

Les cires végétales : sources et applications

Jérôme LECOMTE

CIRAD, UMR IATE,
Montpellier, F-34398 France
<jerome.lecomte@cirad.fr>

Abstract: *Waxes are mixture of long-chain apolar lipids of mineral, synthetic or natural (produced by living organisms) origin. In the plant kingdom, waxes that cover the different parts of the plant play the role of a physical and/or chemical barrier towards the outside thus allowing to control mass transfers and pest attacks. They can have also a storage function as in the Jojoba seeds. Because of their highly variable composition and physical properties, plant waxes (raw, refined or specific fractions) have found numerous applications in the food, cosmetic, candle, coating, polish, polymer and pharmaceutical industries. However, only few of them are currently available at large scale (Candelilla, Carnauba, Jojoba) and they represent no more than a few percents of the global waxes market largely dominated by synthetic and petroleum-based products (97 %). In the future, the increase needs for renewable and vegetable-based materials will help to drive the market growth for vegetable waxes and especially those based on vegetable oils (saturated fatty alcohols from fully hydrogenated soybean and castor oils) which have gained importance during the last decade.*

Key words: *plant waxes, cuticular lipids, Candelilla, Carnauba, Jojoba, global market, vegetable oil-based waxes*

Introduction

Le terme anglo-saxon *wax* tire son origine du vieil anglais *weax* qui signifie littéralement « nid d'abeille ». En ce sens, le terme de *cire* a été très longtemps indissociable de la cire d'abeille, un solide jaunâtre, hydrofuge et insoluble dans l'eau, cassant à froid, malléable à chaud et fondant à une température d'environ 63 °C.

Par extension, toute substance similaire en consistance, apparence ou composition à la cire d'abeille pouvait être qualifiée de *cire*, comme c'est le cas notamment dans les secteurs aussi variés que la cosmétique, la protection du bois ou encore les bougies. Aujourd'hui, si la stricte définition chimique du mot *cire* correspond à un ester d'alcool et d'acide gras, une définition plus large et commune aux biologistes et botanistes pourrait se résumer à « un mélange de lipides apolaires à longue chaîne ». Ainsi une cire peut être constituée de lipides très divers parmi lesquels hydrocarbures, esters, aldéhydes, alcools et acides gras font partie des plus courants.

Au terme *cire* peuvent donc être associées plusieurs définitions suivant les utilisateurs, les usages et les contextes dans lesquels ce terme est employé.

Origine et nature des cires

Les cires sont de nature, de composition et d'origine extrêmement variées [1, 2]. Elles peuvent être, en première approche, réparties en deux grands groupes, celui des cires naturelles,

minérales ou organiques et celui des cires artificielles ou synthétiques.

Dans le premier groupe, on peut distinguer deux types de cires minérales suivant leur composition. Ainsi l'ozocérite, extraite de la lignite, et les paraffines issues du raffinage du pétrole sont constituées exclusivement d'hydrocarbures linéaires ou ramifiés. En revanche, les cires montaniques, qui sont de véritables cires végétales fossilisées, sont constituées principalement d'esters, d'acides et d'alcools gras.

Les cires *organiques*, par opposition aux cires *minérales*, sont synthétisées par des organismes vivants. Il pourra s'agir de micro-organismes comme des algues, des champignons ou des bactéries et les lipides secrétés sont alors de nature très complexe.

La plupart des espèces animales produisent également des cires que l'on retrouvera au niveau de la cuticule chez les insectes, de la peau ou des poils chez les mammifères (lanoline, céramides), ou encore des plumes chez les oiseaux (lipides de la glande uropygiale).

Enfin, dans ce premier groupe, les plantes terrestres tiennent une place essentielle. En effet, toutes leurs parties aériennes, feuilles, tiges, fleurs et fruits, sont couvertes de cires, ce qui fait vraisemblablement de ces dernières une des sources de lipides les plus abondantes sur terre.

Dans le deuxième groupe, les cires artificielles peuvent désigner entre autres (i) des esters synthétisés à partir d'acides gras à longue chaîne (saturée ou non) et d'alcools divers parfois d'origine végétale (ii) les produits d'hydrogénation et/ou de métathèse d'huiles végétales.

