

## 38

### DOMMAGES CONSTATES PENDANT L'EXPERTISE DE BATEAUX EN MATERIAUX COMPOSITES.

B. BARNOUIN<sup>1</sup>, P. RENAUD<sup>2</sup>

**Résumé** - Les principales conclusions des expertises effectuées depuis une douzaine d'années sur la flotte du bassin d'Arcachon sont rapportées, tant pour les vedettes à moteur que pour les voiliers. Les dommages constatés les plus fréquemment sur les différentes parties de ces navires sont décrits en distinguant superstructures, oeuvres vives et appendices. La typologie de ces dommages est décrite ainsi que les méthodes de réparation utilisées pour y remédier et les règles élémentaires de conception pour les éviter. En conclusion il apparaît que les problèmes spécifiquement liés au "vieillessement" du matériau sont statistiquement rares, voire très rare pour certains. De mieux en mieux mise en oeuvre suivant des techniques de conceptions désormais maîtrisées, le matériau composite justifie à l'usage sa place prédominante en construction nautique.

Mots clés : avarie, dommage, accident, réparation, plaisance

#### LE CONTEXTE

Bassin d'Arcachon : baie ouverte, alimentée par la mer et une petite rivière, La Leyre.

##### *Caractéristiques de l'eau*

Eau allant de l'eau de mer à salinité normale (environ 30 à 35 g/kg) à une eau plus douce (15 g/kg) dans les fonds du Bassin. Température de l'eau s'étalant de 25° l'été à 5° l'hiver, voire - 3° à - 4° dans certains ports à teneur en eau douce importante.

##### *Caractéristiques générales des bateaux présents dans le Bassin d'Arcachon*

Le Bassin d'Arcachon est un site privilégié pour la plaisance. Toutefois la présence de hauts fonds sablo-vaseux détermine une taille de bateaux allant de 4 m à 14 m maximum, avec une moyenne de l'ordre de 7 à 8 m. Nous notons une dominance du motonautisme sur la voile. Le matériau dominant la construction des bateaux est le polyester, le bois est néanmoins encore bien représenté par quatre chantiers locaux.

- 
1. Directeur, Genie Océanique, Ifremer, France
  2. Expert maritime, MTC, La Teste, France

Parmi les bateaux moteur, il convient de remarquer la présence d'environ 20 % de bateaux étrangers, notamment des Etats-Unis. Les bateaux observés datent d'environ 1970 à 1992, certains sont antérieurs à 1970 et remontant jusqu'en 1962.

**Base de l'observation :** Les informations qui sont ici données sont le fruit d'une dizaine d'années d'expertise, principalement pour des compagnies d'assurances, à la suite de sinistres, ou pour des estimations.

**Objet de l'observation :** Principalement des bateaux de plaisance, utilisés environ un mois l'été et quelques week-ends en avant et arrière saison. Petites unités hivernant au sec ; grosses unités hivernant en majorité à flot et bénéficiant d'un carénage annuel.

### **Problème de l'inspection**

- Difficulté de vérifier exactement l'état de surface des carènes, du fait des couches d'antifouling qui les recouvrent.

- Difficulté de vérifier l'ensemble des fonds y compris des parties maîtresses, du fait de la construction des aménagements qui rendent inaccessibles certaines parties.

Lors d'avaries courantes :

- Absence de connaissance détaillée des matériaux entrant dans la composition de la construction et des conditions de fabrication.

- Absence de plans cotés.

(Ces documents ne sont généralement fournis que lors d'expertises judiciaires).

## **PRINCIPAUX DEFAUTS CONSTATES DURANT LES EXPERTISES**

### **VIEILLISSEMENT STATIQUE**

#### **1. ETOILAGE**

##### *Oeuvres vives*

Peu d'étoilage, celui-ci étant plutôt le résultat d'une action extérieure. Peu ou pas d'étoilage dû au démoulage.

##### *Superstructures*

Quelques étoilages dans les angles, dus à des contraintes de démoulage ou à l'insuffisance d'épaisseur de stratifié ou de renforts, ce qui provoque rapidement des craquelures, à la suite de flexions.

