

Matériaux composites: réponse à des problèmes complexes

Autor(en): **Cardis, Bertrand**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **118 (1992)**

Heft 8

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77751>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Matériaux composites: réponse à des problèmes complexes

Par Bertrand Cardis,
ing. dipl. EPFL,
Décision SA,
rue des Charpentiers 8,
1110 Morges 1

Si l'on sait qu'un barreur suisse – en l'occurrence Pierre Fehlmann – fait partie des meilleurs navigateurs de régate hauturière du monde, on ignore souvent où et comment ont été construits les bateaux sur lesquels il s'est illustré. Mieux: les matériaux composites mis en œuvre pour la réalisation de ces voiliers font leurs preuves dans d'autres domaines, comme l'expose l'article ci-dessous.

Des bateaux de plus de 20 m de long, destinés à la navigation en mer et construits en Suisse, cela existe!

Ils sont l'œuvre de Décision SA, une société spécialisée dans la mise en œuvre des matériaux composites. Après avoir utilisé cette technique pour différents bateaux, dont les maxi-voiliers *UBS Switzerland* et *Merit* qui se sont distingués lors des deux dernières courses autour du monde à la voile, ainsi que deux vedettes à moteur de 22 m, cette société a élargi à d'autres domaines d'application les techniques dont elle a acquis la maîtrise à cette occasion.

L'origine de cette société mérite d'être mentionnée: ses fondateurs, ayant participé à une course autour du monde, ont estimé qu'ils pourraient aussi bien que quiconque construire leur voilier pour l'édition suivante de cette course. C'est à cet effet qu'ils ont créé leur propre entreprise, encore essentiellement mais non exclusivement consacrée à la réalisation et à l'entretien de bateaux.

Les maxi-voiliers

La construction de *UBS Switzerland*, un voilier de 25 m de long, remonte à 1984-1985.

La structure de la coque se compose d'un sandwich, c'est-à-dire de deux peaux en fibres synthétiques entre lesquelles se trouve une âme (ou cœur) formée de nid d'abeille Nomex et de mousse PVC. La forme est donnée par un mannequin en bois. Dans un premier temps, sept couches de fibres de Kevlar furent imprégnées de résine époxy et collées sous vide sur le mannequin en bois. Le cœur fut à son tour collé sur ces couches, puis lui-même recouvert de cinq autres couches de fibres de Kevlar imprégnées d'époxy. Cette technique du sandwich permet d'obtenir des structures à la fois légères et résistantes, de surcroît isolantes. En effet, les matériaux les plus résistants, soit la fibre de Kevlar, sont concentrés dans les zones de contraintes maximales, ce qui permet leur exploitation optimale, alors que le cœur, situé autour de l'axe neutre, est constitué des matériaux les plus légers, dont le rôle est de maintenir en place les deux peaux. Au démoulage, la coque du bateau pesait 2150 kg.

La fiabilité de cette conception a été démontrée par *UBS Switzerland*, qui – sous des noms différents – a déjà participé à deux courses autour du monde et traversé environ trente fois l'Atlantique. Sa structure ne présente aucune trace de fatigue, ni de fissure ou

Sur mer et dans les airs

Ce n'est pas sur mer seulement que les matériaux composites permettent des performances exceptionnelles autour du monde. En effet, du 14 au 23 décembre 1986, Jeana Yeager et Dick Rutan accomplissaient le premier tour du monde en avion sans escale et sans ravitaillement, à la vitesse moyenne d'environ 185 km/h. Leur avion *Voyager*, d'une envergure de 33,33 m (déflexion maximale en vol: environ 10 m), emportait au décollage 3175 kg d'essence (environ cinq fois sa masse à vide) pour une masse totale de 4427 kg¹. Le revêtement de l'aile consistait en deux peaux de fibre de carbone de 0,36 mm chacune entourant un nid d'abeille *Nomex* de 6,35 mm.

Seuls les matériaux composites permettaient de concilier la résistance structurale, la qualité aérodynamique et le poids propre extraordinairement faible indispensables à la réussite de cet exploit sans pareil dans l'histoire de l'aviation.

