

Le calfatage des bateaux

JACQUES CONNAN

Il y a 7 000 ans, les marins protégeaient déjà la coque de leurs bateaux. L'analyse des substances imperméabilisantes employées a révélé que les mêmes techniques et les mêmes enduits ont été utilisés des siècles durant, dans des régions éloignées. Ainsi, on retrouve des traces de calfatage à la poix sur des navires ayant croisé en Méditerranée et dans l'océan Atlantique.

Que ce soit des barques, des canoës, des pirogues, des chaloupes ou des navires, qu'elles soient faites de bois, de roseaux, de tiges de feuilles de palmier ou d'écorces d'arbres, toutes les embarcations doivent être rendues parfaitement étanches par le calfatage qu'accomplissent les calfats. Toutefois, si les traités d'architecture navale sont souvent précis quant à la description des savoir-faire, voire des astuces utilisées par les calfats, ils restent approximatifs lorsqu'ils abordent le chapitre des enduits utilisés. En 1990, Robert Aufan et François Thierry, de la Société historique et archéologique d'Arcachon et du pays de Buch, ont fait une synthèse de l'histoire des produits résineux utilisés pour le calfatage. La signification réelle des termes figurant dans les actes de vente, dans les lettres, les comptes, les édits, les lois, les arrêtés, et autres mémoires, est sujette à caution : on se repère difficilement dans cet inventaire de termes évoquant des matériaux dont on ignore la composition chimique.

Afin de mieux cerner la diversité des solutions adoptées sur les chantiers de construction navale, nous avons étudié une large panoplie d'échantillons d'enduits collectés sur la coque de navires de différentes époques, sur le pont et sur le gréement. Nous avons notamment étudié une épave du Koweït datant de 7 000 ans, une autre ayant navigué dans l'océan Indien et datant de 4 500 ans, l'épave du Jules Verne VII du VI^e siècle avant notre ère ayant navigué en mer Méditerranée, une épave retrouvée dans la Saône, près du Petit Creusot, le port antique de Chalon-sur-Saône, et datant de la seconde moitié du I^{er} siècle avant notre ère, une épave de la marine impériale russe ayant fait naufrage en mer Méditerranée en 1780 et plusieurs épaves de navires ayant croisé dans l'océan Atlantique, le dernier datant de 1962. Nous sommes ainsi allés à la rencontre des «pigouilliers», les artisans qui préparaient l'enduit protecteur dans les chaudrons et qui dirigeaient les mousses qui filaient l'étope (la filasse).

Pour préciser l'origine géographique des substances utilisées pour le calfatage de ces navires, nous avons d'abord étudié les enduits, puis, nous avons établi leur mode de production, les conditions thermiques de leur fabrication et leur état de conservation. Par ces diverses études archéométriques, nous avons tenté d'établir la composition moléculaire

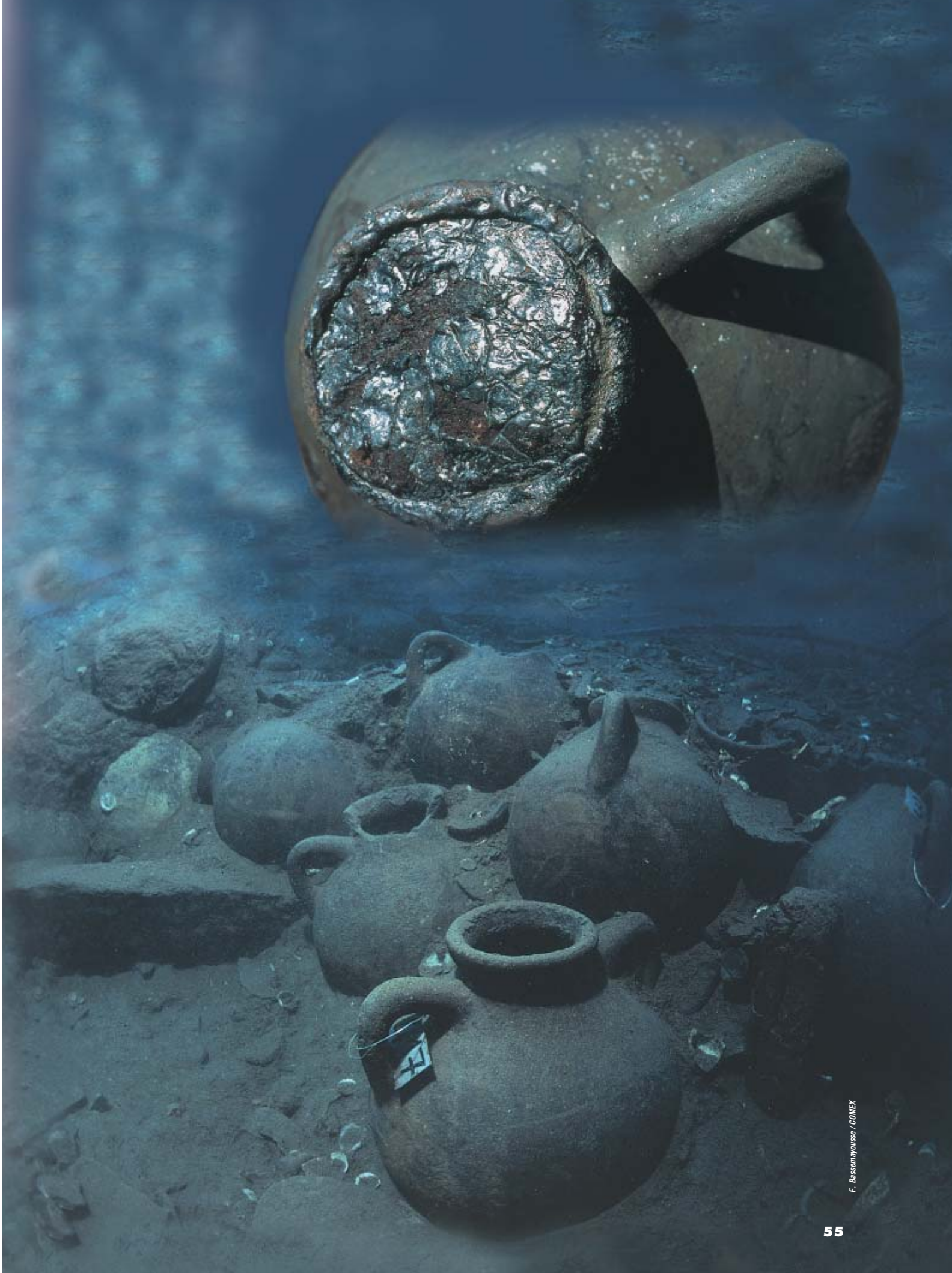
et isotopique des matériaux organiques employés. Nous avons examiné l'apport des études archéométriques des enduits qui nous permettent de reconstruire aujourd'hui les techniques passées. Nous avons ainsi découvert que ces procédés sont restés quasi identiques dans le temps et dans l'espace : des pays éloignés utilisaient quasiment les mêmes matériaux, traités de la même façon et ceci, durant des siècles. Le calfatage à la poix de l'époque romaine, en Méditerranée, est le même que celui que pratiquaient les terre-neuvas qui, à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle, partaient pêcher la morue sur les bancs de Terre-Neuve (à ceci près que les tissus enduits de poix qui assuraient l'étanchéité ont été remplacés par de l'étope). C'est aussi le même procédé que celui pratiqué, aujourd'hui encore, aux Sables d'Olonne, dans le Golfe arabo-persique ou dans l'Océan Indien.

