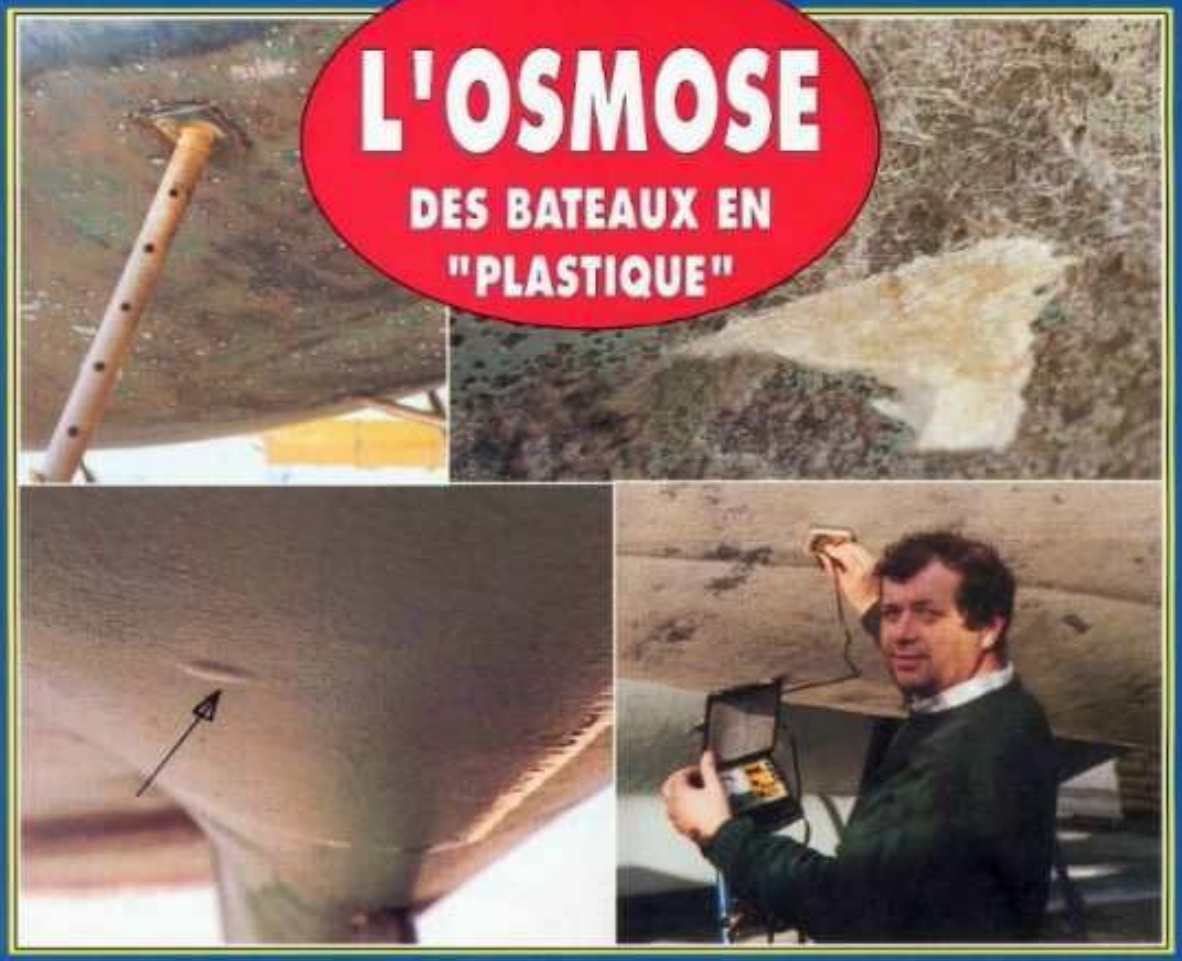
C . M . EL .

Gérard BOULANT

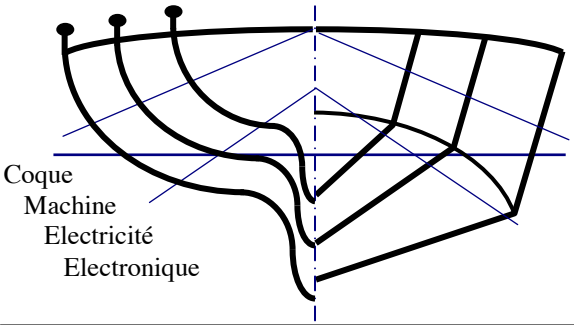
Expert maritime

DE COQUES EN CLOQUES

L'OSMOSE DES BATEAUX EN "PLASTIQUE"



C.M.EL. Gérard BOULANT



Ingénieur ICAM
Expert Maritime – Marine Surveyor
Plaisance voile/moteur – Servitude – Militaire

L'édition du livre papier est épuisée depuis 2005. Il n'y aura pas de nouvelle édition papier. Je mets gratuitement à disposition cette édition électronique. Vous pouvez le lire, l'imprimer, le diffuser. Il est « libre de droits ».
Les mises à jour sont indiquées et écrites en rouge.
J'en ai profité pour le présenter sur deux colonnes, plus faciles à lire. Le passage de Word à Adobe-Pdf modifie la mise en page, les « à-la ligne », les « à-la page ». Il peut rester quelques imperfections de présentation, vous m'en excuserez.

****

JE N'AI PAS LA SCIENCE INFUSE
ET JE M'EN EXCUSE,
MAIS J'AI DE L'EXPERIENCE
ET C'EST LA MA CHANCE.
DE L'OSMOSE
J'EN AI MA DOSE.
JE VOUDRAIS VOUS EN FAIRE PART
AVANT QU'IL NE SOIT TROP TARD.

****

Présentation de l'auteur

Ingénieur ICAM (Institut Catholique des Arts et Métiers de Lille) de formation, il a toujours travaillé dans des chantiers de construction navale :

CMN (Constructions Mécaniques de Normandie) à Cherbourg, chantier constructeur des "Vedettes de Cherbourg" : ingénieur d'essai, ingénieur d'affaires puis responsable du bureau d'études exécution.

Chantier Henri Wauquiez, chantier réputé pour la qualité de ses constructions : Directeur Technique.

Quelques références en travaux d'expertise :

"CHARENTE MARITIME TBS" : ULDB - course Vendée Globe de 1989 - Composite sandwich High-Tech - 18 m.
-"DOG WATCH II" : de Nigel Burgess. ULDB - Transat anglaise et course Vendée Globe de 1992 - Composite sandwich High-Tech - 18 m.
"ISTRANKA" : motor yacht de l'ex président Tito. Acier/alu - 50 m.
"ARRAYAN" : la référence en matière de voilier charter de luxe. Aluminium - 28 m.
"VENDREDI 13" : le premier grand bateau en stratifié polyester - 1972/40 m.
"JUANA ARGENTINA" : une beauté classique de bois verni et de bronze de 40 ans. Construction bois classique - 20 m.

Quelques références en travaux d'ingénierie navale :
KELT OCEANS 14.10 : vedette à moteurs de 14 m/30 Nds. Conception et dessins d'échappements sous-marins.

PREFACE

Cet ouvrage, destiné aux plaisanciers non spécialistes en stratification ou en vieillissement de matériaux composite se situe à la portée de tout un chacun pour expliquer clairement la nature du processus d'osmose qui se développe sur une coque de bateau et les moyens de réparation et de prévention pour limiter ce phénomène.

Le vieillissement est la dégradation plus ou moins lente et irréversible des propriétés au cours du temps (tout matériau et plus particulièrement les composites, évoluent inéluctablement au cours du temps), il peut être de différentes natures :

- mécanique : effet du vent, de la fatigue, de vibrations, du choc des vagues, de la pression
- biologique : effet des moisissures, fouling, micro-organismes
- physique : absorption d'eau, cycles d'humidification-séchage, éclaboussures, gel, amplitude thermique
- chimique : oxydation, effets du rayonnement ultraviolet, hydrolyse des résines.

Ces diverses sollicitations peuvent se combiner pour favoriser le processus d'osmose au travers de la coque de bateau. L'osmose est un phénomène de transport de matières au travers d'une membrane semi-perméable, c'est-à-dire perméable à un solvant comme l'eau, mais imperméable à des solutés comme les sels. Ce transport de solvant est engendré par une différence de concentration en solutés (petites molécules solubles dans l'eau et d'origine organique ou minérale) de part et d'autre de la membrane : le flux d'eau tend à rééquilibrer les concentrations des deux côtés de la membrane. Cet afflux d'eau dans le compartiment de plus forte concentration - tendance à la dilution - crée une pression sur la membrane, que l'on appelle pression osmotique.
Ce phénomène est d'une importance considérable puisqu'il régit les flux d'eau et donc les concentrations en solutés intracellulaires des êtres vivants.
Le processus permet également l'acheminement de l'eau dans les plantes et dans les arbres, souvent à des hauteurs considérables : dans ce cas, le phénomène est véritablement un "pompage osmotique". Enfin, si une force mécanique s'oppose à l'afflux d'eau au travers de la membrane et renverse le flux de solvant, une désalinisation, une purification de l'eau est obtenue par "osmose inverse" : c'est le principe de fonctionnement des usines de production d'eau douce à partir de l'eau de mer.

L'osmose est un phénomène naturel dans les matériaux composites car il est lié à la présence d'un milieu de faible concentration saline - l'eau de mer ou l'eau fluviale - une membrane semi-perméable - le gelcoat, le stratifié - et un milieu à forte concentration en solutés - porosités, fissures - dans le matériau ; l'absorption et la condensation de l'eau dans ces défauts ont préalablement permis une solubilisation de sels ou de matières hydrophiles - aisément solubles comme des molécules résiduelles d'acide, de glycol, créant un site d'osmose à très forte concentration. De la même manière que précédemment, l'osmose est une "pompe à eau" fonctionnant par différence de concentration. Si la coque était homogène et constituée d'un seul matériau, aucun dommage n'apparaîtrait. Il se trouve qu'une coque est constituée d'un gelcoat et d'un empilement de fibres tissées ou non, imprégnées de résine. Entre ces couches et dans la résine elle-même, des défauts comme des porosités existent et ainsi chaque couche peut se comporter comme une membrane semi-perméable à part entière : la pression osmotique générée dans ces défauts entraîne alors un gonflement, un cloquage, voire une décohésion des couches.

Il convient de préciser à ce niveau qu'il n'y a qu'un seul processus d'osmose, mais que ce dernier peut entraîner différentes dégradations plus ou moins conséquentes sur la structure elle-même. Le phénomène peut soit affecter superficiellement le gelcoat, soit toucher à plus long terme l'intégrité du stratifié par décohésion des couches verre-résine. Il est nécessaire de bien réaliser que le phénomène est inéluctable dans la vie d'une structure fibre de verrre-polyester insaturé : l'osmose est un vieillissement naturel qui apparaît généralement très tard dans la vie d'un bateau, sauf cas particuliers relatés par les médias, où des accidents dans la formulation des constituants de base des matériaux ont accéléré le phénomène. Le processus d'osmose peut néanmoins être limité et presque éradiqué (de la même manière que la corrosion des métaux peut être freinée) par un choix convenable de constituants (résine, mat ...), et un contrôle qualité de toutes les étapes de fabrication, de l'approvisionnement matières, du produit fini et par un examen des carènes au cours de la vie d'une coque de bateau.

La mise en oeuvre délicate des composites et la modernité de cette industrie, somme toute récente, nécessitent en effet des garanties de qualité dans le but de satisfaire les besoins du client en ce qui concerne le maintien des performances pendant la durée de vie "économique" de la structure. La mise en place d'une procédure d'assurance qualité, en l'absence d'une normalisation complète, doit donc être réalisée à plusieurs niveaux pour éviter toute non-conformité et limiter ainsi le phénomène d'osmose.

Le souci de qualité doit incomber en premier lieu aux fournisseurs de matières premières :

- fibres : ensimage, liant ...
- résines : résidus de condensation - étape de fabrication, taux de solvant, taux d'eau ...
- catalyseur : taux d'oxygène actif, d'eau oxygénée, nature du flegmatisant ...

Puis en second lieu aux chantiers de fabrication, suivant trois étapes et par des contrôles simples, peu onéreux :

- contrôle résine et gelcoat (réactivité, taux de solvant), système catalytique, tissus, mats, charges, démoulants
- contrôle du processus de mise en oeuvre : moule, état de surface, stratification, cuisson, étuvage, température et humidité ambiante ...;
- contrôle du produit fini : porosité, polymérisation par mesure de dûreté, examen dimensionnel, liaison peau-âme d'un sandwich.

Enfin en troisième lieu, le possesseur d'une coque de bateau se doit de procéder à un examen annuel de la carène pour détecter l'apparition de microbulles, écaillage, fissures ou autres défauts, afin d'agir avant que le stratifié ne s'endommage en profondeur.

Seul un souci permanent de qualité, tel qu'il existe en aéronautique et plus récemment dans l'automobile en ce qui concerne le domaine des matériaux composites permettra d'améliorer les performances et le comportement des coques verre-polyester en milieu marin et ainsi de satisfaire les besoins de l'acquéreur.

Ph. CASTAING, Responsable du Service Physico-Chimie et Vieillissement, Département Polymères et Composites - CETIM (Nantes).

L. LEMOINE, Responsable du Laboratoire Matériaux Marins, Département Génie Océanique - IFREMER (Brest).

SOMMAIRE

****

CHAPITRE 1 : QU'EST CE QUE L'OSMOSE ?

1°) DEFINITION DU TERME "OSMOSE"

2°) APPLICATION AUX BATEAUX EN "PLASTIQUE" (STRATIFIE POLYESTER)

2-1 : CAS TYPIQUE
2-2 : Différentes formes et particularités rencontrées
- 2-21 : Bulles localisées dans une bande assez large
- 2-22 : Cloques caverneuses, en petite quantité
- 2-23 : Cloques caverneuses à l'intérieur du stratifié
- 2-24 : Pénétration de la fibre de verre à la surface du gelcoat
- 2-25 : 0smose par emploi de produits hydrophiles
- 2-26 : 0smose sur les vieux bateaux
- 2-27 : 0smose sans gelcoat
- 2-28 : Osmose dans les fonds du bateau

3°) OSMOSE ET DELAMINAGE

4°) OSMOSE SUR LA PEINTURE DES BATEAUX EN ACIER

5°) BATEAUX EN BOIS PLASTIFIE
- 5-1 : BOIS CLASSIQUE
- 5-2 : BOIS MOULE OU CONTRE-PLAQUE PLASTIFIE

****

CHAPITRE 2 : COMMENT TRAITER L'OSMOSE

1°) DECAPAGE DU GELCOAT
- 1-1°) SABLAGE
- 1-2°) RABOTAGE
- 1-3°) RABOTAGE PUIS SABLAGE
- 1-4°) DISQUAGE

2°) SECHAGE
- 2-1°) SECHAGE NATUREL A L'EXTERIEUR
- 2-2°) VENTILATEUR CHAUFFANT
- 2-3°) ABSORBEUR D'HUMIDITE
- 2-4°) DESHUMIDIFIEUR ELECTRIQUE
- 2-5°) REMARQUES
- 2-6°) CONTROLE DE L'HUMIDITE DU STRATIFIE
- 2-7°) TEMPS DE SECHAGE

3°) TRAITEMENT PROPREMENT DIT
- 3-1°) "GELSHIELD" D'INTERNATIONAL
- 3-2°) VC SYSTEME D'EXTENSOR-INTERNATIONAL
- 3-3°) SYSTEME AQUASTOP DE VENEZIANI
- 3-4°) SYSTEME BRIGNOLA
- 3-5°) QUELQUES CAS PARTICULIERS
  - Bateaux sans gelcoat
  - Décapage du gelcoat par rabotage
  - Cas de délaminage

4°) LES TRAITEMENTS NOUVEAUX
- 4-1°) EXTRACTION DE L'HUMIDITE PAR LE VIDE
- 4-2°) LE SECHAGE PAR CHALUMEAU A AIR COMPRIME - HYAB
- 4-3°) LE TRAITEMENT IMMAC-BOAT CARE

REMARQUES FINALES

Mises à jour 2008

****

CHAPITRE 3 : ETUDE DE CAS

1°) UN PREMIER EXEMPLE INATTENDU POUR FIXER D'EMBLEE L'ETENDUE DU PROBLEME

2°) CAS TYPIQUES ET PEU GRAVES
- 2-1°) CAS D'UN BATEAU RECENT
- 2-2°) CAS MONTRANT L'HUMIDITE HABITUELLE SUR UN BATEAU DE 10 ANS
- 2-3°) CAS MONTRANT QUE L'OSMOSE EXISTE MEME POUR UN BATEAU BIEN CONSTRUIT PAR UN CHANTIER TRES REPUTE

3°) L'OSMOSE DES "VIEUX BATEAUX"

4°) LA OU ON ATTEINT LES CAS GRAVES
- 4-1°) CAS D'UN BATEAU ANCIEN : HUMIDITE IMPORTANTE ET DEGRADATION IMPORTANTE DUES A L'AGE DU BATEAU
- 4-2°) A CLASSER DANS LES DEFAUTS DE FABRICATION
- 4-3°) JUSQU'OU IL VAUT MIEUX NE PAS ALLER

5°) CAS PARTICULIERS :
- bateau sans gelcoat
- bateau avec deux couches de gelcoat - cloquage superficiel
- zones remplies de mousse
- cas particulier de rechute après un traitement

6°) OSMOSE DES FONDS INTERIEURS DU BATEAU

****

CHAPITRE 4 : JEU DE QUESTIONS / REPONSES POUR MIEUX COMPRENDRE.

****

CHAPITRE 5 : LES COUTS DE REPARATION

****

CHAPITRE 6 : LES BATEAUX NEUFS

1°) TRAITEMENT PREVENTIF

2°) LES PRINCIPAUX ELEMENTS D'UN STRATIFIE
- 2-1°) LA RESINE POLYESTER
- 2-2°) LE GELCOAT
- 2-3°) LE RENFORT : LA FIBRE DE VERRE
- 2-4°) LE SYTEME CATALYTIQUE

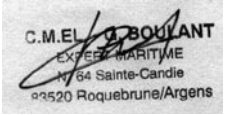
3°) LES ESSAIS DE RESISTANCE A L'OSMOSE

4°) RESULTATS DE CES ESSAIS ET APPLICATION A LA CONSTRUCTION DES COQUES
- 4-1°) TYPE DE RESINE POLYESTER
  - ABSORPTION D'EAU
  - HYDROLYSE DE LA RESINE
  - CONCLUSION
  - LES RESINES VINYLESTER
- 4-2°) LE GELCOAT
  - GELCOAT SANS ECAILLE DE VERRE
  - GELCOAT AVEC ECAILLES DE VERRE
- 4-3°) LE LIANT DES MATS DE VERRE
- 4-4°) NATURE DE L'AGENT DE COUPLAGE
- 4-5°) NATURE DU VERRE DE LA FIBRE
- 4-6°) SYTEME CATALYTIQUE
- 4-7°) CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE
- 4-8°) CONCLUSION : PRODUITS QUI COMMENCENT A ETRE DE PLUS EN PLUS EMPLOYES PAR LES CHANTIERS, POUR LES CONSTRUCTIONS NEUVES

Mises à jour 2008

****

EN GUISE DE CONCLUSION
GLOSSAIRE TECHNIQUE
SOURCE BIBLIOGRAPHIQUE



Illustrations photographiques.
- auteur
- Chantier Henri Wauquiez) avec leur
- Jamestown Boat Yard - USA) aimable
- VETROTEX) autorisation

CHAPITRE 1 : QU'EST CE QUE L'OSMOSE ?

POUR GARDER UN CARACTERE DE VULGARISATION A CE PREMIER CHAPITRE, CERTAINS ASPECTS SONT VOLONTAIREMENT SIMPLIFIES : PAR EXEMPLE CE CHAPITRE NE TRAITE PAS DES DIFFERENTES QUALITES DES RESINES, GELCOAT, LIANT DES FIBRES ETC....CELA SERA DETAILLE AU CHAPITRE 6.

Par contre on peut tout de suite consulter ce chapitre 6, paragraphe 2° : "LES PRINCIPAUX ELEMENTS D'UN STRATIFIE" si l'on veut d'abord se familiariser avec les termes gelcoat, résine, catalyseur, mat, roving, etc....

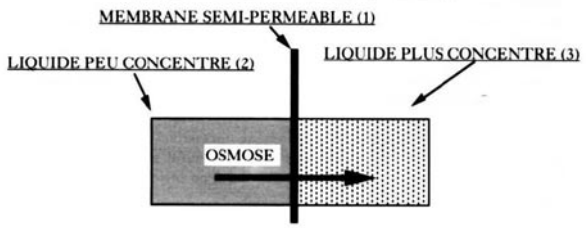
1°) DEFINITION DU TERME "OSMOSE"

Le terme"osmose" définit un phénomène physique mettant en jeu trois acteurs :

- une membrane semi-perméable (1)
- un liquide "peu concentré" (2)
- un liquide "plus concentré" (3)

Les concentrations tendent à s'égaliser, c'est-à-dire que le liquide "peu concentré" (2) va passer à travers la membrane (1) pour diluer le liquide "plus concentré"(3).

Figure 1 - PRINCIPE DE L'OSMOSE



Premières remarques :

- la membrane semi-perméable (1) : c'est une membrane perméable à un solvant (l'eau) et imperméable aux solutés (sels).

  Nota : quand on parle ici de "sel", il ne s'agit pas du sel de l'eau de mer salée mais du sel qui est le résultat de l' "attaque" par un acide (Acide + Base = "Sel" + Eau).

La membrane (1) doit être "semi-perméable", c'est-à-dire "presque complètement imperméable".
Une membrane parfaitement imperméable (c'est-à-dire étanche à 100%) ne produira pas le phénomène.
Au contraire, une membrane peu étanche ne produira pas le cloquage mais favorisera l'hydrolyse de la résine, ce qui est tout aussi grave, nous le verrons plus loin.

- le liquide "peu concentré" (2), c'est l'eau de mer ou l'eau douce si le bateau est utilisé sur lac.
- le liquide "plus concentré" (3) sera le résultat de l'hydrolyse de la résine dans le stratifié. Il n'existe donc pas au départ, et s'il ne se crée pas, il n'y aura pas d'osmose.
- plus la différence de concentration des deux liquides est forte, plus la pression osmotique, qui lui est liée, sera élevée et le phénomène grave. C'est le cas avec l'eau douce (bateaux sur lac). Au contraire, en Mer Rouge où la salinité est plus élevée, le phénomène de l'osmose sera moins conséquent.

2°) APPLICATION AUX BATEAUX EN "PLASTIQUE" (STRATIFIE POLYESTER)

2-1) CAS TYPIQUE

Le passage de l'eau à travers le gelcoat va avoir deux actions au cours du temps :

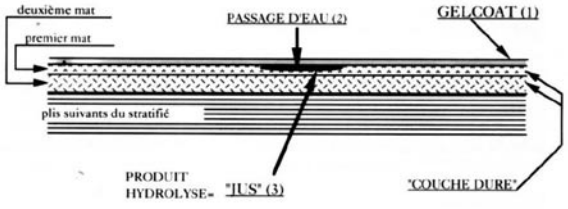
- la première est réversible et n'entraîne pas de dommage.
- la deuxième est irréversible et les dégradations qu'elle entraîne ne pourront être effacées.

Dans un premier temps il va y avoir ce que l'on appelle la "plastification" et le gonflement de la résine : l'eau pénètre entre les molécules de la résine polyester polymérisée sans casser les liaisons chimiques. Il y a un simple gonflement et une diminution de la dureté : la mesure de la dureté BARCOL du gelcoat par exemple, montre une baisse de 45 environ (valeur classique pour une résine bien polymérisée) à 30 (la résine est plus "molle") sur la carène et même à 20 (la résine est encore plus "molle") dans les endroits fortement chargés en gelcoat (parties verticales d'un aileron de safran par exemple).
Cette plastification est un phénomène réversible c'est-à-dire que si le matériau est séché, l'eau disparaît et la résine reprend son état d'origine sans avoir été endommagée puisque l'infiltration d'eau ne brise pas les liaisons inter-molécules de la résine polyester polymérisée.
Mais ce gonflement vaut déjà la peine d'être mentionné car :

- s'il est très différent entre gelcoat (ISO par exemple) et résine de stratification (ORTHO par exemple) il y a risque de décohésion entre les deux couches.
- la résine qui veut gonfler en est empêchée par le brin de fibre de verre sur lequel elle est accrochée : risque de décohésion entre la fibre et la résine.

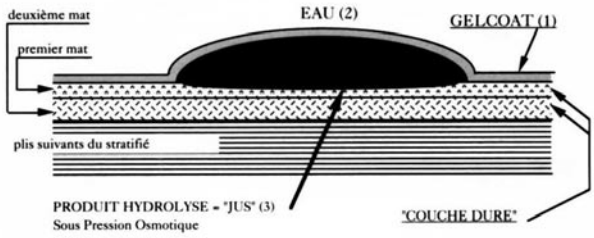
Dans un deuxième temps il va y avoir hydrolyse et développement du processus de l'osmose : l'eau (c'est notre liquide "peu concentré", donc notre acteur n°2 du paragraphe précédent) passe à travers le gelcoat (c'est la membrane, donc notre acteur n°1).
Derrière le gelcoat, il y a des produits hydrolysables, c'est-à-dire que l'eau peut attaquer et décomposer.
Le résultat de cette hydrolyse est un liquide concentré (c'est donc notre acteur n°3) qui ressemble à de l'acide acétique ou du vinaigre (il en a l'odeur caractéristique), appelons le "jus".
Ce jus, cette solution concentrée, est une solution contenant des produits provenant principalement, soit de la résine polyester, soit de l'ensimage ou du liant de la fibre de verre, soit du catalyseur, soit d'une partie des composants de base qui n'ont pas été combinés (polymérisation incomplète) etc...
Le chapitre 6 concernant les bateaux neufs, fait mention de ces différentes possibilités. Pour l'instant contentons nous de cette appellation simple.

Figure 2 - DEBUT DE L'OSMOSE
AVANT FORMATION DE LA BULLE



Pour l'instant la coque demeure saine, aucun défaut n'est apparent. Mais voyons la suite. Les trois acteurs étant en scène, l'osmose peut se développer : l'eau va continuer à passer à travers le gelcoat pour diluer le "jus". La pression du "jus" sur la membrane va donc augmenter (c'est la pression osmotique) au point d'être suffisante pour pousser sur le gelcoat et le déformer : la bulle naît et elle grossit tant que l'égalité des concentrations n'est pas réalisée.

Figure 3 - OSMOSE APRES FORMATION DE LA BULLE



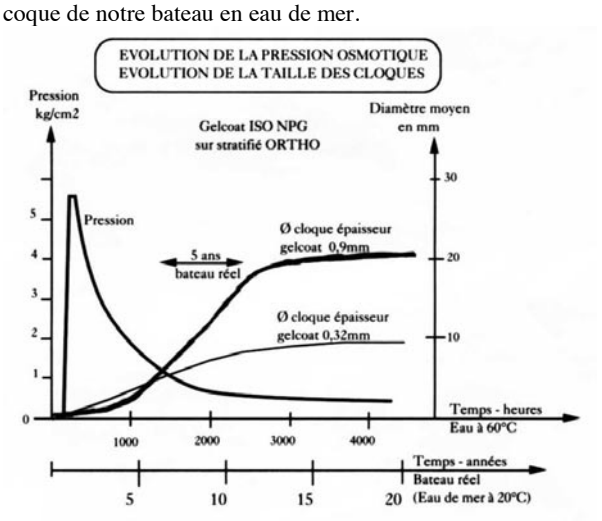
Ce type de dégradation par osmose, le plus classique et correspondant parfaitement à l'appellation de cloquage, a lieu entre le gelcoat et le premier pli du stratifié mais non dans le stratifié. La résistance de la structure n'est pas encore mise en cause.

Regardons quelques photos :

- PHOTOS 1-1 et 1-2 : cas classique : petites bulles rondes à la surface du gelcoat et grosse cloque isolée.
- PHOTO 1-3 : un ponçage léger fait apparaître la densité des cloques.
- PHOTO 1-4 : une grosse cloque crevée : la fibre de verre qui apparaît n'est plus enrobée par la résine.
- PHOTO 1-5 et 1-6 : ce que l'on voit après sablage.

Nota : un laboratoire hollandais (TNO de Delft - Hollande) a calculé que la pression osmotique générée par le "jus", compte tenu du poids moléculaire moyen des composants, peut être de 4,8 kg/cm2, ce qui est assez élevé (3 fois environ la pression d'un pneu !) et ce qui explique la formation aisée des bulles. Cela explique aussi que cette pression puisse créer un délaminage, c'est-à-dire un arrachement des plis des tissus entre-eux.

L'IFREMER a montré que cette pression est très variable dans le temps : elle monte rapidement lors de la formation de la cloque à un maxi de 5 kg/cm2, puis redescend pour se stabiliser à une valeur faible (0,3 kg/cm2).
Attention, cela ne veut pas dire que les cloques vont grossir puis diminuer pour presque disparaître. Non, bien que la pression diminue, la déformation de la cloque reste permanente car c'est la membrane qui se "prête", elle a un comportement viscoélastique.
La taille et la pression varient évidemment en fonction de la nature du gelcoat (ses caractéristiques mécaniques) et de son épaisseur.
On voit aussi que de 5mm (taille où la cloque commence à se voir) à la taille maximale, il faut pratiquement 5 ans pour la coque de notre bateau en eau de mer.



Cette osmose va se développer en profondeur pour atteindre le stratifié lui-même, en général jusqu'à la "couche dure" (les premiers mats de verre - voir Fig. 2 ou 3) et même plus loin si la coque n'est pas traitée. Sur des bateaux anciens des cloques ayant pénétré jusqu'à 9 mm de profondeur dans le stratifié (sur une épaisseur totale de 20 mm) ont été observées. La résistance de la structure est donc sérieusement mise en cause car l'osmose va prioritairement occasionner une décohésion entre la résine polymérisée et la fibre de verre. Or dans un matériau composite hétérogène comme le stratifié, la résistance mécanique est assurée par les fibres de verre très résistantes, liées entre elles par la résine polyester qui assure la cohésion et le transfert des charges de l'une sur l'autre.

2-2) DIFFERENTES FORMES ET PARTICULARITES RENCONTREES

2-21 : Bulles localisées dans une bande (assez large : 50 à 90 cm) située sous la flottaison.

Lors de la fabrication, le gelcoat est projeté sur tout le moule, puis on stratifie la "couche dure" (c'est-à-dire les deux premières couches du stratifié) du "franc-bord" (partie de la coque située entre la flottaison et le liston).
Des gouttelettes de résine sont projetées sur le gelcoat nu de la partie sous flottaison. Cette résine, non couverte, va perdre du styrène qui s'évapore et donc la polymérisation de ces gouttes ne va pas se faire correctement.
Les cloques osmotiques apparaîtront sous la forme de petites bulles bien rondes et très denses à l'interface gelcoat/1ère couche de verre (mat).

2-22 : Grosses cloques, en petite quantité, laissant place à une "caverne" lorsque la cloque est crevée : lors du moulage des "francs-bords" des amas (et non pas de simples gouttelettes) de résine sont tombés sur le gelcoat nu. Autre raison possible : l'ébullage (action de presser sur le rouleau lorsqu'on stratifie) est insuffisant, laissant des amas importants de résine ou des vides. Ces zones riches en résine autour de ces vides sont attaqués par l'eau plus facilement lors du développement de l'osmose. Les cloques apparaissent à l'interface gelcoat/1ere couche de verre (mat).

2-23 : Cloques, et lorsqu'elles sont crevées la "caverne" se situe à l'intérieur du stratifié, c'est-à-dire entre deux plis, généralement entre la "couche dure" et les plis suivants. Ceci indique un ébullage insuffisant et une mauvaise imprégnation verre/résine donc une fabrication de moindre qualité.

Cas plus grave : en appuyant à un endroit sur la coque, le "jus" s'évacue ailleurs, un peu plus loin.

La cause principale est souvent le délai d'attente entre couche dure (2 premiers mats) et le reste de la stratification. En particulier "la coque du vendredi soir" qui est reprise en stratification le lundi, ou plus tard si c'est un week-end prolongé, ou le moule qui est "protégé" pendant la période des congés par un gelcoat + 2 mats et la stratification est reprise telle quelle à la rentrée.

Si cette dégradation par osmose dure depuis longtemps, un délaminage important peut se produire mettant en cause le stratifié lui-même et donc la résistance de l'ensemble.

2-24: Pénétration de la fibre de verre à la surface du gelcoat :
PHOTO 1-7
Si la stratification des premiers "mat" de verre se fait alors que le gelcoat n'est pas dur (non suffisamment polymérisé), les fibres de verre peuvent pénétrer dans le gelcoat et affleurer à la surface. Ces fibres serviront de canaux d'arrivée d'eau, c'est-à-dire que l'eau remontera le long des fibres en faisant son hydrolyse. L'osmose apparaîtra sous forme de petites déformations de forme allongée, ou de "grain de riz" oblongs et non plus ronds. En surface un léger gonflement longiligne apparaît, le long d'une fibre du mat comme un poil de pinceau collé sur de la peinture fraîche.
Il y a alors "marquage" du gelcoat par la fibre. Ce marquage ne doit pas être confondu avec le marquage classique dû au retrait de la résine lorsqu'elle polymérise et qui permet de deviner les tissus (les rovings) lorsqu'on regarde la coque en lumière rasante.

2-25 : Osmose par emploi de produits hydrophiles (avides d'eau) :

Ces produits hydrophiles peuvent exister au sein des matières premières utilisées pour fabriquer le stratifié : résine, gelcoat, liant des fibres de verre, émulsion des fibres de verre, catalyseur (cas du diluant du PMEC, le diéthylène-glycol par exemple).
Le phénomène d'osmose est alors accéléré par la présence de ces produits résiduels.
L'humidité peut aussi s'introduire dans la matière pendant la période de stockage : c'est le cas de la fibre de verre (mat et roving) en particulier.
Dans tous ces cas, il y aura présence d'eau au sein même du stratifié dès sa fabrication, l'hydrolyse se produira alors plus rapidement.

2-26 : L'osmose des "vieux bateaux" :

Il s'agit des bateaux de 15 à 20 ans d'âge ou plus : à cette époque les gelcoats étaient de moins bonne qualité et plus perméables. L'eau est passée à travers, a hydrolysé la résine et le "jus" s'est formé mais le gelcoat est tellement perméable (c'est une "passoire", ça sort aussi facilement que ça rentre) que la pression osmotique ne peut pas s'établir, il n'y a donc pas de bulle visible sur l'extérieur de la coque qui paraît saine. Pourtant si on fait des mesures, on verra que le taux d'humidité du stratifié est élevé et si la coque est sablée on voit alors les "cratères" qui sont les endroits où l'hydrolyse s'est produite : le stratifié est bel et bien dégradé.

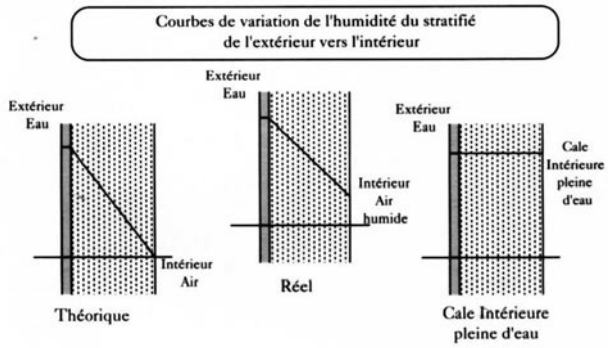
Ceci répond à la remarque souvent entendue : "les vieux bateaux étaient mieux fabriqués puisqu'ils n'ont pas l'osmose". En fait, ils subissent le phénomène même si les dégradations ne se voient pas extérieurement. Seules des mesures d'humidité du stratifié peuvent détecter ce type de dégradation par osmose. Elles confirmeront la pénétration d'eau dans le stratifié.
En fait, dans ce cas, le terme d'osmose n'est pas tout à fait exact puisqu'il n'y a pas de pression osmotique et pas de bulle, il faudrait plutôt employer le terme "d'endommagement interne par l'eau" (plastification, hydrolyse) qui caractérise la dégradation pure et simple du stratifié par l'action de l'eau.

2-27 : L'osmose sans gelcoat :
PHOTO 1-8
A une certaine époque, certains bateaux ont été fabriqués sans gelcoat : passage dans le moule d'une couche de résine (au lieu de gelcoat) puis dépose des mats et rovings de verre et stratification habituelle.
Cette pratique était beaucoup utilisée par les chantiers anglais qui y trouvaient une économie (le gelcoat est plus cher que la résine), dans une partie qui n'avait pas besoin de l'aspect esthétique que procure le gelcoat puisque la coque est recouverte par l'antifouling. A l'époque l'aspect "barrière d'étanchéité" du gelcoat n'avait pas été mis en relief, le processus d'osmose étant alors inconnu.

La paroi étant très perméable (c'est une "passoire"), l'établissement de la pression osmotique n'a pas pu se réaliser. Il n'y a donc pas de bulle, tout paraît parfait.
Par contre, extérieurement, des petites tâches blanches sont visibles dans le stratifié : la résine autour des fibres s'hydrolyse et en ces endroits il n'y a plus de liaison entre les renforts (fibre de verre) et la matrice (résine) : donc perte de résistance mécanique. Seules des mesures d'humidité du stratifié peuvent détecter ce genre d'endommagement par osmose.
Ce cas se rapproche donc du cas précédent (il s'agit essentiellement d'une attaque chimique (hydrolyse) pure et simple du stratifié par l'action de l'eau.

2-28 : Osmose dans les fonds du bateau :
Le phénomène peut se développer si continuellement et depuis des années, de l'eau, en quantité importante, reste dans les fonds, et si les fonds ne sont pas gelcoatés car le gelcoat, bien que partiellement perméable, assure une protection non négligeable.
Moyennant ces conditions, il n'y a aucune raison pour que le mécanisme ne se produise pas.

Dans cette optique, certains chantiers réputés, vont jusqu'à gelcoater l'intérieur des raidisseurs - les varangues - en forme d'U renversé, avant de les déposer et de les stratifier dans les fonds.
D'après les deux courbes de gauche, le processus d'osmose a lieu d'abord à l'extérieur. D'après la courbe de droite, l'osmose



peut aussi avoir lieu à l'intérieur. Mais la dégradation par osmose à l'extérieur n'est jamais due à l'eau des fonds de cale, elle est due aux années et aux années d'immersion dans l'eau.

3°) OSMOSE ET DELAMINAGE
Dans certains cas, la dégradation par osmose peut amener un délaminage du stratifié entre 2 couches. Mais généralement le phénomène touche la peau externe du stratifié, la couche dure, donc entre les deux premiers mats ou entre le deuxième mat et la suite.
Cependant dans le cas de vieux bateaux (20 à 25 ans d'âge) fabriqués sans gelcoat ou avec un gelcoat très mince (sans paroi semi-perméable réelle), la superposition de plusieurs couches de stratifié arrive à jouer ce rôle de paroi semi-perméable. Lorsque les cloques se forment et deviennent visibles, elles se situent au niveau du 3ème ou 4ème tissu de verre, le délaminage est alors souvent présent, assez étendu et demeure difficile à traiter.
PHOTO 1-9
Il est des cas où le délaminage se produit soit à moitié de l'épaisseur c'est-à-dire au 4ème ou 5ème tissu soit au niveau

de la couche dure mais d'une façon si uniforme et si facile que son origine n'est pas osmotique.
Il s'agit d'un délaminage pur et simple, résultat d'une construction de mauvaise qualité due soit à un arrêt trop long en cours de moulage soit à un ébullage insuffisant.

L'arrêt trop long en cours de moulage peut se produire au cours de l'arrêt dû à un week-end prolongé, à la période des congés, à l'abandon momentané de la fabrication du bateau en question, non encore vendu, au profit d'un autre modèle vendu et devenant urgent. Une reprise tardive du moulage associée à un ébullage insuffisant de cette nouvelle couche peut amener des délaminages aussi graves que spectaculaires.
L'ébullage insuffisant peut se rencontrer en cas de volonté du chantier de baisser les temps de fabrication. Ce peut être le cas momentanément, par exemple lors de ventes dopées à l'exportation par le cours du dollar et que la fabrication a du mal à suivre.
Ce peut être le cas constamment, par décision délibérée de diminuer par ce moyen les coûts de production.
Il n'est pas du tout immoral ni malhonnête qu'un chantier cherche à diminuer les coûts de fabrication. C'est même vital compte tenu de la concurrence et c'est souhaitable pour que ce soit moins cher pour le client. Mais comme dans toute activité économique humaine il y a des choix à faire entre le coût du nécessaire, de l'utile, du mieux, de l'inutile, de l'inutile mais qui fait vendre parce que l'impact commercial est une réalité qui doit aussi être prise en compte. Le rapport qualité/prix, sous tous ses aspects, est là. Et pour simplifier abusivement, disons que ça ne sert à rien de faire un bateau qui n'aura jamais l'osmose si son coût fait fuir tout acheteur. De même qu'à l'inverse, ça ne sert à rien de faire un bateau simple et pas cher s'il n'intéresse personne autrement dit qu'il ne répond pas, ou plus, à un besoin de la clientèle. Parce que le marché n'est pas fait par les professionnels seuls bien qu'ils aient un poids important, il est fait aussi par l'attente ou l'exigence des clients et par la réponse qu'ils donnent aux produits proposés par les professionnels.

4°) L'OSMOSE "PEINTURE" DES BATEAUX EN ACIER

La coutume est de penser que l'osmose ne touche que les coques en stratifié. L'osmose touche aussi les coques en acier :
- la membrane semi-perméable c'est le film de peinture.
- la cloque se produit entre le film de peinture et l'acier.

Quand cela arrive, le film de peinture est alors enlevé (sablage) et la peinture est refaite sans que personne ne soit horrifié par ce problème. On sait et on admet que cela fait partie des inconvénients de la construction en acier.
Notons que cette osmose "peinture" peut se produire pour n'importe quel matériau, y compris le stratifié : des cloques peuvent se former sous le film de peinture anti-fouling. Il ne faut pas la confondre avec la "vraie" osmose, celle qui est dans le matériau.

5°) BATEAUX EN BOIS PLASTIFIE

Ce sont les bateaux en bois où la coque a été recouverte de tissus de verre imprégnés de résine.

5-1°) BOIS CLASSIQUE

La construction en bois classique se fait en utilisant des planches ou des lames de bois massif pointées sur la structure (les couples), sans collage. Cela donne une coque qui "joue" de deux points de vue :
- d'abord parce que le bois massif lui même "joue". Il va diminuer ou augmenter de volume suivant ses variations d'hygrométrie.
- ensuite parce que les liaisons par pointage, et non collage, n'empêchent pas ces liaisons de "jouer".

Il en découle que l'adhésion du revêtement "plastique" va se dégrader dans le temps, d'autant plus que dans la plupart des cas la plastification aura été faite sur un bateau ancien dont le bois aura été séché imparfaitement.
La plastification de ce type de bateau est donc toujours une mauvaise solution à long terme.
Il faut souligner que plastifier une pièce massive en bois est toujours une erreur. La plastification n'arrivera pas à suivre les variations dimensionnelles de cette pièce.

Mais peut-il y avoir osmose pour ces bateaux ?

Il ne peut pas y avoir de cloquage puisqu'il n'y pas de gelcoat donc pas de paroi semi-perméable. Par contre l'hydrolyse de la résine peut se faire puisque l'eau pénètre assez facilement dans le polyester. La résine disparaît progressivement et il ne reste que la fibre de verre qui semble "lessivée" et sèche.