Enfin, le terme de *cires synthétiques* se réfère d'avantage à des paraffines issues de la synthèse de Fisher-Tropsh, ou à des polymères de faible masse molaire de type polyéthylène (PE) ou polypropylène (PP), oxydés ou non.

Le marché des cires : un secteur en pleine croissance et évolution

En 2005, le marché mondial des cires, toutes natures confondues, était estimé à un volume d'environ 4,3 millions de tonnes pour une valeur de près de 6 milliards d'euros [3].

Malgré sa taille modeste, comparée aux huiles végétales, le secteur des cires se caractérise par une croissance annuelle soutenue approchant les 6 points en 2005 et un nombre d'acteurs économiques (producteurs, transformateurs) supérieur à la centaine.

En termes de répartition, les paraffines d'origine fossile représentent 75-77 % de la production mondiale. Leur destination principale reste le secteur des bougies et chandelles avec 48,8 % des parts, suivi par les secteurs de l'emballage (14,8 %), de l'imperméabilisation des bois (9,9 %) et des isolants (3 %), pour les plus significatifs [3].

Si avec 10 % de la demande globale et 18-20 % de la production, les cires artificielles et synthétiques arrivent en deuxième position [3], elles ne cessent de gagner des parts de marché sur les paraffines fossiles dont le déclin s'est amorcé il y a une dizaine d'années.

Finalement, la production de cires naturelles apparaît comme relativement marginale avec à peine 3 % du marché dont environ 2 % reviennent aux cires végétales.

En termes de répartition, les États-Unis représentaient en 2005 plus du tiers du marché mondial avec 34,1 %, alors que les parts de l'Europe et de l'Asie-Pacifique étaient très similaires, avec 24,0 % et 23,6 % respectivement [3].

Les cires végétales

L'origine cuticulaire des cires végétales

À l'exception de quelques cas particuliers, les cires végétales sont produites et localisées à la surface des parties aériennes des plantes, au niveau de leur cuticule. Cette dernière constitue une véritable interface entre les plantes et leur environnement et remplit diverses fonctions physiologiques et écologiques [4]. Ainsi, la cuticule intervient dans le contrôle de la perte en eau et donc de la concentration et du transport des solutés au sein de la plante. Elle constitue une protection contre les agressions environnementales (sécheresse, température, UV...) ou mécaniques et une barrière efficace contre les infections fongiques ou bactériennes. Par ailleurs, la présence d'une fine couche lipidique à sa surface, permet à la plante d'éviter les rétentions d'eau et d'éliminer les dépôts de poussière, de pollen ou encore de polluants. Enfin, de nombreux éléments mettent en évidence le rôle essentiel de la cuticule dans les interactions plante-insecte.

Structure et constitution de la cuticule

La cuticule dans son ensemble est constituée de trois parties [5-7] : (i) la cuticule proprement dite, formée de cutine, un polyester d'acides gras hydroxylés, (ii) une couche cuticulaire assurant le lien entre la cuticule et la paroi cellulaire sous-jacente et (iii) un dépôt de cires épicuticulaires, à la surface de la cuticule. Le terme

épicuticulaire fait opposition au terme *intra-cuticulaire* qui qualifie les cires présentes dans les deux premières parties.

Les cires épicuticulaires forment généralement un film amorphe à la surface de la plante et parfois des structures organisées appelées cristalloïdes [8] dont le type est relié à la présence prépondérante d'une ou plusieurs familles de composés lipidiques. Ainsi, les *tubules* (figure 1) que l'on rencontre dans les cires de *poaceae* et de *berberidaceae*, sont des cristalloïdes associés aux mélanges de diols et de nonacosane-10-ol (Type I) ou de β -dicétones et d'hydroxy- β -dicétones (Type II) [9].

En revanche, les cristalloïdes de type *plaquette* caractéristiques d'*Eucalyptus sp*, seront plutôt riches en alcools primaires, voire en triterpénoïdes. Les *plaquettes* ne sont pas disposées de façon aléatoire à la surface de la cuticule et l'on pourra les trouver, entre autres, sous forme de rosettes, d'amas compacts ou de lignes parallèles [8].

