



Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

42, rue Scheffer
75116 Paris
France

Ce document a été édité à l'occasion du Salon international de l'Agriculture 1997 par le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), avec le soutien d'EURONAT (groupe OCTIDE) et de l'Institut français du caoutchouc (IFC), et la collaboration du groupe OCTIDE et de ses filiales (SIPH, SODECI, EURONAT, SAPH), du Syndicat national du caoutchouc et des polymères (SNCP) et de SAFC-ALCAN.

Crédit photos et illustrations (De gauche à droite et de haut en bas)

Couverture : Goutte de latex, A. Rival.

Une matière mythique (pp. 2 et 3) : Caoutchouc in Flore Médicale.

E. P. Chaumeton, 1815, BIU Montpellier — Jeu de flacchi, deux codex antiques : codex Bodley et codex Fejevary — Balle du jeu de flacchi, Musée de Nîmes — Terrain de flacchi, d'après La Recherche, N° 472, p. 22 — Joueurs de flacchi, dessin de Weiditz, 1529, Musée de Leipzig — Portrait de La Condamine, in Le Magasin pittoresque, 1836 — Illustrations de l'article de La Condamine, in Mémoires de l'Académie royale des sciences, 1751, BIU Montpellier — Départ de Rochefort pour Cayenne au XVIII^e s., in François Fresneau, père du Caoutchouc, E. de Chanceloup Lahaie, 1942 — Manuscrit du mémoire de Fresneau sur la découverte du caoutchouc, Bédou — Gravure en frontispice de l'Histoire des plantes de la Guinée française, M. Fusée Aublet, 1775.

L'hévéa, l'usine à latex (pp. 4 et 5) : Vue des cellules laticifères de l'hévéa au microscope électronique, E. de Faj.

La fièvre du caoutchouc (pp. 6 et 7) : Recette du caoutchouc en Amazone, phot. anonyme du XIX^e s. — Outils de saignée, B. Favre — Fabrication du caoutchouc, phot. anonyme du XIX^e s. — Habitations de seringueiros, idem — Stockage du caoutchouc, idem — Maison de saigneur en Indonésie, A. Rival — Plantation d'hévéas à Java, J. M. Bonnet — Fèves des boîtes de caoutchouc, phot. anonyme du XIX^e s. — Saignée au Cameroun, E. Penot — Plantations au Gabon, P. Cerier — Recette du latex, Thaïlande, S. Charenniratragul.

Du latex au caoutchouc (pp. 8 et 9) : Fabrication de chaussures en caoutchouc, au Para (Bresil), in Le Magasin Pittoresque, 1855. — Publicité pour un pneu de bicyclette, India Rubber World — Brevets et brodequins de chasse en caoutchouc, Catalogue de la Manufacture française d'armes et cycles de Saint-Etienne, 1928 — Vêtements imperméables, in Le Magasin Pittoresque, 1855. — Machine à déchiqueter le caoutchouc brut, Merveilles de l'Industrie, L. Figuer, 1873 — Boule de "borracha", Bresil, E. Hallé — Feuilles fumées de latex, A. Rival — Elapes du traitement du latex dans une plantation d'Etat au Vietnam, sept photos, A. V. Bernas et L. Duriez, © CIRAD — L'ascension de Charles le 1^{er} décembre 1783, P. Buron Pilate — C. Goodyear, gravure dans One Hundred Years of Vulcanized Rubber, 1898 — Bateau pneumatique en tissu ballon caoutchouté, Catalogue de la Manufacture française d'armes et cycles de Saint-Etienne, 1928 — Injection du caoutchouc, document REP, d.r. — Fabrication de gants de ménage, document Hutchinson, d.r. — Bottes de chasse en caoutchouc naturel, © Aigle — Conception informatique d'une pièce industrielle, document Hutchinson, d.r. — Pneu Pilot, © Michelin.

Des enjeux à l'échelle de la planète (pp. 10 et 11) : Culture de clones d'hévéa, L. Lardet — Pese de crêpe de latex en Indonésie, d.r. — Carte de la production et de la consommation de caoutchouc naturel dans le monde, d'après La Recherche, N° 476, p. 541 — Latex en granulés, Indonésie, A. Rival — Enfants indonésiens, A. Rival — Examen d'une feuille de latex, A. Rival — Concombre en intercalaire d'hévéas, S. Charenniratragul — Enfants africains, A. Rival — Diagnostic latex, J.L. Jacob.

Comprendre pour agir (pp. 12 et 13) : Culture de clones d'hévéa, L. Lardet — Laboratoire d'analyse, Cité d'ivoire, A. Diez — J. d'Azur, d.r. — Extrude sèche, A. Diez — Fumes, IRCA — Simulation, J.M. Eshbach — Graissage de l'hévéa, IRCA — Modification d'une plantation d'hévéa, CIRAD-Amp.

Le caoutchouc naturel est incontournable (pp. 14 et 15) : Bilibidum présente le pneu ZX, © Michelin — Un modèle de la marque Crypto Cycle Co. Ltd, in Bartlett's Bicycle Book, H. W. Bartlett, 1931 — Voiturette Renault type A, 1898, © Renault — Voiture de sport Renault 1920, © Renault — Peugeot 403 berlina, 1906, © Musée Peugeot — Pèse pour l'histoire, document Hutchinson, d.r. — Spider Renault Sport, © Michelin — Conception d'un silent-bloc, document Hutchinson, d.r. — Concordat au décollage, © Aérospatiale — Pneu agricole, © Michelin — Chargeuse, © Michelin — Tétine, document Hutchinson, d.r. — Gant de ménage, document Hutchinson, d.r. — Opération Compteur avec le rayon des cimes, d.r. — Fabrication de pains, document Hutchinson, d.r. — Pneu avion, © Michelin — Tracteur sur pneus, © Michelin.