5-2°) BOIS MOULE OU CONTRE-PLAQUE PLASTIFIE

Dans ces constructions, la superposition des couches croisées-collées et collées ensemble à la structure (couples ou lisses) apporte une invariabilité dimensionnelle propre à recevoir une plastification. Cette plastification se fait généralement à la construction, lorsque le bois est encore sec. Pour une plastification faite après utilisation du bateau le problème du séchage du matériau avant plastification se pose. Des mesures d'humidité du bois permettent de le contrôler.

La plastification se fait par association d'une résine et de tissus de fibre de verre (mat ou tissu roving léger). La principale résine utilisée est la résine polyester classique.
Pour les mêmes raisons qu'indiquées précédemment, il ne peut pas y avoir d'osmose et donc il n'y aura jamais de bulle. Par contre il y aura aussi hydrolyse et disparition progressive de la résine.
Le film de peinture apporte une légère barrière à la pénétration de l'eau, heureusement, mais bien imparfaite. Sur un bateau plastifié de douze ans on verra nettement des zones où la fibre de verre parait sèche c'est-à-dire non enrobée de résine. Ce n'est pas parce que la stratification a été mal faite en cet endroit, manque de résine et mauvaise imprégnation, mais parce que la résine a disparu, "bouffée" par l'eau. Il faudra repasser de la résine ou du mastic époxy en ces endroits à titre d'entretien pour prolonger la plastification.

Mais on peut se demander si le but que l'on voulait atteindre, l'est réellement ?

Le but de la plastification du bois est :
- assurer une étanchéité parfaite par rapport aux anciens bateaux bois de construction classique. Or une construction bien faite en bois moulé ou contre-plaqué est déjà étanche. C'est vrai que l'addition d'une plastification l'améliore encore.
- procurer une protection contre les parasites xylophages, tarets par exemple. Pour cela la plastification est tout à fait valable.
- protéger le bois de la pénétration par l'eau pour que ses qualités de résistance mécanique soient meilleures. Sur ce point la plastification apporte une solution très imparfaite et en fait pernicieuse : au bout de quelques années, aux endroits hydrolysés puis partout, le bois devient aussi humide que s'il avait été protégé par une simple peinture.
- éviter qu'en cas de choc ou raguage, le bois soit mis à nu : pour cela la plastification est tout à fait valable puisqu'elle constitue un film résistant car armé de fibre de verre.

- pour les bateaux en contre-plaqué il faut protéger la tranche du contre-plaqué, apparente aux bouchains, cette protection devant se faire par une baguette collée dans l'angle du bouchain.
C'est une opération assez gourmande en temps de fabrication. On a pensé que la plastification apportait une étanchéité suffisante pour se passer de cette baguette collée. Encore une fois c'est très imparfait.
- diminuer l'entretien : y a t'il moins d'entretien avec un stratifié peint qu'avec un bois peint ? Je pense que le problème est très similaire. D'autre part, il est plus facile de faire une reprise de peinture que de réparer des décollements localisés de la plastification qui ne manqueront pas de se produire.
- masquer toutes les imperfections du bordé : ajustements aux bouchains, têtes de clous : de ce côté la plastification est valable.

Personnellement, et pour l'avoir expérimenté sur mon propre bateau en contre-plaqué plastifié, je ne pense pas, aujourd'hui, que la plastification avec une résine polyester soit une solution parfaite.

D'autres plastifications sont faites avec des tissus de verre et résines époxy, beaucoup plus chères et plus délicates de mise en œuvre. La protection est bien meilleure mais pas éternelle car les résines époxy de ce type ne sont pas, elles non plus, étanches indéfiniment.
De même, les coques en bois moulé saturé d'époxy ont une meilleure protection qu'avec du polyester mais encore une fois pas éternelle non plus. D'autre part ce n'est pas un film armé, il est donc moins résistant. On compense cela par le fait que le bois étant saturé c'est-à-dire gavé de résine, la protection est suffisamment profonde pour rester efficace en cas de raguage superficiel.

Pour les coques plastifiées avec une résine polyuréthane, genre PPU, il n'y a pas beaucoup d'éléments de comparaison mais il semble que la résistance à l'hydrolyse ne soit pas meilleure qu'avec le polyester, d'après les constatations que j'ai pu faire. D'après les fabricants, la résistance chimique globale, et peut-être la durabilité, sont meilleures pour une PPU.

Pour les mêmes raisons que pour le bois classique, rappelons que sur un bateau en bois moulé, s'il est pourvu d'une quille extérieure en bois massif ou en lamellé épais, il ne faut pas plastifier cette quille. La coque, sans la quille, doit être plastifiée. Puis la quille, non plastifiée, doit être rapportée extérieurement malgré le désavantage de perdre pour cette pièce la protection contre les tarets.

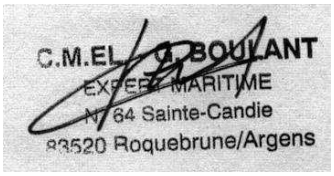
****

Finissons en refaisant un parallèle entre bois et stratifié du point de vue du comportement à l'humidité :

- l'humidité dans le stratifié a tout de suite comme conséquence de le dégrader et d'en diminuer progressivement les caractéristiques jusqu'à conduire à sa ruine si rien n'est fait.

- un bois humide, c'est son état normal. Il a des caractéristiques mécaniques qui correspondent à cet état et répond donc parfaitement au besoin. Il ne pourrira qu'avec l'addition d'autres facteurs, en particulier le manque d'aération.

****



CHAPITRE 2 : COMMENT TRAITER L'OSMOSE

Le principe : enlever l'humidité du matériau, pour cela il faut décaper le gelcoat, puis appliquer un nouveau "bouclier" imperméable et inaltérable. Le traitement se fera toujours en trois phases :

- décapage du gelcoat,
- séchage du stratifié,
- application du nouveau "bouclier" étanche.

1°) DECAPAGE DU GELCOAT

Le décapage a pour but d'ouvrir toutes les cloques et d'évacuer le "jus", de faire disparaître le gelcoat pour que le stratifié nu apparaisse et qu'il puisse sécher.

Il peut se faire selon les méthodes suivantes :

1-1°) SABLAGE

C'est la méthode la plus généralement employée car elle permet un décapage qui fait sauter en même temps le gelcoat de surface et les chancres plus profonds que le sablage fait sauter automatiquement en passant dessus. On ne risque pas de les oublier.
Voir PHOTOS 2-1 à 2-3.
Faut-il faire disparaître tout le gelcoat ou non ?
Dans les cas d'osmose très légère, superficielle, avec de petites bulles situées à l'interface gelcoat / premier mat de stratification il est possible de laisser du gelcoat et un sablage léger peut s'admettre : il ne fait qu'éclater les petites bulles et dépolir et amincir le gelcoat restant. Il peut rester jusqu'à 50 à 70% (en surface) de gelcoat. Cela n'empêchera pas le séchage bien que cela le ralentira. L'énorme avantage c'est que le ragréage (c'est l'étape N° 3 suivante) sera facilité car le ratissage de l'enduit se fera en s'appuyant sur les surfaces restées intactes qui serviront de guides et la quantité d'enduit sera minime.

Mais hormis ce cas très limité, dans la plupart des cas cela sera insuffisant car avec cette méthode on prend le risque suivant : à l'endroit où il reste du gelcoat, il y a peut-être et même certainement, une bulle en formation qui en est au stade de la figure N° 2 du chapitre 1 et que le sablage léger aura laissé. Le séchage ne va pas permettre au "jus" de s'évacuer.
Quand le traitement sera fait c'est-à-dire que le bouclier étanche époxy aura été appliqué, le moindre passage d'eau infinitésimal (car l'époxy n'est pas étanche parfaitement et indéfiniment), redonnera à cette bulle de quoi poursuivre sa formation.
Au lieu de revenir à l'état du neuf, d' "effacer" les années et de repartir à zéro, on continue au stade où on en était. C'est donc nettement moins bien.
Donc dans 99% des cas le gelcoat sera totalement sablé.
"Ne laissez pas de gelcoat car vous ne savez pas ce qui reste derrière".

Si l'osmose est profonde, c'est-à-dire dans le stratifié, il faut que le sablage soit approfondi localement ou partout selon les cas.
Il est à faire avec doigté c'est-à-dire suffisamment appuyé aux endroits qui en ont besoin, mais pas trop pour ne pas enlever trop de matière.
Il est cependant inévitable de faire sauter au moins le premier mat de verre en presque totalité et plus si l'osmose est profonde ou si le sableur insiste trop ou "s'endort". L'habileté du sableur a donc une importance certaine. De même la gravité de l'osmose (superficielle, dans le premier mat ou plus profond encore) va prendre, à ce stade, une importance évidente.

Si on enlève de la matière, il en découle donc que la résistance de la coque va forcément être diminuée. Heureusement, les coefficients de sécurité pris pour échantillonner une coque sont capables d'absorber cette diminution. C'est d'autant plus vrai pour les bateaux anciens où les règles de calculs d'échantillonnage étaient débutantes, hésitantes et où par conséquent les coefficients de sécurité étaient plus généreux.

Par contre pour un bateau de régate où la chasse au poids a amené à tirer au maximum sur la matière, le problème peut être à considérer.
De même pour les coques en sandwich où la peau extérieure est mince : le problème est réel et ne peut être occulté. Pour elles, le sablage est trop violent et doit être rejeté.

Il pourrait en être de même pour les bateaux futurs en monolithique pour lesquels les constructeurs cherchent à affiner les méthodes et hypothèses de calcul des bordés de coque dans le but bien sûr de diminuer les échantillonnages donc les épaisseurs de matière. Si la protection anti- osmose ne s'améliore pas en même temps, le problème deviendra plus délicat à traiter.

Sablage humide ou à sec ? Le sablage humide fait voler moins de poussière. On peut lui reprocher de nécessiter un matériel plus performant sinon on risque des bouchages fréquents.
Certains lui reprochent, du fait de la pression et du stratifié à nu, de faire pénétrer de l'humidité supplémentaire à l'intérieur de la matière. Je ne le crois pas car le balayage par le sable est très rapide et l'humidité n'a pas le temps de pénétrer, ou si peu, dans la matière. Par rapport aux années d'immersion, cela a une importance dérisoire.
On peut comparer cela aux étincelles : si l'on meule une pièce en acier on fait voler des étincelles. Ce sont des particules d'acier chauffées au rouge vif, elles sont donc à 800 °C environ. C'est très chaud, cependant si on les reçoit sur le bras, elles ne brûlent pas la peau parce que, même très chaudes, leur masse est infime donc incapable de communiquer à la peau un échauffement qui ressemblerait à une brûlure.

Le matériel de sablage est assez divers mais il doit correspondre au travail que l'on veut faire.
Le matériel meilleur marché se situe dans la gamme des nettoyeurs haute pression, genre "Karcher", qu'il est possible d'utiliser en sableur humide. Ce sera suffisant dans les cas de sablage léger pour une osmose très superficielle où on ne veut pas décaper la totalité du gelcoat. Mais nous avons vu que cela résout une infime partie des cas.
Par contre ce matériel est incapable de faire sauter un simple gelcoat là où il est intact.

Dès que l'on veut décaper tout le gelcoat et à fortiori le premier mat, il faut un décapage plus agressif et passer à la sableuse classique avec un compresseur de puissance suffisante. Un compresseur de 5 m3/mn permet de faire face à tous les cas classiques, il ne faut pas le considérer comme surabondant.

La nature du granulat a aussi de l'importance. Il faut une granulométrie suffisante :
- moyenne en sable de scories pour sablage à sec.
- B4 en sable blanc pour sablage humide.

Sauf dans le cas très particulier du sablage léger où on ne fait pas disparaître tout le gelcoat, après sablage la surface du stratifié est déchiquetée. La fibre est donc "ouverte" ce qui est favorable pour le séchage qui va suivre.

Par contre la surface obtenue est très imparfaite, très grossière, elle a un relief accidenté avec creux et bosses ce qui implique que pour la ragréer c'est-à-dire la re-profiler, il faudra faire un enduisage épais, donc coûteux en matière (le mastic époxy est cher) et en main d'oeuvre puisque le temps à passer est dépendant pour une bonne part de la quantité d'enduit à étaler.

On peut se poser la question : comment traiter une osmose interne des fonds du bateau ? Il faudrait décaper de la même façon tout le gelcoat intérieur. On se rend compte facilement que, compte tenu de "l'habillage" du bateau par les cloisons, meubles etc... cela est pratiquement impossible. Il faudra vivre avec....

****

1-2°) RABOTAGE

On peut utiliser le rabotage en employant un rabot électrique portatif. C'est un travail physiquement difficile car on travaille "au plafond" c'est-à-dire que l'outil est à porter à bout de bras, au-dessus de soi. Ceci pour un voilier posé sur sa quille de 1 m de haut par exemple. Pour un petit bateau ou pour un bateau à moteur, sans quille, on va par contre travailler à bout de bras, bras vers le bas, ce qui n'est pas plus facile. La poussière générée rend aussi ce travail pénible.

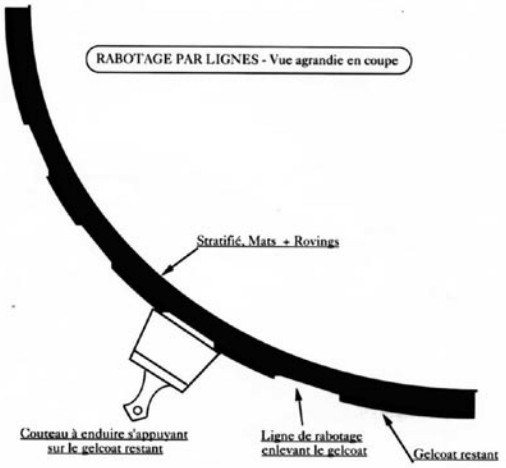
Compte tenu du poids de l'outil (2,5 kg pour un 500W à 8 kg pour un 1200W) et de la durée de l'opération, il faut un opérateur robuste. En général on fera l'opération en plusieurs fois pour que ce soit moins pénible : une moitié au cours de la matinée et l'autre le lendemain. On choisira aussi le rabot le plus léger possible. On sera obligé de procéder par petites passes courtes car la vitesse de rotation chute très vite dès que l'on attaque la matière. Des couteaux en acier suffiront, il en faudra un jeu par bateau traité.

Il existe une machine spéciale appelée "gelcoat peeler" (voir photo 2-4), d'origine américaine, qui est en fait un rabot électrique porté au bout d'un bras équipé de vérins hydrauliques qui maintiennent l'outil appuyé contre la surface et qui se déplace automatiquement.
On a évidemment l'avantage d'un travail plus confortable, plus propre (aspiration de la matière décapée) mais l'investissement est conséquent (de l'ordre de 200 à 300.000 F).

Le principal intérêt du rabotage est d'obtenir une surface décapée propre, nette et lisse, donc un enduisage plus facile et moins gourmand en quantité d'enduit.
Voir PHOTO 2-5
D'autre part, pour les bateaux indiqués plus haut, bateaux de course ou coques sandwich, et pour les raisons qui ont été indiquées, le rabotage est la solution qui s'impose.

Par contre, il a deux inconvénients :
- tous les "chancres" profonds ne disparaissent pas (puisqu'on les tranche en surface, sans aller les extraire en profondeur). Généralement avec cette méthode, il faut compléter le décapage par l'utilisation de la disqueuse ou d'une meuleuse conique pour s'attaquer aux chancres plus profonds, sous réserve de ne pas en oublier, ce qui n'est pas évident car il n'ont pas tous un aspect particulier qui les fait reconnaître.
- la fibre est tranchée nette et non "ouverte" comme avec le sablage : le séchage risque de se faire moins bien, il sera plus long.

On pourrait penser ne faire que du rabotage partiel c'est-à-dire faire des lignes de rabotage entre lesquelles on laisse des lignes de gelcoat, dans le but de rendre l'enduisage plus facile, les lignes de gelcoat restantes servant de guide pour le ratissage. On risque, comme déjà expliqué pour le sablage léger, de laisser des bulles en formation qui sécheront peu et qui repartiront plus vite en formation d'osmose. Dans les cas les plus courants, ce n'est donc pas conseillé.



1-3°) RABOTAGE PUIS SABLAGE

Certains professionnels utilisent les deux méthodes conjuguées : rabotage d'abord pour décaper complètement le gelcoat puis sablage léger pour faire sauter tous les chancres profonds restants et pour "ouvrir" la fibre de verre, ce qui favorisera le séchage. Ils y voient aussi et en premier lieu, un intérêt économique car le sablage, opération coûteuse, se trouve réduit.
Comme on termine sur un sablage, la surface à enduire est encore imparfaite mais moins mauvaise tout de même qu'avec un sablage seul. Donc la quantité d'enduit époxy est un peu diminuée.
Du point de vue de la sûreté du traitement sur le plan technique, c'est tout à fait satisfaisant, donc pourquoi pas.

1-4°) DISQUAGE
C'est la technique qui vient le plus facilement à l'esprit : il suffit d'une ponceuse rotative.
Cependant ce n'est pas la meilleure méthode et de loin car c'est une méthode longue (6-7 jours pour un 40 pieds), qui produit une grande quantité de poussière fine désagréable et qui n'ouvre pas la fibre de verre (donc séchage plus difficile). Il faudra ensuite utiliser une meule conique pour faire sauter tous les chancres profonds alors qu'avec un sablage cette opération se fait en une seule fois et sans risque d'oubli.

Dans le cas de la méthode du disquage, il est donc conseillé de faire ensuite un sablage léger pour faire sauter tous les chancres profonds restants et pour "ouvrir" la fibre de verre, ce qui favorisera le séchage.

2°) SECHAGE

Une fois le décapage effectué il faut laver au détergent et à la brosse, à l'eau chaude si possible pour éliminer toutes traces de sels solubles puis rincer abondamment avant de laisser sécher la carène. Ce séchage se fera soit naturellement à l'extérieur, soit sous bâche avec l'appoint d'appareils activant le processus.

2-1°) SECHAGE NATUREL A L'EXTERIEUR

Il dépend bien sûr des conditions climatiques. C'est le cas général qui convient parfaitement dans le midi de la France.

Certaines précautions sont à prendre pour éviter la reprise d'humidité. Par exemple, et surtout pour les bateaux réalisés avec deux demi coques (donc avec un plan de joint), il faut mettre une bavette en film plastique pour éviter que l'eau de pluie ne roule le long de ce plan de joint où le stratifié est ouvert et où elle n'a aucun mal à pénétrer par la tranche du stratifié.
Cette bavette sera en fait une jupe constituée d'une bande de plastique de 30 à 40 cm collée au scotch tout du long de la ligne de flottaison et qui fera office de casse-goutte : l'eau qui ruisselle des francs-bords sera écartée de la coque.
De même on mettra des tubes en plastique emmanchés dans les évacuations de cockpit pour que l'eau de pluie ne ruisselle pas le long de la coque.
Voir PHOTOS 2-6 et 2-7
Périodiquement, on mesurera le taux d'humidité du stratifié pour en vérifier sa décroissance.
On s'apercevra de quelques paramètres intéressants : dans le midi de la France, sur la côte d'Azur en particulier, le mistral est un excellent agent de séchage. Parce qu'il crée un courant d'air autour de la coque favorable aux échanges physico-chimiques et surtout parce que c'est un vent sec puisqu'il vient du Nord, de la vallée du Rhône. Donc en période de mistral l'air est très sec (35 à 40%).
Quand on fait des mesures périodiques on voit que l'humidité baisse par à-coups après chaque période de mistral alors qu'avec d'autres conditions météorologiques on peut mesurer des reprises d'humidité.
A l'inverse, ce n'est pas parce qu'il fait chaud que le séchage est efficace. En plein été sur la côte d'Azur, très souvent le temps est bouché, la visibilité est réduite par une brume de chaleur continuelle, signe d'un fort taux d'humidité (80 à 90%) de l'atmosphère. Pendant ces périodes le séchage est nul, il y a même des reprises d'humidité.
Ceci souligne l'importance des mesures d'humidité périodiques que l'on doit faire si on veut travailler sûrement.

2-2°) VENTILATEUR CHAUFFANT

Il consiste à entourer la carène avec une bâche, à ventiler et à chauffer.
Cependant cet air va se charger progressivement d'humidité, celle qui est rejetée par le stratifié, et son efficacité va devenir nulle. Il faut donc renouveler l'air c'est-à-dire qu'il puisse s'échapper et être remplacé par de l'air neuf venant de l'extérieur, que le chauffage va rendre à son tour plus sec et donc apte à absorber l'humidité du stratifié. Il est donc impératif de pratiquer une ouverture (de 10 x10 cm de diamètre) dans la bâche.

A ne pas oublier non plus, bien que ce soit plus évident : le moyen de chauffage ne doit pas produire d'humidité du fait de la combustion par exemple. Les radiateurs à gaz - "paraboles" sur bouteille de gaz par exemple - sont donc à proscrire pour ce traitement, la combustion du gaz produisant une humidité importante : le gaz contient du carbone et de l'hydrogène et la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène de l'air lors de la combustion produit de l'eau. On s'en aperçoit l'hiver dans une pièce chauffée avec un tel appareil : il y a une condensation importante sur les vitres du fait de l'augmentation de l'humidité intérieure.

Pour les appareils brûlant du fuel, comme les "canons à air chaud", ils produisent eux aussi de l'humidité par la combustion. Mais c'est un peu différent car en fait il y a mélange de deux airs :
- le premier qui est l'air nécessaire à la combustion : celui-ci va donc avoir une humidité accrue.
- le deuxième en quantité beaucoup plus importante qui est l'air pulsé par le ventilateur de l'appareil : celui-ci va diminuer d'hygrométrie compte tenu de son échauffement.
- finalement, le mélange des deux va donner un air beaucoup plus sec à la sortie qu'à l'entrée et donc intéressant pour sécher la coque.

Attention aussi que ces appareils sont généralement surpuissants par rapport au volume à traiter et qu'il ne faut pas atteindre une température trop élevée car le stratifié est constitué d'une résine qui ne supporte pas plus de 50 à 60 °C : au-delà elle commence à perdre ses caractéristiques mécaniques. C'est le HDT ("Heat Distorsion Temperature" - température de déformation ou Transition vitreuse, Tg).
Il ne faut donc pas que le canon soit placé trop prés du stratifié.

Finalement les mieux adaptés sont les appareils de chauffage électriques tels que les radiateurs soufflants qui assurent en outre un brassage et une circulation de l'air propices au séchage.
On s'apercevra néanmoins, en faisant régulièrement les mesures d'humidité, que le séchage est inégal : les zones plus proches du ventilateur chauffant sèchent plus vite. Il faudra, périodiquement, changer la position du ventilateur pour mieux égaliser le séchage.

Il faut noter que l'efficacité dépend peu de la température extérieure. L'effet du chauffage est seulement de diminuer l'hygrométrie relative de l'air en augmentant sa température.

Rappelons les principes fondamentaux concernant l'hygrométrie de l'air. Prenons de l'air à une température donnée de 15°C par exemple. Cet air peut contenir, au maximum 15 grammes d'eau. Cette valeur ne peut être dépassée car au-delà il y a condensation et formation de gouttelettes (on dit que l'air est saturé d'humidité ou que l'on atteint le "point de rosée"). Si ce même air, à la même température, ne contient que 7,5 grammes d'eau, son humidité relative sera de 50%. L'humidité relative est donc le rapport de la quantité d'eau contenue dans l'air et de la quantité qu'il pourrait contenir au maximum. Et plus l'humidité relative est basse, plus cet air est capable d'absorber encore de l'humidité, jusqu'à atteindre 100%, c'est-à-dire la saturation.

Mais la quantité d'eau maximum que peut contenir l'air est variable selon sa température : plus l'air est chaud, plus il peut contenir d'humidité avant d'atteindre la saturation. Donc pour un air donné, si on élève sa température, son humidité relative diminue et il devient capable d'absorber plus d'humidité.

L'élévation de température (dépendant de la puissance en kilowatts de l'appareil de chauffage, du débit d'air ventilé et de l'isolation mais pas des conditions externes), produit à peu prés le même effet sur l'humidité relative et donc sur l'efficacité du séchage. On peut s'en assurer en utilisant le diagramme appelé "diagramme de l'air humide".

Faisons le en prenant les valeurs suivantes :
- on prend de l'air à 10°C de température et 80% d'humidité relative. En le réchauffant à 30°C, son humidité relative va tomber à 20%.
- on prend de l'air à 20°C de température et 80% d'humidité relative. En le réchauffant de la même valeur soit + 20° on arrive à 40°C et son humidité relative va tomber à 25%, valeur très voisine de la précédente.
Donc l'efficacité de ce procédé, à humidité extérieure égale et à installation de chauffage identique, produira à peu prés les mêmes effets, que ce soit en pays froid ou en pays chaud. Ce qui compte c'est l'élévation de température produite et non la

température finale. Ceci pour rassurer les personnes qui font de tels traitements en pays "froids".

En mettant une bâche ou un film plastique étalé sur le sol, on isole le volume à traiter de l'humidité du sol, humidité naturelle ou eau qui peut rouler et stagner sur ce sol. Cette amélioration est d'ailleurs applicable à tous les procédés.

Le chauffage fonctionnera jour et nuit. Il faut donc que le matériel soit prévu pour un fonctionnement permanent sinon on va en "griller" un ou deux par traitement. Il faut aussi qu'il puisse rester sans surveillance.

Certains réparateurs utilisent des radiateurs infrarouges posés sur le sol et dirigés vers la coque : avec une puissance totale d'une quinzaine de Kilowatts, deux bonnes semaines seraient suffisantes pour sécher une carène.

Quelques chiffres :

Pour un voilier de 10 m avec 1500 W de chauffage par un radiateur électrique soufflant et deux absorbeurs "RUBSON" (dont nous allons parler après) : avec 80 % d'humidité extérieure, le chauffage fait tomber à 45% sous la bâche. Dès qu'on ouvre la bâche, l'humidité remonte à 65% une demi-heure après.

Du point de vue des ouvertures à laisser dans la bâche, avec 2 trous de 40 x 40 cm c'était trop. L'humidité est descendue avec 2 trous de 10 x10 cm et encore descendue avec 1 seul trou de 10 x10 cm.

Il est intéressant pour optimiser le séchage de s'équiper d'une "mini station météo", vraiment réduite puisqu'il suffit d'un thermomètre et d'un hygromètre. Voir photo.
Pour le thermomètre, pas de problème, tout le monde en a un.
Pour l'hygromètre, c'est un peu plus difficile car ce n'est pas un instrument de mesure aussi courant. Il faut le choisir en tenant compte de :
- sa précision : cette qualité n'est pas très importante puisqu'en fait il va être utilisé en relatif : on veut savoir seulement si l'hygrométrie augmente ou non et de combien pour ajuster le séchage au mieux.
- sa sensibilité et sa rapidité de réaction au changement de réglage du chauffage ou de la dimension des ouvertures.

En conclusion :
- Les hygromètres numériques, à capteur capacitif, sont sensibles et précis mais leur prix est prohibitif (de l'ordre de 4 000 F TTC) pour une utilisation aussi réduite.
- Les hygromètres à cheveu sont sensibles et précis mais leur prix est prohibitif (de l'ordre de 1 200 F TTC) et ils sont un peu trop fragiles pour cette utilisation.
- Finalement on se contentera d'un hygromètre style "publicité" qui fonctionnent sur le principe de la déformation d'une spirale plastique en fonction de l'humidité absorbée par ce plastique. Ce n'est pas très précis (mais cela n'a guère d'importance) et pas très sensible et rapide (tant pis). Par contre, c'est bon marché et robuste.

2-3°) ABSORBEUR D'HUMIDITE

Ce sont les absorbeurs, genre "RUBSON" que l'on trouve couramment dans les magasins de bricolage.
Entourer la carène avec une bâche, disposer des absorbeurs d'humidité et ventiler pour brasser l'air. Dans ce cas la bâche doit être fermée hermétiquement pour que les absorbeurs ne servent pas à assécher de l'air extérieur mais uniquement l'air intérieur entourant la carène. De temps en temps il faudra rentrer sous la bâche pour retirer les absorbeurs qui se seront gorgés d'eau et les remplacer par des nouveaux, les anciens pouvant être réutilisables après séchage au four par exemple. A titre indicatif on peut donner les ordres de grandeur suivants : pour un bateau de 10 m, il faut prévoir 4 absorbeurs de 2kg répartis autour de la coque.
Autre avantage de la méthode : installation simple ne nécessitant pas d'énergie et ne craignant pas de rester sans surveillance sur un chantier ouvert.

Nota : on peut combiner les deux méthodes précédentes bien que théoriquement il faut ouvrir la bâche pour l'une, et la fermer hermétiquement pour l'autre. Dans la pratique, ça marche.

2-4°) DESHUMIDIFIEUR ELECTRIQUE

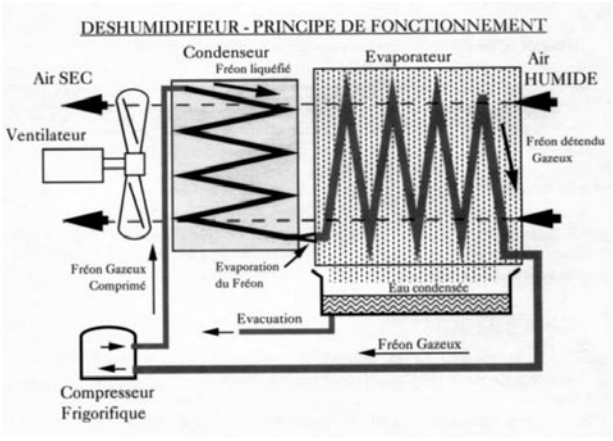
Entourer la carène avec une bâche et assécher l'air en utilisant un déshumidifieur (ou déshumidificateur) électrique.

Cet appareil se rapproche de ce que l'on appelle un "conditionneur d'air" ou "climatiseur". Il fonctionne sur le principe suivant :

- première étape : on refroidit l'air. Pour cela l'appareil est pourvu d'un compresseur frigorifique, d'un condenseur et d'un évaporateur.
Le cycle est le suivant : à l'entrée de l'évaporateur, le fluide frigorigène liquide (Fréon R 12 ou R 22, en général) passe dans un détendeur où il se vaporise. Cette détente brusque produit du froid. Vous vous en êtes déja aperçu : quand vous utilisez une bombe anti-moustique par exemple, votre doigt est glacé par le refroidissement provoqué par la détente du gaz.
L'air qui est pulsé autour de l'évaporateur va se refroidir à son contact.

- deuxième étape : le compresseur ré-aspire le fréon devenu gazeux et le comprime.

- troisième étape : dans le condenseur, ce fréon comprimé mais encore gazeux est refroidi et il repasse à l'état liquide, donc prêt de nouveau à se vaporiser dans l'évaporateur et le cycle recommence.



Dans un réfrigérateur ménager on retrouve les mêmes éléments :
- l'évaporateur c'est le compartiment "freezer", en forme de boite constituée de deux tôles soudées à plat et ménageant un canal de circulation au fréon.
- le compresseur est en bas et derrière le réfrigérateur, il est du type "hermétique", c'est-à-dire que le compresseur et son moteur électrique d'entraînement sont enfermés dans une même boite pour que le gaz frigorigène, encore froid, participe au refroidissement efficace du moteur.
- le condenseur se présente sous la forme d'un tube en serpentin avec des fils soudés dessus pour constituer des

"ailettes" de refroidissement. Cet ensemble est fixé sur la paroi arrière du réfrigérateur. C'est l'air ambiant qui est l'agent de refroidissement

Revenons à notre déshumidifieur : puisqu'on a refroidi l'air, on lui a fait atteindre sa température de rosée (température de condensation) et l'excès d'humidité s'est condensé comme l'air d'une pièce au contact de la vitre froide de la fenêtre en hiver.
On a donc d'un côté de l'air froid mais à 100% d'humidité relative et de l'autre de l'eau condensée. Celle-ci est recueillie dans un bac à vider de temps en temps ou, mieux, qui se vide au fur et à mesure par un tuyau d'évacuation débouchant à l'extérieur de la bâche.

Notre air étant maintenant à 100% d'humidité, il est impropre à sécher notre stratifié. On le fait donc passer sur un réchauffeur qui est généralement le condenseur lui-même (vous vous êtes déjà aperçu que le condenseur de votre réfrigérateur - le serpentin qui est derrière - est chaud, alors profitons en pour réutiliser cette source de chaleur) et additionnellement sur un réchauffeur électrique.
En augmentant sa température on diminue son humidité relative et il redevient efficace pour sécher. On obtient de l'air à 20, 30% d'humidité soit l'équivalent d'un "mistral" permanent.

On peut résumer le principe de fonctionnement de ces appareils :
- refroidir fortement l'air pour qu'une partie de son humidité se condense.
- le réchauffer ensuite pour le ramener à une humidité relative convenable.

Il faut cependant se méfier des appareils baptisés "climatiseurs" mais qui en fait ne sont que des refroidisseurs d'air dépourvus de réchauffeur. Ils vont seulement refroidir l'air et donc augmenter son humidité relative ce qui ne nous intéresse pas. D'ailleurs, même pour un climatiseur d'appartement utilisé l'été, ce procédé est insuffisant car si l'abaissement de la température contribue au confort, l'élévation de l'humidité de la pièce est un élément d'inconfort.

Il faut donc un "vrai" déshumidifieur où le réchauffeur fonctionne en même temps que le refroidisseur. En outre une différence principale est que le déshumidifieur est pourvu d'un dégivrage automatique.

En effet si l'appareil fonctionne dans un air à température basse (18°C ou moins), le refroidissement qu'il va subir fait geler l'eau condensée. Les ailettes (comme un radiateur de voiture) vont donc s'obstruer et l'appareil n'aura plus aucune efficacité. Or comme vous allez faire votre séchage à une saison quelconque et en France, l'air ambiant sera certainement à une température plus basse que 18°, donc cette "prise en glace" se produira.
Le déshumidifieur, automatiquement, se mettra en position "dégivrage" pour éliminer cette glace avant de reprendre son cycle de refroidissement.
Sur un climatiseur, qui fonctionne en principe dans une pièce à 25/30°C, ce dégivrage automatique n'existe pas.

Le prix d'un déshumidifieur se situe aux alentours de 3.000 à 5.000 F TTC suivant la taille et la puissance.

La bâche doit être hermétiquement fermée, l'appareil ne traitant que l'air intérieur et l'humidité n'augmentant pas progressivement puisqu'elle s'évacue sous forme d'eau condensée.

L'hygrostat (équivalent du thermostat pour la température) mettra le compresseur de froid en marche de temps en temps pour maintenir l'humidité au niveau que vous avez choisi par la position de l'hygrostat, c'est-à-dire le plus bas possible.

Du point de vue de l'efficacité, c'est certainement le meilleur système. Il a l'inconvénient d'être plus cher et ce n'est pas à proprement parler un matériel de chantier, il faut le manipuler avec douceur. Il nécessite une surveillance assez réduite (pas de risque d'incident de fonctionnement, c'est comme votre frigo), seul reste le problème du vol si le chantier est ouvert.

2-5°) REMARQUES

NOTA 1 : le problème du bateau bâché à l'extérieur est que généralement, au premier coup de vent, la bâche se déchire et est détruite.
Pour améliorer les choses, il faut fabriquer la bâche avec un film plastique en évitant au maximum l'agrafage sur supports en bois. Les points d'agrafage sont les lieux de naissance des déchirures.

Il vaut mieux :
- coller le plastique tout du long de la coque, légèrement au-dessus de la flottaison.
- mettre éventuellement des supports en bois sur lesquels la bâche ne sera pas agrafée mais tenue par des morceaux d'autocollant, côté intérieur, longs et croisés pour bien répartir la traction.
- tenir le bas de la bâche en l'étalant sur le sol et en mettant dessus des sacs de sable, par exemple.

Si on a mis des tubes plastique sur les évacuations de cockpit, il faut qu'ils soient longs pour déboucher à l'extérieur de la bâche.

Une autre méthode consiste à équiper la bâche de "prise de ris". A chaque coup de vent on prend les ris c'est-à-dire qu'on remonte la bâche en la roulant et on redescend après. Il faut être sur place en permanence pendant 2 à 3 mois et à cette condition ça marche.

On peut aussi utiliser une bâche en plastique armé. Elle est collée à la flottaison et elle est passée à l'intérieur des patins de ber : il faut donc qu'elle soit disposée au moment où le bateau est déposé dans le ber. Il ne sera pas très commode de faire les mesures périodiques d'humidité du stratifié mais par contre, la bâche résistera aux tempêtes. Il faudra aussi re-soulever le bateau pour enlever la bâche au moment du traitement.

Si le bateau est maintenu simplement par des étais, on peut alternativement dégager chaque étai, passer la bâche à l'intérieur et remettre l'étai en place.

Il est intéressant, si on utilise une bâche pour sécher la coque, de pouvoir la garder pour faire le traitement, soit pour se préserver du mauvais temps ou au contraire pour se préserver d'une trop forte chaleur ce qui amène aussi d'autres inconvénients comme on le verra plus loin.

Si le bâchage se fait sous un hangar il n'y a bien sûr aucun problème de tenue de la bâche. C'est par contre assez onéreux puisqu'il faut amortir le coût du hangar pour un bateau immobilisé longuement. D'autre part il faut démâter pour rentrer sous hangar, ce qui augmente la note. Par contre si on en profite pour faire d'autres travaux sous abri, cela vaut la peine d'y recourir.
Si on met sous hangar sans bâchage et sans séchage par radiateur (par exemple) on aura sans doute la mauvaise

CHAPITRE 3 : ETUDE DE CAS

Tous les exemples cités ci-après sont des cas réels que j'ai personnellement connus soit pour des bateaux que j'ai moi-même expertisés soit en temps que témoin pour des bateaux observés au gré de mes déplacements sur les ports et dans les chantiers.

1°) UN PREMIER EXEMPLE INATTENDU POUR FIXER D'EMBLEE L'ETENDUE DU PROBLEME :

Nous commencerons par autre chose qu'un bateau !
Il s'agit d'une tôle en polyester armé de verre utilisée couramment pour la couverture de bâtiments industriels. Elle n'est donc pas immergée constamment dans l'eau comme la coque d'un bateau. Elle n'est exposée qu'à la pluie, et de temps en temps seulement, puisque nous sommes pour cette tôle, dans le midi de la France.
Age de cette tôle : estimé à 25 ans.

Photo 2-20 : tôle polyester. C'est la face dégradée qui est visible.
Photo 2-21 :
- au centre : zone marron clair, lisse : là il y a encore de la résine polyester.
- les zones blanches : là, la résine a été hydrolysée, elle a disparu en surface. Les fibres de verre de couleur blanche apparaissent à nu.
Photo 2-22 : vue rapprochée de la zone dégradée : la fibre nue et sèche apparaît. Elle est tellement isolée qu'elle "flotte au vent".

La tôle n'est plus résistante car fibres et résine sont dissociées. Elle n'est plus étanche non plus, l'eau passe au travers.
J'ai connu un autre cas similaire, dans le nord de la France, où après 10 ans seulement, les tôles n'étaient plus étanches, la résine ayant été hydrolysée de la même façon.
Cet exemple, assez banal finalement, a été relaté en tout premier lieu parce qu'étant déconnecté et isolé des problèmes des bateaux il en est plus réceptif par ceux qui pensent que l'osmose est une pure invention qu'ils veulent ignorer.
Non, on ne peut pas l'ignorer et votre bateau se dégrade à l'image de cette tôle. C'est seulement moins radical car la multiplication des couches, pour une coque de bateau, rend le problème moins crucial que pour cette tôle polyester.

****

2°) A CLASSER DANS LES CAS TYPIQUES ET PEU GRAVES :

2-1°) CAS D'UN BATEAU RECENT :
NOM DU BATEAU : "N.....A" - voilier de 10,50 m.
Fabrication française - chantier de grosse production - âge du bateau : 4 ans.

Observations faites :
- Gelcoat : aspect normal. Epaisseur assez mince
- Bulles :
- taille : moyenne : Ø 7 à 8 mm maxi : pas de grosse bulle
- localisation: partout
- "jus" : peu
Humidité* avant sablage :12% en moyenne partout, ce qui est relativement peu.
Rappel : - stratifié neuf : 1 à 2%.
- stratifié ancien au-dessus de la flottaison : 2 à 3%.
* toutes les mesures d'humidité données sont les lectures d'un appareil de mesure "SOVEREIGN" et sont à prendre en relatif comme on l'a déjà expliqué au Chap 2 - Parag.2-6.
Ce cas montre qu'avec une humidité relativement réduite (c'est un bateau récent), les bulles sont déjà formées.

****

NOM DU BATEAU : "B.....5" - voilier de 12,60 m.
Fabrication française - chantier de grosse production - âge du bateau : 6 ans.

Observations faites :

Photo 2-23 :
- sous l'antifouling les bulles ne sont pas très visibles.
- alors que dans la zone où l'antifouling a été décapé, les petites bulles sont bien visibles (petits points blancs).
Aspect des bulles : petites bulles Ø 2 à 4mm environ, réparties assez uniformément sur la coque.

La majorité des bulles, bien que petites, ont éclaté naturellement et circulairement sur leur pourtour, ce qui indique deux choses :
- l'osmose n'est pas toute récente, elle est déjà installée depuis longtemps puisque les bulles ont eu le temps de se former, de grandir et enfin d'éclater. Les bulles sont vraisemblablement apparues il y a deux à trois ans ce qui veut dire que l'avancement de l'osmose était tel que les bulles sont apparues alors que le bateau avait 4 à 5 ans.

- le gelcoat utilisé manque de souplesse puisqu'il casse alors que son allongement est très faible (les bulles sont petites). Or, la souplesse est une qualité essentielle qui doit être recherchée pour un gelcoat pour éviter les micro-fendillements.

Humidité de la carène : 20 à 23% partout, c'est beaucoup pour un bateau de cet âge.
Point particulier : à l'aileron de safran : 15 à 18%. Ceci s'explique par une zone plus riche et épaisse en gelcoat : parois verticales et en creux étroit où on a tendance, lors de la fabrication, à bien "beurrer" de gelcoat. Des mesures de dureté Barcol montreront que cette zone a une dureté de 20 alors que pour le reste de la carène on a 30 et qu'au-dessus de la flottaison on a 45 (valeur typique). Ceci confirme bien que la surépaisseur de gelcoat explique à la fois le peu de dureté dû à une plastification du gelcoat en présence d'eau et la plus faible humidité due à une pénétration d'eau réduite par rapport au reste de la coque où l'épaisseur du gelcoat est normale.

Pour le cas précis de ce bateau, la concentration de bulles était un peu plus forte près de la flottaison à l'AV Babord, mais tout le bateau était osmosé et l'humidité était constante sur toute la surface de la carène.

2-2°) CAS MONTRANT L'HUMIDITE HABITUELLE D'UN BATEAU DE D'UNE DIZAINE D'ANNEES :

NOM DU BATEAU : "A.....S" - voilier de 10 m.
Fabrication française - chantier de grosse production - âge du bateau : 12 ans.

Observations faites : Humidité après sablage : 21 à 23% en moyenne partout. On peut supposer 22à 25 % avant sablage.

Traitement démarré par le propriétaire qui a fait venir un sableur professionnel. Après examen, le sablage a été refait une deuxième fois pour décaper tout le gelcoat. Les photos ont été prises après ce deuxième sablage :

- photos 2-24 et 2-25 : les cratères classiques que l'on découvre après sablage et pour une osmose de gravité "normale".

- photo 2-26 : une zone où la couche dure est délaminée et enlevée. Dessous, la couche suivante apparaît lisse, signe d'un délaminage franc.

On peut aussi citer les points particuliers suivants :

- photo 2-27 : la ligne noire c'est la flottaison. Juste au-dessus on peut voir trois éclats dans le gelcoat. Ce ne sont pas des éclats classiques dus à un choc mais le résultat d'un fendillement d'un gelcoat pas assez souple.

Ils sont situés au-dessus de la flottaison mais en dessous c'était pareil. La pénétration d'eau dans le stratifié en est très facilitée.