Principaux constituants des cires de cuticules végétales

Les cires cuticulaires végétales sont essentiellement constituées de composés aliphatiques que l'on peut répartir schématiquement en deux groupes. Dans le premier, on y trouvera les composés les plus communs de type alcane (C_{19} - C_{37}), ester (C_{30} - C_{60}), acide (C_{12} - C_{36}), alcool primaire (C_{12} - C_{36}) et aldéhyde (C_{14} - C_{34}) qui ne sont pas forcément dominants lorsque présents. Pour mémoire, la cire de feuille de pois (*Pisum sativum* L., cultivar avanta) contient plus de 40 % d'alcane [10], les cires de graine de sorgho (*Sorghum bicolor*) 55 % d'aldéhydes [11, 12] et la cire de coque de graine de tournesol presque 70 % d'esters [13].

Le deuxième groupe, en revanche, concerne des composés plus rares comme les cétones (C_{25} - C_{33}), les alcools secondaires (C_{21} - C_{33}) ou les β -dicétones (C_{27} - C_{35}) qui sont le plus souvent majoritaires dans les cires qui en

contiennent. À titre d'exemples, la teneur pondérale en cétones et hydroxy-cétones est environ 65 % dans la cire de feuille d'*Annona squamosa* [14], tandis que pour les feuilles de *Leymus arenarius*, ce sont des β -dicétones et hydroxy- β -dicétones qui prédominent avec 64 % [9].

D'autres éléments mineurs, non aliphatiques sont également rencontrés. Il s'agit de composés cycliques ou polycycliques regroupés sous le terme de triterpénoïdes et présents sous forme d'alcool (stérols, α -amyrin, β -amyrin, lupeol, erythrodiol...) ou d'acides (ursolique, olénoïque...).

Cette diversité va dépendre de très nombreux facteurs comprenant le type de cire (épi- ou intracuticulaire), la partie de la plante considérée (feuille, tige, fruit...), l'espèce végétale, l'âge, la saison ou encore les conditions agro-climatiques.

Ainsi, les cires de feuilles de *Prunus laurocerasus* seront exclusivement aliphatiques s'il s'agit de la fraction épicuticulaire alors que les triterpénoïdes seront les constituants principaux (63 %) de la fraction intracuticulaire [15]. Par ailleurs, les cires épicuticulaires de feuilles peuvent avoir une composition radicalement différente suivant si elles proviennent de la face abaxiale ou adaxiale, comme cela a pu être observé dans le cas du pois [10] (71 % d'alcools primaires pour la face adaxiale contre 73 % d'alcane pour l'abaxiale).

Enfin, Martins *et al.* [16] en prenant l'exemple des cires cuticulaires de feuilles de chênes, ont parfaitement illustré l'influence de l'espèce (*Quercus suber* vs *Quercus ilex*) et de l'âge des individus sur cette composition.

Les cires végétales d'importance économique

Il existe à l'heure actuelle de nombreuses cires végétales naturelles disponibles sur le marché mais seules quelques unes sont produites en quantités significatives et par des filières stables et bien organisées. Ces cires proviennent essentiellement de plantes dédiées à leur production ou constituent des sous-produits d'industries agroalimentaires. Il pourra s'agir par exemple de cires issues du raffinage d'huiles végétales (tournesol, son de riz) ou celles extraites de co-produits végétaux comme les cires de canne à sucre. On pourra noter également les cires issues de plantes à fibres textiles ou papetières comme le kenaf (*Hibiscus cannabinus*), le lin (*Linum usitatissimum*) ou le chanvre (*Cannabis sativa* L.).

