

Mâtures et contrôles

La technique des gréeurs est vieille comme les bateaux ; elle s'est développée par essais et erreurs. S'il existe un domaine où le bon sens est plus utile que les mathématiques, c'est bien celui-là.

Voilà ce que disait, bien avant l'introduction des normes CE pour la construction des navires de plaisance, le grand architecte naval Francis HERRESCHOFF, à propos des espars. Pour lui, la seule façon de progresser dans ce domaine était d'oublier les mathématiques et d'étudier comment sont faits les gréements qui ont prouvé leur réussite.

Une preuve évidente de la justesse de cette approche se retrouve dans l'anecdote de la réalisation par un grand gréeur d'un des mâts pour le navigateur Eric TABARLY. L'espar, calculé par le bureau d'ingénieurs s'est rompu en navigation. Les calculs ont été repris par une école professionnelle française qui décréta que la compression prévue initialement était trop faible. On a donc reconstruit plus gros et parallèlement on a posé des jauges de contraintes un peu partout dans la mâture.

L'utilisation ultérieure montra que, dans les efforts dynamiques de la navigation par gros temps, les contraintes étaient finalement doubles de celles recalculées par le bureau de la Royale, pourtant à grand renforts de spécialistes.

Un bref rappel

01 Mât et gréement

Un mât est destiné à supporter la voilure, donc à résister aux efforts transmis sur les voiles. Pierre GUTELLE, dans son livre « l'architecture du voilier » décrit avec soin comment les voiles développent une portance qui peut se décomposer en une force propulsive, orientée vers l'avant et une force transversale qui tend à faire gîter le bateau.

02 Les efforts

Les forces engendrées par les voiles sont des efforts de tension, sur la mâture, sur les drisses et sur les écoute.

On les décompose généralement sur deux plans : le longitudinal et le transversal.

L'action du vent dans la grand-voile engendre des efforts qui se traduisent par une compression dans le mât et les barres de flèche, une tension dans les haubans.

Ce même vent dans la voile d'avant entraîne une tension sur l'étau qui se traduit par une compression supplémentaire en tête de mât, se répercutant aussi sur les barres de flèche. A noter que la présence d'un pataras ou de bastaques tend à augmenter la compression dans l'espar.

Un rappel :

La composante de gîte rappelée au point précédent est exactement compensée par le couple de redressement du voilier (autrement, il continuerait à prendre de la bande ou il se redresserait).

On peut donc dire que les efforts auxquels est soumise la mâture correspondent au moment de redressement maximum du navire.

Par ailleurs, la traction dans les haubans ainsi que la compression sur le mât sont d'autant plus faibles que la distance entre le pied de mât et la cadène est grande.

On retiendra que, pour qu'il y ait équilibre, le moment inclinant « F x H » est égal au moment de redressement « Δ x GZ ». Parallèlement, la compression « C » est égale à la composante verticale de la traction sur la cadène. En indiquant par « b » la distance transversale mâts – hauban, on obtient ainsi la formule

$$\text{Compression « C »} = \frac{\Delta \times GZ}{b}$$

Dessin

03 Résistance du mât aux efforts, formule d'Euler

Un mât doit donc résister au flambage, soit résister aux efforts de compression tout en restant rectiligne malgré la charge. Il s'agit bien ici d'un affaissement dit « élastique » et la rupture n'intervient que si on maintient l'effort qui fait flamber l'espar.

La résistance au flambage dépend de divers éléments tels

- Le type d'encastrement
- Le nombre de barres de flèche (donc de panneaux)
- Le moment d'inertie du profilé
- Le module d'élasticité du matériau

On retrouve ces éléments dans la fameuse formule d'Euler qui dit que

$$I = \frac{C \times H^2}{k \times \pi^2 \times E}$$

Avec

I = moment d'inertie

C = charge

k = facteur dépendant du type d'encastrement (2 pour un panneau avec une base fixe et une extrémité libre, voir § 06)

E = module d'élasticité du matériau

H = hauteur du panneau (entre les points fixes)

04 Composante transversale

L'action du vent dans les voiles engendre des forces transversales qui se retrouvent sur toute la hauteur du mât, en tête, sur les barres de flèche, comme au vit-de-mulet. L'équilibre entraîne une traction sur les haubans, une compression sur le mât, une compression au niveau des barres de flèche, engendrant à son tour une traction sur les bas-haubans.

