

Guide Expert Voiles

Antoine Sézérat

Voiliers de croisière

Grément dormant mât et haubannage

COMPRENDRE

RÉGLER

ENTREtenir



Profils de mât, câbles, ferrures,
accastillage, ridoirs...

VOILES
et voiliers

■ Sommaire

L'auteur remercie les sociétés Selden, Z-Spars et Soromap pour leur aide précieuse dans la réalisation de cet ouvrage.

Coordination: Jean-Louis Guéry
 Photographies: Antoine Sézérat et Jean-Louis Guéry
 Laurent Charpentier (pages 18, 21, 22, 23, 36, 67, 68 et 107).
 Aude Pezerat (page 105). François-Xavier Ricardou (pages 57, 58 et 80)
 Illustrations: Jean-Louis Guéry, documents Selden et Soromap
 Maquette: Aude Pezerat
 Secrétariat de rédaction: Catherine Churg
 Photogravure: Isabelle Geoffroy et Richard Roussel
 Fabrication: Bénédicte Sainson

Cet ouvrage a été imprimé par l'Imprimerie Chirat à Saint-Just-la-Pendue.
 ©Voiles et Voiliers octobre 2010 - ISBN 978-2-916083-44-5. ISSN : 1776-4629.
 Dépôt légal : n° 201010.0010

Chapitre 1	Le gréement dans l'histoire Du Spruce à l'aluminium Les différents types de gréements et leurs caractéristiques	7 8 10
Chapitre 2	La conception d'un mât La fabrication du profil Naissance d'un profil de mât La mécanique du mât La protection de l'espar	17 18 22 26 37
Chapitre 3	L'accastillage du mât, composant essentiel La tête de mât Ancrages des haubans et capelages Barres de flèche, colliers et barreaux Réas et cages à lumière Accastillage riveté Rail de grand-voile rapporté ou intégré Passages de câbles, électricité et électronique	41 43 47 51 56 56 58 60
Chapitre 4	Le gréement dormant Gréement en plan ou poussant Gréement continu ou discontinu Monotoron, le câble universel La grande famille des ridoirs	61 62 65 67 71
Chapitre 5	Le mâtage et les réglages du gréement Les clés de l'équilibre sous voiles La tenue du gréement Réglages: les principes de base	75 77 80 86
Chapitre 6	Maintenance: les précautions à prendre Vérification annuelle Un haubanage sous surveillance Changer le haubanage	99 101 105 107
	Annexes Mémorisez vos longueurs de câbles Mémorisez vos réglages de ridoirs À propos des tensiomètres Adresses utiles	109 110 111 112 112

■ Le gréement dans l'histoire

“ Alors que la navigation à voile a utilisé pendant des siècles des espars en bois de toutes sortes et de toutes origines, les mâts en aluminium ne se sont généralisés qu'il y a une cinquantaine d'années et l'acier utilisé pour les mâts des grands clipper n'a pas survécu longtemps à l'évolution des besoins de la plaisance.

La production en masse de l'aluminium, la baisse relative de son coût, son industrialisation – grâce à la mise en place de filières d'extrusion pour les mâts – permettent maintenant aux voiliers de croisière de naviguer loin et longtemps avec une assurance insoupçonnée. Mais, sous un air simpliste, un mât cache une élaboration soignée, complexe, et un accastillage toujours plus sophistiqué.

Comprendre, régler, entretenir sa mâture et son gréement sont au moins aussi importants que de tracer sa route et d'interpréter la météo. Voici un guide pour mieux vous aider à tirer profit de la pièce essentielle d'un voilier : le mât.

Antoine Sézérat

Du Spruce à l'aluminium

8

Les différents types de gréements
et leurs caractéristiques

10



Plus que centenaires, les cotres auriques Avel et Pen Duick possèdent des mâts en Spruce.

Le plus léger des métaux

Avec une densité de 2,70, l'aluminium est le plus léger de tous les métaux. Par

comparaison, le plomb affiche 11,35 et le plus lourd, le platine, 21,5.

À noter que l'uranium appauvri, qu'Éric Tabarly avait à un

moment utilisé comme lest pour Pen Duick VI

parce que la Marine le lui avait offert, possède une densité de 19,30 très proche de l'or...

■ Du Spruce à l'aluminium

La généralisation des mâts en aluminium équipant les voiliers de plaisance date du milieu des années 1960. Elle coïncide d'ailleurs avec les premiers voiliers de série réalisés en stratifié de polyester. Le monde occidental se levait tout juste d'un gigantesque effort de guerre qui avait mobilisé toutes les industries, dont celle de la transformation du minerai de bauxite⁽¹⁾ en alliage d'aluminium⁽²⁾, alors massivement employé dans l'aviation.

Pendant un siècle donc, la plaisance embryonnaire avait utilisé des mâts en bois comme d'ailleurs à l'époque tous les navires de travail qui se propulsaient à la voile ou bien encore ceux qui s'en servaient comme mât de charge. Abondant, peu onéreux, facile à exploiter et à façonner, le mât en bois était traditionnellement en sapin. Pour équiper les voiliers de plaisance, laquelle commençait à se développer au début du XX^e siècle, on a rapidement utilisé le Spruce (de la famille des épicéas Sitka que l'on trouve en quantité dans le Nord-Ouest des États-Unis et au Canada). Le pin d'Oregon (quoique moins apprécié car moins régulier en fil et trop résineux) a été, et est encore utilisé.

L'avantage du Spruce tient dans sa régularité d'aspect et une surprenante légèreté (densité à partir de 0,35) liée à des propriétés mécaniques qui lui permettent d'être débité longitudinalement et collé savamment, souvent autour

d'un axe creux. Il offre ainsi rigidité et résistance, tant en compression qu'en stabilité inertielle : des atouts majeurs pour la tenue d'un mât. Comme tous les bois, il faut le protéger des agressions du soleil et de l'humidité, en général par application de vernis (il peut être peint). Mais il reste sensible aux chocs directs et contondants à cause de sa faible densité.

Hormis ses qualités esthétiques, le mât en bois ne pouvait s'inscrire dans un processus de fabrication à grande échelle car ses contraintes d'entretien, collaires de sa longévité, son approvisionnement et sa fabrication, requéraient une main-d'œuvre spécialisée et coûteuse incompatible avec l'élaboration et la production d'un voilier moderne. L'aluminium s'est donc naturellement imposé, en même temps que son prix devenait abordable et que la production se rationalisait grâce à l'essor de la plaisance. Aujourd'hui, même si les mâts en fibre de carbone grignotent quelques parts de marché (surtout parmi les très grosses unités et les voiliers de performance, course et croisière rapide), les mâts en aluminium règnent massivement sur la production des voiliers de série. Les démontages sur avarie des tubes sont extrêmement rares et s'avèrent plutôt le fait du gréement dormant, dont l'entretien est souvent négligé, et il n'est pas rare de voir encore en service des mâts en aluminium conçus il y a presque cinquante ans !

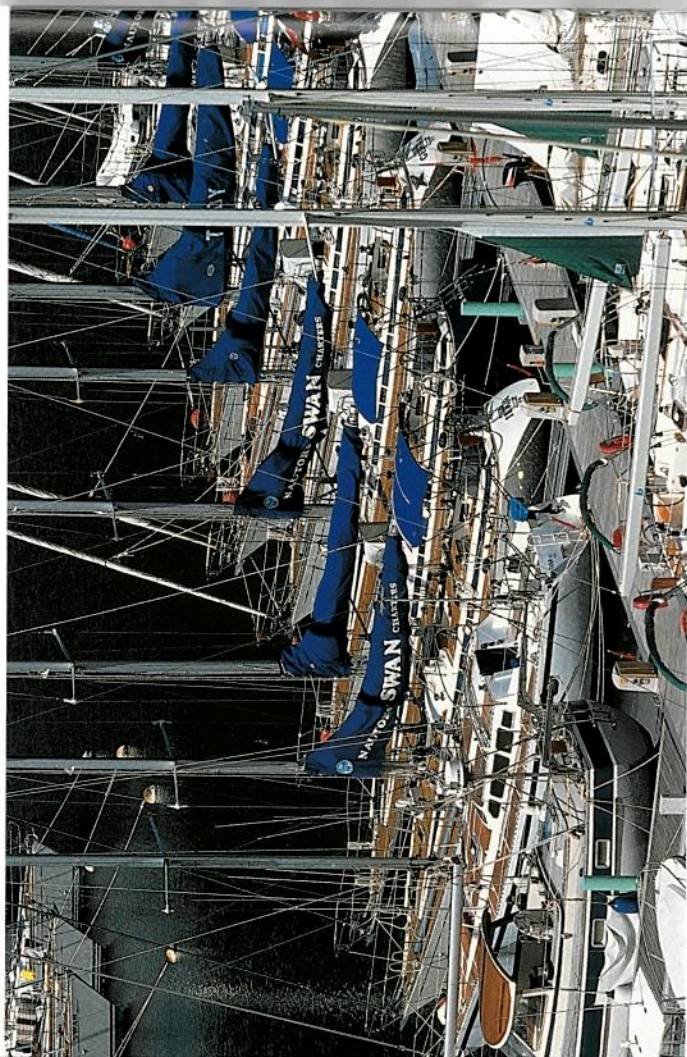
La légèreté du Spruce

Avec une densité de 0,35, le Spruce est l'un des bois les plus légers (avec une densité de 1, le bois coule). Le champion toutes catégories reste le balsa, avec une densité de 0,10. En plaisance, il sert à la réalisation de coques en sandwich, pris entre deux peaux polyester. La densité du bois est calculée avec un taux d'humidité proche de 15 %, c'est-à-dire que le bois est naturellement « sec ».



Le mât en aluminium est parfaitement adapté à la production en série.

(1) La bauxite doit son nom au village des Baux-de-Provence où, en 1831, le géologue français Pierre Berthier découvrit ce minerai qui contient 40 % d'hydroxyde d'alumine et permet d'obtenir de l'aluminium pur par électrolyse.
(2) Il existe actuellement plus de 400 variantes d'alliages dont celles au cuivre, manganèse, magnésium, silicium, zinc...



Même parmi les grandes unités, le gréement de sloop s'est imposé dans la production de série.

■ Les différents types de gréements et leurs caractéristiques

Que ce soit il y a un siècle ou bien aujourd'hui, l'un des problèmes majeurs auquel est confronté le plaisancier demeure la maîtrise du plan de voile. Plus celui-ci grandit, plus il faut des moyens mécaniques pour assister l'effort. L'une des solutions les plus évidentes, et qui reste encore valable de nos jours, est la division du plan de voile.

Pour conserver une surface optimale, on multiplie les voiles qui redevenaient maniables sans effort excessif. Ainsi en 1964, Éric Tabarly a gagné la Transatlantique en solitaire à bord de *Pen Duick II*, un ketch de 14 mètres gréé en cotre, une configuration qui permettait à la fois de manipuler des voiles assez petites mais aussi de concevoir celles-ci avec un tissu offrant un minimum de déformation grâce à une surface raisonnable. Les combinaisons de voile garantissaient aussi de faire face à toutes les forces de vent sans détruire l'équilibre général.

De nos jours, on ne conçoit pratiquement plus de voiliers de cette taille avec un gréement divisé. Les assistances de toutes sortes, qu'elles soient mécani-

ques ou électrohydrauliques, et la qualité des tissus permettent de simplifier les gréements à l'extrême pour optimiser le rendement aérodynamique. Voici, pour mémoire, les gréements les plus utilisés ou ceux que l'on peut rencontrer au gré des navigations.

Le sloop ou sloop

Il concerne l'écrasante majorité des voiliers actuels. Le sloop est équipé d'un mât supportant une grand-voile et sa bôme avec un foc à l'avant. Il possède un ou plusieurs étages de barres de flèche pour le maintenir latéralement. Le sloop existe en version « en tête » ou « fractionné » déterminée par la fixation de l'étai sur la face avant du mât. La version fractionnée peut être aux 7/8^e, 9/10^e, etc., suivant le type de voilier. La plupart des voiliers de croisière sont équipés de gréement en tête car l'équipement et la géométrie du mât demeurent plus simples, le fractionnement étant plutôt l'apanage de voiliers de course ou de performance offrant des réglages affinés en accord avec la forme des voiles.

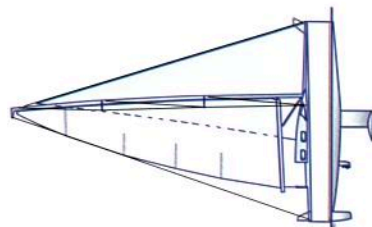
Ces dernières années, l'évolution majeure de ce type de gréement a été l'adoption de barres de flèche poussantes au lieu de celles en plan, permettant de se passer d'étai intermédiaire (ou faux étai) et de réduire l'importance du pataras pour raidir l'étai principal.

Le cotre

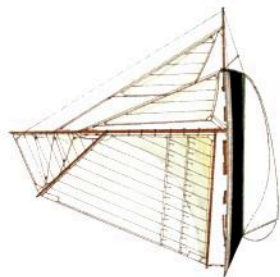
Il se définit comme une variante du sloop, avec gréement en tête, ayant la possibilité de fractionner en deux voiles le triangle avant, soit le foc et la trinquette. Il s'agit donc de diminuer la surface des voiles pour permettre à la fois des manœuvres plus faciles grâce à des efforts moindres et une réduction ra-



La simplicité du gréement de sloop : ici le *Fango*, un 10 mètres de chez Amel.



Pogo 8.50, un sloop moderne.



Firecrest,
cotre houari de
13,20 mètres.



Le cotre supporte une voile intermédiaire, ici une trinquette bômée.

pide de la voilure en cas de mauvais temps. Ce type de gréement est très prisé parmi les voiliers de voyage au long cours. Les deux voiles d'avant, foc et trinquette, sont alors à poste en permanence et souvent montées sur enrouleur ou, plus rarement, la trinquette est bômée.

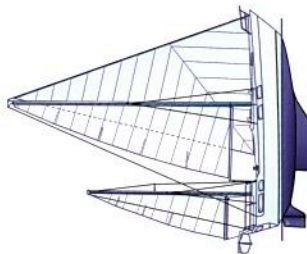


Le ketch possède un deuxième mât en avant de l'axe du gouvernail.

Par mer formée, il est possible de capeler des bastaques pour reprendre les efforts du mât au niveau du capelage, c'est-à-dire à la fixation de l'étai intermédiaire.

Le ketch

Dans cette configuration, le voilier possède deux mâts, le mât arrière étant souvent beaucoup plus petit que le mât principal. Avec un accastillage puisant, on peut maîtriser des sloops de très grande taille. Il est donc très rare de rencontrer un ketch en dessous de 15-16 mètres. Le mât arrière, l'artimon, permet bien sûr une division de voilure, mais il a aussi d'autres atouts comme celui de supporter des antennes, toujours plus nombreuses, ou de maintenir le voilier dans le lit du vent lorsque la voile d'artimon est établie (en partie arisée ou enroulée) au mouillage. Si, auparavant, le rendement de cette voile était déplorable au près, les tissus à voile de bonne qualité, la surface conséquente et la séparation suffisante entre les deux mâts rendent cette configuration plus pertinente. On notera qu'il est possible de tendre une voile dite « d'étai » à partir du mât d'artimon lorsque l'on est aux allures portantes, augmentant ainsi significativement la surface de voilure lorsqu'un spinnaker est aussi gréé à l'avant.



Amphitrite,
ketch classique...

Ketch de série

Le Amel 54 est le dernier ketch produit en série en France, et même en Europe ! Le surcoût du mât d'artimon grève le prix de revient et justifie son abandon par de nombreux chantiers produisant des voiliers haut de gamme.

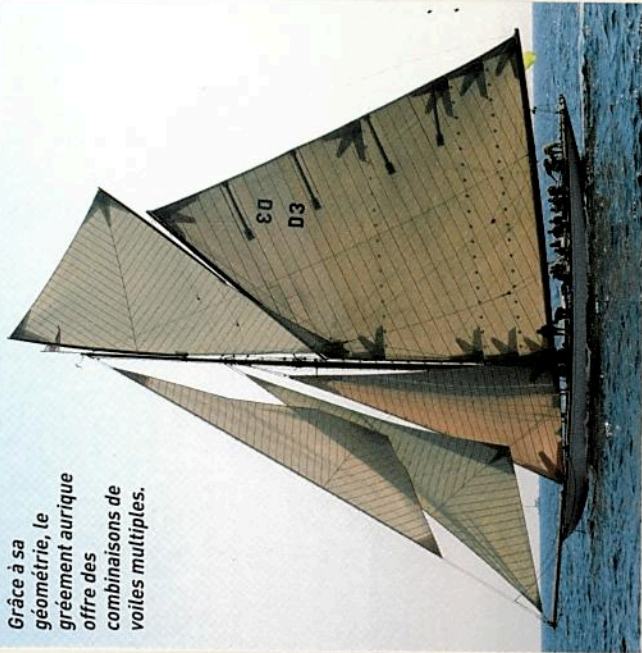


Le yawl possède un artimon symbolique, utile pour gréer des voiles d'étai.

Le yawl

Pour ceux en manque de culture nautique, il est facile de se faire piéger lors d'un questionnaire demandant la différence entre un ketch et un yawl... Tous deux possèdent un mât d'artimon, mais celui du yawl est implanté en arrière de l'axe du gouvernail. Ce qui résume sa taille et la surface de voilure à souvent pas grand-chose. Cette configuration a été popularisée aux

Grâce à sa géométrie, le gréement aurique offre des combinaisons de voiles multiples.



Gréement aurique

Sans remonter jusqu'à la voile carrée, qui caractérisait il y a des milliers d'années les premiers voiliers, le gréement aurique a timidement fait son apparition au fur et à mesure des siècles jusqu'aux « phares carrés » des clipper, derniers dinosaures de la Marine à voile. Le type aurique se caractérise par une grand-voile trapézoïdale surmontée d'une voile triangulaire qui, assemblées par un espar dénommé « pic » ou « corne », forment une grande voile triangulaire aérodynamiquement efficace. Parce que le coton d'alors possédait de mauvaises caractéristiques de maintien, à la fois dans le biais, mais aussi

trame et chaîne lorsqu'il n'était pas assez calandré, il était notoirement plus simple de réaliser une voile de grande surface maintenue aux quatre coins, alors que la flèche (partie supérieure) était plus facilement maîtrisable dans sa forme. Le gréement aurique qui peut s'appliquer à la fois sur les sloops en version cotre, mais également sur les ketchs, yawls et goélettes, n'est plus utilisé de nos jours. Les tissus modernes permettent la conception de plans de voilure aux surfaces unitaires immenses et à l'allongement quasiment nul grâce aux derniers complexes en aramide ou en carbone.

Tous les voiliers modernes possèdent un gréement Marconi.



Gréement Marconi

Guglielmo Marconi (1874-1937) était un physicien italien à qui l'on a attribué (à tort, paraît-il) l'invention de la transmission radio par ondes hertziennes. En 1920, il possédait un yacht à vapeur – l'*Eletra* – équipé de mâts très hauts afin d'optimiser la transmission par ondes courtes. Pour améliorer la vitesse de croisière, il y établissait des voiles triangulaires entre deux essais de transmission. Une formule qui fera école et qui sera popularisée sous son nom. Les voiles triangulaires existaient

déjà depuis 1830 aux États-Unis, aux Antilles et aux Bermudes sur de nombreuses goélettes anglaises, mais les mâts étaient alors fortement inclinés vers l'arrière pour améliorer leur tenue de face simple sans avoir recours aux barres de flèche et à un gréement dormant compliqué. D'où le qualificatif de « bermudien » pour ce gréement qui ressemble fort à ceux utilisés actuellement, même si la quête de celui-ci reste trop exagérée pour un gréement moderne.

La multiplication des voiles

En naviguant « tout dessus », une goélette aurique peut porter jusqu'à huit voiles simultanément ! Seul le « fisherman », qui s'établit au niveau des piques entre les deux mâts au vent de la misaine, demande une présence humaine haut perchée pour permettre de brasser la voile et de la faire passer sur l'autre bord à chaque virement. De la haute voltige !

► États-Unis par des voiliers de course qui utilisaient ce type de gréement car la surface de voilure ainsi obtenue, en particulier parce qu'il y avait la possibilité de gréer une grande voile d'étai, n'était pas taxée et leur handicap était extrêmement favorable pour des courses disputées aux allures portantes, comme la Transpac ou la course des Bermudes. À l'instar du ketch, le yawl peut être gréé en cotre, avec un gréement en tête ou fractionné. Que de possibilités !