- photo 2-28 : dans la zone située entre la sortie d'échappement et la flottaison on voit que le gelcoat est tout fendillé : l'eau qui sort de l'échappement est chaude, de l'ordre de 40 à 50°C : le gelcoat est plus rapidement dégradé.

****

NOM DU BATEAU : "W...I" - voilier de 12 m.
Fabrication française - chantier de moyenne production - âge du bateau : 6 ans.
Cet exemple montre aussi l'influence de l'humidité des deux mats de la couche dure.

Observations faites :
Bulles - taille : très grosses bulles Ø 30 mm env.
- localisation: partout, pas très serrées, situées entre le 2ème mat et le reste du stratifié.
- "jus" : oui, beaucoup, sous forte pression osmotique.

Hygrométrie du stratifié : Avant sablage : 23%. Cela est très élevé pour un bateau de cet âge.

REPERE		1	2	3	4	5	7	8	9	10
DATE	20/11/90	18	15	18	18	17	17	18	19	18
DATE	25/7/91	10	1	2	3	2	2	9	1	2
DATE	28/8/91	22	19	20	18	17	16	15	1	17
DATE	17/10/91	17	10	19	3	19	6	16	13	16
DATE	19/12/91	3	2	2	2	2	2	2	2	2
DATE	16/1/92	4	2	2	2	6	2	1	2	2

Pour mémoire, stratifié neuf : 1 à 2%, stratifié ancien au-dessus de la flottaison : 2 à 3%.

Les valeurs sont très inégales suivant que l'on mesure sur une zone où les mats sont sautés (humidité faible : 2 à 5 %) ou sur une zone où les mats sont encore présents (15 à 17 %).

Ceci montre l'influence de l'humidité de ces mats de la couche dure, surtout pour ce bateau où ces mats qui sont de véritables éponges semblent responsables de l'osmose pour une part très importante.

Ceci est resté vrai tant qu'un 2ème sablage n'a pas été fait pour faire sauter ces mats de toute la surface.

Le 2ème sablage a été fait début décembre 91 et comme prévu le stratifié dessous a pu sécher. Mesures du 16/1/92 : le séchage est confirmé.

****

2-3°) CAS MONTRANT QUE L'OSMOSE EXISTE MEME POUR UN BATEAU BIEN CONSTRUIT PAR UN CHANTIER TRES REPUTE :

NOM DU BATEAU : "P.....R" - voilier de 12 m.
Fabrication finlandaise - chantier très réputé de moyenne production - âge du bateau : 18 ans.

Observations faites :
- mesure de l'hygrométrie du stratifié: avant sablage : 21 à 23%. Cela correspond à un bateau de cet âge. C'est presque le maximum que l'on puisse rencontrer.
- Gelcoat : gelcoat non pigmenté (incolore).
- bulles :
- taille : très grosses bulles Ø 30 mm env. espacées de 300 à 500 mm.
- localisation: partout
- "jus" : oui, beaucoup sous forte pression osmotique.

Par contre, après sablage, contrairement à ce que l'on pouvait penser par l'examen préalable, le matériau est très sain en dessous : il n'y a pratiquement pas de cratères et la surface sablée est belle.

****

3°) DANS LA GAMME DE L'OSMOSE DES "VIEUX BATEAUX" :

NOM DU BATEAU : "Q.....M" - voilier de 9,70 m.
Fabrication française - chantier très réputé de moyenne production - âge du bateau : 17 ans.
Observations faites :
Mesure de l'hygrométrie du stratifié avant sablage : 17% en moyenne.
Bulles : AUCUNE
Le gelcoat est tendre (gelcoat de l'époque), il constitue donc une barrière perméable et non pas semi-perméable. La pression osmotique n'a pas pu s'établir. C'est une osmose SANS CLOQUE.
Le sablage a fait apparaître les zones où la résine avait été hydrolysée, ce qui a confirmé l'établissement de l'osmose.

****

4°) LA OU ON ATTEINT LES CAS GRAVES :

4-1°) CAS D'UN BATEAU ANCIEN. HUMIDITE IMPORTANTE ET DEGRADATION IMPORTANTE DUES A L'AGE DU BATEAU :

NOM DU BATEAU : "J.....N" - voilier de 12 m.
Fabrication anglaise - chantier très réputé de moyenne production - âge du bateau : 20 ans.

Observations faites :
- Gelcoat :
- aspect : gelcoat non pigmenté (incolore).
- épaisseur : assez forte.
-bulles :
- taille : grosses : Ø 20 à 30 mm
- localisation: partout avec une concentration plus forte prés de la flottaison Bd. AR.
- "jus" : beaucoup, sous forte pression osmotique.

C'est une osmose ayant atteint le stratifié en profondeur.
Mesure de l'hygrométrie du stratifié : avant sablage : 21 à 23%.
Nombreux cratères découverts par le sablage : l'osmose est effectivement profonde.
NOM DU BATEAU : "D.....H" - voilier de 10 m.
Fabrication française - chantier de petite production aujourd'hui disparu - âge : 12 ans.

Osmose très forte, combinée à une fabrication de faible qualité : les dégâts sont ici importants : délaminage à différentes profondeurs dans le stratifié.

- photo 2-29 : à l'étrave, le sablage a fait sauter 4 couches de mat et on arrive sur le premier tissu roving.

- photo 2-30 : devant la chaise d'hélice : 3 mats ont été arrachés. La zone blanche en haut de l'arrachage est une zone encore délaminée que l'on peut arracher en tirant simplement dessus.

Partout la carène était dans cet aussi mauvais état. La réparation a été faite avec re-stratification, difficile, de nouveaux tissus de verre.

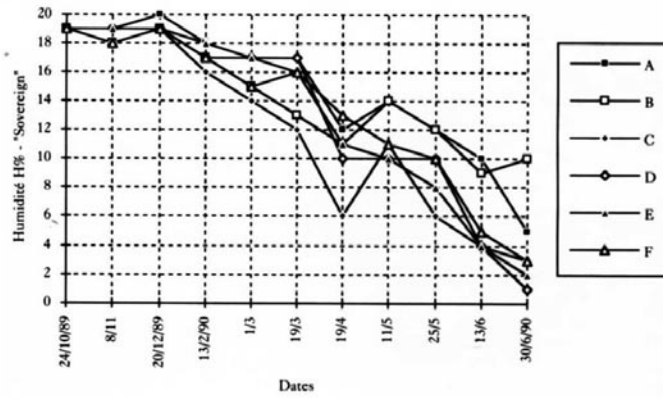
NOM DU BATEAU : "C.....L" - voilier de 14 m.
Fabrication hollandaise - chantier réputé de moyenne production - âge du bateau : 22 ans.

Observations faites avant sablage : quelques grosses bulles - cloques Ø 20 à 30 mm mais en petite quantité - humidité importante : 23 à 24%

Mesure de l'hygrométrie du stratifié, après sablage :

	REPERE :	A	B	C	D	E	F
DATE	24/10/89	19	19	19	19	19	19
DATE	8/11/89	19	18	18	19	19	18
DATE	20/12/89	20	19	19	19	19	19
DATE	13/2/90	18	17	16	17	18	17
DATE	1/3/90	17	15	14	17	17	15
DATE	19/3/90	17	13	12	17	16	16
DATE	19/4/90	12	11	6	10	11	13
DATE	11/5/90	14	14	11	10	10	11
DATE	25/5/90	12	12	6	10	8	10
DATE	13/6/90	10	9	4	4	4	5
DATE	30/6/90	5	10	3	1	2	3

MESURES D'HUMIDITE



Après sablage le stratifié profondément dégradé est apparu : nombreux cratères assez profonds (9 mm) pour une épaisseur de stratifié de 21mm - au capteur du loch - à 18 mm à la flottaison. Pas de délaminage étendu.
- photo 2-31 : le sablage a enlevé les 2 premiers mats, le premier roving, et on arrive sur le mat suivant.
- photo 2-32 : c'est encore plus profond, puisqu'on aperçoit le 2ème roving.
On a ici environ 9 mm de profondeur.

Pour ce bateau, les mesures d'humidité faites sur la coque permettaient de "retracer" la structure de renfort intérieure constituée de lisses en oméga stratifié sur mousse - bandes de 15 cm de l'étrave à l' AR et de chaque bord - et de couples réalisés de la même façon.

Notons qu'il a fallu 9 mois pour obtenir un séchage suffisant (séchage en extérieur, en zone méditerranéenne).

Tous les trous importants ont été renforcés avec 2 mats de verre posés à la résine polyester avant de passer l'époxy.

****

4-2°) A CLASSER DANS LES DEFAUTS DE FABRICATION :

NOM DU BATEAU : "O.....L" - voilier de 9 m.
Fabrication française - chantier de petite production aujourd'hui disparu - âge : 18 ans.

Observations faites après premier sablage léger :

Gelcoat :
- épaisseur : normale sauf au niveau de l'aileron de safran, partie difficile à mouler et verticale où on trouve une épaisseur beaucoup trop forte ce qui a rendu le gelcoat cassant : il est en effet tout fendillé à cet endroit et l'osmose y est profonde : le "jus" sort en pressant simplement sur le stratifié.
- aspect : il manque de souplesse (nombreux fendillements) et il y a quelques cavités sous le gelcoat (mat de verre mal ébullé).

Bulles : grosses cloques de 100 mm de diamètre, un peu partout, avec jus important et sous forte pression osmotique.

Photos 2-33 à 2-35
Le premier sablage a fait apparaître un stratifié profondément atteint : par endroits on enlève les deux premiers mats, souvent le tissu léger suivant puis quelquefois un nouveau mat.
Compte tenu de cette observation, il est décidé d'approfondir le décapage par un passage de rabot électrique portatif pour faire sauter les deux premiers mats suivi d'un nouveau sablage léger destiné à faire sauter les chancres et à "ouvrir" la fibre de verre pour qu'elle puisse sécher plus facilement.
Au cours du rabotage : sur Bd. milieu : deux zones 40x40 mm humides et collantes :
- humides à odeur de vinaigre caractéristique de l'osmose.
- collantes : résine non polymérisée.

Tout ceci indique une maîtrise incertaine de la construction polyester, qui est à replacer dans le contexte de l'époque : tous les chantiers s'orientaient, bon gré mal gré, même les inconditionnels amoureux et excellents spécialistes du bois, vers la construction polyester, sans être vraiment informés, formés et compétents pour cela.

Il est certain que pour ce bateau, le devis a été évolutif, en fonction des mauvaises surprises découvertes au cours de l'avancée de la réparation.
Un nouveau stratifié a été posé avant de faire le traitement à l'époxy.

NOM DU BATEAU : "C.....C" - Bateau à moteurs de 15 m.
Fabrication américaine - chantier réputé - âge du bateau : 15 ans.

PHOTO 2-36 : l' "osmose" apparaît sous forme de très grosses cloques
PHOTO 2-37 : le sablage a percé des trous dans la couche dure. On voit dans le trou, le vide qui existait entre la couche dure et les couches suivantes.
PHOTO 2-38 et 2-39 : en tirant autour de ces trous, la couche dure se détache complètement et facilement des couches suivantes.

PHOTO 2-40 : la couche dure est constituée d'un mat et d'un tissu léger (150 g/m2 environ).
PHOTO 2-41 : toute cette couche dure est délaminée et a été "pelée" par bandes de 2-3 m de long de la totalité de la surface de la carène.

Ici, on est en présence d'un délaminage pur et simple, résultant d'une mauvaise fabrication, probablement un délai trop long entre la stratification de la couche dure et le reste du stratifié (voir chapitre 6 paragraphe 4-7), sans doute accentué par une humidité ambiante trop forte dans l'atelier de moulage.
La pénétration d'eau entre la couche dure et les couches suivantes a accéléré le défaut en hydrolysant la résine d'intercouche.

NOM DU BATEAU : " T....A " petit bateau à moteur. Age 2 ans mais à l'eau 5 mois par an.
Fabrication française - chantier de moyenne production.

Mesures d'humidité du stratifié : irrégulière, de 5 à 18%.
Présence de très nombreuses petites bulles - Ø 2 à 3mm, très serrées (espacement 10 à 15mm).

Une osmose aussi rapide est anormale et s'explique par un problème particulier en fabrication : sous la plupart des bulles, on trouvait un peu de gelcoat rouge.
Cause : coque à franc-bord bicolore (voir chapitre 6 paragraphe 4-7).

****

4-3°) JUSQU'OU IL VAUT MIEUX NE PAS ALLER

NOM DU BATEAU : "F.....L" - voilier de 10m.
Fabrication anglaise - chantier très réputé de moyenne production - âge du bateau : 24 ans.

- Gel-coat : épaisseur irrégulière et très mince.
- BULLES : photo 2-42 : très grosses cloques (Ø 13 cm environ - déformation maximale : 5 mm) pas très rapprochées. Elles ne sont pas sous le gelcoat mais sous le 2ème mat.
Jus osmotique sous forte pression. Certaines cloques sont crevées et laissent couler ce jus (photo 2-43).
Photo 2-44 : sous les cloques, l'attaque est passée dans le stratifié, derrière le 2ème mat de verre.

Après sablage :
Photo 2-45 : l'osmose est effectivement très profonde, elle est parfois bien au-delà du 2ème mat.
Photo 2-46 : coque percée : un trou à Td et un autre à Bd.
Photo 2-47 : il reste encore quelques poches non crevées par le sablage - elles sont donc profondes - et qui contiennent encore du jus.

Il sera nécessaire de renforcer en stratifiant du tissu de verre : 1 ROVIMAT 300/300 + une bande d'un 2ème ROVIMAT 300/300 au retour du galbord, partie qui travaille à cause du lest et où l'attaque est sévère.
Ce renforcement pourra se faire par une couche à l'extérieur et la 2ème à l'intérieur, ce qui est plus confortable et ce qui est possible avec les meubles enlevés (la surface du bordé est alors accessible et "nette" de tout obstacle).

****

5°) CAS PARTICULIERS :

5-1°) BATEAU SANS GELCOAT

NOM DU BATEAU : "T.....E" - voilier de 8 m.
Fabrication française - chantier de grande production, réputé, aujourd'hui disparu - âge : 14 ans.

Particularité de ce bateau : il n'y pas de gelcoat. A la demande du premier propriétaire, ce bateau a été réalisé sans gelcoat : passage d'une couche de résine (au lieu de gelcoat) au pistolet puis dépose des mats et tissus de verre et stratification habituelle.
Bulles : aucune bulle. L'absence de paroi semi-perméable - elle est très perméable, c'est une "passoire" - n'a pas permis l'établissement de la pression osmotique. C'est pour cette raison qu'il n'y a pas de bulle.
Mesure d'humidité du matériau : 21 à 22% partout. Ceci confirme la pénétration d'eau dans le stratifié.

Photo 2-48 : on voit bien beaucoup de petites tâches blanches dans le stratifié : c'est la résine autour des fibres qui a été hydrolysée et en ces endroits il n'y a plus de liaison fibre de renforcement/matrice(résine) donc perte de résistance mécanique.

Le traitement a été fait par :
- Décapage de la peinture effectué au ciseau à bois.
- Etablissement d'une tente en film plastique autour de la carène et chauffage par radiateur électrique soufflant (2000 W) jour et nuit pendant 1 mois 1/2 environ puis la tente ayant été détruite par le vent, le séchage naturel a continué en extérieur pendant 2 mois.
- Le traitement époxy s'est fait au Gelshield, sans mastic époxy puisqu'il n'y avait pas de ragréage à faire (puisque pas de sablage), mais en mettant deux couches supplémentaires soit un total de 5 couches.

****

5-2°) BATEAU AVEC DEUX COUCHES DE GELCOAT. OSMOSE SUPERFICIELLE :

NOM DU BATEAU : "G.....O" - Bateau à moteurs de 11 m.
Fabrication américaine - chantier réputé - âge du bateau : 16 ans.

Photo 2-50.
Au contraire du précédent, le cas particulier de ce bateau est d'avoir deux couches de gelcoat : la première blanche, la seconde noire. Quand on veut avoir une forte épaisseur de gelcoat, c'est la seule solution.
En effet le gelcoat comme toute résine polyester non chargée de fibre de verre a un retrait volumique important lors de sa polymérisation. Si l'épaisseur est trop importante, ce retrait provoque un fendillement. Lorsqu'on veut avoir un gelcoat très épais on est donc obligé de le passer en couches multiples.
La difficulté est de passer la deuxième couche au bon moment : pas trop tard pour avoir un bon accrochage avec la première mais pas trop tôt sinon on "détrempe" la première c'est-à-dire que le solvant de la deuxième couche va diluer la première couche non encore durcie.
Cela n'a pas été pourtant la cause directe de l'osmose de ce bateau, au contraire, la double épaisseur ayant assuré une protection meilleure que la normale puisqu'il a fallu 16 ans pour que la pénétration de l'eau soit suffisante pour manifester cette osmose naissante.

Le traitement a commencé par un sablage humide et peu agressif avec un nettoyeur haute pression genre Karcher, gros modèle (6,8 kw) pour garder un bon état de surface qui permettra un ragréage aisé. Seules les petites cloques sont éclatées.

Par contre il a fallu y revenir en trois fois en certaines zones pour avoir un résultat satisfaisant, ce qui économiquement n'est pas valable.

Photo 2-50 : sablage peu agressif et partiel : tout le gelcoat n'est pas enlevé. La question est : ne reste t'il pas des bulles cachées sous le gelcoat restant ?

5-3°) CAS PARTICULIER DE ZONES REMPLIES DE MOUSSE :

NOM DU BATEAU : "G.....C" - voilier de 12,60 m.
Fabrication hollandaise - chantier réputé de moyenne production - âge du bateau : 9 ans.

Observations faites :
Bulles :
- taille : moyenne : Ø 7 mm, maxi : Ø 12 à 15 mm
- localisation : beaucoup de petites bulles situées un peu partout.

Mesure de l'hygrométrie du stratifié:

REPERE :		A	B	C	D	E	F	G
DATE	24/10/89	11	19	15	19	15	19	19
DATE	8/11/89	4	14	5	15	8	19	15
DATE	20/12/89	10	16	18	17	12	22	16
DATE	13/2/90	2	5	3	12	2	19	2
DATE	1/3/90	1	5	2	10	2	18	2
DATE	19/3/90	1	5	2	10	2	19	2
DATE	19/4/90	1	1	1	2	2	16	1
DATE	11/5/90	1	5	5	2	3	18	2
DATE	25/5/90	1	12	8	2	4	19	1
DATE	13/6/90	1	1	2	1	2	12	1

Point F : au niveau de la glacière (1m x 0,4 m environ).

Le point F est situé au niveau de la glacière-frigo : l'isolation thermique est probablement imparfaite, il y a un point froid (pont thermique) sur lequel l'air (extérieur à la glacière-frigo) se condense ce qui a alimenté l'humidité du stratifié pendant de nombreuses années. Autre possibilité : fuite à l'évacuation des eaux de condensation du bac ou encore bac fendu. Dans tous les cas la mousse d'isolation, humide, "bloque" le séchage.
La zone de la glacière représente une surface de 1 m x 0,40 m environ.
Le traitement sera bon pour tout le bateau sauf cette zone de la glacière.

****

5-4°) CAS PARTICULIER DE RECHUTE APRES UN TRAITEMENT :

Cet exemple montre aussi
- l'influence de l'humidité des deux mats de la couche dure.
- l'influence des variations passagères de l'humidité, variations qu'il faut interpréter pour ne pas se laisser abuser par les chiffres seuls.

NOM DU BATEAU : "T.....R" - voilier de 10 m.
Fabrication française - chantier très réputé de moyenne production - âge du bateau : 10 ans.

Traitement anti-osmose : fait en 86/87, probablement sur un stratifié non correctement séché.

Observations faites en 90 :
Bulles :
- taille : moyenne: Ø 5 à 6 mm, bien rondes.
maxi : Ø 10 à 15 mm, sur le safran en particulier.
- localisation : partout
- "jus" : oui

Mesure de l'hygrométrie du stratifié : 21 à 24% en moyenne.
Cas particulier supplémentaire pour ce bateau : à cette osmose classique s'est superposée une osmose "peinture" (voir Chap. 1 - Parag. 4) assez violente : nombreuses bulles avec "jus" juste sous le film de peinture.

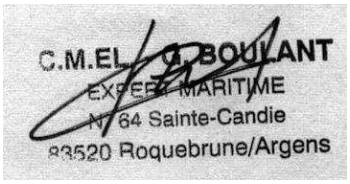
****

6°) L'OSMOSE DES FONDS INTERIEURS DU BATEAU

NOM DU BATEAU : "B.....Y" - voilier de 8 m
Fabrication française - chantier de moyenne production - aujourd'hui disparu - âge : 17 ans.
Particularité : contre-moule intérieur de coque intégrant les fonds de coque.

Dans un creux de ce contre-moule l'eau qui ne peut s'évacuer, a créé une osmose légère mais suffisante toute de même pour voir à l'oeil nu le marquage de la fibre à travers le gelcoat mince.

****



CHAPITRE 4 : JEU DE QUESTIONS / REPONSES POUR MIEUX COMPRENDRE.

Ayant donné les informations de base et les ayant illustrées, faisons maintenant un petit jeu de questions réponses car je suis sûr qu'au cours des explications précédentes, un flot de questions vous venaient à l'esprit et dans les sous-entendus ou les points de suspension, vous n'y trouviez pas les réponses que vous souhaitiez.

****

EST CE QUE TOUS LES BATEAUX EN STRATIFIE SERONT ATTEINTS ?

Oui, à ce jour, tous les bateaux en stratifié polyester sont sujets à l'osmose, cela est inhérent au matériau actuel. On sait maintenant que le "plastique" n'est pas "imputrescible", comme on disait avant. A plus ou moins long terme tous les bateaux construits avant 1985-86 auront l'osmose. C'est à cette période que l'osmose des coques polyester a été mise en relief et que certains chantiers, pas tous, même aujourd'hui, ont commencé à prendre des dispositions spécifiques préventives.
A partir de 1985-87 les choses on pu s'améliorer ou non selon les réactions des chantiers. Dans ce qui suit, on parle des bateaux fabriqués avec une résine ORTHO (cela sera détaillé au chapitre 6), ce qui représente 95% des bateaux construits à ce jour.

La seule exception concerne les bateaux qui hivernent à sec et qui ne sont mis à l'eau que pour les 2 à 3 mois des vacances : ils trempent peu de temps dans l'eau et pendant leur séjour à sec, bien que leur stratifié ne soit pas à nu (il y a le gelcoat et l'antifouling) ils vont reperdre un peu de l'humidité qu'ils ont pris. Ils vont donc absorber l'eau graduellement mais très lentement : ils auront de l'osmose dans très longtemps.....cinquante ans peut-être, autrement dit pratiquement jamais.
Cette exception se rencontre surtout pour les petits bateaux à moteur tractables sur remorque et qui ne sont mis à l'eau qu'au gré des plans d'eau visités.

****

CERTAINS FACTEURS ONT-ILS UNE INFLUENCE ?

- En eau douce le phénomène est plus rapide car l'écart des concentrations eau/"jus" est plus grand.

- La température de l'eau a une influence mais vous ne pouvez pas la modifier.
Nous verrons plus loin qu'il est estimé que la vitesse d'apparition du cloquage double approximativement pour une élévation de température de l'eau de 10°C . Heureusement, la température de l'eau autour de votre bateau sera en moyenne au long de l'année de 12 à 15°C. En Méditerranée, pendant les mois d'été, elle pourra monter à 25-28°C. Aux Antilles elle sera constamment à cette température.
Pour une fois, ce sont donc les gens du Nord qui sont plus favorisés sur ce sujet.
Cela peut expliquer qu'une osmose puisse se voir d'abord près de la flottaison, surtout pour les bateaux méditerranéens. Mais ce n'est pas aussi général que cela, moi-même je ne l'ai rencontrée que dans 1 % des cas, et encore pour ce cas précis, j'ai seulement noté que la concentration de bulles était un peu plus forte près de la flottaison et sur une zone réduite, mais tout le bateau était osmosé et l'humidité était constante sur toute la surface de la carène.

- Le temps de séjour dans l'eau a une influence importante. En particulier les bateaux qui ne sont mis à l'eau que pendant le temps des vacances auront d'une part un temps cumulé d'immersion très faible et en plus ils peuvent sécher partiellement pendant leur hivernage à terre. Pour ces bateaux il n'y aura pratiquement jamais d'osmose. C'est le cas de la plupart des petits bateaux à moteur dont l'utilisation courante correspond à ce principe.

- Le type et la qualité des matériaux conventionnels utilisés pour la construction (principalement gelcoat, résine de stratification, tissus de verre), les épaisseurs etc... influent sur le temps nécessaire pour l'apparition du phénomène mais n'évitent pas cette apparition.
La qualité de la fabrication peut influer sur les dégâts résultant de l'osmose, sur la quantité d'eau absorbée et donc sur le temps de séchage du stratifié au cours de la réparation.
Mais même bien fabriqué, un bateau polyester est sujet à l'osmose.

****

L'ENTRETIEN DU BATEAU A T-IL DE L'IMPORTANCE ?

Il y a quelques règles générales à respecter :

- ne pas décaper un ancien antifouling en utilisant un outil comme un grattoir et agresser le gelcoat c'est-à-dire y faire des éclats. Le ponçage du gelcoat sera léger avec un papier de grain 400 ou plus fin.
Il ne faut pas utiliser des décapants chimiques trop agressifs pour le gelcoat. Pour une même marque, certains décapants sont adaptés pour le polyester comme l' INTERSTRIP A/F alors que son "frère jumeau" l' INTERSTRIP EXTRA est à rejeter absolument. Il ne faut donc pas confondre les deux.
Utiliser comme nettoyant de l'alcool éthylique dénaturé à 95°.
Eviter l'emploi de solvants forts, acétone, trichloréthylène, acétate ... à même le gelcoat. Sa porosité naturelle leur permettra de remonter dans le stratifié.

- ne pas omettre de réparer un éclat de gelcoat sous la flottaison et ne pas croire qu'il suffit de passer un coup d'antifouling pour le réparer. Cependant un délai de 6 mois avant de faire la réparation définitive est tout à fait acceptable.
Une réparation sous la flottaison ne se fait pas en utilisant un mastic polyester. Il faut utiliser impérativement du mastic époxy sans solvant.
Il est évident que toute infiltration d'eau facilitée dans le stratifié est mauvaise. Il ne faut pourtant pas exagérer cet aspect car je n'ai pas encore vu d'osmose localisée à une zone réduite alors que tout le reste serait bon.

****

L'UTILISATION DES NETTOYEURS A HAUTE PRESSION, GENRE "KARCHER", EST-ELLE A PROSCRIRE ?

Non car leur action est très rapide et pour reprendre l'exemple des étincelles (chap. 2 parag. 1-1), le balayage par le jet est trop fugitif pour que l'humidité pénètre, ou si peu, dans la matière surtout que l'antifouling fait déjà une première barrière capable d'absorber un phénomène aussi transitoire. Par rapport aux années et aux années d'immersion, cela a une importance dérisoire.
Tout au plus, et pour obtenir le même effet de nettoyage, peut-on recommander d'avoir un jet tangentiel plutôt que toujours perpendiculaire à la surface et de tenir la buse pas

trop rapprochée de la coque (au moins 20 à 50 cm). Eviter d'insister avec un jet perpendiculaire trop proche du gelcoat nu.

****

JE VOIS QUELQUES BULLES SUR LA COQUE DE MON BATEAU, J'ENVISAGE DE LES FAIRE DISPARAITRE PAR MEULAGE PUIS DE MASTIQUER EN CES ENDROITS, EST CE EFFICACE ?

Non, un traitement localisé aux seules bulles est totalement inefficace, le mal réapparaîtra ailleurs puisqu'il y est déjà.

****

LA PROTECTION EPOXY EST ELLE ETERNELLE ?

La résine époxy a un coefficient d'absorption de l'eau non négligeable mais heureusement très lent (voir chapitre 6 parag. 4-1). Cependant, il suffit que très peu d'humidité atteigne la résine ORTHO qui est derrière cette barrière pour que l'osmose redémarre mais heureusement plus tardivement.
La protection époxy n'est donc pas éternelle.

****

EST CE VRAIMENT NECESSAIRE DE TRAITER UN BATEAU OSMOSE ?

Si on doit le faire, ce n'est pas parce qu'il y a des cloques. Elles sont sous la flottaison et généralement recouvertes de multiples couches de peinture antifouling. L'aspect esthétique peut donc être considéré comme secondaire.
Mais c'est parce que sans action réparatrice, l'osmose qui n'est que sous le gelcoat au début va pénétrer en profondeur. On va la retrouver ensuite sous les premiers mats de verre et le cloquage provoque alors des délaminages, locaux d'abord, puis plus étendus ensuite.

Si on regarde les photos 2-31 et 2-32, prises après sablage, on voit l'état d'un stratifié atteint sérieusement et profondément alors qu'extérieurement il n'y avait que quelques bulles.

Dans une osmose qui se développe, on aura d'abord une dégradation de la résine : elle est "bouffée" et elle n'enrobe plus la fibre de verre.
Rappelons que l'on peut comparer un stratifié au béton armé. Ce sont dans les deux cas des matériaux hétérogènes faits par l'association de deux matières de base de propriétés différentes.
L'un barres d'acier + béton, l'autre fibres de verre + résine. Dans le cas du béton armé, les barres d'acier apportent la résistance à la traction et le béton la résistance à la compression. Il faut une bonne adhésion entre béton et barres d'acier pour que les contraintes puissent passer de l'un à l'autre et assurer ainsi la résistance de l'ensemble. S'il n'y a plus de liaison entre ces éléments, la poutre n'aura plus qu'une résistance dérisoire.
Et bien imaginez de la même façon un stratifié où il n'y a plus de liaison fibre de verre/résine : la résistance mécanique diminue.

Si la dégradation se poursuit, la résine qui est en plus grande quantité entre deux couches de tissus, va se trouver attaquée prioritairement. On atteindra alors un stade où le délaminage interlaminaire apparaîtra c'est-à-dire la séparation de deux couches successives de fibres de verre.
Malheureusement cela arrive et là c'est un peu la catastrophe.
Le traitement n'a pas d'autre but que de se garantir contre ce risque.

La grande majorité des anciens et très anciens bateaux en polyester n'a jamais été traitée contre l'osmose, pourtant il est clair qu'ils sont osmosés eux aussi. Le début de la fabrication polyester pour des bateaux de grande diffusion se situant aux environs de 1960-65, on peut dire qu'un bateau polyester, même osmosé, peut durer 30 ans environ sans réparation. Mais lorsque l'osmose se découvrira il sera trop tard pour envisager une réparation correcte.

Si vous pensez que la durée de vie d'un bateau n'a pas à dépasser trente ans, alors la réponse à la question est "Non", ce n'est pas la peine de traiter. En contrepartie il va falloir réviser à la baisse la cote des bateaux d'occasions car actuellement un bateau de 25/30 ans a encore une cote qui est loin d'être nulle.
Si vous pensez que la cote actuelle de votre bateau ancien est normale, il faut alors qu'effectivement il ne soit pas à mettre en épave demain. Alors la réponse à la question est "Oui", il faut traiter.

****

JE VAIS ACHETER UN BATEAU D'OCCASION, A-T-IL L'OSMOSE ?

C'est probable, cela dépend de son âge, de son temps de séjour dans l'eau, de la qualité du gelcoat etc..... Seul un spécialiste peut vous le dire.

JE VAIS ACHETER UN BATEAU D'OCCASION, JE NE VOIS PAS DE BULLES, SUIS-JE SUR QU'IL N'A PAS L'OSMOSE ?

Non, certaines formes d'osmose ne créent pas de bulles suffisamment grosses pour les voir et les couches successives d'antifouling ne facilitent pas toujours l'observation.
D'autre part certaines osmoses ne forment pas de bulles. C'est le cas des bateaux sans gelcoat et de l'osmose des "vieux bateaux", qui est un cas très répandu. Seule une mesure d'humidité permet de détecter une osmose non visible ou naissante c'est-à-dire où le stratifié est plein d'eau mais les bulles ne sont pas encore formées.

JE VAIS ACHETER UN BATEAU D'OCCASION, ON ME DIT QU'IL A L'OSMOSE, QUE DOIS-JE FAIRE ?

- Solution 1 : comme tous les bateaux en stratifié construits dans le passé (et même encore maintenant pour beaucoup de chantiers) sont ou seront atteints, il est préférable de le savoir lors de l'achat du bateau car cela n'empêche pas de l'acheter s'il vous convient, de l'utiliser normalement, de chercher tranquillement un chantier réparateur dans la zone de stationnement du bateau. Le prix de vente du bateau doit en tenir compte c'est-à-dire que le vendeur, n'ayant pas la peine de se soucier du traitement et d'être privé de l'utilisation du bateau pendant le séchage, en retirera donc un avantage. Pour l'acheteur, le traitement qu'il va payer va remplacer le gelcoat polyester par un époxy de forte épaisseur ce qui lui donne un bateau meilleur, vis à vis de l'osmose, qu'il ne l'était avant. Il en retire donc, lui aussi un avantage.
De ce fait le prix de vente du bateau est généralement diminué de la moitié du prix de la réparation, ce qui parait équitable.
Cette façon de réagir doit faire son chemin dans l'esprit des gens et les comportements doivent commencer à changer.

- Solution 2 : renoncer et en acheter un autre supposé sain et découvrir brusquement et tardivement le problème, être pressé pour trouver une solution et devoir alors supporter seul les frais.

JE VAIS VENDRE UN BATEAU D'OCCASION, QUE DOIS JE FAIRE ?

- ne rien faire, et risquer ultérieurement un recours de la part de l'acheteur. D'autre part si l'acheteur le fait expertiser et s'il a l'osmose cela lui donnera matière pour négocier le prix à la baisse d'une façon importante.
- ou le faire expertiser : s'il n'a pas l'osmose cela vous permettra d'affirmer qu'il est sain le jour de la vente. S'il a l'osmose, le signaler dans la proposition de vente et en tenir compte pour le prix.

****

JE VEUX FAIRE MOI-MEME UN TRAITEMENT CURATIF DE MON BATEAU, EST CE POSSIBLE ?

- oui, à condition de respecter les principes décrits auparavant.

- un traitement localisé aux seules bulles est totalement inefficace, le mal réapparaîtra ailleurs puisqu'il y est déjà.

- un décapage par disquage est une corvée qu'on n'est pas sûr de mener jusqu'au bout.
Il ne fait pas sauter les chancres et "n'ouvre" pas la fibre. Le séchage risque d'être problématique.
Le décapage par rabotage est plus adapté au traitement par un amateur. S'il peut être suivi d'un sablage léger, c'est parfait.

- le séchage doit être contrôlé c'est-à-dire mesuré avec un appareil adapté pour cela.

- si le traitement est raté, il faudra tout refaire mais cette fois il faudra décaper le "bouclier" époxy et non plus un simple gelcoat, ce qui est beaucoup plus difficile. Les frais dépensés la première fois (produits, stationnement, location de matériel etc...) l'auront été en pure perte.

- si vous vendez ensuite votre bateau, il faudrait pouvoir prouver que le traitement a été fait correctement.
Car malheureusement il existe beaucoup de cas de bateaux traités, mais incorrectement, et qui ont de nouveau l'osmose peu de temps après.
Vous faire assister par un spécialiste n'est donc pas superflu sur le plan technique. Vous faire assister par un expert indépendant qui pourra, en plus, vous remettre un rapport de suivi des travaux et certifier de la qualité des travaux n'est pas superflu sur le plan de la valeur marchande de votre bateau à la revente.

****

DONC L'OSMOSE ON NE PEUT PAS Y ECHAPPER ?

Non. Il y a encore quelques années seulement, quand on évoquait le pourcentage de bateaux atteints les chiffres qui circulaient étaient de 1 à 2% selon les uns, 10 à 20% selon les autres, avec des variations suivant les pays, plus chez les anglais, moyennement chez les américains et moins pour les français (?).

En Angleterre, dès les années 1970-75, le problème commençait à être connu et étudié.

En 1973 G M Clarke de SCOTT BADER publie une note technique discutant des probabilités d'apparition de cloques dans les polyester en milieu marin : ses propos sont accueillis fraîchement par les mouleurs de coques et seuls les fabricants de grands réservoirs d'eau douce commencent à modifier leur fabrication et leur choix des matériaux avec grand profit vis à vis de l'osmose.

Cependant les choses vont commencer à évoluer et à s'accélérer sans doute parce qu'ils seront les premières victimes du passage du mat "liant poudre" au mat "émulsion" - on détaillera cela au chapitre 6 - ce nouveau mat étant d'origine anglaise et certainement aussi parce que le circuit de fabrication est différent : les coques polyester sont fabriquées par des entreprises qui ne font que du moulage et rien d'autre, ces pièces moulées étant ensuite équipées et terminées par des chantiers, le bateau final étant commercialisé sous la marque du chantier.

La spécialité du mouleur anglais l'a certainement rendu plus sensible aux problèmes liés au stratifié puisqu'il s'agit de son domaine spécialisé de connaissance. Probablement, il moule aussi des piscines et là l'osmose sévit depuis longtemps et sévèrement.

En France le chantier est toujours, sauf exception, mouleur de la coque de son bateau et la plupart des problèmes le préoccupant sont plutôt du domaine du gréement, du moteur, de la plomberie ... et pas du tout de l'osmose puisque aucun client ne s'en plaignait jusqu'alors.

C'est, de mon point de vue, la raison pour laquelle il a fallu attendre 1985, en France, pour qu'un accident de qualité de produit utilisé par un grand chantier ait porté à la connaissance des chantiers eux-mêmes et du grand public les problèmes de l'osmose.
Mais ça n'a certainement pas été, de la part des chantiers, une volonté délibérée d'employer des matières de basse qualité pour baisser les prix qui a déclenché le phénomène.

A ce titre, il est faux de dire que les anciens bateaux étaient mieux construits, "la preuve, ils n'ont pas l'osmose".
Si, ils l'ont aussi, même si ça ne se voit pas extérieurement. C'est l'osmose des bateaux de 15 à 20 ans d'âge ou plus : le gelcoat de l'époque est tellement perméable que la pression osmotique ne peut pas s'établir, il n'y a donc pas de bulle visible sur l'extérieur de la coque et pourtant le taux d'humidité du stratifié est élevé et si on sable la coque on voit alors les "cratères" qui sont les endroits où l'hydrolyse s'est faite : le stratifié est bel et bien dégradé.

DONC, EST CE QUE TOUS LES BATEAUX EN STRATIFIE SERONT ATTEINTS ?

A ce jour, tous les bateaux en stratifié polyester ORTHO sont sujets à l'attaque par l'eau, cela est inhérent au matériau actuel.
Le "plastique" n'est pas "imputrescible" et à plus ou moins long terme chacun de ces bateaux sera atteint d'hydrolyse.
C'est à partir de 86 que certains chantiers ont commencé à combattre l'osmose au stade de la fabrication, ce dont nous reparlerons au Chapitre 6.

Compte tenu des résultats de mes expertises et pour des bateaux de 10 ans ou plus, le pourcentage est de 50% si l'on prend les bulles comme indicateur de l'osmose et de 100% si l'on prend l'humidité du stratifié comme indicateur.

Cette question de pourcentage d'humidité, à un moment donné, est un peu simpliste d'ailleurs car quand peut-on dire qu'un bateau est osmosé ?
- quand on voit les cloques ? Oui bien sûr, là tout le monde est d'accord.
- mais six mois ou un an avant de voir les cloques, n'a-t-il pas déjà l'osmose ?
- quand l'humidité du matériau a déjà atteint un seuil important, n'a-t-il pas déjà l'osmose ?

Une forte humidité du stratifié est elle un indication sûre de l'osmose ? Autrement dit, un stratifié sans bulle mais très humide est-il osmosé ?
Théoriquement non, le stratifié peut être humide sans être pour autant dégradé. Si la résine, en particulier, est "inerte" vis à vis de l'attaque par l'eau, le stratifié sera humide mais sain. Comme le bois.
Ce sera le cas d'une résine vinylester et à un degré moindre d'une résine polyester ISO comme nous l'expliquerons au chapitre 6.
Par contre, avec une polyester ORTHO, ce qui représente la presque totalité des bateaux construits à ce jour, il a été constaté que la présence d'eau induit toujours l'hydrolyse de la résine et la dégradation du stratifié.

Il faut s'y faire et commencer à changer les mentalités.
Il faut intégrer ce problème dans l'entretien de son bateau, dans les relations entre vendeur et acheteur de bateaux d'occasion. Il faut regarder le problème en face mais calmement et sereinement puisqu'il y a des solutions, comme pour l'acier qui rouille ou le bois qui pourrit. Quand cela arrive, on change le morceau pourri et c'est reparti pour une nouvelle période d'utilisation.
Il faut que les relations entre vendeurs et acheteurs se modifient. Les vendeurs ne doivent plus affirmer péremptoirement que leur bateau est sain, que l'osmose c'est seulement pour les bateaux X mais pas pour les leurs.
Les acheteurs ne doivent pas avoir peur de l'osmose, si le bateau leur plait et correspond à leur budget, l'osmose n'est pas une raison pour tourner les talons et faire quoi ? Courir l'occasion, de bateaux osmosés en bateaux osmosés ? Car il est clair que compte tenu de votre budget et de la taille que vous recherchez, vous avez toute chance de toujours tomber sur des bateaux d'un certain âge qui vraisemblablement en seront au même point vis à vis de l'osmose.
Par contre, ce qu'il faut éviter bien sûr c'est une osmose qui se révèle par des désordres importants, une osmose avec délaminage, quelquefois réparée, mais dont la tenue dans le temps est illusoire. Il est des bateaux qui, compte tenu de leur médiocre qualité de fabrication ajoutée à une osmose devraient rebuter tout acheteur, à juste titre. Là est le vrai problème.

DONC LE POLYESTER EST UN MAUVAIS MATERIAU?

Certainement pas, il reste un matériau tout à fait valable, pas aussi parfait qu'on ne l'imaginait, c'est vrai. Comme pour d'autres matériaux, il faudra prévoir cette opération d'entretien au cours de la vie du bateau et l'intégrer dans le coût d'amortissement. Si cela arrive une fois tous les quinze ans, c'est sans doute supportable. Et puis pour les bateaux neufs il y a un vaste choix d'améliorations à un surcoût relativement réduit.

****

L'ASPECT JURIDIQUE DU PROBLEME DE L'OSMOSE :

Les relations entre acheteurs et vendeurs ou propriétaires et chantiers ne se passent pas toujours sur le plan amiable et la justice a déjà eu à traiter ce genre de problème.

Actuellement la jurisprudence est plutôt toujours en faveur du propriétaire considéré comme un consommateur lésé. Ainsi des chantiers ont été condamnés à dédommager une partie importante des traitements de réparation osmose même pour une osmose déclarée sur un bateau de douze ans. Ceci qui me parait tout à fait excessif.
Si on admet que l'osmose n'est plus l'exception qui indique forcément une faute du chantier, il est probable que dans les années à venir la jurisprudence va se modifier pour prendre en compte la réalité et la normalité des faiblesses de ce matériau.

De mon point de vue :

Il est "classique" et admissible que l'osmose se révèle à partir de 7 à 10 ans pour des bateaux construits correctement avec les matériaux de l'époque. C'est un temps que l'on peut qualifier de "normal" pour que l'eau ait réussi à passer à travers le gelcoat, à pénétrer dans le stratifié et à y provoquer des dégâts qui sont visibles à l'extérieur et qui révèlent l'osmose.

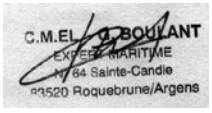
Par contre, est anormale :

- une osmose violente et rapide au point de se révéler extérieurement (par des cloques) après un an de séjour dans l'eau. Cela révèle un défaut de mise en oeuvre ou un incident au cours de la fabrication, ce dont on reparlera au Chapitre 6 - Parag. 4-7. Même si cela ne met pas déjà en cause la solidité de la coque, la valeur marchande s'en trouve affectée.

