

Une expertise par un professionnel

Conseils - Devis on-line - Forum

WWW.EXPERTMARITIME.COM.FR

Ce dossier est traité par notre confrère JJ. Mascart, Expert Maritime près La Cour d'Appel de Paris.

LE COMPORTEMENT DU STRATIFIÉ VERRE-POLYESTER GELCOATE. L'OSMOSE, UN VICE-CACHE ?

Des jugements sont rendus, des arrêts affirment, sans pour autant élucider cette question.

Pourtant, ni les composites verre polyester gelcoatés, ni l'osmose dont ils sont les victimes, ne représentent plus aujourd'hui des énigmes et mieux vaudrait ne plus croire que ces matériaux sont inaltérables au temps ou qu'ils sont à l'abri de toute pathologie de vieillissement et de tout entretien. Il nous faut au contraire en accepter les risques qui sont liés à son utilisation dans l'industrie nautique, puisque à plus ou moins long terme ses propriétés structurales se verront altérées, que ce soit par simple absorption d'eau et plastification ou par dégradation chimique, et apprendre à mieux connaître le phénomène pour anticiper sur son comportement.

Aussi le **vieillessement normal du stratifié**, constitué de fibres de verre noyées dans une résine polyester (*résine de structure*) revêtu de gelcoat (*résine de protection*) relèvera techniquement du **vice propre** alors qu'un **endommagement accéléré du stratifié** relèvera plus du **vice caché** car il s'apparentera alors à une mise en œuvre défective lors de sa fabrication. On verra plus rarement les deux vices en présence.

Pour lever une confusion, rappelons l'originalité de l'osmose qui est un phénomène physique. Il est donc exclu qu'il s'apparente à un vice quelconque. Ce sont par conséquent les causes des dégradations du matériau qui nous intéressent pour déterminer s'il y a ou non présence d'un vice caché.

Une autre confusion est de considérer que la protection unie faciale des composites au contact avec leur environnement, l'eau de mer, ne relève que des performances du gelcoat. Or on sait que les résines polyester à partir desquelles les gelcoats (GC) sont fabriqués, ne sont **pas inertes à l'eau et sont sensibles aux effets de température**.

De cette façon, l'eau migre sous forme vapeur à travers le GC qui officie comme une membrane semi-perméable dans les deux sens : absorption et désorption. En revanche, cette membrane est **impermeable aux solutés** et leur présence va gouverner, à température donnée, la cinétique du phénomène d'osmose (*dont le principe dynamique a déjà été exposé dans la revue*) et générer, le cas échéant, des dégradations structurales réversibles et irréversibles, dont la plus grave pourra être un délaminage des plis du stratifié.

Il est admis maintenant que l'**osmose** ne se manifeste, au stade de **cloques**, qu'après hydrolyse au sein du stratifié relativisant ainsi les performances du GC, mais l'absence de cloques ne garantit pas pour autant l'absence d'osmose. Or, des défauts invisibles à l'œil (*comme la présence de bulles d'air ou de solvants ou encore une sous polymérisation du GC*), entraîneront l'apparition de piqûres et de cratères microscopiques et provoqueront une perméabilité excessive du matériau (*à absorption et propagation plus rapide*) ; tout comme une sous polymérisation de la matrice liant polymère sera responsable d'une porosité et d'une perméabilité du matériau plus importante à l'eau.

L'expérience montre que le GC est généralement correctement appliqué et polymérisé en cela que c'est pour cette raison que la pression osmotique le déforme et que les cloques apparaissent ; s'il en était autrement on ne disposerait pas de **un témoin apparent** pour valider le processus d'endommagement du stratifié. Aussi, un GC appliqué de manière uniforme reste le meilleur gage d'une barrière efficace contre l'humidité ; l'application d'une trop grosse épaisseur favorisant les risques de fissuration (*un film de 400 microns paraît être une bonne épaisseur*) et est aussi le meilleur témoin de l'état du stratifié.

De toute évidence, des conditions de mise en œuvre des matériaux liés à l'environnement dépendront la qualité du stratifié de polyester obtenu ; le processus de durcissement (polymérisation) étant primordial. Le mélange renfort résine (*fibres de verre conditionnées ou assemblées noyées dans la résine de structure*) ne devient un véritable matériau composite qu'au terme d'un durcissement approprié de la matrice, c'est-à-dire quand la résine passe de l'état liquide à l'état solide par copolymérisation avec un monomère avec lequel il est mélangé (*système catalytique*) ; cette transformation doit s'opérer à température et pression ambiantes. Une variation d'humidité et de température peuvent influencer la cinétique de polymérisation, et un défaut d'adhérence constaté par exemple au niveau de l'interface gelcoat-stratifié pourrait en être la cause ou encore un défaut de mouillage de la fibre par la résine de structure.

Des porosités dans la résine de structure et/ou l'absence de mouillage des fibres de verre sont les défauts les plus courants à la base d'une sous polymérisation qui constitue par ailleurs un chemin préférentiel pour la migration de l'eau.