Calfatage : variations sur une définition

Que signifie le terme calfater ? Selon les encyclopédies et les dictionnaires de termes de marine actuels, c'est une «opération qui consiste à refouler, au moyen d'un outil spécial nommé fer de calfat (ou calfait) et à coup de maillets, un cordon d'étope dans les [divers interstices] de façon à produire une complète obturation. On coule ensuite [...] par dessus l'étope, un mélange de goudron, de résine et de brai, préalablement chauffé.»

Toutefois, même si le calfatage à l'étope est le plus connu, il n'est pas le seul et, au fil du temps, d'autres solutions ont été adoptées : dès le Néolithique et jusqu'au XIX^e siècle, dans le bassin rhodanien, on se sert de la mousse qui pousse sur le buis, de papyrus chez les Égyptiens, de morceaux de tissus enduits de poix dans les constructions navales romaines, d'algues en Vénétie, de roseaux écrasés et de fibres d'écorce filées chez les Celtes, par exemple. Ces remplissages, introduits en force dans les interstices, étaient recouverts de bois (des baguettes de genévrier pour les calfatages à la

1. DES AMPHORES CONTENANT DE LA POIX ont été retrouvées en Méditerranée. Celles-ci faisaient partie du chargement d'un navire étrusque de la fin du V^e siècle avant notre ère. Les récipients sont d'anciennes amphores à vin recyclées pour le transport de la poix, qui servait, notamment, au calfatage des bateaux. Sur une des amphores (en haut), le bouchon de liège enduit de poix a été remis en place.



mousse de buis, par exemple), de feuilles de cuivre ou de plomb ou d'enduits organiques imperméabilisants. Ainsi le calfatage est constitué de deux phases : l'obturation des interstices et l'application d'une couche imperméabilisante. Les puristes réservent le mot «calfatage» à l'opération qui consiste à procéder à l'étanchéité de la coque, et non à celle qui vise uniquement à la protection du bois contre les effets de l'eau, des tarets (des mollusques qui creusent des galeries dans le bois immergé) ou encore des anatifes (des crustacés qui se fixent sur les objets flottant en mer).

Qu'est-ce que le goudron, la résine, le brai ou la poix que l'on coulait pour finir d'assurer l'étanchéité? La résine est la substance naturelle sécrétée par les résineux. En revanche, le goudron, le brai et la poix sont des produits plus artisanaux, issus de la combustion lente d'un bois résineux (on parle aussi de la distillation des bois de résineux). On place le bois dans un four, on l'embrase et l'on ferme le four. Le bois se consume, libérant des substances organiques qui se condensent sur les parois du four et que l'on récupère, solidifiées, à la fin de l'opération. On peut obtenir plusieurs fractions de dégradation, dont la composition diffère selon, par exemple, la température du four (en moyenne de l'ordre de 250 °C). Ainsi les goudrons, la poix ou le brai sont des produits issus de la combustion lente de bois de résineux. On peut classer ces différents produits dans la catégorie des goudrons d'origine végétale.