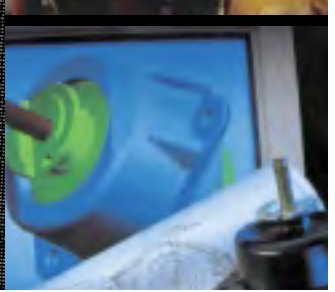
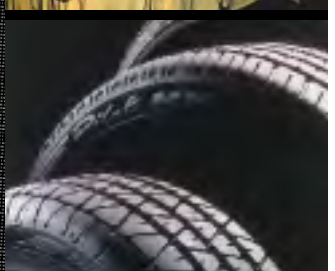
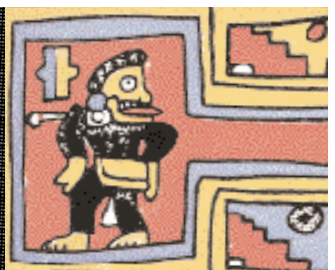
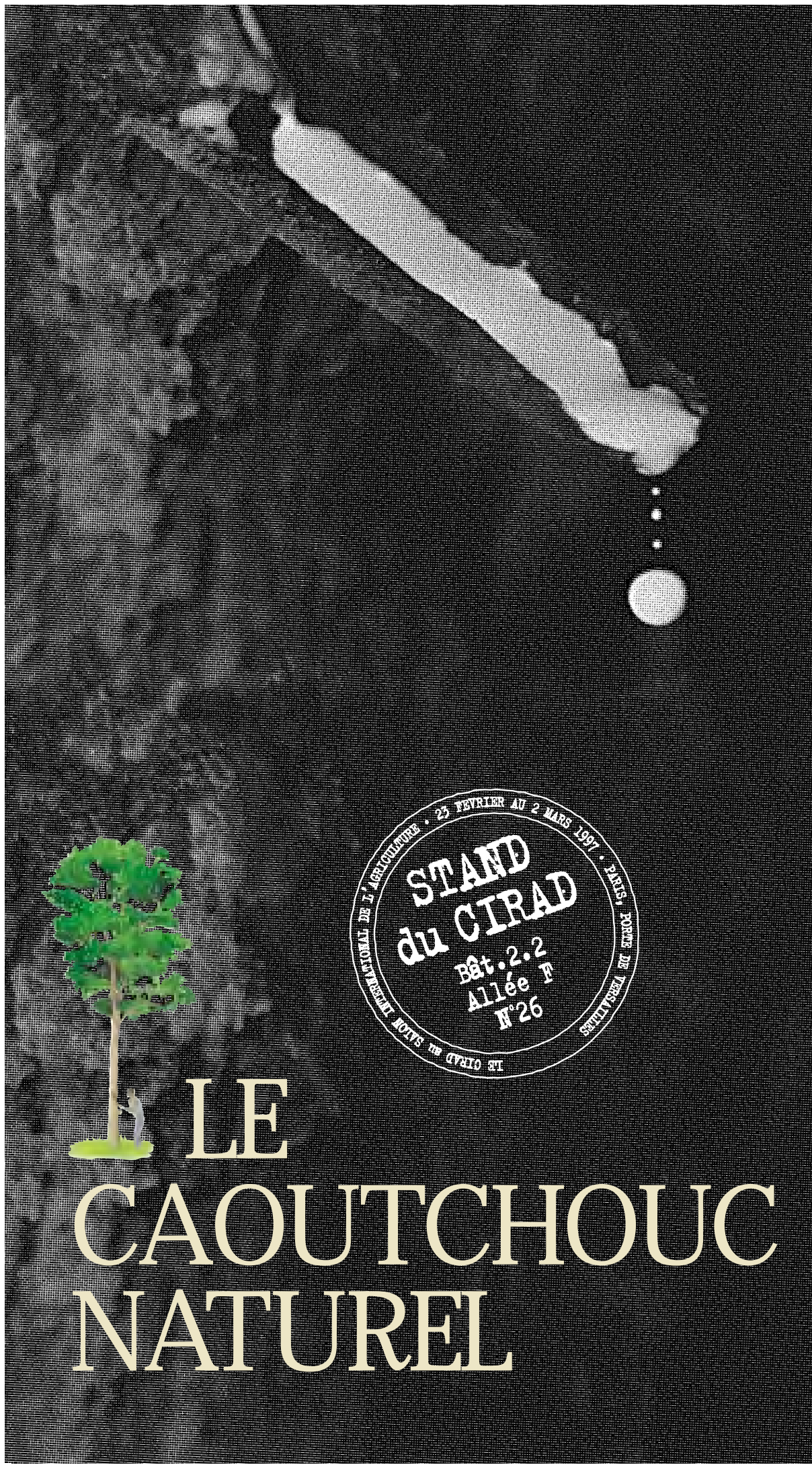
Coordination : Anne Hébert, CIRAD.
Direction des relations extérieures

Textes : Pascale Ammar-Khodja, avec la collaboration de J.B. Serier et des chercheurs du département cultures pérennes du CIRAD

Création et mise en pages : Denis Délebecq et Bernard Favre, Louma productions

Illustrations originales : Helen Larkins (aquarelles) et Jacques Lucchino (Professeur K.)

© CIRAD Février 1997 — ISBN : 2-87614-271-6



LE CIRAD AU SALON INTERNATIONAL DE L'AGRICULTURE • 23 FEVRIER AU 2 MARS 1997 • PARIS, PORTE DE VERSAILLES
STAND
du CIRAD
Bât. 2.2
Allée F
N°26

LE CAOUTCHOUC NATUREL

Une matière mythique



Le caoutchouc naturel est extrait d'un arbre, l'hévéa. Il y a un siècle, c'était encore une matière énigmatique, rare et coûteuse, à l'avenir incertain. L'industrie automobile, qui lui doit beaucoup, a favorisé le développement de sa production. Aujourd'hui, le caoutchouc naturel est partout, au point qu'on ne pourrait plus imaginer la vie sans lui !



Le bois qui pleure est sacré



Les Aztèques considéraient la nature comme un système en équilibre critique dont il fallait maintenir l'existence, notamment par des sacrifices chargés d'alimenter le cosmos en énergie vitale. Le soleil ne pouvait continuer à briller que s'il était régulièrement alimenté par la plus sacrée des nourri-

tures, le sang humain. Le caoutchouc, sang de l'arbre, leur semblait très proche du sang de l'homme. Il était, ce fait, souvent associé aux sacrifices.



Une balle de tlachli en caoutchouc, telle que les Aztèques l'utilisaient.

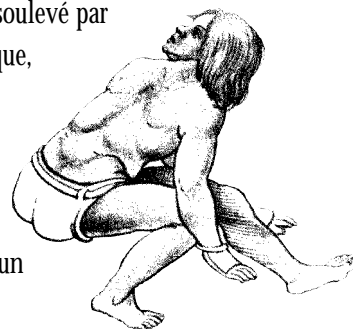
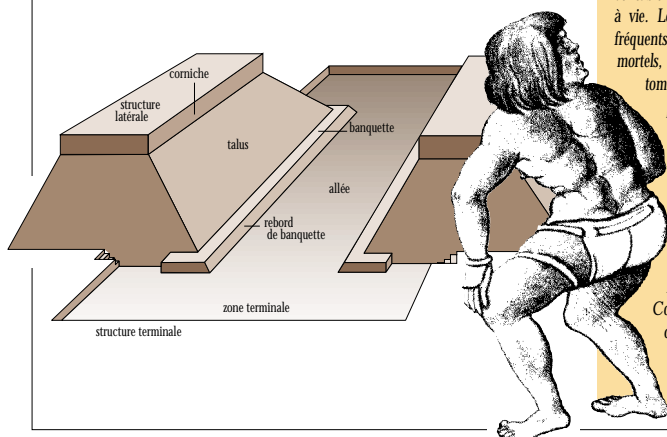


L'ancêtre du basket ?

Le caoutchouc était connu en Amérique centrale bien avant l'ère chrétienne. Les Mayas et les Aztèques en fabriquaient les balles servant à jouer au tlachli. A l'époque précolombienne, le tlachli était au moins aussi populaire que le football dans l'Amérique latine d'aujourd'hui. Certains voient dans ce sport l'origine du basket. Le jeu qui oppose deux équipes consiste à maintenir la balle en l'air le plus longtemps possible, en l'empêchant de rebondir sur le sol et la relançant uniquement avec les hanches ou les fesses. Si un joueur parvient à faire passer la balle dans l'anneau, il est considéré comme un véritable héros et acquiert une gloire à vie. Les accidents corporels sont fréquents, souvent graves, parfois mortels, lorsque la balle frappe l'estomac ou le bas-ventre. Peu à peu, ce jeu réservé à une élite évolue pour prendre un caractère divinatoire et guerrier. Symbole de la grande bataille des forces cosmiques, il est souvent pratiqué avant les sacrifices humains. En interdisant le tlachli, les Conquistadors plongent le caoutchouc dans un sommeil de 200 ans.

La fascination qu'exerce le caoutchouc tient à ses propriétés exceptionnelles. De tous les matériaux actuels, il est le plus plastique, ce qui lui permet de prendre les formes les plus inattendues. Il présente de surcroît une propriété spécifique dont ne bénéficient pas les autres matières naturelles : il est élastique. Le caoutchouc peut se déformer à l'infini, il retrouve toujours sa forme initiale. Le caoutchouc est unique !

C'est une matière presque métaphysique qui semble échapper au temps et à l'espace. Au temps, parce que son élasticité l'empêche de se briser même dans les chutes les plus violentes. A l'espace, parce qu'il triche avec la principale loi qui régit les autres solides : celle de la pesanteur. Jeté au sol, il rebondit, soulevé par une force presque magique, quasiment jusqu'au point dont il est parti. On comprend que ce matériau hors du commun ait été jadis investi d'un





Au XVIII^e siècle, un Français redécouvre le caoutchouc

Le mot *caoutchouc* vient du quechua *cahutchu* : larme de bois. La redécouverte du caoutchouc aura lieu vers 1735.

