



ECE - Cabinet VILLER-GEHIN
EXPERTISES MARITIMES
FLUVIALES - TRANSPORTS

Eric GEHIN

Mécanicien de Marine
Ingénieur ipf
Expert maritime-fluvial-
transport
Consultant Méthodes Qualité

Roger VILLER

Capitaine de Vaisseau (R)
Ingénieur eoba
Expert près la Cour d'appel

Recommandé par le Comité
d'Etudes et de Services des
Assureurs Maritimes et
Transports de France
(C.E.S.A.M)



OSMOSE

OU

CLOQUAGE DES CARENES DE NAVIRES EN

RESINES DE POLYESTERS

42 rue du Moure de Porc
30240 PORT CAMARGUE
Tél 04 66 88 71 53
Fax 04 66 88 37 76
Mail : ecevillergehin@free.fr
web : expertises-maritimes.net

CONSTATATIONS

Lors de l'avènement des coques de navires en polyester, tout un chacun a cru que ces matériaux employés étaient indestructibles et inaltérables.

De fait, ils posent partout où ils sont employés des problèmes d'élimination et de recyclage. Las, cela ne signifie nullement qu'ils sont à l'abri des méfaits du temps, c'est-à-dire du phénomène général de vieillissement. En outre, placés dans certaines conditions, particulièrement, en présence d'eau de mer, ils deviennent presque fragiles... presque, tout au moins leur aspect assez rapidement, leur structure plus lentement.

Ils sont en particulier sensibles à l'hydrolyse et à l'action des ultraviolets.

Les coques des navires de plaisance construites en stratifié de polyester (matériaux composites), armés de fibres de verre n'échappent pas à ces phénomènes.

En particulier, un certain nombre de carènes présentent, à un âge plus ou moins avancé, des cloques du gel-coat ou de la résine.

Grossièrement, l'évolution des cloques peut être schématisée de la façon suivante :

- **1^{er} stade** : Lyse du polyester (par eau, courant induit, présence d'un élément chimique indésirable) et/ou présence de résidus de catalyse incomplète, ou d'ions apportés par des éléments entrant dans la composition du matériau composite (fibre de verre par exemple).
- **2^{ème} stade** : Introduction d'eau par effet d'osmose
- **3^{ème} stade** : Hydrolyse de la résine polyester, puis osmose
- **4^{ème} stade** : Eclatement du gel-coat au niveau des cloques - desquamation agrandissement des crevasses dans le polyester mis à nu

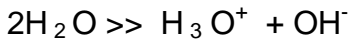
C'est la formation de ces cloques, leur prévention et les remèdes à y apporter que nous allons étudier.

RAPPELS

1) LE PH D'UNE SOLUTION AQUEUSE

Autoprotolyse de l'eau

L'eau est, naturellement, faiblement ionisée



Cette réaction est très limitée, c'est l'autoprotolyse de l'eau. Elle est favorisée par une élévation de température. A 25 °C, l'eau renferme 10^{-7} mol.l⁻¹

Toute solution aqueuse renferme des ions H³O⁺ et OH⁻

Par définition, le PH (Potentiel Hydrogène, PH = - log [H³O⁺]) de l'eau pure est égal à 7 (1 litre d'eau pure renferme 10⁻⁷ ions H³O⁺). Ce PH 7 est parfaitement neutre. Un PH acide a une valeur inférieure à 7 et un PH basique, une valeur supérieure à 7.

Cette définition n'est valable que pour des solutions dans lesquelles les interactions entre ions sont négligeables. Pratiquement pour des valeurs comprises entre PH 0 et PH 14, (et toujours à 25 °C).