Le *Voyager* avait notamment en commun avec les voiliers de Bertrand Cardis le fait d'être un exemplaire unique, justifiant des efforts extrêmement poussés d'optimisation dans sa réalisation.

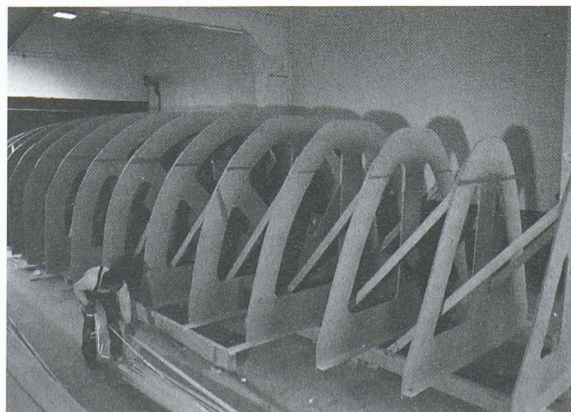
Jean-Pierre Weibel

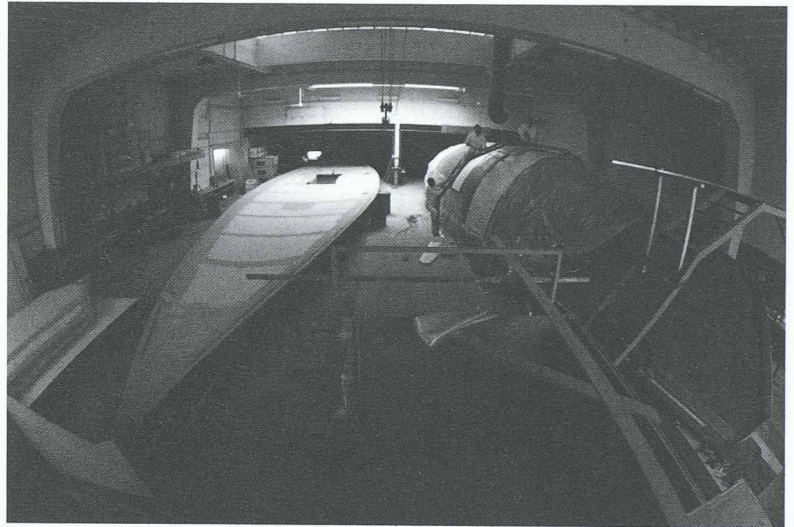
¹ Voir IAS N°s 18 du 30 août 1984, p. 280, et 1/2-87, p. 7.

de quelque défaut que ce soit. On peut ajouter ici que les réparations *in situ* seraient en outre faciles sur une telle structure.

On comprend donc qu'après sa victoire lors de la course autour du monde 1985-1986, le skipper Fehlmann se soit à nouveau adressé à Décision SA pour construire un nouveau voilier – *Merit* – en vue de la course autour du monde de 1987-1988.

Merit: la naissance d'un coursier des mers. Le mannequin matérialise les formes créées par l'architecte Bruce Farr. Sept couches de fibres de carbone imprégnées de résine époxy Kevlar sont collées sur le mannequin.





Le pont est fabriqué selon la même méthode à côté de la coque, avant d'être assemblé à celle-ci.

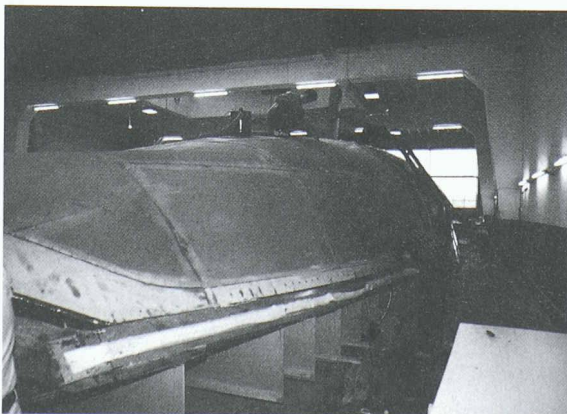
Si c'est le même principe de fabrication qui fut utilisé pour *Merit*, il fit l'objet tant de l'expérience acquise que de recherches supplémentaires. C'est ainsi que les peaux du sandwich comprennent des fibres de carbone, unidirectionnelles et bidirectionnelles. L'affinage des techniques de mise en œuvre a permis un gain de poids de près de 20% sur la seule coque: au démoulage, elle ne pesait que 1720 kg pour 25 m de long! Ce gain sur la structure se traduit par une amélioration des performances du bateau, grâce au lest supplémentaire

