

Biochimie végétale

Comment satisfaire la demande de caoutchouc naturel,
à laquelle le latex tiré de l'hévéa ne suffit plus ?
En améliorant deux plantes : le guayule et le pissenlit russe.

Du caoutchouc naturel en Europe

Serge Palu et Daniel Pioch

LES AUTEURS



Serge PALU et Daniel PIOCH sont chercheurs au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), à Montpellier.

✓ SUR LE WEB

www.eu-pearls.eu

www.yulex.com

www.lecaoutchouc.com/

« La résine appelée *cahuchu* dans les pays de la province de Quito voisins de la mer est aussi fort connue sur les bords du Marañon et sert aux mêmes usages. Quand elle est fraîche, on lui donne avec des moules la forme qu'on veut. Elle est impénétrable à la pluie, mais ce qui la rend plus remarquable c'est sa grande élasticité. » C'est ainsi que l'explorateur Charles de La Condamine relate, en 1745, dans son récit de voyage effectué en Amazonie neuf ans plus tôt, les premières observations du caoutchouc, résine laiteuse sécrétée par un arbre, l'hévéa. En 1747, François Fresneau, ingénieur du roi à Cayenne et découvreur d'un grand nombre de ces arbres en Guyane, montre effectivement que le suc laiteux de l'hévéa, ou latex, peut servir à faire des bottes, des boules élastiques ou des bracelets. Par la suite, des inventeurs en tireront d'autres applications, à commencer par la gomme à effacer et le pneumatique... de bicyclette.

Aujourd'hui, le caoutchouc est omniprésent. Grâce à ses propriétés d'élasticité, d'étanchéité et d'amortissement, ce polymère élastique, ou élastomère, sert à fabriquer plus de 40 000 produits d'usage industriel, ménager, alimentaire

ou médical, les plus connus étant les pneumatiques, les gants médicaux et les préservatifs.

Toutefois, l'hévéa (*Hevea brasiliensis*), cultivé désormais surtout en Asie, ne permet plus de couvrir la demande croissante de caoutchouc naturel. Aussi certains des principaux pays transformateurs de caoutchouc, dont les États-Unis et, en Europe, la France, l'Allemagne, les Pays-Bas et l'Espagne, envisagent-ils d'en produire eux-mêmes. En adaptant l'hévéa au climat tempéré ? Non, en exploitant deux plantes productrices d'un caoutchouc aux propriétés comparables à celles du latex d'hévéa : un buisson du Mexique, le guayule (*Parthenium argentatum*), et une plante herbacée du Kazakhstan, le pissenlit russe (*Taraxacum kok saghyz*). C'est l'objectif du projet européen EU-PEARLS, lancé en 2008.

Après avoir examiné les raisons économiques de ce projet, nous expliquerons comment ces deux plantes élaborent le polymère élastique, et en quoi les recherches en cours, qui mêlent des disciplines scientifiques variées – chimie, agronomie, biologie moléculaire, écologie, économie – permettent d'envisager de produire du caoutchouc naturel en Europe d'ici une dizaine d'années.



Actuellement, le caoutchouc synthétique représente 60 pour cent de la consommation mondiale. En effet, depuis la fin du XIX^e siècle, on sait fabriquer du caoutchouc en polymérisant sa molécule de base, l'isoprène, dérivée du pétrole, à l'aide de divers procédés chimiques, appliqués à l'échelle industrielle depuis la Première Guerre mondiale.

Les vertus du caoutchouc naturel

Toutefois, le prix du pétrole variant beaucoup, les coûts de production des élastomères synthétiques fluctuent également et devraient croître à l'avenir avec la raréfaction de l'or noir. En outre, malgré des décennies de recherche, le caoutchouc synthétique n'a pas les mêmes qualités que son analogue naturel. Celui-ci est doté de meilleures propriétés dynamiques, en particulier la résilience, c'est-à-dire la capacité à supporter de grandes déformations sans se rompre et à retrouver sa forme initiale quand la contrainte est levée. Il est plus résistant à l'abrasion, aux chocs et au déchirement. Partant, le caoutchouc naturel reste irremplaçable pour la fabrication des pneumatiques

L'ESSENTIEL

- ✓ Le caoutchouc naturel, polymère produit dans le latex de certaines plantes, a des propriétés irremplaçables. Il est de plus en plus demandé.
- ✓ Au caoutchouc tiré des plantations d'hévéa, pourrait s'ajouter une production par le guayule, arbrisseau semi-désertique, et le pissenlit russe, adapté au climat tempéré.
- ✓ Ces deux cultures ne seront viables qu'à condition d'améliorer leur capacité de synthèse du caoutchouc et l'extraction du polymère.