2) L'OSMOSE

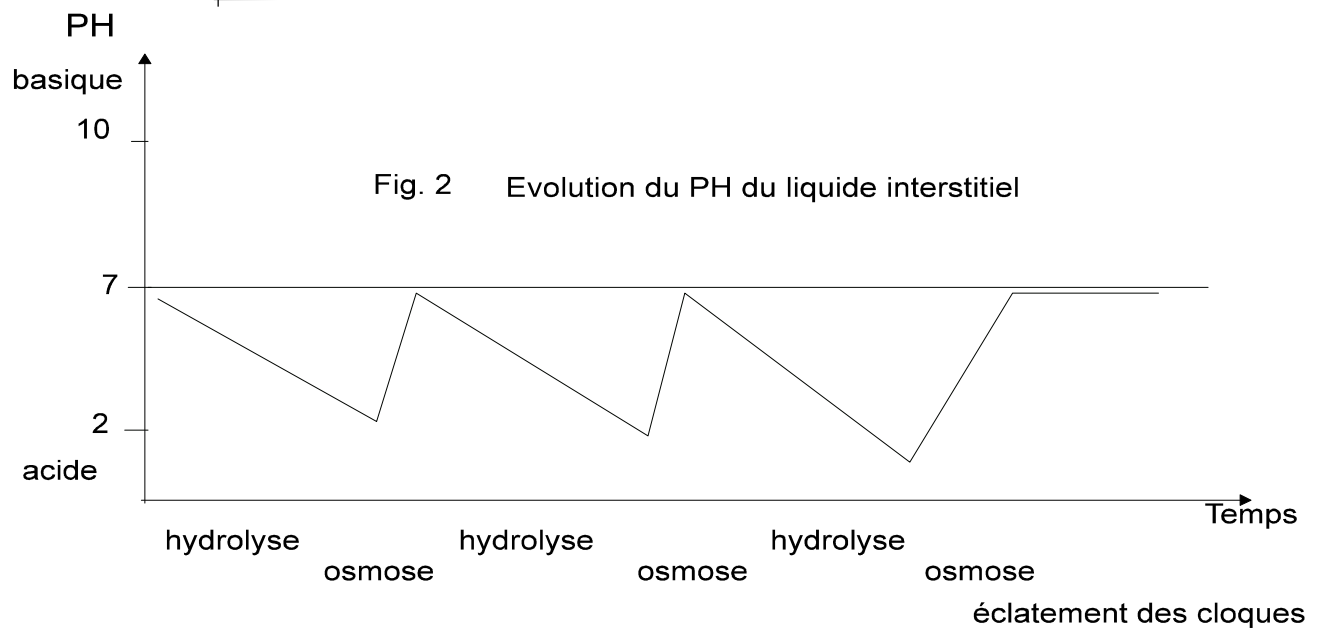
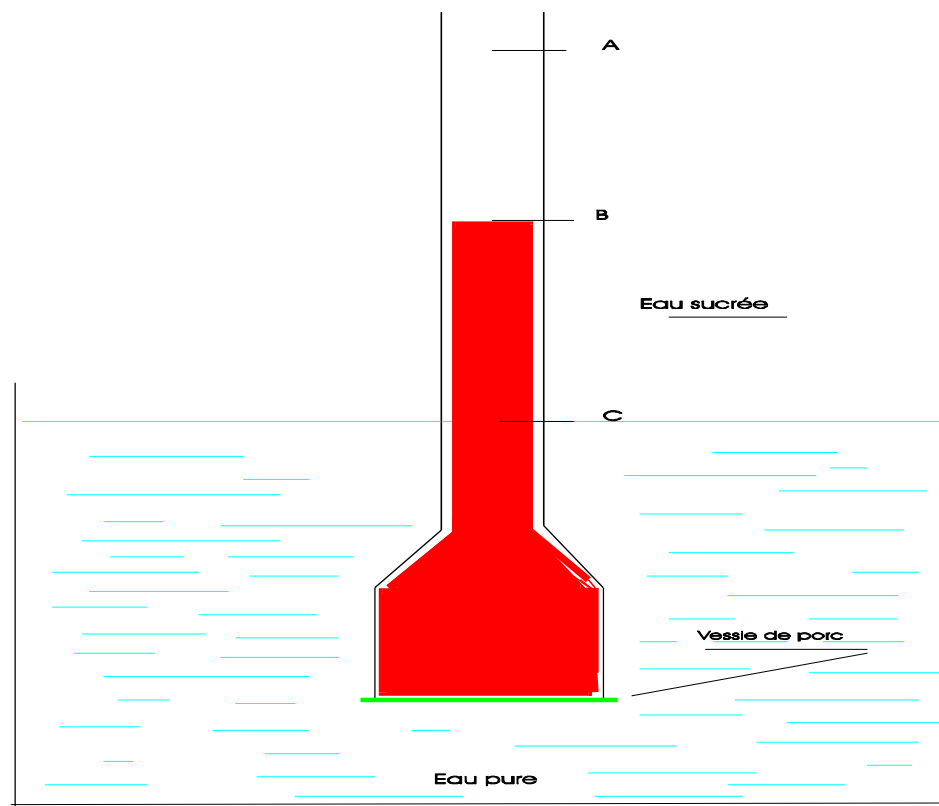
L'osmose est un phénomène aussi général que la pesanteur, par exemple, et à la base des échanges cellulaires qui nous permettent de vivre. Dès 1826, DUTROCHET a mis en évidence l'existence de l'osmose sous toutes ses formes (endosmose et exosmose, à travers les parois perméables ou hémiperméables).

