

Origine de l'ambre des faciès sparnaciens (Éocène inférieur) du Bassin de Paris : le bois de l'arbre producteur

Dario DE FRANCESCHI

Département Histoire de la terre, UMR CNRS 8569,
Muséum national d'Histoire naturelle, 8 rue Buffon, F-75231 Paris cedex 05 (France)
dariodf@mnhn.fr

Gaël DE PLOËG

Département Systématique et Évolution (USM 0602), Entomologie,
Muséum national d'Histoire naturelle, 45 rue Buffon, F-75231 Paris cedex 05 (France)

De Franceschi D. & De Ploëg G. 2003. — Origine de l'ambre des faciès sparnaciens (Éocène inférieur) du Bassin de Paris : le bois de l'arbre producteur. *Geodiversitas* 25 (4) : 633-647.

RÉSUMÉ

Dans le Bassin de Paris, l'ambre est connu en divers points depuis le début du XIX^e siècle. Tous les sites inventoriés sont datés de l'Éocène inférieur et correspondent au faciès continental appelé Sparnacien. Un nouveau gisement, découvert récemment dans l'Oise, a fourni de grandes quantités de cette résine fossile. D'autres macrorestes végétaux, notamment du bois en connexion avec ces coulées de résine, ont également été collectés. Ce bois particulier est orné de sillons parallèles horizontaux visibles macroscopiquement. Rencontré pour la première fois dans le sous-sol de Paris en 1904, ce bois a déjà été partiellement décrit par Combes sous le nom *Aulacoxylon sparnacense* Combes, 1907. Une description anatomique de ce bois est donnée ici à partir des nouvelles collectes effectuées dans l'Oise. La structure de l'arbre producteur de cette résine est très semblable à celle des Caesalpiniaceae (angiospermes, eudicotylédones) de la tribu des Detarieae, notamment du genre actuel *Daniellia* Benn. L'abondance et les affinités de ce taxon ainsi que l'examen des autres éléments de la paléoflore permettent la reconstitution du paysage végétal à cette époque. Une mosaïque de forêt-galerie côtoyait des formations plus sèches, dans une zone deltaïque, en climat sub-tropical. L'ambre et le bois *Aulacoxylon sparnacense* sont de bons marqueurs de cet intervalle de temps et de cet environnement continental. Les limites paléogéographiques de cet environnement végétal sont obtenues à partir de l'inventaire des sites à ambre des faciès sparnaciens du Bassin de Paris et correspondent probablement aux limites du faciès continental dans cette région.

MOTS CLÉS

Caesalpiniaceae,
Detarieae,
Éocène inférieur,
Bassin de Paris,
fossile,
lignite,
anatomie du bois,
ambre.

ABSTRACT

Origin of the amber from the Sparnacian facies (lower Eocene) of the Paris Basin: the wood of the producing tree.

Amber is known from several sites of the Paris Basin since the beginning of the 19th century. All the listed sites date back from the early Eocene and are related to the Sparnacian continental facies. A new deposit recently discovered in the Oise department provided a great amount of this fossil resin. Other macrofossils of plants, especially some wood fragments connected to resin flows were also collected. This particular wood shows parallel horizontal furrows, that are macroscopically visible. Discovered for the first time in 1904 in the Paris subsoil, this wood was partially described by Combes under the name *Aulacoxylon sparnacense* Combes, 1907. It is described here on the bases of new records from the Oise area. The wood structure of the resin producing tree is very similar to those of the Detarieae tribe of the Caesalpiniaceae family (angiosperms, eudicotyledons), especially to the modern genus *Daniellia* Benn. The study of some other components of the paleoflora leads to the reconstitution of the vegetation landscape. A mozaic of gallery-forest was mixed with dryer plant communities, in a deltaic subtropical area. The amber and the wood named *Aulacoxylon sparnacense* are good markers of this interval and environment. The paleogeographic limits of this environment are obtained from the inventory of the amber sites in the Paris Basin and probably correspond to the limits of the continental facies in this region.

KEY WORDS

Caesalpiniaceae,
Detarieae,
lower Eocene,
Paris Basin,
fossil,
lignite,
wood anatomy,
amber.

INTRODUCTION

De petites quantités de succin (ambre) ont été récoltées dès le début du XIX^e siècle (Becquerel 1819) à Auteuil (Paris), puis à Noyers dans l'Eure (Passy 1824), et enfin en divers points du Bassin de Paris depuis le début du XX^e siècle (Combes 1904 ; Lacroix 1910 ; Galippe 1920 ; Robin 1925 ; Feugueur 1963). Alors que l'ambre de la Baltique a été largement étudié dès la fin du XIX^e siècle (Goeppert 1883 ; Conwentz 1886, 1890), l'ambre du Bassin de Paris est resté presque ignoré jusqu'à nos jours.

Nous avons récemment exploité de nouveaux gisements dans l'Oise (Nel *et al.* 1999), découverts par G. De Ploë en 1996. Les quantités récoltées, s'élevant à plusieurs centaines de kilogrammes sur le principal gisement, sont sans rapport avec les précédentes découvertes. Dans tous les sites du Bassin de Paris, les fragments d'ambre proviennent du même niveau dit des argiles à lignite du Soissonnais et quelquefois, comme

nous avons pu le constater, des sables des niveaux immédiatement supérieurs, par exemple dans les sables d'Auteuil. Les affleurements de ces niveaux s'étendent de la région de Gisors dans l'Eure, au nord-ouest de Paris, jusqu'à l'Oise et l'Aisne vers le nord et l'est. Ce niveau, rattaché à l'étage Sparnacien par les anciens auteurs (Dollfus 1880 ; voir Curry 1981 pour un résumé) et plus récemment au Groupe de Mont Bernon (Magioncalda *et al.* 2001), est actuellement considéré comme un faciès continental de l'Yprésien basal (Éocène inférieur) (Feugueur 1963 ; Bignot 1983 ; Laurain *et al.* 1983 ; Jenkins & Luterbacher 1992). Il est mis en corrélation avec la Formation de Tienen en Belgique (Steurbaut *et al.* 1999). Toutefois, la dénomination chronostratigraphique de cet intervalle est encore en discussion, en liaison avec la définition de la limite Paléocène/Éocène (Aubry 2000). Le principal gisement de l'Oise, à Houdancourt (Fig. 1), contient en outre d'abondants restes de végétaux sous forme de lignite (lignite du Soissonnais). Les

