les quantités d'huiles produites ne représentent que quelques pourcents des quantités de carburants pétroliers consommés. L'huile de palme, par exemple, voit sa production croître de 8 % chaque année à des fins alimentaires avec 38 millions de tonnes annuelles (Figure 13)

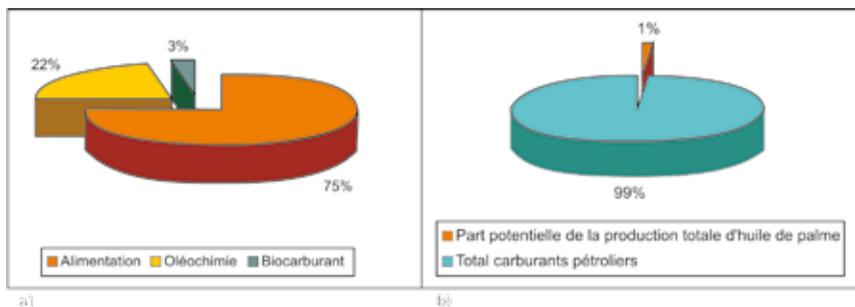


Figure 13 : a) Production annuelle mondiale d'huile de palme et de palmiste 37,6 millions de tonnes b) Consommation annuelle mondiale de pétrole pour les transports 2 482 millions de tonnes équivalent pétrole

7.1. Exemples d'utilisation

Plusieurs exemples peuvent illustrer l'intérêt des HVP en usage local : l'utilisation en agriculture pour une autonomie en combustible, la relance d'activités alliée à une indépendance énergétique dans un contexte insulaire.

- **L'utilisation d'huile de tournesol comme carburant des tracteurs agricoles** a été évoquée et illustrée dans les chapitres précédents. L'opération menée dans le sud-ouest de la France consistait à produire de la graine de tournesol, à en extraire l'huile ceci avec des engins et des équipements utilisant cette même huile comme seule source de carburant. Les bilans sur trois années sont les suivants :

Par hectare de tournesol :

- Quantité d'huile végétales produite en moyenne : 1000 litres
- Quantité d'huile végétales carburant utilisée pour le cycle cultural* : 100 litres
- Quantité d'huile végétale carburant utilisée pour sécher les graines** : 9 litres
- Quantité d'huile végétale carburant utilisée pour produire l'huile*** : 26 litres

Le bilan moyen exprime la possibilité de produire 866 litres d'huile de tournesol alimentaire par hectare en toute autonomie en carburant.

* : tracteurs modifiés et alimentés avec l'huile de tournesol,

** : séchoir équipé d'un brûleur modifié et alimenté avec l'huile de tournesol,

*** : presse et chauffoir électrique alimentés grâce à un groupe électrogène utilisant l'huile de tournesol produite.



a)



b)



c)

Photo 13 : a) Tracteur 150 Hp. modifié, b) Flamme de combustion dans le séchoir, c) groupe 9 KVA alimentant la presse à huile : tous utilisant l'huile de tournesol comme seul carburant. (Photos Cirad)

• **L'exemple d'Ouvéa, Iles Loyauté, Nouvelle Calédonie.**

En général, les petites îles ne possèdent pas le marché intérieur suffisant pour initier une production locale qui puisse bénéficier d'une économie d'échelle. Sur l'île d'Ouvéa, l'activité traditionnelle de production de coprah a été abandonnée à la fin des années quatre vingt. Elle a repris grâce à l'installation d'une huilerie Coopérative en fin 1991. L'huile produite sert à la fabrication de savons mais aussi à :

- un groupe électrogène de 80 KVA, fonctionnant à l'huile de coprah, qui alimente l'huilerie en électricité. Sa consommation horaire est de 15 litres quand l'huilerie produit 150 litres d'huile par heure.
- deux motopompes de 5 kW modifiées en fonctionnant à l'huile de coprah pour la distribution publique d'eau potable.
- un véhicule municipal à l'huile de coprah.
- un groupe de puissance de 200 KVA fonctionnant à l'huile de coprah et fournissant l'électricité à l'usine de désalement d'eau de mer de l'île.
- un groupe de 45 KVA alimentant des installations municipales,
- un groupe de 300 KVA installé dans la centrale de production d'électricité de l'île et fonctionnant à l'huile de coprah depuis 2004 selon le principe de bi-carburant exposé au chapitre 3.