La goélette

On l'a souvent décrit comme l'un des gréements les plus élégants. Contrairement au ketch et au yawl, le mât avant est plus petit ou égal en hauteur au mât arrière (le ketch peut, dans les cas extrêmes, avoir un mât arrière prati-



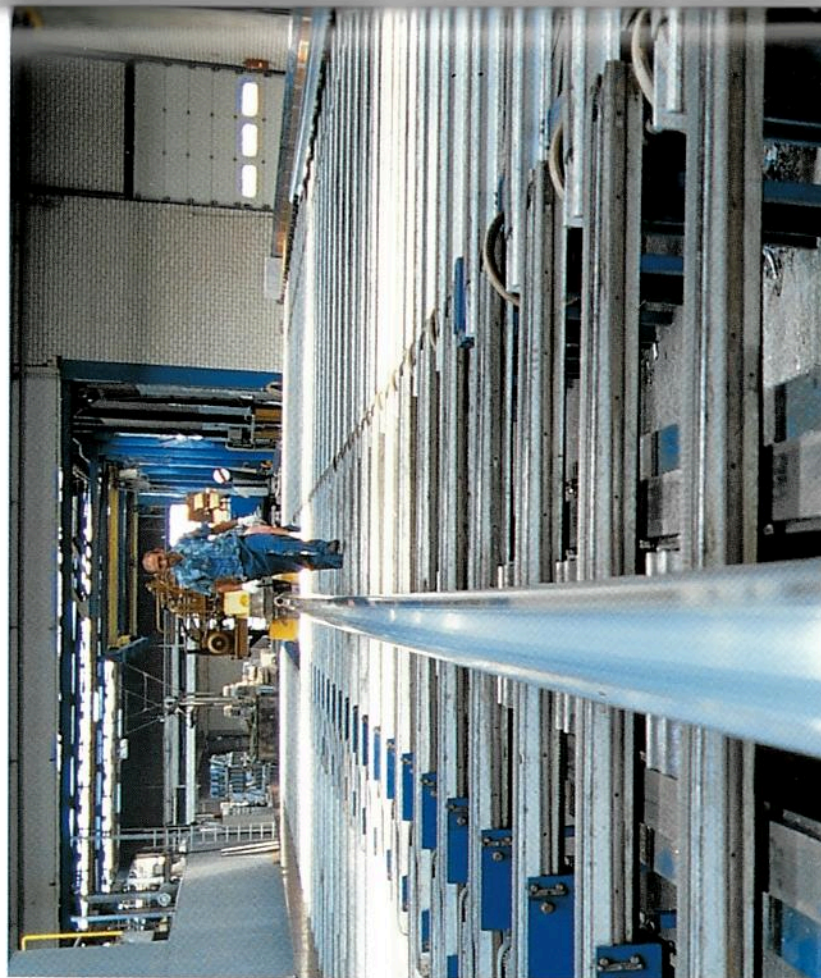
L'élégance est l'une des caractéristiques du gréement de goélette.

quement égal à celui de l'avant...). On appelle alors le mât avant « mât de misaine », et la voile porte le même nom, alors qu'à l'arrière subsiste la grand-voile. Comme dans les gréements divisés du ketch et du yawl, le but d'une goélette est de multiplier les voiles afin de les rendre plus maniables, de faciliter l'équilibre général en augmentant la plage de réglages et de diminuer la hauteur du centre de voilure par mauvais temps (comme un ketch d'ailleurs). Il est rare de trouver des goélettes en dessous de 18 mètres, et aujourd'hui ce type de gréement est vraiment tombé en désuétude car il n'est pas très performant au près. En outre, la complication du gréement dormant augmente le prix de revient du voilier de façon importante, encore plus que dans un ketch ou, a fortiori, un yawl.

■ La conception d'un mât

“ Même s'il est un des équipements les moins valorisés d'un voilier, le mât en aluminium requiert un rigoureux processus de fabrication. Toutefois, il nécessite également une main-d'œuvre importante pour la pose de l'équipement et, de ce fait, reste un produit plutôt artisanal qui s'adapte souvent à la personnalisation voulue par le client. Il faut remarquer que si les filières de fabrication se trouvent majoritairement à l'étranger, la France demeure le premier fabricant d'espars pour les voiliers de série. ”

La fabrication du profil	18
Naissance d'un profil de mât	22
La mécanique du mât	26
La protection de l'espar	37



À la sortie de la filière, le profil est stocké sur un tapis roulant pour lui permettre de refroidir sans déformation.

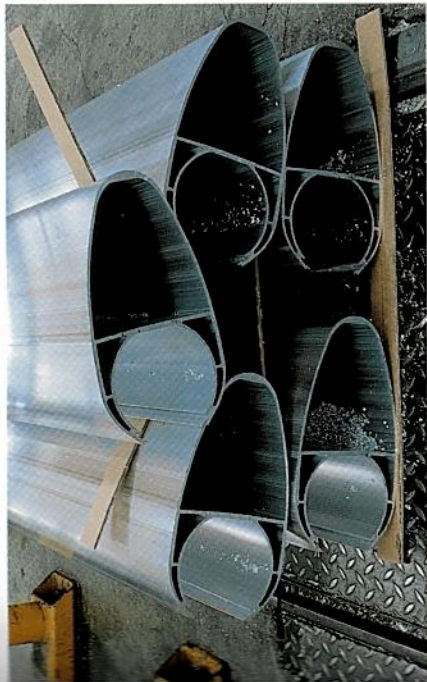
■ La fabrication du profil

La transformation d'un tube d'aluminium en mât pour voilier de plaisance n'a rien de très spectaculaire. Elle est pourtant soumise à un procédé rigoureux. Le fabricant de mât auquel vous vous adressez pour commander un nouvel espar est en fait un assembleur.

La filière, les extrusions, les profils

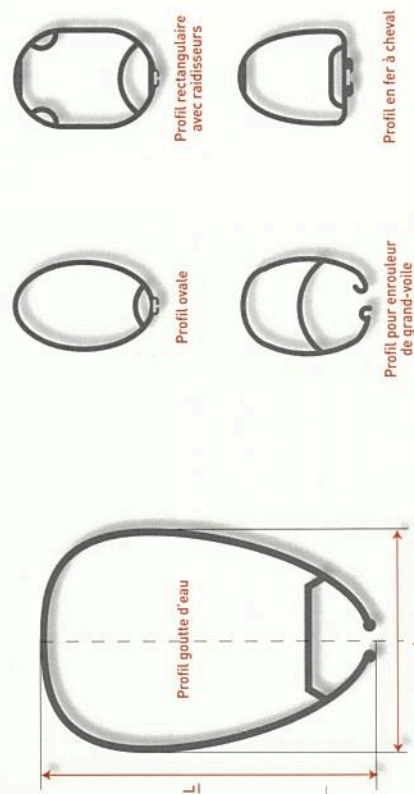
Le tube, ou profil, est extrudé dans une usine spécialisée, qui fournit également l'industrie pour d'autres applications. Basées, pour l'Europe, en Belgique ou en Hollande (mais la Chine est aussi devenue un producteur d'importance), ces usines sont en fait dépositaires de filières – de moules en quelque sorte – qui sont la propriété des fabricants de mâts. À chaque filière correspond une section, fruit du dessin et des calculs du fabricant, qui possède de

ce fait une exclusivité de son profil, même si pour chaque dimension le résultat final est très proche d'un fabricant à l'autre. Ainsi, Z-Spars propose 19 types de profils pour les mâts de voiliers de croisière classiques et 16 autres spécialement pour les mâts à enrouleur de grand-voile intégré au profil. Les références des profils de mâts s'expriment en kilos par mètre (kg/m), une caractéristique servant à déterminer la taille et le poids du tube d'aluminium par rapport au moment de redressement du voilier (voir plus loin).



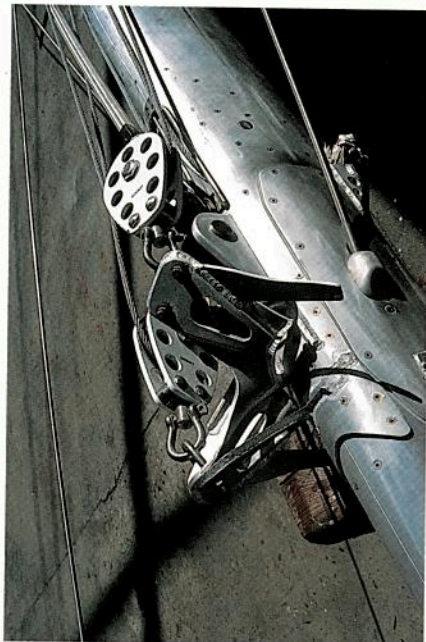
Ces profils de mât à enrouleur de grand-voile ont été coupés aux dimensions.

■ Caractéristiques des profils



Suivant les usages et les calculs des fabricants, les mâts adoptent des profils variés.

Température de fusion
L'alliage d'aluminium utilisé pour la fabrication des mâts devient liquide (en fusion) à 655 °C et se solidifie à 605 °C.

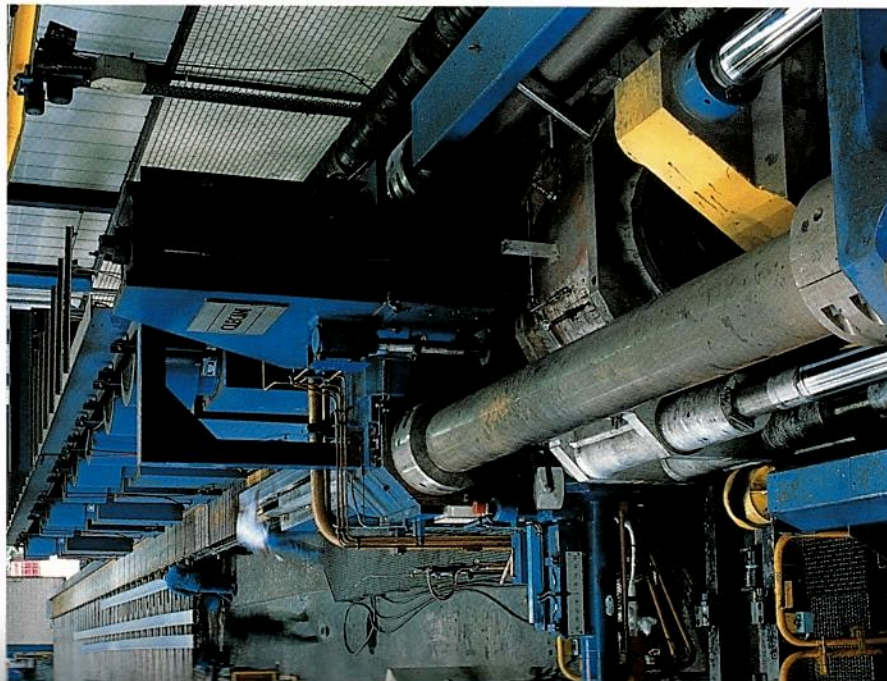


La grande famille de l'aluminium

Le code de référence de l'alliage d'aluminium 6005 – abréviation chimique : Al SiMg – employé pour la fabrication des mâts fait partie d'une série de huit variantes référencées de 1000 à 8000. La série 6000 se compose donc d'un alliage comprenant du magnésium et du silicium qui optimisent les caractéristiques mécaniques, mais également facilitent les soudures à l'arc, améliorent la tenue à la corrosion, offrent une excellente protection par anodisation et réduisent la déformation à chaud. Cet alliage est particulièrement étudié pour

les utilisations structurelles avec, dans le cas du mât, une bonne tenue à la compression et une bonne stabilité inertielle. Dans cet alliage, on trouve également du fer, du cuivre, du manganèse, du chrome et du zinc en très petites quantités, l'aluminium représentant plus de 95 % de l'alliage. Le qualificatif T6 que l'on trouve ici associé à la série 6005 signifie le type de traitement thermique et chimique subi par l'alliage, en l'occurrence trempé et revenu, ce qui améliore ses qualités dans plusieurs domaines.

À partir de l'alliage d'aluminium coulé dans ces filières – la référence 6005 T6 (voir encadré ci-dessus) est très utilisée pour tout type d'accastillage en aluminium à usage nautique, donc dans un environnement salin –, on extrait un tube de longueur standardisée pour la facilité de transport. Ainsi, Z-Spars a choisi des tubes de 18 mètres, longueur qui correspond à la dimension maximale admise dans ses bassins d'anodisation de La Rochelle. Mais les longueurs peuvent varier à l'envie jusqu'à près de 30 mètres. Ces tubes nus sont ensuite convoyés en France, la plupart du temps par camion, où ils sont anodisés (certains fabricants reçoivent des tubes déjà traités), puis équipés et assemblés pour en faire des mâts prêts à être commercia-



Cette longue machine-outil est une filière servant à la fabrication des profils de mât avec, au premier plan, le tunnel de chauffe.

lisés. Cette conception peut générer des mâts dépassant largement les 40 mètres de haut une fois « manchonnés », c'est-à-dire assemblés entre eux par des manchons.

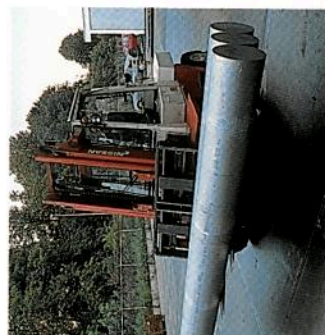
L'alliage d'aluminium utilisé ne change pas suivant les tailles de mât. Auparavant, pour les voiliers de course, les alliages à haute ténacité étaient réservés aux mâts à très faible section pour lesquels le poids au mètre par rapport à la résistance à la compression et à la flexion était capital. D'ores et déjà, les mâts en carbone dominent totalement ce marché et l'aluminium a été abandonné dans le secteur des voiliers de course, excepté pour certaines classes monotypes de petite et moyenne taille.



Le bloc d'aluminium à la sortie de la filière.

■ Naissance d'un profil de mât

La transformation d'un bloc de métal brut en un profil de mât est une opération complexe que l'on appelle le filage. Elle consiste à chauffer le bloc brut – la billette – afin de le contraindre, sous une pression de plusieurs milliers de tonnes, à passer dans une filière qui lui donne la forme du profil. Ce reportage photos a été réalisé chez Nedal, aux Pays-Bas.



Ces blocs d'aluminium, appelés « billettes », constituent la matière première. Ils sont préalablement chauffés avant d'être introduits dans la filière.



Chauffée à 450°, la billette d'aluminium est poussée dans la filière par une presse hydraulique de 5 500 tonnes.

C'est la forme de la filière qui détermine le type de profil.

À sa sortie, les premiers mètres du tube, inévitablement déformés, sont inutilisables.



Le tube peut être composé de plusieurs billettes pressées successivement.

Une scie circulaire coupe le profil à la longueur désirée : 20 mètres pour ce mât à enrrouler.

Le rétreint

C'est une des opérations réalisées manuellement par le fabricant. Il s'agit de découper de façon très précise une étroite surface de métal sur la face avant supérieure du mât, de rapprocher ensuite les deux parties avec une presse puis de refaçonner le mât par une grande soudure. Le rétreint, majoritairement utilisé par des voiliers de sport muni de grément 3/4, permet de diminuer le poids dans les hauts, de réduire la traînée aérodynamique et de faciliter le cintrage harmonieux de la partie haute du mât.



Un rétreint se réalise en découpant une langue de métal sur la face avant du mât.

Le manchonnage

Cette opération est destinée à réunir deux bouts de mât pour n'en former qu'un seul tout en conservant des caractéristiques de résistance équivalentes à celles d'un tube d'une seule pièce. En général, on manchonne un mât parce qu'il dépasse des mensurations maximales de transport, que ce soit sur la ridelle d'un camion ou bien encore parce qu'il est expédié en container. Les manchons sont des pièces de mât de un mètre environ et qui sont conçus pour cet usage puisqu'ils sont d'un diamètre plus petit que le mât lui-même. Riveté de façon rigoureuse, un manchon n'ajoute que très peu de poids au mât, au maximum la valeur équivalente de son poids au mètre.

Les mâts à enrrouleur

Même si cela reste une solution séduisante et pratique, le mât à enrrouleur n'a pas vraiment percé en croisière, notamment à cause de son surcoût, mais également parce qu'il implique une diminution notable des performances à cause de la diminution de la surface de grand-voile. Ce type de mât possède une filière spéciale car le tube possède une paroi interne (voir photo ci-contre), qui isole l'enrouleur du reste du tube. Cette paroi fait également of-

Surprise

Les monotypes
Surprise de chez
Archambault
possèdent des mâts
avec un rétreint.
Il y en a toujours en
stock chez Z-Spars,
au cas où !



Un manchon est une pièce spéciale et non un bout de mât retailé.

fiée de raidisseur car un mât à un enrrouleur doit rester absolument raide pour éviter tout problème lors de l'enroulement de la voile. Le fabricant livre le mât avec l'enrouleur déjà monté car il est assez difficile d'intervenir plus tard à l'intérieur de la coquille.

Malgré la désaffection de la clientèle de particulier, le mât à enrrouleur reste assez prisé parmi les flottilles de location, notamment parce qu'il permet aux équipages novices de réduire et de stocker la voile facilement (elle est également protégée du soleil), mais aussi parce qu'il a été prouvé que ce type de dispositif est moins sujet aux avaries de grément (cafoillage dans les prises de ris) lorsqu'il faut réduire, dès lors que le voilier est aux mains de débutants.



La section d'un mât à enrrouleur possède une partie isolée pour la voile.

■ La mécanique du mât

D'apparence très simple, le mât en aluminium d'un voilier de croisière est beaucoup plus élaboré qu'un simple tube industriel. Il obéit à des calculs prenant en compte des dizaines de paramètres, dont les caractéristiques architecturales du voilier sur lequel il est installé, mais aussi l'aérodynamique plus ou moins prépondérante suivant l'usage, course ou croisière, la complexité du gréement avec les barres de flèche et le haubannage intermédiaire, l'emplanture, les coefficients de sécurité et enfin l'esthétique, un détail qui se soigne pour valoriser le voilier de façon significative.



Un mât en aluminium est le fruit de savants calculs.

Calculs et préconisations

Les facteurs qui permettent d'établir les caractéristiques du profil d'un mât se réfèrent aux calculs réalisés par le fabricant du mât et l'architecte du bateau.

Calculs qui doivent également prendre en compte les préconisations des organismes de certification, comme le bureau Veritas.

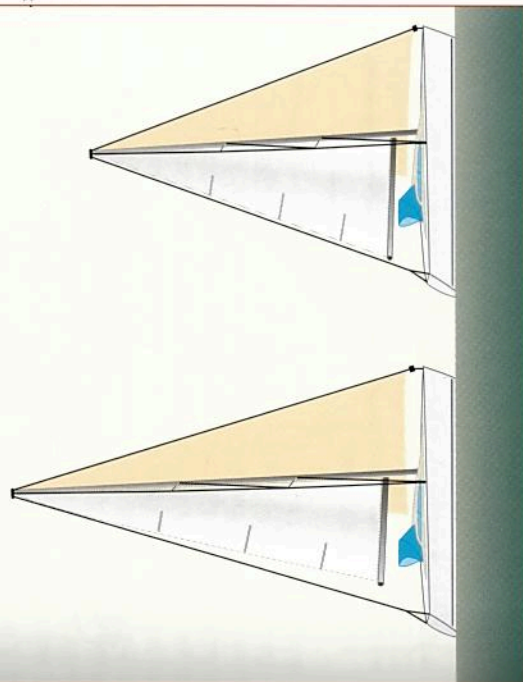
Plusieurs facteurs influencent donc l'élaboration d'un mât :

1. la hauteur de l'espar ;
2. le moment de redressement du voilier ;
3. la compression ;
4. l'inertie du mât ;
5. la section et l'aérodynamique ;
6. le type de gréement, fractionné ou en tête ;
7. le nombre de barres de flèche, poussantes ou en plan ;
8. la largeur de l'ancrage du gréement au niveau du pont ;
9. l'installation, sur épontille ou emplantée sur quille ;
10. l'esthétique.

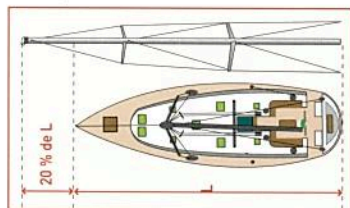
1. La hauteur de l'espar

Elle dépend essentiellement de la surface de voilure nécessaire pour la propulsion du voilier, cette surface dépendant elle-même du moment de redressement du voilier (voir paragraphe suivant), c'est-à-dire sa capacité à porter cette voilure sans que le bateau ne se couche sur l'eau à la moindre rafale de vent. D'où l'importance du poids du lest, de sa profondeur et de la largeur du bateau qui conditionne en général le volume immergé de la carène à la gîte. Toutefois, plus le plan de voilure est élané, meilleur est le rendement aérodynamique. L'idéal serait de se rapprocher du profil d'une aile d'avion !