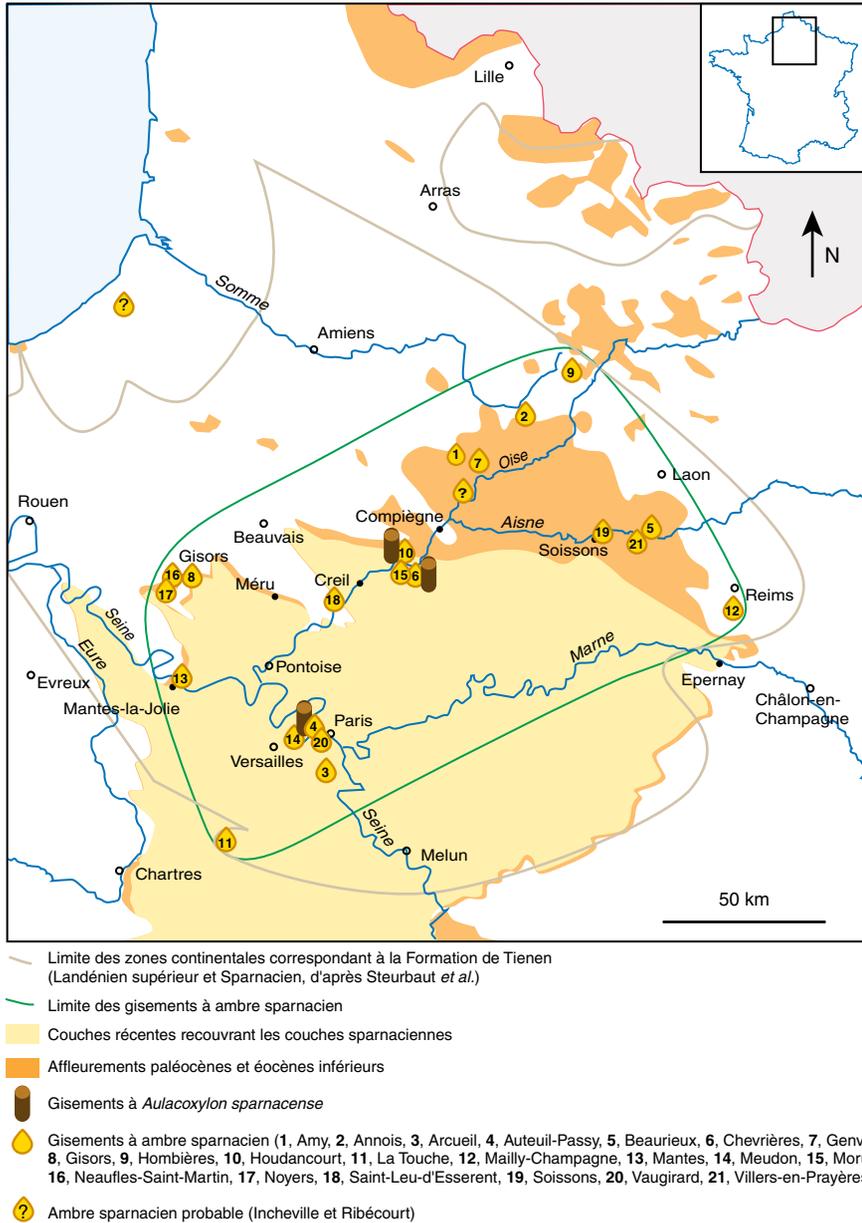


Fig. 1. — Carte de localisation des gisements à *Aulacoxylon sparnacense* Combes, 1907 et à ambre sparnacien.

principaux faciès de l'Éocène inférieur sont résumés dans le Tableau 1, inspiré de la synthèse effectuée par Bignot *et al.* (1980).

Becquerel (1819) décrit ses récoltes de succin (ambre) à Auteuil : « Celui que j'ai recueilli sur

les lieux, au milieu du Lignite, est d'une limpidité parfaite ». Passy (1824) fait remarquer dans une note autographique concernant l'ambre de Noyers : « C'est toujours parmi les lignites que l'on rencontre le succin et il paraît tenir aux branches

TABLEAU 1. — Principaux faciès de l'Éocène inférieur du centre du Bassin de Paris (d'après Bignot *et al.* 1980, adapté).

Yprésien	Cuisien	Supérieur	1 - Argiles de Laon - grès de Fosses et de Belleu - Sables de Glennes - Sables à unios et térédines 2 - Sables d'Hérouval - Sables de Cuise - Sables de Pierrefonds	
		Inférieur	Sables d'Aizy	
		Basal	Tuffeau de Mont-Notre-Dame Sables de Laon Formation de Varengeville	
	« Faciès sparnacien = Groupe du Mont Bernon »	Supérieur	Grès de Bruyère-la-Comtesse, d'Urcel et de Chaillevois Faluns à cyrènes et à huitres (= « fausses glaises »)	
		Moyen	Sables de Sinceny	Argiles de Sarron
			Sables d'Auteuil (<i>p.p.</i>)	
		Inférieur	Argiles et lignites du Soissonais Argile plastique de Vaugirard	
	Basal	Calcaire de Clairoix, de Mortemer, du Cap d'Ailly Marnes de Sinceny, de Dormans, de Chenay (<i>p.p.</i>) « cendrier » de Paris, de Lamrolaye, de Montgiroux Conglomérat de Meudon		

exactement comme la gomme aux arbres vivants ». À l'époque, ni cet auteur, ni son prédécesseur Becquerel (1819) ne précisent malheureusement de quel bois il s'agit.

L'identification certaine du bois de l'arbre producteur de la résine est devenue possible grâce à l'étude de certains fragments de lignite à l'ornementation sillonnée particulière récoltés dans l'Oise. Ces fragments renferment, en effet, des coulées de cette résine fossilisée.

Combes (1907) a décrit partiellement, sous le nom d'*Aulacoxylon sparnacense*, des fragments de bois ligneux des conglomérats d'Auteuil (Sparnacien, Paris), présentant cette ornementation particulière du bois producteur de résine du gisement de l'Oise. Ce bois ligneux, récolté en 1904, était accompagné de succin (ambre) dans le même site (Combes 1904). Toutefois, aucun fragment de bois fossile n'avait permis alors d'établir un lien entre les structures ligneuses et l'ambre trouvé sur différents sites. De plus, les échantillons décrits par Combes (1907) présentaient un état de conservation insuffisant pour permettre une diagnose complète. L'identification à partir des échantillons récemment récoltés dans l'Oise est maintenant possible par l'observation d'éléments d'ornementation

macroscopique, de structures ligneuses et d'ambre inclus dans certains spécimens. Une étude préliminaire (Nel *et al.* 1999) a permis d'envisager des affinités botaniques de l'arbre producteur (Combretaceae ou Caesalpinaceae). Depuis, de nouveaux spécimens récoltés permettent de réexaminer l'ensemble des caractères de ce bois.

Les principaux objectifs de ce travail sont : 1) de recenser tous les sites connus à ce jour où ce bois fossile et/ou l'ambre sparnacien ont été trouvés ; 2) de compléter la description de ce bois et le rapprocher des taxons déjà décrits par ailleurs ; et 3) de mettre en évidence ses affinités avec les taxons actuels et ainsi déterminer l'origine botanique probable de l'arbre producteur de cette résine.

L'extension de ce taxon dans le temps et dans l'espace pourra ainsi être évaluée pour des considérations d'ordre paléo-environnemental et stratigraphique.

ABRÉVIATIONS

coll.	collection ;
MEB	microscope électronique à balayage ;
MNHN	Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ;
MP	microscopie photonique.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

ORIGINE DU MATÉRIEL ÉTUDIÉ

Deux gisements proches, récemment mis au jour, affleurent dans la région de Pont-Sainte-Maxence (Oise). L'un de ces gisements, découvert dans une carrière située au lieu-dit « Le Quesnoy » sur la commune de Houdancourt, a fait l'objet de fouilles comportant le tamisage des sédiments de la couche à argiles à lignite. Dans ce gisement, la puissance de cette couche varie de 0,5 à 4 m. Deux sites, éloignés de 400 m, sont distingués du point de vue fossilifère. Le premier site, du côté est du gisement, recèle du lignite en abondance (bois, fruits, graines, etc.) et de nombreux restes de vertébrés. L'autre site, du côté ouest, est très riche en ambre (plus de 450 kg récoltés entre 1996 et 2000). Les restes de bois sont plus ou moins pyriteux ou imprégnés d'ambre. L'ambre récolté renferme de nombreux insectes (plusieurs milliers) et quelques fleurs et feuilles fossilisés. Nous avons récolté, avec l'équipe du MNHN, plusieurs milliers de graines et de fragments de bois ligniteux sur ces deux sites.

Des prélèvements de sédiment dans la couche fossilifère du Quesnoy ont permis des études palynologiques qui ont abouti à la confirmation de l'âge éocène de ce niveau (Nel *et al.* 1999 ; Cavagnetto 2000). La végétation révélée par la palynologie et l'ensemble des macrorestes comprend de nombreux taxons angiospermiens appartenant à une flore (sub-)tropicale (Nel *et al.* 1999). Le second gisement, situé à moins de 1 km du précédent, au lieu-dit « La Plaine » (Chevrières), a fourni quelques spécimens de bois pyritisé portant encore, pour certains, des coulées de résine fossilisée. Dans Paris même, à Passy, la couche des sables argileux d'Auteuil, reposant sur les couches d'argiles à lignite du Sparnacien inférieur, a fourni du lignite (bois et nombreuses graines) et des petits fragments d'ambre. Combes (1904) a déjà récolté cet ambre dans la couche des argiles à lignite d'Auteuil. L'ensemble du matériel examiné provient de ces récoltes nouvelles et des collections du MNHN (végétaux fossiles et minéralogie), originaires d'autres gisements du Tertiaire du Bassin de Paris.

TAPHONOMIE

Les spécimens de bois récemment recueillis dans les sites de l'Oise ont subi une fossilisation différente suivant les fragments. Certains échantillons de bois ligniteux présentent des structures compactes, écrasées et aux parois gélifiées ; ils sont également souvent pyritisés. D'autres montrent des structures anatomiques remarquablement bien conservées, révélant l'essentiel des caractères des cellules ligneuses, ainsi que leur organisation. Ce sont les éléments carbonisés moins nombreux (1 à 5 % du total) qui présentent la structure anatomique la mieux conservée : le charbon de bois est en effet pratiquement incompressible et biologiquement relativement inerte. Les échantillons ont été récoltés au fur et à mesure du tamisage du sédiment. De gros blocs de bois ligniteux, fragmentés, découverts couchés dans le sédiment, présentent un diamètre dépassant parfois 20 cm. La bonne préservation de nombreux éléments ligneux et de coulées d'ambre très fragiles implique une sédimentation et une fossilisation sur place. Cela exclut un transport sur une longue distance ou un remaniement de ce matériel depuis son dépôt jusqu'à sa découverte dans les couches sparnaciennes.