Dans son livre intitulé « structure et construction du voilier » Jean-Pierre AUBRY (qui faisait partie du bureau Philippe HARLE) consacre un chapitre des plus intéressants à ce sujet.

04.1 estimation des charges sur le haubanage transversal

Dans l'esprit d'HERRESHOFF le skipper ou le propriétaire d'un voilier retiendra les contraintes suivantes, sous la forme de multiples du déplacement « Δ » du navire :

- pression en pied de mât 2.5Δ
- traction sur le galhauban 0.8Δ
- traction sur les bas-haubans 1.1Δ

04.2 Les barres de flèche

En principe, on a un avantage technique à multiplier les barres de flèche, donc à augmenter le nombre de panneaux de mât : L'inertie du profilé de l'espar peut drastiquement être diminué, d'où gain de poids dans les hauts et amélioration des performances aérodynamiques.

Les barres de flèche améliorent également la tenue longitudinale du mât, pour autant qu'elles soient bien solidaires à ce dernier. Il est aussi essentiel que les segments des galhaubans s'inscrivent dans un même plan lorsque le mât est droit. Ils transmettent ainsi aux barres de flèche une poussée qui tend, lorsqu'il y a tendance au ceintrage, à garder le profilé rectiligne.

On a actuellement tendance à développer les gréements fractionnés et de prévoir des barres de flèche poussantes, avec précontraintes sur le haubanage. Pour un équipage expérimenté, cela permet de « travailler » la voile d'une manière très efficace, en particulier de reprendre le creux de la grand-voile.

05 Composante longitudinale, estimation des charges sur le haubanage longitudinal

Dans le plan longitudinal, c'est la traction sur l'étau, le pataras, les bastaques et les drisses qui sont prédominants. Par contre, ces charges sont fortement augmentées lors des à-coups provoqués par la navigation dans une mer formée.

Dans le même esprit que sous le point 4.1 ci-dessus, on retiendra les proportions suivantes :

- tension sur l'étau 1.1Δ
- tension sur le pataras 0.6Δ

06 Types de mâts les plus fréquents aujourd'hui

Ce texte est laissé à charge de mon digne et cher Associé (peut être repris chez les apprentis ???)

Je suis aussi d'avis qu'il faut ici parler des divers systèmes d'enrouleurs de génois, de leurs avantages et inconvénients. On parlera des contrôles plus bas.

- gréement en tête
- gréement fractionné
- mât posé sur le pont
- mât posé sur la quille
- gréement continu
- gréement discontinu

07 Quelques autres contraintes

Dans un article paru dans le « Cruising 6/95 », intitulé « Contraintes et chiffres, à l'écoute de vos drisses », P.-A. REYMOND avait rappelé que sur un yacht de 36' avec 50 m² de voilure et déplaçant 4'000 kg, les voiles, juste avant de devoir prendre un ris, entraînaient des valeurs théoriques de contraintes de :

- point de drisse 500 kg
- point d'amure 110 kg
- point d'écoute 450 kg

Il était aussi rappelé que la pratique montrait qu'en passant d'une bonne brise de Bf5 à un vent frais de Bf6 les efforts font plus que doubler et que les à-coups dans la vague augmentaient de 50% ces chiffres.

Dans notre approche en relation avec le déplacement du bateau on retiendra les valeurs maximales suivantes :

- charge sur l'écoute de GV 0.3 Δ
- effort sur les bosses du chariot 0.06 Δ (20% de la charge sur le chariot)

Attention les doigts !

08 Les problèmes les plus fréquents

08.1 Corrosion

La majorité des espars sont construits en alliage d'aluminium, soit un matériau ayant un module d'élasticité E (pratiquement invariable) de l'ordre de 7'000 kg/mm² et que toute soudure diminue fortement la limite élastique Re et la résistance à la rupture Rr (valeurs variables). On doit donc éviter des soudures dans des zones fortement sollicitées.