Les éléments d'influence susceptibles d'accélérer la cinétique des endommagements du stratifié gouvernés par l'osmose, ou de contribuer au processus, sont multiples et peuvent coexister : dosage déficient du système catalytique ; résidus catalytiques ou organiques ; agents additifs de couplage ou de mouillage ; constituants des résines ; agent de démouillage, etc...

Heureusement, pour contrôler la qualité de polymérisation d'une résine thermodurcissable, on dispose d'un critère de dureté - la dureté BARCOL, qui se mesure au moyen d'un instrument portable permettant l'essai de la dureté (*mesure non destructive du matériau*) corroborée au de polymérisation du matériau.

Si le contrôle porte sur un stratifié gelcoaté (*il s'agit d'une mesure de surface*), on devra procéder à deux mesures distinctes, celle du GC étant globalement plus rigide (*résistance à la déformation*) que celle de son support le stratifié verre polyester, pour connaître le taux de polymérisation de chacune des deux résines. Des duretés BARCOL supérieures à 40 sont requises.

L'application soignée du GC et une polymérisation correcte sont la base d'une bonne performance du matériau dans son comportement à l'eau dans le temps. Elles sont la garantie d'une protection performante à l'eau et s'opposent aux dégradations générées par l'osmose. Elles entraînent la durabilité de vie du matériau. Ainsi, de la compétence du fabricant dépendra la qualité des composites.

Rappelons enfin que les stratifiés défectueux par endommagement accéléré sont beaucoup plus rares que ceux qui sont sujets d'un vieillissement normal. D'autre part, les performances de durabilité peuvent encore être améliorées, voire doublées, avec l'utilisation de résines iso phthaliques, davantage inerte à l'eau que les résines orthophthaliques moins stables et, lorsque c'est faisable, par un mode opératoire additif : la post-cuisson du matériau permettant de

compléter la polymérisation.

Il peut être ajouté que les contraintes mécaniques auxquelles les bordés de coque sont soumis en service (fatigue, chocs, flexion ...) peuvent créer des endommagements dans le stratifié, tels que des fissures et/ou des délaminages ou de cohésion d'interface fibres résine, constituant ainsi autant de sites osmotiques et amplifiant localement les contraintes de service (sites de concentrations de contrainte).

L'interprétation ci-dessus illustre bien la complexité physico-chimique du matériau dans sa mise en œuvre et au cours de sa fabrication et face à une logique de rigueur il conviendrait d'opposer une logique d'expertise en respectant une procédure normalisée lorsque le phénomène se manifeste, qui pourrait comporter 3 volets distincts : les mesures in situ ; les prélèvements puis les analyses en laboratoire.

1 - Protocole de mesures non destructives de la carène :

Périodicité : A l'occasion d'un carénage, en présence ou non de bulles surfaciques et/ou de cloques au niveau de l'interface gelcoat-stratifié ou au sein du stratifié, compte tenu qu'un délaminage par osmose des plis d'un stratifié ISO ne se manifeste pas toujours par des cloques.

- Mesure d'humidité relative (TRAMEX, SOVEREIGN ...)
- Vérification dureté BARCOL du GC et du stratifié ;
- Mesure du pH sur liquide osmotique interne aux cloques (si odeur=styrène défaut de polymérisation/ si odeur= acide acétique dégradation du mat (hydrolyse liant)) ;
- Mesure des cloques, du nombre et de leur localisation ;
- Mesure par ultrasons si carène sèche (délaminage, défauts de mouillage, fissures) ou par tapping.

2 - Protocole de prélèvements sur la carène :

En cas de manifestation évidente de l'osmose :

- Prélèvement limité au GC (écailles ~ 15x15mm) si bulles surfaciques ;
- Prélèvement par carottage échantillon de la carène (dia.~ 50mm) ou ;
- Prélèvement par découpage (couteau) des strates sous-jacentes (~ 70x35mm) ;

Ces opérations pourraient être complétées par la prise de macrophotographies couleurs des sites osmotiques et de l'état apparent du stratifié (hydrolyse des fibres et/ou délaminage - zones blanches opaques dans stratifié translucide).

3 - Protocole d'analyses en laboratoire : (rédigé en collaboration avec le Dr CASTAING du CETIM de NANTES - département polymères & composites) :

Périodicité : Dans le cas d'un prélèvement de la carène :

Analyse de la constitution et de l'endommagement de la paroi ;

- Analyse des résines (identification) par infrarouge,
- Analyse enthalpique différentielle (AED ou DSC) par mesure du Tg (% polymérie.),
- analyse thermogravimétrique (teneur eau/humidité),

Analyse des dégradations

- Observations de coupes par microscopie électronique à balayage (MEB)
- Observations de coupes par microscopie électronique à balayage (MEB) (mise en évidence de dé cohésions fibre/résine ; porosités de mise en œuvre, fissures, cloques ou délaminage d'origine).

Rapport de synthèse.

C'est **exclusivement** à partir de la synthèse **des résultats ainsi obtenus** que la **nature** du vice puisse être **déterminée** et qu'enfin seront réunis les éléments certains permettant de se prononcer en Droit.