Les fragments de bois (et d'écorce) du taxon producteur d'ambre sont abondants sur le site principal. Ils sont accompagnés de nombreux autres bois fossiles (homoxylés et hétéroxylés) et de quelques fragments de stipe de Palmier (*Palmoxylon* sp.). Les études morphologiques et anatomiques ont porté sur des échantillons de bois ligniteux, des fragments pyriteux ainsi que sur des fragments « momifiés » par imprégnation de résine fossilisée. Tous ces fragments se rencontrent à différents niveaux dans la couche.

MÉTHODES

Les fragments ligniteux sont séchés lentement à l'air après lavage et sont conservés sans aucune préparation particulière en atmosphère sèche. Les fragments les plus pyriteux sont conservés en présence de granules de gel de silice. Des observations macroscopiques et à l'aide d'une loupe sont d'abord réalisées afin d'effectuer un tri. Ne sont retenus que les éléments à morphologie particulière ou/et

à structure anatomique bien conservée. Ces fragments sont étudiés en détail, à la fois en MP en lames minces suivant les trois plans fondamentaux (transversal, radial, tangentiel) et au MEB sur des éclats, afin de préciser certains détails de l'anatomie.

Les lames minces sont préparées après inclusion des fragments ligneux dans une résine synthétique (polyester) ; les échantillons sont ensuite découpés à l'aide d'une scie diamantée et polis sur un disque en utilisant des abrasifs selon la méthode habituelle utilisée pour les bois minéralisés. Les lames minces obtenues sont montées entre lame et lamelle dans du baume du Canada.

Les fossiles étudiés reçoivent un numéro provisoire d'étude et sont conservés dans la collection de végétaux fossiles du MNHN.

SYSTÉMATIQUE

Aulacoxylon sparnacense Combes, 1907

HOLOTYPE. — Échantillon collecté par Combes, à Auteuil en 1904 (Combes 1907), Paris, dans les argiles à lignite du Sparnacien, Éocène inférieur ; lieu de conservation : géologie, MNHN (coll. Paul Combes fils, n° 4, non localisé).

ÉTYMOLOGIE. — *Aulacoxylon* : du grec *aulacoeis* = sillonné et *xylon* = bois ; *sparnacense* = du Sparnacien (d'Épernay, Marne, France).

DESCRIPTION ORIGINELLE

La description de Combes (1907) était la suivante : *Aulacoxylon sparnacense* : *A. ligno dicotyledone angiosperma, vasculibus tenuissimis, radiis strictissimis ; minimis lineis parallelibus apparentibus super sectionem longitudinalem fragmentorum, sensu transversali fibris et recte continuis.*

Le bois décrit présente des stries horizontales régulières, visibles macroscopiquement surtout sur le plan radial, mais également suivant le plan tangentiel ou d'autres plans longitudinaux intermédiaires. Ce caractère est jugé unique par Combes (1907), qui cite un courrier de Fliche partageant son opinion. Ce caractère résulte en fait de l'étagement partiel de l'ensemble des éléments de la structure, en particulier des rayons et des vais-

seaux. La striation est d'autant plus nette que le bois a subi des déformations par compression. Il est probable que la finesse des parois des fibres joue un rôle important dans ce phénomène très particulier, car cet aspect ondulé ne se retrouve pas dans d'autres bois à structure étagée également récoltés sur le même site.

Cette description de l'espèce *A. sparnacense*, de l'aveu même de son auteur, est incomplète. Ayant créé ce taxon à l'intention de ses successeurs, il écrit : « Quoique nous ne puissions, étant donné la mauvaise conservation de la structure interne, établir d'une façon précise la position systématique de ces bois, il nous a semblé utile de les décrire et de les figurer, espérant que des découvertes ultérieures permettront d'en compléter l'étude » (Combes 1907). Ces compléments sont discutés dans la présente note.

OBSERVATIONS NOUVELLES

Le bois

Échantillon de référence. N° LQ2-26, bois lignifié collecté par nous-mêmes au lieu-dit « Le Quesnoy », commune de Houdancourt (Oise, France), en 1998, dans la couche à argiles à lignite datée de l'Éocène inférieur. Cet échantillon est conservé dans les collections de végétaux fossiles du MNHN.

Autres spécimens rapportés à l'espèce *Aulacoxylon sparnacense*.

- n° LQ1-3, LQ1-5, LQ2-1 : fragments de bois lignifiés collectés par nous-mêmes en 1998 à Houdancourt (Le Quesnoy), dans les argiles à lignite du Sparnacien, Éocène inférieur ;
- n° LP1 à LP8 : fragments pyritisés, collectés par nous-mêmes en 1998 à La Plaine (Chevrières, Oise), dans les argiles à lignite du Sparnacien, Éocène inférieur ;
- n° PA1 : petit fragment, collecté par nous-mêmes à Paris (« Parc de Passy ») en 1998, dans les sables d'Auteuil immédiatement au-dessus des argiles à lignite du Sparnacien ;
- s. n° : collecté par J. C. Koeniguer à Bouzy près de Reims, dans les argiles à lignite du Sparnacien, Éocène inférieur. Spécimen de bois comprimé à structure étagée, dont l'affinité est incertaine (sillons plus fins).

Diagnose. Bois hétéroxylylé, à vaisseaux isolés ou par groupes de deux à quatre, étagés, avec des perforations exclusivement simples. Rayons unibisériés (tri-sériés), étagés, hétérocellulaires à cellules marginales dressées (un seul rang) et renfermant parfois des traces de cristaux prismatiques d'oxalate de calcium. Ponctuations radio-vasculaires petites. Parenchyme vertical peu abondant et principalement paratrachéal ou vasicentrique. Relief marqué de sillons horizontaux sur les parties comprimées. Présence locale de canaux verticaux disséminés de petite taille, de zones de lyse traumatiques (en files tangentielles irrégulières) et de coulées de résine fossilisée.

Description. Bois hétéroxylylé, à vaisseaux principalement isolés ou par groupes de 2 à 4 (≤ 7), avec en moyenne 9-10 (5-16) vaisseaux/mm², et des zones tangentielles plus riches en vaisseaux, sans cernes nets (Fig. 3A, B). Les éléments sont étagés, d'une longueur moyenne de 300 μm (la plupart entre 150 et 400 μm), avec des perforations exclusivement simples, souvent presque horizontales (de 0 à 30°). Les ponctuations intervasculaires sont opposées à lumen souvent coalescent, semblant parfois ornées. La section des vaisseaux isolés est circulaire ou légèrement elliptique. Le diamètre moyen tangentiel des vaisseaux est d'environ 135 μm avec une forte proportion entre 100 et 170 μm . Les fibres sont à parois fines ($< 1/2$ diamètre de la lumière) et de section quadrangulaire-arrondie. Les rayons mesurent moins de 1 mm (principalement entre 0,15 de 0,35 mm) de hauteur, sont étagés (Figs 2A, B ; 3B, E) et sont unibisériés (rarement tri-sériés dans la partie moyenne ; Fig. 3B, C). Ils sont hétérocellulaires avec des cellules couchées, carrées, et rarement dressées. Ils comportent entre 8 et 20 rangs de cellules en hauteur ; les cellules marginales sont dressées (un seul rang) et renferment parfois des traces de cristaux prismatiques d'oxalate de calcium (Fig. 3D). Les ponctuations radio-vasculaires sont petites (3-5 μm). Le nombre de rayons par mm horizontal dans le plan tangentiel est en moyenne de 12 (9-15). Le parenchyme vertical est peu abondant et principalement paratrachéal ou vasicentrique, ou en lignes tangentielles (Fig. 2C).

Des canaux verticaux disséminés de petite taille (20-50 μm), des zones de lyse traumatiques (en files tangentielles irrégulières) (Fig. 3A) et des coulées de résine fossilisée sont rencontrés sur certains spécimens (Fig. 2C-F). Des stries ou sillons horizontaux réguliers (espacés d'environ 0,35 μm) sont visibles macroscopiquement, surtout sur le plan radial, mais également suivant le plan tangentiel ou d'autres plans longitudinaux intermédiaires sur les fragments ou parties comprimées (Fig. 2B, D, F).