Un savant français, Charles de La Condamine, venu mesurer, sur le continent américain, la longueur d'un arc de méridien à la hauteur de l'équateur, observe l'utilisation

du caoutchouc pour la fabrication de torches. Dix ans plus tard, il retrouve le caoutchouc au plus profond de l'Amazonie et s'enthousiasme pour ses extraordinaires propriétés :

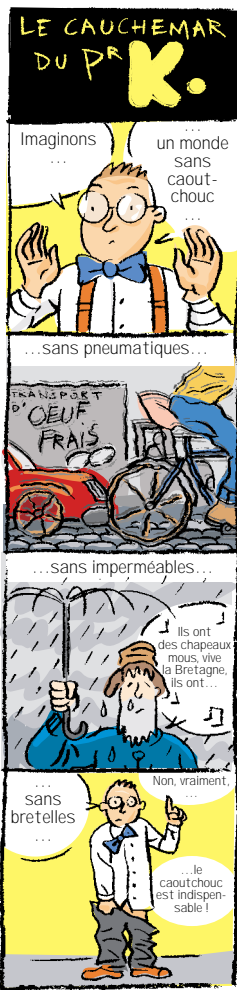
l'élasticité et l'imperméabilité. Il en fera la promotion en Europe, avant de passer le flambeau à un autre Français, ingénieur du Roy à Cayenne, François Fresneau. C'est à lui que revient l'honneur



d'avoir décrit l'hévéa, pratiqué la saignée et étudié le latex.



caractère sacré et que ses propriétés exceptionnelles aient intéressé l'industrie. Son histoire extraordinaire, parfois rocambolesque, a métamorphosé notre civilisation. Les hommes qui ont participé à cette saga, aventuriers, esclaves, Indiens, inventeurs, explorateurs, industriels, scientifiques, sont tout aussi passionnants. Plus près de nous, le caoutchouc naturel, malgré

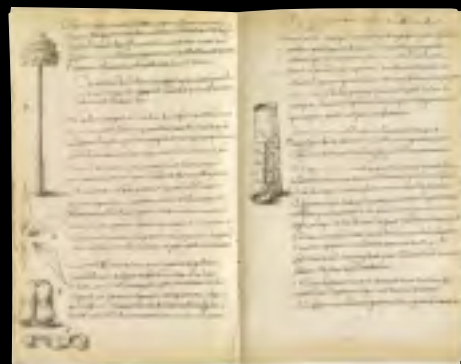


1. Cacao, cacao 2. Cacao, cacao 3. Cacao, cacao
4. Cacao, cacao 5. Cacao, cacao 6. Cacao, cacao
7. Cacao, cacao 8. Cacao, cacao 9. Cacao, cacao
10. Cacao, cacao 11. Cacao, cacao 12. Cacao, cacao

la concurrence du caoutchouc synthétique, reste incontournable dans la fabrication de produits de pointe.

La première étude scientifique du caoutchouc est une étude française.

Elle a été réalisée en Equateur, entre 1736 et 1744, par le naturaliste français Charles de La Condamine pour l'Académie des sciences, et en Guyane par l'ingénieur François Fresneau.



Description de l'Arbre Seringue (ainsi nommé par les Portugais de Para; Hhévé par les habitants de la province d'Esmeraldas, au nord-ouest de Quito, et Caoutchouc chez les Mainas).

Cet arbre (fig. 10) est fort-haut, très-droit, ayant une petite tête, et sans autres branches dans toute sa longueur. Les plus gros dans la Guiane n'ont guère que 2 pieds de diamètre, et toutes leurs racines sont en terre; son tronc est plus gros vers la base, et écaillé à peu près comme une pomme de pin; la feuille (fig. 11) ressemble assez à celle du manioc, c'est-à-dire qu'elle est composée de plusieurs feuilles de grandeur inégale, portées sur la même queue, tantôt au nombre 3, tantôt de 4, et le plus ordinairement de 3. Les plus grandes feuilles qui occupent le centre, ont environ 3 pouces de longueur, et trois-quarts de pouce de largeur; elles sont d'un verd-clair en dessus, et plus pâle en dessous.

Le fruit (fig. 12 et 13) de cet arbre est une coque triangulaire, semblable par sa figure au fruit du ricin ou palma christi, mais il est beaucoup plus gros; la substance de la coque est épaisse et ligneuse: cette coque a trois loges qui renferment chacune une seule semence ovale et de couleur brune, où se trouve une amande (fig. 14).

Usage qu'on peut faire de cet arbre et de son fruit.

L'arbre seringue est surtout très-propre pour faire de petits mats d'une seule pièce et des mâches aux gros mats. Il est léger et extrêmement liant, il vient très-droit et très-haut. L'amande qu'il porte étant pilée et bouillie, donne une graisse fort utile aux Indiens pour préparer leurs mets, selon le rapport qu'ils m'en ont fait; de plus, les perroquets, les aras et les quadrupèdes mangent cette graine, ce qui prouve qu'elle n'est pas mal-faisante.

Quant à la manière de tirer et d'employer le suc de l'arbre Caoutchouc, ainsi que celui des autres arbres dont j'ai parlé dans ce Mémoire, voici le résultat de mes expériences.

On commence par laver le pied de l'arbre, ensuite on fait avec une serpe des incisions en long, mais un peu en biais, qui doivent pénétrer toute l'épaisseur de l'écorce, ayant attention de les faire les unes sur les autres, en sorte que ce qui sort de l'incision d'en haut tombe dans celle qui est au dessous, et ainsi de suite jusqu'à la dernière, au bas de laquelle on met une feuille de balisier ou autre semblable que l'on fait tenir avec de la terre glaise pour conduire le suc dans un vase qui est placé au pied de l'arbre (fig. 15).

L'hévéa,



Le latex est le contenu d'une cellule ! Le *latex* (mot latin signifiant liqueur) qui s'écoule de l'écorce de l'hévéa n'est pas une sève, encore moins une résine. C'est le contenu vivant d'une cellule ! Là est toute sa spécificité et sa magie. Il est produit par l'écorce tendre de l'arbre, le liber. Le caoutchouc est localisé dans de petites particules en suspension dans le latex, dont il représente plus de 90 % du poids sec.

Ces particules sont constituées de 97 % de cispolysoprène ; la membrane qui les entoure contient des protéines, des lipides et des glucides.

Le caoutchouc se retrouve dans 7 500 espèces végétales

Les molécules de caoutchouc n'existent pas seulement dans l'hévéa, mais dans près de 7 500 espèces végétales appartenant à 900 genres et 20 familles. On voit ici un manihoba (*Manihot glaziovii*, ci-contre à gauche) et, à l'extrême gauche, une liane de *Landolphia heudelotii*. *Hevea brasiliensis* (ci-contre à droite), dont on extrait aujourd'hui le latex pour fabriquer le caoutchouc, est de la famille des euphorbiacées.



Pour récolter le latex, on incise l'écorce de l'hévéa au niveau des tissus laticifères. Cette opération est appelée saignée par analogie avec un système circulatoire, à l'image du système sanguin. En effet, les cellules de chaque manteau laticifère s'anastomosent et forment un véritable système paracirculatoire.