■ Gréement élané, gréement ramassé



Suivant la hauteur, les mâts varient en poids, exprimé au mètre.

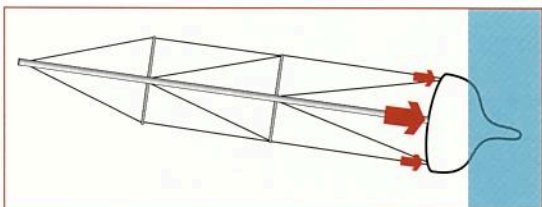


La longueur du mât est généralement égale à la longueur du bateau plus 20 %.

Car plus l'allongement est important par rapport à la base (la largeur du plan de voilure, foc et grand-voile), moins il y a de traînée aérodynamique, c'est-à-dire du vent turbulent à l'arrière des voiles et qui ne sert pas à la composante propulsive. Mais plus l'espar est haut, plus il est difficile de le maintenir de façon rectiligne sans engendrer une compression totalement irréaliste en regard de la structure d'un mât destiné à la croisière et également de la structure liée à la coque. En général, la plupart des voiliers modernes de série posent un mât dont la hauteur (au-dessus du pont) est 20 % supérieure à la longueur du voilier. Le pourcentage est beaucoup plus élevé pour un voilier de course mais varie énormément suivant les contraintes liées à la jauge (le handicap des voiliers de course) qui limite les excès ou les pénalités.

2. Le moment de redressement

Comme un culbuto, un voilier reste en position plus ou moins verticale grâce au rappel de son lest lorsque le vent appuie sur les voiles. Voilà la vision simpliste. Dans la réalité, le voilier reste stable autour de sa verticalité grâce à de savants calculs qui font ressortir l'importance du moment de redressement. Le résultat de ce calcul dépend du poids du voilier et de la distance horizontale (du bras de levier, exprimé en tonnes par mètre) entre le centre de carène et le centre de gravité (voir dessin ci-dessous). En résumé, grâce à son rapport de lest, un voilier revient à l'endroit jusqu'à ce que le centre de gravité s'oppose positivement au centre de carène. Il y a ensuite équilibre instable, puis le voilier bascule de façon négative. C'est pour cette raison qu'un



Dans la force de compression du mât, la composante la plus importante provient de l'étai avant.



Conséquence de la pression du vent sur les voiles, plus le voilier gîte, plus la compression exercée sur le mât augmente.

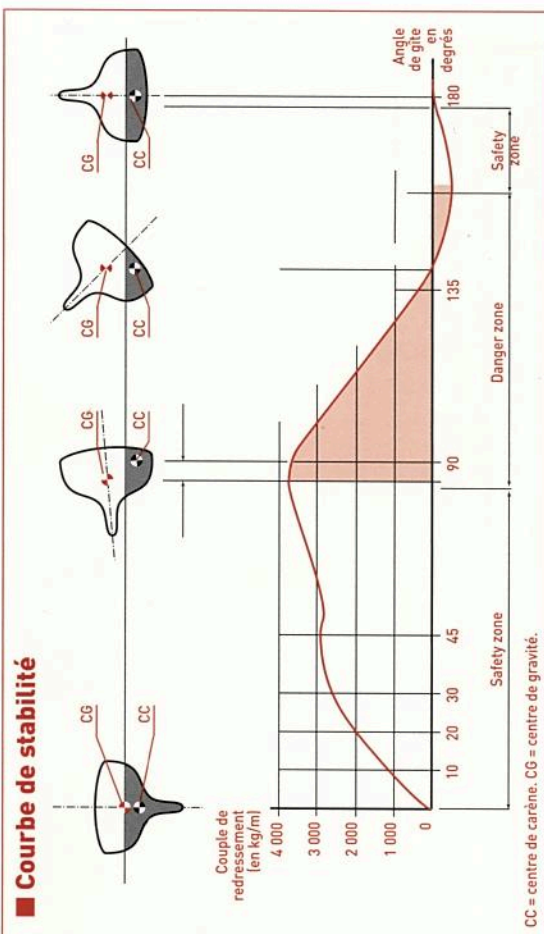
voilier est quelquefois plus stable à l'envers qu'à l'endroit ! Bref, un mât doit donc être suffisamment résistant et bien étayé pour encaisser les efforts du couple de rappel générés à la fois par le lest et la stabilité de forme procurée par le volume de carène.

3. La compression

Quand le mât est en place, gréement raidi, la compression au pied de mât générée par la tension du gréement peut atteindre plusieurs tonnes en mesure statique, voire des dizaines de tonnes en mesure dynamique (saut de vagues en mesure verticale, ralentissement dans les vagues en mesure inertielle) sur la plupart des voiliers de croisière dont la stabilité maximale se situe à 45° de gîte. La compression s'accroît avec le déplacement, souvent corollaire de la taille du voilier. La compression dépend aussi du poids du mât, ajoutée à la tension du haubanage. Un mât qui ne résiste pas à la compression « flambe », c'est-à-dire qu'il s'écroule sur lui-même, victime de la rupture mécanique du métal.

Ce qu'il faut retenir.

L'effort de compression du mât d'un voilier de croisière est sensiblement égal à son déplacement (poids en charge).
La compression dynamique multiplie les chiffres statiques par 1,5 à 2, ce qui correspond au facteur de sécurité maximal admissible avant flambage ou rupture d'un des éléments du gréement dimensionné en fonction de la compression maximale permise.



La courbe de stabilité détermine les efforts maximaux qu'un mât peut supporter.

440 tonnes !

Telle est la valeur de compression du mât en carbone de 90 mètres de Mirabella V. Ce plan Ron Holland, de 75 mètres de longueur hors tout, est le plus grand sloop jamais construit dans le monde.

4. L'inertie du mât

De l'extérieur, on ne voit en général rien qui pourrait informer le plaisancier sur l'épaisseur d'un mât par rapport à la forme de sa section. Ce sont pourtant des facteurs qui influent directement sur la raideur intrinsèque du mât qu'on appelle « le moment d'inertie ». Les valeurs qui déterminent l'inertie sont fonction de l'épaisseur, pas forcément linéaire dans sa circonférence, du matériau du mât (l'alliage d'aluminium) et de la position de sa section par rapport à un axe neutre... Parce que l'inertie est fonction de la surface exposée multipliée par la distance jusqu'au point neutre, il y a plusieurs façons d'obtenir une valeur inertielle en jouant sur l'épaisseur des parois du mât et sur la grosseur de sa section (voir tableau ci-dessous). On s'aperçoit que, pour une même valeur inertielle, on peut concevoir un mât deux fois plus lourd que l'autre mais possédant un diamètre d'à peine 25 % inférieur. Mais il ne faut pas aller trop loin en terme de diminution de poids sous peine de voir le mât flamber à la compression ou de se retrouver avec un tube de section incompatible avec une bonne aérodynamique ou beaucoup trop lourd. Généralement, un mât moderne de croisière est donc conçu pour un bon compromis entre le poids, l'aérodynamique et l'industrialisation possible, relative au prix de revient tout en respectant des facteurs de sécurité élevés.

De l'influence des vagues sur l'inertie du mât

Une bonne inertie longitudinale permet de conserver un mât raide lorsque le voilier fait face à une mer forte. Soumis à de violentes accélérations à cause d'un tangage trop important, le mât peut faire « ventre » arrière ou avant, entraînant sa chute, le haubannage perdant alors la tension de soutien nécessaire.

■ **Tableau comparatif de l'inertie par rapport à la section des mâts**

Diamètre extérieur (mm)	Épaisseur de la paroi (mm)	Inertie (cm ⁴)	Surface (cm ²)	Poids (kg/m)
200	10	2 700	59,7	0,16
160	29,5	2 706	120,9	0,32

Si l'on veut diminuer le diamètre du mât en lui conservant la même inertie, il faut augmenter l'épaisseur, ce qui a pour incidence d'augmenter le poids.

5. L'aérodynamique

En aérodynamique, la forme la plus efficace ressemble au profil d'un œuf, la partie la plus volumineuse étant en avant de son profil de pénétration dans l'air. Dans la pratique, il est rare de concevoir des objets se référant de cette forme idéale et le mât n'y échappe pas, même si certains mâts de dériveur s'en approchent. Hormis le fait qu'un mât mal profilé va générer de la traî-

née, il va surtout compromettre l'écoulement laminaire de l'air le long du guindant de grand-voile. La composante propulsive de la grand-voile va s'en trouver affectée, et le rendement global va diminuer. Ceci est important car un voilier ne va pas vite, par rapport à un véhicule, et dépend pour se maintenir au plus haut des chiffres du spectromètre du rendement de ses voiles.

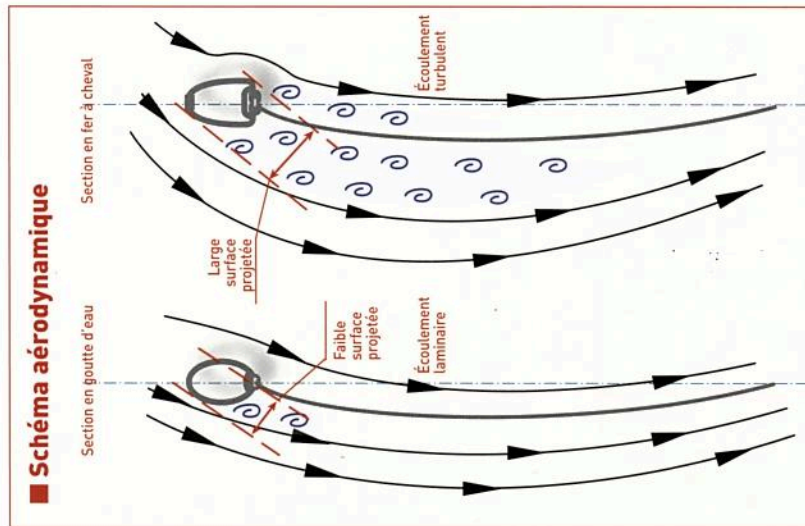
Toutefois, si chaque gramme de traînée aérodynamique supplémentaire reste un souci permanent pour le régatier, le croiseur cherche plutôt un bon compromis entre la solidité de l'espar, le prix de revient et la technologie mise en œuvre. De cette façon, il existe vraiment deux familles de mâts (trois, avec les mâts à enrouleur de grand-voile intégré) : les mâts de croisière et les mâts de course, dorénavant majoritairement en carbone.

Pour la croisière, le compromis structure-poids-aérodynamique tend vers une forme en fer à cheval alors que la goutte d'eau régnait dans l'univers de la course (voir dessin ci-contre), même s'il existe de nombreuses variantes, en particulier celles qui sont relatives à l'intégration ou non du rail de guindant dans le profil. On notera qu'un mât est fixe – un mât aile de multicoque s'oriente dans le lit du vent – et offre un profil différent suivant l'allure par rapport au vent. Le compromis aérodynamique d'un espar fixe tient compte de cette particularité mais c'est l'allure de près qui reste privilégiée, le dessin général étant réalisé dans ce sens.

6. Gréement fractionné ou en tête

Parce qu'il s'accorde mieux avec les accessoires des voiliers de croisière modernes comme les enrouleurs, le gréement en tête équipe la grande majorité des voiliers de croisière au-dessus de 10 mètres de long. Il a longtemps été associé avec le gréement à barres de flèche en plan, mais les barres de flèche poussantes, dorénavant très répandues, permettent aussi de concevoir des gréements fractionnés pour les plus grandes tailles.

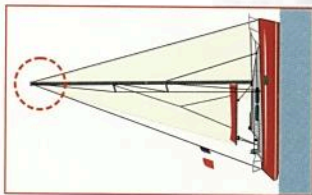
Toutefois, l'avantage du gréement en tête reste sa simplicité de réglage et le peu de sophistication du profil de mât, ce qui permet de limiter le prix de revient. Bien maintenu par l'étai, le pataras et des barres de flèche poussantes



La section en fer à cheval est nettement moins aérodynamique. D'une part parce que la zone de turbulence est plus importante et répartie des deux côtés de la voile et d'autre part parce que les filets d'air dans l'écoulement laminaire sont davantage déviés.

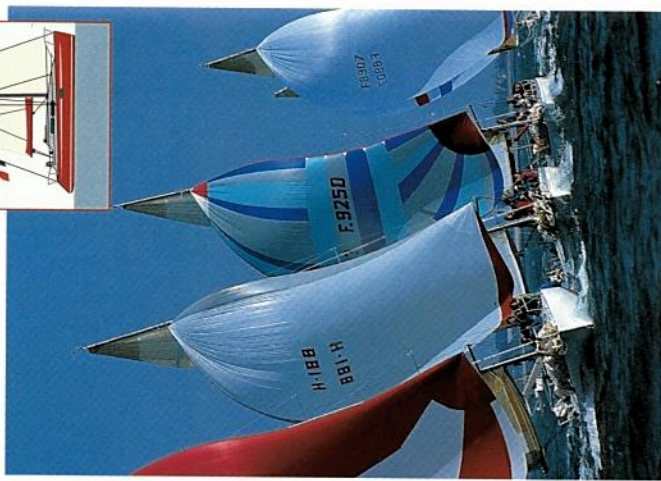
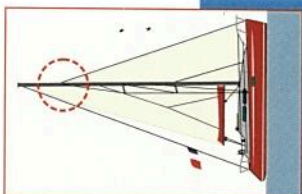
À propos des bastaques

Les bastaques servent à reprendre les efforts d'un étai intermédiaire. Elles sont majoritairement utilisées sur les grosses unités pour soutenir les débâtements du mât dans la mer formée.



qui permettent de précontraindre le profil afin de se passer de faux étai (ou bas-étai), le gréement en tête s'accorde bien avec des déplacements médium qui ne demandent pas de réglages sophistiqués. Pour les voiliers de performance à la structure extrêmement rigide, il est en général emplanté sur la quille, même si cela ne comporte pas que des avantages.

Le gréement fractionné se répartit en plusieurs genres, classés par proportion : 7/8 ; 9/10^e, etc. Ces valeurs représentent schématiquement la hauteur du capelage (l'ancrage) de l'étai principal sur le mât par rapport à la hauteur totale. Le premier intérêt d'un gréement fractionné est de diminuer légèrement la compression au pied de mât et de pouvoir accorder la courbure du mât (s'il s'y prête !) avec la forme de la voile suivant la force du vent. Bien qu'un gréement à barres de flèche poussantes offre une certaine garantie de tenue pour un gréement fractionné (un gréement en plan demande l'usage de bastaques à la manipulation assez contraignante), ce type de gréement s'est généralisé pour l'usage de voiliers à tendance sportive qui sont aussi des déplacements légers.

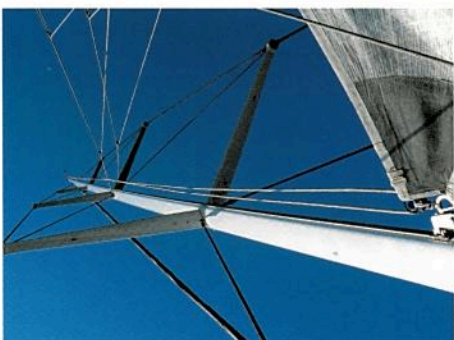


Les voiliers de série modernes sont très souvent équipés de gréements en tête ou à peine fractionnés, comme ce Dufour à gauche. Les gréements 3/4 sont plus largement employés sur les voiliers de course.

7. Les barres de flèche poussantes ou en plan

Le changement de génération de gréement, des barres de flèche en plan aux barres de flèche poussantes, s'est opéré il y a presque quinze ans. Les filières de mât ont été en partie modifiées et les fils adaptés avec une meilleure raideur longitudinale pour s'accommoder d'une simplification du gréement dormant. Le faux étai a en général disparu et les éventuelles bastaques, mêmes volantes, ont également été supprimées. Les barres de flèche poussantes sont généralement angulées à 15° vers l'arrière et permettent grâce à la tension suffisante de l'étai principal, de l'inertie du mât et de la tension des haubans, de maintenir de gréement l'espacement longitudinal qu'en latéral. Ce changement en termes de facilité a été l'une des plus belles avancées de la plaisance en matière de manœuvre parce qu'il est associé avec un plan de voilure beaucoup mieux réparti.

Le nombre de barres de flèche est en général fonction de la hauteur du mât et de son inertie (grosseur et poids). On peut compenser une inertie faible en élargissant le mât par multiplication des étages de barres de flèche et du haubannage correspondant ; mais cela implique un réglage minutieux et des risques que seuls les armateurs de voiliers de course sont prêts à prendre. Le prix de ce type de mât, et du gréement qui va avec, le réserve à une élite. Le carbone a d'ailleurs remplacé ces fragiles tubes en aluminium, devenus trop extrêmes dans leur conception.



Ci-contre, un gréement à trois étages de barres de flèche poussantes. Notez qu'il n'y a ni bas-étai, ni patacas, ni bastaques.



Gréement poussant.



Gréement en plan.

8. La largeur de l'ancrage du gréement au niveau du pont

La généralisation des barres de flèche poussantes a été concomitante avec la modification de la répartition des surfaces du plan de voilure. Les génois énormes, héritage des jauges de voiliers de course (comme celles du CCA, du RORC puis de l'IOR) qui régnèrent jusque dans les années 1980, ont progressivement disparu. Aujourd'hui, la plupart des voiliers de série possèdent une grand-voile de surface égale à celle du triangle avant. Les voiliers de course ont, pour leur part, une grand-voile plus importante, facilement maîtrisable grâce à un gréement fractionné et des voiles en composite qui conservent leur forme même dans les vents forts. Avec la quasi-disparition des génois à fort recouvrement (au-delà de 130 %) est apparu un type de gréement moins contraignant. Les cadènes, auparavant très rentrées, repoussent désormais le haubannage au niveau du livet de pont, ce qui diminue la com-

Renforts des voiles
Il est recommandé de protéger la grand-voile avec des renforts de tissu au niveau des points d'usure sur le gréement. Ces renforts doivent correspondre au frottement de la voile sur les embouts de barres de flèche poussantes quand la navigation se fait au portant.



Sur le Dufour 425, à gauche, l'ancrage du gréement sur le pont est étroit (on distingue les cadènes à l'intérieur des passavants), alors que sur le Bavaria 32, à droite, les cadènes sont visibles à l'extérieur de la coque. Selon les cas, les focs sont bordés à l'intérieur ou à l'extérieur des haubans.



pression, donc la taille et le poids du mât à déplacement équivalent. Structuellement, il n'y a plus de reprise de cadènes par stratification sur les cloisons intérieures ou bien de tirants capables de reprendre la continuité des efforts du haubanage. Bref, la simplification sert à la fois la manœuvre, la construction de la coque et, indirectement, influe à la baisse sur le prix de revient du voilier. Il est difficile de généraliser pour tous les voiliers la diminution de la compression en fonction de l'élargissement des cadènes au niveau du pont. Mais une telle architecture permet souvent aux concepteurs d'optimiser le profil du mât (poids au mètre plus faible) tout en conservant un même coefficient de sécurité. Encore une fois, le propriétaire de ce nouveau type de voilier y gagne en terme de performance – allègement général – et en terme de budget – coût de l'ensemble du gréement moins élevé.

9. Installation sur épontille ou emplantée sur quille

Bizarrement, un mât posé sur une épontille offre une tenue équivalente à celle d'un mât emplanté sur la quille. Cela se mesure essentiellement au niveau du sabot de pont qui offre un maintien un peu supérieur à un mât traversant le pont avec un étambrai. Ceci vaut pour un voilier de croisière, moins pour un voilier de course qui recherche une triangulation entre haubanage, cadènes et pied de mât pour répartir harmonieusement les efforts de compression, notamment plus élevés avec un mât en carbone. L'épontille a l'avantage d'une section nettement diminuée par rapport au mât, et donc d'un habillage plus facile dans le carré, qu'elle soit en inox et bien visible ou dissimulée derrière une cloison. Cette disposition facilite également les manœuvres de mâtage ou démâtage, et annihile tous les problèmes d'étanchéité au niveau de l'étambrai pour un mât traversant. Le mât posé sur le pont suppose également le cheminement de l'eau (embruns, pluie) qui pourrait cir-

Etanche

Un mât posé sur le pont supprime tous les problèmes d'étanchéité et d'évacuation de l'eau d'un mât emplanté sur la quille. Il est aussi beaucoup plus facile à mâtier et à régler. Il s'impose en croisière.



A bord de l'Océanis 40, on distingue au centre l'épontille de mât qui permet de reporter les efforts de compression du mât sur la quille et les deux tirants de cadène qui, eux, reprennent les efforts des haubans.

culer jusque dans les fonds à partir des ouvertures de réas ou les « lumières » de passages de drisses. On retiendra aussi que les mâts posés sur le pont se règlent également beaucoup plus facilement.

