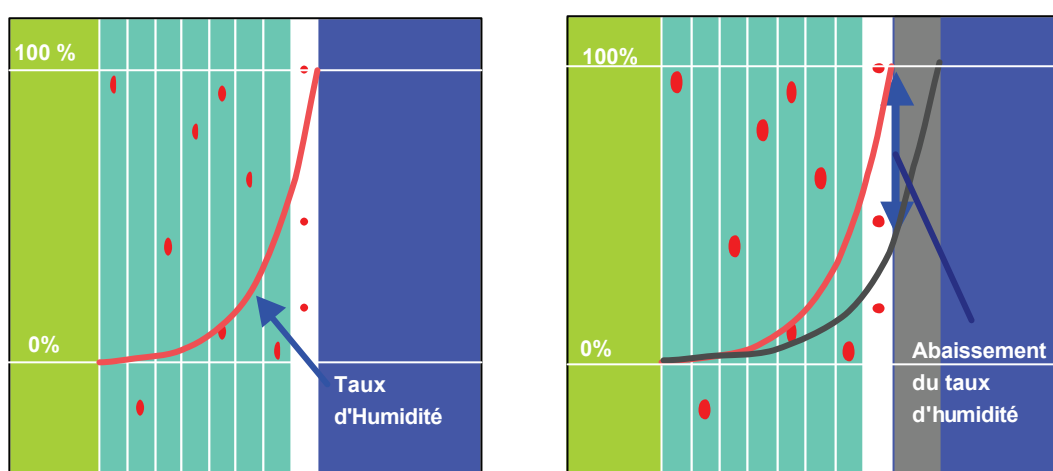


Osmose, Gelshield Plus et Produits Associés

Depuis l'apparition des premiers bateaux en stratifié polyester / fibre de verre sur le marché de la navigation de plaisance au milieu des années 1960, il est clairement apparu que ce matériau n'est pas sans entretien comme cela fut parfois affirmé à une époque. Le temps et l'usure réclament leur tribut et l'aspect des navires de plaisance se dégrade progressivement. Depuis quelques années, il est admis que « l'osmose » est un problème affectant un pourcentage non négligeable de navires.

La meilleure prévention de l'osmose consiste à dresser une barrière entre le bateau et l'eau. L'application des revêtements époxydiques Gelshield Plus sur les surfaces immergées de la coque est, sans conteste, le moyen le plus efficace pour atteindre ce but. Gelshield Plus réduit le taux de pénétration de l'eau dans la coque, ce qui est la clé du succès dans le combat contre l'osmose.

Effet des revêtements époxydiques sur le taux d'humidité des coques en stratifié :



Sans protection

Avec protection époxydique

Le système Gelshield Plus produit par International offre une solution tant pour la prévention que pour le traitement de l'osmose.

✘®, International® et tous les produits mentionnés sont des marques déposées de, ou exploitées sous licence par, Akzo Nobel.

© Akzo Nobel, 2003

International Peinture SA

12, rue Théodore Maillart BP1291 76068 Le Havre Cedex tel. :+33 (0)2 35 22 13 56 Fax :+33 (0)2 35 22 13 52

Compréhension et Evaluation de l'Osmose

Introduction

Le polyester / fibre de verre a pris une place prépondérante au milieu des années 1960. Ce fut le premier matériau de construction navale élaboré par réaction chimique par le chantier naval lui-même au stade de la construction. La commodité et le succès de cette méthode de construction sont reflétés par la rapidité avec laquelle le polyester renforcé de fibre de verre est devenu le matériau dominant en matière de construction de bateaux de plaisance.

Comme c'est le cas avec la plupart des nouveaux produits, certains avantages ont été affirmés et mis en avant. Au moins deux de ces avantages – l'absence d'entretien et la durée de vie illimitée - étaient exagérément optimistes. Le mythe du stratifié de fibre de verre, matériau sans entretien, a volé en éclats dans un délai d'un an ou deux après son apparition sur le marché ; la prolifération végétale et animale se développait parfaitement sur le stratifié et il fallait donc appliquer un antifouling.