possible dans le cadre du règlement de la course.

La coque n'est pas le seul élément de structure. L'architecte naval Bruce Farr, responsable des calculs de cette dernière, ayant estimé que les matériaux composites n'offraient pas encore, à l'époque, la même sécurité que l'aluminium à poids comparable pour la reprise des importants efforts en pied de mât, ceux-ci sont introduits par l'intermédiaire d'un cadre d'alliage d'aluminium boulonné et collé dans la coque. En revanche, le pont du bateau est également réalisé en matériaux composites, puis assemblé à la coque par collage, avec reprise de stratification.

Les «locaux de service» de ce bateau de haute mer, comprenant notamment une cuisine, sont eux aussi entièrement préfabriqués et aménagés avant d'être incorporés à la coque.

Construire un bateau de haute mer d'une telle dimension à Morges est une chose, lui faire rejoindre son élément naturel en est une autre. Acheminé à l'aéroport de Genève par la route, *Merit* (tout comme précédemment *UBS Switzerland*) y fut chargé à bord d'un avion *Super-Guppy* loué à Airbus Industrie qui l'utilise pour transporter les éléments des gros-porteurs Airbus entre les usines de ce groupe européen. La fiabilité constatée sur *UBS Switzerland* s'est confir-





Alalunga Composit 22: 22 m de long, 5,76 m de large, 39 t à pleine charge, 2 x 1100 CV, 38 nœuds (70 km/h) de vitesse maximale.



Centre de télécommunications de Neuchâtel. Le panneau de décoration construit par Décision SA mesure 13 m de long et 1 m de large. Il se compose de plaques d'aluminium collées sur du nid d'abeille alu de 10 cm; son poids est inférieur à 200 kg. Il est monté sur des silentblochs, afin d'éviter les vibrations.

mée sur *Merit*, malgré le poids inférieur de la structure.

L'expérience accumulée sur ces grands voiliers a pu être mise à profit dans la construction de vedettes à moteur de luxe, produit fabriqué en majorité par des chantiers navals italiens, et réaliser un gain de poids total de plus de 10% par rapport aux techniques usuelles. Cette amélioration se traduit directement par des performances accrues et par une diminution de la consommation d'essence. Le chantier naval italien de Santa Margherita a confié à Décision SA la réalisation de la structure en matériaux composites de deux bateaux de type *Alalunga*.

Lucarnes en matériaux composites

Un architecte pratiquant la voile – Hervé de Rham – s'était avisé que la coque d'un bateau assurait en principe les mêmes fonctions qu'une toiture, à cette différence près que l'eau était en bas dans le premier cas, alors qu'elle venait d'en haut dans le second. La constatation de cette analogie devait conduire au développement et à la fabrication de lucarnes en matériaux composites destinées à un immeuble en transformation à Lausanne. Comme pour un bateau, un moule fut réalisé sur la base des dessins d'architecte. Le sandwich choisi se composait d'une âme en polystyrène *Roofmate* – couramment utilisée dans le domaine de la construction – sur les faces de laquelle on colla sous

vide deux peaux de fibres de verre imprégnées de résine époxy.

Pour fixer la lucarne sur la charpente et pour le montage des équipements (cadre de fenêtre, stores ainsi que leur rainure), des pièces d'aluminium percées et taraudées furent insérées dans la mousse. L'étanchéité est assurée par une bande de serrage sur laquelle viennent se rapporter les raccords de ferblanterie.