EXPERIENCE DE DUTROCHET :

Un tube ayant, en gros, la forme d'un verre de lampe à pétrole, est fermé à son extrémité la plus large par un fragment de vessie de porc. On verse de l'eau sucrée jusqu'à un repère B, l'appareil étant plongé dans de l'eau pure. Le liquide monte alors lentement dans le tube. Le volume du liquide contenu dans ce dernier augmente, donc, ce qui implique la pénétration de l'eau pure à travers la paroi de vessie de porc, puisqu'un certain poids de liquide a été élevé, il existe donc **une force** capable de produire ce travail : c'est la **force osmotique** et le phénomène porte le nom d'**osmose**.

L'eau monte jusqu'à un repère A, par exemple. D'autre part, le liquide de la cuve dans laquelle est plongé le tube expérimental, est devenu légèrement sucré. Du sucre a donc également traversé la membrane (*voir figure 1*).

Fig. 1 Expérience de DUTROCHET



Ainsi, il y a deux courants :

- Passage d'eau pure vers l'intérieur du tube (**endosmose**)
- Passage de sucre vers la cuve (**exosmose**)

Enfin, le liquide redescend dans le tube et vient s'arrêter en C, c'est-à-dire au même niveau que l'eau de la cuve, suivant le principe des vases communicants. A ce moment, les dosages montrent que la concentration en sucre est la même dans le tube et dans la cuve.

L'osmose tend donc à équilibrer les concentrations de part et d'autre de la membrane. Quand cet équilibre est atteint, aucune force ne s'exerce plus au niveau de la membrane.

Par ailleurs, il existe des membranes qui ne laissent passer que l'eau pure, ces membranes sont dites semi-perméables ou hémiperméables.

Dans ce cas, le liquide ne redescend pas dans le tube, le courant d'exosmose ne pouvant se produire.

DEFINITION

L'osmose est le phénomène physique par lequel un solvant transite à travers une membrane hémiperméable (ou perméable) sous l'effet d'une pression osmotique créée par la différence de concentration d'un soluté de part et d'autre de la membrane.

Pour ce qui concerne les coques de navires en stratifié de polyester, ***l'osmose est le passage d'eau parfaitement pure (solvant) de la mer (solution diluée) à travers le gel-coat (membrane semi-perméable)***, par suite de la présence d'une solution concentrée acide ou basique (ions OH^- ou H_3O^+ = soluté) derrière le gel-coat (entre ce dernier et la résine polyester, ou au sein des différentes strates de polyester).

Nota

L'osmose ne doit pas être confondue avec l'hydrolyse. L'osmose est un passage d'eau pure (plus généralement d'un solvant pur) et rien d'autre. La dégradation de la résine est due à l'hydrolyse et non à l'osmose.

3) L'HYDROLYSE

La résine polyester est sensible à l'action de l'eau, particulièrement lorsque cette dernière est pure.

En effet, les polyesters sont obtenus par réaction d'un diacide non saturé sur un dialcool, suivie par un réticulage à l'aide d'un hydrocarbure diénique.

En présence d'eau, cette macromolécule de polyester dissocie la molécule d'eau en ions H_3O^+ et OH^- , et se dissocie elle-même, avec production d'alcool et d'acide. Pour qu'il y ait hydrolyse, il faut nécessairement qu'il y ait présence d'eau en contact intime avec la résine polyester.

CAUSES DES CLOQUAGES

Pour qu'il y ait cloquage du gel-coat ou de la résine, il faut nécessairement qu'il y ait une surpression importante, qui peut provenir soit d'une pression osmotique, soit d'une tension de saturation d'une dissolution aqueuse, (hydrolyse).

Au niveau de la coque d'un navire en stratifié de polyester armé, l'eau contenue dans la résine ou entre la résine et le gel-coat peut provenir soit de :

- L'humidité atmosphérique au moment de la polymérisation de la résine polyester
- L'eau libérée par la réaction de polymérisation (acide + alcool \gg ester + eau)
- Diffusion lente à travers la résine
- Passage d'eau à travers la résine blessée ou très hétérogène, en provenance de l'intérieur de la coque (condensation ou écoulements divers)
- Passage d'eau à travers le gel-coat perméable (mauvaise qualité du gel-coat, ou amincissement de ce dernier par abrasion mécanique ou chimique, ou blessures par rayures plus ou moins profondes)
- Passage d'eau à travers le gel-coat semi-perméable (gel-coat de bonne qualité, mais présence de la même solution, mais très diluée de l'autre côté du gel-coat, eau de mer par exemple), c'est l'osmose.