Remarque. Les fragments de bois ayant servi à l'étude anatomique étant partiellement carbonisés, ils ont subi des rétractions plus ou moins importantes, visibles localement par des fentes radiales. Les dimensions indiquées dans la description sont en conséquence sous-estimées.

L'ambre

Matériel examiné. Nous avons examiné du matériel de différentes provenances. Les indications qui figurent ci-dessous sont celles portées sur les étiquettes des spécimens ou mentionnées dans les publications des auteurs :

- coll. minéralogie-MNHN n° 25-986, terrain de lignite, Villers-en-Prayères (Aisne) ;
- coll. minéralogie-MNHN n° 104-1168 et coll. géologie-MNHN n° 124 (Combes 1904), argiles à lignite d'Auteuil (angle des rues La Fontaine et Ribera, Paris) ;
- coll. paléobotanique MNHN (Fritel, n° 13), lignites de l'argile plastique d'Auteuil (rue Mozart, Paris) ;
- coll. paléobotanique MNHN (collecté par nous-mêmes, 1999), sables et argiles d'Auteuil (« Parc de Passy », Paris) ;
- coll. entomologie MNHN (PA 1 à n), plusieurs milliers de spécimens contenant des insectes, argile à lignite, Le Quesnoy (Houdancourt, Oise).

Nous avons également noté la présence d'ambre à Chevrières et Saint-Leu-d'Esserant (Oise).

Autres gisements. D'autres localités sont citées pour la présence d'ambre sparnacien, sans que nous ayons pu examiner les échantillons : après

les observations de Becquerel (1819) sur la présence de succin dans les couches d'argiles à lignites d'Auteuil (Paris) et de Passy (1824, 1832a, b) à Noyers (Eure), Bellevoye (1908) a collecté de l'ambre à Mailly-Champagne (Marne) ; Fritel (1910) fait mention de succin (ambre) à Neaufles-Saint-Martin (Eure) ; Lacroix (1910) énumère une vingtaine de localités dont Annois, Beurieux, Hombières, Soissons (Aisne), Gisors, Noyers (Eure), Genvry (Oise), Auteuil, Passy, Vaugirard (Paris), Incheville (Seine-Maritime), Meudon et Arcueil (Hauts-de-Seine), Mantes (Yvelines) ; Galippe (1920) a étudié de l'ambre de Maisons-Laffitte (Yvelines) qui a été attribué à l'Éocène inférieur, en fait il s'agit d'ambre crétacé ; Lapparent (1956, 1964) note la présence d'ambre dans une lentille de lignite sparnacien de La Touche (Essonne) ; Feugueur (1963) signale la localité de Ribécourt (Oise), mais le situe dans le Thanétien supérieur. Il pourrait en fait provenir des couches basales du Sparnacien. Du Gardin (1990) ajoute les localités de Moru (Pontpoint, Oise) et Gisors (Eure). Ces gisements sont actuellement, pour la plupart, inaccessibles pour les prospections paléontologiques.

Description sommaire. L'ambre récolté se présente sous forme de coulées de résine figées ou de blocs de tailles variables. Dans certains cas, cette résine fossile adhère encore aux branches, comme le précise déjà Becquerel (1819) pour l'ambre d'Auteuil et Passy (1832a) pour l'ambre de Noyers (Eure) : « Une des surfaces est souvent mamelonnée, tandis que l'opposée offre l'empreinte et même les restes de l'écorce à laquelle il adhérait ». C'est une résine fossile de composition chimique différente de celle de l'ambre de la Baltique (Savkevitch & Popkova 1978 ; Du Gardin 1990). Elle est partiellement soluble dans l'ester, le xylène et surtout dans l'acétone et l'essence de térébenthine, ce qui a été mis à profit afin d'en extraire du pollen inclus (De Franceschi *et al.* 2000). Il est la plupart du temps translucide (rarement opalescent) après polissage de la couche externe oxydée ou au niveau des fractures fraîches conchyoïdales. Sa couleur est le plus souvent jaune doré ou parfois rougeâtre.

Il est plus fragile (moins élastique, moins dur) que l'ambre de la Baltique, ce qui le rend impropre à la réalisation d'objets façonnés (joaillerie).

La connexion ambre-structure ligneuse

Les nombreux échantillons récemment collectés renfermant de l'ambre présentent ces sillons particuliers et sont donc à rapprocher d'*Aulacoxylon sparnacense*. Ce taxon constitue plus des trois quarts en volume de l'ensemble du bois ligneux récolté sur le site. Certains spécimens présentent localement une structure anatomique suffisamment bien conservée pour établir une diagnose complète. Différents échantillons ont été observés afin d'établir la connexion ambre-structure ligneuse :

- spécimens constitués de résine fossile, dus à l'activité des canaux traumatiques, contenant des traces ou empreintes de la structure du bois, notamment des rayons étagés suivant le plan tangentiel (Fig. 2A) ;
- divers fragments de bois lignitisés ou pyritisés présentant la structure sillonnée typique *A. sparnacense* : LQ1-35 (Fig. 2B), LQ1-5 (Fig. 2D), LQ2-1, LP1 (Fig. 2E, F), LP3, LP8, LQ2-26 (Fig. 3A), etc. ;
- fragment de brindille à structure anatomique conservée contenant de l'ambre : LQ1-3 (Fig. 2C) ;
- spécimens de bois présentant la structure sillonnée typique *A. sparnacense* et contenant des coulées de résine fossilisée : LQ1-5 (Fig. 2D), LP1 (Fig. 2E, F) ;
- fragments de lignite dont la structure ligneuse est comprimée-sillonnée sur une partie (*A. sparnacense*), conservée anatomiquement sur une autre : LQ1-35, LQ2-26 (Fig. 3) ;
- divers fragments de lignite à structure ligneuse conservée correspondant à la structure observée sur le spécimen LQ2-26, pour compléments d'observation.

DISCUSSION

LE BOIS

Nomenclature

La structure ligneuse d'*Aulacoxylon* s'avère proche, mais bien distincte, de celle des genres