© Shutterstock/Richard Peterson

d'avions et de poids lourds, et celle de matériaux médicaux, qui doivent conserver leurs propriétés malgré des stérilisations répétées.

En raison de ses qualités, le caoutchouc naturel est très demandé dans les pays à fort développement économique, comme la Chine, l'Inde et le Brésil, en particulier pour le secteur des transports. De ce fait, la part du caoutchouc naturel dans la production mondiale augmente depuis plusieurs années. Elle est passée de 30 pour cent du total dans les années 1970 à plus de 40 pour cent en 2009 (huit millions de tonnes sur 21 millions) ; elle devrait atteindre 46 pour cent du total en 2019. L'Asie du Sud-Est (Thaïlande, Indonésie, Malaisie, Inde, Vietnam, Chine) en fournit 95 pour cent. Le reste provient d'Afrique de l'Ouest, du Sri Lanka, du Brésil, du Guatemala, de Colombie et de l'Équateur.

Mais, à l'évidence, d'ici 10 ou 20 ans, les plantations d'hévéas ne suffiront plus à répondre à cette demande croissante. D'autant que les surfaces où l'hévéa est cultivé tendent à diminuer face à la concurrence de cultures plus rémunératrices, telles celles du palmier à huile, dont on tire huiles alimentaires, détergents et biodiesel.

La culture de l'hévéa présente d'autres



© CIRAD, David Kadubowski/Corbis

1. DES CULTURES EXPÉRIMENTALES DE GUAYULE, ici au CIRAD de Montpellier, permettent de sélectionner les variétés qui produisent le plus de caoutchouc. La plante fleurit du printemps à l'automne (*en haut*). Les graines peuvent être utilisées pour les semis en pépinières. Dès qu'elle a été coupée, la plante recommence un nouveau cycle de production.

inconvenients. Tout d'abord, la récolte du latex doit être réalisée à la main par incision de l'écorce de l'arbre, et ne peut être mécanisée. Les conditions de travail étant difficiles, cette arboriculture est de moins en moins attractive pour des populations dont le niveau de vie augmente. De plus, le champignon *Microcyclus ulei*, responsable de la maladie sud-américaine des feuilles de l'hévéa – un frein au développement de l'hévéaculture en Amérique –, risque de se propager à l'Asie, ce qui créerait une tension sur le marché du caoutchouc naturel : les secteurs économiques qui en sont de grands consommateurs s'inquiètent de l'éventualité d'une baisse de l'offre et d'une hausse des prix.

Autre inconvénient, le caoutchouc d'hévéa cause des allergies. Le latex comprend une partie liquide, le sérum, où sont dispersées des particules de caoutchouc de un à deux micromètres de diamètre (*voir l'encadré page 6*). Environ 250 types de protéines sont liées à ces particules ou libres

dans le sérum. Parce qu'elles se combinent aux ingrédients chimiques de la vulcanisation (le procédé à base de soufre qui augmente l'élasticité et la longévité du caoutchouc naturel), 20 pour cent d'entre elles peuvent provoquer des réactions allergiques, allant de l'irritation de la peau au choc anaphylactique, une violente réaction de l'organisme, parfois mortelle. Ces allergies sont en forte progression partout dans le monde, en particulier en milieu hospitalier ; en Europe, par exemple, environ 15 pour cent du personnel médical est concerné, contre un à six pour cent dans la population générale.