Cependant, les trois cires les plus emblématiques de part l'importance de leur production ou la diversité de leurs utilisations, sont vraisemblablement les cires de Carnauba (*Copernicia cerifera*, *Copernicia prunifera*), de

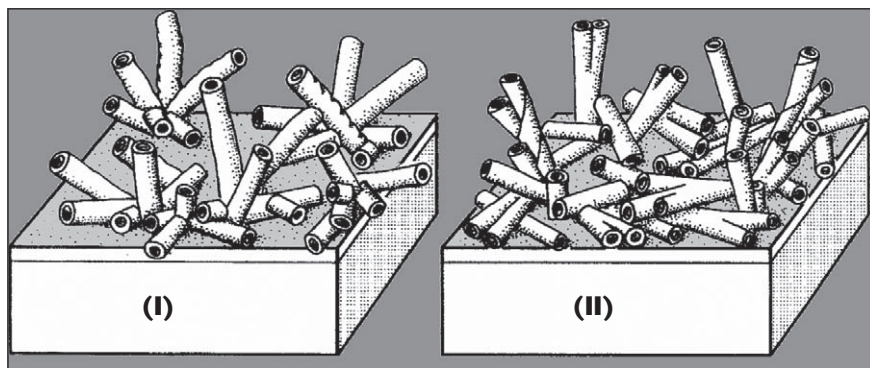


Figure 1. Structure des cristalloïdes de type tubule (types I et II), (dessin aimablement fourni par Wilhelm Barthlott, Nees Institut Universität Bonn).

Candellila (*Euphorbiaceae antisiphilitica*, *Euphorbiaceae cerifera*) et de Jojoba (*Simmondsia chinensis*), que nous nous proposons de passer en revue ci-après.

La cire de Carnauba

Le Carnauba (*Copernicia cerifera*, *Copernicia prunifera*) est un palmier extrêmement courant dans le nord-est du Brésil dont la cire, à la surface de ses palmes, est exploitée à grande échelle depuis le XIX^e siècle. À cette époque déjà, la cire de Carnauba trouvait de nombreuses applications, notamment dans la fabrication des cylindres de phonographe comme en atteste le brevet de Charles S. Tainter en 1890 [17].

Qualifiée de « reine des cires » en raison de sa composition et de ses propriétés uniques, elle représente, en volume, plus de 60 % du marché des cires végétales. La quasi-totalité de la production annuelle mondiale, soit environ 15 000 tonnes, est assurée par le Brésil sur d'immenses surfaces. Cette production extensive fait de la cire de Carnauba un produit relativement onéreux, de l'ordre de 6,5 \$US le kilo en 2008 pour une cire raffinée de qualité alimentaire (Type1).

En termes de propriétés, la cire brute de Carnauba est jaunâtre à légèrement brune, extrêmement dure et cassante avec un point de fusion compris entre 80 °C et 86 °C. Elle est composée à 80-90 % d'esters associant :

- des acides (C₂₄-C₂₈) et des alcools (C₃₀-C₃₄) aliphatiques ;
- aux acides et alcools précédents, des β-hydroxy-acides (C₂₂-C₂₈) et des diols (C₂₄-C₃₄) ;
- des diols (C₂₄-C₃₄) et l'acide p-méthoxy-cinnamique.

Les autres composés minoritaires sont des alcools et acides libres, des alcanes et des résines. Cette composition particulière se traduit par des indices de saponification et d'esters élevés (respectivement 78 à 95 et 71 à 93), un indice d'acide faible (2 à 7) et un indice d'iode autour de 10.

En termes d'applications, la cire de Carnauba s'utilise souvent en association avec la cire d'abeille dans une multitude de produits comme :

- les cirages pour chaussures, parquet et meubles où un film brillant et résistant est recherché ;
- les cosmétiques, et tout particulièrement les rouges à lèvres, où un maintien de la consistance est nécessaire à température élevée ;
- les produits alimentaires où elle sert d'agent d'enrobage ou de texture (E903), notamment dans les chewing-gums.

Enfin, la cire de Carnauba pourra se rencontrer également dans des domaines beaucoup plus inattendus comme les industries électronique et papetière.