Le magnésium contenu dans les alliages d'aluminium utilisés en marine permet, au contact avec l'oxygène, la création d'une couche auto protectrice, l'alumine.

L'aluminium est cependant très sensible au mercure et aux produits alcalins, telle la soude (produits de nettoyage).

L'ennemi no 1 reste cependant la corrosion galvanique. Le phénomène destructeur peut même se produire entre deux qualités d'un même métal. Le chrome et l'acier inox 18/8 ont une convivialité acceptable avec l'aluminium, mais si on peut faire chromer une hélice en alu, il est préférable d'isoler électriquement l'inox de l'aluminium par une laque ou un film synthétique par exemple.

Pour la suite et les points 08, je compte sur mon Associé qui mérite de ce fait la majuscule associée...

On appelle corrosion intercrystalline une attaque du matériau qui crée des zones de destruction autour des grains du métal (les cristallites), transformant complètement ce dernier et entraînant sa destruction. (A Rost).

Corrosion caverneuse

Voir le site futura-sciences en cherchant le forum du 29-01-2003 sous corrosion forum chimie.

08.2 Fatigue

08.3 Usure

08.4 Autres ?

09 Les contrôles de routine

En tant que skipper ou propriétaire de bateau, il faut être conscient qu'on reste entièrement responsable des accidents ou dommages matériels qui pourraient résulter d'un manque d'entretien ou d'une négligence. D'où l'importance des vérifications et contrôles avant le départ.

Concernant la mâture, pourquoi ne pas commencer par la tête de mât en y envoyant l'équipier sérieux sur la chaise de calfat ? On prendra soin de mettre dans sa trousse quelques outils et du matériel tel que :

- couteau
- pince d'électricien, à bec
- tournevis divers
- marteau
- un démanilleur
- bande auto vulcanisante
- goupilles fendues
- fil à surlier et un briquet
- brides électriques
- une bombe de dégrippant
- chiffon

Pour le reste, on pourra le lui passer, en cas de besoin, avec un va-et-vient

Il peut s'avérer intéressant de pourvoir les outils d'un bout, de manière à les assurer et éviter des chutes qui pourraient s'avérer dangereuses.

- Electronique

Cette dernière doit être correctement fixée, les connexions propres et protégées. L'aérien de l'anémomètre doit être libre, le capteur indemne de dégâts pouvant altérer les mesures (dégâts par les oiseaux, leur fiente, les drisses mal tendues, etc).

Les sprays de contact sont excellents, mais les prises en elles-mêmes se protègent volontiers avec de la vaseline, un lubrifiant que ne se transforme pas en savon en milieu salin.

- Feux

Vérifier le fonctionnement, l'étanchéité, l'oxydation et l'état de l'optique de Fresnel, ainsi que la décoloration des verres. La puissance des ampoules doit correspondre aux exigences du fabricant, au regard du RIPAM (Colreg en anglais).

Ne pas hésiter à utiliser des ampoules à LED, moins gourmandes.

- Réas

A vérifier, lubrifier (généralement avec un spray silicone), le cas échéant démonter, laver et remettre en état. Ne pas oublier de contrôler les éventuelles goupilles et de les changer en cas de doute.

- Prises de haubans

On aura soin de bien vérifier les embouts (en franglais, terminals) pour d'éventuelles fissures, ou de l'usure.

Il est étonnant de voir combien d'embouts de haubans ont été mal positionnés lors du mâtage, laissant travailler les « T » ou autres embouts dans une mauvaise position (tordus), mais sous tension.

On vérifiera aussi la zone fragile du hauban, juste à sa sortie de l'embout. A la moindre marque ou micro fissure, au constat d'un fil douteux, on changera sans hésiter le hauban.... et son compagnon du bord opposé.

- Tête d'enrouleur

Très important à vérifier. Il est nécessaire d'avoir préalablement pris connaissance du système d'enrouleur dans la documentation de bord. On saura ainsi exactement comment sont montés les divers éléments et ce qui doit être vérifié, ce qui doit être lubrifié, etc.

Toutes les manilles destinées à être fixes doivent être assurées. On préférera du cordage ou des attaches en plastique à du fil métallique, le démontage dans l'urgence étant plus aisé.