Un latex venu du désert

Nous sommes donc confrontés à la nécessité de répondre à la demande de caoutchouc naturel alors que la culture de l'hévéa ne semble plus en situation d'y parvenir seule. Comment faire ? Au cours de l'histoire, d'autres plantes ont fourni du caoutchouc pour des usages restreints

L'HÉVÉA, L'ARBRE À CAOUTCHOUC

Originaire du bassin de l'Amazonie, l'hévéa (*Hevea brasiliensis*) est actuellement la seule source commerciale de caoutchouc naturel, utilisée à plus de 70 pour cent par l'industrie des pneumatiques. Découvert par l'explorateur Charles de La Condamine en 1736, cette euphorbiacée a été exportée au XIX^e siècle au Jardin botanique de Londres, puis à Singapour, avant d'être cultivée à grande échelle en Asie du Sud-Est. La période d'exploitation commence lorsque l'arbre mesure 50 centimètres de circonférence à un mètre du sol, soit au bout de cinq ans. Lorsque l'on incise

profondément l'écorce – un procédé nommé « saignée » –, le latex s'écoule sous l'effet de la pression interne. Il est alors recueilli dans des récipients fixés sur le tronc (*voir ci-dessous*), jusqu'à ce qu'il coagule. C'est pourquoi les Indiens Maïpas ont nommé l'hévéa *cahuchu*, bois qui pleure.

L'arbre fournit cinq à six kilogrammes de caoutchouc sec par an, pendant 25 à 30 ans. Un hectare en produit deux à trois tonnes. Ce rendement peut être amélioré par la création et la sélection de nouvelles variétés, et grâce à une meilleure gestion des plantations.



(voir l'encadré page 5). Quelques-unes produisent un caoutchouc aux propriétés comparables à celles du caoutchouc de l'hévéa. C'est le cas du guayule et du pissenlit russe (voir les figures 1 et 2).

Le guayule est une plante arbustive pérenne de la famille des Astéracées, qui peut atteindre un mètre de hauteur. Il pousse spontanément dans le désert de Chihuahua, au Nord du Mexique, et dans le Sud du Texas, et peut vivre 40 ans à l'état sauvage. Les peuples précolombiens l'utilisaient déjà pour en extraire du caoutchouc en le broyant. Plus récemment, entre 1905 et 1930, des guayules sauvages mexicains ont été exploités sur d'assez grandes surfaces pour fournir du caoutchouc à l'industrie automobile américaine. Mais la surexploitation des plantes sauvages entraîna la fin de cette production.

Durant la Seconde Guerre mondiale, dans le cadre de l'*Emergency Rubber Project*, un programme réunissant plus de 1 000 scientifiques et techniciens pour faire face à l'embargo sur le caoutchouc asiatique organisé par le Japon, une plantation californienne de 13 000 hectares fournissait 1 400 tonnes de caoutchouc par an. Le Mexique, quant à lui, produisait 2 500 à 3 000 tonnes de caoutchouc de guayule jusqu'en 1950.

Ces productions disparurent après la guerre en raison de l'essor du pétrole bon marché et du caoutchouc synthétique. Dans les années 1970, suite à la première crise pétrolière, le Mexique, puis les États-Unis ont recommencé à s'intéresser au guayule, en sélectionnant des variétés plus riches en latex et en caoutchouc. Depuis 2006, la société américaine *Yulex*, dans l'Arizona, vend du polyisoprène de guayule sous forme de latex reconstitué.

Dans le guayule, le caoutchouc est synthétisé, au sein des tiges et des racines, par les cellules de l'écorce (la partie périphérique) et de la moelle (la partie centrale) sous forme de particules de polyisoprène en suspension dans le cytoplasme des cellules. Sa masse molaire est un peu plus petite que celle du caoutchouc d'hévéa. D'après des tests préliminaires, qui restent à confirmer, il présente des propriétés similaires d'élasticité, d'étanchéité et de résistance à l'échauffement interne. Autre qualité, sa teneur en protéines est dix fois inférieure à celle du caoutchouc d'hévéa, de sorte qu'il n'est pas allergisant.

La culture de l'arbuste est relativement facile. Son développement racinaire lui per-



2. LE PISSENLIT RUSSE (*Taraxacum kok-saghyz*) produit un caoutchouc dont les qualités semblent équivalentes ou supérieures à celles du caoutchouc d'hévéa. Il peut être cultivé en zones tempérées. Sa productivité, encore faible, pourrait être augmentée notamment en inhibant le processus de coagulation du latex, qui stoppe son écoulement.