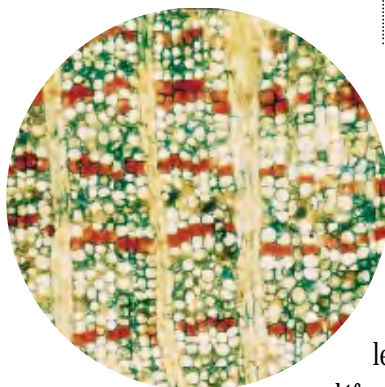
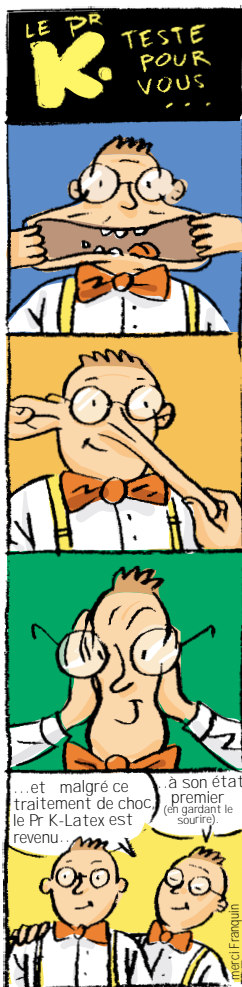
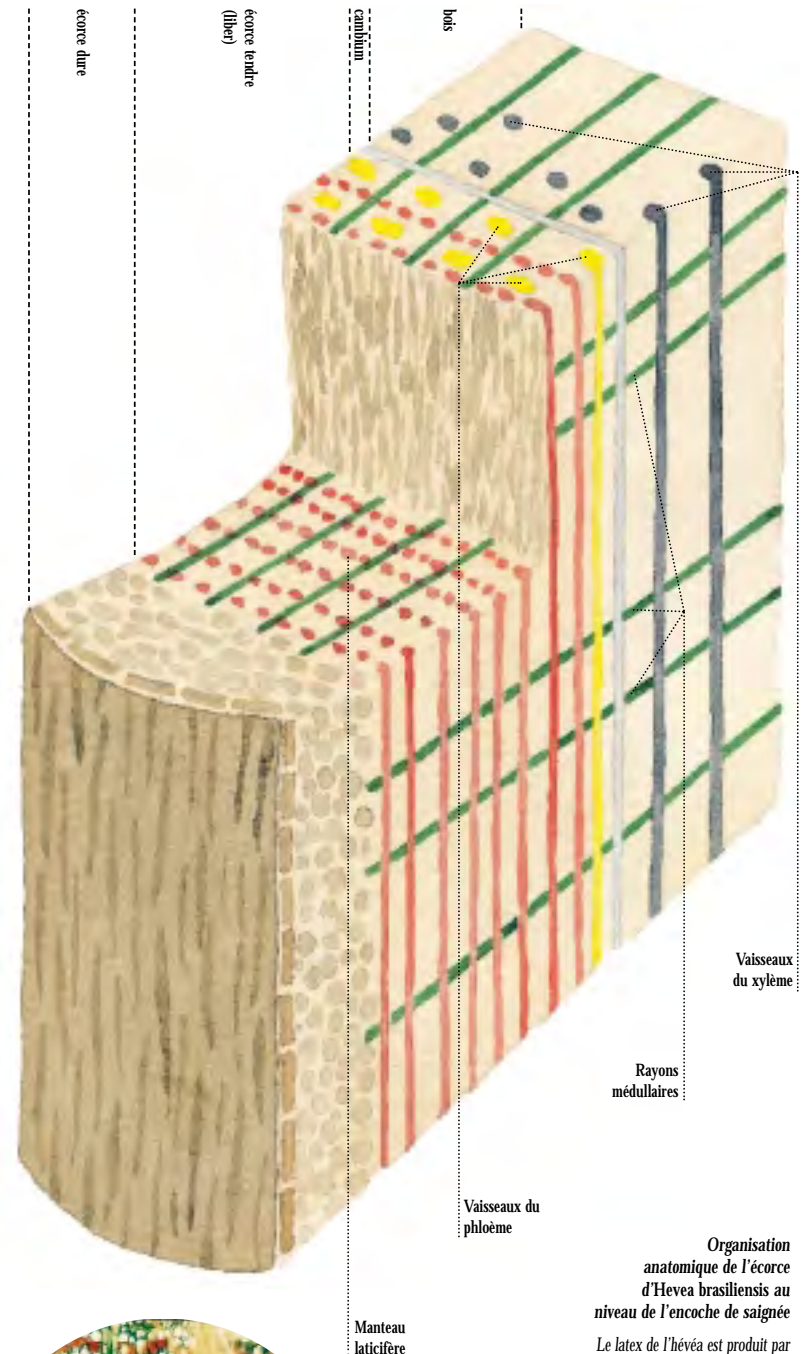
Ainsi, comme lorsque l'on se blesse ou se coupe, dès que l'écorce de l'arbre est fendue, la blessure laisse très rapidement s'écouler des gouttes de latex car la pression interne est très forte (10 à 15 atmosphères).

l'usine à latex

L'écorce de l'hévéa comporte plusieurs zones. La plus profonde, le cambium, assure la croissance en épaisseur de l'arbre. Vers l'intérieur, il génère le bois qui contient les vaisseaux conduisant la sève brute (eau et éléments minéraux) pompée par les racines

vers les feuilles où la photosynthèse l'enrichit en sucre (sève élaborée). Vers l'extérieur, le cambium produit l'écorce tendre ou liber. Il différencie rythmiquement des couches monocellulaires successives : les manteaux laticifères où se réalise la synthèse du latex. Entre chaque manteau, se trouvent les tubes criblés apportant la sève élaborée pour nourrir les tissus. Les rayons médullaires orientés horizontalement assurent les échanges hydrominéreaux et organiques entre les cellules du liber et le bois.

L'analogie avec le système sanguin peut être poussée beaucoup plus loin, dans la mesure où la saignée de l'arbre peut être stoppée, elle aussi, par des phénomènes de coagulation. Le rôle des latex est encore bien



mystérieux. Toutefois, les connaissances acquises sur les laticifères et leur biologie conduisent à penser qu'ils sont

impliqués dans les mécanismes de défense de l'arbre. En coagulant, le latex qui contient des éléments antimicrobiens obture les blessures et lutte contre la pénétration des pathogènes.

Organisation anatomique de l'écorce d'Hevea brasiliensis au niveau de l'encoche de saignée
 Le latex de l'hévéa est produit par les tissus laticifères présents dans l'écorce tendre de l'arbre (liber). Un schéma en trois dimensions de l'écorce permet de distinguer une couche pluricellulaire, le cambium, dont la stratification indique l'activité régénératrice. Responsable de la croissance de l'arbre en épaisseur, elle donne naissance vers l'intérieur au xylème secondaire (le bois) dont les vaisseaux transportent la sève brute. Vers l'extérieur, le cambium produit le liber, au sein duquel des cellules se différencient périodiquement pour devenir des manteaux laticifères. Entre deux manteaux laticifères se trouvent des cellules parenchymateuses ainsi que des tubes criblés transportant la sève élaborée. Les rayons médullaires relient le liber aux vaisseaux du bois ; ils permettent les échanges d'eau, d'éléments minéraux et surtout de glucides entre les différents tissus.
 (D'après J. d'Auzac)

Très vite, la récolte du caoutchouc se concentre sur l'Amazonie qui connaît alors une extraordinaire activité et une expansion semblable à la ruée vers l'or : c'est la fièvre du caoutchouc.

La fièvre du caoutchouc...



Les pionniers remontent l'Amazone, ses affluents, puis les affluents de ses affluents. Vainquant leurs peurs, munis d'un minimum de vivres qui leur permet de survivre quelques semaines, ils s'enfoncent toujours plus loin à la recherche du précieux liquide. Scrutant les rives des fleuves, les anciens jugent d'un coup d'œil si l'océan vert recèle

des hévéas. Quand c'est le cas, ils s'arrêtent, amarrent leur pirogue et descendent marquer leur nouveau territoire par des sentiers tracés en forêt qui relient entre eux les arbres à caoutchouc. Chaque sentier (estrada) comprend entre 80 et 170 arbres. Il correspond au travail journalier d'un seringueiro.