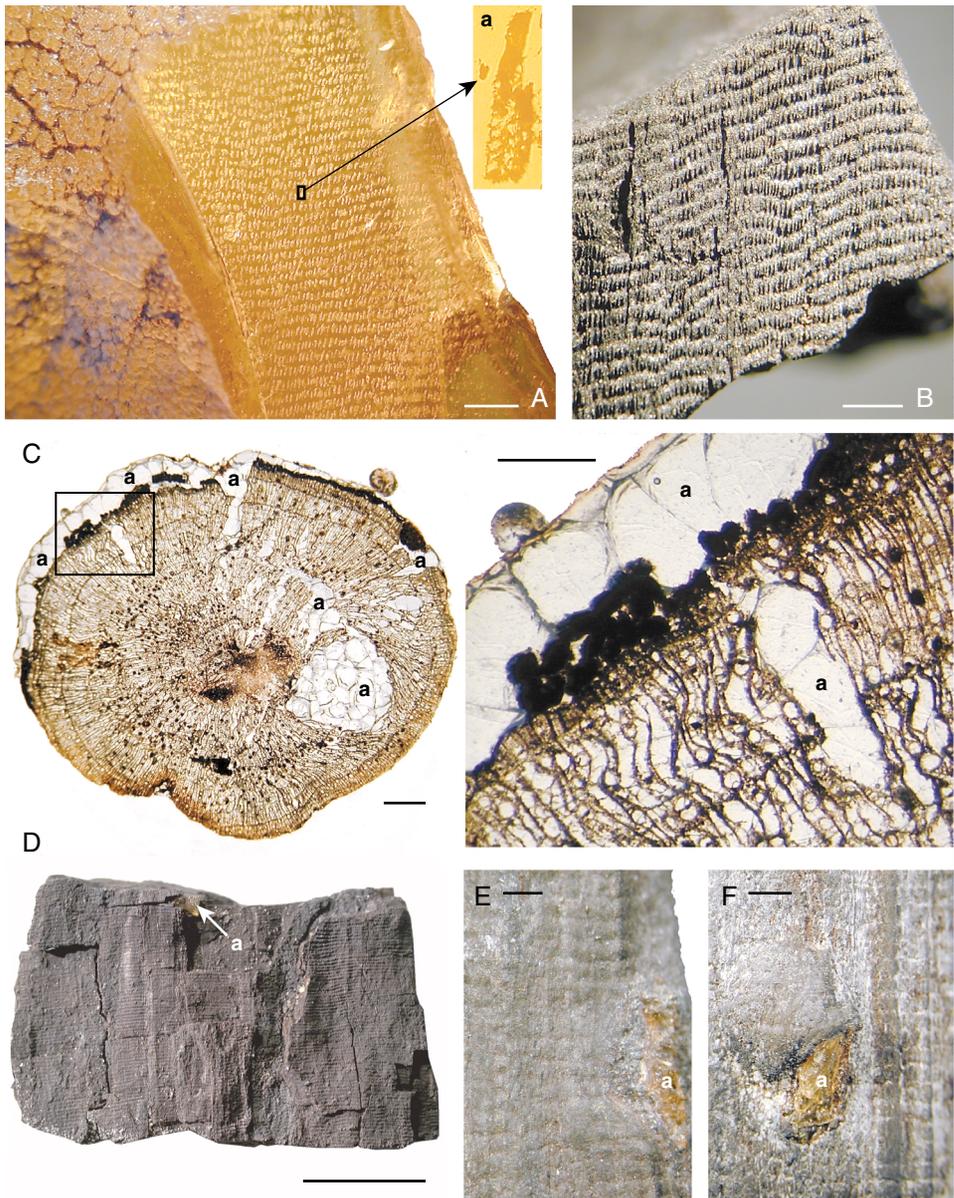


FIG. 2. — **A**, bloc d'ambre sparnacien partiellement poli avec, en transparence, l'empreinte tangentielle des rayons étagés ; **a**, détail de l'empreinte d'un rayon où le contour de quelques cellules est visible (spécimen n° LQ1-37, Houdancourt) ; **B**, **D-F**, *Aulacoxylon sparnacense* Combes, 1907 ; **B**, bois ligniteux et partiellement pyritisé en vue tangentielle ; les rayons, mieux préservés que les fibres, apparaissent en relief sur la surface tangentielle ; l'étagement de ces rayons en lignes horizontales sinueuses est très net (spécimen n° LQ1-35, Houdancourt) ; **D**, bloc de bois ligniteux présentant l'aspect sillonné caractéristique et une coulée d'ambre incluse (**a**) (spécimen n° LQ1-5, Houdancourt) ; **E**, vue partielle, presque tangentielle, d'un spécimen pyriteux avec les stries horizontales caractéristiques et une coulée d'ambre (**a**) incluse (spécimen n° LP1, Chevrières) ; **F**, vue partielle radiale du spécimen de **D** avec une autre coulée d'ambre (**a**) visible en surface (spécimen n° LP1, Chevrières) ; **C**, lame mince en coupe transversale d'un tige de l'arbre producteur de résine ; la résine a exsudé à l'intérieur et en périphérie de la tige ; cette production résulte probablement d'une blessure ; la résine s'est fossilisée en ambre (**a**) ; **a**, détail : la structure anatomique déformée par la coulée de résine a été préservée par la fossilisation (spécimen n° LQ1-3, Houdancourt). Échelles : A, B, C, E, F, 1 mm ; D, 10 mm.

Copaiferoxylon (*Caesalpinioxylon* (Schenk 1890) Chiarugi 1933 *p.p.*) Müller-Stoll et Mädél (1967) et *Terminalioxylon* Schönfeld (1947) emend. Mädél-Angeliewa et Müller-Stoll (1973). *Copaiferoxylon* comporte des bandes de parenchyme apotrachéal, des canaux sécréteurs et des rayons homogènes, *Terminalioxylon* se distingue de *Aulacoxylon* par ses rayons non étagés.

Aulacoxylon sparnacense se distingue également des espèces appartenant aux genres de forme voisins *Terminalioxylon* et *Copaiferoxylon* par ses stries horizontales régulières provenant de la compression des tissus du bois étagé. Ce caractère n'a jamais été observé jusqu'à présent chez les autres taxons. Nous conservons le nom de genre *Aulacoxylon*, monospécifique, sans le placer en synonymie avec un genre voisin, comme *Terminalioxylon* ou *Copaiferoxylon*, ce qui à notre avis ne permettrait pas de refléter les particularités de ce taxon.

Affinités botaniques

La structure étagée de ce bois, à vaisseaux à perforations simples, à rayons uni-bisériés, et à ponctuations radio-vasculaires petites et à canaux verticaux, conduit en fait principalement à la famille actuelle des Caesalpiniaceae (*Berlinia* Soland. ex Hook. f. et Benth., *Brachystegia* Benth., *Copaifera* L., *Daniellia* Benn., *Librevillea* Hoyle, *Macrolobium* Schreb., *Microberlinia* A. Chev., *Monopetalanthus* Harms., *Sindora* Miq., *Tetraberlinia* (Harms) Hauman, etc.). La production de résine chez les Caesalpiniaceae est particulièrement bien distribuée dans les genres de la tribu des Detarieae DC emend. Breteler. C'est dans ce groupe que l'on peut trouver les principaux genres producteurs de résine correspondant aux Detarieae-Amherstieae group II, à rayons hétérocellulaires, de Baretta-Kuipers (1981) (*Copaifera*, *Daniellia*, *Eperua*, *Gossweilero-dendron*, *Hardwickia*, *Hymenaea*, *Prioria* et *Oxystigma*), sécrétant tous des résines à composés diterpénoides (Langenheim 1981). Les descriptions et les figures publiées dans divers ouvrages d'anatomie (Metcalfé & Chalk 1950 ; Normand & Paquis 1976 ; Ilic 1991) confirment les similitudes entre *Aulacoxylon* et les bois observés dans

cette tribu. Une recherche informatisée avec les principaux caractères anatomiques dans la base de données GUESS (Wheeler 1986) conduit directement au genre *Daniellia*.

Quelques espèces de diverses familles peuvent également être rapprochées par la structure anatomique au bois *Aulacoxylon*. Les Combretaceae (*Anogeissus* Wall. ex Guillem. et Perr., *Terminalia* L.) présentent, des plans ligneux très proches des Caesalpiniaceae (Chiarugi 1933 ; Müller-Stoll & Mädél 1967). Les espèces du genre *Terminalia* (Combretaceae), en particulier, comportent des plans ligneux à peine distincts de ceux de *Copaifera* (Caesalpiniaceae). Toutefois, les bois de *Terminalia* ne présentent jamais un étagement aussi marqué que celui observé ici, notamment au niveau des vaisseaux. Les espèces de Meliaceae, Dipterocarpaceae et Simaroubaceae présentant également des canaux verticaux et une structure étagée comportent des rayons plus larges et/ou homocellulaires.

Les canaux verticaux sont rares et irréguliers (traumatiques) chez *Aulacoxylon*, comme on peut l'observer dans les bois de la tribu des Detarieae comprenant notamment *Gossweilero-dendron* et *Daniellia*. Ces canaux sont en revanche généralement en lignes tangentielles régulières dans les autres groupes de la tribu (*Copaifera*, *Sindora*, *Hymenaea*, etc.). Le genre *Hymenaea*, probablement à l'origine de l'ambre dominicain, présente des plans ligneux différents de ceux d'*Aulacoxylon* par leurs rayons larges. La tendance à l'étagement plus ou moins prononcée, observée sur les échantillons du bois fossile, se retrouve chez les Detarieae principalement dans le genre *Daniellia*. C'est pourquoi il est raisonnable de penser qu'*Aulacoxylon* correspond au bois d'une Caesalpiniaceae-Detarieae proche du genre actuel *Daniellia*. On rencontre des espèces de ce genre dans les forêts et des savanes boisées d'Afrique de l'Ouest, autour du golfe de Guinée. Les formations où poussent les différentes espèces de *Daniellia* sont des formations sèches semi-décidues, aussi bien que des formations sempervirentes (Normand & Paquis 1976 ; Arbonnier 2002), sous des climats tropicaux à saison sèche, jusqu'au climat équatorial humide.