On remplaçait parfois le bois par de la houille, et l'on obtenait du goudron de houille (encore nommé coaltar, lequel était produit de la même façon, mais à une température notablement plus élevée). Le bitume, également utilisé pour le calfatage, est un produit naturel qui affleure en surface. Sur le site de Hit, en Irak, l'huile arrive en surface sous forme de gouttelettes en suspension dans un courant d'eau salée. Ces gouttelettes s'agglutinent et finissent par former un film qui s'épaissit et devient rigide. On recueille le mélange solide que l'on refond (comme les résidus de la combustion du bois ou de la houille) quand on veut l'appliquer sur les coques.

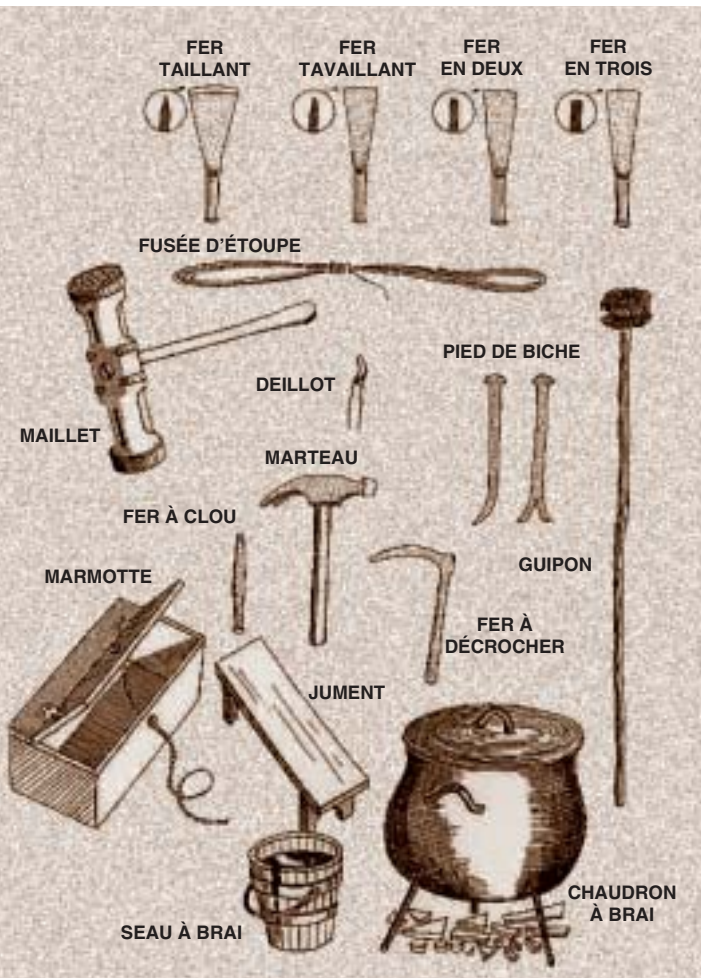
La panoplie des enduits de calfatage

Les termes de poix ou de brai ont longtemps eu un sens imprécis et qui a varié au fil du temps. La poix de l'Antiquité était plutôt associée au goudron issu des bois résineux, mais les Romains eux-mêmes utilisaient souvent le même mot *pix* ou *poix* pour désigner à la fois la résine brute des conifères et le produit de distillation des bois résineux, de sorte que les confusions étaient inévitables. De même, le mot *brai* peut être pris comme terme générique pour indiquer de multiples résidus de distillation ou, au contraire, les seuls produits issus des résineux. On a constaté que ces enduits, constitués de bitume, de goudron végétal, de graisse animale (de requin notamment), par exemple, étaient très souvent associés à d'autres constituants, tels que de la chaux, du soufre, de l'huile, et aussi des petits fragments de paille. En associant de l'enduit et de la paille qui formait une «ossature» pour le film imperméabilisant, les calfats avaient inventé le tout premier matériau composite.

Nous avons choisi de nous intéresser à la fois aux méthodes qui assuraient l'étanchéité et à celles qui protégeaient le bois contre les effets de l'eau de mer et des organismes et micro-organismes qui se développent sur les coques. Ces deux opérations étaient souvent réalisées par le même spécialiste, le calfat. Nous avons étudié la nature des matériaux organiques mis en œuvre dans divers enduits, et montré que ces adhésifs organiques étaient souvent les mêmes que ce soit sur la coque, dans les interstices entre les bordés ou entre les éléments du pont ainsi qu'à l'intérieur de la coque. Dans ce dernier cas, il ne s'agit pas de calfatage *stricto sensu* ni même d'étanchéité de la coque, mais de protection des charpentes en bois contre le pourrissement du fond des navires. Néanmoins, cette application de goudron participe indirectement à l'étanchéité, car elle retarde l'apparition de voies d'eau.

Ceci a été effectivement montré sur l'épave de *La Marie Rose*, un navire de la flotte de Henri VIII (1509-1545) : Richard Evershed et ses collègues de l'Université de Bristol ont analysé les goudrons provenant du calfatage entre les poutres de la charpente extérieure, du pont principal, des cordages de l'ancre, ou encore des réserves retrouvées dans les cales. Ils ont montré qu'ils sont tous constitués de poix, c'est-à-dire de goudrons dont la composition s'apparente à celle du goudron de Stockholm, issu du pin sylvestre.