Ce n'est cependant qu'au milieu des années 1970 qu'un inconvénient majeur du stratifié polyester / fibre de verre fut mis en évidence : le stratifié se détériorait par simple immersion prolongée, et parfois avec une précocité alarmante dans la durée de vie d'un bateau. Ce processus de dégradation a pris le nom d'osmose, selon le nom du mécanisme physique à l'origine de nombreux cas de détérioration, bien qu'il ne s'agisse pas réellement d'osmose au sens strict du terme.

Dans le contexte particulier de la navigation de plaisance, le terme 'osmose' a fini par s'appliquer à la totalité du spectre des défauts du gelcoat et du stratifié, qui se manifeste par l'apparition de cloques sur le gelcoat, dans la plupart des cas après immersion dans l'eau.

Le présent document comprend :

Un passage en revue des principaux défauts du gelcoat et des stratifiés et leurs causes.

Une assistance aux experts, chantiers navals et propriétaires de bateaux par l'identification du type de problèmes auxquels ils sont susceptibles d'être confrontés avec une coque en stratifié de fibre de verre.

Les systèmes de traitements préventifs et curatifs développés par International, sur la base d'une étude scientifique détaillée du problème.

Vue d'Ensemble des Programmes de Recherche sur l'Osmose

Dans la période qui a suivi les premières apparitions de cloques osmotiques perçues comme un problème inhérent aux bateaux en stratifié, la première hypothèse a été de mettre en cause la peinture. Par conséquent, International a lancé un vaste programme de recherche sur ce sujet, dans l'intention de prendre la mesure du problème et en fin de compte d'y remédier.

Cependant, il est devenu rapidement évident grâce à un examen approfondi de nombreux échantillons d'écaillés de peinture, que la pression destructive ne venait pas du film de peinture, mais de l'intérieur du stratifié et que c'était cette pression interne qui provoquait le cloquage de la peinture. Un programme de recherche fut alors lancé pour étudier plus en détail le stratifié et le gelcoat utilisés pour la construction des coques de bateaux. Les caractéristiques et les différences entre les stratifiés osmotiques et les stratifiés sans osmose furent isolées et comparées en vue de déterminer clairement l'origine du problème et son mode de propagation.

Des recherches plus approfondies mirent en évidence les principales réactions chimiques indésirables se produisant dans le stratifié. Ces recherches ont directement contribué au développement de produits et traitements allongeant significativement la durée de vie des bateaux de plaisance.

Une série de tests et d'essais visant à déterminer les meilleures propriétés de barrage a été mise en œuvre en même temps que de nombreuses applications pratiques pour confirmer les caractéristiques nécessaires pour faciliter l'application du traitement dans un environnement de chantier naval.

Le résultat de ces recherches a abouti à la mise sur le marché de deux produits qui constituent le cœur du système Gelshield : le Gelshield et le Gelshield 200. Avec l'avancée de la recherche et

l'apparition de nouveaux matériaux, le Gelshield est maintenant surpassé par l'introduction sur le marché du Gelshield Plus.

Causes et Symptômes Généraux de l'Osmose

La résine polyester est utilisée pour la fabrication de la plupart des coques en stratifié de fibre de verre. Cette résine qui se présente sous la forme d'un liquide visqueux, est fabriquée par la réaction d'un acide polyfonctionnel avec un alcool polyhydrique renforcé. Il se produit une réaction en chaîne dans laquelle l'eau produite par la réaction des ingrédients de base doit être éliminée.

En y incorporant un catalyseur sous forme de peroxyde, le fabricant de bateaux provoque le passage de ce liquide visqueux à l'état solide.

Le processus d'osmose est généralement attribué à une des trois causes de base suivantes :

Pénétration d'eau depuis l'extérieur de bateau.

Pénétration d'eau depuis l'intérieur de bateau, cale par exemple.

Présence d'impuretés réactives dans la résine.