La cire de Jojoba

Le Jojoba (*Simmondsia chinensis*, *Simmondsia californica*) est un arbuste pérenne à feuillage persistant, de 2 à 2,5 m de haut, originaire des régions semi-arides du nord-ouest du Mexique et du sud-est des États-Unis (déserts de Sonora et Baja). Pendant des siècles, les indiens ont utilisé ses graines comme source de protéines alimentaires et d'huile aux vertus hydratante et cicatrisante, et ce n'est qu'à la fin du XVIII^e siècle que des pères jésuites espagnols en relatent l'existence. Il faut attendre les années 1960 pour voir les premiers essais de production de Jojoba dans l'état de Californie. Au début des années 1970, l'abolition de la chasse à la baleine par les États-Unis et la mise en évidence en 1933, par Foster et Greene [18], des similitudes physico-chimiques entre le spermaceti (blanc de baleine) et la cire de Jojoba, propulsa cette dernière sur le devant de la scène. Depuis, sa culture n'a cessé de s'étendre à d'autres pays, malgré de nombreux échecs liés à de fortes contraintes agro-climatiques. En 2007, la production mondiale de graine de Jojoba a été estimée à environ 5 400 tonnes (soit près de 2 500 tonnes d'équivalents huile) se répartissant principalement entre l'Argentine (45 %), Israël (28 %), le Pérou (15 %) et les États-Unis (7 %) [19].

La cire de Jojoba a la triple particularité de provenir d'une graine (et non de cuticule), d'être liquide à température ambiante et d'avoir une teneur exceptionnellement élevée en esters, autour de 97 %. Elle est obtenue avec un rendement massique de 43-60 %, sous forme d'un liquide légèrement jaunâtre et inodore.

Comme le montrent les tableaux 1 et 2, les esters sont représentés à plus de 80 % par des composés à 40 et 42 atomes de carbone, constitués d'acides et d'alcools gras mono-insaturés comportant 18 à 24 atomes de carbone. L'acide C20:1 est le plus abondant des acides (73 %), tandis que pour les alcools, le C20:1 et le C22:1 ont une teneur équivalente comprise entre 45 % et 47 %.

Composée quasi exclusivement d'esters insaturés, la cire de Jojoba présente des indices d'iode et de saponification élevés, respectivement de 80-85 et 88-96.

Tableau 1. Composition typique des esters de cire de jojoba.

Type d'ester (nombre total de carbones)	% relatif
C36	0-2
C38	5-8
C40	26-34
C42	44-56
C44	8-12
C46	0-3

Tableau 2. Nature des acides et alcools gras constitutifs des esters de cire de Jojoba.

Composé type	Teneur relative (%)	
	Acides	Alcools
C18:1	6	-
C20:1	35	22
C22:1	7	21
C24:1	-	4

Pour ces propriétés, entre autres, hydratante, équilibrante, émoullissante et son toucher non gras, la cire de Jojoba trouve ses principales applications en cosmétique sous forme brute ou raffinée, ou de dérivés (hydrogénés, ethoxylés). Elle est un ingrédient essentiel dans de nombreux produits comme les savons, les shampoings, les crèmes pour la peau, les masques ou encore les crèmes de protection solaire.

Cette cire est également utilisée dans le domaine pharmaceutique et dans des secteurs aussi variés que les lubrifiants, les plastifiants ou les agents anti-mousse [20].

La cire de Candellila

La cire de Candellila est obtenue à partir de différentes espèces d'euphorbiacées (*Euphorbiaceae antisiphilitica*, *Euphorbiaceae cerifera*) natives du désert de Chihuahua au Mexique et qui doivent leur nom à leur forme de « petite chandelle ». L'aire de répartition de Candellila qui pousse à l'état sauvage, correspond au centre-nord du Mexique avec un léger débordement sur les États-Unis au niveau Texas. Dans cette région, la cire de Candellila constitue une ressource économique importante depuis plus d'un siècle, même si la demande a dramatiquement chuté dès la fin de la seconde guerre mondiale. Les raisons essentielles de ce déclin sont les coûts de production élevés de cette cire combinés à un accès des consommateurs à des produits d'origine pétrolière beaucoup moins chers. En effet, toutes les opérations de récolte et de séchage de la plante, puis d'extraction et de purification des cires, sont encore aujourd'hui réalisées de façon artisanale, en grande partie par les femmes et les personnes âgées.