##### *Oeuvres mortes*

Non observé du fait de la présence de l'antifouling.

#### **2. FAIENÇAGE**

Se traduit par une multiplication de petites craquelures qui peuvent se développer à l'infini. Toutefois il n'y a généralement pas de décollement avec

écaillage du gel coat. Il s'observe principalement sur les superstructures et moins sensiblement sur les bordés. Nous relèverons que ce décollement apparaît plus facilement dans des gel coats à épaisseur trop importante ou bien résulte d'une résine insuffisamment ou mal polymérisée. Compte tenu, ici aussi, du délai d'apparition du faïençage au bout de 10 à 15 ans, nous estimerons que cela représente une bonne tenue du gel coat dans le temps.

### 3. FARINAGE

#### *Oeuvres mortes*

Observation du farinage du gel coat, après une durée de vie d'environ 10 ans. Compte tenu du délai d'apparition, on peut admettre que cela représente une bonne tenue dans le temps.

#### *Oeuvres vives*

Non observé du fait de la présence de l'antifouling, en général.  
Non observé même lors du décapage de l'antifouling.

#### *Superstructures*

Moins observé, du fait du passage et des frottements légers de l'équipage.

Ceci laisse penser que le farinage résulte principalement de l'action du soleil, et éventuellement de frottements durant la vie du bateau.

### 4. DEPIGMENTATION

#### *Oeuvres mortes et superstructures*

On observe une dépigmentation rapide (environ 5 ans) des couleurs vives, rouge, bleu, vert, avec l'apparition d'auréoles blanchâtres.

#### *Oeuvres vives*

Pas de dépigmentation du fait de la présence de l'antifouling.  
La grande majorité de la construction utilise aujourd'hui des pigments clairs. Si cela donne de bons résultats dans le temps, ceci est malheureux pour l'esthétique de nos ports et nous ne pouvons que souhaiter des progrès dans la bonne tenue des pigments de couleurs vives.

### 5. POROSITE

Se traduit à l'oeil nu, par l'aspect de multiples petits trous de la taille d'une pointe d'épingle. Cette porosité est plus souvent visible sur les angles saillants que sur les parties planes. De même, elle est plus particulièrement visible sur les oeuvres mortes et les superstructures. Sur les oeuvres vives, le gel coat étant recouvert d'antifouling et rarement endommagé, la porosité n'est pas visible.

Toutefois, en tranchant l'épaisseur du gel coat, des microcavités sont nettement visibles dans le gel coat de la partie immergée comme de la partie émergée.

Face à ce problème délicat de la porosité endogène (présence de micro-cavités) constatée dans plusieurs gel coats, nous pensons que la recherche doit se poursuivre dans les domaines de la qualité des composants de certains gels coats, dans le processus d'enduction du gel coat (manuel à la brosse, ou projeté à l'Airless ou autre système), dans l'élimination éventuelle des charges et autres pigments qui diminuent les caractéristiques, notamment d'étanchéité.

## 6. DELAMINAGE

Nous n'avons pas observé de délaminage dû à un vieillissement statique. Par contre, à la suite d'avaries, nous avons pu observer un arrachement relativement aisé des fibres de polyester stratifiées entre elles. Ceci résulte bien souvent d'une quantité de résine insuffisante, d'une imprégnation des fibres mal réalisée ou d'une qualité médiocre de résine et de tissus.

Nous noterons à ce sujet, que la construction sous vide représente une très nette amélioration de la qualité du stratifié, comme dans le cas d'une marque américaine de bateaux à carène en forme d'ailes de mouette (Boston Whaler pour ne pas la nommer), procurant ainsi une rigidité, homogénéité et donc une qualité bien meilleure.

## 7. HUMIDITE

Le polyester a apporté une parfaite étanchéité des coques, ponts et cockpits. Les seuls défauts rencontrés l'ont été dans des renforts enfermés. En effet, sur quelques modèles, on constate encore des compartiments fermés et inaccessibles. Or, si des renforts en contreplaqué y sont situés, le confinement sans aération dans une atmosphère humide produira une dégradation assez rapide des renforts en contreplaqué et donc un décollement du stratifié de liaison de ces renforts.