Ces quelques définitions posées, nous examinerons comment l'analyse de prélèvements faits sur des épaves mises au jour en Europe ainsi qu'au Proche et au Moyen-Orient illustre la diversité des solutions adoptées, depuis le Néolithique, pour assurer l'étanchéité des coques de bateaux.



2. LES OUTILS DES CALFATS qui préparaient les bateaux partant de Saint-Malo sur les Grands Bancs de Terre-Neuve, à la pêche à la morue. Le brai est le résidu pâteux de la distillation des bois de résineux.

Le bitume au Moyen Orient entre le V^e et le III^e millénaire

De très rares vestiges d'embarcations datant du Néolithique récent (vers 5000 avant notre ère) ont été découverts, en janvier 2001, au Koweït. Ils ont été mis au jour au cours des fouilles faites dans le village de as-Sabiyah, par Robert Carter et Harriett Crawford, de l'Université de Londres. Ces restes, qui continuent à être analysés, notamment par Tom Vosmer du Département d'archéologie moderne du Musée de la marine d'Australie, sont des fragments de mélanges bitumineux où apparaissent des éléments minéraux, des empreintes de roseaux sur une face et des anatifes incrustés dans la masse, sur l'autre face. Ces résidus bitumineux étaient stockés dans une pièce d'habitat de as-Sabiyah et semblent provenir de la récupération de calfatages de bateaux en roseaux.

Des stockages identiques avaient déjà été découverts par Serge Cleuziou, de la Maison de l'archéologie et de l'ethnologie de Nanterre, dans le village de pêcheurs occasionnels de Ra's al-Jinz, en Oman. Ces deux exemples témoignent de l'importance que les populations du V^e, IV^e et III^e millénaires accordaient à ces mélanges bitumineux qui pouvaient être refondus et appliqués plusieurs fois sur les embarcations pour assurer l'étanchéité de la structure et la protection des roseaux contre l'attaque des tarets ou contre l'usure mécanique sur les plages. Les embarcations



Musée national de la Marine / A.F.ux

3. LE QUFFAH était un bateau en forme de grand panier circulaire en palmier tressé (1,6 mètre de diamètre), qui naviguait sur le Tigre. La couche de bitume, ici effritée par endroits, assurait l'étanchéité de l'embarcation qui servit de taxi jusqu'en 1938.



British Museum

4. D'APRÈS LES REPRÉSENTATIONS qui nous sont parvenues, les bateaux assyriens étaient faits de roseaux assemblés ou de tiges de palmes. Ils étaient vraisemblablement calfatés au bitume, matière première très répandue au Moyen-Orient.

semblent avoir été, dans cette région et à cette époque, faites de roseaux, parfois de tiges de palmes, les nervures centrales des feuilles de palmier.

Les bateaux en roseaux ont perduré jusqu'à nos jours dans le delta du Tigre et de l'Euphrate, dans la zone dite des marais. Aujourd'hui des répliques de même facture, en tiges de palmes, naviguent encore à Bahreïn (voir la figure 5). Les bateaux en roseaux existaient en Mésopotamie et en Assyrie dès le IX^e siècle avant notre ère, si l'on se réfère aux représentations figurant sur les dalles sculptées du palais assyrien d'Assur-Nasirpal II, à Nimroud, à 30 kilomètres au Sud de la ville actuelle de Mossoul. Des bateaux de même facture que ceux de as-Sabiyah, mais armés de planches de bois, ont été identifiés par S. Cleuziou et Maurizio Tosi à Ra's al-Jinz en Oman, mais ils datent de la seconde moitié du III^e millénaire avant notre ère. Dans ce cas, des bottes de roseaux d'épaisseur variable sont liées entre elles, et une armature en bois ou en bottes de roseaux est insérée à l'intérieur. Le tout est emballé dans une natte de roseaux, elle-même recouverte d'une couche de un à trois centimètres d'épaisseur d'un mélange de carbonate de calcium et de bitume. Dans ce cas, le bitume provenait d'Irak ce qui montre l'extraordinaire dynamisme des échanges de matières premières dans le Golfe et même au-delà du détroit d'Ormuz, dès le III^e millénaire.

Ces exemples de calfatage antique confirment que le bitume était largement utilisé dans l'Antiquité, au Moyen-Orient. Dans cette région, le bitume abonde en surface, et il est employé dans divers domaines comme colle, agent d'étanchéité ou enduit imperméabilisant. Les plus prestigieuses étanchéités ont probablement été réalisées pour les terrasses

des jardins suspendus de Babylone ou pour celles d'autres palais, peut-être celui de Ninive et d'Assour. Dès lors, on ne s'étonne pas de trouver, dans cette région, le bitume comme agent d'étanchéité des barques, dès le V^e millénaire.

Cette tradition est parvenue jusqu'à nous avec le *quffah*, un bateau du Tigre dont un exemplaire est exposé au Musée de la Marine, à Paris (voir la figure 3). Ces quffahs sont de grands paniers circulaires en palmier tressé, maintenus par des cordages dont la fabrication dérive directement des techniques de vannerie. Au début du XX^e siècle, ce genre de bateau servait encore de «taxi» aux passagers ou était utilisé pour le transport des marchandises. Ils ont été construits jusqu'en 1938. La couche de mélange bitumineux assurant l'étanchéité était appliquée à chaud.