La combinaison des caractéristiques structurelles et isolantes des lucarnes a permis de renoncer à une isolation intérieure supplémentaire.

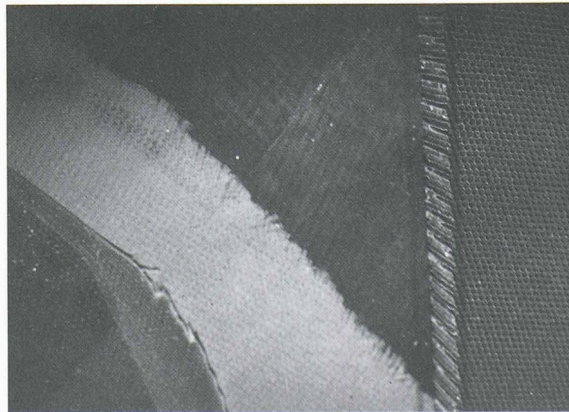
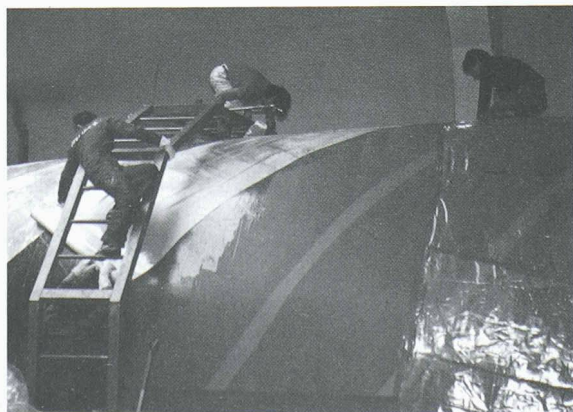
Le faible poids d'une lucarne complète, soit 60 kg, en facilite le montage. C'est ainsi que 13 lucarnes préfabriquées ont été montées et mises en place à bras en une seule matinée. L'ensemble posé s'est révélé nettement meilleur marché qu'une lucarne traditionnelle faisant intervenir différents corps de métiers: charpentiers, ferblantiers, couvreurs, peintres, etc. L'idée de base, consistant à transposer de la construction navale au bâtiment une technique parfaitement rodée et fiable, a ainsi fait ses preuves: le «bateau à l'envers sur le toit» représente un transfert de technologie réussi.

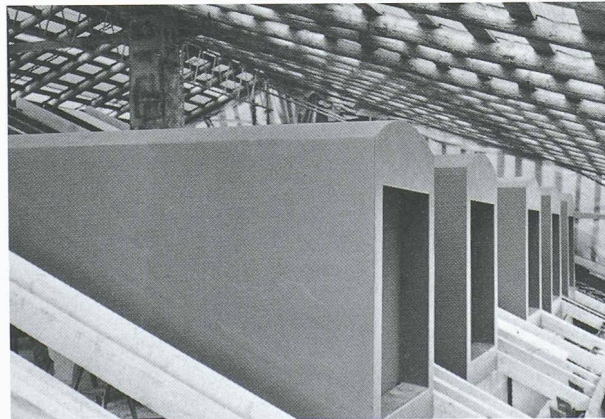
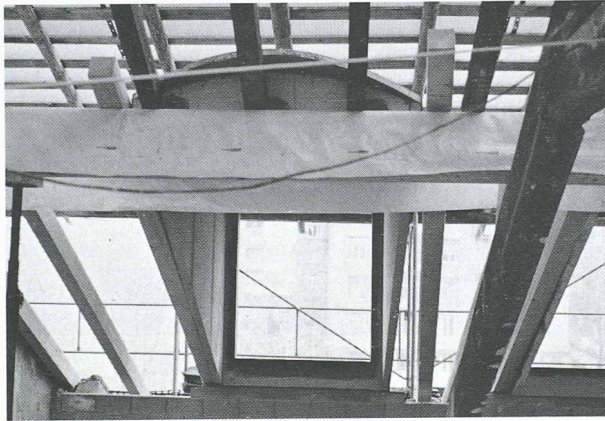
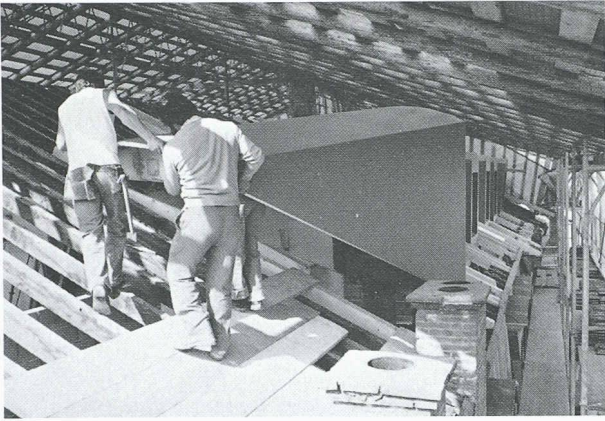
Contribution à la Voie suisse 1991