Le bilan fait ressortir que le total d'huile de coprah consommé par ces groupes et engins représente 400 tonnes de coprah par an ce qui amène des revenus à 120 coopérateurs et leurs familles tout en évitant l'importation de 200 000 litres de gasoil et la production de 640 tonnes de CO₂ fossile.

7.2. Perspectives :

Face au développement obligatoire de nouveaux carburants renouvelables comme les de « seconde génération » issus de procédés de gazéification suivi de catalyse, quelle place restera-t-il aux HVP ? Ces dernières, longtemps considérées comme des solutions « historiques » donc du passé, ont-elles des perspectives face à la modernisation des motorisations

Diesel et à une compétition annoncée entre cultures énergétiques et cultures alimentaires ?

- En matière de recherche d'une meilleure qualité d'huiles végétales carburant, des travaux sont entrepris pour étendre les spécifications établies pour le colza aux autres huiles et en particuliers aux huiles tropicales. En effet, la prénorme Allemande DIN 51 605 sur la qualité de l'huile de colza comme carburant fixe, comme pour les produits pétroliers, une teneur maximale en sédiments de 24 ppm. Il est alors nécessaire d'établir un protocole permettant de définir avec précision les teneurs en sédiments des HVP.

Les protocoles ISO 663 (analyse des corps gras d'origines animales et végétales) et ISO 12 662 (analyse des produits pétroliers liquides) montrent des lacunes dans l'analyse des huiles végétales pour moteur diesel. Les résultats n'étant pas fiables, le Cirad travaille à la mise en place d'un nouveau mode opératoire tenant compte de la viscosité plus importante de la plupart des huiles par rapport aux produits pétroliers et des points de fusion très élevés de certains acides gras. Ceci pourrait déboucher sur un « cahier de spécifications » incluant différentes fiches par groupes d'huiles végétales ou animales.

- Les nouveaux systèmes de contrôle d'injection Diesel rendent plus exigeante la « préparation » du carburant : tolérance de filtration abaissée à 1 μm , viscosité faible. Les plus répandus sont les « common rail » (Figure 14). Les réglages ajustés pour les fiouls et gazoles ne sont plus adéquats pour les huiles plus visqueuses à température égale. Il faut soit augmenter significativement la température des HVP, soit modifier les paramètres de pilotage électroniques. En revanche, si ces adaptations sont faites, les hautes pressions d'injection des systèmes « common rail » ajoutées au pilotage des masses injectées sont plus favorables aux HVP que les systèmes classiques d'injection. Pour ces applications, les systèmes de bicarburant décrits précédemment s'adaptent bien. Il faut s'assurer d'un bon préchauffage des HVP et de la présence d'une pompe de gavage permettant des pressions de 3 à 6 bars avec des débits en accord avec le système « common rail » installé (exemple : 300 litres/heures pour du 200 kW Bosch). Le pilotage des passages de gazoles à HVP se faisant correctement grâce à un système de bascule électronique.

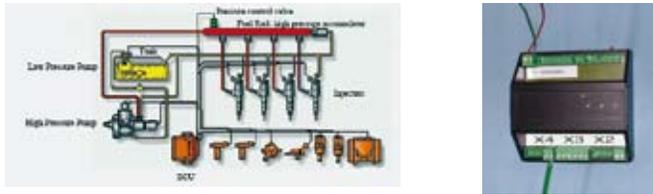


Figure 14: Système Common Rail Bosch
(doc. Bosch)

Le développement d'autres sources d'huiles végétales que celles utilisées pour le marché alimentaire et agroindustriel classique pourrait ouvrir de nouvelles perspectives aux « HVP carburant » produites et utilisées localement.

- Le *Jatropha curcas* qui produit une huile non alimentaire, car contenant une toxine, pourrait faire l'objet de sélection et d'amélioration variétale. Car si cette plante s'accommode bien en conditions semi-arides sa production décroît avec les quantités d'eau disponibles annuellement. Des pays comme l'Inde, le Burkina Faso et d'autres entament des travaux plus orientés vers l'agronomie et les systèmes de culture du *Jatropha* que vers les utilisations de l'huile qui par ailleurs ont été étudiés en détails par le Cirad dans les années 90.
- La production de biocarburants lipidiques par des microalgues. Produire un biocarburant sous forme d'huiles ou d'ester de méthyl à partir de microalgues autotrophes est possible. Ces microorganismes peuvent accumuler des acides gras jusqu'à 80% de leur poids sec permettant d'envisager, en théorie, des rendements à l'hectare supérieurs d'un facteur 30 aux espèces oléagineuses terrestres.