Apparemment le calfatage au bitume était également de mise chez les Phéniciens où les bateaux, doublés de cuivre, étaient calfatés au bitume de la mer Morte, le bitume de Judée. Cette information, extraite de la littérature, n'a pas été vérifiée par des analyses, mais elle est plausible, car le bitume de la mer Morte circulait dans toute la région. Toutefois, les Phéniciens avaient aussi à leur disposition d'autres sources de bitume, par exemple celle de la région d'Hasbeya, au Liban actuel, proche de Sidon et de Tyr.

L'Égypte antique, pourtant au Proche Orient, n'a pas utilisé de bitume pour calfater ses navires. Selon R. Aufan et F. Thierry, de l'étope et du papyrus goudronné servaient à obstruer les interstices des bordages des barques en papyrus et des bateaux en bois d'acacia (retrouvés sur quelques sites funéraires). Sur certaines embarcations qui n'étaient pas calfatées, on enfonçait des cordes dans les interstices : quand la coque se dilatait en s'imprégnant d'eau, les cordes



5. D'APRÈS LES EMPREINTES DE NATTES (ci-dessus, flèche) laissées dans le mélange bitumineux qui recouvrait la coque d'un bâtiment datant de -2500 à -2000, on a pu reconstruire les bateaux en roseaux qui naviguaient durant l'Âge du bronze, en Oman. Ils ressemblaient aux bateaux en palmes qui naviguent encore aujourd'hui, à Bahreïn, dans le golfe Persique (ci-contre ; ces bateaux n'ont pas été calfatés).



étaient comprimées et bouchaient les joints. Ainsi, il est possible que dans l'Égypte pharaonique, qui n'a jamais été une civilisation du bitume, contrairement aux civilisations qui fleurissaient au même moment en Syrie, en Irak, en Iran et dans le Golfe, on n'ait pas calfaté les embarcations au bitume. Le bitume, denrée rare en Égypte, même s'il existe quelques indices de sa présence près de la mer Rouge ou dans le Sinaï, était surtout réservé à la momification. Le commerce, très lucratif, de cette manne vers l'Égypte était contrôlé par les Nabatéens. À la suppression de ce privilège par Cléopâtre, les Nabatéens, en guise de représailles, ont incendié sa flotte dans le port d'Alexandrie. L'utilisation du bitume s'est plutôt répandue dans le golfe Arabo-persique (Koweït, Bahreïn) à partir de la Mésopotamie, au IV^e et au III^e millénaire, puis à partir de l'Iran, après l'expansion de l'islam.

En dehors du Moyen-Orient, le calfatage au bitume n'était pas la règle dans le monde antique, et il faudra attendre l'époque industrielle pour que le bitume et le goudron de houille apparaissent sur les coques. Les pays méditerranéens se sont tournés vers d'autres catégories de produits : résines, gommes et goudrons extraits des conifères et des pistachiers lentiques ou térébinthes (qui produisent des résines).

La poix dans l'Antiquité

Plusieurs de ces enduits étaient dérivés de produits de base (résines brutes, mastics et gommes) et les sous-produits étaient fabriqués par distillation de bois résineux, comme nous l'avons évoqué. La poix, dont la fabrication a été décrite par Pliny l'ancien, fut commercialisée dès le VI^e siècle avant notre ère, en Méditerranée, comme en attestent les chargements que l'on a retrouvés dans des épaves remplies d'amphores «poissées». Ces chargements de résines de plusieurs tonnes étaient des cargaisons de goudron ou de poix, c'est-à-dire des chargements de produits issus du traitement thermique de bois résineux. Ces goudrons, qui étaient plus ou moins visqueux au moment de leur embarquement à bord des navires, sont aujourd'hui solidifiés dans les amphores retrouvées, car leurs constituants légers se sont évaporés.

À l'époque antique, les navires, qu'ils aient été réservés à la navigation en mer Méditerranée ou qu'ils aient sillonné fleuves et rivières, étaient calfatés. Les *unctores* devaient enduire les coques pour protéger le bois et assurer l'étanchéité. On a déduit de l'étude du bateau monoxyle assemblé (c'est-à-dire dont le fond était constitué d'une pièce unique sur laquelle d'autres pièces étaient assemblées) de la seconde moitié du I^{er} siècle, de Chalon-sur-Saône, quelle était la méthode employée : un bourrelet de tissu poissé avait été comprimé entre les bordages au moment de la construction. L'application de tissus poissés est attestée pour protéger le bois sur les navires méditerranéens. De nombreuses reliques de tissus poissés (voir la figure 7) ont été découvertes dans les fouilles du port de Marseille ainsi qu'au port antique du Petit Creusot.

La poix n'est pas toujours utilisée seule, mais peut également être accompagnée d'autres ingrédients, par exemple de la cire d'abeille. C'est ce que nous avons trouvé en analysant le calfatage de la coque d'une épave grecque archaïque, datée de la fin du VII^e siècle avant notre ère. Ce résultat confirme les affirmations de Pliny l'ancien qui nomme ce mélange de cire et de poix, la *zopissa*. Dans ses *Histoires naturelles*, rédigées entre 23 et 79, il écrit : «Nous avons dit d'autre part, qu'on avait coutume de recueillir la *zopissa* sur la coque des navires,

en la raclant. C'est un mélange de poix et de cire qui a macéré dans l'eau de mer. La meilleure étant celle des navires au retour de leur premier voyage. La *zopissa* entre dans la composition de cataplasmes émollients qui font disparaître les abcès». Pliny l'ancien ne précise pas la nature de la cire, mais ne laisse pas de doute sur l'utilisation du mélange sur la coque des navires ; il était amiral de la flotte de Misène au moment de l'éruption du Vésuve, en 79, où il mourut, vraisemblablement asphyxié ou brûlé par les nuées ardentes, en allant porter secours aux victimes de l'éruption.