La cire de Candellila se présente sous forme d'un solide jaunâtre brillant, dur et cassant dont la plage de fusion est comprise entre 68 °C et 73 °C. Elle est obtenue à partir des tiges séchées, avec un rendement de 1,5 % à 2,5 % en poids par rapport à la plante. En 2002, la production mondiale (presque exclusivement d'origine mexicaine) était de l'ordre 1 800 à 2000 tonnes, et le prix du kilogramme de cire raffinée autour de 6,60 \$ US.

Contrairement aux deux précédentes, la cire de Candellila raffinée est en majorité constituée d'alcanes en C₂₉-C₃₃ avec une teneur pondérale

relative de 42 %. Suivent alors les esters en C₄₂-C₆₄ avec 29 % puis d'autres composés : alcools, acides gras libres, stérols, résines. Cette composition particulière se traduit par une teneur exceptionnelle en insaponifiable de l'ordre de 70-77 % et un indice d'acide entre 12 et 22 [21, 22].

Les applications de cette cire sont extrêmement variées. Elle est le plus souvent utilisée en mélange avec d'autres pour apporter de la dureté sans augmenter le point de fusion. On la trouve dans divers produits alimentaires, notamment comme agent d'enrobage ou de surfacage (E902), ou comme substitut de cire d'abeille. À l'instar de la cire de Carnauba, de nombreux produits pharmaceutiques et cosmétiques (lotions et baume pour les lèvres notamment) en contiennent également, tout comme certains cirages, produits de lustrage, adhésifs ou colorants.

Évolution du secteur des cires végétales : nouvelles tendances, nouveaux produits

L'évolution actuelle du marché des cires est globalement favorable aux produits d'origine végétale pour de multiples raisons.

Tout d'abord, de nouveaux procédés et technologies de raffinage du pétrole (hydroisomérisation) ne générant plus de paraffines se sont largement développés dans les pays occidentaux à la fin des années 1990. Ainsi, depuis 1998, la production de cires fossiles a dramatiquement chuté de 30 % au États-Unis, soit environ 450 000 tonnes et de 15 % en Europe. En passant de 18 à 9, le nombre de compagnies américaines productrices de paraffines a été divisé par deux en moins de vingt ans [23]. Cette tendance est cependant partiellement compensée par l'augmentation du nombre d'installations classiques de production de pétrole en Asie, qui fait aujourd'hui de la Chine le principal fournisseur des pays de l'Ouest en cires de paraffines.

Par ailleurs, la diminution inéluctable des ingrédients d'origine fossiles (*petrolatum*) dans les produits de santé, d'hygiène et de soin, combinée à une demande croissante en produits naturels, renouvelables et biodégradables de la part des consommateurs, offre de réelles perspectives de développement aux cires végétales. En outre, l'engouement des sociétés occidentales pour les produits « biologiques » devrait avant tout bénéficier aux cires naturelles, tout comme la tendance du « commerce équitable » qui concerne déjà de nombreux secteurs économiques.

Si les cires végétales naturelles traditionnelles devraient voir ainsi leur part de marché se

maintenir, voire croître, dans les années à venir, elles devront néanmoins faire face à l'émergence des cires artificielles, également d'origine végétale, dont les deux exemples suivants sont significatifs.

Les cires issues de l'hydrogénation d'huiles végétales, essentiellement de soja (gamme NatureWax™ de la société Cargill) et dans une moindre mesure de ricin, coton et palme, visent d'abord le secteur des bougies et chandelles. En effet, ce secteur représente 40 % du marché mondial des cires et connaît actuellement une croissance supérieure à 10 %, liée aux nouvelles tendances des consommateurs comme l'aromathérapie ou la recherche produits de bien-être d'intérieur. Comparé aux paraffines, ce type de cire présente certains avantages comme une production limitée de suie et de produits volatils toxiques [24] et une vitesse de combustion plus lente. En revanche, les performances de ces cires sont directement liées à la maîtrise du taux d'hydrogénation de l'huile [25]. Les produits (chandelles ou bougies) ayant les performances adéquates correspondent à des mélanges d'huiles hydrogénées, de paraffines et d'additifs.

Plus récemment, la métathèse d'huiles végétales insaturées est devenue une voie d'accès supplémentaire aux cires biosourcées, avec un spectre d'application tout aussi large que précédemment, allant des bougies aux cosmétiques [26].