On estime entre 200 000 et plusieurs millions le nombre d'espèces d'algues existantes, une telle diversité non exploitée constitue un réel potentiel pour la recherche et l'industrie. Comparativement aux espèces oléagineuses terrestres, ces microalgues présentent de nombreuses caractéristiques favorables à une production d'acides gras :

- Rendements de croissance et par conséquent des productions à l'hectare supérieurs aux espèces oléagineuses terrestres (de 20 à 75 m³ d'huile par hectare et par an selon les sources).
- Rendement photosynthétique beaucoup plus élevé
- Plasticité métabolique bien plus importante permettant plus facilement d'orienter la bioproduction vers certains acides gras
- Maîtrise du cycle de l'azote et du phosphore en contrôlant le recyclage des éléments nutritifs
- Pas d'apport de phytosanitaires
- Nombreux sous-produits valorisables
- Technologie exploitable dans les pays en voie de développement

Le succès de ce type de production pourrait contribuer à l'usage des HVP tout en ménageant les terres vivrières traditionnelles. L'autre intérêt est la possibilité de sélectionner les algues en fonction de la composition en acides gras attendue. Ces recherches se développent dans les pays développés et le Cirad est partenaire d'un projet de l'Agence Nationale de la Recherche intitulé : « Shamash ».

Références Bibliographiques

- Ouvrages et publications :

BATTAIS Liliane, DEFAYE Serge et VAITILINGOM Gilles
« Perspectives de développement de l'utilisation des huiles végétales pures hors utilisation biocarburant », Ademe Aquitaine, France, juin 2006.

BIGOGNO C., KHOZIN-GOLDBERG I., et al.
“Lipid and fatty acid composition of the green oleaginous alga *Parietochloris incisa*, the richest plant source of arachidonic acid.” *Phytochemistry* 60(5): 497-503. 2002.

BORREDON Marie-Elisabeth, MOULOINGUI Zéphirin
« Chimie pour le développement durable – Les biotensioactifs », LCA, Toulouse, France, octobre 2006.

CENTRE TECHNOLOGIQUE DU MINAS GERAIS / CETEC
« Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais »
Volume 1 : « Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais », 1983
Volume 2 : « Transesterificação de óleos vegetais », 1983

CHIRAT Nathalie
Thèse de doctorat : « Etude de la qualité de carburants dérivés des huiles végétales - Approche méthodologique », Université de Montpellier 2, France, décembre 1996.

DE THEUX Barthélémy
Rapport de fin d'étude : « Utilisation de l'huile de palme comme combustible dans les moteurs diesel », ECAM, Belgique, 2003-2004.

EIER ETSHER
Rapport de la journée énergie sur la biomasse énergie organisée par le groupe EIER ETSHER, mai 2006 : « Formation sur la biomasse énergie », Burkina Faso, mai 2006.

F. FUHRER, A. LIMACHER, H. MIKLE, M. TRUTTMANN, R. FRIEDLI, M. PASQUIER, H. PFEFFERLI, R. SCHNELLER, G. GREMAUD
« Graisses comestibles, huiles comestibles et graisses émulsionnées », chapitre 7.
Manuel suisse des denrées alimentaires MSDA, Suisse, 2005.

Guide pratique : « La Transformation Artisanale des plantes à huile - Expérience et procédés »
GRET, France, 1995.

E. GUIRAL et C. SAINT-CYR
« Voyage d'étude sur les huiles végétales pures », Rhonalpénergie-Environnement, France, mars 2005

GACHE Mélody, CIRAD
Rapport : « Etude de la teneur en sédiments dans les huiles végétales destinées aux moteurs diesels. IUT, Université de Perpignan, France, juillet 2007.

HENNING Reinhard, SIDIBE Yaya et SANANKOUA Oumou
Rapport intermédiaire du Projet Pourghère DNHE – GZT
« Production et utilisation de l'huile végétale comme carburant », Mali, novembre 1994.

LE CHIEN Hoang, Directeur Division Oléochimie VALAGRO - France
Compte rendu de la rencontre Franco-Brésiliennes sur les biocarburants – 27,28, 29 novembre 2006 Brasilia, Brésil.