Parmi les manifestations ayant marqué le 700^e anniversaire de la Confédération, la Voie suisse a connu l'un des plus grands succès.

L'Etat de Vaud avait mandaté l'Atelier Cube, architectes à Lausanne, pour

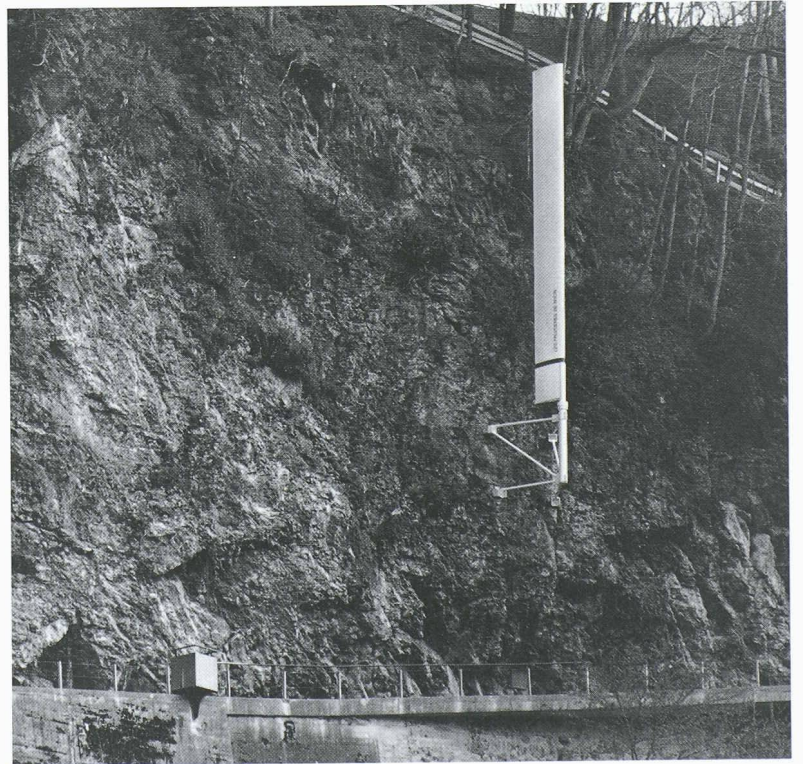
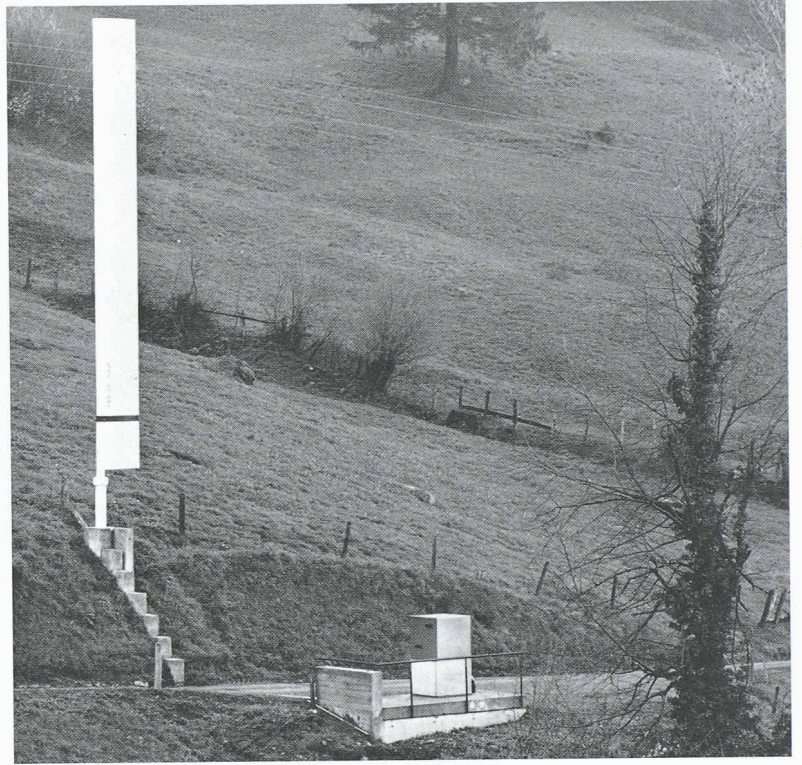
Le cœur de la coque est constitué par un nid d'abeille. La deuxième photographie illustre les strates qui composent la coque. Un «manteau» de plastique permet le collage sous vide.