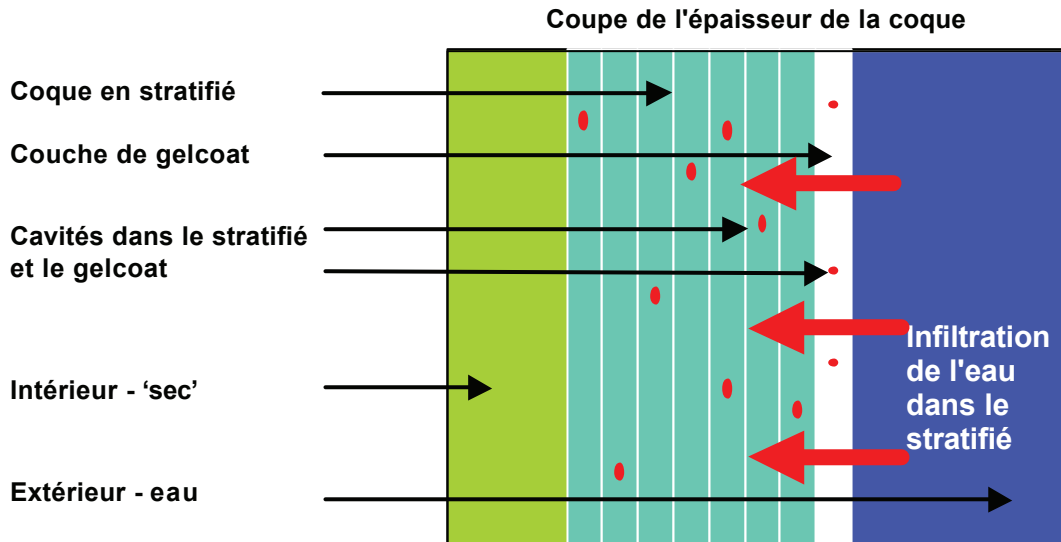
Dans 85% des cas étudiés, il a été démontré que la pénétration d'eau est à l'origine du problème. Il est maintenant possible de remédier à ce type d'osmose avec des résultats satisfaisants. Dans cette situation, l'eau réagit à la présence d'impuretés dans le stratifié, dans le polyester lui-même ou dans le revêtement du stratifié pour former des substances acides libres. Dans ce processus, appelé hydrolyse, l'eau sépare les éléments constitutifs de la résine. Il est cependant intéressant de noter que tous les polymères (plastiques), sont, à un certain degré, perméables à l'eau et à la vapeur d'eau, mais que c'est la présence à l'état de traces, de composants n'ayant pas réagi lors du processus de fabrication de la résine qui conduit à sa décomposition et finalement au démarrage du processus de ce que l'on nomme "osmose".

Les 15% de cas restants, où les impuretés réactives ou les défauts de stratification sont la cause du problème, sont les plus difficiles à traiter. Il est possible que la réaction chimique soit incomplète au moment de la fabrication de la résine, c'est-à-dire qu'environ 0,1% de l'acide ou de l'alcool reste 'libre' dans la résine. Dans ce cas la résine utilisée par le chantier naval est incapable de suivre un processus complet de polymérisation. Il en résulte que les molécules 'libres' d'acide ou d'alcool participent à des réactions chimiques secondaires, indésirables et involontaires se produisant à l'intérieur du stratifié. De plus le catalyseur peroxyde et tous les autres accélérateurs utilisés ne deviennent pas des composants de la matrice solide et restent présents sous forme d'impuretés à l'intérieur du stratifié. Il a été démontré que les constituants présents à l'état de traces, réagissent aux éléments présents dans l'eau pour générer des éléments composites qui créent une pression mise en évidence par le cloquage du gelcoat.

Le problème apparaît généralement dans les deux ou trois premières années suivant la fabrication de la coque. Il prend des formes multiples, et même en cas de diagnostic précoce, il n'est pas toujours possible d'arrêter la réaction. Il est par conséquent, parfois impossible de traiter ce type d'osmose, et dans le cas contraire, les traitements opérés ne peuvent pas être considérés comme efficaces à 100% même si, en tout état de cause, ils peuvent allonger significativement la durée de vie de la coque.