- une osmose d'un bateau, même de 15 ans, qui ayant été mal construit, produit des délaminages importants (séparation des plis du stratifié polyester) dans le bordé de coque, pratiquement impossibles à réparer correctement, qui rendent ainsi le bateau impropre à son usage en toute sécurité et qui ne correspond pas à la durée de vie normalement constatée pour ce genre de bateau.

Entre les deux, et pour autant que des défauts de fabrication ne soient pas révélés, est-ce du domaine du normal ou non ?
Est-ce du domaine de l'entretien du bateau ?
Est-ce une forme de tromperie, l'image de matériau sans entretien ne correspondant pas à la réalité ?
La réponse est discutable.

****



CHAPITRE 5 : LES COUTS DE REPARATION

Prix base année 1993 (ils ont peu varié), et en FF, vous ferez la conversion (… FF/6,56=… €).

Les coûts de réparation se décomposent en 4 postes principaux :
- le décapage du gelcoat.
- le stationnement en extérieur ou sous abri pour séchage.
- le traitement époxy proprement dit.
-les manutentions, mise au sec, remise à l'eau, éventuellement démâtage et remâtage pour rentrer sous hangar.

Pour chacun de ces postes, il pourra y avoir deux prix suivant que le traitement est fait par un chantier professionnel ou par le propriétaire lui-même en tant qu'amateur.

1°) Le décapage du gelcoat

Il est fait, rappelons le, soit par sablage, soit par rabotage, soit par une combinaison des deux.
Le sablage demande : un compresseur, une sableuse, du sable.
Le compresseur et la sableuse : dans le cas où il est fait appel à un professionnel du sablage, c'est lui qui loue ce matériel ainsi que son travail. Quelquefois, le chantier ne possède que la sableuse et il loue seulement le compresseur à une société de location d'outillage lorsqu'il en a besoin, c'est-à-dire lorsqu'il a une série de plusieurs bateaux à traiter en même temps.

Il y a quelques travaux annexes tels que :
- la protection autour de la carène par une bâche plastique pour éviter de faire voler du sable partout.
- le ramassage de tout le sable chargé des débris en fin d'opération et son évacuation à une décharge contrôlée.

Quantité de sable : il est variable selon la dureté du gelcoat à décaper et selon la gravité de l'osmose (zones à approfondir ou non).
On peut citer des chiffres moyens de 2 tonnes pour un 33 pieds, soit environ 1 tonne pour 10 m2 de surface à traiter.

QUELQUES CHIFFRES DE PROFESSIONNELS :
- sablage complet : 3 m2/heure ou140 à 170 F/m2 HT
- protection et nettoyage : forfait 1 300 F HT environ
- rabotage seul : 2 m2/heure soit 70 F/m2 HT
- rabotage + sablage léger : un peu moins que170 F/m2 HT

Soit pour un 33 pieds (10 m), environ 20 m2 de carène à traiter : sablage complet avec protection et nettoyage : 4 500 F HT = 5 337 F TTC.

2°) Le séchage

Le séchage extérieur

Il en coûte le prix du stationnement et quelques opérations annexes telles que mise en place d'une jupe plastique, surveillance et remise en état si jupe arrachée ....

Le séchage en extérieur avec tente

Il faut, en plus, fabriquer la tente : mise en place de supports en bois et fixation de la tente. Il faut en assurer la surveillance et la remise en état probable de temps en temps.

Le séchage en intérieur sous hangar

Il en coûte le prix du stationnement sous hangar, plus cher, plus le prix de la tente éventuellement.

Activation du séchage par chauffage, absorbeurs d'humidité ou déshumidifieurs électriques

- radiateurs électriques soufflants, il en coûte :
. l'amortissement du matériel : faible.
. le coût des kWh électriques dépensés.

- absorbeurs d'humidité type "RUBSON" :
. le prix des absorbeurs : très faible.
. la surveillance, l'échange des absorbeurs ou leur séchage éventuel.

- déshumidifieurs électriques
. l'amortissement du matériel : faible (prix d'achat : à partir de 3000 F TTC).
. le coût des kWh électriques dépensés (consommation : environ 0,160 kWH soit environ 180 F pour un séchage de 2 mois).

3°) Le traitement époxy proprement dit

Il comportera un coût matière - les produits utilisés - et un coût main-d'œuvre.

Les produits sont relativement chers, car il s'agit de produits époxy.
Il peut varier bien sûr selon les fournisseurs, mais le jeu de la concurrence fait qu'ils sont tout de même assez voisins.

4°) Les manutentions, mise au sec, remise à l'eau, éventuellement démâtage et remâtage pour rentrer sous hangar :

Ces prix sont très variables suivant les zones géographiques. Il faut les négocier en tenant compte d'une durée longue.

****

Quantités des Produits employés, quelques chiffres vérifiés par l'expérience :

Pour un voilier de 10 m, surface à traiter 20 m2, après sablage :
- 8 x 1,44 L GELSHIELD pour 4 couches dont une au pinceau soit 0,14 L/m2 et par couche.
- 5 x 0,75 L GELSHIELD 200 pour 1 couche soit 0,19 L/m2 et par couche.
- 3 x 3 L WATERTITE soit 0,45 L/m2) soit
- 1 x 3 L INTERFILL 830 soit 0,15 L/m2) 0,60 L/m2
- 5 x 1 L Diluant N° 7 (pour nettoyage Gelshield - peinture)
- 1 x 0,5 L Diluant N° 1
- 1 x 1 L Diluant N° 3
- 1 x 0,5 L Diluant N° 9
- 2 rouleaux Gelshield et 3x 3 recharges pour rouleau.

****

Pour un voilier de 8 m, surface à traiter 16 m2, sans sablage (coque sans gelcoat) :
- enduit époxy : zéro.
- 7 x 1,44 L GELSHIELD pour 5 couches soit 0,13 L/m2 et par couche.
- 3 x 0,75 L GELSHIELD 200 (primaire époxy d'accrochage de l'antifouling) pour 1 couche soit 0,14 L/m2 et par couche.

Pour un voilier de 11,60m, surface à traiter 37 m2, après sablage :
- 18 x 1 L VC TAR pour 7 couches dont une au pinceau soit 0,07 L/m2 et par couche.
- 8 x 3 L WATERTITE soit 0,65 L/m2) soit
- 3 x 3 L INTERFILL 830 soit 0,24 L/m2) 0,9 L/m2

****

Quelques chiffres aux U.S.A. :
- décapage gelcoat : 50$/pied de Lg.
- décapage gelcoat + 1er mat : 90$/pied de Lg.) 190 $ / pied
- application primaire Vinylester : 50$/pied de Lg.) = 1045 F/pied
- application un mat et Vinylester : 50$/pied de Lg.) (taux 5,50 F/$)

soit 35 000 F pour un bateau de 10 mètres.

****

Les prix professionnels pour un traitement complet :

Certains chantiers donnent un prix au m2 à traiter, d'autres donnent une règle plus simple avec un prix suivant la longueur du bateau.
Pour certains le prix inclut les manutentions, le stationnement, les frais divers, pour d'autres il faut ajouter ces coûts.
En général le devis est donné avant d'avoir vu le bateau et avant de l'avoir sablé. S'il en était autrement, cela voudrait dire que le bateau est déjà "prisonnier" puisqu'il serait déjà au sec et sablé et, seulement à ce moment on pourrait faire un devis. Aucun propriétaire ne pourrait s'accommoder d'une telle démarche, on le comprend. Mais il faut jouer le jeu dans les deux sens, il faut admettre que le sablage pourra révéler des désordres plus importants que la moyenne, des zones où il y aura de la stratification à refaire en particulier. Il faut accepter l'idée de surcoûts non prévisibles au départ, mais cela ne peut se juger que "sur pièces".

Quelques chiffres :

- Pour un séchage et application des produits époxy en extérieur : 1 000 à 1 200 F HT par pied de longueur hors tout du bateau + un forfait de 5 000F HT pour manutentions et stationnement. Il n'y a pas d'autre coût à ajouter sauf cas spécifiques dont on a parlé ci avant.
Pour un bateau de 10m, soit 33 pieds, cela fera donc 33 x 1100F + 5000F = 41 300 F HT, donc 49 000 F TTC.

- Toujours pour un séchage et application des produits époxy en extérieur :
1 300F HT par m2 pour une "gravité 1" et 1 600 F HT par m2 pour une "gravité 2". Dans ce cas, le niveau de gravité n'est connu qu'après le sablage.
A cela il faut ajouter le coût des manutentions et stationnement. Si on reprend l'exemple d'un 10 m où il y a environ 20 m2 à traiter, cela donne un coût, dans le cas le moins grave de 26 000F HT (31 000 F TTC environ) et de 32 000 F HT (38 000 F TTC) dans le cas plus grave et ajouter manutentions et stationnement, ce qui donne un total comparable.

Les cas de délaminages profonds sont des cas trop spécifiques pour avancer quelques chiffres.
La notoriété et surtout l'expérience du réparateur sont des points très importants pour assurer la réussite de traitements aussi délicats. Actuellement, peu ou pas de réparateur ne donne cependant de garantie contractuelle concernant cette réparation. Il est probable cependant que les produits et méthodes devenant plus adaptés, cela puisse changer dans les années à venir.
On peut déjà dire que pour un traitement bien fait, le remplacement du gelcoat polyester par un époxy de forte épaisseur vous redonne un bateau mieux armé vis à vis de l'osmose qu'il ne l'était à l'origine.

Dans un passé encore récent, le traitement se faisait couramment en mettant le bateau au sec, en enlevant simplement l'antifouling, en laissant sécher un peu, des durées très courtes de 15 jours n'étaient pas rares et en appliquant des produits qui n'étaient pas forcément des époxy mais quelquefois de bonnes peintures polyuréthane tout simplement et dans des conditions météorologiques douteuses. Tout ces bateaux ont révélé la persistance de l'osmose très peu de temps après, généralement dans l'année qui suit. Ils sont de nouveau à traiter.
Au fil des années, la connaissance du problème s'est améliorée, les produits adaptés se sont répandus. On a commencé à faire du sablage et à appliquer des époxy. Il y a eu encore quelques ratés, on a appliqué des époxy solvantés sur la fibre nue par exemple ou on attendait quelques mois seulement de séchage et aux premiers beaux jours on se disait : "ça doit être sec, on y va". Les résultats étaient encore décevants.
La progression a été très certainement freinée par le "mystère", le "tabou" qui était maintenu autour de ce problème. Si j'ai fait ce livre c'est bien parce que je crois qu'une information dépassionnée permet les échanges d'idées avec un langage à la portée de tous, avec une base technique plus claire qui fait que chacun sait de quoi il parle et comprend l'autre, et qu'en fin de compte le problème commence à se traiter avec le sérieux nécessaire.

****

RECAPITULATIF :

Trois tableaux sont présentés ci-après :

Le premier récapitule les produits déjà signalés au chapitre 2. On y retrouve les principaux paramètres résumés. Il y a une indication de prix public TTC par m2 qui peut aider celui qui veut faire son traitement lui-même. Ce sont des prix moyens observés en 1992/93. Le traitement préventif qui figure dans ce tableau et qui est appliqué sur un bateau neuf sera décrit au chapitre suivant.

Le deuxième et le troisième permet d'évaluer la surface à traiter :
- les bateaux répertoriés ne sont absolument pas une indication de fréquence d'osmose pour ces bateaux. Ils figurent pour aider à déterminer la surface à traiter, soit directement soit par comparaison pour des bateaux qui ne figurent pas dans ce tableau.
- quand le chiffre figure dans la colonne "surface à traiter - m2", c'est ce chiffre qui est "le plus vrai". La surface calculée n'est qu'un calcul simpliste approché. Par comparaison avec le chiffre "vrai", on peut se recaler pour le calcul d'un bateau quelconque.
- la surface calculée est en particulier très imparfaite dans le cas de :
    - dériveurs ou quille rétractable car le calcul prend en compte le tirant d'eau qui est alors réduit. Ex : le Corsaire, le First 24
    - tirant d'eau - T.E. très profond, pour quelques séries GTE : exemple l'Edel IV - Tequila - Jouet 24 etc .....
    - En fait il faudrait travailler avec le tirant d'eau de la coque seule (et avec une autre formule), mais c'est un chiffre qu'on ne trouve pas facilement dans les caractéristiques des bateaux.

- il y a bien peu d'indication pour les bateaux à moteur car les résultats d'essais de ces bateaux ne donnent pas généralement ce genre de renseignement (la surface mouillée). On peut la calculer approximativement pour les coques semi planantes ou planantes en Vé en multipliant la longueur à la flottaison par la largeur maxi.

****

1992/93	T°	Extrait sec	Application	Epais.	Rend.	Nbre	Epaiss.Tot.	Qté.Trait.	Prix
	mini	%		sèche/c	Pratiq	C	microns	pertes incl.	TTC/m2
Fabricant - TYPE	°C			microns	m2/L			L/m2	"Public"
"INTERNATIONAL"									
CURATIF									
Gelshield rés.époxy	14	98	B-R-Pd	100	7,5	1+2	300	0,4	124 F
Interfill 830 mastic	7	100	Sp		0,75	1	500 supposé	0,6	118 F
Gelshield200 primaire	7	41 solvanté	B-R-P-AL	40	8	1	40	0,125	28 F
								Total/m2 =	**271 F**
PREVENTIF sans solvant									
Gelshield rés.époxy	14	98	B-R-Pd	100	7,5	2	200	0,27	84 F
Gelshield200 primaire	7	41 solvanté	B-R-P-AL	40	8	1	40	0,125	28 F
								Total/m2 =	**112 F**
PREVENTIF avec solvant									
Gelshield200 primaire	7	41 solvanté	B-R-P-AL	40	8	5	200	0,625	140 F
								Total/m2 =	**140 F**
"EXTENSOR" (International)									
CURATIF									
VC watertite mastic	5		Sp		0,75	1à2	500 supposé	0,6	151 F
VC Tar rés.époxy	5	60 solvanté	B-R-Pd-AL	50	9	7	350	0,77	136 F
								Total/m2 =	**286 F**
PREVENTIF avec solvant									
VC Tar rés.époxy	5	60 solvanté	B-R-Pd-AL	50	9	4	200	0,44	77 F
								Total/m2 =	**77 F**
"VENEZIANI"									
CURATIF									
Aquastop rés.époxy	5	100	B-AL	150	5	1+3	600	0,8	
Epomast BPS mastic	5	97	Sp		0,75	1	500 supposé	0,6	
Adherglass primaire	0	20 solvanté	B-P	15	10	1	15	0,1	
PREVENTIF sans solvant									
Aquastop rés.époxy	5	100	B-AL	150	5	4	600	0,8	
"BRIGNOLA" (Sud Europe Technique)									
CURATIF									
Osmoshellrés. chargée	10	96	SpCr-Sp	1000	0,75	1+1	1300 supposé	1,7	
NelsonFondoEpossidicoLE	10	40 solvanté	B-R-AL	50	6	1	50	0,17	
PREVENTIF avec solvant									
NelsonFondoEpossidicoLE	10	40 solvanté	B-R-AL	50	6	4	200	0,67	
B=brosse,pinceau		R=rouleau	Pd=pad	P=pistolet		AL=airless		Sp=spatule	

	LHT	Lfl	Bau maxi	Bau flott.	T.E.	Déplac. Charge	Surf. mouill.	Déduct. surf.métal.	SURFACE à TRAITER	Surface calculée
	m	m	m	m	m	T	Tot.m2	m2	m2	m2
VOILIER A LEST RAPPORTE										••
	SURFACE CALCULEE PAR : (Bau maxi + T.E.) x Lfl x 0,5									
CORSAIRE	5,50	4,75	1,92	1,71	0,55	0,65	8	1	**7**	5,87
EDEL 6,60	6,50	5,48	2,5	2,12	0,57	1,8	11,6	2,8	**8,8**	8,41
FIRST 22 Q	6,58	5,8	2,5	2,05	1,14	1,8	10,5	2	**8,5**	10,56
BRIO	6,60	5,73	2,48	2,11	1,15	1,8	11,3	1,5	**9,8**	10,40
CALIFE	6,83	5,95	2,49	2,16	1,16	2	12,48	1,8	**10,68**	10,86
ALOA 23	7,00	5,45	2,45		1,1	1				9,67
EDEL IV	7,01	6,07	2,5	2,25	1,4	1,9	12,8	2	**10,8**	11,84
REVE DE MER	7,09	5,55	2,5	2,2	1,17	1,8	12,2	2	**10,2**	10,18
TEQUILA	7,18	5,7	2,44	2,02	1,48	1,5	11,5	2,1	**9,4**	11,17
JOUET 24	7,18	6,65	2,75	2,19	1,54	2,7	14,2	2,2	**12**	14,26
FEELING 7,20	7,20	6,2	2,7		1,4	2				12,71
START 7	7,20	6,3	2,64		1,45	1,7				12,88
FIRST 24 QR	7,30	6,65	2,5	2,15	1,9	2,3	13,7	2	**11,7**	14,63
DUFOUR 24	7,35	6,25	2,43	2,09	1,23	2	12,7	2	**10,7**	11,44
CAPRICE	7,36	6,25	2,5	2,14	1,27	2,1	13,6	2,4	**11,2**	11,78
SAMOURAI	7,36	6,3	2,45	2,28	1,29	2,1	14,8	2,8	**12**	11,78
ALOA 25	7,50	6,6	2,7	2,2	1,35	2				13,37
FIRST 25	7,55	6,65	2,74	2,38	1,4	2,8	14,9	1,8	**13,1**	13,77
DUFOUR 1800	7,60	6,7	2,62	2,1	1,34	2,4	13,45	2,2	**11,25**	13,27
SANGRIA	7,62	5,8	2,7	2,16	1,27	2	13,2	2,4	**10,8**	11,51
CONTEST 25	7,62	6,5	2,2	1,98	1,26	2,7	15,2	3,4	**11,8**	11,25
GIB SEA 77	7,68	6,9	2,8		1,5	2				14,84
GIB SEA 26	7,82	6,28	2,78	2,34	1,49	2,9	14,5	2,8	**11,7**	13,41
ECUME DE MER	7,87	5,85	2,68	2,29	1,26	2,2	13,3	2,2	**11,1**	11,52
ALOA 27	7,97	7,45	2,8	2,34	1,56	3,6	18	1,7	**16,3**	16,24
TARENTELLE	8,00	6,8	2,87	2,56	1,52	3	19,8	3,8	**16**	14,93
SUPER SIMOUN	8,00	6,75	2,42	2,06	1,28	2,3	15	2,6	**12,4**	12,49
DUFOUR 2800	8,27	6,84	2,93		1,5	2,7				15,15
DUFOUR 27	8,30	6,65	2,79	2,44	1,68	3,4	16,6	2,6	**14**	14,86
FIRST 285	8,30	7,4	2,99	2,28	1,62	2,4	16,4	3	**13,4**	17,06
REGENT	8,36	6,55	2,49	2,2	1,36	3,4	16,2	3,8	**12,4**	12,61
SUPER DAIMIO	8,40	7,4	2,8	2,54	1,43	4,1	16,7	1,6	**15,1**	15,65
FEELING 286	8,40	7,52	3,02	2,48	1,72	2,7	18,3	3	**15,3**	17,82
GIB SEA 28	8,50	7,2	3		1,9	3,5				17,64
ETAP 28	8,58	7,45	3,13	2,47	1,63	3,2	17	3	**14**	17,73
TRAPPER	8,63	7,1	2,55	2,25	1,42	1,8	15,7	2,6	**13,1**	14,09
ALOA 29	8,72	7,05	3,11	2,67	1,5	4	17	3,5	**13,5**	16,25
SUN DREAM	8,75	7,46	3,15	2,46	1,66	3,2	17,1	3	**14,1**	17,94
DUFOUR 28	8,76	7,2	3,16	2,5	1,63	3,2	16,7	3	**13,7**	17,24
FIRST 30	8,80	7,32	2,87	2,41	1,74	4,2	18,4	3	**15,4**	16,87
SUN LIGHT	8,89	7,75	3,18	2,55	1,45	4,1	19,43	3,4	**16**	17,94
GIB SEA 30	8,89	7	3,12	2,52	1,7	3,8	18,5	3,7	**14,8**	16,87

CHAPITRE 6 : LES BATEAUX NEUFS

Nous avons fait le point de l'osmose des bateaux de 5 ans ou plus, c'est-à-dire, pratiquement de tous ceux qui font partie du marché de l'occasion.
Le but de ce chapitre important est de répondre à la question que se pose tout acheteur ou tout propriétaire, acheteur en puissance : si j'achète un bateau, est-ce que l'osmose telle qu'elle a été décrite est inéluctable, ou y a-t-il eu des progrès réalisés par les constructeurs ?

COMMENT PREVENIR L'OSMOSE SUR UN BATEAU NEUF ?

1°) TRAITEMENT PREVENTIF :

L'osmose est un phénomène bien connu pour lequel les premières études remontent à 1970 environ. Mais cela était limité à quelques initiés ou chercheurs et plutôt orienté à l'époque vers les pièces moulées (tuyauteries, réservoirs) pour l'industrie chimique où le facteur température est beaucoup plus important, et où donc l'osmose était déjà bien connue.

Pour les bateaux de plaisance, l'osmose a fait son apparition dans la profession en France autour des années 1985, où le cloquage a fait quelques ravages bien connus maintenant du public. A cette époque, les constructeurs se sont trouvés bien démunis face à ce problème qu'ils découvraient. Pour y parer tout de suite, en attendant de trouver mieux, certains chantiers ont décidé à cette époque d'appliquer un traitement préventif à l'époxy ressemblant comme un petit frère au traitement curatif que nous avons longuement décrit.

Le principe est simple, on va appliquer, à la construction, un "bouclier" imperméable. Ce bouclier imperméable est réalisé par une application de résine époxy, et non plus polyester comme le gelcoat traditionnel. Ce peut être une résine époxy fournie par INTERNATIONAL sous la marque GELSHIELD que nous connaissons bien maintenant pour l'avoir décrit précédemment.

Cette résine s'applique au rouleau en deux ou trois couches sur une carène préalablement dégraissée et débarrassée des agents de démoulage (cire) qui ont évité que la coque ne colle dans le moule, et un ponçage.

Ne pas croire que cette opération est facile. Il ne faut pas en fait étaler et transporter la cire d'un point à un autre, il faut l'enlever en chiffonnant avec, soit de l'alcool éthylique dénaturé à 95°, soit avec un produit approprié (SUPER CLEANER d'International par exemple) et surtout changer fréquemment pour prendre un chiffon neuf.
L'emploi de solvants forts, acétone, trichloréthylène, acétate est proscrit.

L'application devra se faire avec de bonnes conditions de température (Température supérieure à 14°C), d'hygrométrie et en respectant les temps de sur-couchage : temps mini et maxi pour avoir un bon durcissement de chaque couche et une bonne adhésion entre les couches.

La différence de température entre l'air ambiant et la coque est très importante (revoir chapitre 2 paragraphe 3-1 page 24). Le traitement qui se fait à 8 H dans un atelier juste réchauffé mais sur une coque encore froide est mauvais.

Il ne faut pas faire le traitement trop tôt sur une coque dont le polyester n'a pas mûri (polymérisation incomplète). Il faut un délai de l'ordre de 2 mois après démoulage avant d'effectuer le traitement préventif.

Quand le traitement préventif au GELSHIELD est réussi, la pénétration de l'eau est suffisamment retardée (mais non évitée totalement) pour que la manifestation de l'osmose soit repoussée de plusieurs années.
Cela a permis à ces chantiers de donner alors une garantie contractuelle de trois, voire cinq ans.
Ce type de traitement préventif est encore en vigueur.

Le traitement préventif précédent, même s'il est efficace, s'inscrit mal dans une fabrication de série où les retours en arrière et les reprises sont toujours plus coûteux que les opérations qui s'enclenchent harmonieusement dans un processus de fabrication continu. Les chantiers se sont donc orientés vers une action qui modifie tel ou tel élément qui constitue déjà le stratifié lui-même.

****

2°) LES PRINCIPAUX ELEMENTS D'UN STRATIFIE

Rappelons qu'une coque est moulée en déposant sur un moule en creux plusieurs couches de tissus de verre imprégnés de résine liquide. Cette résine va se solidifier et on obtient alors une peau résistante.

****

Ici, nous allons devoir rentrer un peu plus dans le coeur de la matière, mais en essayant de rester simple et compréhensible. Pour cela, il nous faut d'abord rappeler quelques principes, notions ou termes qui seront utilisés par la suite.

2-1°) LA RESINE POLYESTER

Dans le cas le plus courant, la résine polyester est le résultat d'une réaction chimique de polycondensation entre un polyacide et un polyalcool.

(1)

Polyacide	+	polyalcool	➔		**polyester**	+	eau
(diacide)		(polyol)	polycondensation ou esthérification				(éliminée)

Le polyester obtenu est ensuite dissous dans un solvant pour obtenir la résine liquide prête à l'emploi :

(2)

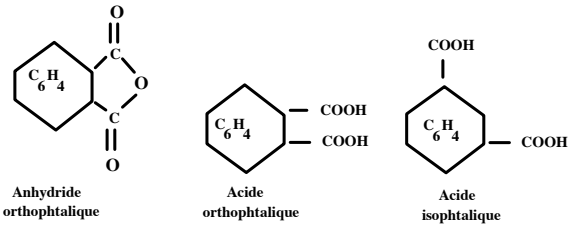
Polyester issu de (1) + solvant (styrène) = "résine polyester liquide prête à l'emploi"

Nota : dans la réaction (1) il faut que l'eau soit correctement éliminée. Selon les fabricants il en reste moins de 0,1%. Curieusement personne ne se soucie trop de ce problème, aucun rapport d'essai n'en parle.

Le polyacide de (1) peut être l'un ou plutôt la combinaison de :

- anhydride maléique : combiné aux suivants.
- anhydride phtalique ou orthophtalique : c'est le cas le plus fréquent.
- acide isophtalique : résines dures et ayant une meilleure résistance chimique.
- etc .....

REPRESENTATION DE L' ANHYDRIDE et de L' ACIDE ORTHOPHTALIQUE et de L' ACIDE ISOPHATLIQUE



Le polyalcool de (1) peut être :
- le propylène glycol : c'est le cas le plus fréquent.
- le diéthylène glycol : que l'on mélange quelquefois au propylène glycol pour augmenter la résistance à la compression.
- l' éthylène glycol.
- Le néopenthyl glycol : qui donne une meilleure résistance chimique.
- le bisphénol.

Le solvant de (2) peut être :
- le styrène : c'est le cas le plus fréquent.
- le méthacrylate de méthyle : pour améliorer le comportement au vieillissement.
- le phtalate de diallyle : pour améliorer le comportement de la résine au stockage, la polymérisation n'aura lieu qu'à chaud.

Juste avant l'emploi, on ajoute le catalyseur (un accélérateur a déjà été ajouté avant par le fabricant pour démarrer le phénomène à la température ambiante) qui déclenche le processus de réticulation : c'est la polymérisation, la résine liquide se transforme en solide. Dans cette phase de durcissement, le styrène a une importance capitale, car c'est lui qui va être à l'origine de la réticulation, c'est lui qui va faire les "ponts" chimiques avec les polyesters et donner finalement ce réseau tridimensionnel qu'est la résine durcie.

Voilà, je n'ai écrit aucune formulation chimique, je ne vous parle pas de doubles liaisons, radicaux libres, etc .....

****

Ce qui nous intéresse dans ce qui a été décrit précédemment, c'est que cela donne deux grandes familles de résines utilisées par les constructeurs :

- les résines dites **"ORTHO"** où l'acide aromatique est un orthophtalique. C'est le cas des résines couramment utilisées pour la construction des coques, jusqu'à aujourd'hui puisqu'un changement s'amorce actuellement.

- les résines dites **"ISO"** où l'acide aromatique est de type isophtalique.
Si en plus l'alcool est un néopentyl glycol, la résine sera une ISO-NPG utilisée surtout pour les gelcoats, nous le reverrons plus loin.

Certaines résines sont quelquefois des mélanges mi-ISO/mi-ORTHO par exemple. Oublions les pour l'instant.

Une troisième et quatrième familles sont à signaler car elles commencent à être utilisées, c'est la résine polyester bisphénol où le polyalcool est le bisphénol et les résines vinylester qui sont un intermédiaire entre l'époxy et la polyester.
Nous en reparlerons plus loin.

2-2°) LE GELCOAT

C'est la couche extérieure de la coque qui a plusieurs fonctions :
- constituer une barrière étanche, même si c'est imparfait, et résistante à l'abrasion.
- donner l'aspect décoratif (le poli et le brillant) et colorer la coque.

C'est donc une résine polyester qui reçoit une addition de "charges" qui vont lui donner ces qualités particulières requises :
- pigments de coloration.
- un agent thixotrope, gel de silice par exemple, pour que le gelcoat ne coule pas facilement en parois verticales (c'est la thixotropie).
- l'accélérateur, comme pour toute résine qui sera utilisée à froid.
- des charges particulières - exemple : oxyde de titane pour obtenir un gelcoat blanc et opaque, ou d'autres pour améliorer la résistance à l'abrasion, diminuer le retrait ou encore charges anti-statiques ou anti-feu ....

2-3°) LE RENFORT : LA FIBRE DE VERRE

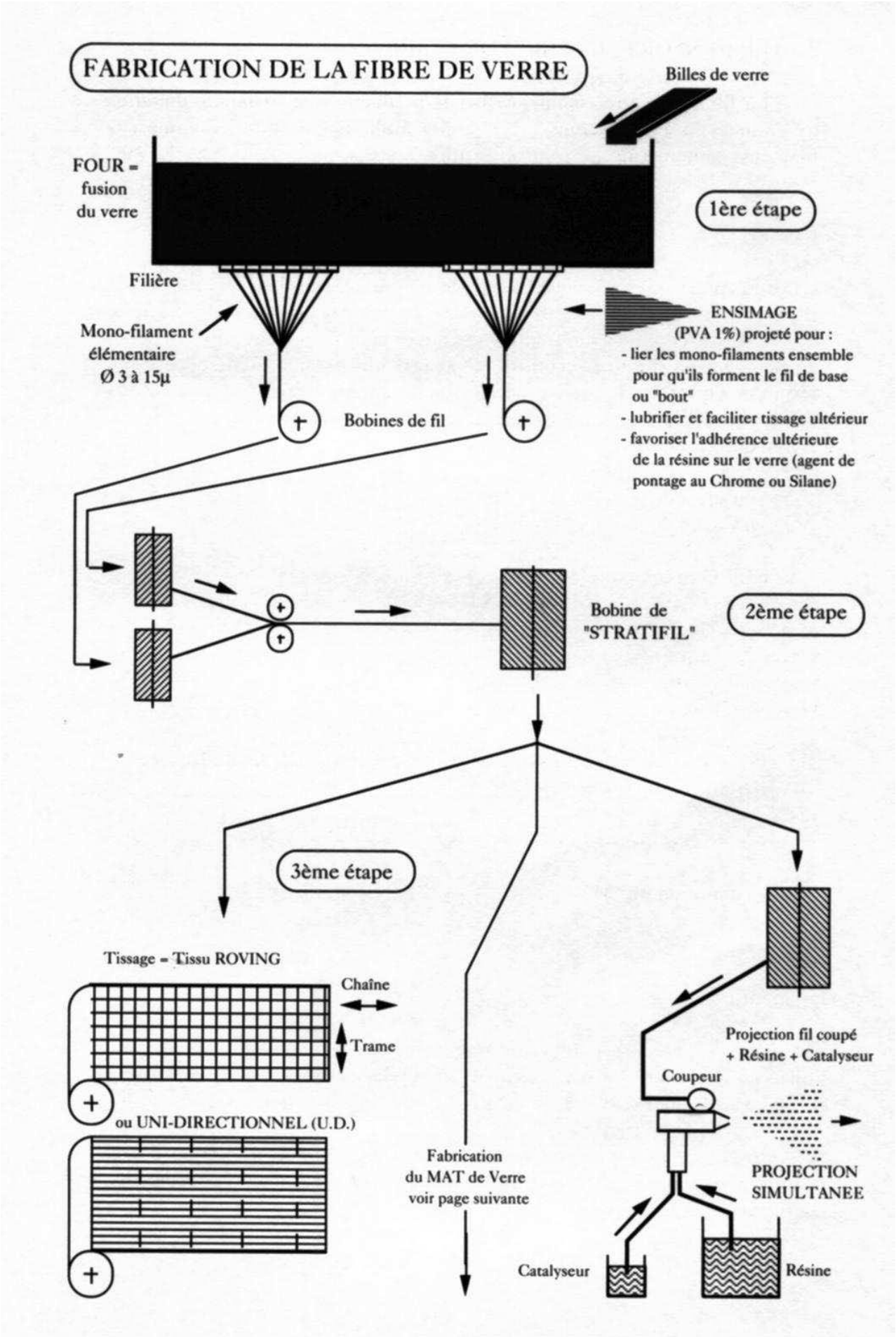
La fibre de verre commence par la production de filaments unitaires très minces (3 à 15 microns - c'est-à-dire millièmes de mm). Comme ces filaments unitaires ne peuvent être utilisés seuls, mais qu'ils doivent être assemblés, ils reçoivent à ce stade un ensimage pour les "coller" ensemble.

L'ensimage

C'est un apprêt qui recouvre le filament unitaire qui sort de la filière.
Il permet le collage de ces brins unitaires entre eux. En outre, il lubrifie le brin de verre, ce qui facilite son tissage ultérieur et il contient aussi un agent de pontage (on dit aussi agent de couplage) qui permet l'adhérence de la résine polyester sur la surface lisse et inerte chimiquement de la fibre. Ce dernier point est important vis à vis de la dégradation du stratifié.
L'ensimage est à base de PVA (acétate de polyvinyle - 1% environ) et l'agent de couplage qu'il contient peut être :
- un agent de pontage au chrome.
- un agent de pontage silane.

Ces filaments unitaires ensimés sont "accrochés" ensemble pour constituer des mèches qui sont en fait un fil constitué de plusieurs filaments unitaires (200 à 800). Plusieurs fils assemblés constituent le stratifil ou le roving. Il se présente sous forme de bobine comme une bobine de fil de machine à coudre.

On a alors le produit de base qui va être utilisé de 3 façons :
- tissé pour donner le tissu de roving ou par simplification du langage commun, le "ROVING"
- projection simultanée
- fabrication du "MAT"


FABRICATION DE LA FIBRE DE VERRE
Billes de verre
FOUR = fusion du verre
1ère étape
Filière
Mono-filament élémentaire Ø 3 à 15µ
ENSIMAGE
(PVA 1%) projeté pour :
- lier les mono-filaments ensemble pour qu'ils forment le fil de base ou "bout"
- lubrifier et faciliter tissage ultérieur
- favoriser l'adhérence ultérieure de la résine sur le verre (agent de pontage au Chrome ou Silane)
Bobines de fil
Bobine de "STRATIFIL"
2ème étape
3ème étape
Tissage = Tissu ROVING
Chaîne
Trame
ou UNI-DIRECTIONNEL (U.D.)
Fabrication du MAT de Verre
voir page suivante
Projection fil coupé + Résine + Catalyseur
Coupeur
PROJECTION SIMULTANEE
Catalyseur
Résine

Le stratifil ou roving
C'est le fil sur sa bobine, tel que défini précédemment. Il peut être utilisé tel quel pour des renforcements locaux, par exemple, dans les angles du tableau AR pour renforcer cet angle.
On pourra aussi l'utiliser en projection simultanée. Là, le stratifil est coupé en morceaux par le pistolet hacheur et projeté avec la résine de stratification et le catalyseur.

Mais on l'utilise surtout sous les deux formes suivantes :

les tissus de roving
Souvent appelés par simplification les "Rovings"
Le stratifil précédent est tissé par enchevêtrement perpendiculaire pour donner un tissu, comme un textile, avec chaîne et trame. Voir photo.
Suivant le mode de tissage, il prendra les noms de satin, sergé, taffetas .....

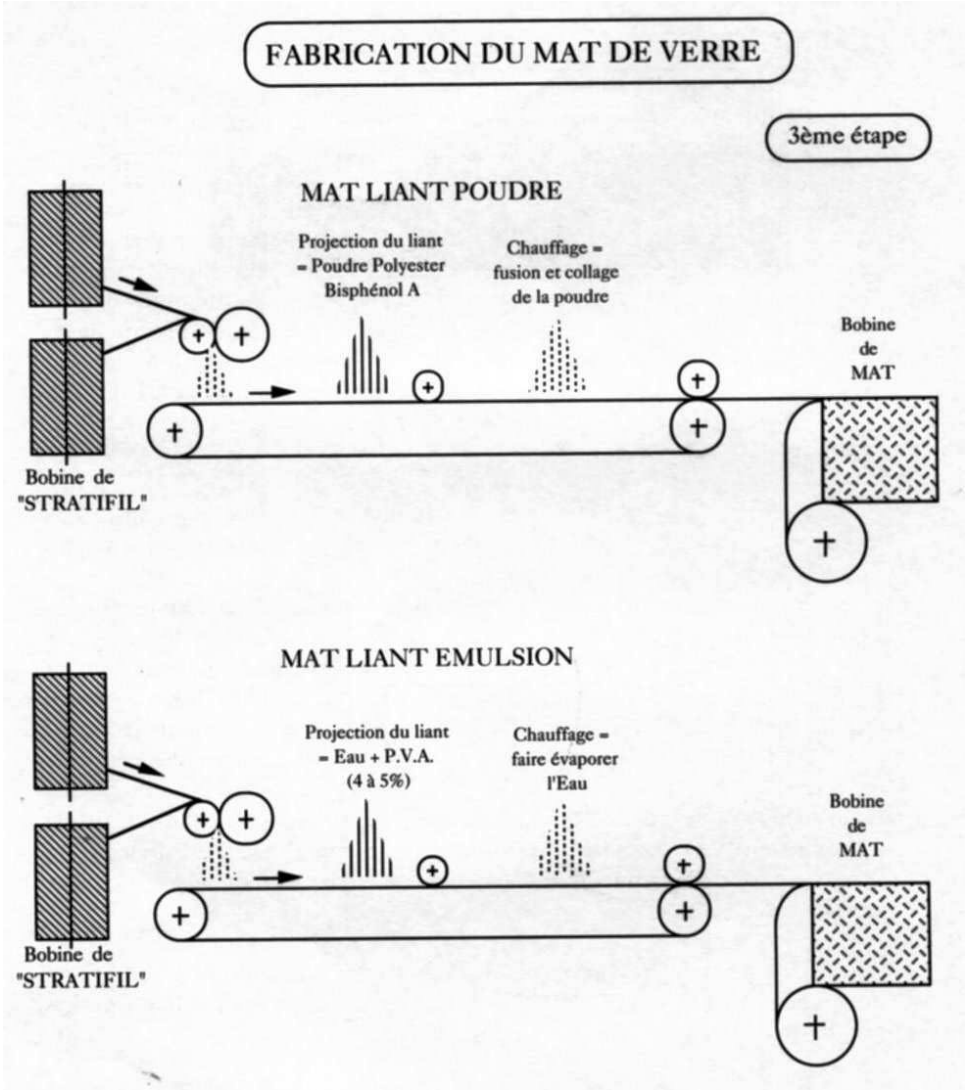
Il pourra être "équilibré", c'est-à-dire que chaîne et trame seront identiques, ce sont les tissus conventionnels. Ou une des directions pourra être plus forte que l'autre, on aura alors des résistances différentes dans le sens chaîne et trame. On pourra aussi avoir une direction préférentielle (la chaîne) par rapport à l'autre (la trame qui est alors un fil très fin qui ne sert qu'à maintenir les fils de chaîne) : ce sont les unidirectionnels (les "U.D.").

les mats
On reprend le stratifil de base et on le recoupe en morceaux de 25 à 50 mm de long qui sont projetés, sans orientation particulière, sur un tapis roulant. Voir photo.

Du fait qu'il n'est pas tissé, c'est-à-dire constitué de "fils" entrecroisés, les fibres qui le composent ne devraient pas tenir "attachées les unes aux autres". Pour qu'elles le fassent, il faut les recouvrir d'un "liant" qui va accrocher les fibres les unes aux autres et permettre au feutre ainsi constitué de "se tenir" et non pas de partir en morceaux dès qu'on le manipule.
Le liant utilisé est soit un liant "poudre", soit un liant "émulsion".
- le liant "émulsion" : c'est une émulsion en phase aqueuse d'acétate de polyvinyle (PVA) - comme déjà utilisé pour l'ensimage - qui est projetée sur les fils désordonnés puis que l'on sèche pour faire évaporer l'eau de cette émulsion.
- le liant "poudre" : c'est de la poudre de polyester à base de Bisphénol A qui est fondue lors de la fabrication du mat. Elle sera dissoute par la résine lors de la stratification.

Nota - On peut éviter le liant précédent (poudre ou émulsion) en liant mécaniquement, par un fil, les fibres désordonnées du mat. C'est le cas de "l'aiguilleté" mais il est beaucoup moins souple et peu utilisé dans le cas de la construction des bateaux.

AUTRES TISSUS DE RENFORT : Il existe d'autres présentations usuelles telles que les "Rovimat" qui sont un tissu roving et un mat assemblés et formant un seul "tissu" de stratification, des tissages à 45° (bi-biais) par rapport à la bande de tissu, etc .... mais leur description n'apporte rien de plus à notre sujet. Laissons les donc de côté.



2-4°) LE SYSTEME CATALYTIQUE

L'accélérateur
Sans lui, même en ajoutant le catalyseur à la résine, celle-ci ne durcirait pas à la température ambiante.

C'est généralement, de l'octoate de cobalt à 6 %. On utilise quelquefois le naphténate de cobalt ou des amines.

La résine est généralement livrée "pré accélérée", c'est-à-dire que l'accélérateur y est déjà mélangé.

Le catalyseur (ou "durcisseur")
C'est lui qui va permettre la réticulation, c'est-à-dire le durcissement de la résine.

- c'est souvent le PMEC qui est utilisé : solution de 50 % de peroxyde de méthyléthylcétone (d'où le vocable PMEC) et 50 % de phtalate de méthyle. On le dose de 1 % à 2 % environ suivant les conditions de température.

- ce peut être aussi le peroxyde de cyclohexanone ou le peroxyde de benzoyle.

****

3°) LES ESSAIS DE RESISTANCE A L'OSMOSE

Le principe est de fabriquer des échantillons qui seront des plaques de stratifié qui seront exposées à l'action de l'eau. Pour pouvoir essayer plusieurs plaques à la fois, le matériel d'essai sera en fait un bac dont les parois comportent des trous de 10 à 12 cm de diamètre. Chacun de ces trous sera fermé par la plaque d'essai maintenue contre la paroi par un système simple de bridage et d'étanchéité. L'eau circule dans le bac. Elle est chauffée (nous verrons après pourquoi) et maintenue à une température constante grâce à un thermostat. Ce bac d'essai a reçu des noms évocateurs divers tels que "marmite", "bouilloire", "tortue", etc ..... Voir photo de la "bouilloire".

On se rend compte que dès que l'on veut échanger des informations, il faut parler un langage commun et que, par exemple, tel défaut dont on parle est de même taille ou de même importance. Le besoin de norme se fait sentir.

Les fabricants de peinture ont un essai normalisé (norme NFT 30 053-054) de cloquage des peintures utilisant un "Bac Ford" qui pourrait sans doute être utilisé pour les essais des gelcoats. Un autre essai de classement des défauts, norme ASTM D 2563, pourrait être utilisé.

Pendant l'essai, le système fonctionne 24 h sur 24 h et on peut ainsi atteindre des durées d'essai de l'ordre de 1000 heures, c'est-à-dire presque 1 mois. On peut, au cours de l'essai, démonter périodiquement les plaques pour les observer, les remplacer, etc .....