LIENNARD Alain,
Thèse de doctorat : « Analyse de la durabilité socio-économique d'un processus de développement insulaire : La Nouvelle-Calédonie », Université de Montpellier 1, France, 2003

LIENNARD Alain, VAITILINGOM Gilles
« Etude sur les conditions technico-économiques de l'utilisation des huiles végétales pures dans les moteurs de navires de pêche professionnelle », Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, France, janvier 2007.

MARTIN Georges, GRAILLE Jean, MAYEUX Alain, DOUMERGUE Christine
« Possibilités d'emploi de diverses Huiles tropicales dans les moteurs Diesel- Recensement et caractérisation », CIRAD, France, octobre 1983.

PIOCH Daniel, VAITILINGOM Gilles
"Palm oil and derivatives: fuels or potential fuels?" OCL vol. 12 n°2, March-April 2005.

PRANKL Heinrich, KÖRBITZ Werner, MITTELBACH Martin, WÖRGETTER Manfred

« Review on biodiesel standardization world-wide », Mai 2004.

K. REINHARD et TIANASOA RAMORAFENO

« Le manuel Jatropa », Novembre 2005

TRAN Gilles

« Le coton et ses co-produits en alimentation animale » - Revue de l'Alimentation Animale n°482, Novembre 1994.

VAÏTILINGOM Gilles

Thèse de doctorat : Huiles végétales - Biocombustible diesel « Influence de la nature des Huiles et en particulier de leur composition en acides gras sur la qualité-carburant », Université d'Orléans, janvier 1992.

VAITILINGOM Gilles, LIENNARD Alain

“Various vegetable oils as fuel for Diesel and burners: Jatropa curcas particularities”. Biofuels and industrial products from J. curcas. Ed. Technische Universität Graz, Austria. 1997. p 98-109.

VAITILINGOM Gilles, PERILHON Christelle, LIENNARD Alain, Gandon Michel.

Development of rape seed oil burners for drying and heating. Industrial Crops and Products, Elsevier. Vol. 7, p. 273-279, 1998.

VAITILINGOM Gilles, LIENNARD Alain

« Expérimentation d'un groupe fonctionnant à l'huile de coprah sur l'île d'Ouvéa – bilan après 2500 heures ». CIRAD, Nouvelle Calédonie, 1998.

VAITILINGOM Gilles

« Les huiles végétales biocarburants pour les moteurs diesels », CIRAD, France, novembre 2004

VAITILINGOM Gilles

« Performances globales théoriques des moteurs diesels alimentés par l'huile de Tournesol ou de colza », CIRAD, France, janvier 2005.

VAITILINGOM Gilles

« Utilisations énergétiques de l'huile de coton », Cahiers Agricultures Vol. 15, n°1, janvier-février 2006

• Sites Internet :

www.acces.inrp.fr/

www.europeus.org

www.treehugger.com

www.bioking.nl

www.ifp.fr

www.uidaho.edu/bioenergy/

www.bcmad.com

www.institut.hvp.free.fr

www.canola-council.org

www.peracod.net/.../moteur-a-huile-Inde.htm.

www.cirad.fr/

www.trame.org

www.cogen-challenge.org

Chapitre 3

Éléments d'évaluation économique des huiles-carburants

Abigail Fallot, Philippe Girard

Introduction : comment juger de l'intérêt économique d'une huile-carburant ?

L'intérêt pour l'huile-carburant d'origine végétale est essentiellement lié à la raréfaction et au renchérissement des ressources pétrolières, problèmes qui pénalisent en premier lieu les populations des zones rurales dont accès à l'énergie autre que traditionnelle passe par les carburants fossiles (groupes électrogènes, moteurs d'installations fixes ou de véhicules).

C'est donc le plus souvent dans une optique de comparaison avec le diesel ou d'autre carburant pétrolier, que l'on procède à l'évaluation économique d'une huile-carburant.

Afin de s'assurer de débouchés, l'éventuel producteur d'huile-carburant doit pouvoir situer son coût de revient par rapport au prix de l'équivalent pétrolier.

Le consommateur de carburant compare les alternatives, origine végétale ou pétrolière, avant d'éventuellement modifier son moteur.