10. L'esthétique

Un mât possède-t-il des valeurs d'esthétique particulières ? C'est en tout cas par souci d'intégration esthétique que les fabricants de mâts font de gros efforts pour figurer les attaches de barres de flèche, leurs profils, les ancrages de haubans, les sorties de réas, le rail de guindant et l'intégration générale de l'accastillage. Comme dans l'industrie automobile, la qualité perçue d'un voilier s'exprime autant dans le dessin du matériel que dans son



Sur un voilier, tel le Tofinou 8 m, le mât peint participe à l'esthétique.

Au bain !

Un mât en aluminium déjà anodisé ne peut être peint, même si l'on vous affirme le contraire. En revanche, si l'on veut rajouter un mât déjà anodisé, il est possible de lui faire couler un bain !

Un mât et un gréement à la carte

Grâce à l'informatique, un particulier peut personnaliser toute sa mâture dès la commande au fabricant. Toutefois les calculs d'efforts, météorologiques, en jeu les facteurs de sécurité et de performance, proviennent à la fois de l'architecte du voilier et du fabricant d'espars.



Avec des programmes informatiques élaborés, la conception d'un mât a évolué vers plus de fiabilité et de performance.

Devis et échantillonnage du gréement

1. Calcul des inerties minimum nécessaires à la bonne tenue du mât (logiciel spécifique).
2. Calcul des diamètres nécessaires pour le gréement dormant (logiciel spécifique).
3. Vérification des angles du haubanage (logiciel spécifique).
4. Calcul des inerties minimum nécessaires à la bonne tenue de la bôme (logiciel spécifique).
5. Réalisation d'un préplan de fabrication.
6. Vérification du positionnement du gréement sur votre bateau (plan de pont requis).

Commande

1. Vérification des calculs précédents avec les dernières informations reçues.

2. Réalisation du plan définitif de mât par ordinateur (logiciel spécifique) et envoi au client pour acceptation.

3. Création de la nomenclature (liste détaillée des équipements) pour ce plan (logiciel spécifique).

4. Vérification de la compatibilité du mât et de la bôme avec le plan de pont.

5. Vérification de l'adéquation du gréement dormant avec le mât.

6. En cas de commande d'un enrouleur de géniois Z, vérification de la compatibilité de l'enrouleur de géniois et du gréement dormant.

7. Envoi au client des « informations voiliers » pour la fabrication de la grand-voile et, dans le cas d'un achat d'enrouleur de géniois Z, envoi des « informations aux maîtres voiliers » pour la fabrication du géniois.

aspect. À quoi bon soigner des détails de la silhouette du bateau en faisant appel à de coûteuses heures de bureau d'études si le mât se présente comme un tube sommairement raffiné.

Si l'anodisation règne en maître parmi les mâts réalisés en série, la peinture est une alternative plus valorisante pour les voiliers haut de gamme et des variations de couleur, noire ou blanche, sont parfois possibles, le noir étant même un trompe-l'œil pour simuler le carbone !

La protection de l'espar

L'agressivité du milieu marin, en particulier vis-à-vis des métaux, oblige à protéger le mât afin d'assurer sa longévité et sa fiabilité.

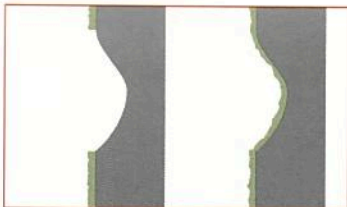
La corrosion de l'aluminium : mythe ou réalité ?

Sous un nom unique, il existe des centaines d'alliages d'aluminium destinés à des usages variés, mais ils partagent tous, avec plus ou moins d'efficacité, un dénominateur commun : une protection naturelle contre la corrosion.

Au contact de l'air, l'aluminium s'oxyde naturellement et sa surface devient passive et amorphe grâce à la formation d'une couche micrométrique que l'on appelle alumine. Cette couche forme une protection naturelle protégeant le métal contre la corrosion et se renouvelle constamment même après un impact. Cela reste la théorie car la multiplicité des alliages fait qu'ils ne sont pas tous égaux devant la corrosion et l'alliage choisi pour réaliser des mâts, par exemple, requiert une anodisation à la fois pour le protéger durablement et surtout conserver un aspect impeccable au fil du temps.

La corrosion d'un mât se manifeste le plus souvent par piqure. On peut l'observer sur certaines parties basses d'un mât ayant déjà reçu pas mal d'impacts. Cette corrosion provient d'un défaut de l'homogénéité de l'alliage lié à la présence de « particules intermétalliques » qui réagissent différemment et sont plus sensibles aux attaques acides, surtout après des chocs.

Sur les mâts très récents, il est plus rare de retrouver des attaques semblables, mais voilà donc une des raisons principales pour laquelle l'anodisation s'avère nécessaire.



Le dépôt micrométrique d'alumine sur l'aluminium correspond à quelques millièmes de millimètre d'épaisseur et se renouvelle constamment, même après un impact.



Même sévèrement endommagé et privé d'anodisation, un mât en aluminium peut rester sans protection aucune.

Anodisation ou peinture ?

D'un point de vue industriel et économique, l'anodisation est la protection contre la corrosion la plus simple, la plus efficace et la moins chère pour garantir au mât un aspect proche du neuf durant de longues années. Il s'agit d'un traitement de surface qui renforce la protection naturelle de l'aluminium – l'alumine – en déposant une couche d'oxyde supplémentaire. Ce traitement se fait par électrolyse, en immergeant le mât dans un milieu acide traversé par un courant électrique. Dans le cas d'un mât, cette nouvelle couche d'oxyde se dépose avec une épaisseur d'environ 10 micromètres. Cette protection par anodisation possède un pouvoir isolant électrique interdisant théoriquement la corrosion par piqûre, très courante sur les mâts en aluminium déjà anciens. L'ennemi de l'anodisation reste donc l'impact contondant pouvant détruire partiellement la couche d'oxyde et offrant un terrain localement favorable à la corrosion.

L'anodisation permet également de colorer à volonté la surface traitée. Ainsi, même si le « gris métal » reste la couleur de référence, on a vu dans les années 1970 des anodisations dorées pour les mâts de croisière, mais également de course et de dériveur.



Le bain de rinçage après anodisation chez Z-Spars. Le mât a été « machiné » à la commande numérique et donc préperce avant anodisation. Les bains ne dégagent aucune odeur...

La protection par peinture est généralement employée sur des mâts de grande dimension, équipant donc des voiliers de grande taille. Elle est utilisée parce que les bains d'anodisation de ces grands tubes sont rares et que la peinture offre un aspect plus chic qui sied à ces voiliers haut de gamme. L'application de cette peinture demande une préparation très soignée, en particulier pour les apprêts destinés à passer la sous-couche. En général, le cycle est semblable à celui appliqué dans l'aviation où les contraintes thermiques et mécaniques ont généré des produits parfaitement applicables en plaisance. En peinture, le blanc est largement majoritaire, mais le noir permet aussi d'imiter une finition carbone très prisée.



Un mât peint n'ajoute rien à la protection d'un mât en aluminium. La peinture, blanche ou noire, permet toutefois une valorisation esthétique d'un voilier.

La table galvanique de corrosion

Les métaux possédant une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire la capacité d'un métal à perdre ses électrons au profit d'un métal « noble », sont notés sur une échelle galvanique (dite de corrosion, donc permettant de juger la compatibilité des métaux entre eux). C'est ainsi que le zinc, couramment employé sous forme d'anode sous-marine pour contrer les phénomènes

Protégé
L'anodisation d'un mât dure environ quatre heures, rinçage compris, et les bains sont changés toutes les semaines environ, soit après l'anodisation de plusieurs dizaines de tubes (information Z-Spars). Contrairement à ce que l'on peut imaginer, il n'y a aucune odeur d'acide. Révissez le principe de l'électrolyse !

Isolez-vous !

Pour s'affranchir de l'électrolyse avec un mât en alu, il faut absolument éviter tout contact électrique avec le métal. Bonnissez donc tout raccord électrique dans le mât (électronique, feux de route) et privilégiez les câbles d'un seul tenant du capteur au calculateur, le pied de mât étant très exposé.

nes d'électrolyse, se désintègrera au profit d'un métal plus noble comme le bronze d'une hélice.

Dans le cas de l'aluminium d'un mât, l'anodisation supplémentaire de celui-ci lui permet de s'autoprotéger efficacement. Toutefois, on s'attachera à porter une attention toute particulière chaque fois que l'on perce l'alu avec des mèches en fer. Il faut en effet supprimer tout résidu et traiter passivement le trou (ou l'isoler avec un joint type Sika) afin de ne pas générer une amorce de corrosion, plus spectaculaire que grave il est vrai.

Le tableau ci-dessous indique la capacité d'un métal à créer un couple électrolytique (différence de potentiel) par contact avec un autre métal dans un environnement homogène d'eau douce à température de 25 °C. L'eau de mer étant évidemment un facteur aggravant.

On considère qu'une différence de potentiel de 0,15 V est acceptable, alors que 1 V de différence montré par cet index anodique entre le bronze et l'aluminium, par exemple, font de ce couple une vraie pile !

On notera que l'acier inox, qui comporte énormément de variétés, n'est pas montré ici dans toutes ses déclinaisons de qualité. L'inox 316 est l'inox le plus passif, le plus proche d'une neutralité absolue en terme de corrosion, mais il n'est pas systématiquement utilisé en accastillage de plaisance bien qu'il soit devenu la référence en terme de qualité.

De la même façon, certains alliages d'aluminium possèdent un couple galvanique deux fois moins élevé que celui montré ici, mais ils ne sont pas tous utilisés en plaisance car ils ne possèdent pas les caractéristiques mécaniques requises.

■ Table galvanique de corrosion

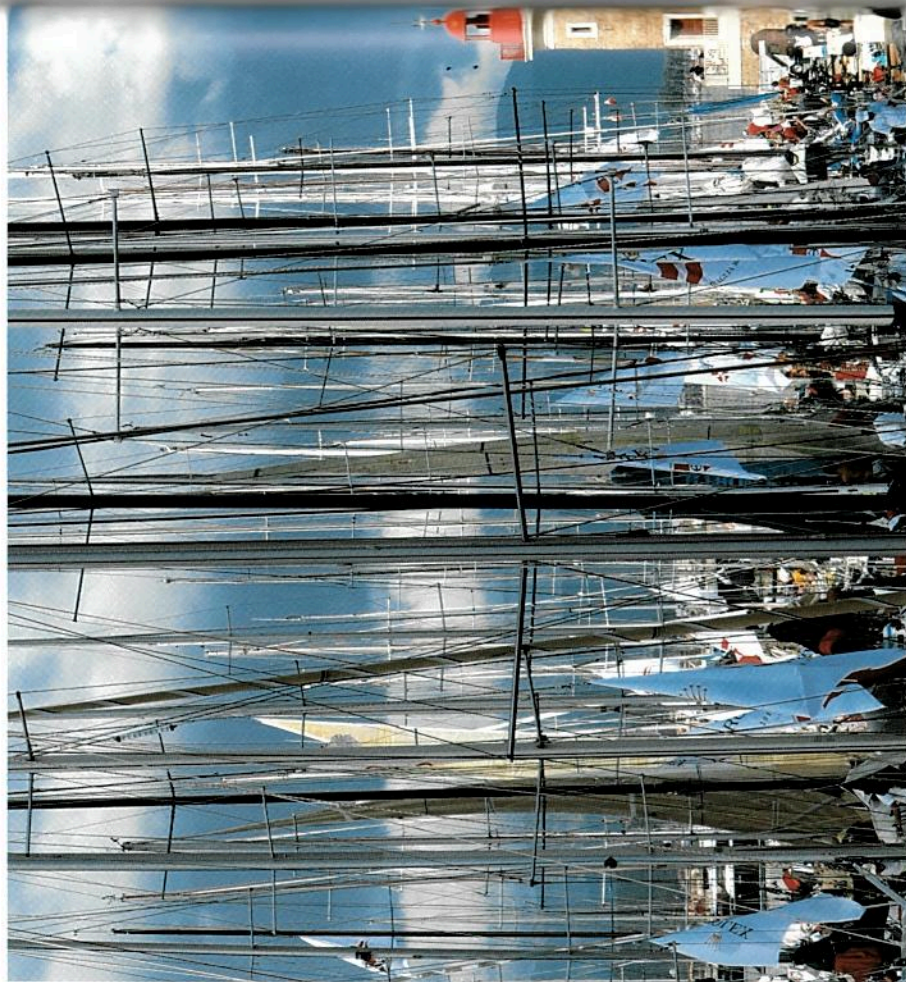
Éléments	Potentiel (en volts à 25 °C)	Éléments	Potentiel (en volts à 25 °C)
Lithium	-3,045	Plomb	-0,126
Magnésium	-2,340	Inox 316	-0,050
Aluminium	-1,670	Hydrogène référence de l'électrode	0,000
Manganèse	-1,050	Titane	+0,055
Zinc	-0,762	Cuivre	+0,340
Chrome	-0,744	Argent	+0,799
Fer et acier doux	-0,440	Carbone	+0,610
Cadmium	-0,402	Or	+1,420
Laiton	-0,350	Graphite	+2,250
Soudure plomb/étain	-0,325		
Cobalt	-0,277		
Nickel	-0,250		
Étain	-0,136		

Créer un effet de pile entre différents métaux est assez facile. S'en protéger aussi. Sur un mât en alu, poser des rivets inox n'est pas vraiment une aberration, sachant la neutralité de celui-ci.

■ L'accastillage du mât, composant essentiel

“ Torturé de toutes parts, un mât tient debout grâce à une série de pièces d'accastillage qui vont de la plus complexe, comme une tête de mât, à la plus simple sortie de drisse. Étant souvent hors de portée du plaisancier, l'accastillage de mât se doit d'être à la fois parfaitement fiable et offrir un niveau de performances élevé, malgré toutes les contraintes auquel il est soumis. Là encore l'aluminium se taille une belle part alors que l'inox demeure essentiel dès qu'il s'agit d'efforts importants. ”

La tête de mât	43
Ancrage des haubans et capelages	47
Barres de flèche, colliers et barreaux	51
Réas et cages à lumière	56
Accastillage riveté	56
Rail de grand-voile rapporté ou intégré	58
Passage de câbles, électricité et électronique	60



Au fil de l'évolution, les mâts se sont affinés, surtout parce que les calculs de haubanage se sont faits plus précis.

Le mât d'un voilier de croisière ne se résume pas à un simple tube en aluminium maintenu par des câbles. Il comporte un accastillage nombreux et varié, essentiel pour sa tenue et sa capacité à faire face à tous les types de vent et de mer. Question longévité, si les tubes d'aluminium traversent les années sans aucune altération, il n'en va pas de même des pièces d'accastillage. Celles-ci sont généralement conçues dans des matériaux différents et vieillissent donc différemment, notamment au niveau des assemblages et des liaisons. Ici intervient le rôle essentiel du fabricant du mât qui doit définir la position de l'accastillage, le type de matériel, le nombre d'accessoirs ainsi que le niveau de qualité nécessaire à la solidité et à la tenue dans le temps.

Le choix de l'aluminium pour le mât lui-même est guidé par un souci de légèreté et de résistance. La conception des pièces d'accastillage, dans un même souci de sécurité, doit obéir aux mêmes critères : solidité et durabilité tout en étant le plus léger possible. Il ne faut pas oublier que si l'on veut conserver le moment de redressement d'un voilier, c'est-à-dire sa capacité à porter la voile, tel que la définit l'architecte, il faut rester très rigoureux dans le choix des pièces d'accastillage. Chaque gramme supplémentaire placé dans le mât doit être en partie compensé par l'augmentation du poids du lest si l'on veut conserver un bon niveau de performances (la stabilité de forme étant aussi à prendre en compte). S'il y a augmentation du devis de poids dans le gréement, les performances risquent de diminuer car, comme dans tout mobile en mouvement, le poids c'est l'ennemi !



Attention à l'augmentation de poids dans le mât, ici un radar au premier étage des barres de flèche : l'influence sur la stabilité du bateau est importante.

■ La tête de mât

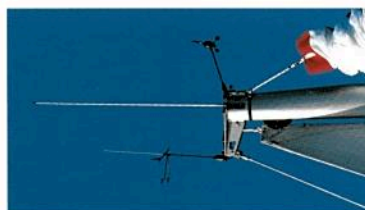
Il existe deux variantes de têtes de mât, celles destinées au gréement en tête et celles utilisées pour les gréements fractionnés.

Parmi ces deux types, même si elles restent très proches en terme d'ingénierie, il faut distinguer celles réalisées en fonderie et celles extrudées. Les deux étant mécaniquement liées au profil du mât par boulonnage ou par simple rivetage pour les moins grosses.

Ceci pour les modèles les plus courants car, au fil des années, les améliorations

Moteur !

Le mât est comparable au vilebrequin d'un moteur thermique. Des pièces qui le composent dépendent un équilibre et un réglage parfait.



Les têtes de mât servent aussi de support à de multiples instruments.

De la découpe à l'assemblage

Le montage d'un mât dure de six à sept heures suivant son niveau de sophistication. Cela comprend le découpage du métal à la machine par commande numérique permettant de positionner les pièces d'accastillage avec un parfait ajustement jusqu'au rivetage des pièces.



Légères, les têtes de mât extrudées s'intègrent très bien dans les tubes, sont faciles à installer et participent à l'esthétique générale. Ici un modèle Z-Spars.

tions mises sur le marché par tel ou tel fabricant, la recherche de nouveaux systèmes de réas ou d'ancrages de haubans, la fixation intégrée d'accessoires comme les feux ou les antennes font que les têtes de mât évoluent pour plus d'intégration.

Les têtes de mât extrudées

Massivement employées sur les voiliers de série, les têtes de mât extrudées en aluminium sont façonnées de la même façon qu'un tube de mât : une bille en alliage d'aluminium est contrainte de passer à travers une filière à l'aide d'une presse hydraulique. L'avantage de ce système tient dans son adaptation parfaite aux efforts (position et répartition des parois par rapport aux axes de haubans), son esthétique et la facilité de montage de la pièce.

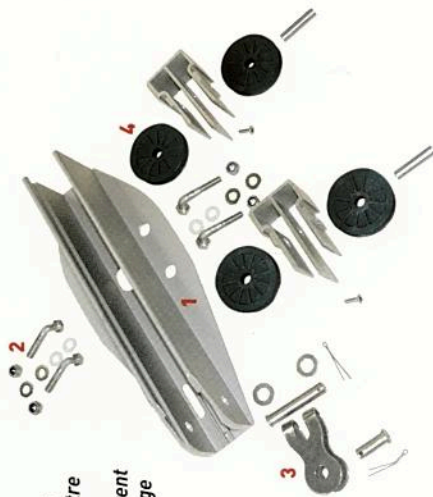
La liaison mécanique parfaite entre les deux parties, tête et tube, tient dans son homogénéité, c'est-à-dire dans l'absence de jeu entre les pièces qui pourrait engendrer des contraintes aléatoires sur les points de fixation. D'où la nécessité de maîtriser parfaitement l'assemblage de la tête de mât au tube lorsque celui-ci est assuré par des boulons ou encore des rivets pour les petits modèles.

Les fabricants utilisent donc cette méthode de la tête de mât rapportée qui s'emboîte d'abord de la façon la plus ajustée possible avant d'être boulonnée, voire rivetée. Ce système offre l'avantage de pouvoir changer la tête en



Chez Soromap, la tête de mât est conçue pour avoir un accès très facile aux réas de drisse.

Les pièces rapportées peuvent très facilement être changées et ne requièrent qu'un outillage minimal.