Étapes de l'Osmose

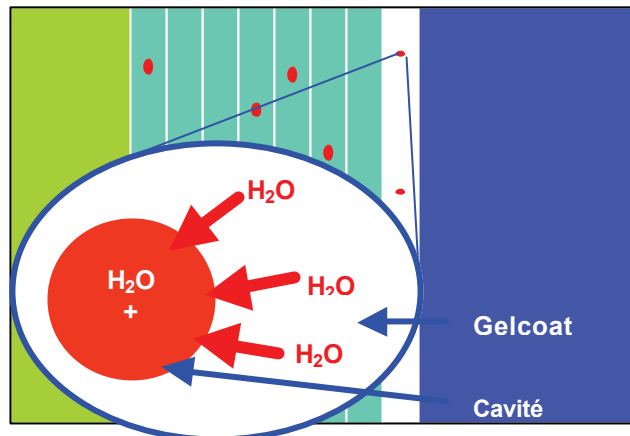
Étape 1 – Pénétration de l'eau



Étape 2 – Création de solution dans les vides

Initialement dans le Gelcoat, là où le taux d'humidité est le plus élevé. Puis plus profondément à l'intérieur du stratifié à mesure de la progression du processus.

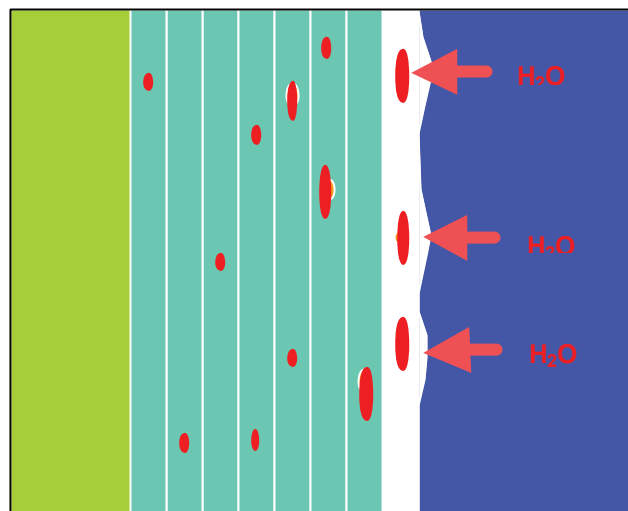
La concentration d'humidité entame le processus de décomposition de la résine par hydrolyse.



Étape 3 – Formation de cloques

Les cellules de concentration formées, aspirent davantage d'eau, ce qui provoque la formation et le développement de cloques.

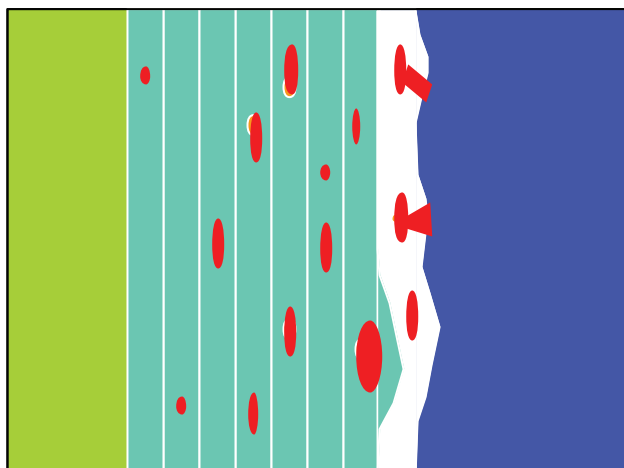
L'augmentation de la pression tend également à accélérer la décomposition de la résine délamérée.



Etape 4 – Dégradation du stratifié

La poursuite de la décomposition de la résine et l'augmentation de la pression dans les cloques provoquent l'éclatement de certaines d'entre elles.

Plus profondément dans le stratifié, la présence de cloques importantes peuvent provoquer la délamination du stratifié et finalement sa dégradation.