La vie difficile des seringueiros

Une nouvelle catégorie d'"agriculteur" est en effet apparue : le seringueiro. Mi-chasseur de caoutchouc, mi-aventurier, sa vie est cependant très difficile.

Les seringals sont en général établis à proximité d'un point navigable et regroupent parfois jusqu'à plusieurs centaines d'estradas. A l'entrée, une hutte couverte de feuilles de palmier (le defumador) et très insalubre sert d'abri au seringueiro, sans le préserver de l'excessive humidité du climat. C'est là qu'il fabrique les bolas. Il allume un feu, enroule

doucement le latex autour d'un bâton qu'il fait tourner au-dessus de la fumée. Dès que la première couche a durci, il faut recommencer l'opération jusqu'à ce que la récolte de la matinée soit épuisée. L'enfumage demande beaucoup de temps (environ deux litres de latex à l'heure en saison favorable) et exige une main-d'œuvre qualifiée.

Les conditions de travail sont effroyables : le seringueiro reste 3 à 4 heures par jour dans une atmosphère de fumée très toxique. Régulièrement, il remet ses bolas au proprié-

taire en échange de nourriture, d'outillage et d'alcool. La production annuelle d'un seringueiro varie de 400 à 800 kg.

...et la naissance des plantations asiatiques



Dès la fin du XIX^e siècle, les plantations asiatiques naissent d'un double projet : répondre à la demande croissante de caoutchouc liée au développement des transports terrestres et réduire les coûts de production. En 1876, l'aventurier britannique H. A. Wickham transfère 70 000 graines d'hévéa du Brésil en Angleterre ; 3 % seulement germent et donnent des jeunes plants qui sont

à leur tour transportés en Asie. Cette opération est à l'origine des plantations d'hévéas asiatiques qui portèrent un coup fatal au caoutchouc amazonien car elles permirent de réduire considérablement les coûts de production. En 1913, un kilogramme de caoutchouc brésilien coûtait presque 8 francs, contre 3 francs maximum en Malaisie.



La saignée

L'exploitation de l'hévéa se fait par la saignée, qui consiste à inciser l'écorce de l'arbre jusqu'au cambium, sur une partie seulement de la circonférence. Cette opération très délicate nécessite une grande habileté. Elle ne doit en aucun cas léser la zone de l'écorce sous-jacente au liber (le cambium) sous peine d'endommager l'arbre et de voir décroître la production. Elle a toujours lieu le matin, de bonne heure. Elle est réalisée par les saigneurs. Ce sont des ouvriers spécialisés qui peuvent

saigner jusqu'à 1 000 hévéas dans la matinée. Une fois l'écorce coupée, le latex s'écoule pendant deux à trois heures ; il est recueilli dans une tasse. Vers onze heures, le saigneur repasse dans la plantation et rassemble le latex qu'il transporte dans un lieu de regroupement où l'attend un camion-citerne. Ce dernier, après avoir collecté la production de plusieurs parcelles, conduit le latex à l'usine de traitement. Le saigneur est un des éléments clés de la production de caoutchouc. Il est à la fois un

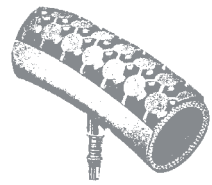


ébéniste chevronné, un marcheur qui parcourt près de 10 km chaque jour et un porteur qui transporte une charge moyenne de 30 kg sur une distance qui dépasse souvent le kilomètre.





Du latex au caoutchouc



L'hévéaculture

La plupart des variétés d'hévéa aujourd'hui cultivées sont issues des graines britanniques récoltées en forêt brésilienne à la fin du XIX^e siècle.

Dans les plantations, les arbres sont plantés en lignes distantes les unes des autres de 4 à 8 m. L'espacement entre les arbres varie de 2 à 3,50 m. La vie de l'hévéa y connaît deux phases

principales : la période de croissance qui dure entre 3 et 5 ans et la période d'exploitation qui est atteinte lorsque l'arbre mesure 50 cm de circonférence à un mètre du sol. Un hévéa bien conduit produit 5 kg de caoutchouc sec par an, pendant 25 à 30 ans.

A la densité moyenne de 450 arbres à l'hectare, on obtient, dans de bonnes conditions, 2,25 tonnes de caoutchouc. En fin de carrière, l'hévéa constitue une source considérable de bois d'œuvre, de mieux en mieux mise en valeur par les producteurs.

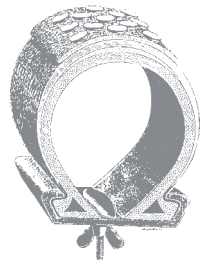
Pour obtenir du caoutchouc, on fait coaguler, puis sécher le latex. Il est traité dans les usines de plantations.



Fig. 109. — Macfarlane.

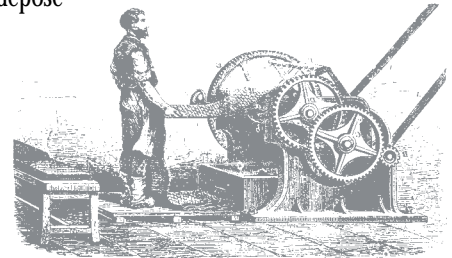
Fig. 110. — Visito.

En Europe, les premiers usages du caoutchouc provenant du Brésil apparaissent simultanément en Angleterre et en France : ce sont les sondes chirurgicales et la gomme à effacer. La contribution au soulagement des souffrances humaines le rend digne de l'intérêt des savants. Ses premiers usages médicaux, notamment dans la fabrication des cathéters, encouragent les progrès de la chimie des solvants. Une des difficultés était, en effet, de parvenir à solubiliser le caoutchouc pour lui rendre la fluidité du latex et ses utilisations primitives : l'imperméabilisation et la fabrication de seringues ou de bouteilles.



OPTIMA TREAD-FRENCH

La solution sera apportée par MacIntosh qui trouve le solvant rêvé et dépose en 1823 un brevet pour rendre imperméables les tissus de chanvre, de lin et de coton, ainsi que diverses substances comme le cuir ou le papier.



La transformation du latex d'hévéa en produit commercial

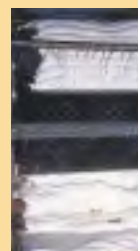
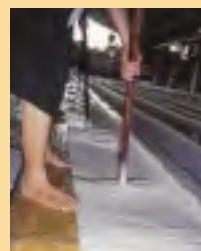
Les manufacturiers utilisent le caoutchouc sous deux formes : le latex concentré liquide et le caoutchouc solide.

- Le latex concentré

Pour empêcher le latex de prendre en masse, on lui ajoute quelques gouttes d'ammoniaque. Il est ensuite passé dans des



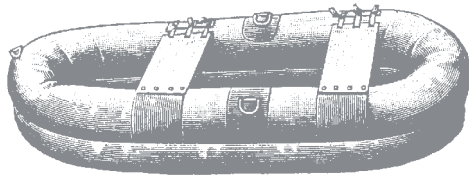
Transformé en produit commercial, le sang de l'hévéa est vital pour le développement de nombreux pays tropicaux.





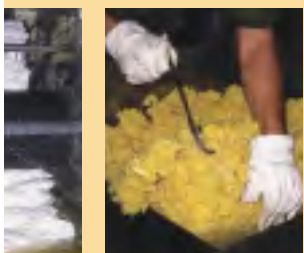
Le caoutchouc génère une avalanche d'applications scientifiques

En 1783, les frères Montgolfier commencent leurs ascensions en ballon à air chaud. Le professeur Jacques Charles utilise le premier l'hydrogène pour gonfler les aérostats. Il est aussi le premier à enduire la toile du ballon avec un vernis au caoutchouc. Il réalise alors l'exploit d'atteindre une altitude de 9 000 pieds. La première descente réussie en parachute à partir d'un ballon survolant Paris est effectuée, sous le Directoire, en 1797, avec un parachute fait de soie vernie au caoutchouc. En Angleterre, Hancock invente le



centrifugeuses qui éliminent une partie de l'eau et amènent la concentration du caoutchouc entre 61 et 63 %. Des stabilisants chimiques sont ajoutés pour assurer sa conservation.