Ces résultats ont été établis après l'étude d'une dizaine de cargaisons de résines extraites d'épaves datant du VI^e siècle avant notre ère au X^e de notre ère. En fait, la résine de conifère brute n'a été identifiée que sur une seule épave, celle de la baie de Pampelone, près de Saint-Tropez, datée du IV^e siècle. Cet amas de résine était contenu dans une amphore africaine, mais ce n'était pas un chargement de poix. Selon Luc Long, conservateur en chef du patrimoine, au Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines, le DRASSM, à Marseille, le contenu de cette amphore faisait partie des «provisions de



6. CALFATAGE À L'ÉTOUPE. On aperçoit les bouts de filasse qui s'échappent des interstices où ils avaient été enfoncés à force. Lorsque le bateau était à l'eau, le bois gonflait, écrasant l'étoupe dans les joints, ce qui assurait l'étanchéité. L'étoupe était parfois recouverte de mastic de vitrier ou de produits bitumineux (en noir, sur les photographies) comme en témoignent ces coques déposées au cimetière de bateaux du sillon du Fret sur la presqu'île de Crozon, et datant des années 1960.

bord» et était sans doute réservé aux réparations de fortune faites par l'équipage ; ce n'était pas un chargement de poix destiné à être commercialisé pour le calfatage des bateaux.

Le commerce de poix n'était pas limité à la Méditerranée, où les épaves romaines qui transportaient des amphores de poix, sont nombreuses, mais il était également pratiqué en Atlantique : on a retrouvé le chargement d'une épave à Guernesey, coulée dans le port de Saint-Peter vers 280. Le chargement, constitué de plusieurs tonnes de poix, était transporté dans des barils de bois et non dans des amphores comme c'était le cas en Méditerranée. Étant donné ce mode de conditionnement, la poix avait sans doute une origine plutôt «atlantique». Nous avons établi qu'elle a été produite dans les Landes : la poix étudiée dans le village

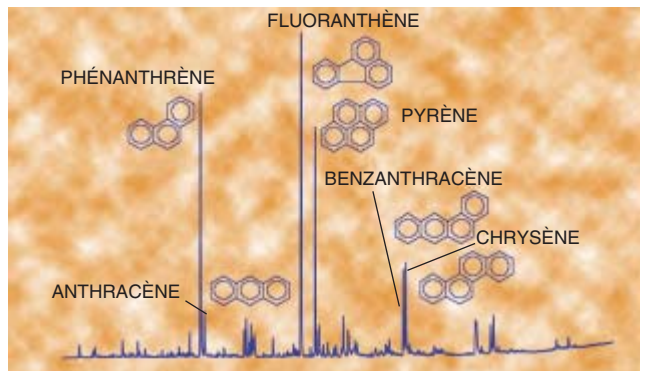
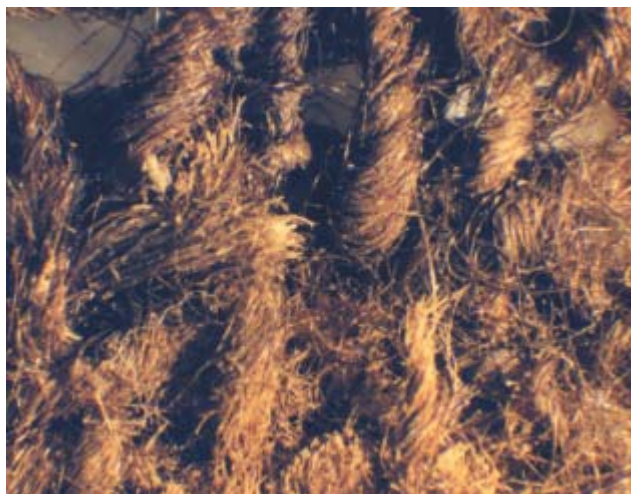
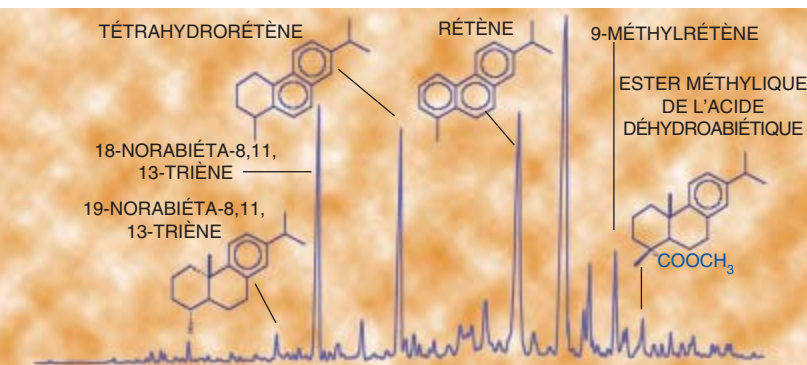
des résiniers gallo-romains de Losa, au Sud d'Arcachon, a la même composition que la poix du navire de Guernesey.