Quant au régulateur, des considérations d'intérêt général (long terme, équité, environnement, ...), peuvent l'amener à vouloir privilégier ou pénaliser un carburant et en conséquence intervenir sur les éléments de comparaison des carburants.

Dans des contextes diversifiés d'émergence de filière huile-carburant, les modes de production ne sont pas stabilisés sur des itinéraires techniques complètement définis avec des niveaux de coûts représentatifs standards. Et ni les marchés ni les réseaux de commercialisation des huiles-carburants ne sont suffisamment structurés pour que les données de prix soient comparables. Aux séries de prix par origine et par qualité des carburants fossiles, font face des informations ponctuelles et souvent incomplètes, et

donc difficilement comparables, sur les prix des huiles-carburant. Toutefois, quelques enseignements peuvent être tirés de l'observation des marchés des huiles voués à d'autres usages, notamment alimentaires.

La méthodologie proposée ici pour une première évaluation économique ponctuelle d'huile-carburant, dans un contexte chaque fois spécifique de production et d'utilisation, détaille trois étapes :

- le calcul des coûts de revient pour le producteur et pour le consommateur d'huile-carburant ;
- l'analyse des prix de marché, éventuel marché de l'huile et marché de l'équivalent pétrolier ;
- la prise en compte d'éventuelles incitations supplémentaires, taxes, subventions ou crédit carbone.

Les éléments d'évaluation ainsi obtenus pourront servir à des analyses de sensibilité et à des comparaisons entre plantes ou options techniques.

L'évaluation proposée servira aussi à l'analyse financière d'un projet d'investissement (plantation, installation de production d'huile ou moteur adapté par exemple), d'un point de vue non plus global mais du seul investisseur. Les modalités de cette analyse financière (*e.g.* calcul du taux de retour sur investissement) ne sont pas détaillées ici car elles sont très classiques.

Calcul du coût de revient

Les marges escomptables sur le prix de l'énergie produite ou vendue étant faibles, la moindre erreur d'estimation peut être fatale au projet avant même que ne soit envisagée la vente de la production, d'autant que les incertitudes sont nombreuses compte tenu du faible nombre de références au niveau mondial. La viabilité du projet peut également être affectée par le manque de formation des personnels ou un mauvais dimensionnement qui va se traduire par des coûts de revient trop élevés et qu'une analyse comparée des coûts doit pouvoir révéler.

Principes

Le calcul du coût de revient d'un produit fabriqué ou d'une activité réalisée, est du ressort de la comptabilité analytique et répond à des règles comptables strictes dans les entreprises dotées d'un suivi comptable.

En l'absence d'entreprise commerciale, en présence de coûts non monétaires et dans les situations où l'huile-carburant n'est pas encore produite ou consommée de façon régulière, le calcul du coût de revient peut se réaliser de manière relativement intuitive à conditions d'établir au préalable un ensemble de définitions et délimitations et de procéder par étape et de façon systématique comme nous le suggérons ci-après.

0. L'unité monétaire

0.1. Définition de l'unité monétaire dans laquelle est calculé le coût de revient. En général il s'agit de la monnaie locale et de prix courants (valeurs observées une année donnée).

0.2. Précision de l'année considérée et des taux de change et taux d'inflation susceptibles d'intervenir dans le calcul du coût de revient. Les

situations d'inflation ou d'évolution des taux de change peuvent biaiser des résultats, il est important d'en tenir compte, en particulier pour les productions oléagineuses pluriannuelles et l'achat de matériel ou d'intrants en devises étrangères.

0.3. Equivalences en cas de travail rémunéré, intrants auto-consommés ou autres échanges non monétaire.

1. Le produit ou l'activité

1.1. Définition du produit ou de l'activité dont on calcule le coût de revient, ainsi que de l'unité de volume pour ce calcul (e.g. litre d'huile ou MJ de carburant).

1.2. Précisions sur ses éventuelles caractéristiques discriminantes (pouvoir calorifique et autres propriétés qui sont importantes du fait d'un différentiel vis-à-vis des produits pétroliers auxquels ils sont susceptibles de se substituer, origine végétale qui affecte les propriétés, lieu de production qui peut occasionner des frais de transport...).

2. Les opérations

2.1. Identification de l'ensemble des opérations contribuant directement à la fabrication du produit ou à son utilisation.