Montage de treize lucarnes préfabriquées en matériaux composites.

A droite: les «ailes» des stations vaudoises de la Voie suisse 1991 ont été conçues par les architectes de l'atelier Cube, de Lausanne. Leur réalisation n'a été possible que grâce au recours aux matériaux composites, seuls à offrir le faible rapport poids/rigidité indispensable à une bonne tenue.



aménager le tronçon vaudois de cette voie. On connaît les «boîtes magiques» développées à cette occasion. Il incombait à Décision SA de signaler ces stations par un mobile s'intégrant dans la conception architecturale des stations.

L'idée retenue comportait des mâts, en forme d'ailes verticales, de 1 m de corde et de 9,50 m de haut, dont le sommet se situait à 12,50 m au-dessus du sol. Montés sur deux paliers, ces mâts tournent et oscillent en se plaçant dans le lit du vent. La partie inférieure, qui supporte les paliers, est en acier. Le mât est réalisé en fibres de verre imprégnées de résine époxy. La direction des fibres de verre a été choisie en fonction des importants efforts à supporter en cas de fort vent. L'échantillonnage des fibres comporte essentiellement des fibres unidirectionnelles placées dans l'axe vertical de l'aile dans le plan de son centre de poussée et leur densité diminue vers le haut du mât.

Des essais ont démontré qu'une construction en matériaux composites était seule possible, la structure de l'aile devant être à la fois légère et très rigide, sous peine d'aggraver le cas de charge déterminant.

Perches de trolleybus

Des applications des matériaux composites moins évidentes que celles décrites ci-dessus n'en sont pas moins intéressantes. C'est ainsi que pour une perche de prise de courant de trolleybus, le problème à résoudre est multiple: elle doit être à la fois

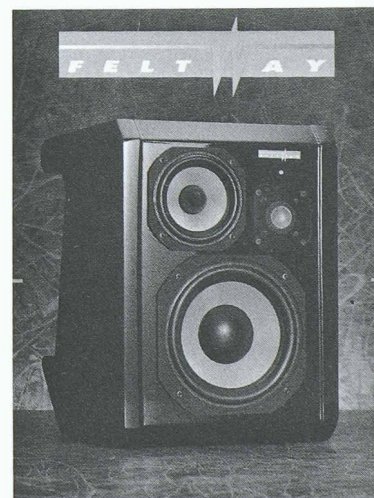


Les trolleybus TL captent leur courant avec des perches en matériaux composites.