Selon Pline l'ancien, la poix était produite dans plusieurs régions du pourtour méditerranéen dont l'Asie Mineure, la Grèce, Rhodes, l'Espagne, la France (tout l'arrière pays de la Provence littorale), le Liban, Chypre et l'Italie. En ce qui concerne la France, la production n'était pas restreinte aux régions méditerranéennes, mais s'étendait également vers l'intérieur du pays. Des cuiviers et des urnes de production de poix de l'époque gallo-romaine ont été découvertes dans les Causses, dans les Vosges, en Lozère et dans les Landes. Cette activité artisanale semble avoir été importante en France, de l'Antiquité à nos jours puisque des fours artisanaux fonctionnaient encore dans les années 1950.

Analyse chimique des substances de calfatage

Nous avons analysé divers restes de calfatage, notamment un tissu de laine, imprégné de goudron et provenant du port antique du Petit Creusot, c'est-à-dire qu'il date de la première moitié du III^e siècle. Ce goudron est de la poix comme l'indique l'identification des composés dérivés de l'acide abiétique dans la fraction des «hydrocarbures aromatiques» extraite par le dichlorométhane de divers enduits de calfatage. Nous avons également analysé l'enduit d'une embarcation des

années 1960, utilisée par les ostréiculteurs de l'île d'Oléron, où l'enduit noir est un coaltar, c'est-à-dire un goudron de houille obtenu à haute température (entre 900 et 1 200 °C) et caractérisé par une fraction aromatique riche en polyaromatiques typiques des produits de pyrolyse : le phénanthrène, l'anthracène, le fluoranthène et le pyrène, etc. La discrimination moléculaire est ici très contrastée et l'on identifie aisément les deux grandes familles d'enduits auxquelles appartiennent les goudrons analysés.



L'IDENTIFICATION DES SUBSTANCES DE CALFATAGE se fait grâce à des «diagnostics» chimiques. On décrypte les molécules organiques dans la fraction «hydrocarbures aromatiques» extraite par le dichlorométhane d'enduits de calfatage. Les substances extraites des tissus poissés (à gauche) récupérés sur des bateaux romains de Chalon-sur-Saône, et datant du I^{er} siècle, contiennent de la poix, comme

en attestent les diterpénoïdes dérivés de l'acide abiétique. Au contraire, l'enduit d'une barque ostréicole de l'île d'Oléron, datant des années 1960, révèle un cortège de molécules polyaromatiques dont le fluoranthène et le pyrène caractéristiques des coaltars, c'est-à-dire des goudrons de houille obtenus à haute température, entre 900 et 1 200 °C (à droite).

Dans ces régions de forêts, le bois des résineux était utilisé dans les forges qui consommaient du charbon de bois et dans les arsenaux, qui utilisaient des goudrons pour le calfatage des navires et pour le goudronnage des cordages.

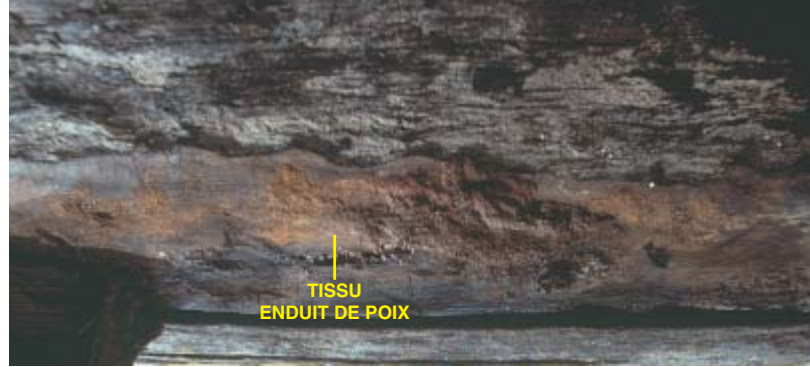
La demande était si importante au XVII^e siècle que la production française ne suffisait plus et qu'il fallait faire venir du goudron de l'Europe du Nord, notamment de Stockholm. Cette demande accrue résultait de l'usage généralisé des goudrons de résineux pour le calfatage des navires et pour le goudronnage des cordages. L'utilisation de résine brute de conifères pour protéger l'intérieur des coques ne semble pas s'être imposée malgré les incitations du marquis de Langueron, inspecteur général des constructions navales, et malgré une instruction générale faite aux intendants de la Marine en 1687. En définitive, le produit de prédilection restait la poix. Le goudron de conifères (poix ou brai) fut un matériau stratégique au XVII^e et au XVIII^e siècle, car, sous l'impulsion de Colbert, la Marine prit son essor.