Facteurs Favorisants

Au stade de la fabrication, plusieurs facteurs peuvent concourir à produire une coque incapable de résister à l'osmose après une longue période d'immersion. Ces facteurs trouvent leur origine à la fois dans la qualité des matériaux de base utilisés pour la construction, dans le savoir-faire du chantier ou dans une combinaison de ces deux types de facteurs.

Matériaux de base

La fibre de verre liée par émulsion : le tissu de verre, nécessite la présence d'une enduction pour maintenir les fibres en place avant leur mise en œuvre et permettre à la résine d'y adhérer. L'utilisation d'une émulsion (généralement un composé modifié de PVC/PVA) se caractérise par la sensibilité à l'eau ; elle réagit à la présence dans le stratifié ce qui se traduit par la production d'un fluide caractéristique âcre et vinaigré (acide acétique) remplissant les cloques du gelcoat. C'est la raison pour laquelle il est préférable d'utiliser un tissu de verre à liaison par poudre.

La porosité du gelcoat provoquée par une réaction insuffisante de la résine lors de sa fabrication.

L'utilisation de pigments sensibles à l'eau pour colorer le gelcoat. Certains pigments rouges et bleus sont hydrophiles.

La présence d'eau dans la résine : la fabrication de la résine s'accompagne d'une production de grandes quantités d'eau. Cette eau doit être éliminée au moment de la fabrication mais il arrive qu'une petite quantité reste dans la résine constituant ainsi une impureté.

Stockage du tissu de verre dans un local humide puis utilisé dans un environnement légèrement humide.

Les exemples sont nombreux en construction navale, d'utilisation de matériaux de base suffisamment hors normes pour que la totalité du stratifié produit soit instable. Les deux exemples ci-dessous sont parmi les plus fréquents :

Résine riche en acide. Il subsiste parfois un pourcentage excessif d'acide, lors de la production de la résine, à l'étape de la réaction acide/alcool. Ce phénomène a pour effet de laisser un résidu d'acide libre qui favorise, par la suite, le cloquage de la résine. Le phénomène inverse peut se produire, ce qui se traduit par un taux excessif d'alcool.

Force du peroxyde catalyseur inférieure à la norme. Les peroxydes utilisés comme catalyseur dans la fabrication de stratifié de fibre de verre sont des substances relativement instables dont la durée de stockage est limitée. L'utilisation de catalyseurs âgés, périmés ou entreposés dans de mauvaises conditions peut se traduire par une polymérisation insuffisante de la résine.

Dans ces deux cas la réaction, une fois démarrée, est irréversible et il n'est généralement pas possible de traiter la coque de manière satisfaisante.

Problèmes de fabrication

Gelcoat insuffisamment polymérisé à cause d'un dosage insuffisant en catalyseur. Gelcoat cassant en raison d'un dosage excessif du catalyseur, souvent matérialisé par des craquelures en étoile (faïençage).

Gelcoat présentant des cratères (trou d'épingle), phénomène se traduisant par une diminution de son épaisseur effective.

Gelcoat non lié au stratifié à cause d'un délai excessif entre son application et la suite de la stratification.

Imprégnation insuffisante du tissu de verre sous le gelcoat, transformant les fibres en mèche par lesquelles l'humidité s'infiltré dans le stratifié.

Fibres de tissu de verres saillantes, pénétrant dans le gelcoat avec pour effet d'en diminuer l'épaisseur efficace.

Mauvaise imprégnation de la fibre à l'intérieur de la coque favorisant l'infiltration de l'eau de la cale dans le stratifié.

Rapport résine/verre : normalement, le fabricant définit le rapport résine/verre correct pour chaque type de stratifié. L'insuffisance de résine peut conduire à un stratifié sec et poreux.

Adhérence insuffisante de la résine sur la fibre en raison de la taille des fibres ou du produit d'enduction appliqué sur la fibre de verre lors de sa fabrication.

Température et Salinité de l'Eau

Dans tous les types d'osmose, la température du stratifié, définie par la température de l'eau dans laquelle la coque est plongée, est un facteur déterminant. Le processus de l'osmose est basé sur une série de réactions chimiques et un stratifié donné se dégrade plus rapidement en eau chaude qu'en eau froide.