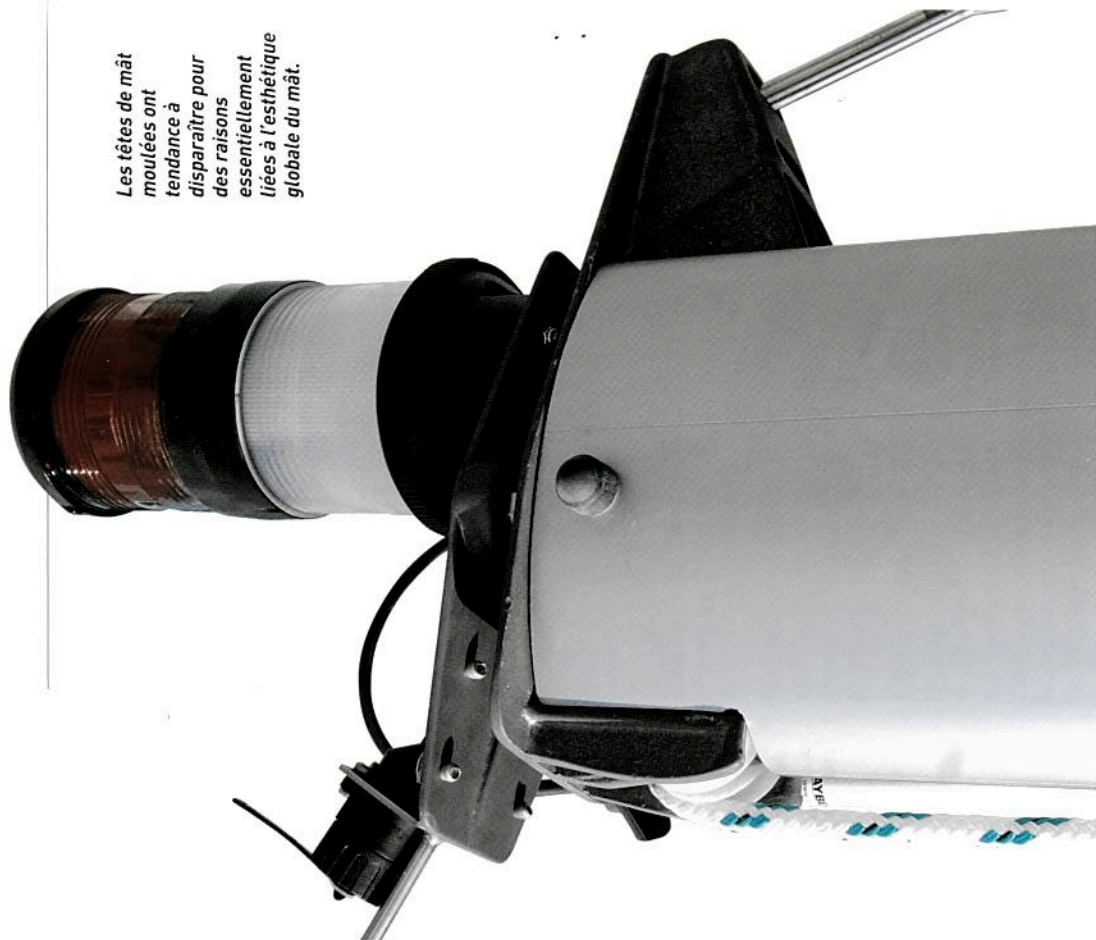


1. Corps de ferrure de tête de mât.
2. Vis de fixation.
3. Cavalier et axes de fixation de l'étai ou du patacas.
4. Réas et boîte à réas de drisses.

PHOTOS SOROMAP

cas d'avarie, mais également de pouvoir intervenir sur toutes les pièces d'usure comme les réas, voire les axes d'ancrage de haubans ou encore les fixations d'accessoires comme les antennes ou les feux. En outre, même après montage, on peut repérer la pièce pour y adjoindre d'autres éléments, notamment pour des poulies supplémentaires. Enfin, ce type de pièce convient aussi bien à un gréement en tête qu'à un gréement fractionné.

Les têtes de mât moulées ont tendance à disparaître pour des raisons essentiellement liées à l'esthétique globale du mât.



Les têtes de mât en fonderie

La fonderie d'aluminium reste toujours très répandue pour équiper les mâts de petites et moyennes unités. L'inconvénient des pièces en aluminium moulé, qu'il s'agisse de la tête de mât, de la pièce de fixation du vit-de-mulet ou des colliers de barres de flèche, est de casser net en cas de choc ou d'effort disproportionné et de ne pas être réparable. En revanche, malgré l'investissement du moule, le prix de revient d'une telle pièce est largement

amorti dès qu'il sert, par exemple, à équiper une série monotype ou lorsque l'on standardise des mâts de croisière, ce qui est le cas avec les voiliers de production. Donc, c'est un avantage important pour le client en terme de prix. Sous la poussée des chantiers qui cherchent constamment à améliorer la qualité perçue de leurs voiliers par rapport à leur prix, la fonderie d'aspect grisâtre, peu décorative et qui date beaucoup esthétiquement (elle a été développée à partir de la gamme des dériveurs dans les années 1960...), reste donc maintenant limitée aux voiliers de début de gamme ou à la monotypie.

■ Ancrages des haubans et capelages

En 1969, le mytique *Joshua* de Bernard Moitessier était équipé de mâts en pin, en réalité de simples poteaux télégraphiques, maintenus par des câbles en acier galvanisé. Pour fixer les haubans au mât, le navigateur français s'était inspiré des techniques utilisées par les Polynésiens sur leurs grandes pirogues océaniques : deux boucles passées en opposition vers le haut du mât et maintenues par une cale en bois traversant l'espar. Difficile de faire plus simple, d'autant que les terminaisons de haubans étaient maintenues par de simples serre-câbles, là aussi inspirés du montage des réseaux télégraphiques.

De nos jours, il existe de nombreuses solutions moins « agricoles » pour ancrer un hauban dans le mât. Suivant le programme du bateau, on peut en distinguer trois familles.



Si les gréements actuels se sont beaucoup sophistiqués, ils n'en demeurent pas moins très simples de réglage et d'utilisation.



Sur les petits modèles, la tête de mât est fixée au tube par des rivets en inox.

Poids

Entre le tube nu et le mât prêt à être posé (avec son grément), le poids de l'espar augmente de 30 % environ sur un voilier de série de taille moyenne. C'est une des raisons pour laquelle le grément en composite s'est imposé sur les mâts en carbone.

1. Les lattes de capelages en plat d'inox

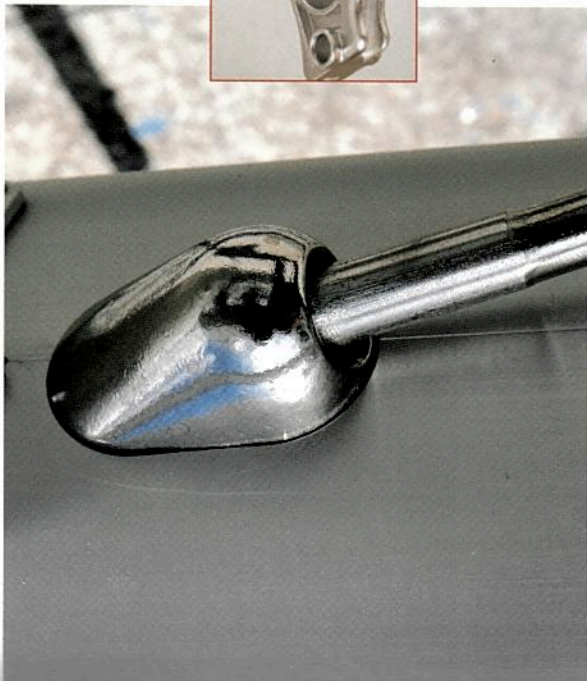
Très couramment utilisées jusque dans les années 1980, ces ferrures ont pratiquement disparu de la production actuelle. Avec ce montage, les haubans sont reliés à des lattes en inox qui sont elles-mêmes ancrées sur un boudon ou une ferrure traversant le mât. Ce boudon est en général protégé par une platine en inox pour éviter tout ragage entre le boudon et l'alu du mât. Un système simple qui permet un débattement longitudinal important du haubanage et une certaine souplesse dans les autres axes. Son inconvénient majeur réside dans son aspect un peu rustique et dans un aérodynamisme inexistant. Ce qui en fait un premier choix pour des croiseurs à budget restreint et de petite taille, même si la fiabilité d'un tel système reste sa première qualité tout comme son contrôle facile et son remplacement aisé. On trouve également ce type de montage sur les très grosses unités destinées aux voyages au long cours ou munies d'un mât en bois. On prône alors le « trop fort n'a jamais manqué » !



Même si elles datent, les lattes de capelage sont d'une fiabilité exemplaire.



Les lattes de capelage sont maintenues par un boudon inox traversant.



En fusion d'inox, les coquilles de haubans sont à la fois esthétiques et aérodynamiquement efficaces.

2. Les coquilles de capelages latéraux

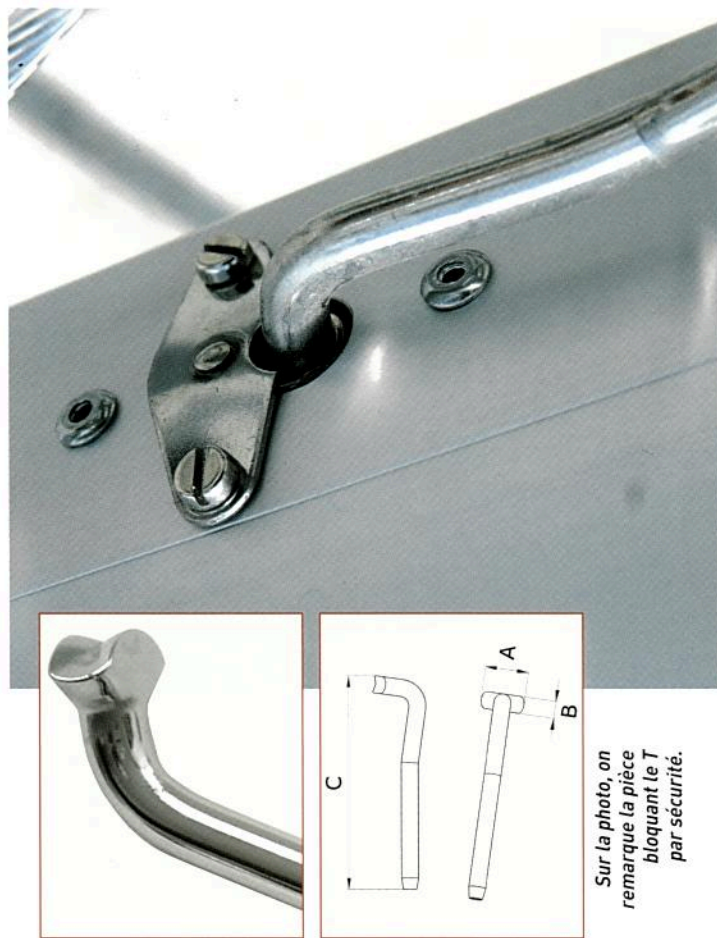
Cette élégante solution, universellement répandue, peut s'adapter à la fois pour des gréements en barres d'acier (rod rigging) et pour des gréements en monotoron. L'embout terminal se termine en cornet de trompette (tip cup) pour le gréement en barre) ou en boule et s'articule dans la coquille dans tous les axes de façon naturelle. L'avantage de cette solution tient dans un alignement toujours parfait quels que soient la position et le réglage du mât (surtout quand le haubanage sous le vent devient mou), mais la fatigue de l'embout, qui supporte toute la charge de tension sur une toute petite surface, s'accroît rapidement dans le temps et limite la durée de vie du haubanage si celui-ci possède un mauvais réglage. Il existe des variantes de ce système, propre à chaque fabricant de gréement, destiné à mieux répartir la charge sur chaque embout terminal. Reste que le principal avantage tient dans un aérodynamisme évident et qu'il est utilisé aussi bien pour les voiliers équipés de gréements en barres que pour ceux équipés de monotoron. Dernièrement, certains fabricants ont intégré les embouts à boules dans les embases de barre de flèche, permettant à la fois un gain de temps au niveau du montage (plus d'ouverture dans le mât), une mise en œuvre plus facile et un prix de revient plus compétitif. L'esthétique et l'aérodynamisme y gagnent également beaucoup.



L'intégration des embouts à boules, pour le gréement monofil, se fait dans les embases de barres de flèche.

3. Les ferrures en T

Dans la même famille des ferrures au profil très discret, il existe des modèles spécifiquement étudiés pour accueillir des embouts de haubanage en T. Ce sont des ferrures plates qui sont fixées dans la partie interne du mât, sans protubérance extérieure. Hormis des qualités similaires à la coquille, l'avantage majeur de ce système tient dans la rapidité de la mise en place du gréement puisqu'il suffit de faire un quart de tour au moment de présenter l'embout devant l'ouverture de la ferrure pour mettre en place le hauban. Les voiliers qui démâtent souvent à chaque hivernage ou qui sont fréquemment mis sur remorque utilisent massivement ce système. Comme la coquille, l'articulation se fait naturellement dans tous les axes et l'aérodynamisme est encore meilleur que celui des ferrures à coquilles puisqu'il n'y a aucune protubérance, hormis la tige du T de l'embout. Toutefois, la conception de l'embout terminal limite la grosseur du haubanage que l'on trouve rarement au-delà de 8 mm de diamètre, soit pour des voiliers entre 40 et 50 pieds.



Sur la photo, on remarque la pièce bloquant le T par sécurité.

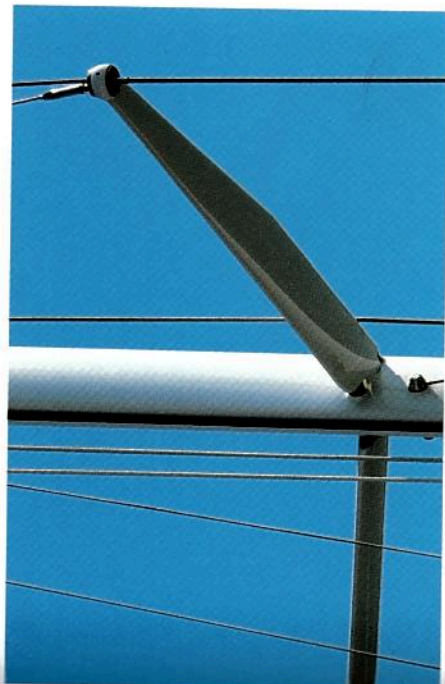
Rapide à monter, l'embout en T est très utilisé sur les voiliers qui doivent être souvent démâtés, comme les transportables et les monotypes.



Les barres de flèche modernes adoptent un profil d'aile d'avion, par souci esthétique mais aussi pour favoriser l'aérodynamisme.

■ Barres de flèche, colliers et barreaux

Suivant les catégories de croiseurs on trouve au moins deux types d'embase de barres de flèche. Celles conçues comme un collier entourant le mât, et celles traversant le mât. Ces dernières sont appelées « barreau » ou « boom-ring », et les barres de flèche s'emboîtent sur la partie mâle sortant de chaque côté du tube. Si mécaniquement toutes les solutions se valent, les colliers se trouvent plus souvent sur des voiliers de croisière alors que les barreaux sont plutôt destinés à des voiliers de performance ou de taille moyenne à grande.



Un ensemble de barres de flèche et mât en carbone particulièrement épuré.

Les colliers

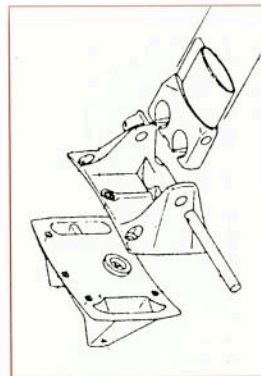
Le collier est une pièce rapportée sur le mât, réalisée soit en fonderie, soit en inox pour des monotypes de régate par exemple. Ce dispositif est en général utilisé sur des mâts de faible section car il permet de mieux répartir l'effort sur le tube tout en facilitant le montage.



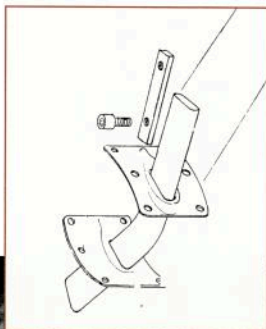
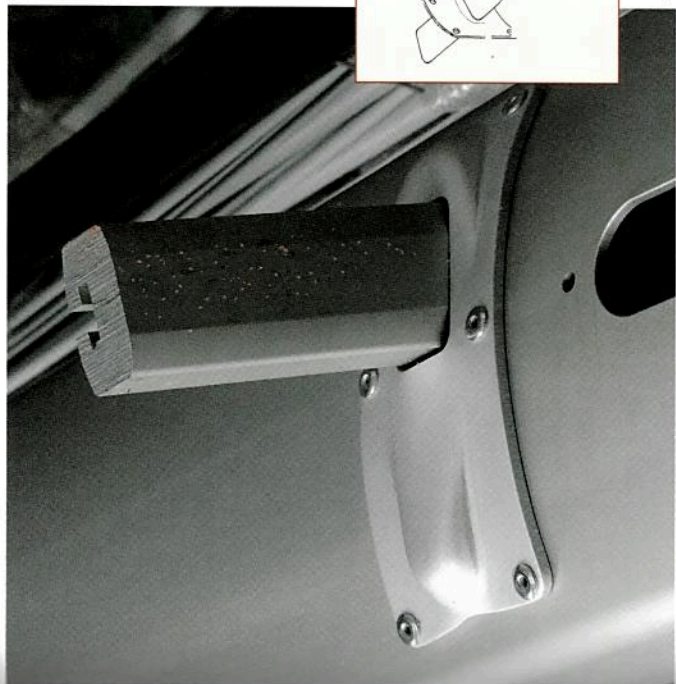
Il existe des embases de barre de flèche en alu moulé ou en inox, celles-ci étant notamment prisées par les voiliers sportifs.

Les embases en aluminium

Entre les solutions du collier qui enserrant une bonne partie du mât et celles des barreaux qui le traversent, on trouve également des embases de conception plus simples. Distinctes pour chaque bord, ces pièces de fonderie sont rivetées sur l'espar. Elles n'offrent aucun jeu à la barre de flèche et demandent donc d'être parfaitement alignées pour respecter le bon angle avec le haubannage. Esthétiquement grossières, elles sont de moins en moins utilisées.



L'embase alu est une valeur sûre parmi l'accastillage nécessaire aux barres de flèche.



Le barreau offre une solution très élégante pour les barres de flèche poussantes et son dessin permet d'installer les barres de flèche avec un angle bien défini.

Les barreaux

Les barreaux sont aussi bien associés avec des gréements fractionnés (le cas de beaucoup de voiliers de croisière actuels) qu'avec des gréements en tête. Ce type de montage est plutôt axé sur la performance car la barre de flèche profilée offre une excellente aérodynamique puisque son attaque est dissimulée en son sein. Le montage en barreau participe également à l'esthétique générale et forme un équipement cohérent avec un gréement monofil (rod rigging).

Les profils

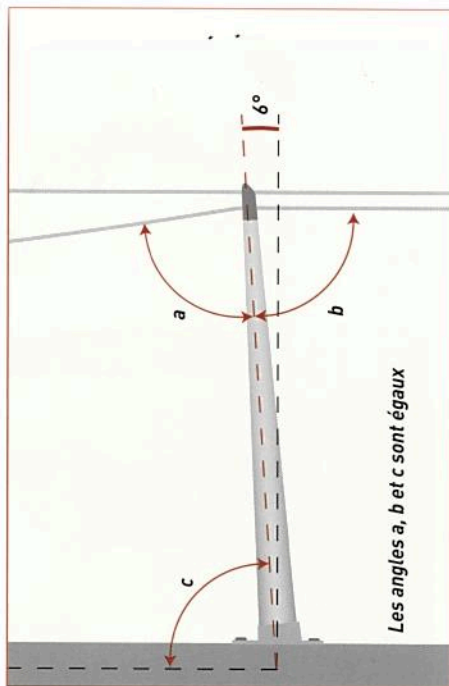
Si, auparavant, on pouvait trouver des barres de flèche rondes, dorénavant toutes les barres de flèche sont profilées comme une aile. Hormis l'excellente aérodynamique, ce type de barre de flèche est aussi mieux conçu pour répartir la pression sur le collier ou le barreau quand le gréement est précontraint ou cintré et offre une meilleure répartition de l'effort avec les gréements à barres de flèche poussantes, comme la plupart des voiliers en production aujourd'hui.



Le profil des barres de flèche a une influence aérodynamique au près.

L'angulation

Avant d'aborder plus spécifiquement le réglage du mât, il faut noter ici que l'angle optimal que doit faire la barre de flèche avec le gréement correspond à sa bissectrice au niveau du mât. Les barres de flèche trop basses ne permettent plus un soutien correct du mât et sont souvent la cause de démantèlement. Pour cette raison, il est bon de maintenir sérieusement le hauban dans l'embout de barre de flèche pour supprimer le jeu, notamment quand le gréement sous le vent devient légèrement plus mou au près.



L'angulation de la barre de flèche doit être comprise entre 4 et 8°. L'axe de la barre de flèche est en fait la bissectrice de l'angle formé par le galhauban.

Embout de barres de flèche

Ils sont de deux types : l'un conçu pour laisser passer un haubanage continu. L'embout laisse alors passer jusqu'à deux haubans qui filent en un seul tenant jusqu'aux cadènes. À l'aide d'un pontet à serrer à l'extrémité de l'embout, cette fixation permet ainsi de conserver l'angle constant de la barre de flèche par rapport au mât. Toutefois, cette architecture reste limitée aux mâts de moyenne taille ne possédant pas plus de deux étages de barres de flèche. L'autre système possède deux axes permettant de greffer des petits ridoirs et des embouts à œils pour accueillir un gréement discontinu. À chaque barre de flèche, le gréement se termine puis reprend en dessous de celle-ci jusqu'à la barre de flèche suivante et file enfin au pont. Cet équipement est destiné aux gréements à multiples étages de barres de flèche, ainsi qu'aux mâts de grande taille qui demandent un maintien parfait au niveau des barres de flèche puisque celles-ci sont la composante essentielle du maintien du tube. Là aussi, il existe des variantes avec des intégrations très poussées des ridoirs de réglages et des embouts à boules dans le cas d'un gréement monofil.