## 8. DECOLLEMENT

Nous avons pu constater certains décollements du stratifié, par exemple sur des cloisons porteuses. Bien que ces constatations soient rares, il semble que l'accrochage du stratifié sur le contreplaqué ne soit pas toujours bien maîtrisé.

## 9. OSMOSE

Uniquement située sur les oeuvres vives : pas d'eau, pas d'osmose. Principalement observé sur les bateaux construits entre 1975 et 1985. S'observe par colonie de petites cloques ou par cloques séparées. Les plus grosses auraient tendance à se situer vers le milieu de carène et les plus petites vers la flottaison.

## REMARQUES

On observe que si l'eau peut imprégner le stratifié par l'extérieur de la carène, elle peut également l'imprégner par l'intérieur de la cale. Ainsi, on notera peu de cales gelcoatées de l'intérieur, or nous pensons que cette finition serait particulièrement souhaitable.

Il n'y a donc apparemment pas de situation déterminée pour l'apparition d'osmose. Les endroits susceptibles de favoriser son développement, (telles les parties où l'épaisseur est doublée, par exemple situées dans les fonds, les quilles, les étraves), du fait de l'augmentation de la température lors de la polymérisation, ne présentent pas plus qu'ailleurs de problème. A l'inverse, c'est sur les parties planes, donc en principe bien imprégnées et éboulées, que les cloques apparaissent davantage.

Accentuation - Ce phénomène, qui peut être annulé par des traitements préventifs, peut cependant se trouver accentué par ceux-ci, s'ils ne respectent pas certaines règles d'application et notamment :

### *Sur bateaux neufs*

- Un dépolissage (et non un ponçage) pas trop agressif de la carène, afin de permettre un bon accrochage.
- Le passage d'un primaire d'accrochage.
- Le passage du produit d'étanchéité suivant le nombre de couches et la quantité recommandée par le fabricant.

### *Sur bateaux anciens*

- Un rinçage abondant et répété, si possible deux fois, à l'eau douce.
- Un séchage long dans un endroit sec, si possible d'environ six mois, qui peut être fait lors de l'hivernage.
- Le contrôle du taux d'humidité de la coque avant application des produits.
- La mise en oeuvre suivant les recommandations du fournisseur (température, hygrométrie).

Dans le cas contraire, on pourra assister à un développement rapide de l'osmose, dû à l'emprisonnement d'humidité dans le stratifié, sous le revêtement étanche passé sur la carène.

De même, nous notons une plus grande rapidité d'apparition de l'osmose sur des bateaux dont l'antifouling est gratté ou enlevé chaque année (ou fréquemment) ou qui ont subi une mise à nu complète de la carène jusqu'au gel coat d'origine, par rapport à des bateaux présentant une multitude de couches d'antifouling.

Enfin, après enquête auprès des chantiers de réparation locaux, il apparaît que les bateaux naviguant sur les lacs environnants, sont plus susceptibles de présenter des cloques d'osmose.

## CONCLUSION

En observant les procédures de fabrication des bateaux, nous constatons que c'est un seul et même gel coat qui est utilisé pour les parties immergées et émergées.

On peut s'étonner qu'il n'y ait pas une adaptation des produits employés (et de leur mise en oeuvre), aux différentes destinations, pour lesquelles les qualités requises ne sont pas les mêmes :

- résistance à l'eau pour les parties immergées,
- résistance au soleil et aux frottements (à l'usure) pour les parties émergées.

En fait, nous constatons, mais seulement depuis environ 4 ans, un début de prise de conscience de ce problème, par un traitement particulier de la carène, bénéficiant de revêtement approprié à une meilleure tenue en milieu aquatique.

Nous pensons que l'évolution devra se poursuivre dans ce sens, à savoir une meilleure adéquation des matériaux et des mises en oeuvre aux conditions d'utilisation et spécifications fonctionnelles de chaque zone identifiée (par ces types de sollicitations : chargement, agression du milieu, etc...).

## VIEILLISSEMENT DYNAMIQUE

Afin de cerner le plus précisément possible les problèmes rencontrés, nous allons examiner le bateau successivement dans ses principales parties .