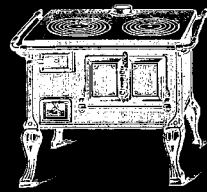
- Le caoutchouc solide se présente en granulés ou en feuilles fumées.



Goodyear et l'invention de la vulcanisation



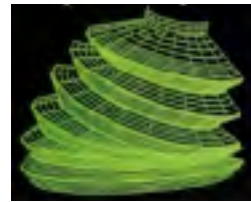
Les premières utilisations du caoutchouc révèlent un défaut majeur : en hiver, avec le froid, le caoutchouc durcit et devient friable. En été, il ramollit, devient poisseux et sent mauvais. En 1849, l'Américain Goodyear parvient, par hasard, à stabiliser le caoutchouc en y ajoutant un peu de soufre et en le faisant cuire quelques instants. Il est désormais en mesure de fournir des articles en caoutchouc d'une qualité irréprochable. Les applications vont alors très vite se multiplier : joints, ressorts, vêtements imperméables, bandages des voitures à chevaux. Goodyear désire élargir son cercle d'affaires sur le vieux continent où il envoie des échantillons. L'un d'entre eux tombe dans les mains de Hancock qui cherche de son côté à obtenir les mêmes résultats. Pendant le sommeil, Hancock s'acharne à découvrir le secret de Goodyear. Il y



parvient et dépose un brevet. Goodyear, informé, dépose à son tour un brevet. S'ensuit un procès retentissant qui établit cependant la paternité de Goodyear sur le procédé de vulcanisation du caoutchouc. Les aventures du génial inventeur ne sont pas pour autant terminées. Son stand pour l'Exposition universelle de 1851 lui vaut la Légion d'honneur. Mais il a dépensé sans compter : c'est en prison, où ses dettes l'ont fait jeter, que Napoléon III lui remet sa décoration.

premier matelas en toile caoutchoutée, composé de sept ou huit boudins indépendants. Il reçoit une commande de la Couronne. Le matelas sur lequel meurt Georges IV est de sa fabrication.

Le caoutchouc fait ensuite son apparition dans la vie courante, avec les sous-vêtements. Rattier et Guibal remplacent par des fils de caoutchouc les spirales de laiton qui servent de matière élastique dans les bretelles, les jarrettières, les lacets de corset et autres accessoires exigeant de la souplesse. A l'Exposition de 1834, leur invention remporte la médaille d'or.





Des enjeux à l'échelle de la planète

Le caoutchouc est une source de développement pour les pays du Sud. Aujourd'hui, 6 millions de tonnes de caoutchouc sont produites chaque année, 94 % de cette production provenant des pays d'Asie du Sud-Est (Thaïlande, Indonésie, Philippines et Malaisie). Le reste est produit en Afrique (Nigeria,

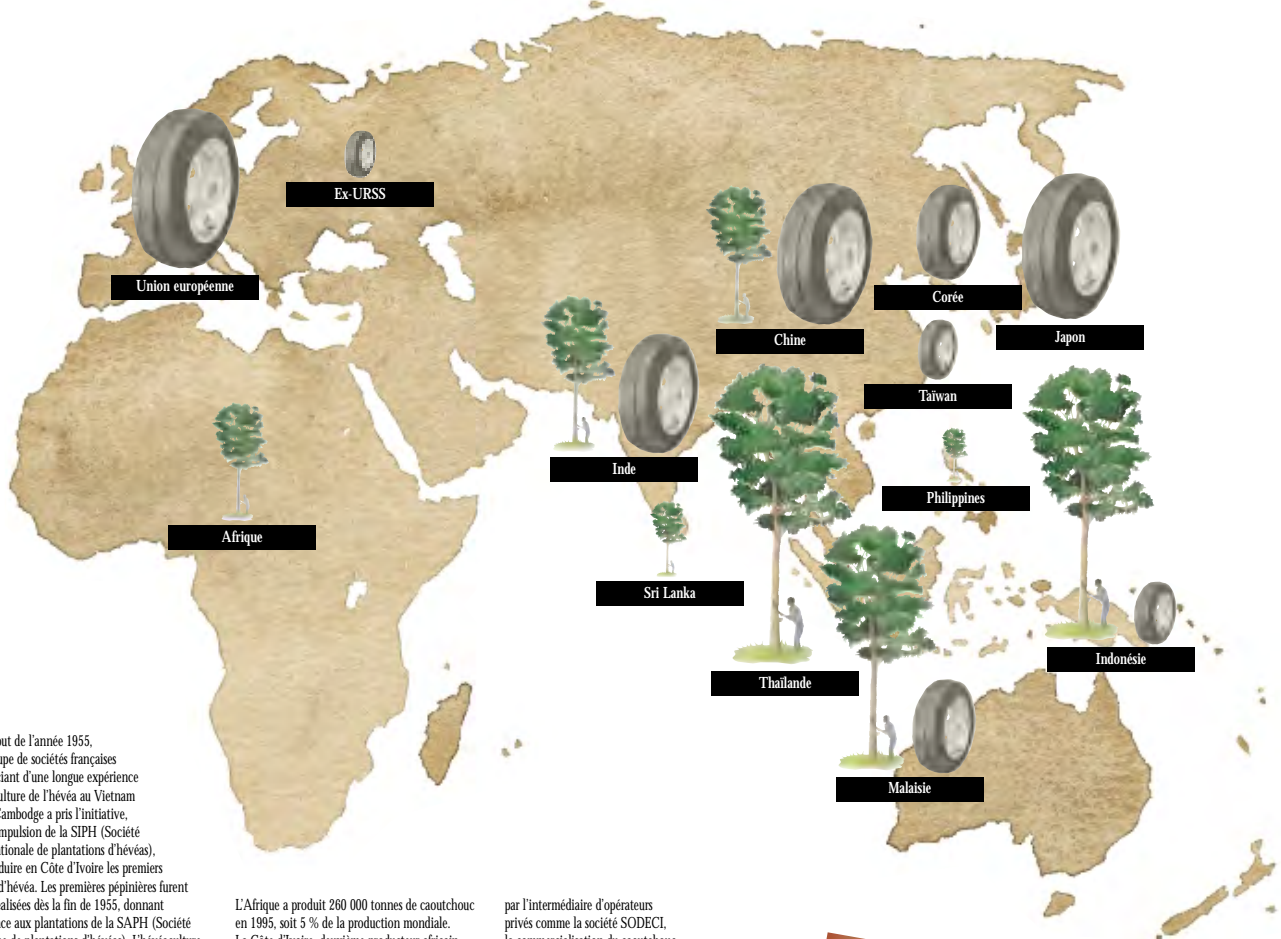


Côte d'Ivoire et Cameroun) et en Amérique latine (Brésil, Guatemala, Mexique). Les plantations d'hévéas font vivre près de 50 millions de personnes dans les pays tropicaux. Elles se transmettent de père en fils et constituent une réelle assurance contre la misère pour les petits planteurs.



Parce qu'il constitue un enjeu socio-économique mondial, le caoutchouc fait l'objet de recherches de pointe sur les conditions de sa production. Les scientifiques ont ainsi pu établir un savoir de plus en plus précis sur la biologie de l'hévéa. Les recherches menées sur la biosynthèse du caoutchouc permettent aujourd'hui

de mieux maîtriser deux facteurs clés limitatifs de la production : l'écoulement et la régénération du latex après la récolte. L'abondance de la récolte dépend de la facilité et de la durée de l'écoulement. Or, comme le sang, le latex coagule, ce qui stoppe l'écoulement. On retarde la coagulation avec la stimulation.