Protection contre le ragage
Au portant, la grande voile s'appuie sur les barres de flèche et leurs embouts aux angles parfois agressifs. Il est alors bon de poser à la fois un renfort de tissu sur la voile et de fixer des capuchons en plastique sur les embouts.



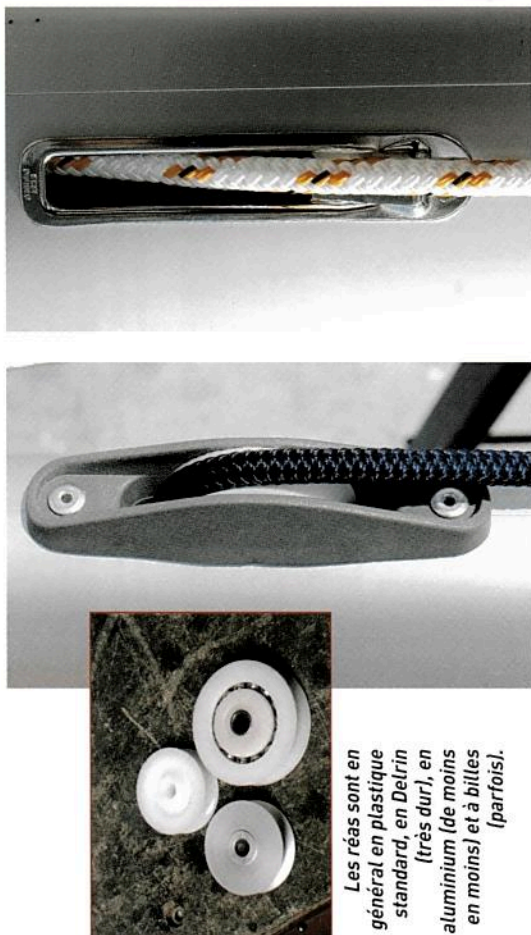
Avec un gréement discontinu, l'embout de barre de flèche est conçu pour recevoir une sorte de cadène intermédiaire avec des axes en inox accueillant les ridoirs.



Avec un gréement continu, le monotoron est juste pincé par une pièce de l'embout pour que la barre de flèche conserve un angle constant par rapport au mât.

■ Réas et cages à lumière

Depuis l'apparition des drisses tout en textile, les réas en métal ont quasiment disparu, laissant place à des modèles en Nylon pour les montages standards, voire en Delrin et autres « plastiques » très durs pour des caractéristiques plus exigeantes en matière de durabilité. Les réas en aluminium qui acceptaient les drisses en acier galvanisé sont un lointain souvenir alors qu'il existe encore certaines poulies avec des réas en inox, notamment pour les dériveurs. Si les cages à réas restent de mise pour les entrées de drisses en tête de mât, foc, spinnaker, trinquette, balancine, les sorties de drisses se font en général par de simples « lumières », des fentes sur les faces latérales du mât protégées par des entourages en inox. Les drisses qui sortent par cette ouverture sont en général conduites vers le râtelier de poulies de pied de mât qui les orientent jusqu'au cockpit. Les winches posés sur le mât ayant quasiment disparu, là aussi pour des raisons esthétiques et d'intégration au niveau du rouf.



Les réas sont en général en plastique standard, en Delrin (très dur), en aluminium (de moins en moins) et à billes (parfois).

Les sorties de drisses à réas sont délaissées au profit de simples « lumières » en inox. Avantages : moins de frottements et économie de matériel.

■ Accastillage riveté

Sur un mât moderne, il n'y a presque plus d'accastillage vissé, au moins parmi les mensurations standards des voiliers de série ne demandant pas des résistances à l'effort supérieures au plus gros des rivets. En revanche, il existe un grand nombre de boulonnages, en particulier pour fixer les têtes de

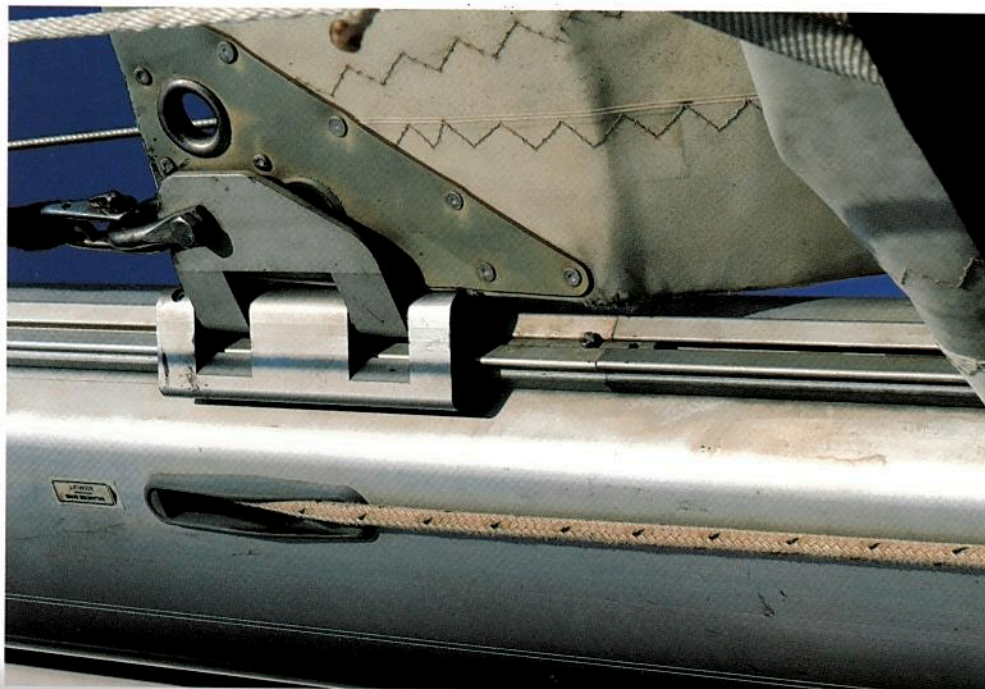


Le rivetage à l'aide d'une « popeuse » est un moyen rapide et sûr pour fixer des pièces sur le mât (ici des marches). Mais, à la main, on ne peut fixer que des rivets en aluminium.

mât, les embases de barres de flèche et certains accastillages soumis à de gros efforts. Les fixations de l'accastillage se font donc massivement par rivetage. Il existe deux qualités : le rivetage en inox et le rivetage en aluminium. L'inox est employé massivement pour les pièces comme les cages à réas, les pontes de drisses, les ferrures de capelage, les platines de vit-de-mulet... Les rivets en alu ne servent qu'à la fixation de petites pièces comme les pontets de lazy-jacks, de prises de ris ou encore des rails de petite taille.

Placé de façon neutre sur l'échelle galvanique, l'inox ne demande aucune précaution particulière lorsqu'il est assemblé sur un mât en alu. Il en est de même pour les rivets en alu. Il faut toutefois faire très attention au passage de câbles électriques (feux, électronique) 12 V ou 24 V qui, s'ils génèrent des fuites de courant au niveau des connexions (tête ou pied de mât), peuvent détruire rapidement tout assemblage, surtout si l'air ambiant reste humide et salin très longtemps.

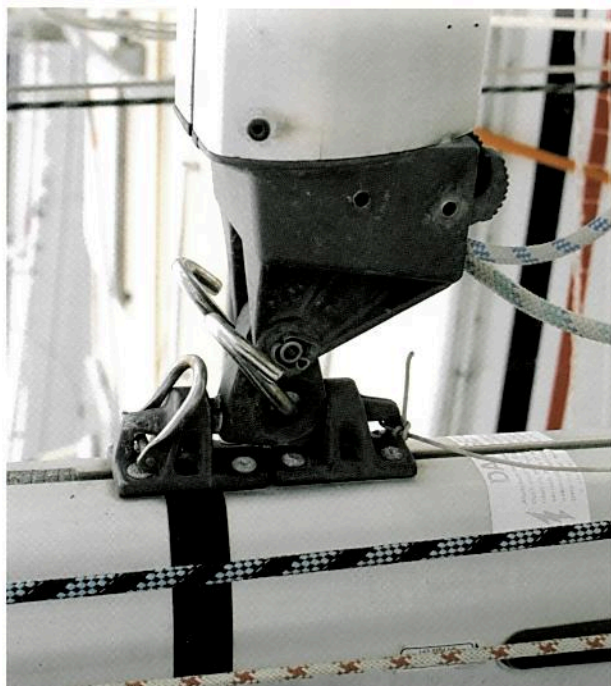
Sur ce type de rail rapporté à la gorge, on peut soit monter des chariots cou-lissants à friction, soit des chariots à galets, soit des chariots à billes... Tous ces chariots sont dédiés au montage de voiles à lattes forcées qui poussent par compression sur le rail. Diminuer les frottements est donc une priorité. Le confort apporté par ce type de montage justifie largement l'investissement nécessaire car, en général, il faut démâter pour la pose.



Il est assez facile de rapporter un rail de guindant de grand-voile sur un mât déjà muni d'une gorge. L'alignement doit être exécuté par un professionnel.



Pas facile de reconnaître un rivet alu d'un rivet inox ! Sur cette photo, seul celui du milieu est en inox.



Même de grosses pièces d'accastillage comme les vits-de-mulet peuvent être fixées par des rivets pop en alu. Leur nombre garantit la solidité et la rigidité de l'ensemble.

Les rivets en inox demandent l'utilisation d'une puissante « popeuse » pneumatique rarement utilisée par un particulier. Dans le cas d'un remplacement d'une pièce maîtresse d'accastillage, ne remplacez donc pas un rivet en inox par un autre en alu. Sa résistance est bien moindre et, en cas d'effort dépassant sa résistance, il va prendre du jeu avant de casser. Il faut recourir à l'assistance d'un professionnel pour conserver l'intégrité du gréement, tel qu'il est préconisé par le fabricant... et donc remplacer de l'inox par de l'inox.

■ Rail de grand-voile rapporté ou intégré

Pour des raisons d'économie, de simplicité et d'intégration, les fabricants de mâts conçoivent les filières d'extrusion du mât avec des rails de grand-voile faisant partie du profil. Les maîtres-voiliers ont conçu des ralingues s'adaptant à ces profils qui peuvent même accepter des coulisseaux supportant une grand-voile lattée. Mais à partir de ce rail intégré, il est facile de rajouter un rail rapporté qui permet d'installer des chariots à billes, nécessaires lorsqu'on installe des voiles de grande taille. En général, ce montage est fait par le concessionnaire de la marque distribuant ce type d'accastillage car ce travail ne supporte pas un alignement approximatif.

Prix
Le tarif d'un mât augmente d'environ quatre fois entre le tube nu reçu chez le fabricant et le prix public payé par le client. Mais les chantiers, premiers et quasi uniques consommateurs, bénéficient de tarifs très ajustés en regard des centaines d'unités commandées.

■ Passages de câbles, électricité et électronique

Les câbles électriques alimentant feux de mât, électronique de navigation, radar sont rassemblés dans des tubes en PVC disposés à l'intérieur du mât et montés d'origine par le fabricant quand s'effectue la pose de l'accastillage. De cette façon, on limite tout contact électrique avec le tube en aluminium pouvant engendrer un début de corrosion par différence de potentiel. Pour éliminer tous les risques de fuite de courant, il est important d'utiliser des câbles d'un seul morceau (dépassant souvent les 20 mètres !) reliant le capteur à l'indicateur ou à la boîte de raccordement qui se trouve à l'intérieur du bateau ou vers la table à cartes. Cela demande un passage soigné au niveau du pied de mât et de bien préparer son installation au moment du mâtage. Ce type d'installation garantit une sécurité quant à l'isolation galvanique du mât.



Dans le mât, les câbles électriques sont isolés dans des gaines en PVC.



Des connexions électriques de pied de mât sans protection en standard, indignes d'un grand constructeur.

■ Le gréement dormant

“ Sans gréement dormant de qualité, un mât causerait plus de soucis que de satisfaction. Il est donc important de connaître la composition d'un tel gréement. Est-ce du monotoron, du « rod rigging » ? Pourquoi doit-on différencier le câble d'une drisse de celui d'un hauban ? Et que dire des barres de flèches poussantes ? Ce chapitre informe donc le plaisancier sur les règles à observer pour prendre soin de son gréement et, corollaire, de la tenue de son mât, gages de performance et de sécurité. ”

Gréement en plan ou poussant	62
Gréement continu ou discontinu	65
Monotoron, le câble universel	67
La grande famille des ridoirs	71



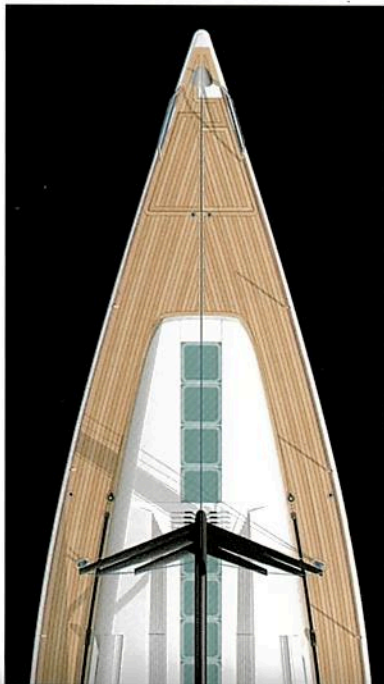
Les gréements en plan ici, une flottille de Muscadet des années 1970) restent encore très nombreux parmi les dizaines de milliers de voiliers de plaisance.

Le gréement dormant n'est souvent pas entouré des soins qu'il mérite et, lors d'avaries majeures comme le démâtage, c'est à coup sûr lui le seul responsable. D'où l'importance de comprendre son rôle. Par tradition, le gréement dit « dormant » désigne tous les câbles servant à supporter le mât, alors que le gréement « courant » sert aux manœuvres des voiles comme les drisses ou les écoute. Revue de détails.

■ Gréement en plan ou poussant

Cela a été une des plus importantes révolutions dans la conception des voiliers de série : la disparition quasi totale des gréements en plan (dits également dans l'axe) pour adopter des gréements à barres de flèche poussantes. Héritage des mâts en bois, le gréement en plan, c'est-à-dire avec les barres de flèche (et donc le haubanage) dans le même plan que le mât, a accompagné le développement de la plaisance jusqu'au milieu des années 1990. Bien maintenu en latéral, le mât était raidi en longitudinal par, outre l'étai principal et le pataras, un, voire deux états intermédiaires, et dans certains cas par une paire de bas-haubans ainsi que par des bastaques. Si ces dernières étaient

parfois volantes (pour les petites unités), elles étaient souvent inexistantes dès lors que le mât était suffisamment raide en longitudinal grâce à des parois de sections épaisses. Ce type de gréement était globalement efficace et costaud, mais demandait une attention constante et des réglages attentifs, notamment pour les voiliers de tailles moyennes à grandes. Dans les vents forts, la manipulation pouvait être délicate pour les équipages en raison de la reprise, à chaque virement, de la sacro-sainte bastaque et aussi à cause du passage en force du foc devant le bas-étai. Le dernier inconvénient des gréements en plan est celui de la multiplication des cadènes de haubans, même si, au sommet de son développement, galhaubans et bas-haubans pouvaient être ancrés sur une cadène unique.



Le gréement poussant, ici sur un First 50, s'avère d'une évidente simplicité d'utilisation grâce à la diminution des voiles d'avant et du gréement dormant.

Grâce aux calculs informatiques, à la réflexion menée par les bureaux d'étude des chantiers sur la simplification des réglages pour le pratiquant et sur l'optimisation des prix de revient, la géométrie du gréement a évolué vers le concept des barres de flèche poussantes. Une géométrie, qui permet, grâce à un calcul des efforts bien maîtrisé, de se passer de bas-états et autres bastaques.

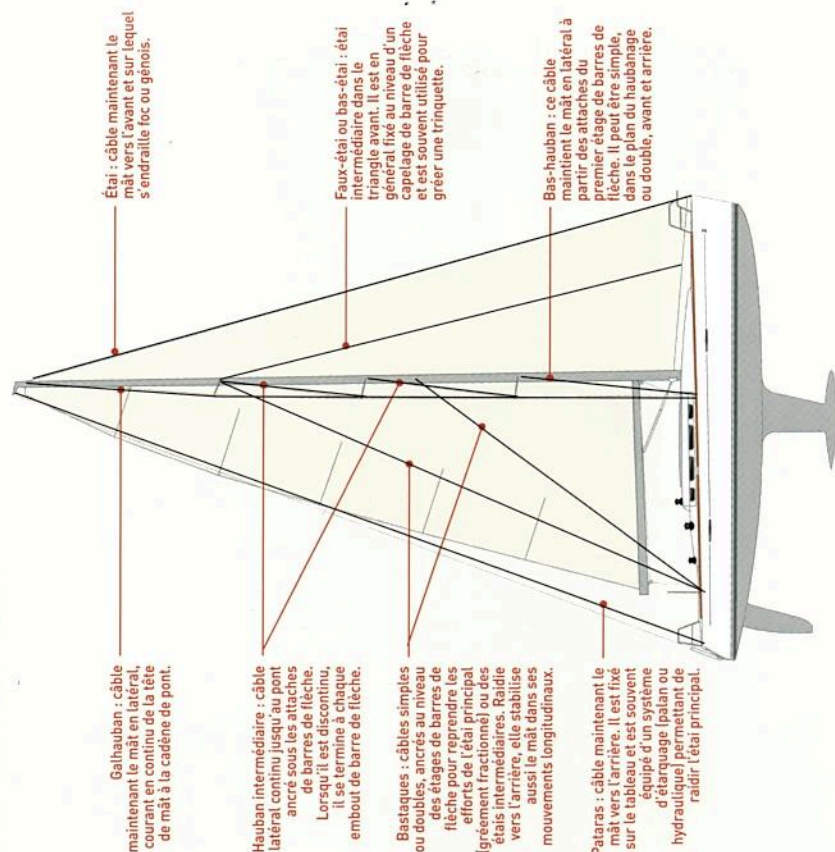
Le gréement poussant simplifie donc la mise en œuvre en terme de haubanage, ne demande plus de réglages additionnels, a perdu un peu de poids et a diminué le prix de revient de l'ensemble de la mâture (moins d'états, de haubans, de ridoirs, de cadènes), ce qui influe sur le prix global du voilier. Quant à l'efficacité, chacun s'accorde à dire que les gréements poussants sont parfaitement adaptés à la croisière car ils vont de pair avec une nouvelle répartition du plan de voileure qui subit une diminution importante du triangle avant. Ce qui signifie donc moins d'efforts pour manipuler la voile d'avant, des winches plus petits (donc moins chers) et un équilibre général meilleur lorsque l'on diminue la voileure dans la brise. La grand-voile totalement latérale étant encore une autre avancée en termes d'efficacité.

Fractionné

Un gréement fractionné peut varier dans des proportions allant du 3/4 au 7/8, voire 19/20 !

Le gréement 3/4 est en général utilisé par des voiliers axés sur la compétition, leur permettant de faire cintrer le mât à la demande pour s'accorder au réglage de la grand-voile.

■ Nomenclature des câbles

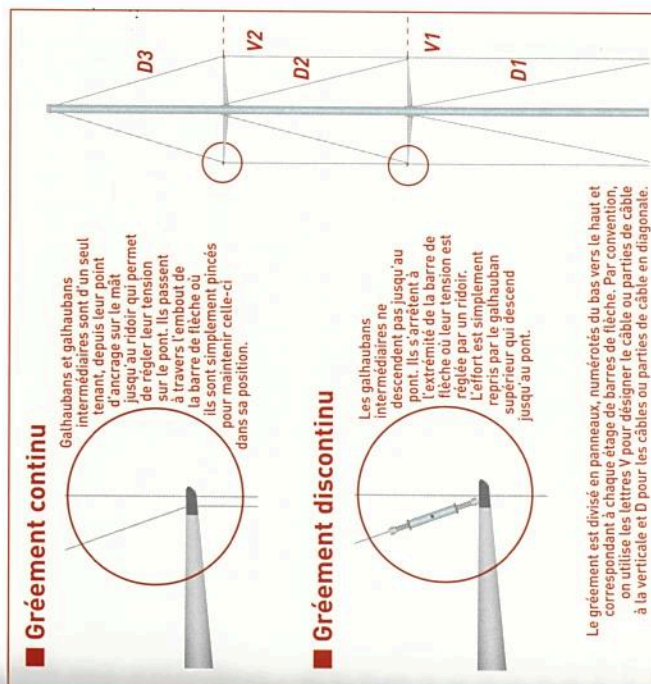


■ Gréement continu ou discontinu

L'un des moyens les plus simples pour vérifier si l'on est en présence d'un gréement continu ou discontinu est d'observer si un ou deux, voire trois galhaubans sont arrimés à la même cadène. Plusieurs haubans, il s'agit alors de gréement continu. Un seul hauban signifie que chaque intermédiaire est fixé à l'embout de chaque barre de flèche et que le gréement est discontinu. Dans cette configuration, chaque étage est alors divisé en panneaux permettant d'identifier par un nombre à la fois le haubannage et la partie du mât concernée.