### 1. LIAISON PONT COQUE

#### *Voilier*

Nous ne rencontrons pas de problème particulier avec les liaisons pont-coque des voiliers. Toutefois, parmi les différentes méthodes de liaison, il s'avère que celle du pont emboîté par dessus la coque apparaît la meilleure, lorsque cet emboîtement est tenu par boulonnage et repris par une stratification intérieure. La liaison pont-coque au niveau de l'étrave pose parfois problème lorsque la cadène d'étai est uniquement fixée au pont. Dans ce cas, nous observons une ovalisation des trous de fixation du boulonnage pouvant aller jusqu'à la déchirure du haut du bordé sous l'effet de la traction : la liaison pont-coque ne doit pas être utilisée pour résister à la traction d'un étai. Toute cadène d'étai devrait donc être non seulement fixée au pont mais aussi à la coque, par une ferrure boulonnée ou stratifiée.

#### *Bateau à moteur*

Dans un bateau moteur, la liaison pont-coque participe activement à la raideur de la coque et doit donc être particulièrement bien réalisée pour résister aux chocs dans les vagues.

Nous observons sur plusieurs types de bateaux des liaisons pont-coque, soit rivetées, soit agrafées, soit boulonnées, qui se dégradent, soit par rupture des éléments de liaison, soit par déchirure du stratifié du haut de la coque ou du pont, au niveau des éléments de liaison. Lorsque les liaisons sont reprises par stratification intérieure, nous n'observons pas de problème particulier.

## 2. QUILLES

### *Voilier*

Sur les formes modernes, les quilles ont pratiquement disparu. Le renfort, constitué par le retour de galbord sur les plans plus classiques, est aujourd'hui remplacé par des surépaisseurs dans les fonds. Nous ne constatons pas de problèmes à ce niveau, tant que le varangage est en nombre et de section suffisante et correctement stratifié.

Toutefois, nous avons relevé sur certains modèles une hauteur assez limitée des varangues, diminuant de ce fait l'effet de poutre et donc la rigidité. Nous avons par ailleurs noté des stratifications partielles des varangues, non totalement enrobées. De ce fait, des infiltrations produites par l'eau, toujours présente dans la cale, provoquent une dégradation prématurée des varangues. Enfin, lors de carottages, nous avons constaté que les doublements d'épaisseur des bordés stratifiés, normalement réalisés dans les fonds, les puits de quilles, les retours de galbords, ne sont pas toujours respectés. Malgré ces quelques défauts, nous n'avons pas à relever d'avaries particulières à ce niveau, hormis lors de chocs violents subis par les lests.

### *Bateau à moteur*

Sur les bateaux à moteur, la quille étant une partie moins importante que sur les voiliers, nous n'avons pas observé de défaut particulier hormis des cas d'absence de remplissage ou de doublement d'épaisseur.

## 3. CARENE

### *Voilier*

Nous n'avons pas observé de défaut particulier sur les carènes quant à leur résistance structurelle.

### *Bateau à moteur*

Les sollicitations et le comportement d'une carène de bateau à moteur est bien plus complexe sur les bateaux rapides à déjaugage que sur les bateaux à déplacement. Ainsi nous avons constaté :

- des ruptures transversales ou longitudinales, principalement de virures creuses non restratifiées intérieurement ;

- des ruptures de varangues, des raidisseurs, des relais de carlingage, des cloisons, des délaminages, suite à des chocs dans les vagues à vitesse élevée.

Les dommages constatés touchent principalement le tiers avant d'un bateau.

Il s'avère donc que la réalisation d'une carène d'un bateau rapide, doit respecter des impératifs de rigidité et de résistance très strictes. Il en résulte en général d'autres problèmes dans la tenue des aménagements, des cloisons et des carlingages relais.

Afin que ceux-ci ne créent pas de points durs pouvant provoquer des cassures - et ne se délient donc pas lors des chocs dans la mer -, une attention particulière sera recommandée sur la réalisation de congès au niveau des liaisons entre cloisons, varangues, carlingages divers et les bordés de fond ou les bordés latéraux, afin que la stratification de la liaison ne présente pas d'angle vif et soit le plus largement étalée possible. En matière de carène, nous constatons que des bordés de fond réalisés en sandwich de mousse de qualité "rigide" résistent très correctement aux chocs des vagues et assurent une bonne rigidité à la coque. Toutefois, la réalisation de la coque sandwich doit se conformer à des spécifications strictes, afin d'éviter le risque de délaminage entre l'âme sandwich et les peaux stratifiées sous l'effet des chocs.