À côté de ces nouveaux produits, d'autres cires naturelles sont susceptibles de profiter de cette conjoncture favorable et de connaître un développement important comme les cires de canne à sucre, de chanvre, de lin ou encore celles issues du raffinage de l'huile de son de riz. Pour exemple, les cires de cannes à sucre, riches en esters gras à très longue chaîne [27], sont extraites de l'écume [28], un sous-produit de l'industrie sucrière généré à raison de 14 à 23 kg par tonne de canne [29]. Compte tenu de la teneur en cire de l'écume (3,5 à 4 % de la matière sèche) et du volume de cannes produit dans le monde (environ 1 557 millions de tonnes en 2008), la production potentielle de cire de canne peut être estimée entre 0,8 et 1,4 million de tonnes.

Conclusion

Les cires végétales sont des produits extrêmement versatiles en termes de sources et de composition alors que, paradoxalement, ce sont leurs propriétés physiques qui décident de leurs très nombreuses applications. Elles ne représentent que 1 à 2 % du marché global des cires, largement dominé par les paraffines. Les trois principales cires végétales actuellement disponibles sur le marché sont celles de Carnauba, de Candelilla et de Jojoba. À l'instar

de toutes les autres cires végétales, elles se caractérisent par des prix nettement supérieurs à ceux des paraffines (1-2 \$ US/kg) liés essentiellement aux coûts de production et de main-d'œuvre.

Il est raisonnable de penser que, dans le futur, la consommation des cires végétales continuera de progresser pour éventuellement gagner quelques parts de marché. La première raison est liée à la diminution inexorable de la production des cires fossiles suite au développement de nouvelles technologies de raffinage du pétrole. La deuxième raison est d'avantage sociétale, avec l'évolution des habitudes de consommation en faveur des produits naturels, renouvelables et biodégradables, respectueux de l'environnement et bons pour la santé. Dans ce sens, le développement des produits *biologiques* et *équitable*s devrait également contribuer à l'essor des cires végétales, dans des secteurs comme la pharmacutique ou la cosmétique qui privilégient les produits naturels de qualité malgré leur coût élevé.

Les cires végétales naturelles auront également à faire face à de nouvelles cires concurrentes, provenant soit de la transformation d'huiles végétales par hydrogénation ou métathèse, soit de l'exploitation de co-produits végétaux peu valorisés comme dans le cas de la canne à sucre, du chanvre ou lin. Dans ce contexte concurrentiel, les filières de cires naturelles devront s'attacher à réduire drastiquement leurs coûts de production. Enfin, des investissements en recherche et développement seront nécessaires pour diversifier les applications des cires végétales en se basant d'avantage sur leur composition chimique et éventuellement leur (s) activité(s) biologique(s).

RÉFÉRENCES

1. Kolattukudy PE, ed. *Chemistry and biochemistry of natural waxes*. Amsterdam : Elsevier, 1976.
2. Hamilton RJ, ed. *Waxes: Chemistry, molecular biology and functions*. Dundee : The Oily Press, 1995.
3. Frost & Sullivan. No Sign of Waning for Global Waxes Market (www.frost.com/prod/servlet/market-insight-top.pag?docid=75979286). 2006.
4. Shepherd T, Wynne Griffiths D. The effects of stress on plant cuticular waxes. *New Phytol* 2006 ; 171 : 469-99.
5. Walton TJ. Waxes, cutin and suberin. In : Harwood JL, Boyer J (eds), *Methods in Plant Biochemistry*. Academic Press, London, 1990. 4 : 106-58.