L'analyse chimique des enduits de calfatage

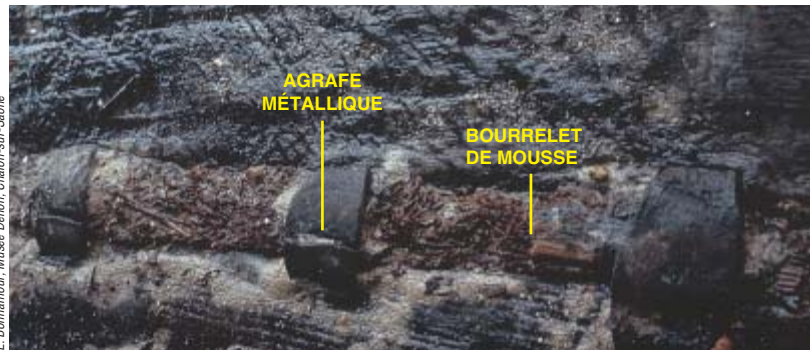
Les techniques de géochimie mises aux point pour l'exploration pétrolière, ont été adaptées à l'étude des échantillons archéologiques et des substances extraites par un solvant, le dichlorométhane. Ces substances sont séparées en plusieurs fractions qui sont ensuite analysées par diverses techniques. Les informations moléculaires, collectées sur ces différentes fractions, constituent ce que l'on nomme l'archéologie moléculaire. Parmi les enduits organiques analysés, nous recherchons des composants spécifiques, tels le bitume, le goudron de bois, la cire d'abeille, la poix ou encore la résine. Au cours de cette quête, on reconnaît parfois des mélanges complexes, fabriqués à partir d'ingrédients différents (bitume et coaltar, cire d'abeille et poix, bitume et goudron de conifères, par exemple). Certaines déformations des cortèges moléculaires permettent de reconnaître l'existence de phénomènes d'altération, dus notamment à l'oxydation des matériaux par les agents atmosphériques, tels l'air, l'eau et la lumière.

Très récemment la chimie isotopique est venue compléter le lot d'informations moléculaires en fournissant des valeurs isotopiques du carbone et du deutérium. Ainsi, selon l'origine et le degré d'altération de la poix, les rapports isotopiques de l'hydrogène (le rapport du deutérium sur l'hydrogène) et du carbone (le rapport du carbone 12 sur le carbone 13) varient. Ces données complémentaires fournissent des critères irremplaçables qui nous permettent d'identifier l'origine des matériaux, dont des bitumes et des poix, même de compositions voisines. Comme le géochimiste organicien pétrolier, l'archéologue moléculaire utilise deux voies d'investigation : la chimie moléculaire et celle des isotopes, qui lui permettent de classer les poix et autres goudrons végétaux, les résines de conifères ou d'autres essences, ou encore le bitume.

À la lumière des analyses accumulées, complétées par les données de la littérature, résumons les données acquises sur le calfatage. Son usage paraît avoir été généralisé, avec ou sans enduit, pour toutes les constructions en matériaux assemblés. Certains savoir-faire, tels le calfatage à la mousse de buis, les revêtements au bitume ou encore l'étoupe goudronnée à la poix existaient déjà au Néolithique et sont parvenus jusqu'à nous. D'autres ont été abandonnés, le tissu



TISSU
ENDUIT DE POIX



AGRAFE
MÉTALLIQUE

BOURRELET
DE MOUSSE

7. DIFFÉRENTES TECHNIQUES de calfatage étaient disponibles. À l'époque romaine, on calfatait les bateaux au tissu poissé (*en haut*). On introduisait en force des débris de tissus dans les interstices de la coque et on recouvrait l'ensemble de poix, ce qui assurait l'étanchéité. On pratiquait aussi le calfatage à la mousse. Sur un bateau en chêne d'Ouroux-sur-Saône (vers 1400), l'étanchéité a été obtenue à l'aide de bourrelets de mousse (vraisemblablement la mousse qui pousse sur le buis), lesquels étaient maintenus par des agrafes métalliques espacées d'une dizaine de centimètres (*en bas*).

poissé par exemple, et ont été remplacés par d'autres façons de travailler, tel le doublage des coques à la feuille de cuivre. De nouveaux matériaux, notamment le goudron de houille, ont commencé à être utilisés sur les coques à partir de 1830. Le mastic de vitrier l'a détrôné dans les années 1950, servant de finition sur une étoupe traditionnelle, goudronnée à la poix. Ce mastic est composé de blanc d'Espagne, c'est-à-dire de craie pulvérulente, et d'huile de lin.

En définitive, ce domaine n'a pas subi de mutations notables au cours du temps, et le calfatage tel qu'il est réalisé aujourd'hui dans les chantiers de construction de bateaux en bois est l'aboutissement des procédés mis en œuvre par les générations antérieures de calfats.

Jacques CONNAN est directeur de recherche associé au Laboratoire des substances naturelles de Strasbourg (CNRS) et expert international en géochimie organique chez TotalfinaElf, à Pau.

T. VOSMER, *Model of a Third Millennium BC Reed Boat based on evidence from Ras's al-Jinz*, in *The Journal of Oman Studies*, vol.11, pp. 149-151, 2000.

L. BONNAMOUR, *Un usage oublié de la mousse : le calfatage de bateaux*, in *La Garrance voyageuse*, vol. 49, pp. 6-9, 2000.

L. BONNAMOUR, *3000 ans d'évolution des bateaux de Saône*, in *Archéologie de la Saône, le fleuve gardien de la mémoire*, Éditions Errance, pp. 53-63, 2000.

C. LACHAMBON, *Deux bateaux antiques*, in *L'archéologue*, n°54, pp. 33-36, 2001.

J. CONNAN, *L'archéologie moléculaire et isotopique : étude des bitumes, brais et goudrons de bois*, in *Géologie de la Préhistoire : méthodes, techniques, applications*, J.-C. Miskovsky éditeur, Association pour l'étude de l'environnement géologique de la préhistoire, Maison de la Géologie, Paris, pp. 1045-1066, 2002.