2.2. Pour chaque opération, recensement des besoins en capital, travail, énergie et matériaux ou autres intrants.

2.2.1. Certains coûts varient en fonction du niveau de production (e.g. carburant consommé par la presse), ce sont les coûts variables, exprimés par unité de production.

2.2.2. D'autres coûts sont fixes parce qu'ils ne changent pas quand le volume de production varie (e.g. amortissement de la presse). Le montant unitaire d'un coût fixe est obtenu à partir du montant global, en le divisant par le volume d'activité projeté.

3. L'entreprise

3.1. Délimitation des coûts indirects à imputer à la production ou l'utilisation d'huile-carburant, frais de gestion par exemple.

3.2. Détermination de règles d'imputation, en pourcentage fixe des coûts directs, ce qui est le plus simple, ou après recensement de l'ensemble des activités liées au sein de la même entreprise et choix des critères d'imputation entre activités (e.g. intensité en capital ou en main d'œuvre).

Le tableau ci-après donne le détail de ce que sont les grands postes de dépense à prendre en considération. Chaque situation peut être très spécifique et qu'il conviendra au porteur de projet d'être particulièrement vigilant à n'oublier aucun des postes de dépenses susceptibles d'affecter la rentabilité de son projet.

Grands postes de dépenses	Coûts directs lié à chaque opération		Coûts indirects lié au fonctionnement de l'entreprise
	coûts variables	coûts fixes	
Capital		Equipements : stockage, presse, filtres, raccordement réseau, automatismes, modifications moteurs, génie civil, bâtiment. . .	frais financiers généraux
Travail qui peut être segmenté par niveau de qualification et donc de rémunération.	Manutention et entretien, si ce poste est réalisé par un service extérieur et comptabilisé au temps effectif réalisé	Estimation des besoins en personnel pour le fonctionnement de l'unité Contrairement au poste précédent, les salaires sont à assurer que l'installation soit ou non fonctionnelle.	gestion de l'entreprise
Energie	consommation en carburant de la machine fonction de la durée de fonctionnement	Consommations incompressibles même l'unité à l'arrêt.	éclairage des locaux de l'entreprise transport des personnels
Matériaux et autres consommables	produit chimiques pour le traitement de l'huile, emballage, . . .		consommation d'eau des personnels, fournitures de bureaux

Le coût des équipements peut être élevé (si il y a lieu d'acquérir un nouveau moteur par exemple) au regard de la durée d'utilisation pour des applications d'électrification rurale par exemple. Il aura des répercussions fortes sur le coût de production proportionnellement à la durée de fonctionnement de l'installation. Dans la majorité des cas les promoteurs de ce type de technologie sous-estiment les besoins d'investissement pour

la préparation et le conditionnement de l'huile brute pour la « convertir » en huile carburant.

Le coût du transport est également important dans le cas de transport de graines avant trituration. Il est trop rarement correctement estimé dans les coûts de production. Ce coût pourra être élaboré à partir du tableau ci-après et ajusté en fonction du rayon d'approvisionnement moyen considéré.

Type et capacité en m ³ du moyen de transport utilisé	
Données de base	
Valeur d'achat	.....
Kilométrage par rotation	..... km
Volume transporté par rotation	..... m ³
Masse volumique apparente	... kg/m ³
Masse transportée par rotation	.....kg ou tonnes
Durée de rotation chargement inclus	.... heures
Nombre de rotation par jour	.....
Kilométrage annuel (250 jours annuels) ¹	..... km
Durée de vie du matériel	..... années
Coût annuels	
Amortissement	Valeur d'achat/ Durée de vie
Entretien, réparation, pneumatiques	.....
Carburant ² : 34 l gas-oil/100 km à XX/l	.....
Lubrifiant : 4 % du volume carburant à XX/l	.....
Assurance	.....
Chauffeur (inclus heures supplémentaires éventuelle)	.....
Frais généraux 10 %	.....
Coût annuel	.....
Prix de revient par voyage	Coût annuel/nb total de rotation
Prix de revient par km roulé	Coût annuel/ kilométrage annuel
Prix de revient / tonne	Prix de revient par voyage/ Masse transportée par rotation

¹ Il est important de préciser le nombre de jour travaillé par an en fonction des jours fériés, de vacances, ... pour pouvoir notamment estimer les besoins en personnel de certaines taches.