Les plantes à caoutchouc

✓ Plus de 1 500 plantes élaborent du caoutchouc sous forme de particules de polyisoprène dans leur latex : ficus caoutchouc (*Ficus elastica*), laitue sauvage (*Lactuca serriola*), verge d'or (*Solidago virgaurea minuta*), tournesol (*Helianthus annuus*), caoutchoutier de céara (*Manihot carthagenensis*), maniçoba (*Manihot glaziovii*), arbre à caoutchouc (*Castilla elastica* des Aztèques, des Mayas et des Olmèques), arganier (*Argania spinosa*), un arbre endémique du Maroc, ou encore *Palaquium*, arbres de Malaisie et d'Amérique du Sud producteurs d'un caoutchouc dur, le *gutta-percha*.

met d'absorber l'eau en profondeur et en surface. La plante résiste ainsi au manque d'eau et a des besoins hydriques limités : 350 à 640 millimètres de pluies par an lui suffisent. Elle résiste à des températures supérieures à 40 °C. En revanche, le guayule ne tolère pas les températures inférieures à -15 °C, surtout si le froid se prolonge. Ces conditions, somme toutes peu contraignantes, font envisager sa culture dans le Sud de l'Europe (Espagne, Italie, Grèce, au Maghreb) et dans certaines zones semi-désertiques en Australie, Afrique du Sud, Israël, ou en Argentine.

Le guayule présente même une faculté particulièrement utile pour produire du caoutchouc : plus il est stressé par manque d'eau ou par la chaleur ou le froid, plus il synthétise et stocke du caoutchouc dans ses tiges. Pourquoi ? Comme dans le cas de l'hévéa, le latex paraît protéger la plante en coagulant, ce qui colmate les blessures. Selon une autre hypothèse, ce serait une réserve d'énergie où la plante puise lorsqu'elle ne peut synthétiser de glucides par photosynthèse. Les stress environnementaux déclencheraient ainsi des signaux d'adaptation conduisant à accroître cette protection ou ces réserves.

Le guayule fleurit en permanence de mai à octobre. Les graines sont récoltées durant toute cette période à deux ou trois reprises. Le semis en champ ne donnant pas de résultats satisfaisants, les plants sont produits en pépinière, puis replantés à l'aide d'une machine, après six à huit semaines. La production, possible dès la troisième année, n'est rentable qu'à condition de l'adapter aux méthodes modernes de culture associant sélection génétique, agromonie (connaissance des sols, irrigation, etc.), mécanisation de la récolte et procédés d'extraction du caoutchouc.