- Barres de flèche

A chaque étage, il y a lieu de vérifier l'attache au mât, l'état des éventuelles goupilles et aussi l'extrémité des barres, d'autant plus si elles sont protégées pour éviter que les voiles ne raguent. Il est incroyable ce que l'on peut découvrir sous de telles protections. Le passage des haubans ainsi que leur éventuelle fixation seront minutieusement contrôlés. Tout doit être en état de fonctionnement.

L'angulation des barres de flèche est très importante. Le cas échéant, vérifier depuis la terre, depuis un autre ponton d'amarrage, si nécessaire avec des jumelles. L'angle vertical généralement admis est de 6°

Dans un gréement fractionné, il faut contrôler tous les embouts de barres de flèche. Parfois le galhauban est serré en même temps que le hauban intermédiaire, mais dans les gréements discontinus on retrouvera un embout ou un ridoir.

Vérifiez aussi les prises de haubans au niveau du mât. On n'hésitera pas à changer les goupilles et on n'oubliera pas de toujours les recouvrir de bande auto adhésive.

Concernant les goupilles fendues, l'angle d'ouverture recommandé est inférieur à 45°, il faut éviter de les recourber à 180° comme on le voit parfois.

Un angle de 30° à 40° est suffisant pour les sécuriser et permet de les refermer sans trop les déformer et elles peuvent servir pour une nouvelle utilisation.

En fin, un œil sur les drisses de pavillons et leurs manilles, de même que les poulies ne sera pas un luxe.

- Feux de mât, radar, réflecteur radar

Au passage, le contrôle du feu de mât (feu moteur) et du projecteur de pont sera fait, comme pour les fanaux de tête de mât.

La fixation du radome du radar est à contrôler, de même que l'état du câblage de l'instrument. Un défaut d'étanchéité du radome rendra rapidement l'appareil

inutile et il s'agit d'un perchoir merveilleux sur lequel les goélands se font les ongles ou le bec.

Parallèlement, on vérifiera l'état et la fixation du réflecteur radar, au mât ou sur le pataras.

- Cloche de tangon, hale-haut, hale-bas

Plus on descend, plus on risque de retrouver des problèmes d'électrolyse dus aux embruns et au sel.

Aussi, dès que l'on est en présence de deux métaux distincts faut-il penser à ce type de corrosion. Le cas échéant, nettoyer le sel à l'eau douce, une opération toujours plus aisée au port avec le tuyau d'eau sous pression qu'au large avec une bouteille d'eau minérale. L'eau bouillante fait des miracles et on aurait tort de s'en priver.

Par ailleurs, comme il s'agit d'assemblages de pièces mécaniques articulées, il y a aussi lieu de vérifier l'état d'usure des zones de frottement.

Tout système qui doit bouger, doit pouvoir le faire parfaitement librement. A défaut, on aura forcément de l'usure ou des pièces tordues.

Les rondelles en nylon ou autre matériau synthétique doivent être en parfait état, ou changées

- Vit-de-mulet

Ce qui concerne les cloches de tangon est également valable pour le vit-de-mulet.

L'axe de ce dernier est soumis à de gros efforts et on aura un œil sérieux sur cette pièce. On sera aussi attentif à la corrosion électrolytique, tant sur la fixation au mat que sur la bôme elle-même.

Bien entendu, s'il y a des prises de ris avec des taquets coinçeurs, c'est le moment de les vérifier et de les dessaler, si besoin est, avec de l'eau chaude. Ne pas oublier de contrôler l'usure des bosses de ris et de vérifier qu'elles sont libres les unes les autres.

- Hale-bas de bôme

Le type de contrôle dépendra du modèle de hale-bas dont est équipé votre yacht. Au niveau des cordages, l'usure peut être importante et le matériau n'a pas tendance à se régénérer spontanément, donc ne pas hésiter à le changer. Comme pour le vit-de-mulet, la fixation au mât et à la bôme est vitale et il y a souvent des problèmes d'électrolyse pouvant mener jusqu'à la rupture des pièces mécaniques de cet ensemble.

- Pied de mât et ou étambrai

Vérifiez soigneusement les possibilités de corrosion, d'usure et de fissures. C'est une des zones du mât parmi les plus sollicitées.