(Photo J.-P. Maeder)

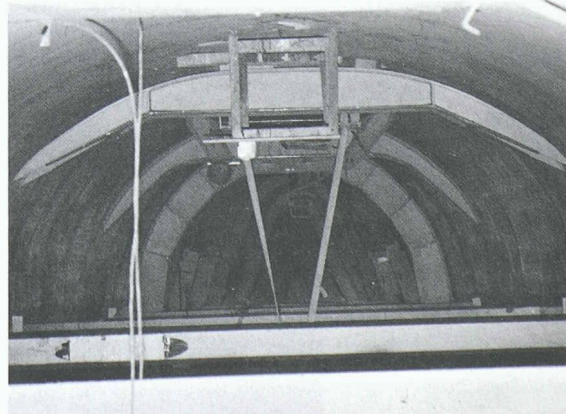
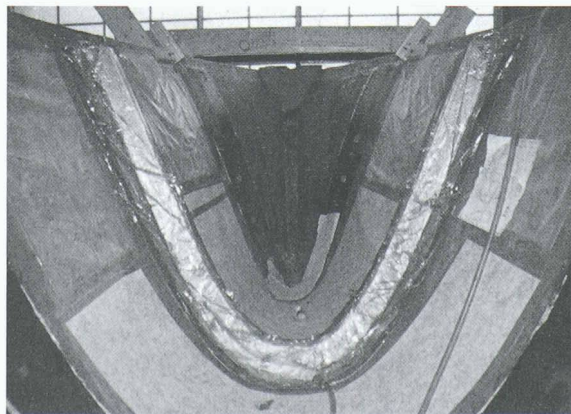
isolante et conductrice, légère et rigide, et peu coûteuse de surcroît.

Les perches composites mises au point en collaboration avec les TL (Transports publics de la région lausannoise) apportent la solution à ce problème. Elles sont constituées par l'assemblage manchonné d'un tube en alliage d'aluminium et d'un tube de verre obtenu par pultrusion, c'est-à-dire que les fibres sont tirées à travers une filière en même temps qu'est injectée la matrice de résine époxy. L'électricité est conduite par le tube d'aluminium, alors que les fibres de verre assurent l'isolation vers l'extérieur. La particularité de l'assemblage des tubes est d'être très résistante aux chocs.



Les fibres de carbone au service de la haute fidélité.

De gauche à droite: l'intérieur de la coque, la structure en alliage d'aluminium recevant le pied du mât, le bâti supportant le moteur et la cuisine préfabriquée.



Aujourd'hui, ces perches équipent la totalité des trolleybus circulant dans l'agglomération lausannoise.

Perspectives

La technique progressant, de nouvelles méthodes de mise en œuvre sont actuellement en cours d'expérimentation. C'est ainsi qu'il est envisagé de remplacer l'imprégnation des fibres au rouleau, qui exige une grande attention pour obtenir la densité et l'homogénéité voulues, par l'utilisation de fibres préimprégnées. Il va de soi qu'une telle évolution demande la démonstration préalable de la fiabilité tant des matériaux semi-finis que des méthodes de fabrication et de contrôle. La caractéristique des matériaux composites est qu'ils sont applicables à des domaines aussi variés que nombreux. C'est ainsi qu'au cours des sept dernières années, outre les réalisations déjà mentionnées, Décision SA a travaillé sur des pièces en polyester pour l'aménagement intérieur des trains, des enceintes acoustiques haute fidélité de très haute qualité en fibres de carbone et nid d'abeille Nomex, des casques en Kevlar pour le kilomètre lancé à skis, des cadres en fibres de carbone de grande dimension pour des artistes peintres, etc. L'utilisation des matériaux composites ne connaît pas d'autre limite que l'imagination des concepteurs. Dans tous les cas où les contraintes d'un projet consistent à optimiser le rapport entre les caractéristiques mécaniques et la densité, c'est tout naturellement qu'ils s'imposent.



L'épreuve finale: les matériaux composites ont parfaitement résisté aux contraintes rencontrées en mer par tous les temps.