² Il s'agit à titre d'exemple d'une consommation moyenne d'un camion de 15 t de charge utile

L'enjeu de la précision explicite à ce stade initial de définition et délimitation est la comparabilité des résultats, cruciale pour leur interprétation. En effet la valeur absolue d'un coût de revient n'est utilisable dans une analyse économique que si elle peut être comparée (e.g. entre produits ou entre modes de production) et l'exercice de comparaison ou calcul de coûts relatifs présuppose de définir exactement le produit (caractéristiques) et la situation (où, quand...) considérés ainsi que les modalités du calcul du prix de revient (hypothèses sur les coûts fixes et sur les coûts indirects) pour pouvoir aussi le cas échéant y associer une analyse de sensibilité.

La précision en termes de définition n'implique pas forcément que le niveau de détail soit élevé. A toutes les étapes se pose la question du niveau de détail. La production d'oléagineux par exemple peut être considérée comme une seule opération ou trois (pépinière, semis et entretien, collecte des graines). Les coûts en travail peuvent être détaillés selon le niveau de qualification ou estimés tous types confondus avec un coût moyen de la main d'œuvre. Le niveau de détail doit être choisi en fonction des objectifs du calcul du coût de revient, de la problématique dans lesquels s'insère l'exercice. Contexte de rareté de la main d'œuvre qualifiée, ou de grande variabilité des coûts de collecte selon les plantes ? L'arbitrage sur le niveau de détail se fait entre la simplicité de l'exercice et la diversité des questionnements que l'on souhaite pouvoir éclairer.

Coût de revient de l'huile-carburant selon le point de vue du producteur

1.1. Définition du produit dont on calcule le coût de revient : un litre d'huile-carburant.

1.2. Précisions sur ses éventuelles caractéristiques discriminantes : plante(s) dont est issue l'huile, lieu et mode de production, tableau de valeurs seuils pour les caractéristiques les plus importantes (ce reporter au chapitre précédent).

2.1. Identification de l'ensemble des opérations contribuant directement à la fabrication du produit ou à son utilisation.

- si le producteur d'huile-carburant commence par produire les oléagineux.
- Culture ou plantation, récolte ou collecte

- Extraction
- Conditionnement
- si le producteur d'huile-carburant achète de l'huile qu'il conditionne, seul le conditionnement est pris en compte et l'huile brute entre au titre des intrants.

2.2. Pour chaque opération, recensement des besoins en capital, travail, énergie et matériaux ou autres intrants comme proposé dans le tableau précédent.

Coût de revient de l'utilisation d'huile selon le point de vue de l'utilisateur

1.1. Définition de l'activité dont on calcule le coût de revient : utilisation d'un MJ d'huile

1.2. Précisions sur ses éventuelles caractéristiques discriminantes : lieu d'approvisionnement, valeurs seuils pour les caractéristiques les plus importantes selon qu'il s'agit d'une huile brute ou d'une huile-carburant (déjà débarrassée de ces impuretés).

2.1. Identification de l'ensemble des opérations contribuant directement à la fabrication du produit ou à son utilisation : approvisionnement en huile-carburant ou en huile brute, utilisation d'huile-carburant dans un moteur adapté.

2.2. Pour chaque opération, recensement des besoins en capital, travail, énergie et matériaux ou autres intrants comme décrit dans le tableau précédent.

Analyse du prix du marché

Cette analyse s'effectue à deux niveaux :

prix de l'huile

- pour éventuellement vendre son huile quand on s'engage dans la production d'huile
- pour acheter de l'huile ou en «coût d'opportunité»

Il est important de prendre en compte la saisonnalité de l'approvisionnement afin d'anticiper les coûts de stockage éventuels ou le comportement spéculatifs des intermédiaires. Trop souvent les huiles auto consommées ou produite à partir de collecte de fruits sont considérées comme à coût nul. La récolte de ces produits à un coût qui doit être pris en compte, au moins en ce qui concerne la main d'œuvre. Ensuite, les usages alternatifs de ces produits peuvent créer une concurrence susceptible de rapidement faire augmenter les prix de la matière première. En conséquence il est illusoire de considérer la matière première comme gratuite dans un projet sans faire courir de très gros risques à ce dernier. Le prix de cette matière première devra être au minimum rémunérer prix du travail, sur une base ramenée au litre d'huile brute ou raffinée en fonction des situations.

prix des produits concurrents, les carburants pétroliers

Il est également important de ne pas négliger les autres facteurs influençant la compétitivité des huiles par rapport aux produits pétroliers

- distance (coûts de stockage et transports);

- saisonnalité (relation producteur acheteur avec éventuel comportement spéculatif, politique commerciale avec degré d'ouverture aux importations)
- qualité : évolutions possible des propriétés et différence de pouvoir calorifique en fonction de la nature des huiles qui se traduisent par des consommations spécifiques différentes.