On observe visuellement le temps de changement d'apparence (apparition des cloques et mesure de leur taille), ou quantitativement en mesurant, par pesées par exemple, la quantité d'eau absorbée, ou en les soumettant à des essais destructifs ou non (excitation vibratoire) de traction-flexion ou cisaillement pour suivre leur résistance mécanique.

Les résultats peuvent donc prendre différentes formes :
- temps d'apparition des cloques.
- absorption d'eau en mg d'eau/m2 de surface et par jour (par exemple).
- la variation de résistance mécanique en flexion ou en cisaillement.
- etc....., c'est-à-dire toute mesure qui permet de refléter la tenue du matériau vis à vis de la dégradation par l'eau.

Evidemment, on ne va pas attendre 25 ans pour savoir si la résine A est meilleure que la résine B. Il faut donc accélérer le phénomène pour obtenir plus rapidement des résultats comparatifs.
Pour ce faire, l'eau est chauffée à une certaine température, l'élévation de température activant très notablement le phénomène physico-chimique.

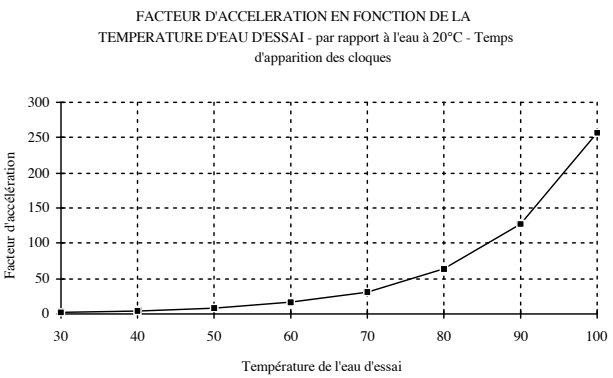
Ainsi, en augmentant la température de 20° à 100°C, le processus de dégradation est estimé être multiplié par 800 à 1000, selon Algra. Une immersion de 10 heures à 100°C est donc estimée représenter une année d'immersion à 20°C. Ceci si on s'intéresse à la résistance mécanique (cisaillement inter-couches) en fonction de la durée d'immersion.

Si on s'intéresse au temps d'apparition de cloques en fonction de la durée d'immersion, on peut dire que la vitesse double pour une élévation de température de 10°C, selon Amoco. Avec une température d'essai de 60°, on peut estimer qu'un essai d'une année représente 16 à 20 années d'immersion réelle en eau douce.
On verra que pour transposer en eau de mer il faudra encore multiplier par 2 à 3, soit un an d'essai en eau douce à 60°C = 40 à 50 ans réel en eau de mer.

Pour des essais faits par Spra pour le temps d'apparition de cloques, passer de 40°C à 65°C, accélère la réaction de 15 fois environ.

Plus récemment, SCOTT BADER et le TNO (Labo indépendant à Delft - Hollande) estimaient que des essais osmose à 40°C accélèrent la réaction de 5 à 6 fois environ.
La courbe suivante illustre les chiffres Amoco :

Température INITIALE °C - Base	Augment. de la Températ. Δ T °C	Température d'eau d'essai °C	Accélération Facteur Multiplicateur	Accélération Facteur Multiplicateur	Accélération Facteur Multiplicateur	Accélération Facteur Multiplicateur
20°	10	30		2		
20°	20	40		4	**5 à 6 (eau de mer)**	
20°	25	45		6		
20°	30	50		8		
20°	40	60		**16**		**40 et diviser par 2 à 3 pour eau de mer**
20°	50	70		32		
20°	60	80		64		
20°	70	90		128		
20°	80	100	900	256		
			Sandvik Algra Cisaillement intercouches	AMOCO Apparition cloques Gelcoat	SCOTT BADER et TNO Apparition cloques Gelcoat	IFREMER Apparition cloques Gelcoat



On voit d'après l'allure de la courbe que l'on aimerait bien faire les essais à 80-100°C.

Mais apparaît tout de suite un problème : si on est tenté d'augmenter fortement la température, jusqu'à 100°C par exemple, pour activer l'obtention de résultats, cette augmentation de température peut altérer le phénomène réel:
- on effectue par là une cuisson, en réalité une post-cuisson qui modifie le matériau, particulièrement dans le cas où du styrène résiduel y demeure, alors que le matériau du bateau n'est pas post-cuit.
- on s'approche, et même on dépasse, la température de tenue à chaud de la résine : c'est la température de fléchissement sous charge (HDT). En chauffant trop, on peut provoquer la fissuration de la résine, c'est le "Disc Cracking", et faire apparaître des phénomènes qui n'existent pas dans la réalité.

Pour ces raisons, la tendance actuelle est plutôt de diminuer la température d'essai et maintenant les essais se font plutôt à 40/60° maxi, bien que cela ralentisse l'obtention des résultats.

La qualité de l'eau servant à l'essai peut avoir une importance. On peut utiliser :
- de l'eau ordinaire du robinet, mais qui contiendra des sels de calcium, magnésium, chlore et des carbonates en proportions variables suivant la provenance de cette eau, et même, pour une même provenance, variables dans le temps compte tenu des traitements qui sont apportés pour la rendre potable.
- de l'eau distillée.
- de l'eau de mer.
Des essais ont montré des résultats différents suivant la nature de l'eau, en particulier, et on l'a déjà signalé, l'eau distillée (eau douce) est beaucoup plus "agressive" que l'eau de mer et accélère le phénomène d'osmose par 2 à 3 par rapport à l'eau de mer, pour une même température d'essai de 60°C selon l'IFREMER.

Alors laquelle choisir ?
- l'eau du robinet : c'est la plus simple à obtenir.
- l'eau distillée : elle a l'avantage d'être toujours la même et de ne pas faire de dépôt calcaire, donc les résultats comparatifs seront plus fiables.

Dans les laboratoires des sociétés chimiques où l'approvisionnement en eau distillée n'est pas un problème, on choisit généralement cette dernière. Dans les chantiers où l'influence des composants de l'eau du robinet n'a pas une influence suffisamment significative par rapport à ce que l'on cherche, on utilise de l'eau du robinet.

Certains renouvellent cette eau périodiquement pour qu'elle ne se charge pas progressivement en produits de décomposition qui pourraient inhiber telle ou telle réaction, car en fait ce que l'on cherche à savoir sera le résultat de multiples actions :
- pénétration de l'eau à travers le gelcoat
- hydrolyse de la résine qui sert de base au gelcoat ou de la résine de stratification, c'est-à-dire, celle qui est derrière le gelcoat et qui est "armée" de fibre de verre.
- hydrolyse des fibres de verre elles -mêmes
- hydrolyse de l'ensimage ou du liant des fibres de verre
- perte de liaison verre/résine
- etc....

La dégradation résulte d'une ou plusieurs de ces actions et il est probable que chacune de ces actions ayant une vitesse très différente, la dégradation visible à l'oeil ne sera causée que par une ou deux de ces actions, les autres n'ayant pas encore eu le temps de se manifester.

Il faut se méfier des résultats que l'on peut trouver dans la littérature technique car tous ne visent pas le même but :
- certains font des essais sur des stratifiés qui ont subi une cuisson au four car ils s'intéressent aux produits moulés avec post-cuisson.
- les échantillons d'essai sont quelquefois des stratifiés faits avec de l'U.D. et pas de mat ce qui modifie les taux de résine et les caractéristiques mécaniques.
- d'autres font des essais à haute température (100°C) parce que les pièces moulées auront à supporter une telle température (pièces pour l'industrie chimique par exemple).
- peu d'essais récents, spécifiques à la construction nautique, reflètent les conditions de fabrication des coques (pas de post-cuisson) et la température de l'eau qui entoure la coque, relativement faible.

Il faut faire remarquer aussi que fabriquer une éprouvette est plus facile que de stratifier une coque. Les éprouvettes d'essai seront donc de meilleure qualité que la coque elle-même. Il n'empêche que les renseignements qu'elles donnent, même s'ils sont relatifs, permettent une sélection des produits.

Les constructeurs de bateaux ont évidemment le même problème et trouver des renseignements intéressants et représentatifs de leur préoccupation dans le dédale des notes techniques, publications, comptes-rendus de colloques ..... n'est pas simple. Aussi, certains se sont attachés eux-mêmes à ce problème. Ils utilisent le dispositif d'essai précédemment décrit.

On peut comprendre qu'un petit chantier n'ait pas la possibilité d'entreprendre de tels essais. C'est alors aux fournisseurs de prendre le relais et de combler ce manque, ce qu'ils font pour la plupart. Dans ce cas, les résultats d'essais se manifestent sous forme de "recommandations" que fait le fournisseur au chantier.

Il n'existe pas de laboratoire d'essais propre à la profession, c'est-à-dire fonctionnant pour tous les chantiers regroupés au sein du Syndicat National des Constructeurs de bateaux. C'est peut-être dommage. Cela résulte aussi sans doute de l'individualisme des chantiers, du souci des grands chantiers de mettre en oeuvre des solutions particulières qui font partie de leur savoir-faire qu'ils ne veulent pas voir divulguer. Ce souci du "secret" est peut-être exagéré, car en présence des clients, il faut bien que le chantier donne des explications circonstanciées sur les méthodes qu'il utilise pour se prémunir de l'osmose et là, il n'y a plus de secret.

****

4°) LES RESULTATS DE CES ESSAIS ET LES RENSEIGNEMENTS QUE L'ON PEUT EN TIRER POUR LA CONSTRUCTION DES COQUES :

4-1°) PARAMETRE ANALYSE : LE TYPE DE RESINE POLYESTER

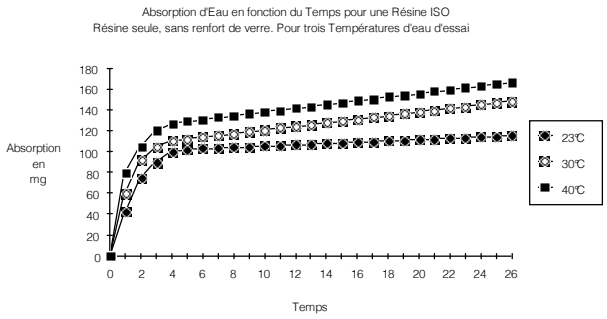
Rappelons que dans le phénomène de l'osmose il y a deux étapes :
- la pénétration à travers le gelcoat et l'absorption d'eau par la résine.
- puis cette eau hydrolyse la résine.

Attachons nous à la première étape, et dans cette première étape à l'absorption d'eau par la résine.

ABSORPTION D'EAU

L'absorption d'eau est évidemment graduelle, mais elle se stabilise à une valeur maxi, il y a saturation. On a d'ailleurs vu dans les études des cas pratiques du chapitre 3 que l'humidité maximum rencontrée, lue au Sovereign, est de 25% même pour de très vieux bateaux .

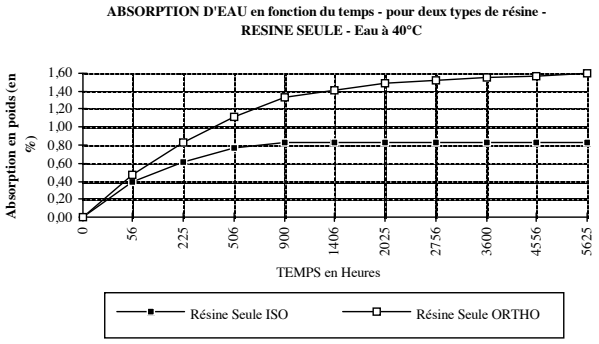
Le graphique suivant illustre ce fait. Il est relatif à une résine ISO. Il montre qu'à 23°C (température pas très éloignée de celle correspondant à l'utilisation du bateau), l'humidité se stabilise :



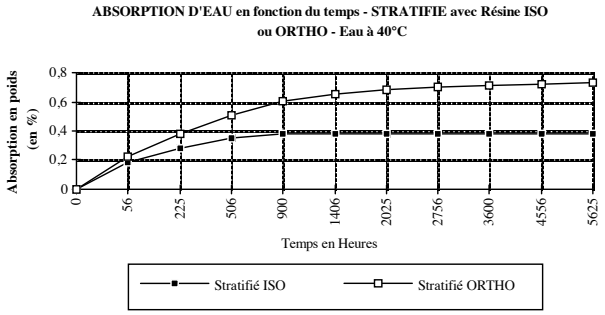
D'après document Scott Bader.

Des essais faits par l'IFREMER de Brest et le CETIM de Nantes et publiés en 1988 ont donné les résultats suivants :

- Comparaison de deux types de résines. Résine seule c'est-à-dire sans renfort de verre : on voit que la résine ISO absorbe environ deux fois moins d'eau que la résine ORTHO.



- Quand on passe au stratifié, on remplace une partie de la résine par de la fibre de verre qui elle n'absorbe pas : les valeurs vont donc baisser.
Comparaison de deux stratifiés (à prédominance d'U.D.) fabriqués avec deux types de résines. Le stratifié absorbe environ deux fois moins d'eau que la résine seule et le stratifié ISO absorbe environ deux fois moins d'eau que le stratifié ORTHO.



On voit donc que l'absorption d'eau dépend beaucoup du type de résine utilisée, du simple au double.
Des essais plus récents (91-92) faits à l'IFREMER ont donné comme résultats, pour une immersion totale (deux faces exposées) :

Absorption d'eau maxi en % :

	Résine seule		Gelcoat seul		
	ORTHO	ISO	ISO/ORTHO	ISO	ISO NPG
- à 20°C :	1,02%	0,69%	0,92%	0,71%	0,71%
- à 40°C :	1,40%	0,77%	1,04%	0,72%	0,72%
- à 60°C :	1,56%	0,78%	1,38%	0,75%	0,75%
- à 80°C :	1,70%	0,82%	1,70%	0,88%	0,89%

Eau distillée

	Résine seule		Stratifié U.D* sans gelcoat et avec résine		Stratifié U.D* avec gelcoat ISO NPG et avec résine	
	ORTHO	ISO	ORTHO	ISO	ORTHO	ISO
- à 20°C :	1,02%	0,69%				
- à 40°C :	1,40%	0,77%				
- à 60°C :	1,56%	0,78%	0,95%	0,46%	0,93%	0,49%
- à 80°C :	1,70%	0,82%				

Eau distillée
U.D*: stratifié à base de tissu de verre unidirectionnel

Le détail de ces essais montre que :
- l'absorption d'eau maxi est nettement plus forte pour un gelcoat ISO/ORTHO (et vraisemblablement encore plus forte pour un gelcoat ORTHO) que pour un gelcoat ISO ou ISO NPG. Heureusement la majorité des constructeurs n'emploient plus de gelcoat ORTHO.
- il n'y a pas de différence entre un gelcoat ISO et un gelcoat ISO NPG.
- l'absorption d'eau maxi est similaire pour une résine ISO et un gelcoat ISO. Le gelcoat n'est pas plus étanche que sa résine correspondante.
- ces résultats confirment le rapport d'environ un à deux entre ISO et ORTHO, que ce soit pour résine, gelcoat ou stratifié.

****

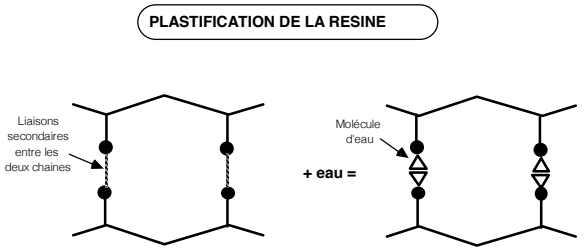
Par rapport à ces essais sur éprouvettes, qu'en est-il de la réalité de votre coque fabriquée avec une résine ORTHO ?

- A 20°C au lieu de 40° les valeurs sont à diminuer.
- le stratifié de votre coque n'est en contact avec l'eau que sur une seule face, ce n'est pas l'éprouvette complètement immergée dans l'eau. La quantité d'eau décroît en profondeur, de l'extérieur vers l'intérieur et les valeurs sont à diminuer par 2 environ.
- votre stratifié fabriqué et débullé manuellement contient plus de vides et de porosités qu'une éprouvette moulée sous presse, les valeurs sont donc à augmenter.
- votre stratifié fabriqué est à prédominance de mat qui absorbe plus de résine, les valeurs sont donc à augmenter.

La combinaison de ces différents éléments donne une variation significative et globalement on peut supposer que la quantité d'eau absorbée par votre coque se tient dans des valeurs voisines de 0,6 à 1% en masse, grand maximum.
Cela souligne encore, comme on l'avait déjà signalé (chapitre 2 Parag. 2-6°) que les indications d'humidité données par un appareil de mesure sont à prendre en relatif et non en valeur absolue. On est loin des 25% lus sur l'appareil Sovereign.

****

L'introduction d'eau dans la résine va d'abord donner une plastification et un gonflement différentiel.
L'eau pénètre dans les molécules de la résine polyester polymérisée en s'intercalant dans les liaisons des chaînes polymérisées :



Il y a un simple gonflement et une diminution de la dureté : si on mesure la dureté BARCOL du gelcoat par exemple, elle passe de 45/50 - valeur classique pour une résine bien polymérisée - à 30 - la résine est plus "molle".
Cette plastification est, théoriquement, un phénomène réversible c'est-à-dire que si on sèche le matériau, l'eau disparaît et la résine reprend son état d'origine sans avoir été endommagée.

Mais pendant toute la phase transitoire d'absorption d'eau, comme le taux et la vitesse d'absorption peuvent être différents d'un matériau à l'autre, le gonflement de l'un va être différent de celui de l'autre, il y a gonflement différentiel.
Si taux et vitesse d'absorption sont très différents entre gelcoat (ISO par exemple) et résine de stratification (ORTHO par exemple) il y a risque de décohésion entre les deux couches.
D'autre part la résine qui veut gonfler en est empêchée par le brin de fibre de verre sur lequel elle est accrochée : risque de décohésion entre la fibre et la résine.

Ces décohésions facilitent le cheminement de l'eau dans le stratifié et favorisent donc l'osmose.

HYDROLYSE DE LA RESINE

Après tout, que cette eau rentre ou non, ce n'est peut-être pas gênant?
Si, et à des degrés divers que nous allons voir.

Essais Silenka :
Par des essais d'éprouvettes de stratifié ayant :
- 1 couche avec résine ISO-NPG puis 3 couches avec résine ORTHO) total
- 2 couches avec résine ISO-NPG puis 2 couches avec résine ORTHO) 4
- 3 couches avec résine ISO-NPG puis 1 couche avec résine ORTHO) couches

Il a été montré que l'amélioration est sensible lorsque deux couches, soit 2mm, étaient faites avec l'ISO-NPG.

Des essais plus récents (91-92) faits à l'IFREMER ont donné comme résultats, pour une immersion totale (deux faces exposées) :

Temps (en Heures) d'apparition des cloques sous gelcoat :

	Stratifié à résine ORTHO et Gelcoat			Stratifié à résine ISO et Gelcoat		
	ISO NPG	ISO	ISO/ORTHO	ISO NPG	ISO	ISO/ORTHO
- à 40°C :	540	900	130			600
- à 50°C :	285	380	85	680	540	250
- à 60°C :	100	140	40	250	230	85
- à 70°C :	65	85	20	95	90	35
- à 80°C :	25	30	5	55	50	10

Eau distillée.

Ces essais "recopient" assez fidèlement les comparaisons qui ont déjà été faites concernant l'absorption d'eau.

Ils montrent que :
- quelque soit le type de la résine de stratification, le gelcoat ISO/ORTHO (c'est vraisemblablement encore plus vrai pour un gelcoat ORTHO) est nettement moins bon.
- pour une résine de stratification ISO, le gelcoat ISO NPG apporte une légère amélioration.
- pour une résine de stratification ORTHO, le gelcoat ISO NPG n'apporte pas d'amélioration par rapport à l'ISO simple, c'est même un peu moins bon. Il est inutile de choisir un gelcoat "amélioré" NPG pour un stratifié ORTHO.
- amélioration d'un facteur de un à deux entre résine ISO et ORTHO en ce qui concerne le temps d'apparition du cloquage.

Des essais non détaillés ici montrent que l'ajout d'un agent thixotrope, gel de silice ou micro-billes de verre par exemple, pour que la résine ne coule pas facilement en parois verticales augmente le taux d'absorption d'eau et diminue le temps d'apparition des cloques. Une ISO-THIXO se situera entre l'ISO et l'ORTHO du point de vue résistance à l'osmose.

****

L'analyse des produits qui se trouvent dans le liquide osmotique des cloques a fait l'objet de nombreuses études.

Les principaux produits détectés et identifiés sont :

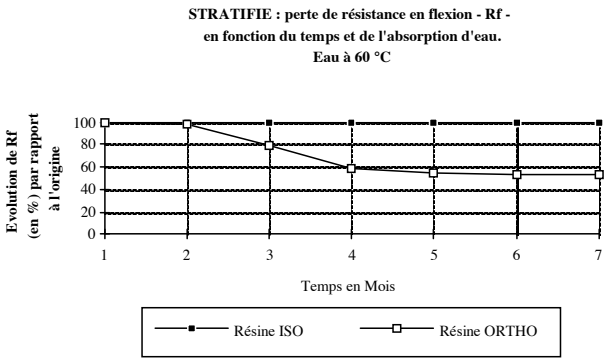
- Toute une famille dérivée du styrène :
  - benzaldéhyde par oxydation du styrène (styrène d'un pont entre chaînes moléculaires de la résine polymérisée ou styréne résiduel - polymérisation incomplète).
  - Acide benzoïque par oxydation du benzaldéhyde précédent.
- des résidus catalytiques.
- de l'acide orthophtalique et isophtalique, le premier étant en quantité importante dans les stratifiés à base de résine ORTHO évidemment. Or il est très soluble dans l'eau et participe énormément à la pression osmotique, ce qui n'est pas le cas du second. Ceci complète l'idée que la résine ORTHO est moins bonne que l'ISO.

****

Reste la question fondamentale : à part le problème cosmétique dû aux cloques juste sous le gelcoat, qu'en est il pour le stratifié lui même c'est-à-dire plus en profondeur ? Y a t'il une baisse de la robustesse de la coque ?

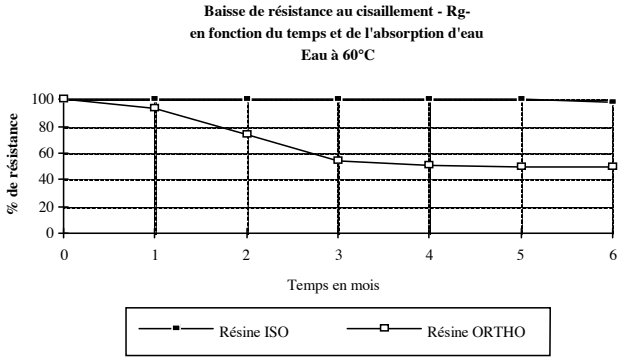
Des essais faits par l'IFREMER de Brest et le CETIM de Nantes et publiés en 1988 ont donné les résultats suivants :

En ce qui concerne la résistance à la flexion :



On voit le net avantage d'un stratifié ISO par rapport à l'ORTHO classique.

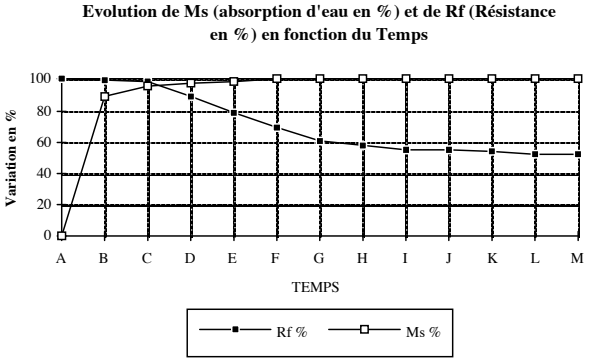
En ce qui concerne la résistance au cisaillement :



On voit encore le net avantage d'un stratifié ISO par rapport à l'ORTHO classique.

Pour la résine ORTHO classique, la baisse de résistance, que ce soit en flexion ou en cisaillement, est conséquente puisqu'elle diminue de moitié environ.

Si on trace sur le même graphique la courbe d'absorption d'eau et la courbe de la résistance à la flexion on voit que les deux phénomènes coïncident : la baisse de résistance en flexion commence dès que l'absorption a atteint son maximum :



Des essais plus récents (91-92) faits à l'IFREMER ont donné des résultats un peu différents et, quoique moins avantageux pour la résine ISO, celle ci reste tout de même nettement meilleure :

Baisse en % des caractéristiques mécaniques :

Ex : module de flexion longitudinale (parallèlement aux fibres de l'U.D.)

Ey : module de flexion transversale (perpendiculairement aux fibres de l'U.D.) = caractérise la résine.

Gxy : module de cisaillement dans le plan du stratifié = caractérise l'interface.

	Ex Stratifié		Ey Stratifié		Gxy Stratifié	
	ORTHO	ISO	ORTHO	ISO	ORTHO	ISO
- aprés 2000H :	9%	0%	20%	6%	23%	11%
- aprés 5000H :	18%	6%	55%	30%	49%	16%
Eau distillée à 60°C						

Baisse en % des caractéristiques mécaniques :

Rx : résistance de rupture en flexion longitudinale (parallèlement aux fibres de l'U.D.)

Ry : résistance de rupture en flexion transversale (perpendiculairement aux fibres de l'U.D.) = caractérise la résine.

Tx : résistance de rupture en cisaillement longitudinal (parallèlement aux fibres de l'U.D.)

Ty : résistance de rupture en cisaillement transversal (perpendiculairement aux fibres de l'U.D.) = caractérise l'interface.

	Rx Stratifié		Ry Stratifié	
	ORTHO	ISO	ORTHO	ISO
- aprés 2000H :	15%	8%	21%	9%
- aprés 5000H :	41%	25%	50%	25%
Eau distillée à 60°C				

	Tx Stratifié		Ty Stratifié	
	ORTHO	ISO	ORTHO	ISO
- aprés 2000H :	34%	15%	37%	18%
- aprés 5000H :	65%	25%	55%	25%
Eau distillée à 60°C				

La baisse se fait en plusieurs étapes :

- la première, de l'ordre de 5 à 10%, apparaît lors du début du cloquage du gelcoat. La plastification de la résine y contribue majoritairement.
- la deuxième quand le cloquage débute dans les premiers plis du stratifié. Les stratifiés ORTHO peuvent alors perdre 50-60% de leur résistance (et évidemment 100% en cisaillement dans le plan d'une cloque) alors que les stratifiés ISO ne perdent que 25-30%.

CONCLUSION

Importance de la résine de stratification :

- la résine ORTHO n'est pas très bonne même si on la couvre par un gelcoat ISO ou ISO NPG. Sa résistance mécanique baisse de moitié environ.
- la résine ISO est bien meilleure, elle double pratiquement le temps d'apparition des cloques et la baisse de sa résistance est faible.

Le choix s'oriente donc vers une utilisation d'une résine de stratification ISO pour au moins la ou les deux premières couches de mat de la couche dure, la stratification continuant ensuite avec une résine ORTHO classique comme celle qui était utilisée normalement dans le passé.

Qu'en est il des **résines "écologiques" à basse émission de styrène** ?

Le styrène est un solvant, il va donc s'évaporer en partie lors de la mise en œuvre de la résine. C'est ce qui donne d'ailleurs l'odeur caractéristique que l'on sent dans un atelier de moulage ou que l'on sentait à l'intérieur d'un bateau en "plastique".

Ce styrène est nocif pour la santé et les conditions d'hygiène et sécurité dans le travail imposent une installation importante de ventilation de l'atelier de moulage. Les fabricants ont mis au point des résines spéciales qui relâchent très peu de styrène dans l'atmosphère. Les premières résines "LSE" (Low Styrene Emission) à basse émission de styrène de SCOTT BADER datent de 1979. L'utilisation de ces résines s'est généralisée dans les chantiers à partir de 85-87 car elles présentent un avantage indéniable sur ce point.

Du point de vue polymérisation complète ou non et styrène résiduel dans la résine du stratifié, on peut supposer que ça ne change rien car l'évaporation du styrène se fait de la même façon, elle est simplement "contenue" par le "couvercle" qu'on met dessus.

Certains pensent qu'en l'absence de post-cuisson ce styrène piégé finira par s'évaporer en transformant la résine en "gruyère", les vides laissés étant des sites d'osmose.

Les essais comparatifs dont on dispose sont moins nombreux. Ceux réalisés par SCOTT BADER ont montré que lorsque la température d'essai (eau à 40°C) est proche du HDT de la résine, alors le phénomène d'osmose est accéléré.

Les cas de figures et les résultats sont variés :

- dans le cas d'un stratifié (avec gelcoat ISO de HDT moyen), si on passe d'une résine de stratification ORTHO à la version ORTHO écologique, les temps d'apparition du cloquage (types 2 et 3 de la classification SCOTT BADER) ne sont pas diminués, ils sont au contraire améliorés : on passe de 12 semaines à 28 si le mat est à liant émulsion, ou de 12 semaines à plus de 52 si le mat est à liant poudre.

- dans le cas d'un stratifié (avec gelcoat ISO de HDT moyen), si on passe d'une résine de stratification ISO à la version ISO écologique, le temps d'apparition du cloquage passe de 54 semaines à 52 si le mat est à liant émulsion (le temps reste donc similaire) ou de plus de 100 semaines à plus de 52 si le mat est à liant poudre (on a donc une diminution notable dans ce cas tout en restant suffisamment résistant).

****

LES RESINES VINYLESTER

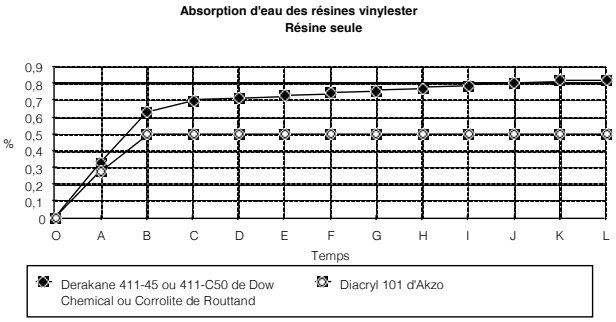
La résine vinylester est le résultat de la réaction du bisphénol-A époxy et de l'acide méthacrylique. Du point de vue chimique, elle se situe entre une polyester et une époxy.

Ressemblance avec une polyester : le diluant de la résine est le même : le styrène.

Différences :

- du point de vue absorption d'eau : le taux d'absorption maxi d'une vinylester (résine seule) est de l'ordre de 0,5 à 0,8%, il est pratiquement indépendant de la température. Pour un stratifié à base de vinylester il sera de 0,2 à 0,4%. Ces valeurs sont de beaucoup inférieures (de moitié environ) à celles d'une résine ORTHO ou même ISO.

Du fait de cette faible absorption, le gonflement différentiel est réduit et le risque de décohésion résine/fibre de verre est quasiment nul.



Nota : la Diacryl 101 d'Akzo est livrée sans styrène. Il faut l'ajouter au moment de l'emploi.

Du point de vue résistance à l'hydrolyse :
la molécule polyester est longue, elle a des doubles liaisons et des liaisons ester tout au long de la molécule. Ces liaisons vont se marier avec le styrène au moment de la catalysation et créer la solidification de la résine.
La molécule vinylester est courte, les doubles liaisons et les liaisons ester n'existent qu'aux extrémités. De ce fait, la résine solidifiée aura de meilleures qualités de souplesse - elle a un taux d'allongement à la rupture, A %, de l'ordre de 5 % - et de résistance à l'élongation.
D'autre part, les liaisons ester se détruisent sous l'action des solvants, dont l'eau. Comme il y en a moins, la vinylester résistera mieux à la dégradation par l'eau.

Des essais faits par DOW CHEMICAL et publiés en 90 ont montré :

- avec un gelcoat ORTHO et une résine de stratification ORTHO, l'interposition en couche dure d'un mat 300 g/m2 imprégné de résine vinylester DERAKANE 411-45 augmente la résistance au cloquage de 19 jours à 250 jours (essai en vapeur saturée à 55°C).

- avec un gelcoat ISO NPG et une résine de stratification ORTHO, l'interposition en couche dure d'un mat 450 g/m2 imprégné de résine vinylester DERAKANE 411-45 augmente la résistance au cloquage de 40 jours à 1000 jours (essai en vapeur saturée à 55°C).

Des essais récents (91-92) faits à l'IFREMER ont montré qu'après 3000 H en eau à 60°C un stratifié ORTHO ou ISO protégé par deux couches de renfort (mat ou tissu roving) imprégnées avec une vinylester 411 DOW CHEMICAL - puis un gelcoat - n'a pas montré de cloquage.

Autres qualités de cette résine :

- moins de marquage : on ne "voit pas le tissu de verre se deviner" en lumière rasante. C'est d'ailleurs une qualité que l'on peut utiliser aussi pour faire les moules.

- liaison polyester/vinylester : les résines sont de même nature donc la liaison est bonne.
Les reprises polyester sur vinylester ne posent pas de problème (alors que c'est impossible de mettre du polyester sur de l'époxy). On peut donc avoir un gelcoat polyester puis la couche dure (2 premiers plis) en vinylester puis le reste du stratifié en résine polyester.
La fabrication s'enchaîne bien alors que dans le cas d'un traitement préventif à l'époxy, il fallait passer l'époxy en fin de fabrication ce qui constitue une reprise de fabrication toujours mal venue.

Du point de vue de la mise en œuvre à la fabrication :

- globalement, elle s'emploie comme une polyester. La résine vinylester est pré-accélérée et elle est à catalyser avec le PMEC classique. Mais le mélange catalyseur/ résine doit être précis et ne tolèrera pas d'à-peu-près alors que la polyester est plus tolérante.

La température de la résine vinylester utilisée à l'atelier devient elle aussi plus importante. Il faut utiliser des ceintures chauffantes pour amener les fûts de résine à 18-21°C.
Il faut aussi utiliser un mélangeur ou un agitateur pour bien garder en suspension les agents thixotropes.

Cependant, malgré cette semblante facilité, les gens de l'atelier de moulage vont vous faire savoir que ce n'est pas aussi évident :

- on ne pourra pas utiliser exactement le même équipement pour passer de la résine polyester ou de la vinylester. Il y aura des changements de buse à faire, par exemple.

- la marge d'erreur du mélange résine/catalyseur est plus étroite. La vinylester est moins tolérante de ce point de vue et il va falloir travailler plus précisément.
En particulier, il faut se méfier des variations de température qui donnent des variations importantes de viscosité du catalyseur qui peuvent engendrer des mélanges incorrects, particulièrement dans les machines dont le mélange se fait automatiquement. Un réglage qui donne un débit de catalyseur correct vu au débitmètre à bille peut donner un débit différent si la viscosité varie.

- la vinylester mousse à l'addition du catalyseur. Il faut donc attendre qu'elle disparaisse avant de commencer à mouler et le débullage doit être accentué et soigné.

- on ne peut pas faire du stratifié épais, couche sur couche, car elle est plus exothermique (elle chauffe plus, pic à 130/150°C) et par sa polymérisation plus rapide la pièce peut se démouler d'elle-même en cours de moulage.

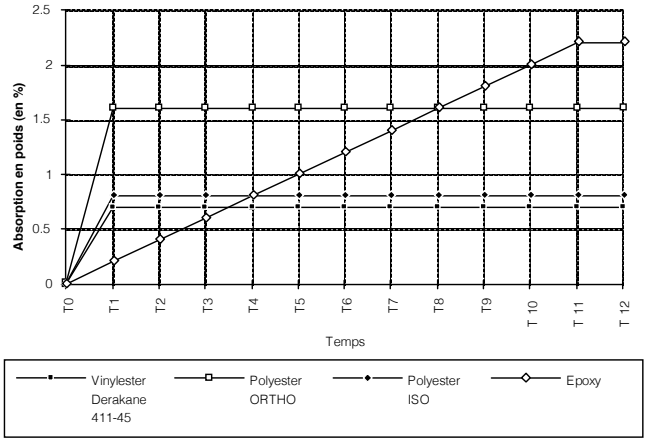
Du point de vue des prix : la vinylester coûte trois fois plus cher qu'une polyester ORTHO environ.

L'emploi de la résine vinylester dans l'industrie nautique est encore pratiquement nul pour la fabrication de grande série, même en restreignant son usage à la stratification de la seule couche dure.

****

Pourrait-on faire un traitement préventif ou curatif avec une vinylester ? Oui certainement, ses qualités de faible absorption d'eau (donc d'étanchéité), de résistance à l'hydrolyse (donc d' "inertie" vis à vis de l'attaque par l'eau) et sa parfaite compatibilité avec une polyester permettent cette utilisation en toute sérénité sur le plan technique.

Profitons en pour remettre sur un même graphique les taux d'absorption d'eau (donc l'étanchéité) des différentes résines qui nous intéressent, la polyester ORTHO et ISO, la vinylester 411 de Dow Chemical et l' époxy :



La vinylester a une plus faible absorption que l'époxy.
L'époxy a une absorption importante, heureusement elle se "rattrappe" par le fait que cette absorption est plus lente.

4-2°) PARAMETRE ANALYSE : LE GELCOAT

GELCOAT CLASSIQUE

Paramètres liés à la résine de base :

Le gelcoat peut être produit à partir, soit d'une résine ORTHO, soit d'une résine ISO. De même, l'alcool de base peut être un glycol classique ou un néopentyl glycol.

Acide Iso + glycol (PG) = résine ou gelcoat ISO (1)
Acide Iso + néopentyl glycol (NPG) = résine ou gelcoat ISO-NPG (2)

Acide Ortho + glycol (PG) = résine ou gelcoat ORTH (3)
Acide Ortho+néopentyl glycol (NPG) = résine ou gelcoatORTHO-NPG (4)

On peut avoir aussi des mélanges ISO/ORTHO.

On a déjà vu des comparaisons entre les différents types (pages 16 et 18).

Rappelons les succinctement :

en terme de taux d'absorption d'eau :

- l'absorption d'eau maxi est nettement plus forte pour un gelcoat ISO/ORTHO (et vraisemblablement encore plus forte pour un gelcoat ORTHO) que pour un gelcoat ISO ou ISO NPG. Heureusement la majorité des constructeurs n'emploient plus de gelcoat ORTHO.

- il n'y a pas de différence entre un gelcoat ISO et un gelcoat ISO NPG.

- un gelcoat ISO absorbe environ deux fois moins qu'un gelcoat ORTHO.

en terme de gonflement différentiel : le gonflement différentiel est très différent entre gelcoat ISO et résine de stratification ORTHO. Il y a risque de décohésion.

en terme de temps d'apparition des cloques :

- le gelcoat ISO/ORTHO (c'est vraisemblablement encore plus vrai pour un gelcoat ORTHO) est très nettement moins bon.

- pour une résine de stratification ISO, le gelcoat ISO NPG apporte une légère amélioration par rapport à l'ISO simple alors que pour une résine de stratification ORTHO, le gelcoat ISO NPG n'apporte pas d'amélioration, c'est même un peu moins bon. **Il est inutile de choisir un gelcoat "amélioré" NPG pour un stratifié ORTHO**.

Les gelcoats qui sont considérés comme les meilleurs sont faits à base de résine ISO ou d'ISO néopentyl glycol (ISO NPG).

****

Autres paramètres :

Son épaisseur
Il ne doit pas être trop mince puisque l'effet de barrière étanche est proportionnel à son épaisseur (3 à 4/10èmes de mm sont un minimum - 6 à 7/10e c'est mieux, c'est ce que l'on trouve dans les bonnes fabrications).

Des essais faits par Silenka ont montré que des éprouvettes de 1,5/10èmes étaient détériorées en trois heures alors qu'avec 3 à 5/10èmes elles ne montraient aucun signe de détérioration après 22 heures.

Des essais récents (91-92) faits à l'IFREMER ont donné comme résultats :
- Pour une résine de stratification ORTHO : passer d'une épaisseur de gelcoat ISO/ORTHO de 0,3 mm à 0,6 mm fait passer le temps de cloquage de 260 H à 640 H (eau d'essai à 50°C).
- Pour une résine de stratification ISO : passer d'une épaisseur de gelcoat ISO de 0,3 mm à 0,6 mm fait passer le temps de cloquage de 350 H à 1600 H (eau d'essai à 50°C).

L'épaisseur du gelcoat a une influence importante et d'autant plus importante que le gelcoat et la résine de stratification sont à base d'une "bonne" résine (ISO).
Comme le gelcoat est utilisé pur, c'est-à-dire qu'il n'est pas chargé par de la fibre de verre, son retrait va être relativement important. A cause de ce retrait, il ne peut pas être passé en couche trop épaisse (7 à 8/10èmes de mm maximum), sinon ce retrait occasionne un fendillement lors de son durcissement. Si on veut en mettre plus épais afin d'augmenter l'épaisseur de la barrière étanche, il faut alors le passer en plusieurs couches.
La deuxième couche doit être projetée au bon moment : pas trop tard sinon on a un mauvais accrochage avec la couche précédente, et pas trop tôt sinon on détrempe la première couche c'est-à-dire qu'on la dilue par le solvant (le styrène) de cette deuxième couche.

Sa souplesse
Une autre qualité essentielle pour un gelcoat est sa souplesse pour éviter les fissurations au moindre choc ou sous la plus petite déformation de flexion. Par ces fissurations l'eau pourrait pénétrer facilement dans le stratifié. Il faut donc que la résine de base soit souple.
La valeur de A %, c'est-à-dire l'allongement maxi que peut supporter le gelcoat avant rupture, est généralement de 2 à 5%. L'éventail est donc large.

Pour cette même raison, il ne faut pas que l'épaisseur du gelcoat soit trop forte, particulièrement dans les parties soumises à des efforts de flexion, aileron de safran par exemple, qui fléchit sous la poussée du safran qui y est accroché. Or ces parties sont des parois verticales, creuses et étroites (dans le cas de moule femelle en une seule partie) où généralement on trouve fréquemment des excès de gelcoat.

Malheureusement aussi, ce A %, donc la souplesse, va baisser avec la durée d'immersion dans l'eau.

Pigments et charges

- pigments de coloration : les gelcoats colorés résistent moins bien (en particulier les bleus), les blancs ou même les non colorés résistent mieux.
Des essais (SCOTT BADER) ont montré qu'il est préférable d'utiliser un gelcoat de couleur blanche ou claire (non coloré, non pigmenté). Tout pigment peut créer des canaux capillaires interfaciaux par lesquels l'eau pourrait s'introduire plus facilement.
D'où la recommandation d'utiliser, sous la flottaison, un gelcoat sans aucun pigment. Mais cela obligerait à gelcoater le moule en deux fois, avec un masquage entre deux, ce qui n'est pas simple ni bon marché.

- agent thixotrope, gel de silice par exemple, pour que le gelcoat ne coule pas facilement en parois verticales : le taux d'absorption d'eau augmente et le temps d'apparition des cloques diminue

****

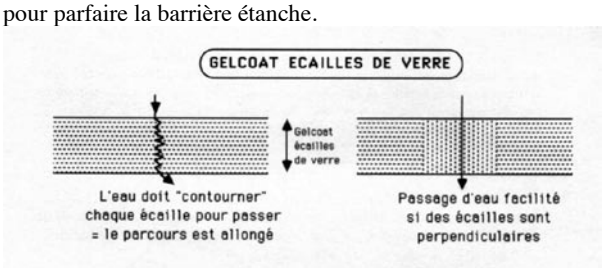
GELCOAT AVEC ECAILLES DE VERRE

Il s'agit de gelcoat dans lequel on ajoute des écailles ou pailettes de verre qui sont orientées par des additifs spéciaux. Une fois polymérisé on obtient un film protecteur à structure lamellaire, les lamelles étant à plat.
On crée ainsi un labyrinthe qui "allonge" le circuit à parcourir par l'eau pour traverser le gelcoat à l'image des lauzes sur un toit de maison.

Ces écailles sont réalisées par broyage puis tamisage de bulles de verre non ensimées, de verre C en général, le verre C étant beaucoup plus inerte vis à vis de l'eau comme nous le verrons au paragraphe 4-5 suivant. Les paillettes font 3 à 5 microns (millièmes de mm) d'épaisseur.