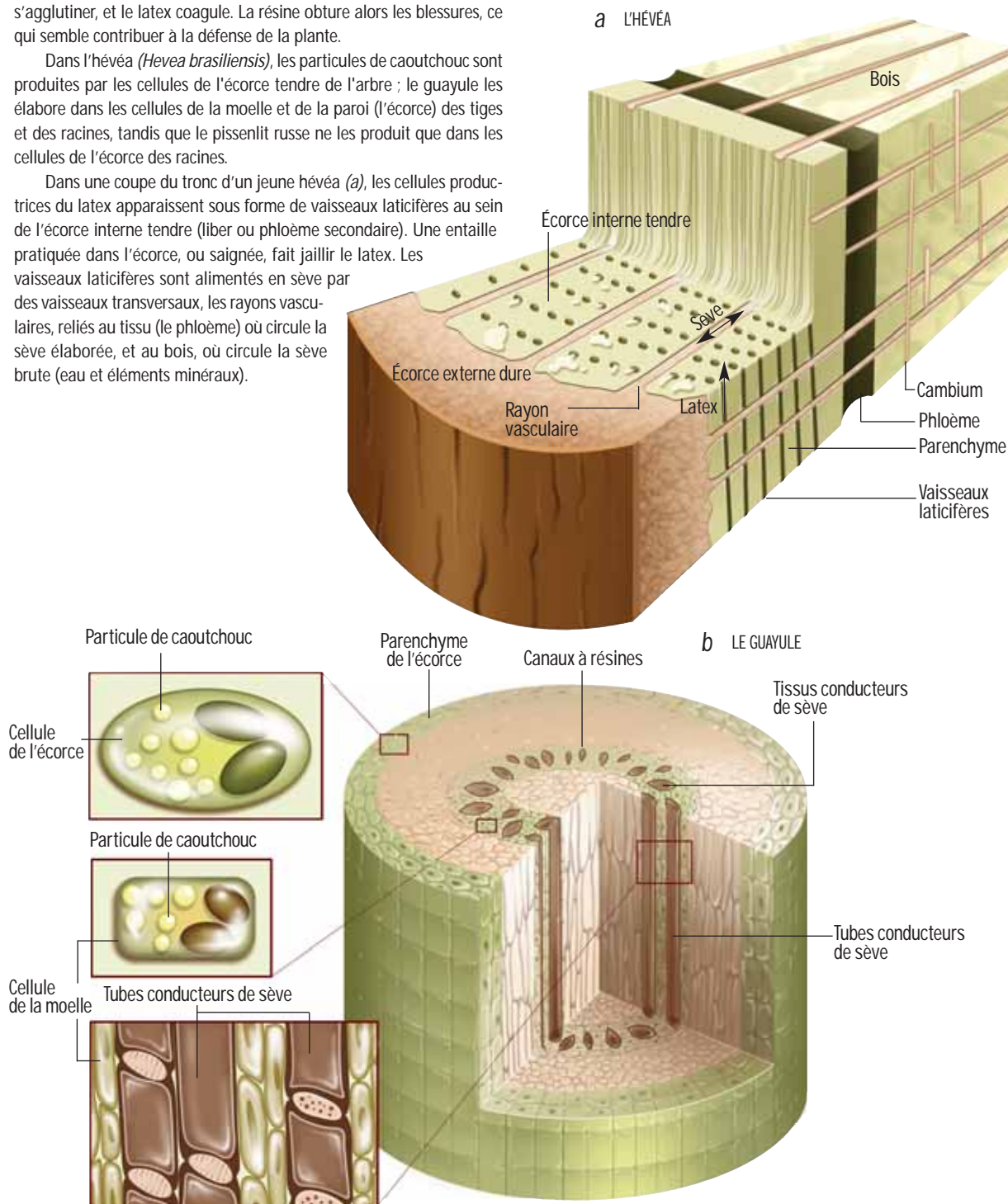
LA BIOLOGIE DU CAOUTCHOUC

Le latex (liqueur, liquide en latin) est une résine laiteuse produite par de nombreuses espèces végétales, tel le pissenlit commun. Il s'agit du cytoplasme de certaines cellules. Dans les latex contenant du caoutchouc, celui-ci est stocké dans de petites particules en suspension dans un « sérum » aqueux, et représente jusqu'à 95 pour cent du latex (en poids sec). Ces particules sont constituées de plus de 90 pour cent de polyisoprène et d'une membrane protectrice. Sous l'action d'enzymes et d'autres protéines contenues dans le latex, les particules finissent par s'agglutiner, et le latex coagule. La résine obture alors les blessures, ce qui semble contribuer à la défense de la plante.

Dans l'hévéa (*Hevea brasiliensis*), les particules de caoutchouc sont produites par les cellules de l'écorce tendre de l'arbre ; le guayule les élabore dans les cellules de la moelle et de la paroi (l'écorce) des tiges et des racines, tandis que le pissenlit russe ne les produit que dans les cellules de l'écorce des racines.

Dans une coupe du tronc d'un jeune hévéa (a), les cellules productrices du latex apparaissent sous forme de vaisseaux laticifères au sein de l'écorce interne tendre (liber ou phloème secondaire). Une entaille pratiquée dans l'écorce, ou saignée, fait jaillir le latex. Les vaisseaux laticifères sont alimentés en sève par des vaisseaux transversaux, les rayons vasculaires, reliés au tissu (le phloème) où circule la sève élaborée, et au bois, où circule la sève brute (eau et éléments minéraux).

Dans le guayule (*Parthenium argentatum*, b), le caoutchouc est synthétisé par les cellules de l'écorce et de la moelle, dans les tiges et les racines (ici une jeune tige). Ces cellules contiennent chacune un globe de caoutchouc de quelques micromètres de diamètre, qui augmente de taille et peut s'unir à ses voisins pour former de véritables gouttes de caoutchouc (à gauche).



LA CHIMIE DU CAOUTCHOUC

Le caoutchouc est une macromolécule de formule $(C_5H_8)_n$ formée par l'enchaînement d'une molécule à cinq atomes de carbone, l'isoprène (*a, dans le cadre orange*). Il s'agit donc d'un polyisoprène. On a admis pendant longtemps que sa remarquable élasticité s'expliquait par la présence de doubles liaisons reliant les atomes de carbone de l'isoprène. Mais de nombreux composés naturels ou synthétiques présentent une haute élasticité, alors que leurs structures sont différentes de celle du polyisoprène. Ce sont des élastomères, matériaux qui peuvent être étirés de plusieurs fois leur longueur sans se casser, et qui reprennent immédiatement leur taille initiale quand on cesse de les étirer. Leur seul

point commun est d'être composés de longues chaînes d'atomes.