Le deuxième risque majeur concerne les entrées d'eau : Une construction sous vide apportera, là aussi, un gage de meilleure qualité. A l'inverse, une carène en stratifié monolithique devra bénéficier d'une épaisseur conséquente et d'un carlingage et varangage plus serrés.

#### 4. AILERON DE GOUVERNAIL

*Voilier et bateau moteur*

Les ailerons, lorsqu'ils sont stratifiés du même moule que la coque, ne présentent pas de problème.

Lorsqu'ils sont rapportés boulonnés, un jeu peut apparaître à la longue, mais cela reste très rare.

#### 5. TUBE DE JAUMIERE

*Voilier et bateau moteur*

Nous n'avons pas rencontré de problème de tenue des tubes de jaumière ; il s'avère que la stratification permet d'obtenir une bonne tenue et une excellente étanchéité.

#### 6. GOUVERNAIL

*Voilier*

Lorsqu'ils sont réalisés en deux demi-coquilles, nous avons pu observer des problèmes de la liaison des deux demi-coquilles, ainsi que des problèmes quant au poinçonnage au niveau des peaux stratifiées, par les ferrements solidaires de la



mèche de gouvernail et noyés dans le gouvernail : Des enrobages plus importants sont à conseiller sur ces ferrements. Ces deux problèmes peuvent provoquer des infiltrations d'eau dans les gouvernails et de ce fait dégrader la composition interne.

#### *Bateau à moteur*

Très peu de gouvernails sont réalisés en stratifié, la majorité étant métallique.

### 7. TABLEAU ARRIERE

#### *Voilier*

Sur les voiliers nous n'avons pas observé de problème particulier.

#### *Bateau à moteur*

Le tableau arrière des bateaux moteur équipés de hors bords reprend tout ou partie de la poussée du ou des moteurs. Nous ne constatons pas de véritable problème à ce niveau. Par contre des problèmes sont rencontrés au niveau de la liaison pont-coque sur le tableau : décollement ou déliaison. Par ailleurs les renforts intérieurs, souvent réalisés en contreplaqué de plus ou moins bonne qualité, s'ils ne sont pas bien et totalement enrobés, peuvent se dégrader assez rapidement sous l'effet de l'eau stagnant à fond de cale.

### 8. PONT

#### *Voilier et bateau à moteur*

Les défauts ou dommages constatés résultent généralement :

- D'un problème de délaminage des ponts en sandwich.

Ce délaminage est bien souvent la conséquence d'une insuffisance de renforts sur d'importantes parties planes. Une flexion est alors constatée sur le pont entre les renforts, qui conduit à une déliaison de l'âme sandwich d'avec les peaux stratifiées. Toutefois cet état ne se constate généralement qu'au bout de 15 à 20 ans, ce qui reste très raisonnable.

- D'un problème d'étoilage du gel coat et de fissuration de stratifié :

Ceci se constate au niveau de la fixation de l'accastillage de pont et notamment des chandeliers, des balcons, des cadènes de haubans, plus rarement des taquets, presque jamais des winches et rails d'écoute de foc. Ceci montre qu'il est nécessaire, soit d'augmenter les épaisseurs de stratifié, soit de poser des inserts et contre-plaques de renforts suffisants afin d'éviter une flexion du pont, qui provoque ces étoilages.

- D'un problème d'usure du gel coat et plus particulièrement des pointes de diamant des ponts à l'antidérapant moulé dans la masse.

Ceci est un problème d'usure pure qui, en fait, reste du domaine esthétique.

## REPARATIONS

### GENERALITES

Les réparations effectuées par la plupart des chantiers de réparations le sont avec, généralement, du gel coat d'origine, mais avec des tissus et résines standards, sans connaissance des caractéristiques des tissus et résines d'origine.