Pour un mât traversant, il est impératif de vérifier qu'il n'y a pas de jeu au niveau de l'étambrai. Bien entendu, l'étanchéité de la braie doit être contrôlée, le cas échéant avec un seau ou un jet d'eau.

- Poulies de renvoi de pied de mât (piano)

Toutes les poulies doivent être libres. Une résistance par frottement à ce niveau entraînera une importante charge supplémentaire lors de la mise sous tension, diminuant de ce fait l'efficacité des winches.

L'usure des manilles ou des pontets ne doit pas être plus négligée que la corrosion galvanique de ces éléments.

Vérifiez également que le diamètre des cordages correspond aux poulies.

Ne pas oublier que sur un mât traversant, il faut contrôler la tension des tirants qui empêchent le gréement courant de soulever le pont

- Cadènes de pont

A l'extérieur, ces dernières doivent être dans l'angle de traction des haubans. Il ne devrait pas y avoir de cadènes sans pièce d'articulation entre la cadène et le ridoir. Cet ensemble doit pouvoir bouger librement. Des simples ridoirs à chape sont donc à proscrire si l'orientation de la cadène ne permet pas d'aligner parfaitement le ridoir avec le câble. On peut bien entendu procéder à la pose de cardans.

Ne pas oublier que pour des ridoirs, il faut utiliser de l'huile spéciale pour filetage.

On ne dévisse jamais un ridoir en insérant un tournevis dans la cage, il faut une clé, utilisée de l'extérieur.

On aura un œil critique au niveau des goupilles (les bandes autocollantes doivent donc être déposées), tant sur la cadène que sur le ridoir.

Régulièrement le skipper doit aussi vérifier l'état d'usure des cadènes. Des ouvertures ovalisées ne sont pas un bon signe et il y aurait lieu d'appeler un spécialiste. Il est souvent possible de baguez lesdites ouvertures.

Les ridoirs sont des pièces qui fatiguent et on y retrouve facilement de la corrosion caverneuse. Il faut très soigneusement les vérifier pour toute micro – fissure. Le cas échéant, utilisez un liquide révélateur, un produit qui devrait être à bord de tout bateau naviguant au long cours (aussi utile pour le stratifié polyester).

A l'intérieur de la cabine, on cherchera à examiner les renvois de cadènes jusqu'à leur fixation à la coque ou aux cloisons. Tout signe de mouvement de ces structures signifiera qu'il y a un problème majeur. Normalement, une telle situation est corroborée par un problème significatif au niveau du réglage des haubans.

- Enrouleur de génois

Nous avons déjà examiné la tête du dispositif. Encore une fois, il est impératif de prendre connaissance du manuel concernant l'enrouleur, pour en connaître toutes les subtilités de montage et d'utilisation.

Nous voici à nouveau en présence d'une pièce d'assemblage et il faut ici aussi rester attentif aux problèmes de corrosion, de fatigue et d'usure.

En cas de doute, ne pas hésiter à contacter un spécialiste de la marque.

Le va-et-vient ou le bout de l'enrouleur sont aussi à vérifier, avec un regard critique sur l'alignement des poulies et points de frottement du cordage.

C'est quand on est en effort que l'on constate ce qu'un mauvais alignement peut produire comme surcharge. Un génois devrait pratiquement pouvoir s'enrouler avec un effort minime et ne jamais être dur.

- Epontille

Retour dans la cabine pour les mâts sur épontille. Nous avons vu que la charge est de l'ordre de 2.5 x le déplacement du bateau. Cet effort repose sur l'épontille qui est normalement encastrée en haut comme en bas.

Hormis une question de flambage, c'est donc ces deux extrémités qui sont à vérifier au niveau de la fatigue, de la corrosion et d'une éventuelle usure.

L'accès n'est pas toujours aisé, mais permet parfois de faire d'intéressantes découvertes au niveau de fuites ou autres dégâts des câbles électriques qui vont dans le mât. Il arrive même que, pour des structures en sandwich, le roof soit en mauvais état (délaminage) suite à des infiltrations au niveau du passage des câbles de mât et des fixations du pied de mât.