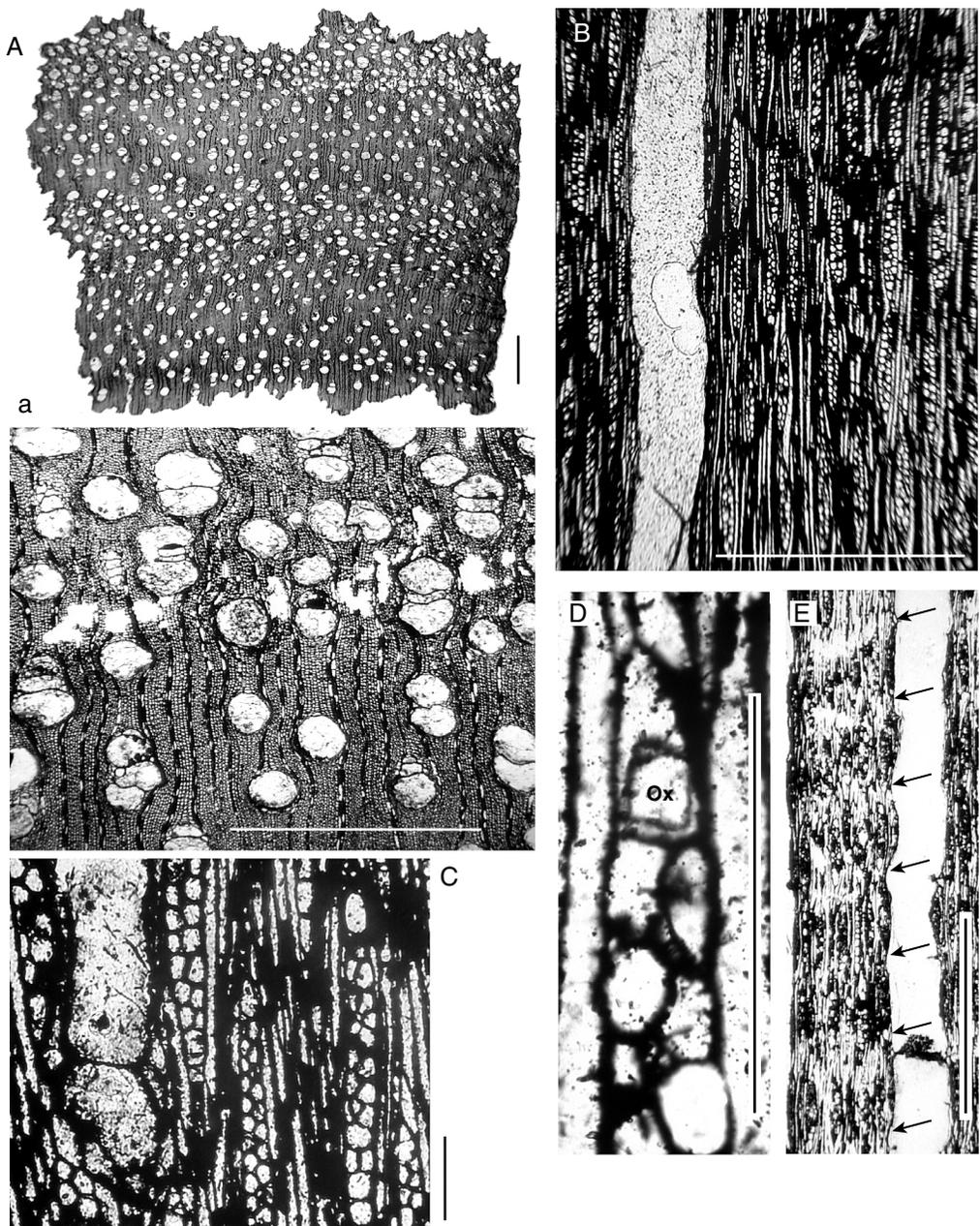


FIG. 3. — *Aulacoxylon spamacense* Combes, 1907 (spécimen n° LQ2-26) ; **A**, lame mince dans le plan transversal ; le bois montre des zones plus riches en vaisseaux ; **a**, détail montrant une petite zone à petits canaux dispersés et des zones de lyse traumatique ; **B**, lame mince dans le plan tangential ; les rayons uni-bisériés sont étagés ; **C**, détail de rayons en vue tangentielle ; les cellules marginales sont plus hautes (cellules dressées) que les autres cellules des rayons ; **D**, extrémité d'un rayon avec la trace d'un cristal prismatique d'oxalate de calcium (**Ox**) dans une cellule marginale ; **E**, lame mince dans le plan tangential dans une zone du bois très légèrement comprimée ; les flèches indiquent les niveaux mécaniquement fragiles, entre les lignes de rayons qui correspondent également aux limites entre éléments de vaisseaux ; ces niveaux sont les plus affectés en cas de contraintes importantes. Échelles : A, B, E, 1 mm ; C, D, 0,1 mm.

Parmi les bois fossiles du Paléogène, ceux supposés provenir de Caesalpiniaceae sont nombreux. La famille serait paraphylétique d'après les reconstitutions phylogénétiques récentes (Bruneau *et al.* 2000). Le genre *Daniellia* pourrait être issu des groupes les plus anciens des Detarieae, différenciés avant même *Copaifera*, *Sindora* et *Hymenaea*. Les fossiles les plus anciens rapportés aux deux derniers genres sont respectivement datés du Maastrichtien (pollen, Muller 1981) et de l'Éocène supérieur-Oligocène (fleurs, Hueber & Langenheim 1986).

Nous devons toutefois rester prudents quant à l'affinité du bois retrouvé. En effet, on peut aisément suspecter des différences anatomiques légères entre les espèces du Sparnacien et les espèces apparentées actuelles, à près de 55 millions d'années d'écart. D'autre part, si la production de copal est particulièrement abondante chez les Caesalpiniaceae, notamment chez les Detarieae (*Copaifera*, *Daniellia*, *Hymenaea*, *Sindora*, etc.), quelques espèces du genre *Terminalia* produisent également de la résine. La famille des Combretaceae est représentée par divers fossiles, dont les plus anciens datent du Crétacé supérieur (Friis *et al.* 1992). Parfois, les bois assez similaires des deux familles sont associés dans les gisements (Fessler-Vrolant 1978), tout comme ces deux familles peuvent être associées dans les forêts tropicales et subtropicales actuelles. La convergence de leurs plans ligneux peut s'expliquer par l'impact de certains facteurs climatiques tels que température et pluviosité. Wiemann *et al.* (1998) ont d'ailleurs montré récemment que ces facteurs peuvent être évalués à partir du pourcentage de quelques traits anatomiques dans la flore actuelle d'une région donnée.

L'AMBRE

Les signatures spectrales (IR) des résines fossiles du Bassin de Paris (Savkevitch & Popkova 1978) sont presque identiques entre elles et sont plus proches de celle des résines fossiles du Mexique, datées de 15 à 40 Ma et provenant d'une Caesalpiniaceae (genre *Hymenaea* ; Poinar *et al.* 1994), que de celle de la Baltique, supposée d'âge éocène inférieur à moyen (40 à 50 Ma), mais provenant de conifères (genre *Pinus* ; Conwentz 1890 ;

Schubert 1961 ; Pielinska 1997 ; Turkin 1997). Les différences spectrales ont en outre permis de montrer que l'ambre façonné, découvert dans certains sites archéologiques du Bassin de Paris, provient de gisements de la Baltique et non pas des gisements autochtones (Du Gardin 1990). Les propriétés chimiques de la résine fossile du Bassin de Paris semblent également légèrement différentes de la résine fossile de Leval en Belgique (Langeron 1907), qui serait un peu plus ancienne d'après Marty (1907).

La ressemblance de l'ambre sparnacien du Bassin de Paris avec la résine fossile mexicaine n'implique pas identité de l'origine botanique et le bois d'*Hymenaea* est bien différent de celui de nos spécimens, notamment par la plus grande largeur des rayons et l'absence de structures étagées. La résine produite par *Daniellia* et par tous les genres étroitement apparentés présente probablement des propriétés voisines de la résine fossile mexicaine produite par le genre *Hymenaea*, appartenant également à la même tribu des Detarieae.

AUTRES MACRORESTES VÉGÉTAUX ET PALYNOLOGIE

La paléoflore du principal gisement (Houdancourt) est très riche et couvre un large spectre de familles botaniques, surtout parmi les dicotylédones (De Franceschi *et al.* 2002). Les macrorestes retrouvés en association dans le sédiment du niveau à ambre comportent un certain nombre d'organes de Leguminosae (graines, fruits), dont une fleur de Caesalpiniaceae incluse dans l'ambre (Nel *et al.* 1999). La structure de cette fleur s'apparente à celle observée chez les Detarieae actuelles (travail en cours). La présence de cette tribu n'a pu être décelée lors des analyses palynologiques du sédiment (Cavagnetto 2000). Par la méthode de dissolution partielle et dissection de l'ambre (De Franceschi *et al.* 2000), la réalisation d'un inventaire des palynomorphes inclus dans cette résine est en cours.