La salinité de l'eau est également importante. En effet, l'eau a tendance à vouloir diluer les solutions concentrées générées par les réactions d'hydrolyse sous le gelcoat afin d'équilibrer les concentrations. Ce phénomène sera plus rapide et important en eau douce qu'en eau salée.

Pour ces raisons, deux bateaux identiques peuvent montrer des différences significatives de résistance à l'osmose selon leurs conditions de mouillage et le fait qu'ils soient à flot en permanence ou hivernés au sec.

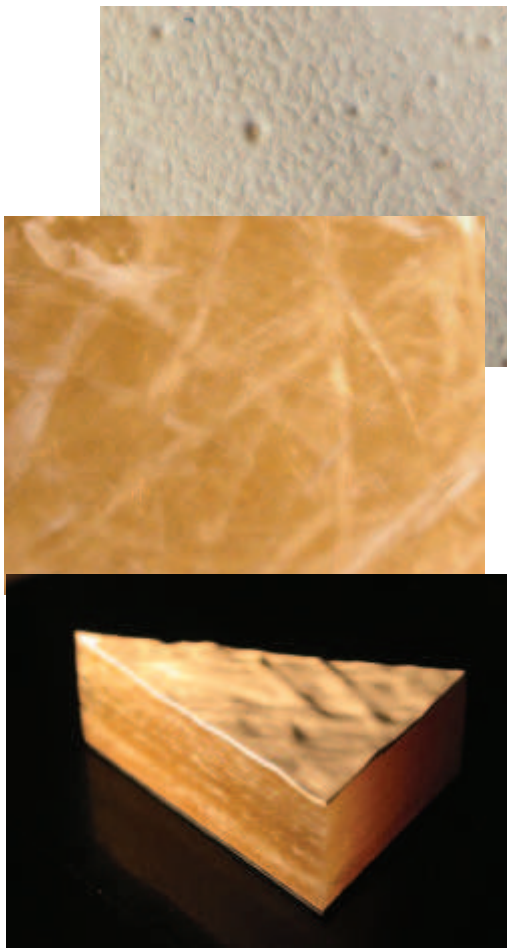
Examen Visuel

L'inspection de la coque avec une loupe à fort grossissement (x10 ou davantage), permet de déceler la tendance éventuelle d'une coque à l'absorption d'eau. Les défauts suivants, lorsque vous les découvrez au-dessus de la ligne de flottaison, sont susceptibles de se répéter sur les œuvres vives, masqués sous l'antifouling et par conséquent, souvent difficiles à repérer.

Ecaillage en étoile. L'écaillage en étoile indique que le gelcoat est craquelé, peut-être à cause d'une polymérisation trop rapide ou de chocs. Le risque d'infiltration d'eau via les craquelures est évident.

Microfissures. Toute présence de microfissures dans le gelcoat révèle une tendance identique.

Trous d'épingle. De petits cratères et porosités de la taille d'une tête d'épingle ou la présence de micro-bules dans le gelcoat en réduisent l'épaisseur effective. Ce qui peut avoir des conséquences graves en zones immergées. Le moment venu, l'eau s'infiltrera nettement plus dans la coque. Plus le gelcoat est fin, plus l'infiltration d'eau dans la coque est rapide.



Surface de stratifié de fibre de verre grossie 32 fois et montrant des trous d'épingles dans la surface pigmentée.

Fibres proéminentes. Ces fibres sont parfois visibles en saillie sous ou à travers le gelcoat. Ces fibres agissent comme des "mèches" favorisant l'infiltration d'eau dans la coque par capillarité.

Cloques. Ce phénomène se produit normalement en dessous de la ligne de flottaison et se traduit par la présence de bulles sur l'antifouling. Dans ce cas, il est indispensable d'éliminer la couche d'antifouling pour établir avec certitude l'origine du problème.