6. Holloway PJ. Structure and histochemistry of plant cuticular membranes: an overview. In : Cutler DF, Alvin KL, Price CE (eds), *The Plant Cuticle, Linnean Society Symposium Series*. London : Academic Press, 1982, 10 : 1-32.
7. Baker EA. Chemistry and morphology of plant epicuticular waxes. In : Cutler DF, Alvin KL, Price CE (eds), *The Plant Cuticle, Linnean Society Symposium Series*, London : Academic Press, 1982. 10 : 139-165.
8. Barthlott W, Neinhuis C, Cutler D, *et al.* Classification and terminology of plant epicuticular waxes. *Bot J Linn Soc* 1998 ; 126 : 237-60.
9. Meusel I, Neinhuis C, Markstädter C, Barthlott W. Chemical Composition and Recrystallization of Epicuticular Waxes: Coiled Rodlets and Tubules. *Plant Biol* 2000 ; 2 : 462-70.
10. Gniwotta F, Vogg G, Gartmann V, Carver TLW, Riederer M, Jetter R. What Do Microbes Encounter at the Plant Surface? Chemical Composition of Pea Leaf Cuticular Waxes. *Plant Physiol* 2005 ; 139 : 519-30.
11. Hwang KT, Cuppett SL, Weller CL, Hanna MA. Properties, Composition, and Analysis of Grain Sorghum Wax. *J Am Oil Chem Soc* 2002 ; 79 : 521-7.
12. Hwang KT, Weller CL, Cuppett SL, Hanna MA. Changes in composition and thermal transition temperatures of grain sorghum wax during storage. *Ind Crop Prod* 2004; 19 : 125-??
13. Sindhu Kanya TC, Jaganmohan Rao L, Shamanthaka Sastry MC. Characterization of wax esters, free fatty alcohols and free fatty acids of crude wax from sunflower seed oil refineries. *Food Chem* 2007 ; 101 : 1552-7.
14. Shiva Shanker K, Kanjilal S, Rao BVSK, Hara Kishore K, Misra S, Prasad RBN. Isolation and antimicrobial evaluation of isomeric hydroxy ketones in leaf cuticular waxes of *Annona squamosa*. *Phytochem Anal* 2007 ; 18 : 7-12.
15. Jetter R, Schäffer S, Riederer M. Leaf cuticular waxes are arranged in chemically and mechanically distinct layers: evidence from *Prunus laurocerasus* L. *Plant Cell Environ* 2000 ; 23 : 619-28.
16. Martins CMC, Mesquita SMM, Vaz WLC. Cuticular Waxes of the Holm (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) and Cork (*Q. suber* L.) Oaks. *Phytochem Anal* 1999 ; 10 : 1-5.
17. U.S. Patent 421, 450 (February 1890)
18. Greene RA, Foster EO. *Bot Gaz* 1933 ; 94 : 826-8.
19. Brown J. Jojoba: 35 Years of Organic Growth. International Jojoba Export Council. Marketing Trends Seminar in-cosmetics 2008 – Amsterdam. 2008
20. Wisniak J. The Chemistry and Technology of Jojoba Oil. American Oil Chemists' Society, Champaign, IL (USA). 1987
21. Wolfmeier U, Schmidt H, Heinrichs FL, *et al.* Waxes. In : *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* 1996; 28A : 103-22.
22. Kolattukudy PE. Introduction to natural waxes. In : Kolattukudy PE, ed. *Chemistry and Biochemistry of Natural Waxes*. Amsterdam : Elsevier, 1976 : 1-15.
23. De Guzman D. Demand for natural wax increases. Natural wax shines. ICIS.com, 2008 (www.icis.com/Articles/2008/08/18/9149059/Demand-for-natural-wax-increases.html)
24. Rezaei K, Wang T, Johnson L. Combustion characteristics of candles made from hydrogenated soybean oil. *J Am Oil Chem Soc* 2002 ; 79 : 803-8.
25. Rezaei K, Wang T, Johnson L. Hydrogenated vegetable oils as candle wax. *J Am Oil Chem Soc* 2002 ; 79 : 1241-7.
26. WO/2006/076364 (20/07/2006)
27. Martinez R, Castro I, Oliveros M. Characterization of products from sugar cane mud. *Rev Soc Quím Méx* 2002 ; 46 : 64-6.
28. Phukan AC, Boruah RK. Extraction and evaluation of microcrystalline wax from press mud waste of the sugar industry. *Sep Purif Technol* 1999 ; 17 : 189-94.
29. Patureau JM. *By-products of the cane sugar industry*. Amsterdam-Oxford-New-York : Elsevier Sci. Publ. Co., 1988.