L'inconvénient est que le produit se projette difficilement au pistolet, il passe mal dans la buse et les écailles de verre très abrasives détruisent rapidement cette buse, même si elle est en tungstène. On le passe généralement au rouleau.

L'autre inconvénient est que le gelcoat obtenu est difficilement ponçable (on ponce du verre) et les finitions des raccords de gelcoat sont pratiquement impossibles. Pour éviter ce problème certains constructeurs utilisent en première couche un gelcoat classique qui sera ponçable et permettra les finitions puis un gelcoat écailles de verre en deuxième couche pour parfaire la barrière étanche.



Un autre inconvénient cité est que les paillettes ne se mettent pas toujours bien à plat, elles peuvent au contraire se mettre perpendiculairement au film, pointer à la surface et constituer

alors des canaux préférentiels facilitant le passage d'eau. Pour l'éviter il faudrait passer plusieurs couches minces.

Leur efficacité est donc controversée.

****

4-3°) PARAMETRE ANALYSE : LE LIANT DES MATS DE VERRE

Sachant qu'il y a deux liants possibles, le liant "émulsion" et le liant "poudre", lequel choisir ?

- le liant poudre parait séduisant chimiquement puisque c'est du polyester à base de Bisphénol A qui est simplement dissous dans la résine du même nom.

- le liant émulsion contient beaucoup de PVA (acétate de polyvinyle - déjà utilisé en petite quantité dans l'ensimage) qui est un produit très hydrolysable (donnant l'acide acétique à odeur de vinaigre que l'on sent bien dans le liquide des cloques) qui est un facteur important du développement et de l'entretien de l'osmose.

1°) Du point de vue de la formation de cloques

Beaucoup d'essais ont été faits sur ce point (SILENKA - SCOTT BADER) et ils montrent que le liant poudre résiste mieux à l'hydrolyse que le liant émulsion bien que les comparaisons ne soient pas toutes concordantes.
Des essais comparatifs avec eau à 50° C ont été faits par Silenka.
Ils montrent que les mats liant émulsion n'ont qu'une durée de résistance de 70 à 150 heures, alors que les mats liant poudre résistent entre 250 à 280 heures. Le gain est tout à fait significatif de l'ordre de 3 sur 1 au mieux et encore de 2 sur 1 au pire.

Des comparaisons faites par SCOTT BADER on peut résumer :

Résine de stratification ORTHO Marine de HDT moyen, gelcoat ISO ou ISO NPG : passer du mat émulsion au mat liant poudre ne change pratiquement pas le temps d'apparition des cloques. Autrement dit ce n'est pas la peine de passer au liant poudre si on reste en stratifié ORTHO.

Résine de stratification ISO, gelcoat ISO ou ISO NPG : passer du mat émulsion au mat liant poudre améliore très fortement le temps d'apparition des cloques.

NOTA : même si ce mat est mieux, il faut savoir qu'il est tout de même encore mieux de ne pas en avoir du tout. C'est le cas si on n'utilise que des tissus rovings. L'IFREMER a montré ainsi que le fait d'ajouter deux mats liant poudre en couche dure (juste derrière le gelcoat, comme c'est habituel) diminue de moitié environ la tenue à l'osmose.

Il faut maintenant vérifier si cette amélioration de la tenue à l'osmose ne se fait pas au détriment de la résistance mécanique.

2°) Du point de vue de la résistance mécanique

Bien que faits avec une eau à 100°C (donc post-cuisson qui modifie le matériau et dépassement de la température de tenue à chaud de la résine - HDT) des essais comparatifs ont été faits par Sandvik et H.P Pedersen et ont montré que le mat liant poudre avait d'aussi bonnes caractéristiques de résistance mécanique que le mat émulsion.

D'autres essais ont été faits par SCOTT BADER avec une température d'eau plus basse. Ils ont montré les résultats suivants :

LIANT POUDRE	Unités				
Durée d'immersion :	mois	0	4	12	26
Résistance à la traction :	kg/mm2	10,3	7,3	7,5	7,6
Module de rigidité en flexion :	kg/mm2	620	580	600	530

LIANT EMULSION	Unités				
Durée d'immersion :	mois	0	4	12	26
Résistance à la traction :	kg/mm2	9,2	8	7,6	7,9
Module de rigidité en flexion :	kg/mm2	560	510	540	530

Eau à 40°C.
Polymérisation des échantillons : 28 jours à 20°C, ce qui est représentatif de la fabrication réelle d'une coque.
Eprouvettes sans gelcoat avec 4 mats 450 g/m2 et résine ISO Crystic 489 PA - 33% de résine.

Beaucoup d'autres paramètres de résistance mécanique ont été mesurés et ne sont pas retranscrits ci-dessus. Tous montrent que la résistance mécanique de l'un ou de l'autre est très voisine après les 26 mois d'immersion.
Les faibles différences notées dans le tableau ci-dessus ne sont pas à mettre dans la balance. Tout au plus, et c'est tant mieux, le mat liant poudre n'est pas moins résistant que le mat émulsion.

3°) Conclusion

- le mat liant poudre a une meilleure résistance à la formation des cloques pour un stratifié ISO. Pour un stratifié ORTHO l'amélioration ne semble pas notable.

- cela ne se fait pas au détriment des caractéristiques mécaniques.

- par contre, le mat liant poudre est plus raide, il est plus difficile à manipuler, il a plus de difficulté à épouser les formes creuses, des angles de tableaux AR ..... Pour cela, il a longtemps été boudé par les constructeurs. Les stratifieurs lui reprochent en outre, mais est-ce réel (?), d'occasionner des allergies de la peau, des démangeaisons, ...
Mais c'est peut-être et sans doute une mauvaise excuse pour continuer à utiliser le mat liant émulsion qui se travaille si bien, si facilement .....

- l'importance de l'osmose conduit donc les constructeurs vers le mat liant poudre, même s'il est plus pénible à travailler, et au moins pour un ou mieux deux mats de la couche dure.

Nota 1 : la projection simultanée permet d'éviter le liant, elle pourrait sembler séduisante. Mais en première couche, dans le moule femelle (celle donc qui sera exposée en première ligne à l'hydrolyse), il faut éviter absolument tout vide.
On y arrive mieux avec un mat de verre bien ébullé qu'avec une projection simultanée, les fibres n'étant pas toutes "à plat", et l'ébullage, même bien fait, risquant de laisser des vides importants derrière le gelcoat.
D'autre part le principal inconvénient du mat projeté reste que l'épaisseur de la couche dépend de l'habileté du projeteur, que ce n'est pas facile et on constate souvent des défauts d'épaisseur, en trop ou en moins.

Nota 2 : dans certains mats liant poudre "spéciaux", l'ensimage (on a vu qu'il est lui aussi à base de PVA) est alors

remplacé par un ensimage à base de Bisphénol A. comme pour le liant.
On élimine alors toute présence de PVA qui est un produit très hydrolysable (donnant l'acide acétique à odeur de vinaigre que l'on sent bien dans le liquide des cloques). Ce mat liant poudre "spécial" a alors une très bonne résistance à l'osmose mais il est peu compatible avec le moulage de grandes pièces comme sont les coques de bateaux et il n'est pas utilisé pour les constructions nautiques.

Nota 3 : le voile de surface en verre "C" (et non pas le "E" habituel - voir paragraphe 4-5 ci-après), de très faible grammage, placé juste derrière le gelcoat, formera une couche riche en résine (rapport résine/verre : 20/1) et fera office en quelque sorte de deuxième gelcoat "armé". Il augmentera très notablement la résistance à l'osmose. L'inconvénient est qu'il ne se manipule pas facilement et il n'est pratiquement pas utilisé pour les constructions nautiques.

4-4°) PARAMETRE ANALYSE : LA NATURE DE L'AGENT DE COUPLAGE

Rappelons que l'ensimage peut contenir deux types d'agent de pontage :

- un agent de pontage (ou couplage) au chrome.
- un agent de pontage silane.

L'agent de pontage au chrome est plus sensible à l'hydrolyse.
Document Silenka :
Des éprouvettes essayées à 50°C ont montré que le finish (on l'appelle aussi comme cela) silane tenait 250 heures alors que, dans les mêmes conditions, le finish chrome ne tenait que 100 à 150 heures.

4-5°) PARAMETRE ANALYSE : LA NATURE DU VERRE DE LA FIBRE

Le verre est un mélange de plusieurs composants :
- la silice, $Si 0_2$ principalement
- des oxydes de fer et d'aluminium, de bore
- des oxydes de calcium et de magnésium
- des oxydes de potasse et de soude ($K_2 O$ et Na_2O)

tous ces composants sont à des teneurs diverses suivant les types de verre.

- le verre couramment utilisé est le verre "E" appelé aussi verre électrique avec très peu de potasse et soude (< 1 %)

- un autre verre, le verre "S" ne contient pas de potasse ni de soude. Or ces deux produits sont très facilement hydrolysables.
Pour cette raison, le verre "S" serait meilleur du point de vue de l'osmose (additionnellement, il a une meilleure résistance mécanique), mais il est plus cher, et pas du tout employé en construction nautique.
- un troisième verre, le verre "C" est utilisé uniquement pour l'industrie chimique (tuyaux, réservoirs, tours de réaction .....) où une résistance exceptionnelle aux agents chimiques est recherchée. Dans ce cas, on utilise 2 à 3 premières couches en verre C puis le reste du stratifié en verre E commun.

4-6°) PARAMETRE : LE SYSTEME CATALYTIQUE, ACCELERATEUR + CATALYSEUR

Ils ont une influence sous différents aspects :

- d'abord et avant tout sur le durcissement complet et total de la résine, ce qui donne un stratifié moins perméable à l'eau, et donc moins facilement hydrolysable. Le facteur le plus important est le dosage de ces produits.

Des essais ont été faits par SILENKA en faisant varier le pourcentage de PMEC de 0,5 à 8%. Il a été constaté que la meilleure résistance à la formation des cloques s'obtient avec des pourcentages compris entre 1 et 2% qui sont ceux utilisés habituellement, compte tenu des conditions de température de l'atelier de moulage, de la réactivité de la résine et du temps de gel souhaité.

- le PMEC traditionnel a été comparé au péroxyde de benzoyle-diméthylaniline. Dans la majorité des cas, le PMEC a une résistance à la formation des cloques 1,5 à 2 fois supérieure.

- ensuite, parce qu'eux-mêmes ou leur diluant (le phtalate de méthyle pour le PMEC par exemple) ne disparaissent jamais complètement lors de la réaction, et on peut les retrouver sous forme de solutions qui peuvent avoir un rôle osmotique. Cependant il ne faut pas exagérer cette importance, la plupart de ces solvants sont peu solubles dans l'eau froide et ils ont donc finalement un rôle réduit pour la résistance à l'osmose.

Cela n'a pas été le cas pour le problème très particulier du diéthylène glycol qui, lui, a fait des ravages relatés par les médias et qui a propulsé l'osmose sur le devant de la scène. C'est donc l'exception qui confirme la règle.

Alors gardons le PMEC, il convient très bien.

4-7°) PARAMETRE : CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE

Nous le citons en dernier, non pas parce qu'il est moins important que les autres, bien au contraire, mais parce qu'il est supposé être parfaitement connu et qu'il suffit d'avoir la volonté de l'appliquer, ce qui n'est pas toujours le cas et ce qui a pour conséquence de mettre, de fait, ce paramètre au premier rang.
Rappelons les principes à suivre et les défauts à éviter :

- une température de l'atelier de moulage et des produits trop basse, c'est-à-dire inférieure à 15 - 18° C va accroître la viscosité du gelcoat qui va être plus difficile à projeter, qui va donc empêcher les bulles d'air de s'éliminer (l'air reste prisonnier de sa bulle trop visqueuse) et qui donne des épaisseurs inégales.
La réaction du stratifieur va alors être toujours la même : ajouter du solvant, de l'acétone, qui lui crée d'autres problèmes :
- il peut en rester des traces dans le gelcoat durci : l'acétone est dissous par l'eau donc avide d'eau.
- comme tout solvant, lorsqu'il s'évapore, il crée des "trous d'aiguilles", des microbulles qui rendent donc le gelcoat plus poreux. Enfin l'excès d'acétone est à l'origine d'autres défauts bien connus tels que les coulures, d'où épaisseurs inégales.

La solution est de travailler à bonne température, sur un moule à bonne température, et généralement on met les pots de gelcoat au bain-marie depuis la veille pour les porter doucement à température convenable avant emploi.

- gelcoat passé à la brosse ou au rouleau : c'est meilleur mais il ne faut pas que ce soit un gelcoat "pistolet". Un gelcoat "pistolet" est additionné d'acétone pour qu'il pulvérise bien, qu'il passe facilement dans la buse et que l'air qui lui est mélangé se sépare facilement. Si on le brosse après pistoletage, on "referme" des cavités où l'acétone se trouve

piégé. Il restera dans le gelcoat et étant facilement hydro-soluble, il constituera des sites d'osmose rapide.

- il faut éviter les temps d'arrêt importants au cours de la stratification comme un délai d'attente entre couche dure (2 premiers mats) et le reste du stratifié. En particulier "la coque du vendredi soir" qui est reprise en stratification le lundi ou plus tard si c'est un week-end prolongé ou le moule qui est "protégé" pendant la période des congés par un gelcoat et 2 mats et qu'on reprend en stratification tel quel à la rentrée.

- hygrométrie de l'atelier trop forte : on risque des condensations sur les points froids, le moule et les matériaux. C'est pourquoi, il faut aussi travailler sur un moule qui est à la température de l'atelier et non un moule froid que l'on vient de rentrer de l'extérieur, ou sur un moule qui n'est pas encore réchauffé alors que l'atelier l'est.
Exemple : arrêt du chauffage pendant la nuit. Remise en route le matin, juste avant gelcoatage : l'air de l'atelier est suffisamment chaud mais le moule est plus froid que cet air : effet de paroi froide et condensation.

- si on doit chauffer toute la nuit on peut en profiter pour faire le moulage en continu par des équipes en 3x8 heures. C'est certainement une très bonne solution dont le surcoût est à comparer aux économies faites en S.A.V.

- des thermomètres et hygromètres sont très utiles pour contrôler tout cela :
- thermomètres et hygromètres (enregistreurs par exemple) pour contrôler la température ambiante de l'atelier de moulage, pour réagir aux ouvertures de portes trop longues qui amènent le froid et l'humidité à tomber sur un moule prêt à être gelcoaté. Idem pour le magasin de stockage des tissus de verre, mats et rovings. L'idéal est d'avoir en plus un sas pour la sortie des coques et l'entrée des matières (tissus de verre), ce qui évite les fluctuations de température et d'humidité par ouvertures des portes de l'atelier de moulage.
- un thermomètre à contact qui permet de mesurer la température de paroi du moule que l'on va gelcoater.
- un thermomètre à liquide qui permet de mesurer la température du gelcoat que l'on va projeter.

- gélification trop tardive : elle est généralement due soit à un défaut de catalysation (mauvais % de catalyseur - catalyseur éventé, etc .....), soit à une température trop faible (inférieure à 15 - 18° C), soit à une humidité trop forte, les deux allant généralement de pair, soit à trop de diluant. Tant que la gélification n'est pas faite, le styrène (le diluant de la résine polyester) s'évapore. Or, dans le processus du durcissement, le styrène a une importance capitale pour avoir un durcissement complet. Donc, une mauvaise catalysation est en elle-même un défaut qui s'aggrave par la perte de styrène qui l'accompagne.

- application du premier mat dans un intervalle de temps correct :
- pas trop tôt, sinon la fibre de verre va pénétrer dans le gelcoat encore mou et va "pointer" à la surface (revoir chapitre 1, parag. 2-24°).
- pas trop tard, sinon la liaison chimique avec un gelcoat trop durci ne sera pas bonne.

- il faut un dosage précis et fiable du catalyseur pour obtenir un bon durcissement de la résine. Il faut un mélange complet du catalyseur en évitant une agitation trop énergique qui inclurait de l'air dans la résine. Un mélange à la main ne se fait pas en tournant le bâton le long de la paroi du seau (par centrifugation, le catalyseur restera sur le pourtour), mais en faisant des mouvements en 8. Les équipements professionnels avec projection simultanée de résine et de durcisseur assurent une meilleure garantie de ce point de vue.

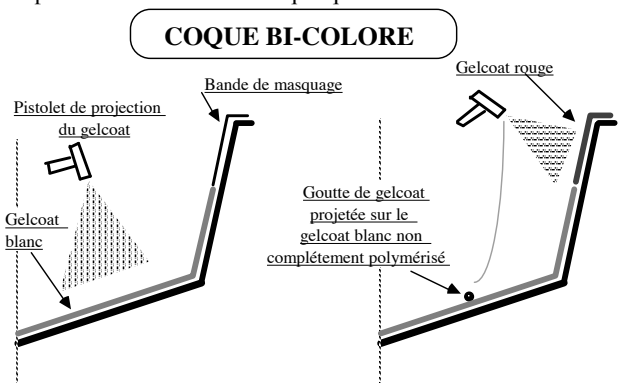
- le cycle de polymérisation : le styrène (le diluant de la résine polyester) s'évapore en grande partie dès le début du moulage. Or, dans le processus du durcissement, le styrène a une importance capitale. Donc la réticulation, c'est-à-dire le durcissement sera incomplet. D'autre part on retrouve dans le stratifié polymérisé des traces de styrène qui n'a pas réagi avec le polyester (styrène résiduel) et qui favorise le développement de l'osmose. Pour l'éviter il faudrait améliorer la polymérisation pour qu'elle soit plus complète.

De nombreux essais ont montré qu'un stratifié post-cuit (2 heures à 100°C par exemple) double la résistance au cloquage.
Ceci étant dû à une polymérisation plus complète, à une augmentation de la température de transition vitreuse (Tg) du gelcoat et de la résine et surtout à une diminution de l'écart entre Tg gelcoat et Tg résine : il y aura moins de gonflement différentiel et meilleure compatibilité entre la couche de gelcoat et le stratifié.
Mais ne rêvons pas, aucun chantier de production de masse ne dépensera un sou pour s'équiper d'un four de grandes dimensions pour faire une post-cuisson à 100°C. Contentons nous d'un atelier correctement chauffé pour que la polymérisation soit acceptable quoiqu' imparfaite.

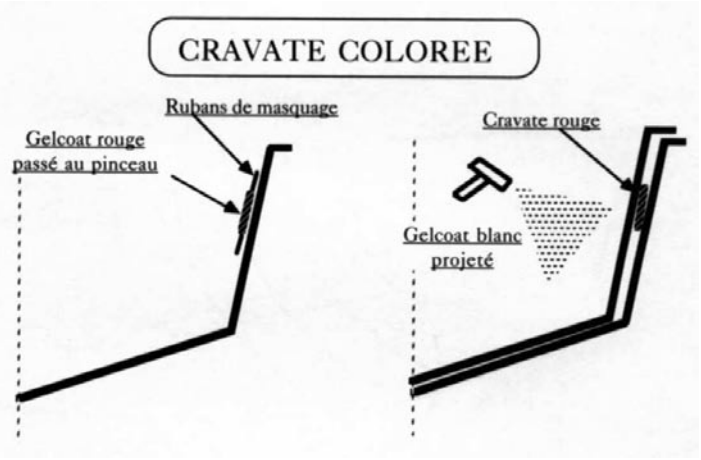
- coques bi-colores : prenons le cas d'une coque blanche avec une partie supérieure rouge :

- 1ère solution (rencontrée principalement sur les petits bateaux à moteurs) : une bande de papier de masquage est disposée sur le haut du franc-bord et le gelcoat "général", le blanc, est projeté au pistolet. Puis, la bande de masquage est enlevée et le 2ème gelcoat rouge est projeté au pistolet. Si cela est fait trop tôt, le gelcoat rouge dissout (par le styrène qu'il contient) et "détrempe" le blanc qui devient plus poreux. A cela s'ajoute un autre risque : pour nettoyer le pistolet, on le rince à l'acétone avant de passer le gelcoat rouge. Les premiers instants de projection du gelcoat rouge seront sans doute faits avec un pistolet qui pulvérisera encore de l'acétone qui se trouvera projeté sur le gelcoat blanc qu'il dissout.

On peut avoir une osmose en quelques mois.

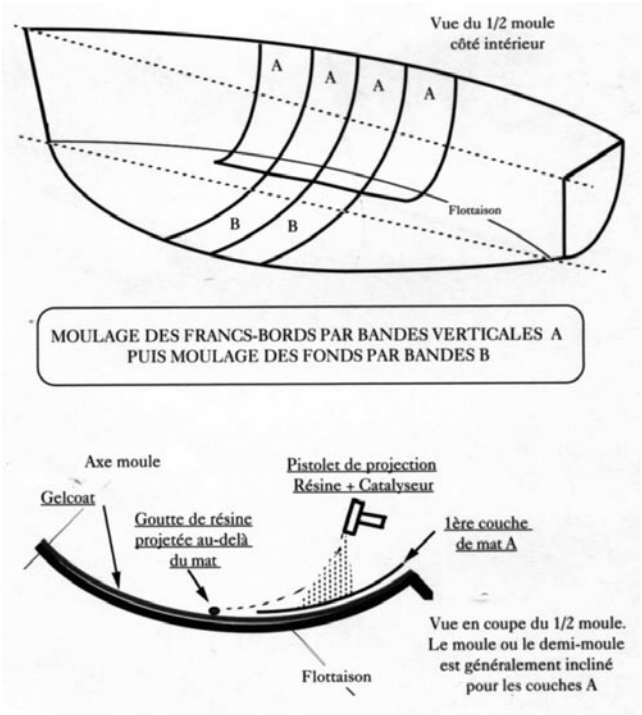


- 2ème solution : la bande de couleur (appelée quelquefois "cravate") est appliquée au pinceau, puis lorsqu'elle est suffisamment durcie, le gelcoat blanc est projeté au pistolet partout. Même si ce gelcoat projeté détrempe le 1er gelcoat de la cravate, comme celle-ci est au-dessus de la flottaison, il n'y a pas de problème.



****

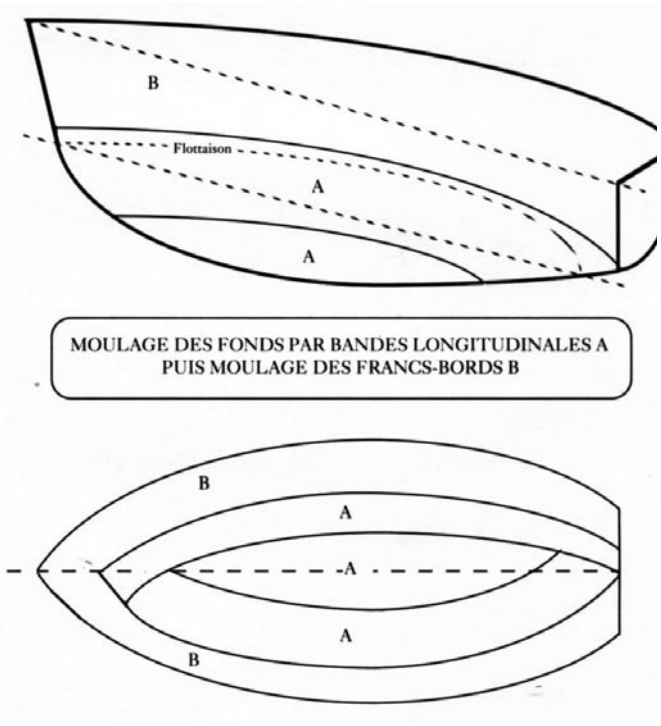
- processus du moulage : certains chantiers commencent le moulage par des bandes verticales, de la flottaison au liston. Le but étant de privilégier l'aspect de la coque pour la partie qui en sera visible : les francs-bords.



Et cela en manipulant des petites bandes faciles à mettre correctement en place.
Par contre cela permet de déposer déjà des éclaboussures de résine sur la partie sous la flottaison, sur le gelcoat qui risque d'être dissous par le styrène de cette résine s'il n'est pas encore bien durci et d'autre part ces gouttes de résine auront le temps de perdre leur styrène : elles polymériseront mal et seront des sites de points osmostiques.

Il vaut mieux commencer le moulage par les parties basses et par de longues bandes longitudinales qui se décroisent naturellement avec la forme en creux du moule. Les gouttes de résine projetées à côté de la bande qui est posée se trouvent couvertes tout de suite par la bande A suivante. Les gouttes de résine projetées sur les francs-bords perdent leur qualité comme expliqué ci-avant mais comme on est au-dessus de la flottaison, cela n'a pas d'effet néfaste en ce qui concerne l'osmose.

La taille de la coque influe sur la procédure : il est plus difficile d'étaler un rouleau de grande longueur, surtout si c'est un mat liant poudre qui a peu de déformabilité.



- l'Agent de démoulage
Pour permettre le démoulage, un agent de démoulage est passé dans le moule avant projection de gelcoat.
Les cires sont meilleures du point de vue de l'osmose que les solutions aqueuses d'alcool polyvinylique, de polyéthylèneglycol.

****

4-8°) CONCLUSION : PRODUITS QUI COMMENCENT A ETRE DE PLUS EN PLUS EMPLOYES PAR LES CHANTIERS, POUR LES CONSTRUCTIONS NEUVES :

Selon les chantiers on rencontre, par ordre sensiblement croissant de degré de protection :

- Gelcoat ISO-NPG, mais n'est pas efficace si on reste avec une résine de stratification ORTHO.

- Gelcoat ISO-NPG, puis premier mat (ou les deux premiers mats) à liant poudre avec résine de stratification ISO (puis résine ORTHO classique pour le reste du stratifié).

- Gelcoat ISO-NPG, puis stratification avec résine ISO pour toute l'épaisseur du stratifié.

- Deux couches de gelcoat ISO puis stratification avec résine ISO pour le 1er ou les deux premiers mats qui sont à liant poudre, puis résine ORTHO classique pour le reste de l'épaisseur du stratifié dont les mats sont à liant émulsion classique.

- Une couche de gelcoat et une deuxième protection à base de résine polyester bisphénol, puis stratification classique.

- Une couche de gelcoat ISO-NPG et une deuxième de gelcoat écailles de verre, puis stratification avec résine ISO pour les deux premiers mats qui sont à liant poudre, puis résine ORTHO classique pour le reste de l'épaisseur du stratifié dont les mats sont à liant émulsion classique.

- Résine de stratification Vinylester (ou Vinylester modifiée) pour les deux premiers mats liant poudre, puis résine ORTHO classique pour le reste de l'épaisseur du stratifié : rarement employée pour la production de masse de bateaux de série.

etc... sachant que ces produits sont plus chers que ceux employés auparavant. A titre d'exemple on peut citer :
- gelcoat écailles de verre : 2,8 fois plus cher que le gelcoat ISO - NPG qui est déja plus cher que l' ISO classique.
- résine polyester ISO : 20% plus chère que l'ORTHO.
- résine vinylester : 3 fois plus chère que l'ORTHO.

****

On peut résumer en disant que l'amélioration de la résistance à l'osmose se situe à deux niveaux :

- en améliorant la barrière d'étanchéité : c'est le but visé avec l'époxy ou la vinylester en préventif ou en curatif, et des gelcoats améliorés.

- en choisissant des matériaux de stratification (résine ISO, résine vinylester, mat liant poudre) qui sont inertes vis à vis de l'eau et qui ne seront pas ou peu hydrolysés quand l'eau les atteindra après avoir franchi le gelcoat. L'amélioration à ce niveau là est la plus efficace.

****

EN GUISE DE CONCLUSION

1 - L'osmose affecte tous les bateaux en "plastique" (polyester renforcé de verre). Cela veut dire que dans leur vie ils n'échapperont pas au problème, surtout pour les bateaux faits avec une résine ORTHO, ce qui est le cas de la presque totalité des bateaux anciens et de 95% des bateaux encore fabriqués actuellement.

La qualité de fabrication et la qualité des matériaux utilisés ont une influence :

- sur le temps d'apparition de l'osmose.
- sur la gravité des dégâts résultant de l'osmose.
- sur la quantité d'eau absorbée et donc sur le temps de séchage du stratifié mis à nu au cours de la réparation. A ce propos, une mesure d'humidité du matériau est à faire pour toute expertise concernant l'osmose.

2 - Il faut se méfier de l'osmose des vieux bateaux (15 à 20 ans d'âge ou plus) qui ne se voit pas extérieurement. L'eau a fait son travail d'hydrolyse, donc de dégradation. Lorsque l'empilement de plusieurs couches de mats jouera le rôle de paroi semi-perméable, les cloques se verront alors. Mais elles seront profondément dans le stratifié.
Les bulles visibles sur l'extérieur de la coque sont en fait une bonne chose car c'est un moyen avertisseur simple.

3 - Les solutions possibles pour les nouvelles fabrications :

- traitement préventif par l'application d'un "bouclier" époxy ou vinylester.

- choix de meilleures matières du point de vue de l'osmose :
  - le gelcoat ISO/ORTHO et à fortiori le gelcoat ORTHO sont à abandonner.

Une amélioration notable est apportée par :

- gelcoat ISO ou ISO NPG (néopentyl glycol) si la résine de stratification est une ISO. Pour une résine de stratification ORTHO, le gelcoat ISO NPG est inutile, le gelcoat ISO est suffisant.
- gelcoat "ISO NPG avec écailles de verre qui "allongent" le circuit à parcourir par l'eau pour traverser le gelcoat à l'image des lauzes sur un toit de maison. Ce point est controversé, nous l'avons signalé.
- premières couches en mat de verre à liant "poudre" au lieu du liant "émulsion" traditionnel. C'est en fait un salutaire retour en arrière : au tout début de la construction de coques en polyester, c'est bien ce mat liant poudre qui était exclusivement utilisé, il n'y avait que celui-là.
Le mat liant émulsion est apparu peu après et a été un succès commercial fulgurant, tout le monde en voulait tellement il était confortable à utiliser : très bonne manipulabilité, très bonne souplesse et drapabilité. Ce mat venu d'Angleterre a été salué comme un réel progrès à l'époque ! L'histoire est aussi faite de pas en avant et de pas en arrière.
- résine de stratification polyester ISO au lieu de résine ORTHO traditionnelle. La nature de la résine que l'eau rencontre après avoir traversé le gelcoat, même si celui-ci est bon, est primordiale.
Ou encore mieux : résine vinylester ou "hybride " (vinylester modifiée - on commence à faire des "alliages" de polymères comme pour les alliages métalliques) au lieu de polyester.

4 - La grande majorité des anciens et très anciens bateaux en polyester n'a jamais été traitée contre l'osmose et ils naviguent encore. Pourtant il est clair qu'ils sont osmosés eux aussi. Le début de la fabrication polyester pour des bateaux de grande diffusion se situant aux environs de 1962 - 1967, on peut dire qu'un bateau polyester, même osmosé, peut durer 25/30 ans environ sans réparation. Mais il sera peut être trop tard quand on s'en apercevra et un traitement fait dès que l'osmose se révèle franchement est une sage précaution si on veut éviter ce risque.

Des études menées à l'IFREMER - Laboratoire Matériaux Marins - qui a étudié ces problèmes d'osmose, il ressort que, **ramené en eau douce à 15°C** :

En ce qui concerne le **cloquage du gelcoat** :
- Stratifié **ORTHO** : même avec un "bon" gelcoat ISO mais de faible épaisseur (0,3 mm), le cloquage peut se produire en moins d'un an.
Les cloques pourraient atteindre 2 cm après 4 ans.
- Stratifié **ISO** : le cloquage se produirait en 6 ans.
Les cloques n'atteindraient que 0,1 cm après 15 ans

En transposant en **eau de mer à 15°C,** les évaluations deviendraient :
- Stratifié **ORTHO** : le cloquage peut se produire en 2 à 3 ans. Ce qui me semble un peu sévère, ne l'ayant constaté sur le terrain qu'avec l'addition d'incidents de fabrication.
Les cloques pourraient atteindre 2 cm après 8 à 12 ans.
- Stratifié **ISO** : le cloquage se produirait en 12 à 18 ans.

En ce qui concerne le **cloquage entre deux plis du renfort**:
- Stratifié **ORTHO** : peut se produire entre 10/20 ans.
- Stratifié **ISO** : peut se produire entre 25/35 ans.

De mes constations sur le terrain :

- il est "classique" et "typique" que l'osmose commence à se révéler au bout de 8 à 15 ans et que le cloquage passe sous les premiers plis du stratifié à 15/20 ans pour des bateaux construits correctement avec les matériaux de l'époque. C'est

un temps "typique" pour que l'eau ait réussi à passer à travers le gelcoat et à provoquer des dégâts qui sont visibles à l'extérieur et qui révèlent l'osmose.

- par contre, il est clair que si l'osmose est suffisamment rapide au point de se révéler extérieurement (par des cloques) après un an ou deux de séjour dans l'eau, cela révèle un défaut de mise en oeuvre ou un incident au cours de la fabrication.

5 - Le contexte "coût de fabrication"

Bien que les plaisanciers pensent souvent le contraire, les coûts de fabrication des bateaux de plaisance sont très "tirés". Ce marché est un marché très concurrentiel où il est difficile de gagner de l'argent, c'est-à-dire de dégager des bénéfices et de survivre.

L'abaissement des coûts de fabrication est donc une recherche permanente que font tous les chantiers. Le coût des matières mises en oeuvre est donc important, avec des gradations différentes selon les matières et selon les quantités utilisées pour fabriquer le bateau. Diviser par deux le prix d'une matière qui est utilisée en quantité infinitésimale a une influence négligeable sur le prix total final.

Dans un voilier de 10 m par exemple, le stratifié principal verre + résine (coque + pont) représente environ 1500 kg dont environ 900 kg de résine. Là, le coût de la résine importe et choisir une résine deux fois plus chère va amener une augmentation du prix de vente de 20 000 F environ. Le chantier va chercher à réduire ce coût matière tout en respectant une qualité correcte. Est-ce que qualité correcte veut dire jamais d'osmose, ou osmose acceptable dans 5 ans, 20 ans, 30 ans ?
Si le but visé, qualitativement contraignant, oblige à choisir une résine beaucoup plus chère, c'est finalement un bateau de prix plus élevé que l'acheteur devra payer. L'équilibre prix/qualité, en ce qui concerne l'osmose en particulier, est déjà difficile à cerner pour le fabricant, il l'est aussi pour l'acheteur, car pour lui, le problème ne se résout pas seulement à l'aspect osmose, mais à tous les autres éléments qui constituent un bateau : esthétique, solidité, tenue à la mer, installations mécaniques et électriques, etc .....

Alors nous n'avons parlé que d'un problème, important sans doute, mais par rapport à l'ensemble que constitue un bateau, il demeure relativement petit. Pas infime tout de même, puisque j'ai réussi par cet ouvrage à vous y intéresser.

****

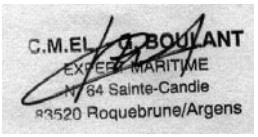
Mises à jour – mai 2008

Y a t'il encore des bateaux moulés en résine polyester ORTHO ?
Pour des petits bateaux, moteur ou voilier, qui trempent dans l'eau peu de temps, le temps de la saison d'été puis ils sont au sec plusieurs mois, pourquoi pas.
Pour des bateaux qui sont à l'eau tout le temps ? Je ne sais pas, j'espère que non … mais. Il reste donc que vous devez poser la question et avoir une réponse sûre avant de signer.

La très grande majorité des chantiers ont opté pour la résine polyester ISO et les premiers mats à liant poudre en couche dure.
Certains sont même passés en vinylester, tant mieux, bravo.

Certains font un projeté avec résine ISO ou mieux vinylester en couche dure.
Mais on a quelquefois des cloques, très petites sous le gelcoat, même après peu d'années.
Le projeté a l'avantage de ne pas nécessiter de liant puisque c'est la mèche de roving qui est utilisée "brute", sans liant, et coupée par le pistolet hacheur qui la coupe et la projette en même temps que la résine et son catalyseur. L'absence de liant, c'est très bon vis à vis de l'osmose. L'inconvénient du projeté c'est que si on "ne presse pas assez sur le rouleau" pour "damer" ce tapis projeté, on peut laisser des creux beaucoup plus facilement qu'avec un mat.
C'est un petit défaut épidermique, il ne s'agit pas d'osmose structurelle.
La qualité de la résine de stratification (Vinylester) et l'utilisation de projeté sans liant permet de ne pas avoir d'osmose structurelle c'est à dire derrière le premier mat, dans le stratifié, avant 30 ans d'age du bateau, au moins. Par contre il est plus sujet à une osmose épidermique juste derrière le gelcoat.
Dans ce cas je ne conseille pas de faire un traitement car pour le faire il va falloir sabler, laisser sécher et faire un multicouches époxy, tout cela en extérieur avec des conditions climatiques quelquefois hasardeuses, tout cela pour remplacer un projeté vinylester fait en atelier de moulage à ambiance contrôlée. Et tout cela pour des petites cloques superficielles et épidermiques qui n'ont aucune conséquence sur la résistance structurelle de la coque. Je pense que le jeu n'en vaut pas la chandelle. Mais il va falloir vivre avec.

****



GLOSSAIRE TECHNIQUE

- AGENT DE COUPLAGE OU AGENT DE PONTAGE : voir "ensimage".

- ANTIFOULING : en anglais, foul = salissure. Peinture sous-marine destinée à empêcher que les animaux et végétaux ne se collent et salissent la carène. Son principe est :
  - soit de les empoisonner : peinture "au cuivre" qui en s'oxydant devient du "vert de gris" qui est un poison. A cause de la corrosion électrolytique elle ne peut pas s'utiliser pour les coques en aluminium.
Les peintures "à l'étain" ont le même effet de poison et elles sont compatibles avec l'aluminium. Leur emploi devient cependant de plus en plus restreint du fait de leur toxicité.
  - soit de les empêcher de coller en rendant la surface aussi incollable que la poêle "Téfal" par le dépôt d'un film au téflon. En général des sels de cuivre sont aussi ajoutés pour combiner les deux effets.

- BARCOL (dureté BARCOL) : dureté superficielle de la résine (gelcoat ou résine du stratifié) mesurée avec un appareil comportant une pointe que l'on appuie avec une certaine pression et qui s'enfonce plus ou moins dans la matière. Cette mesure permet de vérifier si la polymérisation est correcte ou non.

- CATALYSEUR : liquide. Le PMEC est le plus courant. L'addition accélérateur + catalyseur à la résine va déclencher sa polymérisation (réticulation ou durcissement) à la température ambiante.

- COUCHE DURE : généralement, les deux premières couches du stratifié (mats de verre). Elle se trouve juste derrière le gelcoat.

- DELAMINAGE : séparation de 2 couches successives de tissus de verre, c'est-à-dire un arrachement des plis des tissus entre-eux.

- DIETHYLENE-GLYCOL : diluant du catalyseur PMEC. Très avide d'eau. Responsable d'un type d'osmose se développant très vite et qui a mis au grand jour les problèmes d'osmose.

- DURCISSEMENT : voir "polymérisation"

- ENSIMAGE : c'est un apprêt qui recouvre le filament unitaire qui sort de la filière. Il permet le collage de ces brins unitaires entre eux. En outre, il lubrifie le brin de verre, ce qui facilite son tissage ultérieur et il contient aussi un agent de pontage qui permet l'adhérence de la résine polyester sur la surface lisse et inerte chimiquement de la fibre. Ce dernier point est important vis à vis de la dégradation du stratifié.
L'ensimage est à base de PVA (acétate de polyvinyle) et contient un agent de couplage (ou pontage). Deux types d'agent de couplage existent :
  - un agent de pontage au chrome.
  - un agent de pontage silane.

- EBULLAGE ou débullage : action de presser sur le rouleau lorsqu'on stratifie les couches de tissus de verre (mats ou rovings). Cette action a pour but de faire remonter les bulles d'air emprisonnées vers la périphérie donc à l'extérieur. Cette action a aussi comme résultat de parfaire l'imprégnation et d'apporter une bonne cohésion entre les couches.

- EPOXY : type de résine. Principaux usages : collage, résine de stratification pour composite hautes performances (verre/carbone/kevlar - avec cuisson généralement), traitement anti-osmose (bouclier étanche).

- FINISH : voir "ensimage"

- FRANC-BORD : partie de la coque située entre la flottaison et le liston. Les francs-bords sont donc les flancs de la coque situés au-dessus de la flottaison.

- GELCOAT : résine colorée qui est la couche extérieure de la coque. Il n'est pas armé de verre.

- GRANULAT : ensemble des constituants inertes des mortiers (exemple : sable, gravier, cailloux ...)

- HYDROLYSE : attaque et décomposition par l'action de l'eau.

- LIANT des fibres de verre : produit projeté lors de la fabrication du mat et qui va accrocher les fibres les unes aux autres et permettre au "feutre" ainsi constitué de "se tenir" et non pas de partir en morceaux dès qu'on le manipule. Le liant utilisé est soit un liant "poudre", soit un liant "émulsion".
Il n'y a pas de liant pour le Stratifil ni pour les tissus roving.

- MAILLAGE (des renforts) : longueur et largeur entre raidisseurs (couples et lisses) croisés du bordé de coque, ces deux renforts déterminant un rectangle, une maille.

- MARQUAGE du gelcoat par la fibre : stratification trop rapide alors que le gelcoat n'est pas encore assez dur. Sous l'action de l'imprégnation et de l'ébullage, la fibre du mat pénètre dans l'épaisseur du gelcoat et arrive tout prés de sa surface extérieure. Dans certains cas où l'épaisseur du gelcoat est réduite, même sans stratification trop hâtive, le simple jeu du retrait de la résine qui polymérise crée alors ce dessin qui apparaît sous-jacent (surtout avec les rovings).

- MAT : renfort de verre qui a l'aspect d'un "intissé", d'un feutre avec les fibres discontinues et croisées dans n'importe quelle direction.
Ses fibres qui le composent sont recouvertes d'un "liant" qui va les accrocher les unes aux autres.
Le liant utilisé est soit un liant "poudre", soit un liant "émulsion".

- MONOLITHIQUE : stratifié fait par superposition de tissus de verre (mats ou rovings) donnant une forte épaisseur. "Contraire" du sandwich.

- OMEGAS : raidisseurs de coque, par exemple les lisses en forme d'U renversé, raccordées à la coque par stratification (surmoulage). En général, le renfort oméga est fait en stratifiant plusieurs couches sur des pains de mousse collés sur la coque.

- PARASITES XYLOPHAGES, tarets, insectes ou mollusques qui se nourrissent de bois et y creusent des galeries qui détruisent la pièce.

- PIC EXOTHERMIQUE : température maxi développée au cours de la polymérisation de la résine. C'est une des caractéristiques de la réactivité de la résine (sa rapidité à "durcir").

- PLASTIFICATION DE LA RESINE : pénétration de l'eau entre les molécules de la résine polyester polymérisée. L'eau s'intercale entre les liaisons secondaires des chaînes polyester. Il y a un simple gonflement et une diminution de la dureté. Cette plastification est un phénomène réversible.

- PLI : couche de tissu de verre (mat ou roving).

- PMEC : catalyseur le plus courant pour faire polymériser (durcir) la résine polyester. S'utilise aussi pour la résine vinylester.

- POLYMERISATION : transformation chimique de la résine liquide en solide, on peut aussi l'appeler durcissement.

- POLYURETHANE : type de résine, comme la PPU bien connue. Principaux usages : colle à bois ou résine pour plastifier les bateaux en bois.

- PRESSION OSMOTIQUE : dans la cloque, le "jus" c'est-à-dire la solution osmotique est sous pression. Cette pression osmotique peut atteindre des valeurs de 4 Kg/cm2.

- PRIMAIRE : dans un système multicouches de peinture, c'est la première couche destinée à "accrocher chimiquement" sur le support (le gelcoat par exemple).