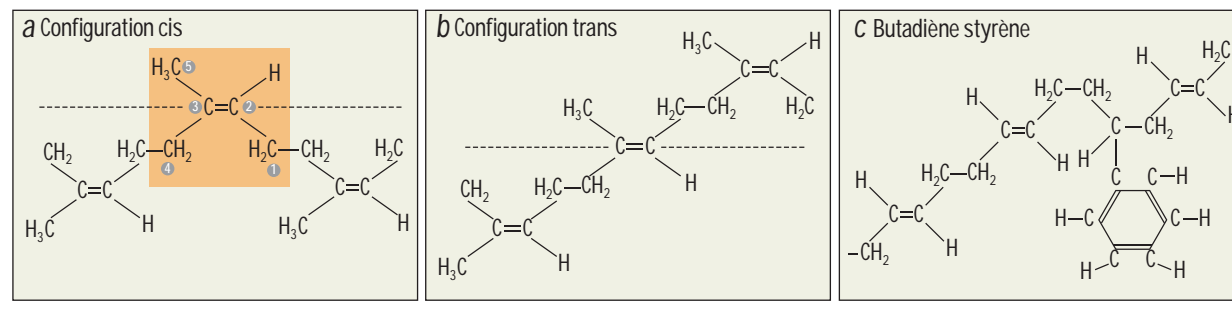
Aujourd'hui, on estime qu'un polymère présente un comportement hautement élastique s'il est constitué de macromolécules dont les éléments laissent une grande liberté de rotation entre les chaînes constitutives ; deuxième si ces chaînes présentent une proportion optimale de liaisons transverses (reliant les chaînes parallèles) de façon à empêcher le fluage – la déformation irréversible de la molécule due au glissement des chaînes les unes par rapport aux autres lorsqu'elles sont soumises à une contrainte –, sans inhiber leur mobilité ; troisièmement, si la symétrie suivant l'axe de la chaîne macromoléculaire n'est pas trop

prononcée, afin de ne pas favoriser la cristallisation (le « gel ») de la molécule ; enfin, s'il possède une masse molaire élevée.

Ces conditions sont mieux remplies avec le caoutchouc naturel de l'hévéa et du guayule qu'avec les polyisoprènes de synthèse. Dans le caoutchouc végétal, tous les maillons isoprène sont en position *cis*, c'est-à-dire situés du même côté de l'unité centrale et reliés par les atomes 1 et 4 (*a*) : ces caoutchoucs sont des polyisoprènes *cis*-1-4. Dans d'autres caoutchoucs naturels, tel le *gutta-percha*, issu des arbres du genre *Palaquium*, les unités isoprène sont en position *trans*, de part et d'autre (*b*), et le polyisoprène est peu déformable et collant. Quant aux

caoutchoucs synthétiques produits depuis les années 1920 par polymérisation à partir de monomères d'hydrocarbures, ils comportent des groupements isoprène enchaînés en position *cis*-3,4 et en position *trans*, ce qui répond moins bien aux conditions physiques de la haute élasticité. C'est le cas du polymère de butadiène-styrène, qui représente 35 pour cent de la consommation mondiale de caoutchouc (*c*).

D'autres différences expliquent les différences de comportement entre polyisoprènes ; ce sont en particulier les interactions entre la macromolécule et des protéines présentes dans le latex, et la teneur en lipides, contenues notamment dans les résines.



Par sélection, certaines lignées obtenues aux États-Unis produisent aujourd'hui 900 kilogrammes par hectare et par an après 21 mois. Cela reste inférieur au rendement moyen actuel d'une tonne et demie par hectare et par an des plantations d'hévéa. Un tel rendement pourrait toutefois concurrencer le caoutchouc d'hévéa si le prix de ce dernier se maintenait au niveau actuel, relativement élevé, soit autour de 2 700 euros par tonne (un prix accru au printemps 2010 en raison de la crise politique en Thaïlande). En Europe, l'objectif du projet EU-PEARLS est d'obtenir des performances au moins équivalentes à celles obtenues aux États-Unis, en améliorant des variétés produites dans ce pays.