En conclusion, nous pensons que cet ambre sparnacien représente en fait le plus ancien copal connu, produit par une Caesalpiniaceae appartenant très probablement à la tribu des Detarieae et proche du genre *Daniellia* actuel.

CONSIDÉRATIONS PALÉO-PHYTOGÉOGRAPHIQUES

Dans la partie centrale du Bassin de Paris, les sites renfermant de l'ambre autochtone sont nombreux et se rattachent au faciès sparnacien d'âge éocène inférieur (Fig. 1), alors que peu de données concernent la découverte d'ambre dans des niveaux plus récents ou plus anciens. Nous avons rencontré les deux éléments fossiles, *Aulacoxylon sparnacense* et l'ambre sparnacien, en association là où nous avons pu effectuer des fouilles, et en connexion anatomique dans les principaux gisements de l'Oise. D'autre part, tous les fragments portant des coulées de résine présentent la même structure hétéroxyllée de type *Aulacoxylon*. Il est donc très probable qu'*Aulacoxylon sparnacense* soit le bois producteur exclusif de cet ambre sparnacien.

Compte tenu des éléments retrouvés sur le site du Quesnoy (Oise), l'arbre producteur de résine apparaît comme une espèce-clé des peuplements forestiers du Bassin de Paris à l'Éocène inférieur. À cet égard, les deux principaux éléments trouvés, ambre et bois de l'arbre producteur, représentent à la fois de bons marqueurs stratigraphiques locaux et de bons marqueurs paléo-écologiques. Passy (1832b) dans une « coupe idéale des terrains entre Paris et la Manche » place déjà une couche à lignite et succin à la base des argiles plastiques correspondant aux couches basales de l'Éocène inférieur. On peut envisager que ce niveau à ambre et lignite pourrait être retrouvé dans toute la partie centrale du Bassin de Paris.

Le cortège floristique et faunistique associé dans le gisement du Quesnoy (Houdancourt) permet de préciser les conditions écologiques du maintien de cette formation végétale forestière en région deltaïque où dominait cet arbre (Nel *et al.* 1999 ; De Franceschi *et al.* 2002). D'autres éléments de la macroflore sont en cours d'étude. L'extension géographique minimale de cette formation subtropicale peut être évaluée à partir des découvertes de ce bois ou/et de cet ambre sparnacien (Fig. 1). Elle couvrait vraisemblablement l'essentiel de la partie centrale du Bassin de Paris, de Dourdan au sud jusqu'aux environs de Saint-Quentin au nord, et de Gisors à l'ouest jusqu'à Reims à l'est. Les détails des contours de cette

« paléo-formation végétale » seront à préciser par de nouvelles prospections, notamment dans la partie située au sud-est de Paris, et pour les « îlots » sparnaciens (buttes-témoins) situés le long de la côte de la Manche, comme à Incheville (Seine-Maritime).

Remerciements

Nous remercions la société Lafarge Granulats et l'indivision Langlois-Meurinne, Meunier S.A. et S. Taillez pour l'accès aux sites fossilifères. Les collectes ont été réalisées avec l'aide des membres de l'équipe « Ambre » du MNHN et de nombreux bénévoles. Nous remercions également M. Lemoine pour la préparation des lames minces, C. Chancogne pour l'aide à l'observation au MEB et D. Serrette pour les prises de vues de la Figure 2D-F. Enfin, nos vifs remerciements vont à J. Dejux pour ses judicieuses remarques, et aux deux rapporteurs, C. Gill (UPMC, Paris) et E. Steurbaut (Institut royal des Sciences naturelles de Belgique), qui ont contribué à améliorer la version finale du manuscrit.

RÉFÉRENCES

- ARBONNIER M. 2002. — *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. 2^e éd. CIRAD, MNHN, Paris, 576 p.
- AUBRY M. P. 2000. — Where should the global stratotype section and point (GSSP) for the Paleocene/Eocene boundary be located? *Bulletin de la Société géologique de France* 171 (4): 461-476.
- BARETTA-KUIPERS T. 1981. — Wood anatomy of leguminosae: its relevance to taxonomy, in POLHILL R. M. & RAVEN P. H. (eds), *Advances in Legume Systematics*, vol. 2. Royal Botanic Gardens, Kew: 677-705.
- BECQUEREL A. C. 1819. — Note sur une couche de lignite renfermant du succin et des cristaux d'une substance qui paroît analogue au Mellite, trouvée récemment à Auteuil. *Journal de Physique* 89: 235-240.
- BELLEVOYE L. 1908. — Sur une couche fossilifère dans les lignites du Sparnacien à Mailly-Champagne. *Bulletin de la Société d'Étude des Sciences naturelles de Reims* 17: 53-58.
- BIGNOT G., BARTA L., CAVELIER J., LABOURGUIGNE J., LAURAIN M., LEPLAT J., MÉGNIEU C., MÉGNIEU F., PERREAU M., POMEROL B., RASPLUS L., RUSSEL D.

- E. & TOURNENG J. 1980. — Éocène inférieur, in MÉGNIEU C. (ed.), Synthèse géologique du Bassin de Paris, volume 1. Stratigraphie et paléogéographie. *Mémoire du BRGM* 101: 351-365.
- BIGNOT G. 1983. — Les Diatomées sparnaciennes (Yprésien basal) du Bassin de Paris sont-elles des témoins de l'ouverture de l'Atlantique septentrional? *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris* 20 (4): 21-26.
- BRUNEAU A., BRETELER F. J., WIERINGA J. J., GERVAIS G. Y. F. & FOREST F. 2000. — Phylogenetic relationships in tribes Macrolobieae and Detarieae as inferred from chloroplast TRNL intron sequences, in HERENDEN P. S. & BRUNEAU A. (eds), *Advances in Legume Systematics*, vol. 9. Royal Botanic Gardens, Kew: 121-149.
- CAVAGNETTO C. 2000. — La palynoflore d'un gisement d'ambre de l'Éocène basal du Bassin Parisien (Le Quesnoy, France). *Palaeontographica B* 255: 147-171.
- CHIARUGI A. 1933. — Legni fossili della Somalia italiana. *Palaeontographica italica* 32, suppl. 1: 97-167.
- COMBES P. 1904. — Sur les couches sparnaciennes inférieures d'Auteuil. *Bulletin du Muséum d'Histoire naturelle* 10: 583-585.
- COMBES P. 1907. — Contribution à l'étude de la flore éocène. Sur un bois fossile nouveau appartenant à l'étage sparnacien (*Aulacoxylon sparnacense*). *Bulletin de la Société géologique de France* sér. 4, 7: 28-29.
- CONWENTZ H. 1886. — Die Angiospermen des Bernsteins, in GOEPPERT H. R. & MENGE A. (eds), *Die Flora des Bernsteins und ihre Beziehungen zur Flora der Tertiärformation und der Gegenwart*. Zweiter Band. W. Engelmann Verlag, Danzig, 140 p.
- CONWENTZ H. 1890. — *Monographie der baltischen Bernsteinbäume. Vergleichende Untersuchungen über die Vegetationsorgane und Blüten, sowie über das Harz und die Krankheiten der baltischen Bernsteinbäume*. W. Engelmann Verlag, Danzig, 151 p.
- CURRY D. 1981. — Thanetian, in POMEROL C. (ed.), Stratotypes of paleogene stages. *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris* mémoire hors série 2: 255-265.
- DE FRANCESCHI D., DEJAX J. & DE PLOËG G. 2000. — Extraction du pollen inclus dans l'ambre [Sparnacien du Quesnoy (Oise), Bassin de Paris]: vers une nouvelle spécialité de la paléo-palynologie. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Sciences de la Terre et des Planètes* 330: 227-233.
- DE FRANCESCHI D., DEJAX J. & DE PLOËG G. 2002. — The lower Eocene flora of the Paris Basin: new data, in 6th European Paleobotany-Palynology Conference, Program Book of Abstracts. Athens, Greece: 74, 75.
- DOLLFUS G. F. 1880. — Essai sur l'extension des terrains tertiaires dans le bassin anglo-parisien. *Bulletin de la Société géologique de Normandie* 6: 584-605.
- DU GARDIN C. 1990. — L'ambre et les résines fossiles dans le département de l'Oise, in *Rapport d'activité - Programme de surveillance et d'étude archéologique des sablières de la moyenne vallée de l'Oise*. Centre de recherche archéologique de la vallée de l'Oise, Compiègne: 41-44.
- FESSLER-VROLANT C. 1978. — Sur la présence d'un bois fossile de Combretaceae en Tunisie septentrionale. 103^e Congrès national des Sociétés savantes, Nancy, Sciences (2): 161-176.
- FEUGUEUR L. 1963. — L'Yprésien du Bassin de Paris. Essai de monographie stratigraphique. *Mémoires pour servir à l'Explication de la Carte géologique détaillée de la France*, 568 p.
- FRIIS E. M., PEDERSEN K. R. & CRANE P. R. 1992. — *Esgueiria* gen. nov., fossil flowers with combretaceous features from the Late Cretaceous of Portugal. *Biologiske Skrifter* 41: 1-45.
- FRITEL P. H. 1910. — *Guide géologique et paléontologique de la région parisienne dans un rayon de 100 kilomètres*. Les Fils d'Émile Deyrolles, Paris, 356 p.
- GALIPPE V. 1920. — Recherches sur la résistance des microzymas à l'action du temps et leur survivance dans l'ambre. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris* 170 (14): 856-858.
- GOEPPERT H. R. 1883. — Von den Bernstein-Coniferen, insbesondere auch in ihren Beziehungen zu den Coniferen der Gegenwart, in GOEPPERT H. R. & MENGE A. (eds), *Die Flora des Bernsteins und ihre Beziehungen zur Flora der Tertiärformation und der Gegenwart*. Erster Band. W. Engelmann Verlag, Danzig, 63 p.
- HUEBER F. M. & LANGENHEIM J. H. 1986. — Dominican amber tree had African ancestors. *Geotimes* 31: 8-10.
- JENKINS D. G. & LUTERBACHER H. P. 1992. — Paleogene stages and their boundaries. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen* 186 (1-2): 1-5.
- ILIC J. 1991. — *CSIRO Atlas of Hardwoods*. Springer-Verlag, Berlin, 525 p.
- LACROIX A. 1910. — *Minéralogie de la France*. Volume 4. Librairie polytechnique, C. Béranger, Paris, III + 923 p.
- LANGENHEIM J. H. 1981. — Terpenoids in the Leguminosae, in POLHILL R. M. & RAVEN P. H. (eds), *Advances in Legume Systematics*, vol. 2. Royal Botanic Gardens, Kew: 627-656.
- LANGERON M. 1907. — Note préliminaire sur la résine fossile de Leval. *Mémoires du Muséum royal d'Histoire naturelle de Belgique* 5: 39-43.
- LAPPARENT A. F. DE 1956. — Excursions géologiques dans le Bassin de Paris. Première série: les terrains tertiaires aux environs de Paris. Nouvelle édition corrigée. *Actualités scientifiques et industrielles*, 910-1241, *Géologie régionale de la France*. Hermann et C^{ie}, Paris, 75 p.