- PROJECTION SIMULTANEE : les fils de roving sont avalés par le pistolet, coupés et projetés en petites longueurs en même temps que le mélange résine + catalyseur. Il n'y a donc pas de liant sur la fibre de verre.

- RAGUAGE : frottement.

- RAGREAGE - RAGREER : enduire de mastic pour reprofiler la carène ou "refaire filer" la surface.

- RATISSAGE : enduire de mastic et le racler pour ragréer la surface.

- ROVING (ou Stratifil) : mèche de fils de verre présenté en bobines. On l'utilise quelquefois pour renforcer des coins rentrants (coin tableau AR/coque). On pourra aussi l'utiliser en projection simultanée. Là le stratifil est coupé en morceaux par le pistolet projeteur et projeté avec la résine de stratification. Il comporte un "ensimage" donc un peu de PVA mais pas de "liant".
Cependant dans le language courant le terme "roving" désigne souvent le tissu roving (voir "tissu roving).

- SANDWICH : bordé de coque ou de pont fait par une peau intérieure peu épaisse, elle-même en stratifié + une âme légère balsa ou mousse + une peau extérieure peu épaisse, elle-même en stratifié. L'âme "écarte" les deux peaux résistantes ce qui augmente considérablement la rigidité, comme un fer IPN est d'autant plus rigide que les semelles (vues en coupe : la "tête" et le "pied" du I) sont le plus écartées.
Comme les deux peaux sont minces et que l'âme est en matériau léger, cela permet de gagner du poids tout en étant rigide.
"Contraire" : monolithique.

- STRATIFICATION : construction par couches successives (strates) de renfort de verre (mats ou rovings) imprégnées de résine.

- STRATIFIE : c'est le résultat appelé aussi "composite" puisque c'est l'association d'un renfort, la fibre de verre, et d'un liant ou matrice, la résine polymérisée. Porte aussi les noms de CVR (Composite Verre-Résine) dans la Marine Nationale, de PRVT (Polyester Renforcé de Verre Textile) au Bureau Veritas, de GRP (Glass Reinforced Plastic) chez les anglais et de FRP (Fibre glass Reinforced Plastic) chez les américains.

- STRATIFIL (ou roving) : voir "roving"

- STYRENE : solvant usuel de la résine polyester. Dans la résine liquide il représente environ 42 à 45 %. C'est lui qui va créer les ponts chimiques au moment de la réticulation et permettre le durcissement de la résine liquide.

- SYSTEME CATALYTIQUE : accélérateur + catalyseur qui à eux deux vont déclencher la réticulation (la polymérisation ou le durcissement) de la résine à la température ambiante.

- THIXOTROPIE - THIXOTROPE : qui coule moins facilement, par addition de gel de silice par exemple.

- TISSU ROVING (ou simplement roving dans le langage courant) : renfort de verre qui a le même aspect qu'un tissu textile : entrecroisement perpendiculaire de fils de verre, chaîne et trame. Il comporte un ensimage donc un peu de PVA mais pas de liant.
Si la direction chaîne/trame est en oblique par rapport à la laize on a du bi-axial ou bi-biais.
Si à ce bi-biais on ajoute des fils longitudinaux on a du triaxial.

- UNIDIRECTIONNEL ou U.D. : tissu roving dont les fils de trame sont très reduits et qui ne servent qu'à maintenir les fils de chaîne. On a donc un tissu qui est très résistant dans un sens et très peu dans l'autre. Utilisé pour des renforcements locaux où la résistance demandée est bien orientée.

- VARANGUES : raidisseurs transversaux dans le fond de coque. Les plus importantes sont celles qui encaissent les efforts dus au lest.

- XYLOPHAGES (parasites xylophages, tarets, insectes ou mollusques) qui se nourrissent de bois et y creusent des galeries qui détruisent la pièce.

SOURCE BIBLIOGRAPHIQUE

- P BELLIARD (Technibat) T FOUSSART et J MOREL (Université du Havre) D GAUDIN (CEA Saclay) :
" Comportement des Gelcoats Polyesters en contact avec l'Eau - Analyse de la Phase Aqueuse aprés Vieillissement " - Colloque La Construction Navale en Composites, Nantes, mars 1988 - Actes de colloque N°7, page 91 - (1988).

- Laboratoire d'étude et de recherches de SILENKA Bergen op Zoom et Société SYNTHESE Hoozegand Hollande :
" Recherche sur la Formation des Cloques dans les Gelcoats de Pièces en Plastique Renforcé Exposées à l' Eau ".

- P C SANDVIK (Université de Trondheim Norvége) et H P PEDERSEN (The Norwegian Ship Research Institute Trondheim Norvége) : " Glassfibre Reinforced Polyesters as Boatbuilding Material " - (1974).

- J S GHOTRA et G PRITCHARD - School of Chemical and Physical Sciences - Kingston Polytechnics Surrey UK :
" Osmosis in Resins and Laminates " - Chapter 3.

- JACQUEMET R, LAGRANGE A (IFREMER Brest), GROSPIERRE A, LEMASCON A (CETIM Nantes) :
" ETUDE DU COMPORTEMENT AU VIEILLISSEMENT DE STRATIFIES POLYESTER / VERRE EN MILIEU MARIN " - Colloque La Construction Navale en Composites, Nantes, mars 1988 - Actes de colloque N°7, page 65 - (1988).

- Philippe CASTAING, thèse N° 618, Institut National Polytechnique de Toulouse : " VIEILLISSEMENT DES MATERIAUX COMPOSITES VERRE-POLYESTER EN MILIEU MARIN : DELAMINAGE D'ORIGINE OSMOTIQUE " - (1992).

- P. Castaing et L. Lemoine : " KINETICS OF BLISTERING ON COATED LAMINATES " - proceedings of ECCMS 5, page 155 - (1992).

- SCOTT BADER : " CRYSTIC POLYESTER HANDBOOK " - (1990).

- L.S. Norwood - SCOTT BADER : " Blister Formation in Glass-fibre-reinforced Plastic : Prevention rather than Cure " - Proceedings of the First International Conference on Polymers in a Marine Environment - (1984).

- L.S. Norwood & E.C. Holton - SCOTT BADER : " Marine Grade Polyester Resins for Boat Building in the 1990s " - 46th Annual Conference, Composites Institute, The Society of the Plastics Industry Inc, 18-21 février 1991 + exposé au YBDSA (Yacht Brookers Designers & Surveyors Association) osmosis colloque Fareham England - (Novembre 92).

- C. CAULIER - SCOTT BADER : " Les Stratifiés Verre-Résine en Milieu Marin ".

- SCOTT BADER : " BLISTERING OF GRP BOAT HULLS - Causes and Prevention " - Technical Leaflet N° 187-2 - (june 1991).

- Gougeon Brothers Inc. : " GELCOAT BLISTERS Diagnosis, Repairs & Prevention " - (1990).

- Southampton Institute of Higher Education : " MOISTURE METERS - Trials on GRP panels " - exposé au YBDSA (Yacht Brookers Designers & Surveyors Association) osmosis colloque Fareham England - (Novembre 92).

- Structural Polymer Systems Ltd (SP SYSTEMS) - Marine Systems : " Guide to Glass Reinforcement in Osmosis Repair ", " GRP Osmosis Protection & Repair Schemes using SP Protecta Epoxy Coating System ", " Osmosis and the Repair of GRP Boat Hulls " + exposé de Mr Ken HICKLING au YBDSA (Yacht Brookers Designers & Surveyors Association) osmosis colloque Fareham England - (Novembre 92).

- P.F. LAVAL - LOISIRS NAUTIQUES : " La Construction Polyester dans la Plaisance " - Hors Série N° 10 - (1980).

- IMMAC BOAT CARE : " Bulletins techniques N° 3 - 4 - 5 - 6 - 12 - 15 " - (1989).

- Professional Boat Builder Magazine - N° 6 - Pittsfield USA - (1990).

- Amoco Chemical Company : " Le Cloquage : Cause et Remède " - Bulletin IP-81.

- Amoco Chemical Company : " Blister-Resistant Spas & Pools " - Bulletin IP-82.

- J. VERDU - Dr ès Sciences - Professeur à l'ENSAM Paris : " Action de l' Eau ".

- W. FOLIMONOFF et J. Van De VELDE - I.C.I. France :
" Etudes de la Diffusion et de l' Absorption de l' Eau par les Résines Polyester Insaturées " - COMPOSITES N° 3 - (mai juin 1985).

- Dr N SPRECHER - OWENS CORNING FIBERGLAS EUROPE SA : " Les enduits à base d'écailles de verre Flakeglas : passé - présent - avenir ".

- CORIP - Comptoir de Réalisation Industrielle des Plastiques- Aubervillers : " CORIFLAKE STI 17 ".

- ISODECO - Fouesnant : " RESOFLAKE ? ".

- DOW CHEMICAL : " DERAKANE Vinyl Ester Resins - Product and Usage Guide ".

- W Sedlmayer & A Maxstadt (Peroxyd-Chemie RFA), J C Fristel Société Chalonnaise de Peroxydes Organiques :
" Fabrication de Grandes Pièces en Résine Vinylester : Mise en Œuvre de Nouveaux Peroxydes Organiques " - COMPOSITES N° 2 - (mars avril 1988).

- DOW CHEMICAL : " The US Naval testing report on the use of DERAKANE 510-A40 for small craft applications " - (1983).

- P KELLY & E SEITZ, DOW CHEMICAL Rheinmuenster et C MCILVENNY, DOW CHEMICAL Australie :
" La Résistance des Stratifiés Navals aux Formation de Cloques " - COMPOSITES N° 2 - (mars avril 1990).

- Martine GANEM ingénieur E.N.S.C.T. - Thèse N° 1992-9230 ENSAM :
" ETUDE DE LA STRUCTURE ET DE LA TENUE A L'HYDROLYSE DES MATERIAUX VINYLESTER " - (1992).

- VETROTEX Saint Gobain : " VETROTEX et le Plastique Armé " - " Roving P7 " - " Mats Vetrotex ".

- JC Desjeux & J Duflos - P.U.F. Que sais-je ? : " Les Plastiques Renforcés " - (1967).

- EBAC Déshumidificateurs : " Vaincre la Condensation " - (1992).

****

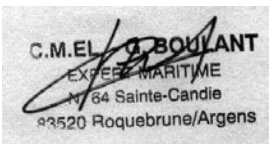


Photo 1-1 :
le cas classique : petites bulles bien rondes sous la surface du gelcoat

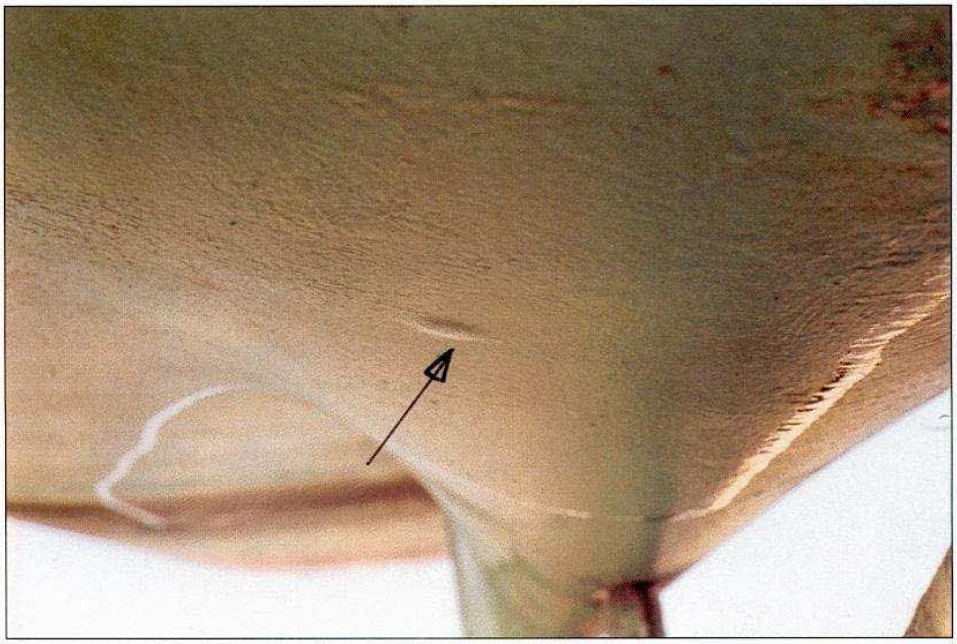


Photo 1-2 :
grosse cloque isolée

Photo 1-3 :
un ponçage léger fait apparaitre la densité des cloques

Photo 1-4 :
cloque crevée : la fibre de verre qui apparait n'est plus enrobée de résine

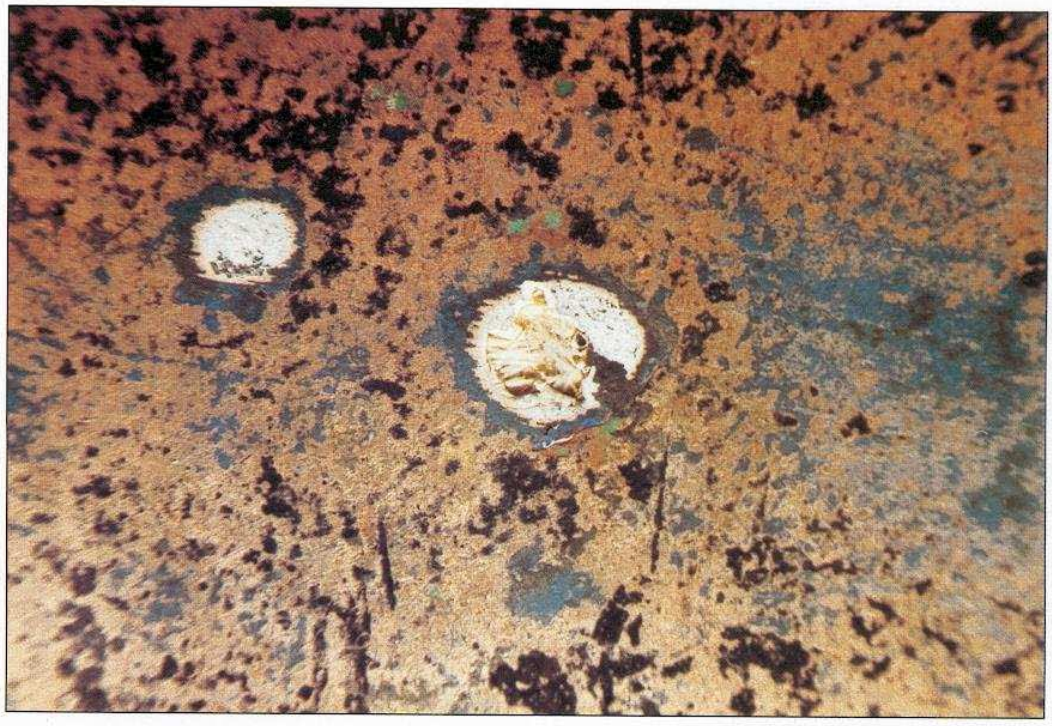


Photo 1-5 : aspect aprés sablage

Photo 1-6 : aspect aprés sablage

Photo 1-7 : marquage du mat : déformation longiligne

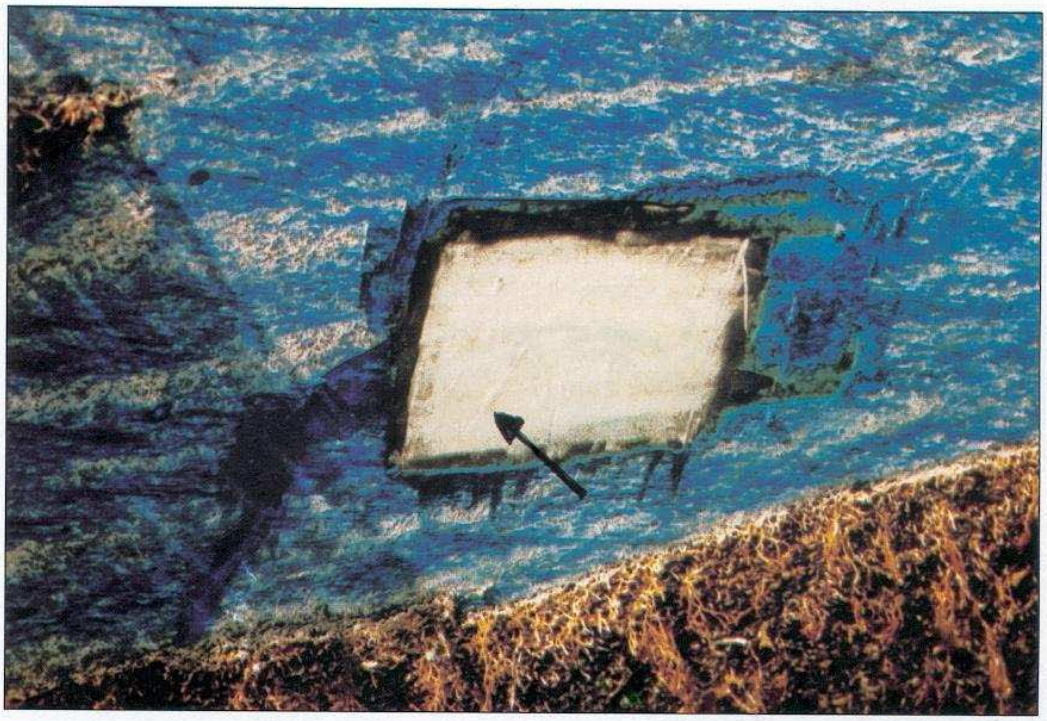


Photo 1- 8 : osmose sans gelcoat.
Traits blancs : résine hydrolysée et décohésion résine/fibre de verre

Photo 1-9 : bateau de 25 ans : grandes surfaces délaminées sous le 3 ème mat

Photo 2-1 : les opérations de sablage

Photo 2-2 : protection pour ne pas faire voler le sable

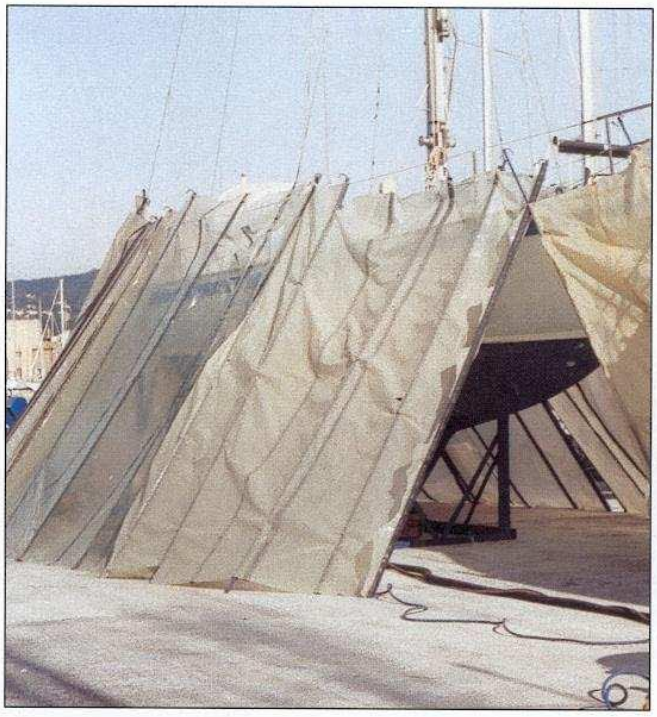


Photo 2-3 : le sable

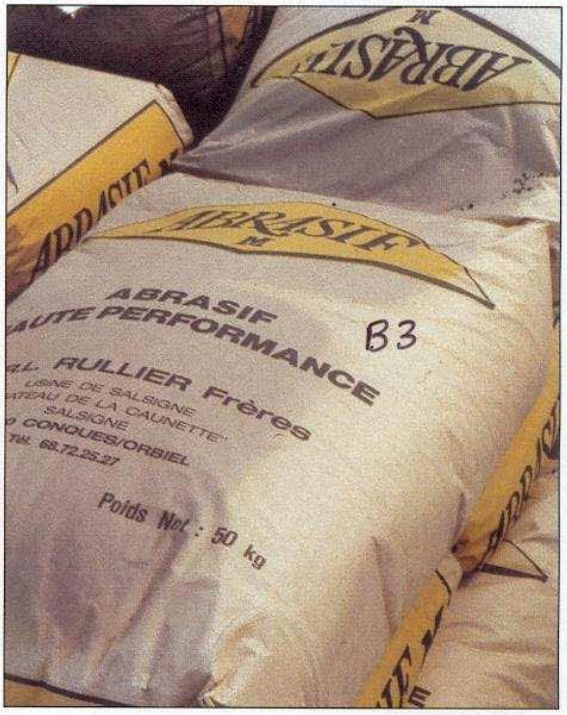


Photo 2-4 : rabotage par "Gelcoat Peeler"
photo : Jamestown Boat Yard

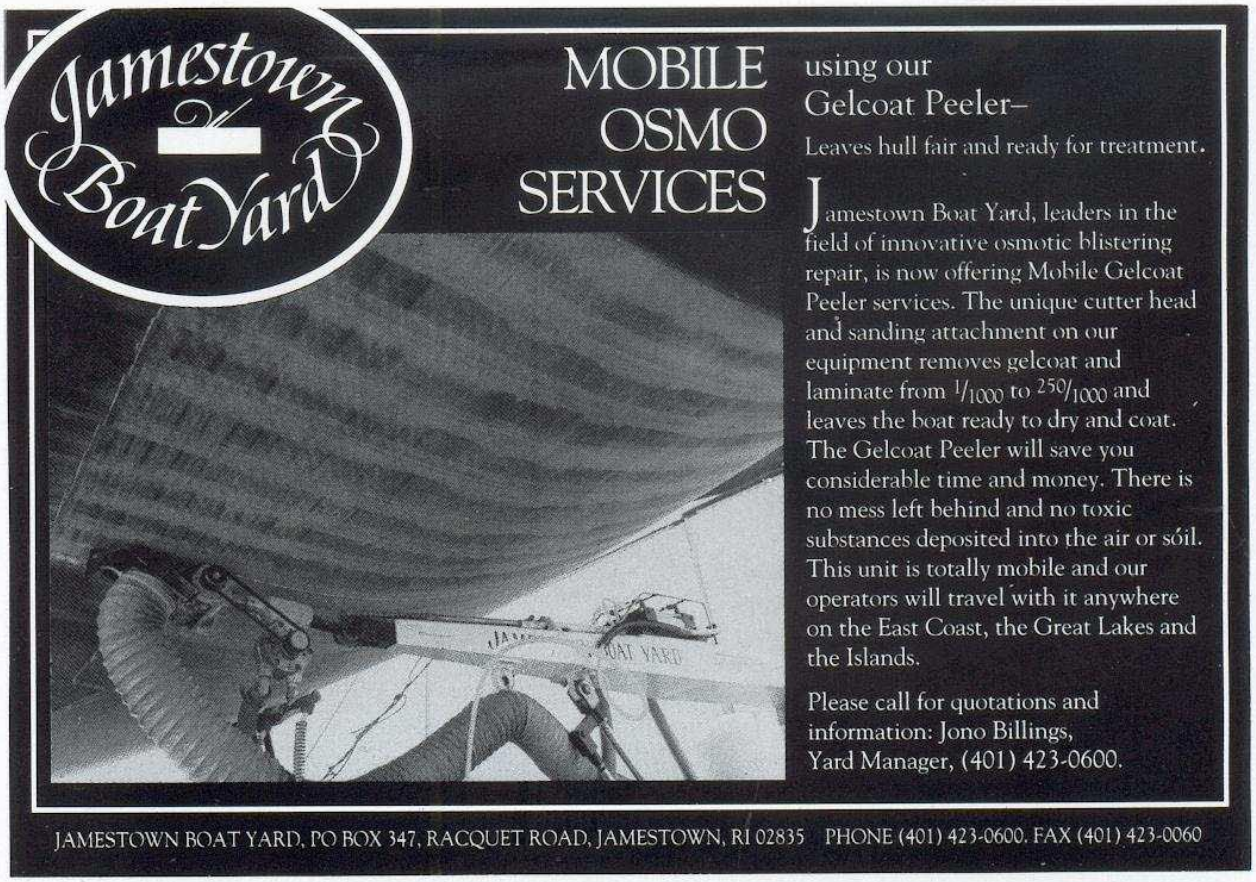


Photo 2-5 : état de surface aprés un rabotage au rabot électrique portatif suivi d'un ponçage léger

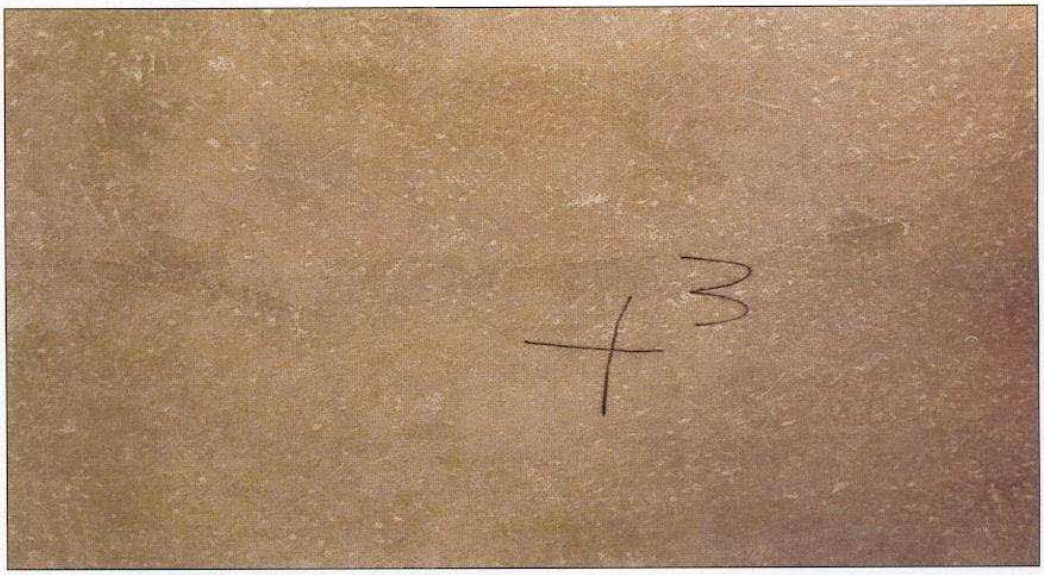


Photo 2-6 : bavette casse-gouttes

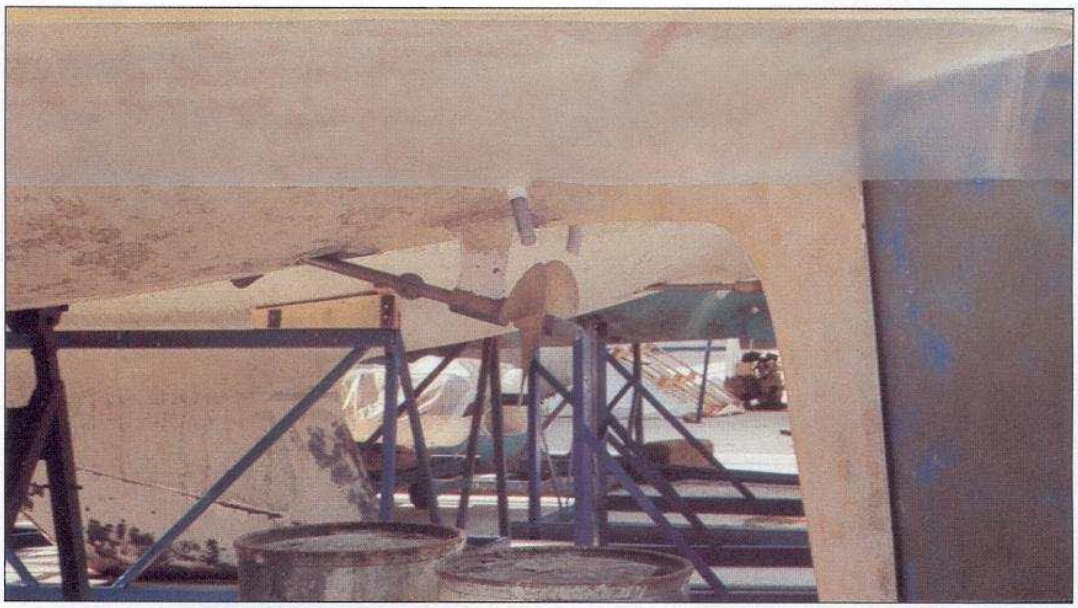


Photo 2-7 : tube sur évacuation de cockpit

Photo 2-8 : tente pour accélération du séchage par chauffage

Photo 2-9 : tente à "prise de ris"

Photo 2-10 :
radiateur électrique
soufflant

Photo 2-11 :
mini station météo
et
absorbeur "Rubson"

C.M.EL
EXPERT MARITIME
64 Sainte-Candie
83520 Roquebrune/Argens

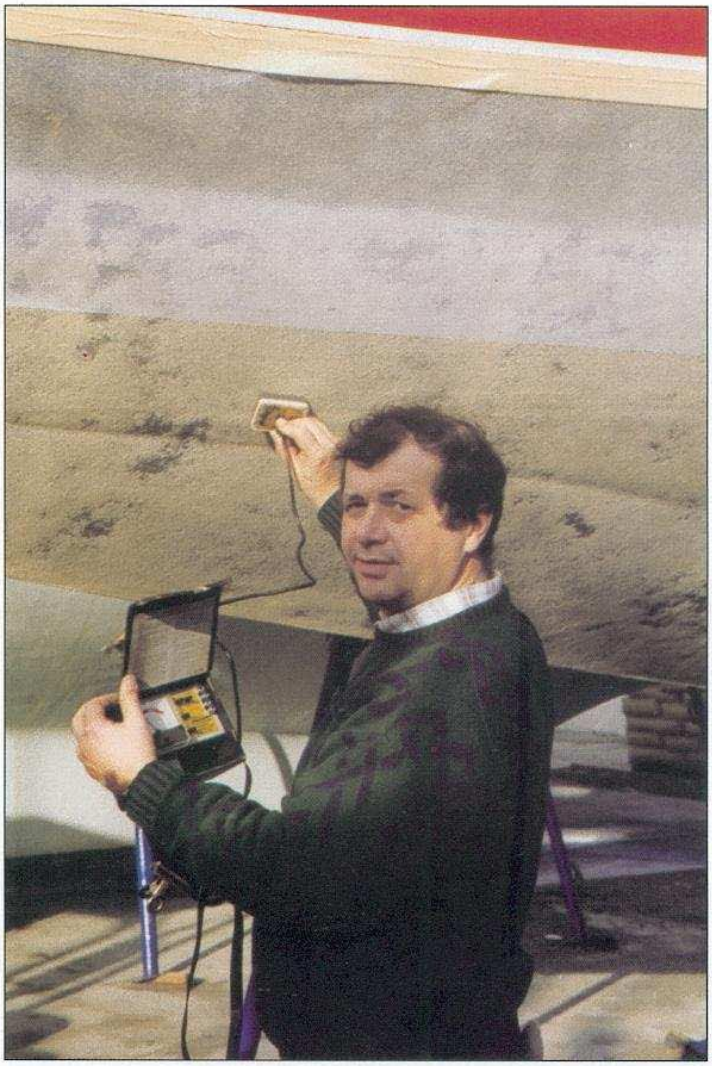


Photo 2-12 :
mesure d'humidité
du stratifié avec un
" SOVEREIGN
Moisture Master "

Photo 2-13 :
système BRIGNOLA :
aspect aprés passage de la 1ère
couche à la spatule crantée

Photo 2-14 : traitement localisé aux cloques seules. Il faudra recommencer dans peu de temps

Photo 2-15 : traitement localisé aux cloques seules. Il faudra recommencer dans peu de temps

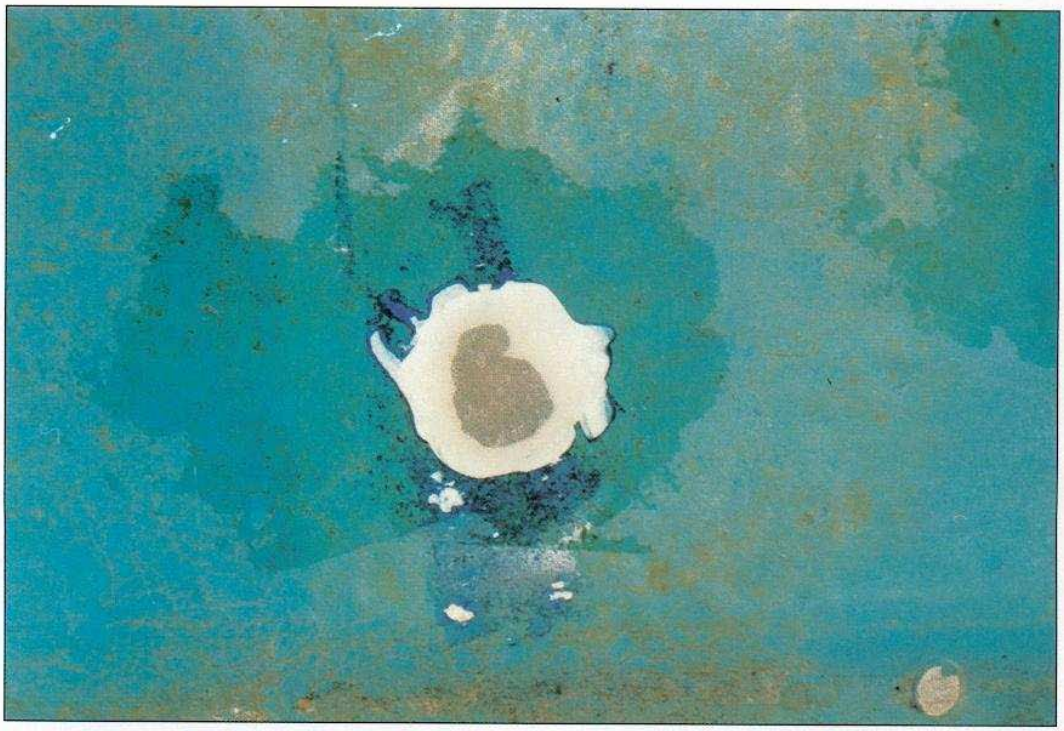


Photo 2-16 : séchage par extraction par le vide

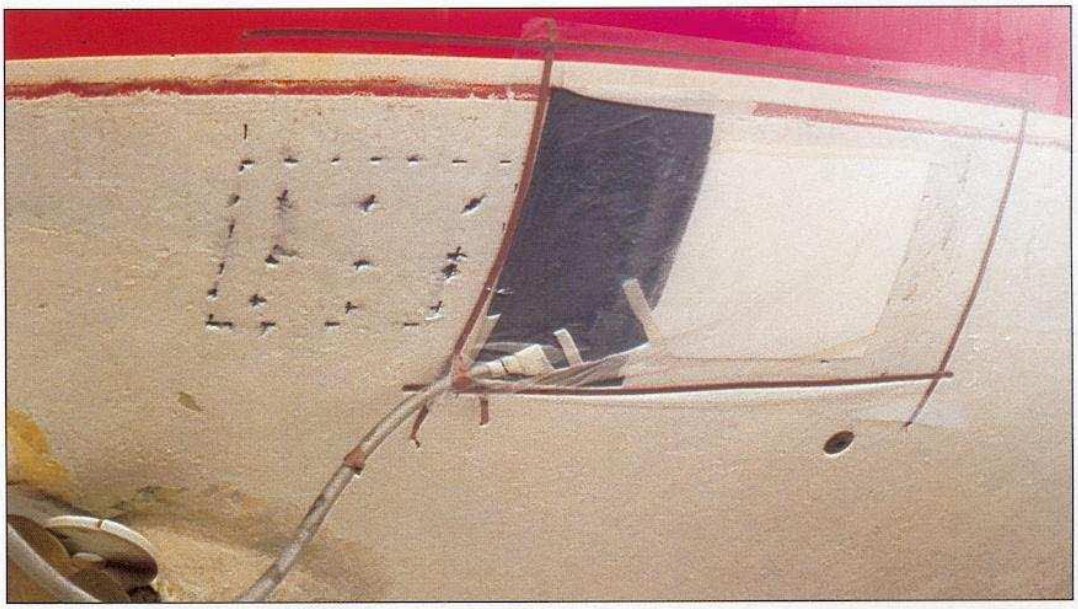


Photo 2-17 : extraction par le vide : tissu de pompage et joint d'étanchéité adhésif double-face

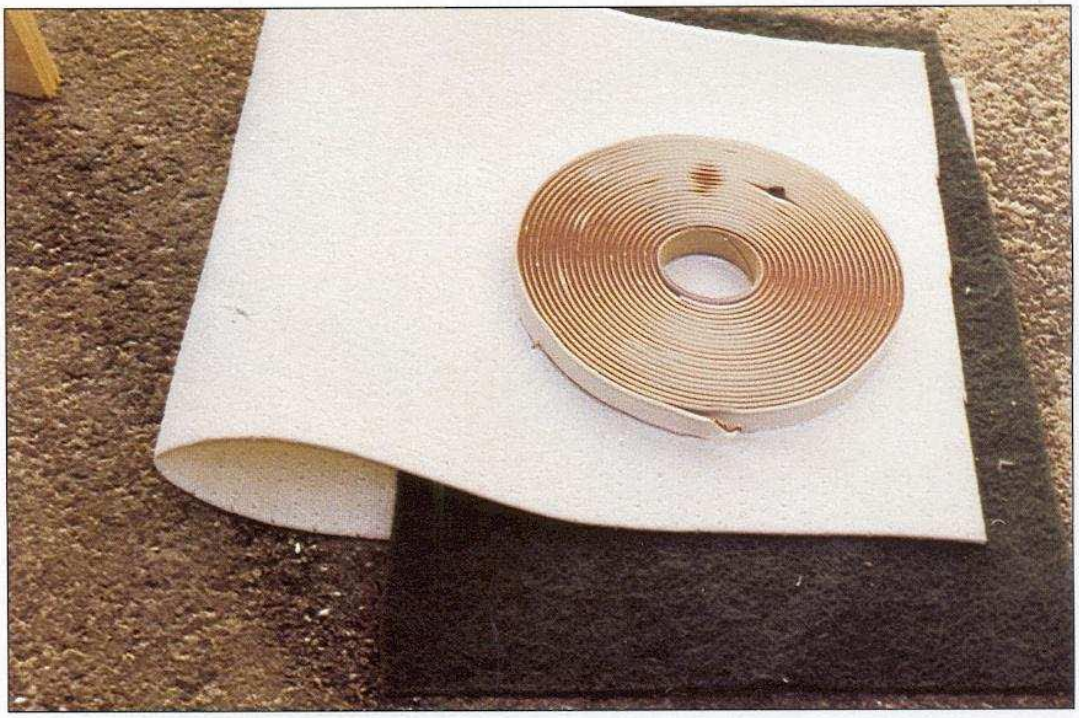


Photo 2-18 : chalumeau à air comprimé "HYAB"

Photo 2-19 : chalumeau à air comprimé "HYAB"

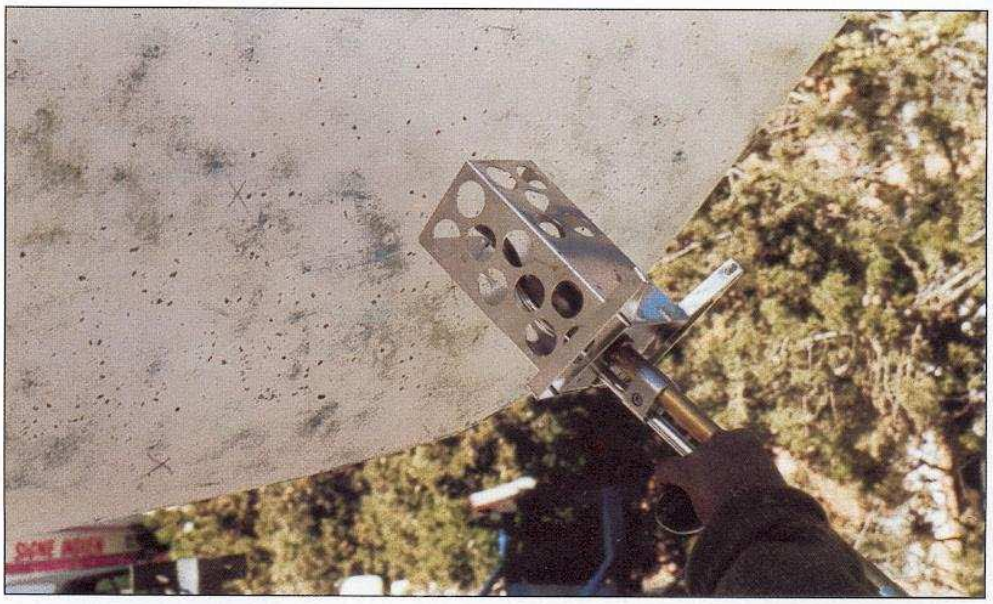


Photo 2-20 : tôle polyester

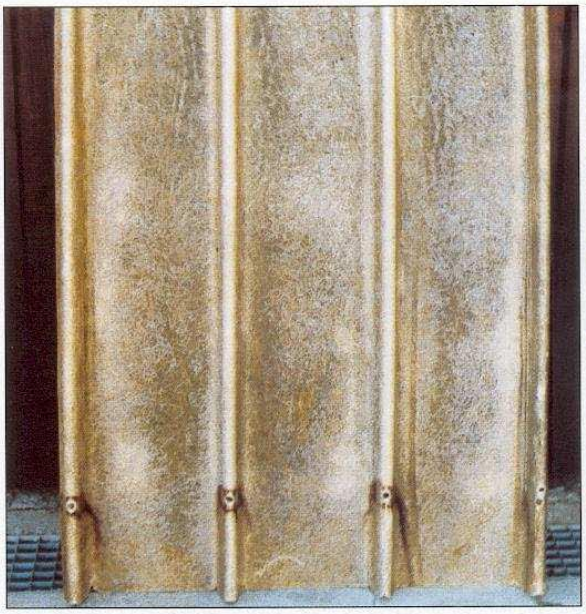


Photo 2-21 : partie marron centrale : il y a encore de la résine

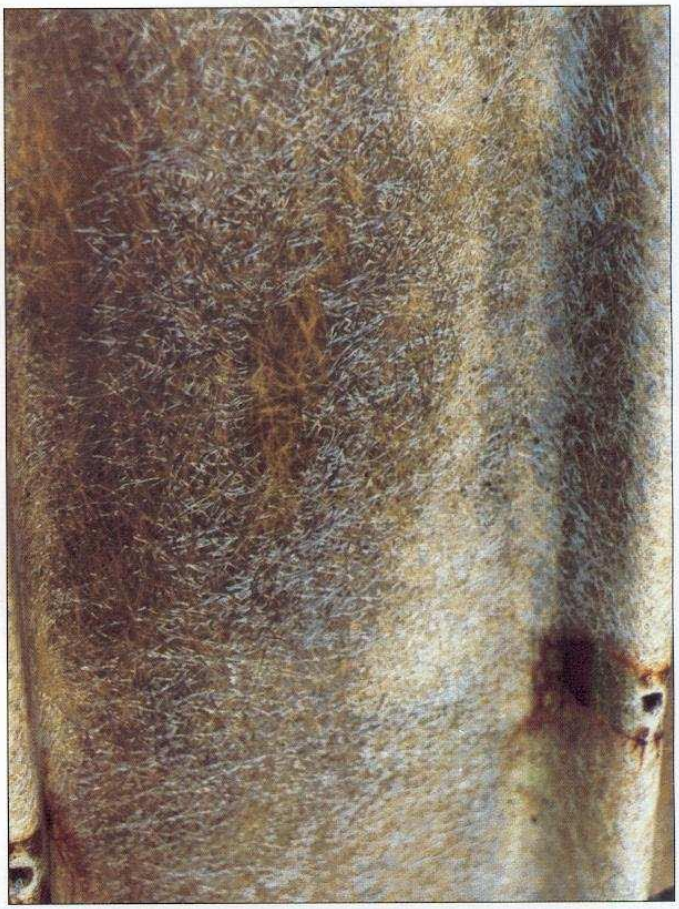


Photo 2-22 : fibre de verre blanche, lessivée de sa résine d'origine

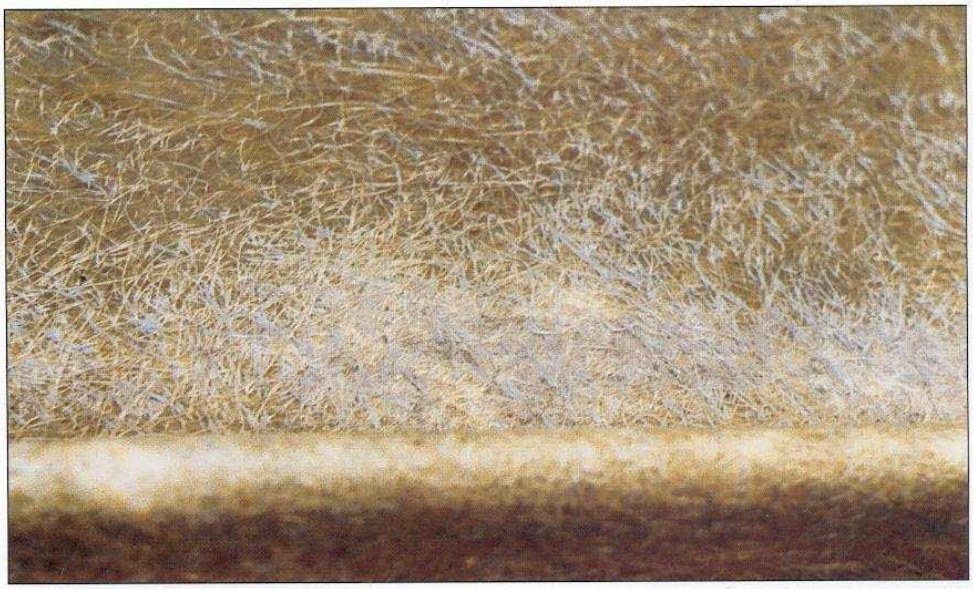


Photo 2-23 : il faut gratter l'anti-fouling pour que les petites bulles blanches apparaissent