De la récolte à l'extraction

Outre sa production précoce, le guayule a un autre avantage, comparé à l'hévéa : sa récolte, tous les deux ou trois ans, est entièrement mécanisable ; il suffit de couper les plants à cinq centimètres

du sol, par exemple à l'aide de récolteuses à coton. La plante, bien enracinée, recommence un nouveau cycle de production de deux ou trois ans. Autre intérêt, la récolte peut avoir lieu presque toute l'année, si bien que les unités d'extraction du caoutchouc fonctionnent de façon quasi continue.

Alors, à quand des cultures de guayule sur les coteaux méditerranéens ? Plus que le rendement, la complexité et les coûts du procédé d'extraction du caoutchouc du guayule freinent ce développement. Pour recueillir le latex de l'hévéa, on incise l'écorce dure de l'arbre, ce qui ouvre les tubes laticifères de l'écorce tendre sous-jacente. Au contraire, le latex de guayule est emprisonné dans les cellules des tiges et des racines. Le caoutchouc ne représente en moyenne que 5 à 15 pour cent du poids sec. Sa récolte nécessite donc de broyer la plante. Or, lors de ce broyage, les particules de caoutchouc se mélangent aux résines et à d'autres molécules contenues dans le latex, ce qui forme des agglomérats moléculaires complexes. Plusieurs méthodes permettent de

✓ BIBLIOGRAPHIE

M. R. Finlay, *Growing American Rubber. Strategic Plants and the Politics of National Security*, Rutgers University Press, 2009.

J. Van Beilen et Y. Poirier, *Establishment of new crops for the production of natural rubber*, *Trends in Biotechnology*, vol. 25, n° 11, 2007.

J. Van Beilen, *Alternatives sources of natural rubber. Outputs from the EPOBIO project*, 2006.

F. S. Nakayama, *Guayule future development*, *Industrial Crops and Products*, vol. 22, pp. 3-13, 2005.

J. B. Serier, *Le guayule : son intérêt économique, sa culture, l'extraction et les propriétés de son caoutchouc*, *Revue Générale des Caoutchoucs et Plastiques*, vol. 56, pp. 75-85, 1979.

L'EXTRACTION DU CAOUTCHOUC

Deux procédés industriels ont été proposés pour extraire le polyisoprène des tiges de guayule sans entraîner trop de résines. Après broyage des tiges, la société américaine *Yulex* récupère le polyisoprène en dispersant ses particules dans de l'eau, de façon à constituer un latex artificiel (*ci-contre*). La dispersion est ensuite filtrée, décantée, puis une centrifugation rassemble les particules de polyisoprène. On obtient ainsi un latex concentré.

Un deuxième procédé, développé par les sociétés *Salttillo*, au Mexique, et *Firestone* avec l'Université A&M au Texas, part de granulés obtenus par un procédé mécanique. On les expose à des solvants pour séparer poly-

isoprène et résines. Contrairement au procédé de *Yulex*, le polymère n'est pas sous forme d'émulsion (de latex), mais solubilisé.

Une alternative de « chimie verte » consisterait à remplacer les solvants par des fluides supercritiques, dont la viscosité est proche de celles des gaz, mais dont le pouvoir solvant est supérieur. Le dioxyde de carbone, par exemple, est utilisé à l'échelle industrielle ; à la fin du procédé, il est recyclé et on n'en trouve pas trace dans le produit, contrairement aux solvants classiques. L'un des objectifs du projet européen EUPEARLS est d'étudier un tel procédé, qui permettrait en outre d'extraire et de valoriser d'autres composants issus du guayule.



Yulex Corporation

dissocier ces agglomérats et de recueillir le caoutchouc (voir l'encadré page 8).

À côté du guayule, le pissenlit russe est la seconde source potentielle de caoutchouc naturel étudiée comme alternative au caoutchouc d'hévéa. Cette plante, elle aussi de la famille des Astéracées, est adaptée au climat tempéré de l'Europe, soit à des températures comprises entre -30 et 40 °C. Le *kok saghyz* (du turc *kök*, racine, et *sagiz*, gomme) a été cultivé dans les années 1930-1940 sur 800 000 hectares en Union soviétique, et sur 540 000 hectares en Allemagne. On en extrayait de l'inuline, un polysaccharide aujourd'hui utilisé dans l'industrie agroalimentaire pour son pouvoir sucrant et comme substitut de matières grasses. L'inuline servait à produire de l'éthanol par fermentation, lequel permettait de fournir du butadiène pour fabriquer des élastomères de type BUNA, aujourd'hui la famille la plus importante de caoutchoucs synthétiques.