Pourquoi une telle différence ?

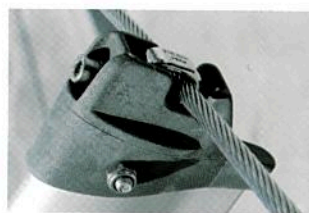
Pour une fois la performance et le coût sont liés. Les galhaubans d'une seule pièce valent moins cher qu'un jeu de haubannage discontinu muni de tout l'accastillage (ridoirs, embouts sertis à œil ou à boule, etc.). Malgré un coefficient d'allongement supérieur, le haubannage continu en monotoron convient très bien aux voiliers de croisière munis d'un mât jusqu'à deux étages de barres de flèche. C'est-à-dire que la même cadène supporte jusqu'à trois ridoirs (galhauban, intermédiaire et bas-hauban). Au-delà, en terme de poids, de fardage et d'interférence entre les câbles, on préfère passer en gréement



En haut, un gréement discontinu, en bas, un haubannage continu. Ce dernier s'allonge beaucoup plus à cause de la grande longueur du galhauban en un seul tenant.

On notera qu'avec l'avènement des barres de flèche poussantes est apparue la généralisation du gréement fractionné. En effet, avec une telle géométrie, on diminue légèrement la compression du mât tout en conservant un étai suffisamment raide grâce à une inertie bien maîtrisée du tube en longitudinal. Et avec ce plan de voilure, la grand-voile se taille une belle part de la surface totale au près alors que les spés deviennent le plus souvent asymétriques avec un point de drisse moins haut qu'auparavant.

Bref, cette architecture du mât à barres de flèche poussantes est tellement fiable que des superyachts à voiles modernes de plus de 40 mètres possèdent ce genre de gréement. Leurs mâts peuvent atteindre jusqu'à 50 mètres de haut, avec cinq étages de barres de flèche, alors qu'ils se passent d'étai intermédiaire !



Le hauban se bloque en bout de barre de flèche après le réglage du haubanage depuis le pont.

discontinu. L'un des avantages majeurs du système de gréement continu est qu'il permet le réglage du mât à partir du pont en jouant sur la tension des ridoirs. Celui-ci offre un autre choix : le classique monotoron ou le gréement en barres. Dans les deux cas, l'intérêt d'un gréement à panneaux (constitué de câbles individuels) est de varier le diamètre des câbles ou barres pour l'adapter à l'effort et pour réduire l'allongement entre chaque point d'attache. De cette façon, on diminue aussi le poids du gréement en adaptant finement les charges à chaque étage. Le gréement discontinu s'est petit à petit généralisé sur tous les voiliers axés sur la performance ainsi que sur les voiliers de production dépassant les 38-40 pieds, même ceux ne possédant que deux étages de barres de flèche.

Les barres de flèche en étages

Un voilier de croisière étant relativement étroit, le seul moyen de tenir un mât droit sans avoir recours à un maintien par forte compression consiste à lui greffer des barres de flèche. Ces barres de maintien ouvrent artificiellement l'angle du haubanage et augmentent donc sa tenue en latéral tout en limitant la compression. Le nombre d'étages de barres de flèche est conditionné par un compromis entre la section, le poids et la hauteur du mât. L'incidence sur le budget est évidente : plus on multiplie le nombre d'étages de barres de flèche, plus on a de haubans, de capelages et de ridoirs et plus le coût est important. En résumé, plus on diminue la section, plus il faut élayer le mât ou bien il faut augmenter le pied, c'est-à-dire écarter les cadènes du pied de mât au maximum afin de tenir le mât sans augmenter la compression. Pour offrir un réglage correct par rapport au hauban, donc offrir une résistance maximale à la compression du hauban sur la barre, chaque barre de flèche doit être angulée entre 4° et 8° vers le haut par rapport au mât. Pour maintenir cet angle constant, on bloque les haubans par un embout spécifique à l'extrémité de la barre de flèche. Quant à l'angulation des barres de flèche vers l'arrière, elle est en moyenne de 25° à 28°, voire beaucoup plus sur certains croiseurs. Au détriment de la capacité de déborder la grand-voile au portant.

Dans la même démarche que le soin apporté à la finition du mât et à sa qualité perçue, les barres de flèche des voiliers de croisière sont profilées en aile, comme un voilier de course, et offrent donc une résistance aérodynamique minimale. Elles sont aussi rétreintes pour éliminer tout poids inutile et participer à une esthétique valorisante.

Ce qu'il faut retenir.

Un gréement discontinu permet de limiter l'allongement du gréement en limitant les longueurs de haubans. Plus le nombre d'étages de barres de flèche augmente, plus le réglage du gréement devient complexe. Avec un gréement continu, il faut s'assurer que l'angle de la barre de flèche avec le mât demeure constant en bloquant bien l'embout.

■ Monotoron, le câble universel

Contrairement à son appellation trompeuse, le monotoron est constitué de 19 fils d'acier inox autour d'un noyau central (1 + 6 + 12) ne formant qu'un seul toron. Parce qu'il reste relativement raide en flexion, il est exclusivement utilisé pour le gréement dormant. Le monotoron, massivement employé sur tous les voiliers de croisière, qu'il soit sous forme continue ou discontinue, reste très tolérant aux chocs, et même en cas de rupture d'un fil (gendarme !), sa résistance globale demeure largement suffisante jusqu'à son remplacement. L'un des points faibles du monotoron se trouve pourtant au niveau du sertissage qui se corrodé souvent à la liaison entre œil et câble. Il demande également un minimum d'entretien puisque, au gré des années et des milles parcourus, le sel fait son chemin entre les fils et génère très sou-



Un monotoron est constitué de 19 fils d'acier savamment toronnés.

vent des coulées d'oxydation sur le câble. Ce type de câble à la moins bonne charge de rupture de tous les gréements dormants en acier (Dyform, rod) et demande donc un réglage de mât soigné pour maintenir une tension convenable, surtout par vent fort et mer formée car il s'allonge plus que les autres sous l'effort. Beaucoup de plaisanciers ne reprennent d'ailleurs jamais leur gréement au fil des années. C'est dire la tolérance à la fois du mât et du gréement en terme de coefficient de sécurité !

Mais le plus pernicieux des problèmes vient d'un défaut d'alignement du câble avec son ancrage, que ce soit sur le mât ou sur la cadène. La fatigue induite augmente les risques de casse dans des proportions énormes au niveau du sertissage. Ce type d'incident peut survenir à la suite d'un remâtage lorsqu'une ferrure est contrainte trop rapidement alors qu'elle n'a pas été correctement alignée.

Record

Le plus gros faisceau de câbles monotoron a été utilisé pour les haubans soutenant le tablier du viaduc de Millau. Il est constitué de 91 monotorons Freyssinet qui sont en acier galvanisé, enveloppés de cire, puis gainés individuellement de polyéthylène. Une protection maximale contre la corrosion.

Allongement

L'allongement et la charge de rupture d'un câble ou d'une barre de gréement sont fonction de son diamètre et de sa longueur. Les chiffres d'allongement en millimètre liés à chaque type sont en général calculés sous une charge d'une tonne par mètre.

Les « autres » monotorons

Pour un diamètre donné, plus on arrive à inscrire de fils dans le cercle, plus la charge de rupture augmente. Hormis le classique monotoron 1x19, il existe le Dyform*, avec le même nombre de fils, ayant la même disposition, mais dont les diamètres varient pour occuper plus d'espace dans un même cercle. Avec cette construction, l'allongement sous charge diminue d'environ 20 % pour le même diamètre et la limite supérieure de la charge de rupture est améliorée d'environ 30 %, alors que son poids est supérieur d'environ 10 %, la aussi à diamètre égal. Toutefois, à l'image du rod, étant donné que ces chiffres offrent des performances supérieures au monotoron, on peut envisager un diamètre inférieur, ce qui en fait un package plus attractif encore malgré un prix qui était notablement supérieur.

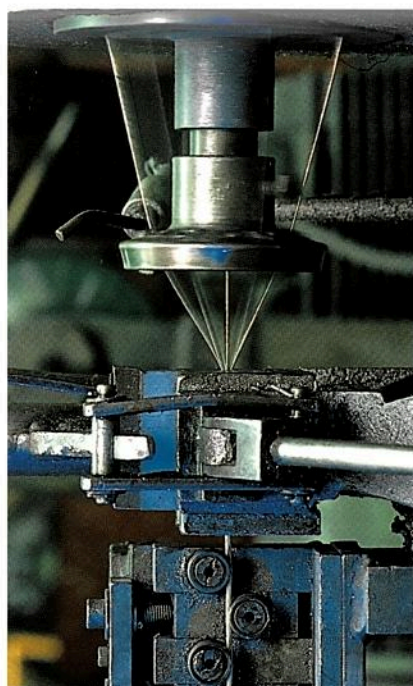
Le Dyform était très prisé par certaines classes de voiliers de compétition qui étaient limitées à l'usage d'un câble monotoron 1x19 et trouvaient avec le Dyform un produit plus aérodynamique, plus performant et également plus facile à mettre en œuvre que le rod.

Pour le gréement courant, on utilise du monotoron 7x19 (voir dessins page de gauche) et du 7x7. Ce sont des câbles très souples, utilisables pour les drisses et les filières (7x7 gainé) acceptant facilement d'être pliés et offrant de bons coefficients d'allongement par rapport au textile, à moins de choisir des produits « exotiques » comme le Dyneema, le Vectran ou autre aramide. L'avantage du monotoron est de pouvoir s'épissier avec du textile et de résister assez bien au ragage. Il conserve des qualités que l'on n'obtient pas avec le textile comme la résistance à l'abrasion ou la charge de rupture très supérieure à diamètre égal.

Le gréement en barre ou monofil, le « rod »...

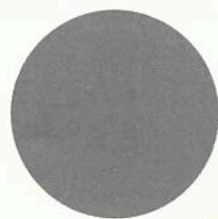
Le gréement en barre, communément appelé « rod », est utilisé dans le cas d'un gréement discontinu muni de barres d'acier conçues dans un alliage d'acier au nickel-chrome-molybdène pour le Nitronic 50, le plus courant. Son module d'élasticité (sa résistance à l'étirement) est deux fois supérieur à celui de l'acier inox 316 utilisé massivement en marine. Contrairement à l'inox qui peut se cristalliser dans le temps, un rod en Nitronic 50 offre une résistance à la corrosion bien supérieure. Il se présente donc sous la forme d'une barre d'acier de diamètre variable, livré complet avec les sertissages et les attaches nécessaires pour être gréé sur le mât, sur les embouts de barres de flèche et sur les cadènes. L'intérêt majeur du monofil tient dans un coefficient d'étirement très inférieur au monotoron sous forte charge, d'offrir une charge de rupture supérieure à diamètre égal et donc de pouvoir diminuer son diamètre à charge comparable. Dans ce cas, en revanche, le rod n'est pas moins lourd que le monotoron (voir page 71) mais il est notablement moins gros.

*Dyform est un type de câble produit par la marque anglaise Bridon www.bridon.com qui fournit aussi bien des câbles pour la marine de plaisance que pour l'industrie pétrolière, la pêche, les constructions métalliques, les structures verre et acier, etc.

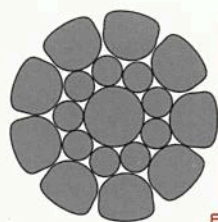


Quel que soit son genre, un monotoron comporte un fil central.

■ Sections des câbles couramment utilisés dans les gréements



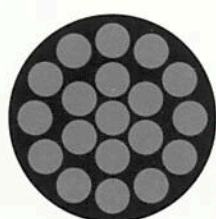
Rod
Barre d'acier pleine pour les gréements de performance.



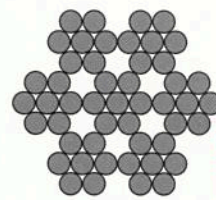
Dyform
Ce câble essaie de remplir l'espace au maximum, et donc limite son allongement.



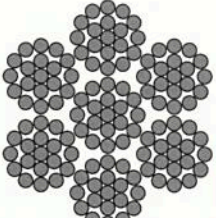
Monotoron
Le plus courant des câbles pour les gréements en plaisance.



Monotoron gainé
La matière plastique l'isole et améliore l'esthétique.

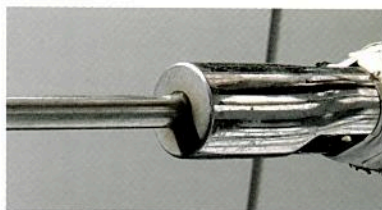


Câble souple 7x7
Une alternative plus souple et plus économique que le 7x19.

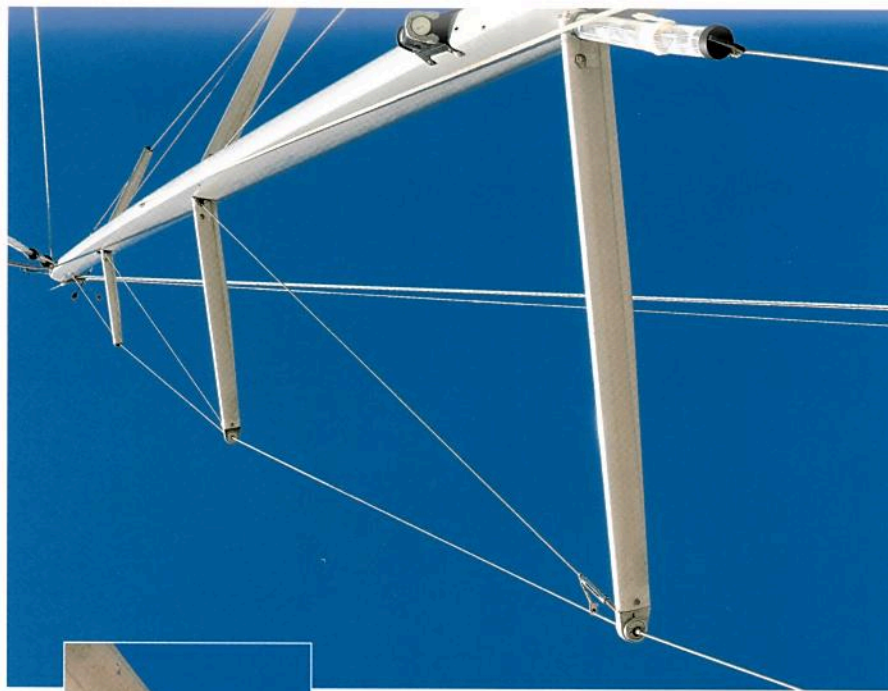


Câble souple 7x19
Très utilisé pour les drisses mixtes car il résiste bien à l'abrasion et à la pliure.

À noter que le monotoron ne se manœuvre pas (pose d'une cosse par exemple) car, de par la disposition en torsion des fils périphériques, la contrainte en torsion n'est jamais égale sous la charge. Le sertissage est donc le seul moyen pour « terminer » un monotoron.



Le monofil ou « rod » permet de limiter l'allongement du gréement à des valeurs très inférieures au monotoron.



Les embouts de barres de flèche d'un gréement monofil s'appellent Tip Cup et permettent d'axer le rod dans tous les sens.

Un mât équipé de rod allie esthétique et performance grâce à la finesse du gréement en barres. Ses valeurs de compression peuvent être plus importantes qu'avec du monotoron.

Cher rod

Même concurrencé par le textile type PBO, le rod n'a pas vraiment baissé en prix. Un gréement en rod coûte au minimum 30 % plus cher qu'un gréement identique en monotoron.

Le rod, qui coûte au moins 30 % plus cher que le monotoron, reste donc un matériel très intéressant pour équiper les voiliers de performance qui cherchent à contrôler la tenue de leur mât par tous les temps et à conserver un fardage minimal. Un gréement en rod bien réglé ne « rend » absolument rien dans sa partie sous le vent au près par forte brise. Cela implique aussi que la coque du voilier doit être suffisamment raide dans tous les plans pour accepter une compression importante puisque certains gréements sont maintenus sous charge à l'aide de vérins hydrauliques de pied de mât (mast jack). À noter que l'étape suivante (le gréement en fibres, type Kevlar ou PBO) n'a absolument

■ Caractéristiques comparées de types de gréement dormant à diamètre égal

	Diamètre	Allongement/ mètre avec 1 t de charge	Charge de rupture minimale	Poids/ mètre
Monotoron 1x19	8 mm	1,833 mm	4 640 kg	0,312 kg
Dyform 1x19	8 mm	1,456 mm	6 150 kg	0,345 kg
Monofil (rod)	8,38 mm (nominal)	1,050 mm	7 940 kg	0,434 kg

■ Caractéristiques comparées de types de gréement dormant à charge de rupture presque égale

	Diamètre	Allongement/ mètre avec 1 t de charge	Charge de rupture	Poids/ mètre
Monotoron 1x19	10 mm	1,157 mm	7 250 kg	0,480 kg
Dyform 1x19	10 mm*	0,932 mm	9 770 kg	0,540 kg
Monofil (rod)	8,38 mm (nominal)	1,050 mm	7 940 kg	0,434 kg

■ Caractéristiques comparées de types de gréement dormant d'allongement presque égal

	Diamètre	Allongement/ mètre avec 1 t de charge	Charge de rupture	Poids/ mètre
Monotoron 1x19	12 mm	0,806 mm	6 580 kg	0,703 kg
Dyform 1x19	10 mm*	0,932 mm	9 770 kg	0,540 kg
Monofil (rod)	9,53 mm (nominal)	0,813 mm	10 200 kg	0,560 kg

*N'existe pas en 9 mm.

aucun intérêt sur un voilier, même de performance, à partir du moment où l'on conserve un mât en aluminium (sans parler du prix astronomique) !

■ La grande famille des ridoirs

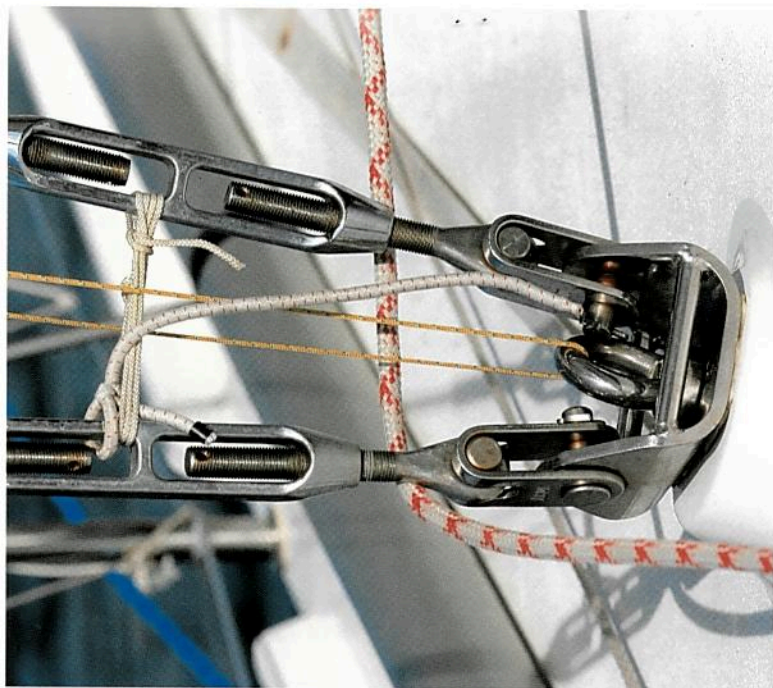
Ultime liaison entre la coque et le gréement, le ridoir de hauban permet de faire varier la tension du gréement sous charge et d'équilibrer le mât. On en trouve aussi bien raccordant le gréement aux cadènes de pont que dans la mâture dans le cas d'un haubannage discontinu avec un réglage fin au niveau des embouts de barres de flèche. Un ridoir se compose d'une cage dont les extrémités reçoivent un filetage femelle. Les cages peuvent être évidées, ouvertes, ou bien pleines, fermées, suivant les fabricants et l'usage.