Il convient enfin, d'intégrer les taxes, subventions et éventuels crédits carbone qui pourraient être obtenus dans le cadre d'incitations au niveau du projet

Analyse de viabilité

Les prix du marché

Cette analyse s'effectue à deux niveaux :

prix de l'huile

- pour éventuellement vendre son huile quand on s'engage dans la production d'huile
- pour acheter de l'huile ou en «coût d'opportunité»

Il est important de prendre en compte la saisonnalité de l'approvisionnement afin d'anticiper les coûts de stockage éventuels ou le comportement spéculatifs des intermédiaires. Trop souvent les huiles auto consommées ou produite à partir de collecte de fruits sont considérées comme à coût nul. La récolte de ces produits à un coût qui doit être pris en compte, au moins en ce qui concerne la main d'œuvre. Ensuite, les usages alternatifs de ces produits peuvent créer une concurrence susceptible de rapidement faire augmenter les prix de la matière première. En conséquence il est illusoire de considérer la matière première comme gratuite dans un projet sans faire courir de très gros risques à ce dernier. Le prix de cette matière première devra être au minimum rémunérer prix du travail, sur une base ramenée au litre d'huile brute ou raffinée en fonction des situations.

prix des produits concurrents, les carburants pétroliers

Il est également important de ne pas négliger les autres facteurs influençant la compétitivité des huiles par rapport aux produits pétroliers

- distance (coûts de stockage et transports);
- saisonnalité (relation producteur acheteur avec éventuel comportement spéculatif, politique commerciale avec degré d'ouverture aux importations)
- qualité : évolutions possible des propriétés et différence de pouvoir calorifique en fonction de la nature des huiles qui se traduisent par des consommations spécifiques différentes.

Il convient enfin, d'intégrer les taxes, subventions et éventuels crédits carbone qui pourraient être obtenus dans le cadre d'incitations au niveau du projet

La marge d'un projet de production d'électricité à partir d'huile

Pour juger de l'intérêt économique de l'huile en génération électrique, il convient donc de comparer la solution huile végétale avec le diesel de revient (à calculer), des prix du marché (à analyser) et des éventuelles incitations ponctuelles (opportunités à étudier).

Une analyse exhaustive de faisabilité n'est pas toujours simple à élaborer par manque de données précises. Afin de permettre une analyse simplifiée d'un projet sans ignorer un des aspects très particuliers relatifs à ce secteur, le tableau ci-après présente une démarche simplifiée qui permet de vérifier que le projet dégage bien une marge, permettant d'espérer une rentabilité minimum.

Calcul simplifié de marge escomptée.

Données d'analyse de projet	abréviation	Mode de calcul
Capacité annuelle de production	K	Dimensionnement projet
Investissement total matériel	I	Donnée projet
Prix unitaire de la matière première	Pb	Analyse Marché
Prix de revient de l'électricité diesel	Pv	Analyse Marché
Masse de graines sèches/litre d'huile	M	Donnée chapitre XX
Frais de transport unitaire	T	Voir plus haut
Prix unitaire du litre d'huile brute	Ps	$(Pb+T)*M$
Coût de raffinage	Pr	Dimensionnement projet
Coût de l'huile carburant	Ph	$Ps+Pr$
Consommation spécifique	Cs	350g/kWh
Coût de personnels	Cp	Dimensionnement projet
Coût de personnels spécifique	Cps	Cp/K
Amortissement du matériel (5 ans)	D	$I/5$
Amortissement spécifique	Is	D/K
Maintenance	m	$Is*0.04$
Autre coûts spécifiques	Acs	$Cps*0.10$
Prix de revient du kWh	Pr	$(Ph*Cs)+Is+m+Acs$
Marge du projet	B	$Pv-Pr$

Diplomata Editora e Impressos Graficos
A.D.E Conjunto 07 – Lote 24 – Loja 03
Cep: 71.986-720 – Brasília – Distrito Federal
Telefax: (61) 3399-0145