Le latex du pissenlit russe est synthétisé par la périphérie des racines. Comme dans l'hévéa, et contrairement au guayule, il s'écoule par simple coupure. Le caoutchouc, présent sous forme de particules en suspension dans la phase aqueuse du latex, représente de 3 à 11 pour cent du poids sec des racines pour des plants de dix mois, et de 15 à 30 pour cent après deux ans de culture. Certaines variétés, telles *tau kok-uzbekistanica*, en contiendraient jusqu'à 40 pour cent.

Le caoutchouc du pissenlit russe a des propriétés techniques comparables à celles de l'hévéa. Sa masse molaire est légèrement supérieure à celle du caoutchouc de guayule. Toutefois, la teneur en protéines d'un latex de *kok saghyz*, supérieure

à celle du guayule, semble le rendre impropre à la production de caoutchouc hypoallergénique. On espère que le procédé d'extraction du polyisoprène permettra de réduire la proportion de protéines associées au caoutchouc.

Ce pissenlit se cultive comme de la chicorée, à partir d'un semis en pleine terre. On récolte les plantes un an plus tard. Les rendements atteignent 150 à 500 kilogrammes de matière sèche par hectare et par an, soit 10 à 75 kilogrammes de caoutchouc. Cette performance est trop faible pour un développement industriel et commercial, mais la sélection génétique et les progrès agronomiques pourraient l'accroître, en agissant sur la production ou sur la récupération du latex. Ainsi, en 2009, l'équipe de Dirk Prüfer, de l'Université de Münster, a obtenu des lignées transgéniques de *kok saghyz* dont on peut tirer quatre à cinq fois plus de caoutchouc que d'une autre variété. Pour ce faire, elle a inactivé un gène codant une enzyme (une polyphénoloxydase) qui accélère la coagulation du latex à l'air et empêche son écoulement. La quantité de latex récupérée en est augmentée.

On cherche également à améliorer la mécanisation de l'exploitation et le procédé d'extraction du caoutchouc. Sur ce plan, tout reste à faire.

Vers le bioraffinage

Si les cultures du guayule et du pissenlit russe sont désormais assez bien maîtrisées, il faudra encore plusieurs années pour qu'elles produisent du caoutchouc à grande échelle. L'amélioration génétique et la domestication des lignées les plus pro-

metteuses augmenteront, pensons-nous, l'efficacité de la synthèse du caoutchouc.

Mais c'est surtout en traitant efficacement les récoltes que l'on atteindra le stade industriel. Selon la démarche de la « raffinerie végétale », ou bioraffinage, le fractionnement des cultures en différents composés ayant des débouchés commerciaux permettrait d'améliorer leur bilan économique. Le caoutchouc de guayule trouverait des applications dans le domaine médical, tout en fournissant des produits utiles à partir de résines et un matériau riche en cellulose – la bagasse – qui permettrait de fabriquer du biocarburant de deuxième génération (éthanol). De même, le latex du pissenlit russe donnerait du caoutchouc pour l'industrie du pneumatique, ainsi que de l'inuline.

Indépendamment des progrès techniques qui restent à accomplir, l'avenir de ces productions dépendra du prix du caoutchouc naturel. Si celui-ci continue à augmenter, les latex de guayule et de pissenlit deviendront compétitifs avant 2020, au moins sur des segments de marché.

Ces développements ne visent pas à remplacer l'hévéaculture, ressource économique de nombreux pays, mais à proposer une solution complémentaire répondant à la demande croissante de caoutchouc naturel. La production brésilienne, la première mondiale jusqu'aux années 1920, a bien été complétée, puis remplacée, par celle des pays asiatiques. Un déplacement du même type vers l'Europe, dans de moindres proportions toutefois, paraît possible. À nous, Européens, de saisir la balle de guayule ou de *kok saghyz* au bond pour nous libérer, au moins en

partie, de l'emprise exercée par les producteurs de pétrole. ■