- Sur le pont

Divers points sont à vérifier parallèlement au niveau du pont :

- Les rails d'écoutes sont à contrôler au niveau de leur fixations, de la corrosion, de la fatigue, des fissures du matériau, sans oublier l'état des arrêts en bout de rail.

- Les chariots présentent souvent des défauts au niveau de la poulie qui ne tourne plus correctement sur son axe. C'est rarement une question de lubrifiant et ici aussi l'usage d'eau chaude pour dessaler peut s'avérer très efficace. Le démontage est généralement assez aisé.

Une poulie usée par l'écoute à force de ne pas tourner sera à changer.

- Les poulies guides de la bosse d'enrouleur ont déjà été mentionnées sous le point précédent relatif à l'enrouleur de génois.

- Les taquets divers doivent tous fonctionner sans difficulté et leur état général vérifié.

-Bien que ne faisant pas partie de la mâture, les filières sont un point de sécurité des plus importants et le type de contrôle de ce dispositif est semblable à ce que nous avons vu jusqu'ici.

Les ridoirs qui ne sont pas pourvus d'un bec de canne à ouverture rapide peuvent être remplacés par un cordage brêlé. Il est plus aisé de libérer un tel dispositif par un simple coup de couteau que de libérer un ridoir bloqué par le sel des embruns. On veillera par contre à ce que la résistance de ce laçage corresponde à celle du câble.

Enfin, les drosses de gouvernail font partie d'un autre dispositif qui mérite toute l'attention du skipper qui préférera le contrôle au port au remplacement en navigation par mer formée.

La bonne tension des drosses est aussi importante que l'état des éléments de renvoi et les ridoirs.

Ici aussi utilisez des huiles ou graisses ad hoc en gardant en mémoire que graisse minérale + sel = savon = blocage des éléments concernés.

- Graissages

Pour les éléments nécessitant de la graisse, utilisez de la graisse à winches, ou de la graisse pour vannes de piscines. Cette dernière n'est pas chère, résiste au sel et ne se décompose pas au contact avec l'eau de mer, comme déjà indiqué, en une masse savonneuse qui bloque tout.

Cette graisse sera également utile pour vos vannes de passe-coque qui méritent également un entretien régulier.

10 Les remplacements

En règle générale, dès qu'une pièce présente une déficience ou un doute, il faut la démonter complètement, la vérifier et la remonter. En cas d'incertitude, contacter le spécialiste qui sera toujours moins cher et moins délicate à gérer qu'une avarie de mâtère au large.

Les problèmes d'usure sur les cordages peuvent souvent se résoudre simplement en les inversant, ou en enlevant une partie pour changer les zones d'usure ou en les remplaçant. On voit ici l'utilité de prévoir dès le départ des cordages assez longs pour effectuer ce type de mise au net.

En ce qui concerne le haubanage, il n'y a pas de véritable contrôle possible. Il est bien proposé des vérifications de l'épaisseur des câbles (comme pour les téléphériques) ou des mesures par résistance électrique, mais à notre connaissance, aucune méthode n'est sûr.

En eau de mer, les meilleurs gréeurs partent du principe qu'un remplacement pure et simple doit être fait tous les 10 ans.

Les assureurs maritimes vous demandent même un contrôle complet par un spécialiste et/ou un remplacement du dormant tous les 7 à 8 ans selon les Compagnies.

Encore une fois, les frais du spécialiste sont moins lourds que les conséquences d'un démâtage, d'autant plus que ce dernier risque de ne pas être couvert.

Ne pas oublier qu'un démâtage accidentel est extrêmement rare et que la majorité des cas ne relèvent que de l'usure, du vieillissement ou du manque de contrôle, ce qui ne sera pas pris en charge par l'assureur.

Voilà Laurent, il s'agit d'une base qui ne demande qu'à être modifiée et complétée. Je pense qu'il faut viser 4 à 5 pages A4, sans les photos ou illustrations.

Comme délai, je pense à la fin de l'année.

Pour notre site et à disposition des clubs 7 journaux pour publication (cela fait de la pub gratuite pour nous).

Merci de continuer sur ce modèle et de me retourner tes adjonctions, remarques et critiques.

Version 23-09-2008 © R&J Associates