IDENTIFICATION DU PHENOMENE

Le cloquage peut être localisé ou généralisé, les cloques de petites ou grandes dimensions, formées entre résine et gel-coat, entre gel-coat et peinture anti-salissures (antifouling), ou au sein de la résine.

Les déformations de l'antifouling n'ayant aucune conséquence dommageable, nous ne nous y attardons pas.

Lorsque qu'il est localisé, le cloquage du gel-coat se situe le plus souvent au niveau de l'étrave, au niveau de l'hélice (de chaque bord) et au niveau du maître bau. Il a cependant tendance à se généraliser, l'eau introduite par osmose, se propageant en tous sens, en suivant les fibres de verre.

Il n'y a pas d'osmose, lorsque le décollement du gel-coat est dû à un défaut d'adhérence. Dans ce cas, le liquide interstitiel est de l'eau de mer filtrée, mais encore légèrement salée. En outre, les cloques deviennent plus grosses, plus rapidement.

Lorsqu'il y a osmose, le liquide est une solution aqueuse dont le PH évolue avec le temps, mais reste de faiblement à fortement acide, par suite de l'hydrolyse du polyester, voir figure 2

NOTA

La présence de cloques vides s'explique parfaitement par phénomène d'exosmose (voir expériences de DUTROCHET), à travers une membrane perméable comme le devient le gel-coat à la suite de son ponçage ou de son abrasion chimique, et ce, à l'air libre, c'est-à-dire durant l'immobilisation du navire calé à terre.

EVOLUTION

Si rien n'est entrepris

A court et moyen terme (2 à 3 ans environ) : extension du cloquage à toute la carène et/ou augmentation du volume des cloques.

Ce phénomène n'affecte rapidement, que le gel-coat et ne présente aucun danger pour la navigabilité du navire.

Le préjudice qui en résulte n'est que d'ordre esthétique, à l'extrême, il influe sur les performances hydrodynamiques, seulement perceptibles en régate.

A plus long terme (3 à 5 ans environ) : apparition de cratères sous ou à la place des cloques.

Ce phénomène est très lent, et à ce stade, les qualités de résistance et d'étanchéité des carènes ne sont pas remises en cause.

A très long terme (supérieur à 5 ou 10 ans) : destratification de la résine polyester sur environ 5 à 8 mm d'épaisseur, au niveau des cloques.

A ce niveau, la carène doit être restratifiée.

PREVENTION

Comme nous l'avons vu, la formation de cloques est directement liée à la présence d'eau au niveau des résines. De ce fait, pour prévenir le phénomène, il convient d'améliorer les points suivants :

- Eviter toute abrasion du gel-coat par ponçage ou grattage
- Réparer immédiatement toute blessure du gel-coat, et à plus forte raison de la résine
- **Ne pas hésiter à renforcer le gel-coat par un brai époxy ou une peinture époxy ou polyuréthane, dès que le gel-coat présente des marques de vieillissement (jaunissement, durcissement, faïençage...), ou par simple précaution, quelque soient l'âge du bateau et l'identité de son constructeur**

REMEDES

- Séchage de la coque sous abri ventilé, durant environ 2 mois (à moduler suivant les conditions de température et d'hygrométrie maintenues autour du bateau), après décapage du gel-coat, c'est le cas général, pour une attaque déjà importante. Soit à travers le gel-coat resté en place, à l'aide de dessiccateurs chimiques ou à l'air libre pour un tout début de dégradation du gel-coat, sans délaminage sous-jacent.
- Remplissage des perforations de la résine par un mastic époxy, ou reprise de la stratification si nécessaire.
- Application de brai époxy en deux ou trois couches sur toute la carène (300 microns minimum, 500 microns maximum), ou d'une série de couches de résines et peinture époxy.

Compte tenu de la croissance très forte du nombre de carènes cloquées, et ce, quelque soit l'âge du bateau, il est fortement recommandé de prévenir le phénomène par application, dès que possible, de 2 ou 3 couches de brai époxy sur le gel-coat mis à nu, carène parfaitement sèche et exempte de cloques. Pour cela, prendre l'avis du constructeur du bateau qui pourra utilement conseiller un produit particulier, compatible avec ceux qu'il a lui-même employés lors de la construction du navire.