Les principales résines employées sont des résines polyester Thixotropique. Les tissus employés sont généralement du mat et du roving polyester classiques. La résine époxy n'est généralement pas utilisée pour réparation, sauf si c'est le matériau d'origine du bateau, ou si un traitement de carène est nécessité. Les tissus Kevlar, Carbone, Unidirectionnels ne sont pratiquement pas utilisés en réparation courante.

### CAS DE REPARATIONS

- *Cas des coques raguées, rayées, endommagées sans perforation* Les réparations se font par meulage, nettoyage, dégraissage, apport de fibres préparées ("choucroute") ou de tissus et résine, masticage (souvent polyester), ponçage et finition par gel coat ou peinture. Le problème rencontré est d'ordre esthétique et touche la différence de teinte ou d'état de surface obtenu en fin de réparation. La finition par gel coat, la meilleure pour la durée de vie et la plus proche de l'état d'origine, nécessite un temps de main d'oeuvre important afin de rattraper le poli d'origine et n'est généralement utilisée que pour de petites réparations. En effet, bien souvent et malgré le travail de ponçage et lustrage effectué, le problème de la différence de teinte subsiste. Aussi, en cas de grandes surfaces griffées et raguées, la solution employée passe souvent par la peinture, principalement à 2 composants. Toutefois si la peinture d'une vieille coque polyester peut lui apporter une nouvelle jeunesse, la peinture d'une coque neuve en avarie n'est qu'un pis aller et ne rendra pas au bateau ses caractéristiques d'origine.

- *Cas de coques perforées*

Les problèmes rencontrés sont par exemple :

- l'absence d'accès à l'intérieur à cause des aménagements et contremoulages. La réparation dans ce cas se fera soit par l'extérieur avec pose d'une semelle si le dommage est situé sur les parties émergées, soit par l'extérieur et l'intérieur avec découpage du contremoulage, si le dommage est situé sur la partie immergée.

- la ramification des cassures. Lors de violents chocs, on a constaté de longues déchirures de bordés, comme sous l'effet d'un éclatement. Lorsque ces déchirures sont multiples et longues, le bateau, difficilement réparable, peut être classé en épave.

- la ramification des étoilages :

A la suite d'un choc on peut constater certains étoilages ; toutefois, il faudra attendre plusieurs semaines, voire mois, pour connaître définitivement l'importance de la surface atteinte. La réparation est alors délicate et nécessite pour bien faire, une élimination du gel coat sur toute la partie étoilée et éventuellement la pose de nouveaux tissus afin de stopper et masquer l'étoilage avant la réenduction de gel coat. Les réparations des coques perforées se font par coupe en sifflet, pose d'une semelle et rajout de tissus. Lorsque la forme de la partie à réparer est complexe, on a recours à la prise d'une empreinte sur un autre bateau identique. Ainsi la partie absente sera rebâtie dans le moule et greffée ensuite sur la coque.

## CONTROLES

Ces méthodes de réparations donnent généralement d'excellents résultats. Toutefois il n'existe pratiquement pas de contrôle réel de la qualité de la tenue de la réparation autre que le savoir faire du réparateur et le respect des conditions de mise en oeuvre, tels que séchage et dégraissage parfait de la partie à réparer, température, qualité des résines et tissus ...

## CONCLUSION

L'examen de certaines de coques en composite nous fait conclure en une balance nettement excédentaire des avantages sur les défauts.

La construction en composite, hormis certains problèmes, se révèle un très bon matériau de construction pour des petits bateaux. Au-delà d'une taille de 25 m environ, la construction métallique prend le relais.

En ce qui concerne la construction, nous n'avons pratiquement pas constaté de grosse malfaçon, à l'exception des problèmes d'osmose dus aussi bien à des composants qu'à la mise en oeuvre et la rapidité de construction.

Le composite facilite également les réparations et les modifications en leur assurant une bonne tenue.

Enfin si la mise en oeuvre du composite reste un processus chimique qui nécessite un apprentissage du respect de certaines règles de mise en oeuvre, les réparations ne nécessitent pas d'avoir recours à du personnel aussi qualifié qu'un charpentier naval.