Au début de l'année 1955, un groupe de sociétés françaises bénéficiant d'une longue expérience de la culture de l'hévéa au Vietnam et au Cambodge a pris l'initiative, sous l'impulsion de la SIPH (Société internationale de plantations d'hévéas), d'introduire en Côte d'Ivoire les premiers plants d'hévéa. Les premières pépinières furent ainsi réalisées dès la fin de 1955, donnant naissance aux plantations de la SAPH (Société africaine de plantations d'hévéas). L'hévéaculture couvre aujourd'hui plus de 50 000 hectares en Côte d'Ivoire, pour une production annuelle d'environ 80 000 tonnes de caoutchouc.

L'Afrique a produit 260 000 tonnes de caoutchouc en 1995, soit 5 % de la production mondiale. La Côte d'Ivoire, deuxième producteur africain après le Nigeria, enregistre les meilleurs rendements au monde : 2,2 tonnes à l'hectare. Si l'exploitation des plantations industrielles se fait

par l'intermédiaire d'opérateurs privés comme la société SODECI, la commercialisation du caoutchouc africain est réalisée par des négociants spécialisés dans cette partie du monde, comme la société française EURONAT.

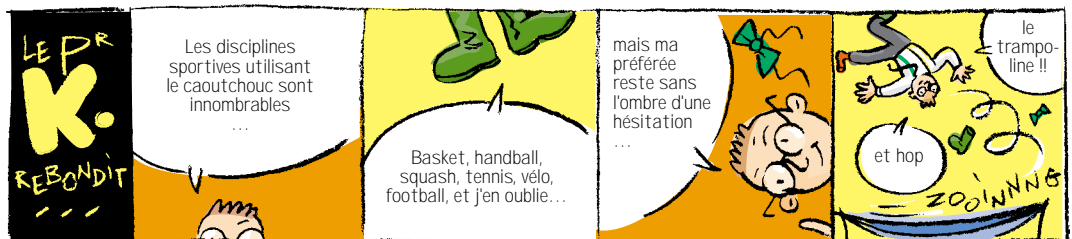


Mais lorsque l'arbre saigne, il perd son latex. Pour pouvoir continuer l'exploitation, il doit reconstituer son

stock de latex, il doit se régénérer. Les travaux scientifiques réalisés sur la production sont très étroitement liés aux recherches d'exploitation menées sur le terrain. Ils illustrent la coordination absolument nécessaire qui doit exister entre la recherche de base (cytologie, biochimie métabolique et moléculaire, histologie), les recherches appliquées (expériences sur des champs localisés



et totalement contrôlés) et la transmission des connaissances acquises au planteur (recommandations à l'échelle du producteur industriel ou villageois). Cette liaison implique notamment des travaux multiloaux, des réseaux internationaux, et des équipes pluridisciplinaires.





Comprendre pour agir



La recherche a été et reste indispensable au caoutchouc naturel. Elle a multiplié par dix, en un siècle, le rendement à l'hectare grâce aux greffages, à la sélection des variétés, aux traitements phytosanitaires, aux progrès de l'exploitation. Avec la stimulation, elle a augmenté la productivité des arbres. Elle en a amélioré et régularisé la qualité, le faisant ainsi accepter dans l'industrie lourde pour y soutenir la concurrence des standards du caoutchouc synthétique.

De l'IFC au CIRAD : l'efficacité de la recherche hévéicole

La recherche française a toujours été très active dans le secteur de l'hévéa-culture et du caoutchouc naturel. L'Institut français du caoutchouc (IFC) a été créé en 1934 par les planteurs français pour répondre à leurs besoins sur les plantations et promouvoir le caoutchouc naturel. Les recherches ont été effectuées sur le terrain à l'IRCI (Institut de recherche sur le caoutchouc en Indochine) puis à l'IRCA (Institut de recherche sur le caoutchouc en Afrique). Elles étaient conduites avec un souci constant de mettre à la disposition du développement des résultats pratiques et utilisables.

Le programme hévéa du CIRAD (Centre de coopération en recherche agronomique pour le développement) poursuit sur le terrain l'action entreprise avec ses partenaires d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine. Ses laboratoires, situés à Montpellier, en Languedoc-Roussillon, mènent des recherches en physiologie, amélioration génétique, culture in vitro, agronomie, défense des cultures, technologie. La formation est une préoccupation permanente du programme. Il développe ses activités en liaison avec d'autres équipes nationales au sein de l'IRRDDB (International Rubber Research and Development Board).



Augmenter la production de latex sans arriver à l'"encoche sèche" : une recherche commencée dans les années 50 en Indochine et poursuivie aujourd'hui par les chercheurs du CIRAD. Ci-contre : J. d'Auzac, chef du laboratoire de biochimie de l'IFC de 1964 à 1968.

Stimuler la production de l'arbre

Depuis plus de 50 ans, de nombreux traitements ont été expérimentés pour augmenter la production de latex, lors de la saignée : grattage de l'écorce, injections de produits chimiques dans le tronc, applications de molécules de type hormonal sur le panneau de saignée. Tous ces traitements se sont révélés efficaces, à des degrés divers. Tous induisent, au sein

de l'arbre, la production d'éthylène, hormone de stress chez les plantes et véritable agent de stimulation de la production de latex. Dans les années 70, deux chercheurs, P. D. Abraham et J. d'Auzac, et leurs équipes ont découvert l'action stimulante de l'éthylène, utilisé aujourd'hui à l'échelle industrielle. Deux à douze fois par an, 48 heures avant la saignée, une solution de ce produit est badigeonnée sur l'encoche afin



Les clones

Depuis de nombreuses années, de nouvelles variétés d'hévéa à haute production, ou adaptées à des conditions écoclimatiques données, sont obtenues par croisement entre des matériels végétaux différents au moyen de la pollinisation artificielle. La variété obtenue est ensuite multipliée par greffage ; elle donne un clone, ensemble d'individus génétiquement identiques. Depuis une dizaine d'années, les techniques d'analyse biochimique et moléculaire employées au CIRAD permettent de préciser la diversité, l'origine génétique et la carte d'identité des clones. Via l'analyse et la cartographie du génome de l'hévéa, elles aideront à la création de clones plus performants et adaptés.

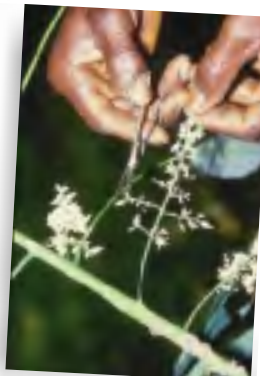
d'accroître la production. Cette technique permet en outre d'espacer les saignées tout en conservant le même

rendement. Mais elle a des effets éphémères et son emploi sans précaution conduit à la catastrophe : les tissus laticifères se fatiguent,

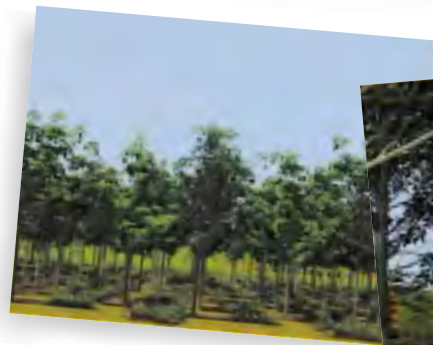
ils vieillissent trop rapidement et la production s'arrête. C'est l'"encoche sèche" tant redoutée par les hévéaculteurs.