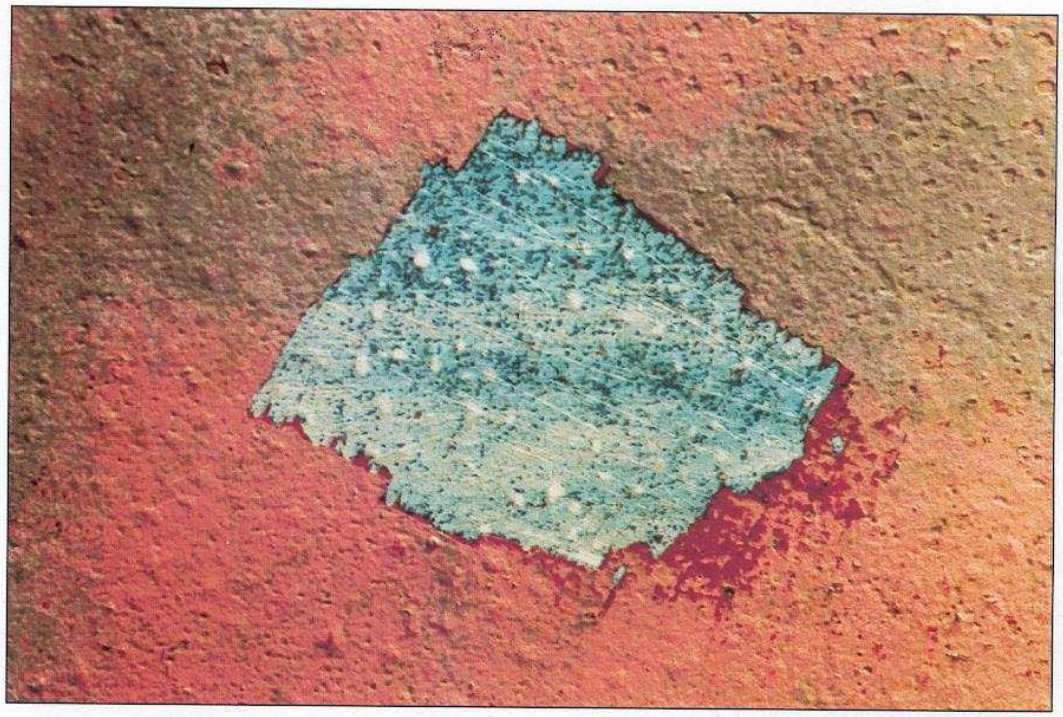


Photo 2-24 : cratères aprés sablage

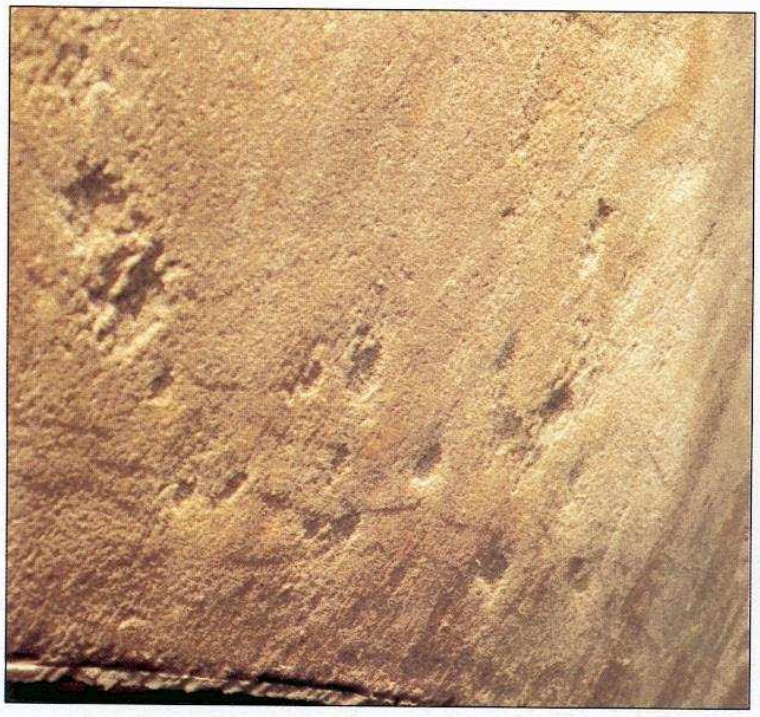


Photo 2-25 : cratère aprés sablage

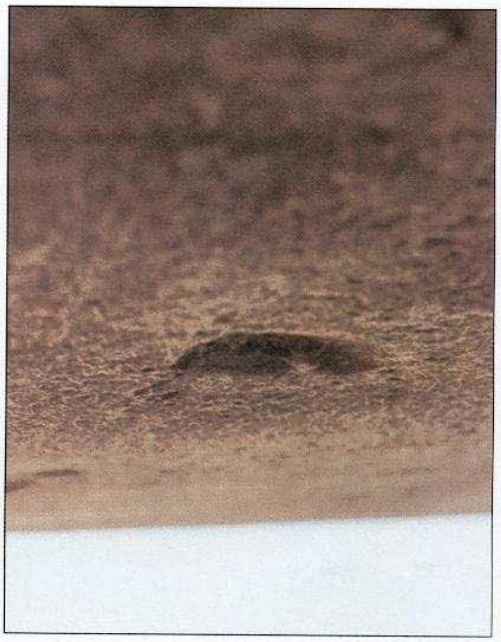


Photo 2-26 : surface lisse signe d'un délaminage de la couche dure

Photo 2-28 : dégradation du gelcoat (au-dessus de la flottaison) activée par l'eau chaude de l'échappement

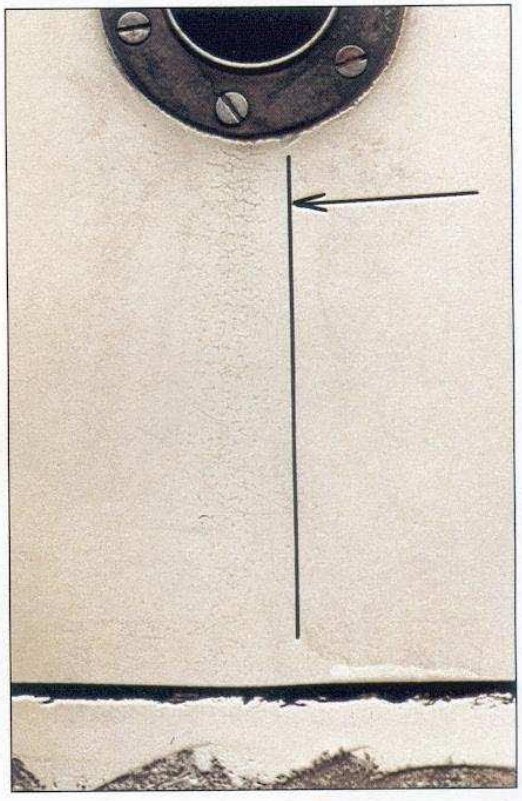


Photo 2-27 : éclats et fendillements d'un gelcoat pas assez souple

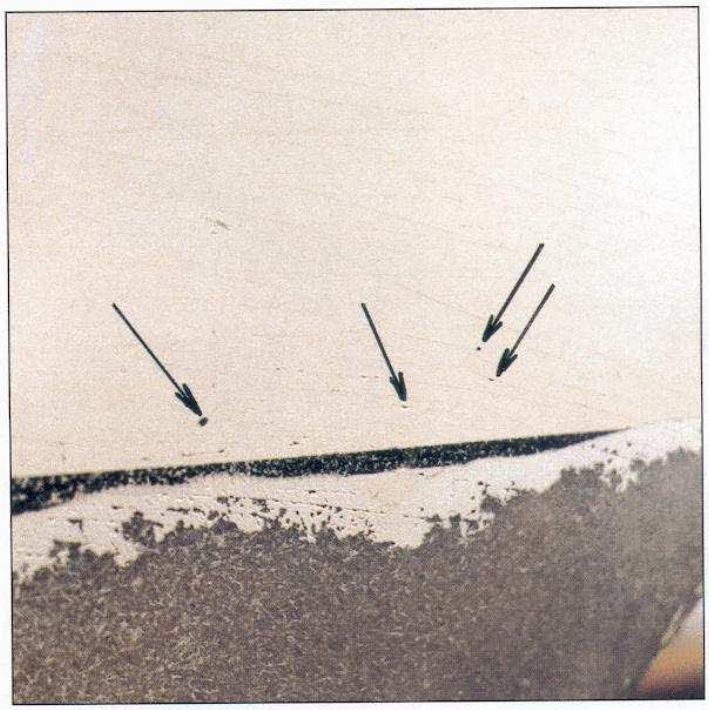


Photo 2-29 : dégradation importante du stratifié

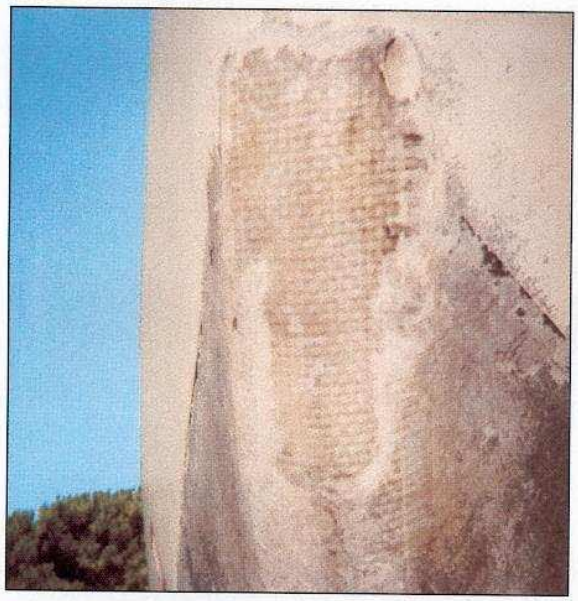


Photo 2-30 : dégradation importante du stratifié

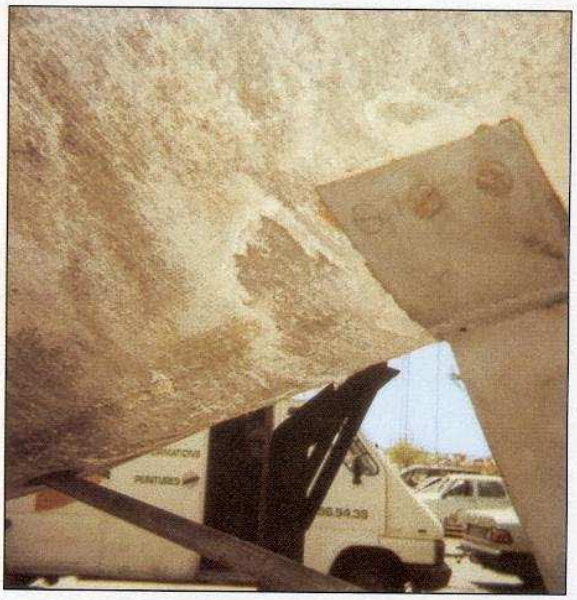


Photo 2-31 : dégradation importante du stratifié

Photo 2-32 : dégradation des premiers mats, du roving suivant, des mats suivants et enfin du 2ème roving. Profondeur du cratère : 9 mm

Photo 2-33 : dégradation des premiers mats, du tissu léger suivant et des mats suivants

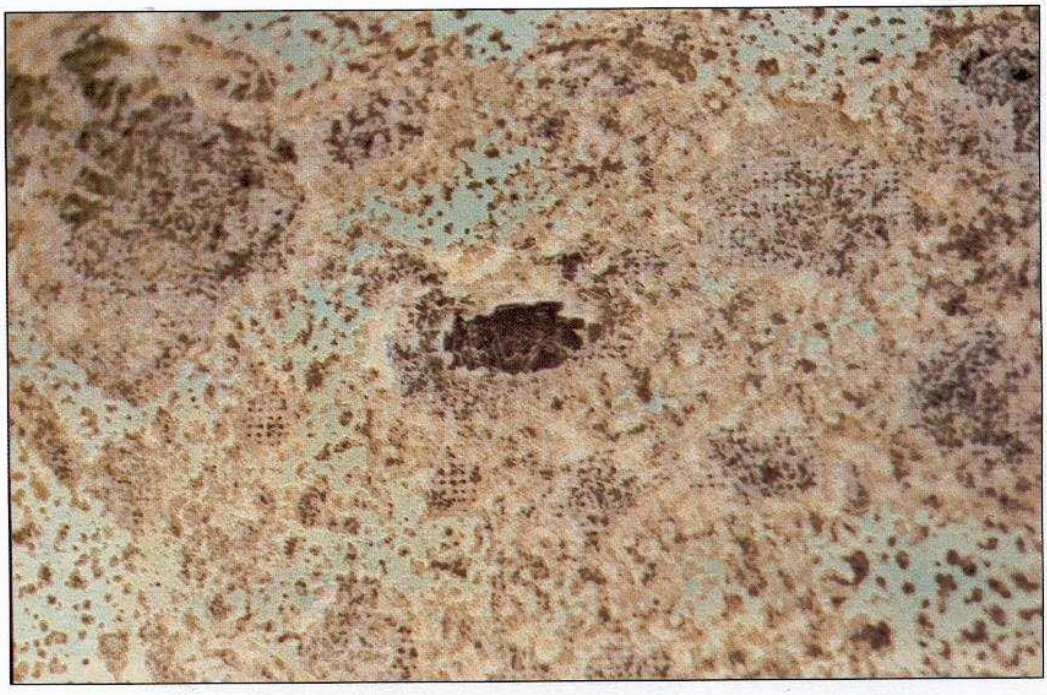
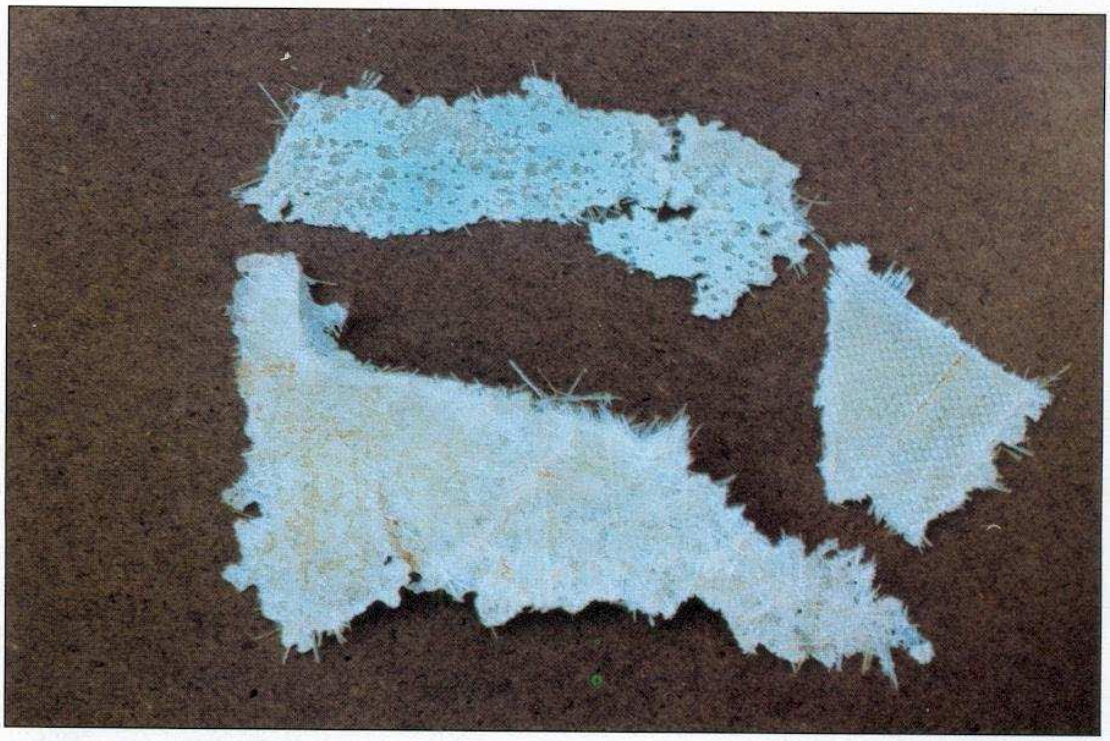


Photo 2-34 : les premiers mats s'arrachent facilement. L'interface avec les plis suivants est pauvre en résine

Photo 2-35 : en bas : vu côté gelcoat. En haut : la face du mat est pauvre en résine. A ~~gauche~~ droite : le tissu léger est pauve en résine.



C.M.EL G. BOULANT
EXPERT MARITIME
N° 64 Sainte-Candie
83520 Roquebrune/Argens

Photo 2-36 : trés nombreuses trés grosses cloques vues en lumière rasante

Photo 2-37 : dans le trou on voit le vide entre la couche dure et le pli suivant

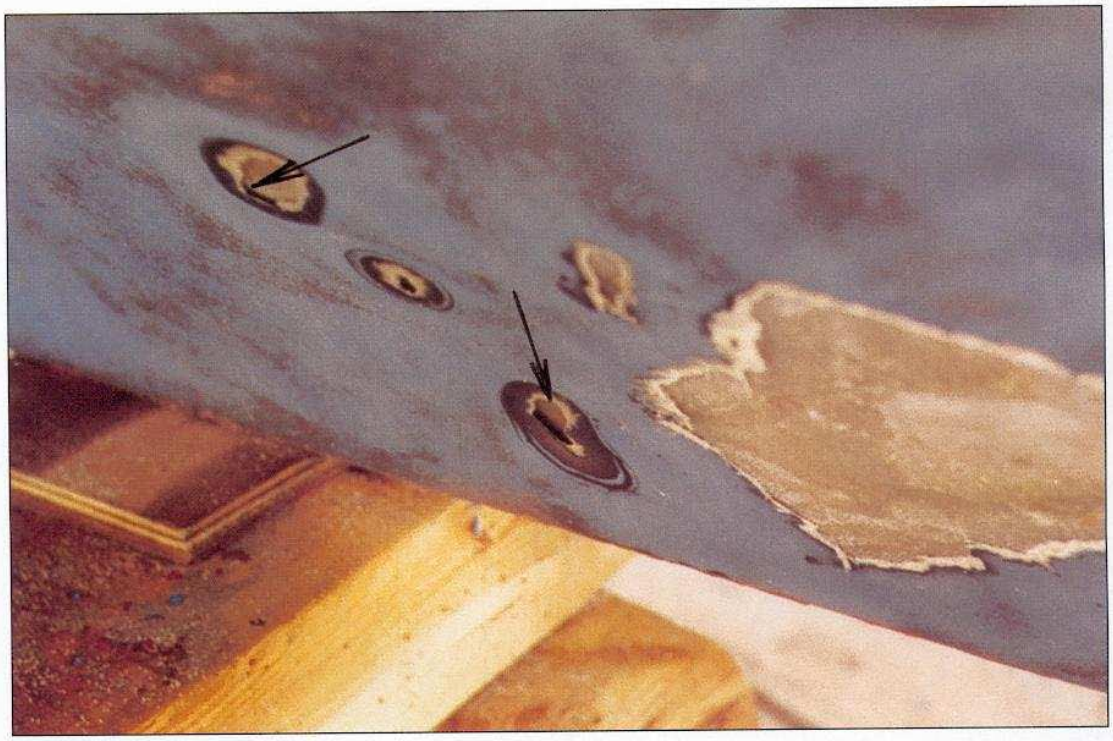


Photo 2-38 : la couche dure se détache facilement du pli suivant

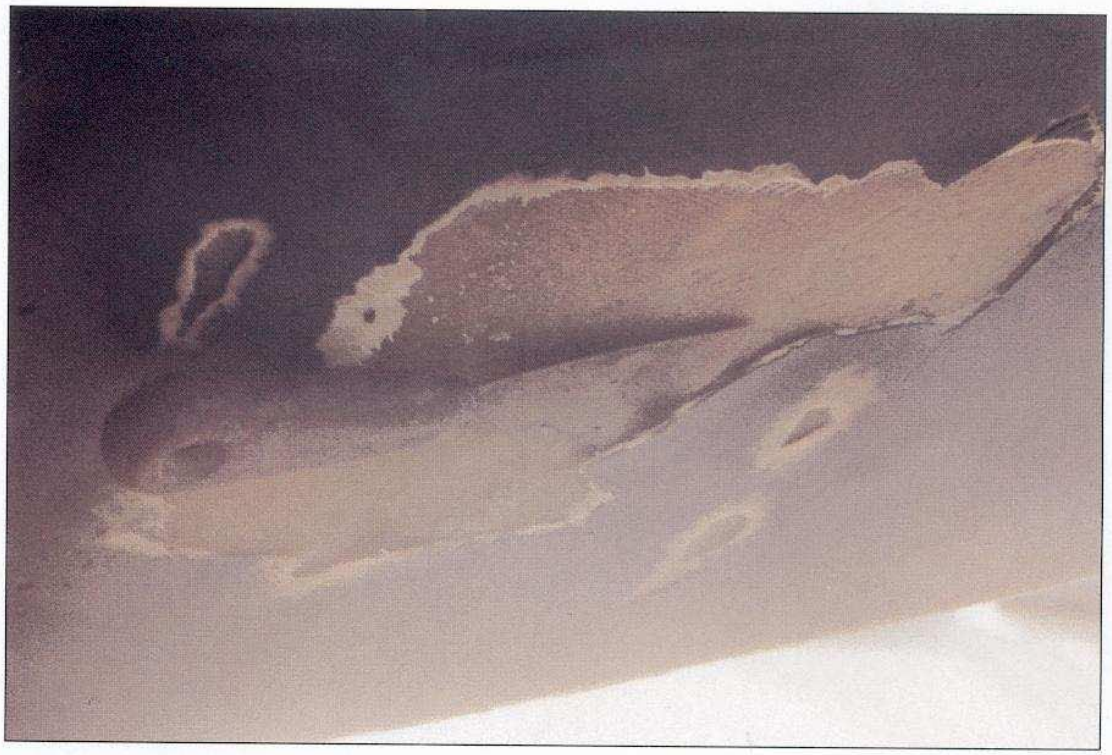


Photo 2-39 : la couche dure se détache facilement du pli suivant

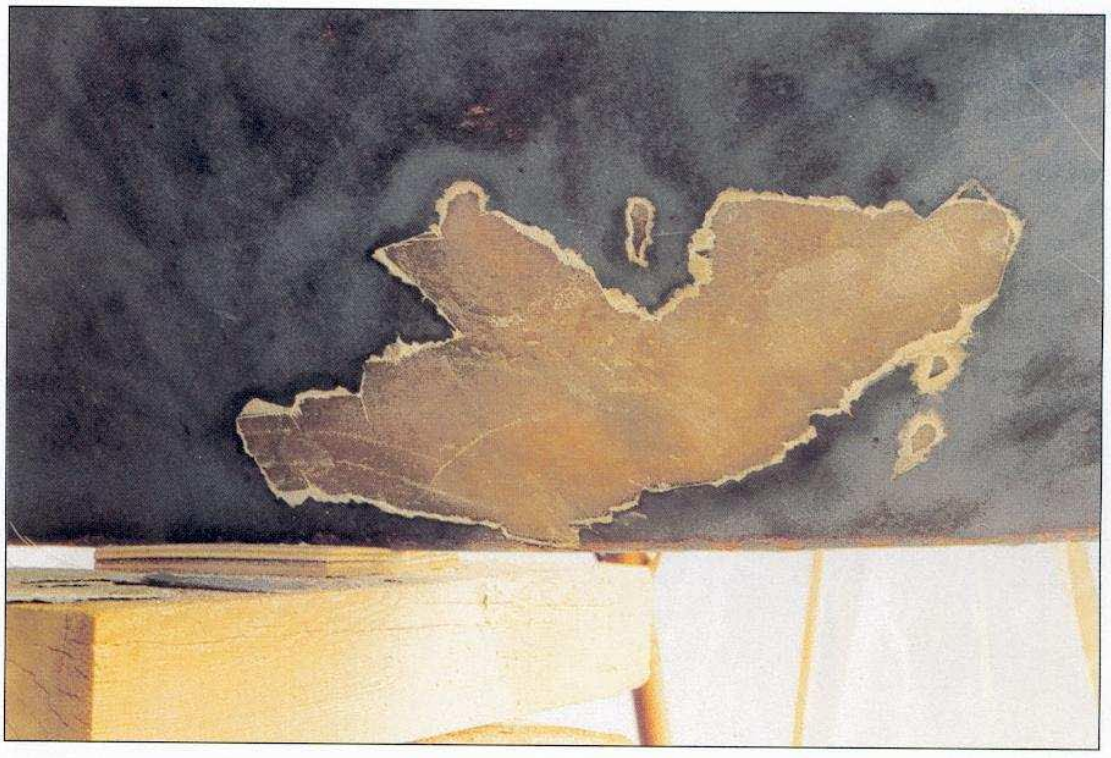


Photo 2-40 : la couche dure est constituée d'un mat et d'un tissu léger

Photo 2-41 : cette couche dure a été "pelée" par bandes de 2-3m de long

Photo 2-42 : trés grosse cloque (Ø 13 cm - flèche 5 mm) sous le 3ème mat

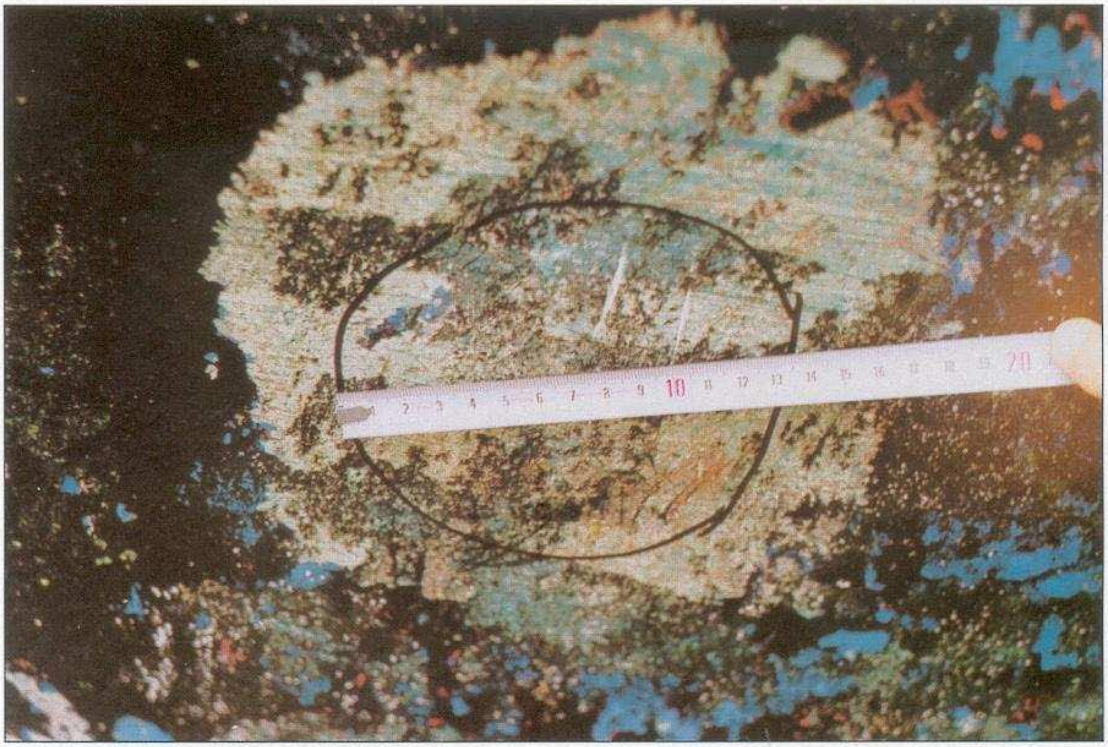


Photo 2-43 : le "jus" osmotique sort à flot

Photo 2-44 : l'attaque est sous le 2ème mat

Photo 2-45 : les zones délaminées sont importantes

Photo 2-46 : le sablage a percé le stratifié

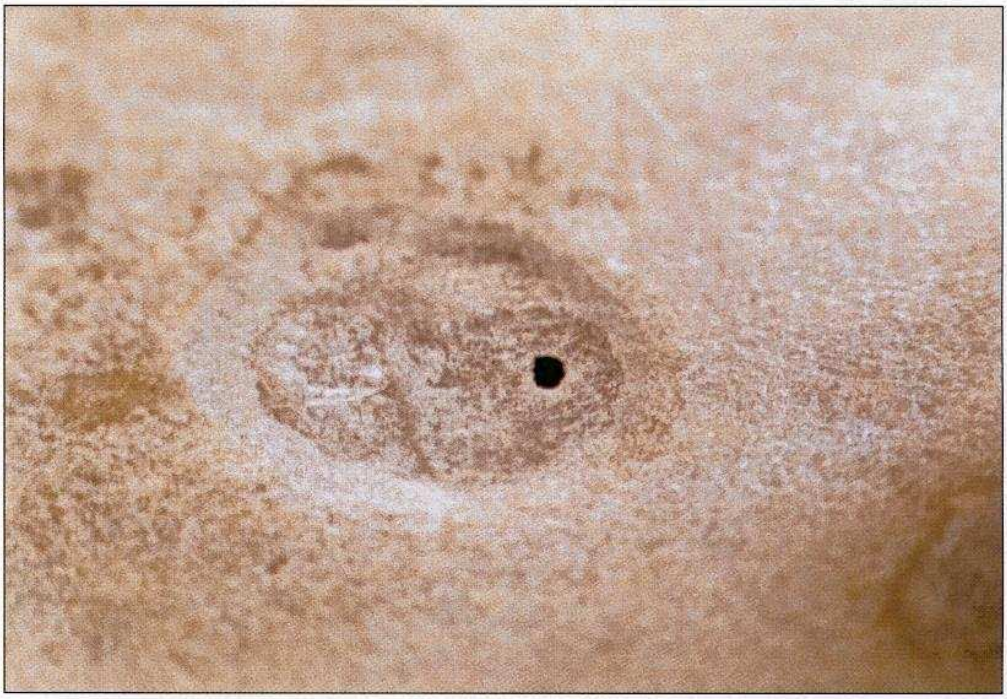


Photo 2-47 : le "jus" s'écoule encore : le sablage n'a pas ouvert cette cloque profonde

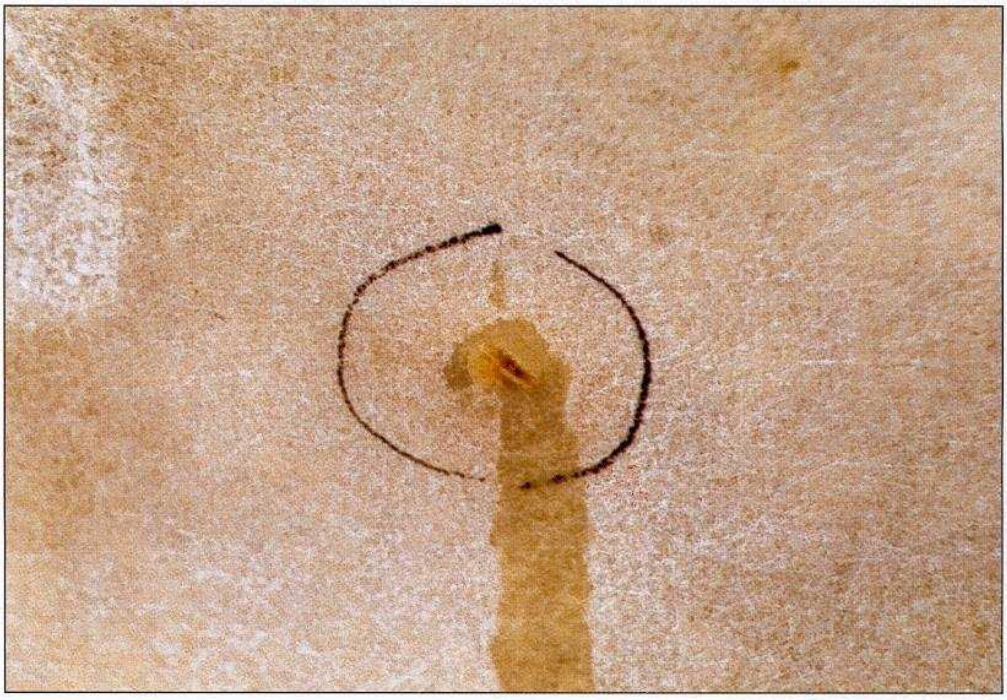


Photo 2-48 : coque sans gelcoat. Décohésion fibres/résine : zones blanches

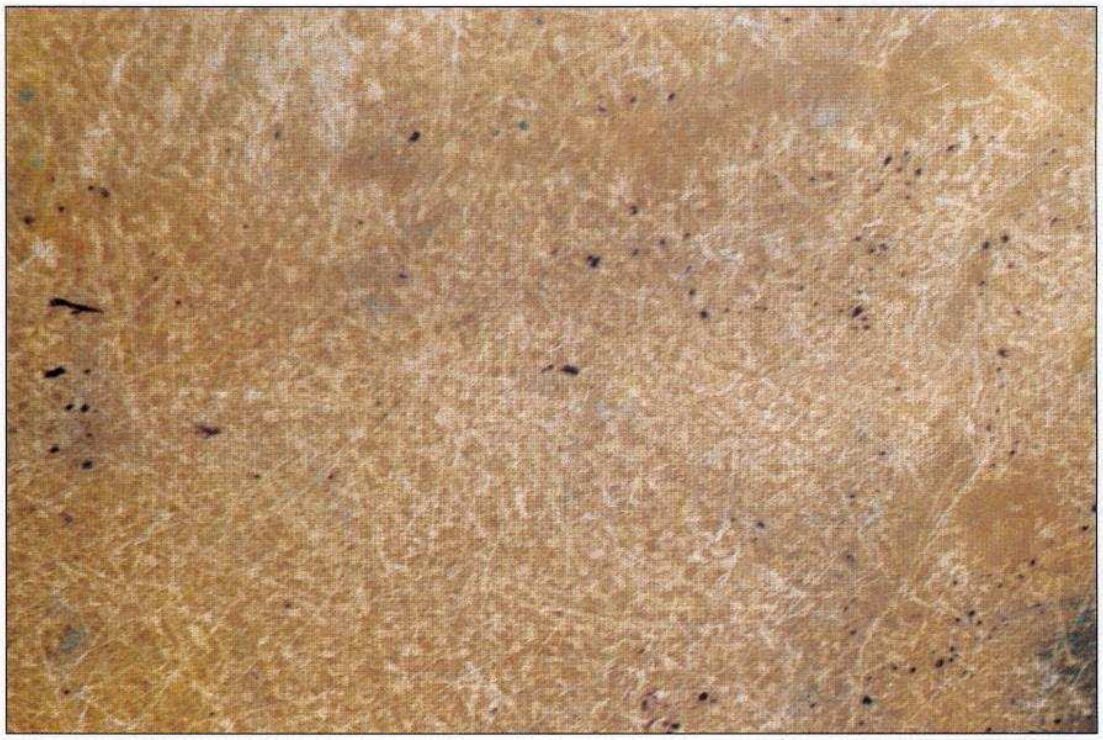


Photo 2-49 : délai trop long entre gelcoatage et stratification. Pas d'attache entre gelcoat et résine du stratifié. Le gelcoat se péle facilement

Photo 2-50 : double gelcoat (blanc et noir)

Photo 2-51 : gelcoat fendillé

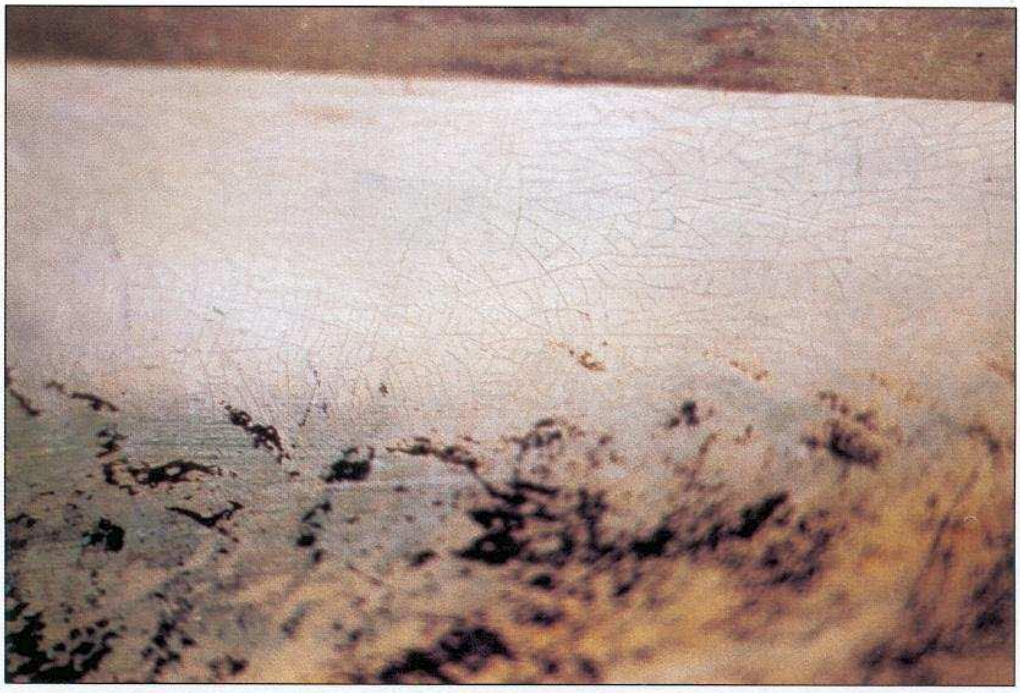


Photo 2-52 : bobine de roving ou "Stratifil" - phot. VETROTEX

Photo 2-53 : tissu de roving ou "Roving"

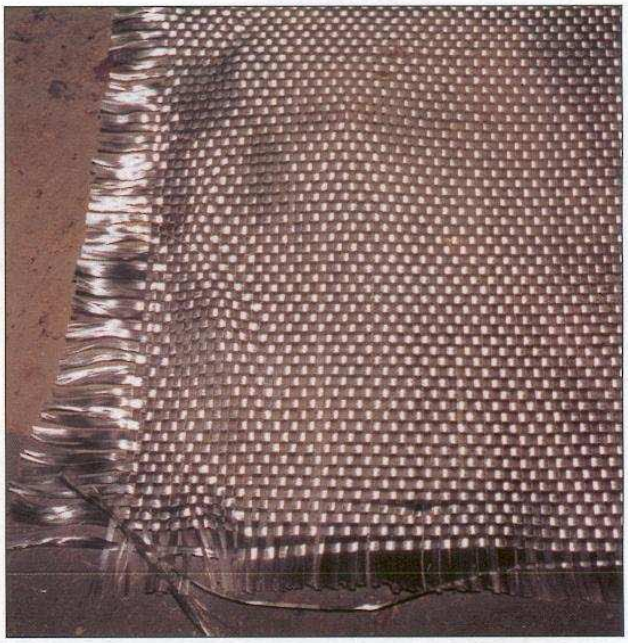


Photo 2-54 :
projection simultanée
phot. VETROTEX

Photo 2-55 : rouleau de mat. phot. VETROTEX

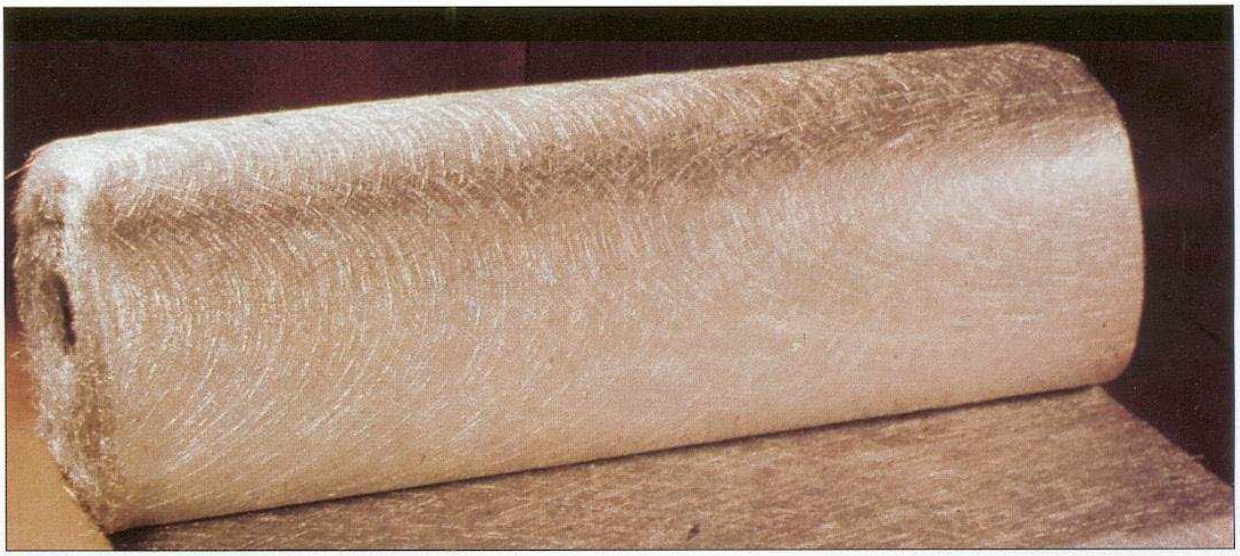


Photo 2-56 : la "marmite" ou "bouilloire" ou "tortue"
photo : Chantier Henri Wauquiez

****

C.M.EL BOULANT
EXPERT MARITIME
64 Sainte-Candie
83520 Roquebrune/Argens