- LAPPARENT A. F. DE 1964. — *Région de Paris : excursions géologiques et voyages pédagogiques*. Hermann, Paris, 195 p.
- Laurain M., Barta L., Bolin C., Guernet C., Gruas C., Louis P., Perreau M., Riveline J. & Thiry M. 1983. — Le sondage et la coupe du Mont Bernon à Epernay (Marne). Étude sédimentologique et paléontologique du stratotype du Sparnacien et de la série éocène. *Géologie de la France* 3: 235-253.
- MÄDEL-ANGELIEWA E. & MÜLLER-STOLL W. R. 1973. — Kritische Studien über fossile Combretaceen-Hölzer: über Hölzer vom Typus *Terminalioxylon* G. Schönfeld mit einer Revision des Bisher zu *Evodioxylon* Chiarugi gestellten Arten. *Palaeontographica* B 142 (4-6): 117-136.
- MAGIONCALDA R., DUPUIS C., BLAMART D., FAIRON-DEMARET M., PERREAU M., RENARD M., RIVELINE J., ROCHE M. & KEPPENS E. 2001. — L'excursion isotopique du carbone organique (δ^{13} Corg) dans les paléoenvironnements continentaux de l'intervalle Paléocène/Éocène de Varengeville (Haute-Normandie). *Bulletin de la Société géologique de France* 172 (3): 349-358.
- MARTY P. 1907. — Études sur les végétaux fossiles du Trieu de Leval (Hainaut). *Mémoires du Muséum royal d'Histoire naturelle de Belgique* 5: 5-52.
- METCALFE C. R. & CHALK L. 1950. — *Anatomy of the Dicotyledons*. Clarendon Press, Oxford, 2 vols, 1500 p.
- MULLER J. 1981. — Fossil pollen records of extant Angiosperms. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 71: 419-443.
- MÜLLER-STOLL W. R. & MÄDEL E. 1967. — Die fossilen Leguminosen-Hölzer. Eine Revision der mit Leguminosen verglichenen fossilen Hölzer und Beschreibung älterer und neuer Arten. *Palaeontographica* B 119 (4-6): 95-174.
- NEL A., DE PLOËG G., DEJAX J., DUTHEIL D., DE FRANCESCHI D., GHEERBRANT E., GODINOT M., HERVET S., MENIER J.-J., AUGÉ M., BIGNOT G., CAVAGNETTO C., DUFFAUD S., GAUDANT J., HUA S., JOSSANG A., LAPPARENT DE BROIN F. DE, POZZI J.-P., PAICHELER J.-C., BEUCHET F. & RAGE J.-C. 1999. — Un gisement sparnacien exceptionnel à plantes, arthropodes et vertébrés (Éocène basal, MP7) : Le Quesnoy (Oise, France). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Sciences de la Terre et des Planètes* 329: 65-72.
- NORMAND D. & PAQUIS J. 1976. — *Manuel d'identification des bois commerciaux*, tome 2, *Afrique guinéo-congolaise*. Centre technique forestier tropical, Nogent-sur-Marne, 335 p.
- PASSY A. 1824. — Note sur le succin de Noyers, Canton de Gisors, arrondissement des Andelys, Département de l'Eure. *Note autographe*, 2 p.
- PASSY A. 1832a. — *Description géologique du département de la Seine-inférieure Rouen*. Nicétas Periaux, Rouen, 371 p.
- PASSY A. 1832b. — *Description géologique du département de la Seine-inférieure Rouen*. Nicétas Periaux, Rouen, atlas, 15 p., 20 pls.
- PIELINSKA A. 1997. — Inclusions of wood in the amber collections of the Museum of the Earth in Warsaw. *Metalla (Bochum)* 66, Neue Erkenntnisse zum Bernstein, Sonderheft: 25-28.
- POINAR H. N., CANO R. J. & POINAR G. O. 1994. — DNA from an extinct plant. *Nature* 363: 677.
- ROBIN A. 1925. — *Géologie pittoresque : la terre, ses aspects, sa structure, son évolution*. Librairie Larousse, Paris, 329 p.
- SAVKEVITCH S. S. & POPKOVA T. N. 1978. — Données nouvelles dans l'étude minéralogique de résines fossiles de France. *Bulletin de Minéralogie* 101: 443-447.
- SCHÖNFELD G. 1947. — Hölzer aus dem Tertiär von Kolumbien. *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft* 475: 1-53.
- SCHUBERT K. 1961. — Neue Untersuchungen über Bau und Leben der Bernsteinkiefern [*Pinus succinifera* (Conw.) emend.]. *Beihfte zum Geologischen Jahrbuch* 45, 149 p.
- STEURBAUT E., DE CONINCK J., ROCHE E. & SMITH T. 1999. — The Dormaal Sands and the Palaeocene/Eocene boundary in Belgium. *Bulletin de la Société géologique de France* 170 (2): 217-227.
- TURKIN N. I. 1997. — Preliminary results of microscopic research of tangential wood imprints in Baltic amber. *Metalla (Bochum)* 66, Neue Erkenntnisse zum Bernstein, Sonderheft: 55-56.
- WHEELER E. A. 1986. — *GUESS: Computer-aided Wood Identification, IBM PC and MacIntosh Versions*. Department of Wood and Paper Science, North Carolina State University, Raleigh, USA.
- WIEMANN M. C., WHEELER E. A., MANCHESTER S. R. & PORTIER K. M. 1998. — Dicotyledonous wood anatomical characters as predictors of climate. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 139: 83-100.

Soumis le 19 juillet 2002 ;
 accepté le 20 janvier 2003.