Le diagnostic latex, une solution pour combattre l'encoche sèche

Augmenter la production de caoutchouc nécessite donc de connaître le mieux possible les mécanismes physiologiques du fonctionnement des laticifères. A l'image des analyses biologiques permettant de dresser le bilan de santé d'un individu, des études ont mis en évidence des paramètres capables de donner des indications sur l'état physiologique du système producteur de caoutchouc. Les plus importants sont l'extrait sec, la teneur en saccharose, en phosphore inorganique

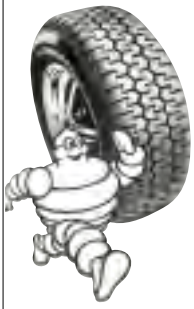


et en thiols. A partir de l'analyse de ces paramètres, associée aux informations agronomiques caractérisant la plantation, un diagnostic latex, mis au point par les chercheurs du CIRAD, permet de connaître l'état de santé des arbres, de déterminer, par exemple, s'ils sont exploités correctement (ni trop, ni pas assez), de prévenir une baisse de production, d'adapter les systèmes d'exploitation en fonction des conditions rencontrées et du matériel clonal.



AMAP, le logiciel développé à l'Unité de modélisation des plantes du CIRAD, permet de visualiser la croissance d'une plantation d'hévéas en tenant compte de paramètres déterminés au départ : nature du sol, espacement des arbustes, cultures associées, climat, etc.





Le caoutchouc naturel est incontournable

Le caoutchouc a révolutionné les transports

C'est la révolution des transports et notamment l'invention des pneumatiques, il y a cent ans, qui a contribué fortement à stimuler la consommation et donc la production de caoutchouc. Pour la satisfaire, toutes les plantes contenant du latex furent sollicitées (hévée, castilloas, guayule, maniçoba, mangabeira en Amérique ; funtumia, lianes landolphia en Afrique). Le caoutchouc va, en retour, révolutionner les transports. L'Europe invente la bicyclette d'abord chaussée de bandages. Dunlop imagine le premier pneu de vélo en 1888. Les premières voitures sans chevaux apparaissent : à vapeur, à pétrole. Elles sont équipées de pneus pleins jusqu'à ce que... Michelin invente le pneu pour automobile. Le caoutchouc atteint des prix astronomiques. Dans l'objectif, encore une fois, de réduire les coûts de production, dès 1906, la firme allemande Bayer offre 20 000 marks or au chimiste qui parviendra dans les trois ans à fabriquer un équivalent du caoutchouc naturel pour moins de 10 marks par kilogramme. Le pari sera remporté en 1909 par Fritz Hoffmann, qui met au point la synthèse du polyisoprène par l'enchaînement ou la polymérisation de molécules d'isoprène.



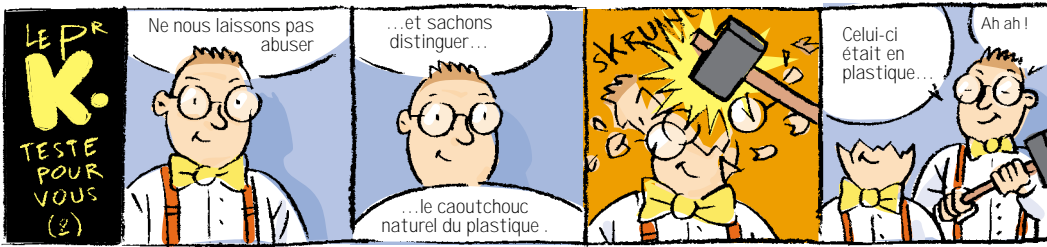
Le caoutchouc sauvé par la haute technologie

Avec la généralisation spectaculaire du pneumatique à carcasse radiale inventé par Michelin, les qualités du caoutchouc naturel se sont avérées irremplaçables pour fabriquer ce produit. Plus récemment, le développement d'industries manufacturières de pays producteurs comme le Brésil, la Chine, l'Inde ou la Malaisie, ajouté au choc pétrolier des années 70 qui fit augmenter considérablement le prix du

pétrole, contribuèrent aussi à relancer la production de caoutchouc naturel, qui en 1995 atteignait 5,9 millions de tonnes

contre 9,4 millions pour le caoutchouc synthétique.





Le caoutchouc naturel est aujourd'hui incontournable

Le caoutchouc naturel possède des propriétés que le caoutchouc synthétique, fabriqué à partir du pétrole, ne parvient pas à égaler. Cela le rend incontournable dans la fabrication de certains produits comme les préservatifs, les gants chirurgicaux, les pneus poids lourds, les pneus avions. Le principal domaine d'emploi des caoutchoucs naturels est celui des applications dynamiques : pneumatiques, supports moteurs, flexibles de circuits hydrauliques, articulations élastiques. Ces utilisations ne sont pas limitées au secteur automobile. On trouve des pièces en caoutchouc dans le bâtiment, les transports, les industries mécaniques, électriques, chimiques et nucléaires, les loisirs, l'habillement, les ponts et chaussées. Ainsi la production de caoutchouc naturel regagne-t-elle du terrain sur les élastomères issus de l'industrie chimique, aidée en cela par le savoir de plus en plus précis des chercheurs qui étudient la biologie de l'hévéa.



Le caoutchouc synthétique menace le caoutchouc naturel

Pendant la guerre de 14-18, les Britanniques, propriétaires de nombreuses plantations asiatiques, instaurent un blocus contre l'Allemagne, la privant d'un matériau stratégique : le caoutchouc. Sans lui, pas de mobilité des troupes par la route, pas d'aviation... Instruct de cette nécessité, Hitler pousse la fabrication de caoutchouc synthétique dès 1936. La production atteindra 120 000 tonnes en 1942. Mais les Japonais en s'emparant des plantations d'hévéas asiatiques, créent la grande faim de caoutchouc aux Etats-Unis. Ces derniers réagissent avec une extrême rapidité. En moins de trois ans, ils parviennent à ériger une industrie du caoutchouc synthétique qui couvre la totalité de leurs besoins militaires. Si, en 1950, le caoutchouc naturel représentait encore près de 78 % de la production, la guerre froide, qui contribua à maintenir une production subventionnée de caoutchouc synthétique, le mit à égalité avec son concurrent au point que certains crurent, à cette époque, que le caoutchouc de plantation allait disparaître, comme s'était évanoui, 50 ans plus tôt, le caoutchouc récolté en Amazonie.



Comment ne pas confondre le caoutchouc et les plastiques

Le caoutchouc naturel vient d'un arbre, le plastique du pétrole.

Tous deux appartiennent à la famille des polymères. Ils se distinguent par leurs propriétés, leurs techniques de mise en œuvre et leurs domaines d'application.

Les matières plastiques sont utilisées principalement pour réaliser des pièces de couleur claire et (ou) des applications essentiellement statiques dans une plage relativement étroite de température et dans des environnements peu agressifs. Au contraire, les caoutchoucs conservent leur élasticité même lorsqu'ils sont soumis à de très grandes variations de température (de - 50 à 150° C et parfois plus), quel que soit le milieu. Ils sont souples (très peu rigides), hautement déformables (ils supportent de grandes déformations et des allongements importants sans se rompre), élastiques (ils retrouvent leur forme initiale et restituent l'énergie qui a servi à les déformer). Malgré l'apparition des caoutchoucs thermoplastiques qui rétrécissent très nettement la frontière entre ces deux polymères, on peut dire, d'une façon générale, que les caoutchoucs sont à la fois plastiques et élastiques, alors que les matières plastiques ne possèdent que des propriétés plastiques (moulage).



Le caoutchouc naturel est écologique

Le caoutchouc naturel est moins coûteux en énergie et moins polluant que le caoutchouc synthétique. L'hévéaculture est une agro-industrie qui utilise l'énergie renouvelable et représente un formidable moyen de lutte contre la déforestation et l'érosion irréversible des sols, problèmes cruciaux des zones tropicales. De plus, en fournissant un bois d'œuvre apprécié, il diminue la pression humaine sur les forêts naturelles. Sa production fait vivre beaucoup plus de gens, à la campagne, que la synthèse industrielle des caoutchoucs artificiels.