Manifestation Invisible

De nombreux symptômes de défaut du stratifié sont invisibles à l'œil nu. Des problèmes tels que l'insuffisance d'imprégnation ou la faiblesse structurelle de la fibre de verre nécessitent généralement une analyse plus approfondie. Le prélèvement d'un échantillon de stratifié (carottage), peut être une précieuse source d'information.

Par exemple :

Découverte d'un délaminage de la structure.

Découverte de bulles, jusqu'à présent masquées par la pigmentation et maintenant visibles dans l'épaisseur du gelcoat.

Le rapport résine/fibre de verre peut être incorrect. Il est possible de déterminer le rapport résine/fibre de verre grâce à la mise en œuvre d'un test relativement simple.

Symptômes d'Absorption d'Eau

Il est difficile pour le propriétaire d'un bateau de plaisance de déterminer s'il est en présence d'un phénomène d'absorption sauf dans le cas où cette absorption a atteint un degré tel que le bateau est considérablement plus enfoncé dans l'eau qu'à la normale. Il est nettement plus difficile de constater le phénomène sur les grands bateaux.

Les appareils servant à mesurer la teneur en humidité des coques de bateaux de plaisance fonctionnent généralement sur le principe de la conductibilité électromagnétique. Les valeurs relevées peuvent néanmoins être influencées par divers paramètres. De plus ces appareils ne mesurent qu'un taux d'humidité mais ne permettent pas de déterminer si l'absorption d'eau est encore réversible et sans conséquences majeures ou si des réactions d'hydrolyse ont déjà démarré.

Examen des Fluides Contenus dans les Cloques

L'apparence des cloques sous la ligne de flottaison est l'indication majeure d'un problème du stratifié. Les cloques apparaissent sous la forme de dômes ou, dans le cas où la pression les a fait éclater, sous forme de cratères.

L'analyse du fluide contenu dans les cloques est la méthode la plus courante de diagnostic du problème rencontré par la coque. Trois caractéristiques sont faciles à tester sur site :

- L'odeur du fluide contenu dans les cloques : une forte odeur de vinaigre (souvent confondue avec du styrène) indique la présence d'acide acétique, qui est un produit hautement réactif. La pression s'accumule à mesure que l'acide réagit au contact de diverses substances. Le problème majeur est généré par le calcium, présent à la fois dans l'eau douce et dans l'eau de mer et qui forme des acétates de calcium. Cette réaction chimique génère une pression suffisante pour créer une cloque. Il y a généralement suffisamment d'acide acétique libre dans la cloque pour que l'odeur soit sensible.

- La consistance du fluide contenu dans les cloques, roulé entre le pouce et l'index. Une consistance grasseuse, similaire à celle du liquide vaisselle ou de l'antigel, est dûe à la présence de glycol dans la résine. Le glycol libre est soluble dans l'eau.
- L'acidité ou l'alcalinité du liquide peut être mesurée à l'aide de papier pH. Le test le plus fiable est obtenu par une mesure effectuée sur le liquide libéré juste au moment de la rupture de la cloque. Le pH neutre - eau distillée par exemple – est le pH 7. Les résultats généralement obtenus en testant les cloques du stratifié de fibre de verre sont les suivants :

pH 5-pH 6 : pH acide.

C'est de loin, le résultat le plus souvent obtenu. Il signifie que des acides libres ont hydrolysé l'émulsion présente sur les fibres, produisant de l'acide acétique et d'autres composés acétiques. Dans certains cas, le résultat de la mesure est descendu jusqu'à un pH4.

pH 7 : pH neutre.

Ce résultat est parfois obtenu sur des bateaux mouillés en eau douce ou saumâtre.

pH 8- pH 8.3 : Cloques remplies d'eau de mer.

L'eau a imbibé le gelcoat.

pH 9 : pH alcalin.

Résultat très rare indiquant que des accélérateurs aminés ont été utilisés lors du moulage de la coque ou, éventuellement, lors de la fabrication de la résine. Ce résultat est tout à fait inhabituel sur les coques modernes et ses conséquences ne sont donc pas décrites dans ce document.

Evaluation de la Gravité du Problème

International recommande aux propriétaires de bateaux dont la coque montre un cloquage, de prendre l'avis d'un expert ou d'un professionnel du traitement. Les aspects pris en compte lors de cet examen incluent l'âge du navire, le type et l'importance du cloquage. L'étude du phénomène de l'osmose par International, amène aux observations suivantes :

Age du Navire

En cas de problème affectant la carène d'un bateau récent, il convient d'en informer le constructeur, en raison du caractère inhabituel du phénomène et de l'intérêt particulier que celui représente pour le chantier.

Par contre, l'apparition d'un cloquage osmotique sur une coque ayant quelques années peut souvent être assimilée à un vieillissement normal du stratifié et les désordres peuvent être réparés par la mise en œuvre d'un système adapté.

Certaines coques ne présentent aucun défaut après de très nombreuses années. Dans ce cas deux hypothèses sont possibles, soit les conditions de leur construction les rendent particulièrement résistantes aux agressions de l'eau, soit leur gelcoat est devenu suffisamment poreux pour que la dégradation du stratifié se produise sans formation de cloques. Ce second cas est le plus difficile à aborder car seule une mise à sec et un suivi du séchage régulier du stratifié permettra de penser qu'aucune dégradation par hydrolyse est en évolution.

Nature et Etendue des Cloques

Il appartient à l'expert de déterminer si le cloquage est localisé ou général ; il est parfois inutile d'éliminer tout le gelcoat si seule une surface réduite et parfaitement localisée est affectée. Dans ce cas il est important d'établir le type et la cause probable du cloquage pour en déduire les risques d'extension au reste de la coque :

Un cloquage en tête d'épingle émanant de trous d'épingle peut mettre en évidence un gelcoat mal mélangé, d'autres indices permettront de dire si une réaction chimique est à l'origine du problème.

Il faut éclater les cloques pour découvrir si elles sont remplies de liquide ou sèches. Dans le premier cas, il convient de tester le liquide à l'aide de papier pH.

Les cratères de cloques doivent être examinés à la recherche de fibres saillantes et d'une couche de tissu de verre sec. Si besoin est, il faut décoller un petit échantillon de gelcoat pour évaluer son adhérence au tissu de verre du stratifié qu'il recouvre.

Si le stratifié semble très sec, il convient de réaliser une mesure du rapport résine/fibre de verre.

Zone de la coque à traiter.

En cas de cloquage général, il faut éliminer la totalité du gelcoat. En présence de quelques cloques disséminées, le remède, souvent provisoire, peut se limiter à leur traitement individuel. La coque devra alors faire l'objet d'un suivi rigoureux, les quelques cloques traitées étant le plus souvent les premiers symptômes d'un problème général à venir.



Traitement Préventif et Curatif

En fonction des conclusions de l'examen il faut prendre trois options sont à considérer :

Option 1.

Conclusion de l'expertise : Gelcoat en bon état, pas d'osmose déclarée.

Recommandation – Système de traitement préventif.

Bien qu'aucune osmose ne semble être présente, le risque reste permanent pour tous les bateaux en stratifié polyester / fibre de verre. Pour réduire ce risque au minimum, appliquez une épaisseur adéquate de revêtement époxydique (**Gelshield 200**) sur la coque pour créer une couche barrière entre le gelcoat et l'eau. Ce traitement retardera significativement l'apparition de toute osmose susceptible de se produire.

Option 2.

Conclusion de l'expertise : Présence d'osmose avec cloquage du gelcoat.

Recommandation – Système de traitement curatif

L'élimination de la totalité du gelcoat peut s'avérer nécessaire, suivie du remplacement de celui-ci par un film de **Gelshield Plus** à l'épaisseur recommandée, pour créer une couche barrière efficace après préparation et un séchage en profondeur du support.

Option 3.

Conclusion de l'expertise : – cloquage prononcé accompagné de cratères dans le gelcoat et le stratifié qu'il protège.

Recommandation – Elimination du gelcoat et des zones de stratifiés affectées.

Préparation et séchage en profondeur avant la re-stratification avec le système de résine époxy **Epiglass** et application du système de couche barrière **Gelshield Plus**