À retenir

- À diamètre égal, un gréement en monofil s'allonge presque deux fois plus qu'un monotoron et possède également une charge de rupture presque deux fois plus élevée. En revanche, il est plus lourd. Pour cette raison il est possible de diminuer significativement le diamètre d'un monofil pour conserver une charge de rupture équivalente et un allongement moindre. Pour le même diamètre, le Dyform offre des performances sensiblement supérieures que le monotoron mais il est beaucoup plus cher.
- Tout en conservant un coefficient de sécurité sensiblement égal au monotoron, le monofil offre une réduction significative de son diamètre, donc un fardage inférieur, et il prend également l'avantage en terme de poids.
- À allongement équivalent, le monofil possède un coefficient de sécurité presque deux fois supérieur alors que son poids reste inférieur de 15 %.

De l'utilité du cardan

Pour éviter un point de faiblesse, un ridoir doit tirer dans l'axe et donc être parfaitement articulé au niveau de la cadène. Ci-contre, un cardan est intercalé entre cadène et ridoir, permettant à l'ensemble hauban-ridoir de travailler rigoureusement dans l'axe.

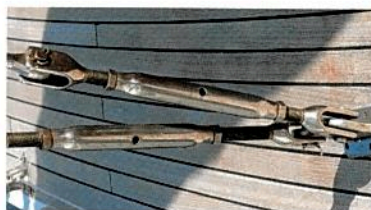


Les ridoirs à cage ouverte sont utilisés pour tous les types de haubanages. Il est facile d'observer leur niveau de tension grâce aux filetages bien visibles.

La plupart des ridoirs sont en cupro-aluminium, un alliage d'aluminium et de cuivre (métal présent à plus de 80 %), inoxydable, ayant la résistance de l'acier. Dans le cas du ridoir, cet alliage offre un très bon coefficient de frottement, nécessaire pour régler sous forte tension. Dans le temps, ce type de ridoir peut se défraîchir car il perd de sa surface chromée, nécessaire à sa valorisation puisqu'il donne alors l'aspect de l'inox !

Beaucoup de fabricants proposent également la même gamme de ridoirs en inox 316 L poli. Plus lourds, ils vieillissent mieux que les ridoirs chromés, mais leur résistance est strictement équivalente à diamètre égal.

Pour une base de gréement très exposée aux boîtes de l'équipage, comme la base d'un étai volant, on préférera les ridoirs à cage fermée qui résistent mieux aux coups transversaux et sont donc moins susceptibles de se tordre. De par leur conception fermée, ils s'avèrent toutefois moins faciles à régler



Esthétiquement plus valorisants, les ridoirs à cage fermée équipent souvent les gréements anciens.

puisque l'on ne distingue pas le cheminement de la tige filetée. Les ridoirs à cage ouverte, naturellement plus légers, sont largement utilisés dans les gréements discontinus qui sont rarement réglés et hors de portée.

Les extrémités des ridoirs peuvent être dotées d'embouts à tige filetée recevant directement le sertissage du hauban ou bien des chapes, fixes ou articulées, permettant de connecter des embouts à œil ou une cadène. Bref, il y a des ridoirs adaptés pour tous les usages mais dont très peu possèdent des cages interchangeables, surtout entre fabricants différents.

Pour mettre le ridoir sous tension, il suffit de visser de façon symétrique les deux embouts (la partie basse vissant dans le sens contraire de la partie haute) jusqu'à la charge maximale préconisée et d'assurer les embouts filetés, soit par un contre-écrou, soit par une goupille bloquant tout mouvement de la cage.

Généralement, le pas du filetage d'un ridoir est défini en « pas impérial », un système d'unités de mesure qui a débuté son règne dans l'empire britannique au début des années 1800. Ce système, communément exprimé en fraction de pouce (1 inch = 25,4 mm) est plus précis que le système métrique qui n'a usuellement pas de fraction de décimale en millimètre. En outre, cette finesse de pas est réputée pour éviter le grippage, le pas étant plus fin donc demandant plus de révolutions, offrant ainsi une meilleure répartition de la charge. C'est une norme internationale mais qui ne doit pas être confondue avec le diamètre de l'axe fileté du ridoir, exprimé en millimètres pour permettre une identification facile.

À noter que le meilleur filetage se fait par roulage, sans copeaux. La matière repoussée du fond des filets remonte au sommet des filets. Le filet n'est donc pas formé par enlèvement de matière mais par des rouleaux qui pressent la tige et créent le filetage en déformant celle-ci. Avantage : l'alliage n'est ni rompu ni coupé et la précision du filetage atteint $\pm 0,01$ mm sur les flancs...

Les ridoirs de pataras

Suivant l'usage et l'investissement financier, le réglage du pataras se fait à l'aide de ridoirs spécifiques représentant quatre types possibles. On notera que les ridoirs mécaniques sont plus destinés aux gréements en tête qui reçoivent directement la tension de l'étai principal, ce qui est moins vrai avec les gréements fractionnés dont la tension de l'étai est plus influencée par le gréement précontraint à barres de fleche poussantes.

1. Ridoir fixe à cage ouverte. Ce type de ridoir ne peut être réglé qu'à l'arrêt car il n'est pas prévu de système permettant un ajustement rapide sous tension. Comme pour un ridoir de hauban, il faut se munir de clés diverses et prendre son temps pour modifier la tension. Les ridoirs fixes de pataras se rencontrent sur de petites unités ou des voiliers d'entrée de gamme ne visant absolument pas la performance.

2. Ridoir à volant. C'est un système sûr et puissant qui se manipule avec l'aide d'un volant, offrant suffisamment de couple pour modifier le réglage sous forte tension. La mécanique est représentée par une vis sans fin s'insé-

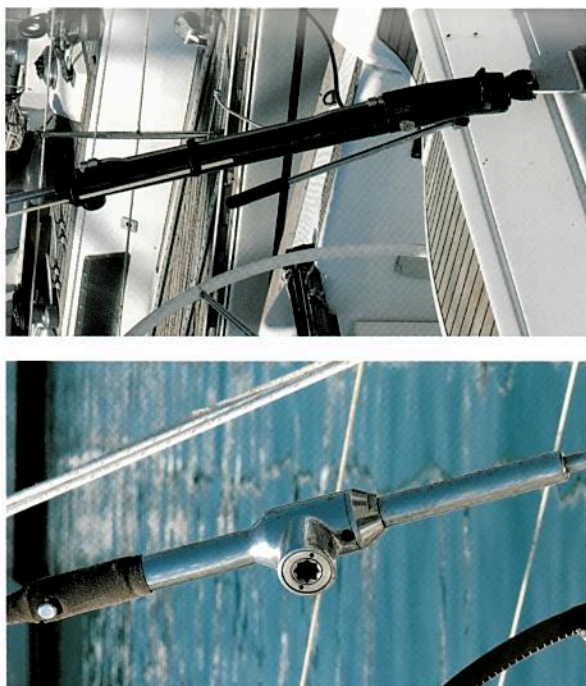
Attention au filetage
Un filetage « foiré », c'est-à-dire dont les filets sont écrasés ou déformés n'a plus aucune fiabilité et ne doit pas être forcé. Dans ce cas, il faut malheureusement changer le ridoir complet.



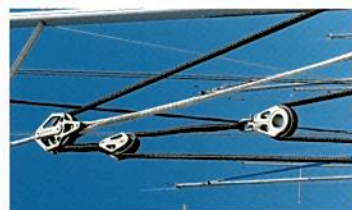
Bien que passés de mode, les ridoirs à volant conservent une redoutable efficacité.

■ Le mâtage et les réglages du gréement

“ De la finesse des réglages de gréement dépend le bon équilibre à la barre et, indirectement, des performances globales de votre voilier. D'où l'importance de contrôler parfaitement toute l'opération de mâtage et d'ajuster finement le haubanage. Avoir confiance en son gréement en toutes circonstances, surtout par mauvais temps, est l'une des clés pour réussir vos futures croisières. À vos outils ! ”



Les ridoirs à vis utilisent une manivelle de winch comme levier. Esthétiquement soignés, ils restent chers et lourds. L'hydraulique, à droite, est très efficace et rapide à régler – la barrette blanche sert de repère de tension.



Les cascades de palans sont aussi pratiques et efficaces que légères et économiques.

rant dans le corps du ridoir. Compte tenu de la lenteur du réglage et de la relative difficulté à tourner le volant, il est courant de laisser, par oubli, le ridoir sous forte tension après la navigation... Longtemps populaire, le ridoir à volant laisse souvent place à des palans à 8 ou 16 brins aussi efficaces, plus rapides à régler, mais pas forcément aussi sûrs.

3. Ridoir à vis. Le mécanisme qui, comme celui à volant, fait également appel à une vis sans fin, est ici actionné par la tête à pans d'une manivelle de winch. Avantage : un couple supérieur à celui d'un volant et le côté amovible éliminant toute prise néfaste à un bout. Ce type de ridoir demande, comme celui à volant, d'avoir une vis entretenue et lubrifiée pour fonctionner sans effort excessif.

4. Ridoir hydraulique. Extrêmement puissant pour sa taille, le ridoir hydraulique s'impose pour tous les croiseurs cherchant la performance. Il a pour lui une puissance facilement contrôlable et une redoutable efficacité. Compact, assez léger, peu encombrant, sans entretien, on le trouve en série sur des voiliers haut de gamme mais également sur les croiseurs de belle taille visant la haute performance.

Les clés de l'équilibre sous voiles

77

La tenue du gréement

80

Réglages : les principes de base

86

■ Les clés de l'équilibre sous voiles

Que ce soit après la livraison du voilier flambant neuf ou bien lorsqu'il y a eu transaction pour acquérir une unité d'occasion, bien peu de plaisanciers se soucient des réglages de leur mât sur leur nouveau bateau. Un hauban que l'on secoue pour éprouver sa tension, un regard dans la mâture sont très souvent les seuls égards du nouveau propriétaire envers l'espar... Et de conclure que tout va bien ! Pourtant, ce jugement hâtif, généralement décrié au port, ne tient pas compte des effets de charge de la voilure en navigation et d'une éventuelle remise en tension jusqu'aux réglages préconisés. Les plus consciencieux vérifient les ridoirs au niveau des cadènes afin de relever un éventuel défaut d'alignement ou une oxydation anormale, mais très rares sont ceux qui font l'effort de se faire hisser dans la mâture pour un contrôle visuel de l'accastillage de mât, des attaches et connexions de haubans. Bien souvent d'ailleurs, plus le haubanage s'avère complexe, moins on cherche à peaufiner les réglages déjà établis lors du premier mâtage, alors que la coque a sans doute « travaillé »...

Le mâtage

Au-delà de 8 à 9 mètres, le mâtage reste une opération assez rare dans la vie d'un voilier. Une manipulation qui s'effectue en général à la première mise à l'eau et qui ne se renouvelle que lorsque le bateau hiverne pour longtemps ou bien lorsqu'il est préparé afin d'être stocké sous abri. Même les hivernages à terre sur les aires de chantier ne demandent pas obligatoirement une mise à plat du mât. Heureusement, d'ailleurs, car l'opération s'avère généralement coûteuse et assez fastidieuse.

En effet, hormis son gréement, le mât est relié au pont par un certain nombre de câbles électriques provenant des feux, d'un éventuel radar, de l'électronique de navigation ou de communication. Compte tenu du fait que ces câbles sont en général d'un seul tenant, c'est-à-dire sans raccord aucun au niveau du passage du pont, ou à la base du mât si celui-ci est implanté sur la quille, il vaut mieux éviter un démontage, source potentielle de problèmes lors du remontage des circuits. Lors de la mise en place du mât, ce remontage des câblages électriques reste probablement le plus fastidieux, bien plus que la mise sous tension des ridoirs.

Ceci dit, le mâtage reste une opération de professionnels, même si le mât de certains bateaux de série (de petite taille) peut être installé par un équipage aguerri et muni de moyens de levage comme une « chèvre » ou les petites grues en self-service que l'on trouve sur certains ports. N'oublions pas que l'espar d'un croiseur de 9 à 10 mètres déplaçant entre 4 et 5 tonnes pèse environ 60 kilos nu, c'est-à-dire sans accastillage ni barres de flèche. Ce devis de poids doit être augmenté d'environ 30 % lorsque le mât est entièrement accastillé (câbles, drisses, poulies, etc.). Un plaisancier ne peut donc mâter seul sans l'aide de moyens mécaniques, en l'occurrence une grue.



La mise en place du mât sur son emplanture est une opération délicate. Le grutier doit être guidé par un équipier qui contrôle la manœuvre.

Pour n'importe quel plaisancier, le mâtage est loin d'être une opération courante. Elle est généralement réalisée par des professionnels équipés de moyens de levage adéquats pour dresser le mât au-dessus du pont. Les préparatifs à cette manipulation sont l'occasion d'inspecter l'ensemble des accessoires qui composent l'espar. Pour de nombreux propriétaires, l'opération s'avère très instructive... Le mâtage est surtout le prélude aux réglages de tension du gréement, très importants pour l'équilibre sous voiles et pour les performances du bateau. Ce chapitre extrêmement pratique est consacré au maintien et aux réglages de votre mât.

Le poids du mât

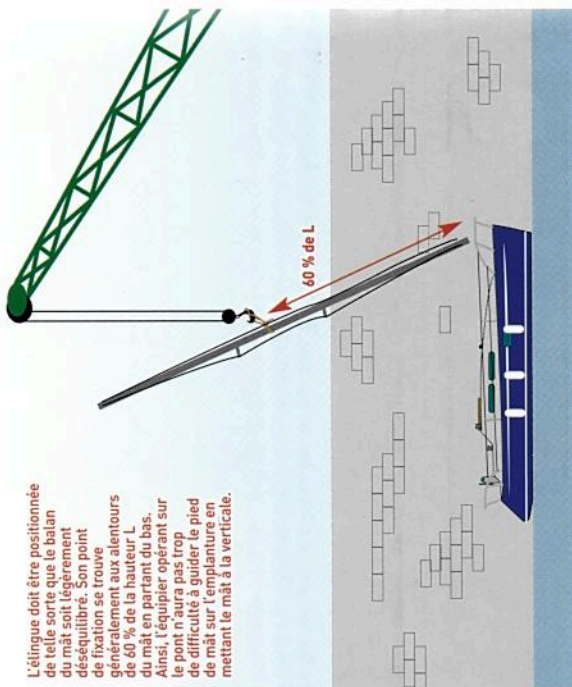
Le poids au mètre du mât est grosso modo fonction du déplacement du bateau, de son couple de redressement, mais aussi de son gréement complet avec plus ou moins d'étages de barres de flèche. Un mât destiné à un voilier de croisière de 9 m pèse 60 kg nu, pour un voilier de 11 m 90 kg, pour un voilier de 12 m 100 kg, pour un voilier de 13 m 135 kg. Ce sont des chiffres moyens qui varient légèrement selon que le mât est posé ou non sur le pont.

Même s'il ne participe pas directement à l'opération de mâtage, le propriétaire du bateau a l'opportunité de contrôler visuellement tous les systèmes d'attache, les capteurs d'électronique et les feux, de s'assurer que tout l'accastillage est en bon état pour les réglages, notamment les axes, goupilles et autres petites pièces. C'est une occasion de bien lubrifier les axes filetés et les réas (avec une huile type WD 40, ou mieux pour filetage) qui sont trop rarement visités pour contrôle mais qui sont tout aussi agressés par les embruns salés, la pluie ou d'éventuelles pollutions.

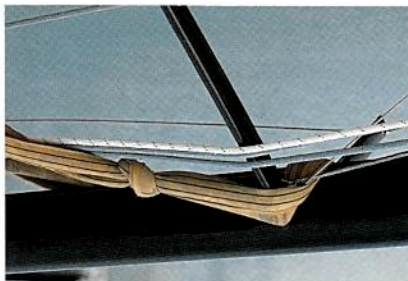
L'élingage

Le mât doit être élingué avec une sangle souple au niveau de son centre de gravité (pas forcément au milieu du tube, ni sous une barre de flèche). Sur les mâts neufs ou récents, celui-ci est déterminé par le fabricant et en général marqué de façon appropriée sur le tube. Ceci permet d'élever le mât de façon équilibrée et de le faire basculer à la demande vers le pont en s'aidant des drisses qui doivent être rassemblées et fixées à la base du mât.

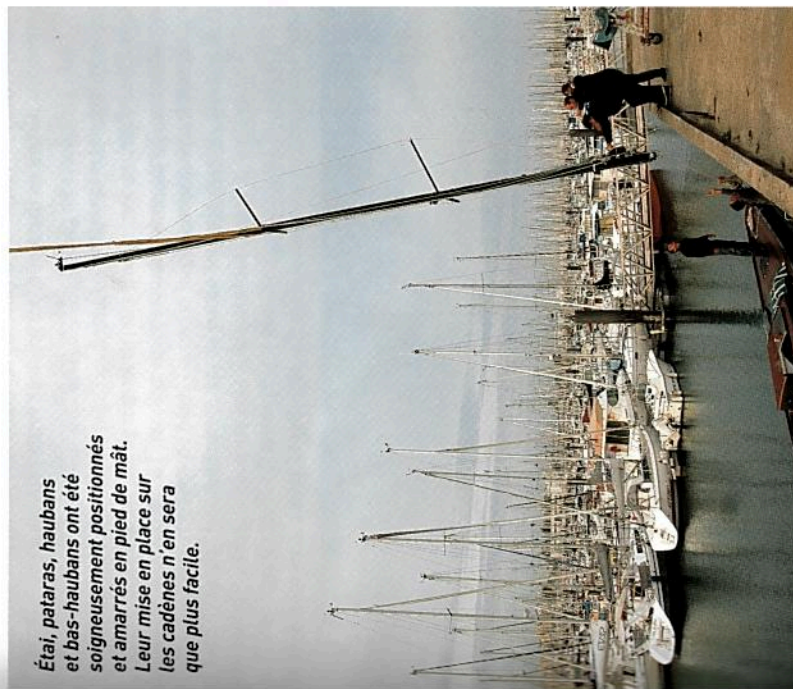
Avec un mât plus ancien, on peut rechercher son équilibre naturel sur un treteau, si le poids le permet, et déterminer alors le centre de gravité qui se trouve généralement à 60 % de la hauteur du mât en partant du bas. Dans la plupart des cas, un grutier expérimenté saura placer l'élingue au bon endroit afin de trouver l'équilibre indispensable pour la suite de la manœuvre.



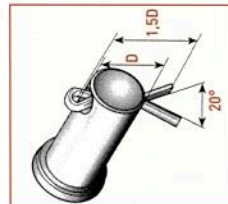
L'élingue doit être positionnée de telle sorte que le balai du mât soit légèrement déséquilibré. Son point de fixation se trouve généralement aux alentours de 60 % de la hauteur L du mât en partant du bas. Ainsi, l'équipier opérant sur le pont n'aura pas trop de difficulté à guider le pied de mât sur l'emplanture en mettant le mât à la verticale.



L'élingue est bloquée par les barres de flèche. Sa longue boucle évite que le croc de la grue ne cogne sur le mât.



Étai, pataras, haubans et bas-haubans ont été soigneusement positionnés et amarrés en pied de mât. Leur mise en place sur les cadènes n'en sera que plus facile.



Les axes de ridoirs se terminent par une goupille qui doit être 1,5 fois plus longue que le diamètre de l'axe. Une ouverture des branches à 20° est suffisante pour maintenir la goupille.

Tenue et préréglages du gréement

Rare flambage

Le flambage d'un mât est la conséquence d'une intense compression. Le tube se plie alors sur lui-même au point le plus faible de l'esprit. Un phénomène aujourd'hui très rare avec les mâts conçus pour la croisière.

Après le grutage et la mise en place du haubannage, il convient d'assurer la tenue du mât en raidissant certains câbles avec un minimum de charge. Ce sont ces préréglages dont il est question ici, c'est-à-dire la tension minimale, la définition de la quète et le contrôle de la rectitude du mât.

Ceci suppose que l'on ait une bonne connaissance des phénomènes d'allongement des câbles, notamment du monotoron, et que l'on soit familiarisé avec le fonctionnement des ridoirs.

Des réglages adaptés à chaque gréement

La production variée de voiliers, qu'ils soient en taille ou en genre, a conduit à différents types de gréements auxquels les mâts se sont conformés. Le temps et les modes passant, on trouve au fil des générations de voiliers de multiples configurations avec des haubannages aussi simples que compliqués.

Comme dans les chapitres précédents séparant sans ambiguïté les types de gréements, il faut en distinguer ici les deux types principaux :

- les gréements en plans,
 - les gréements poussants.
- Que l'on subdivise en :
- haubannage continu,
 - haubannage discontinu.
- Eux-mêmes subdivisés en :
- haubannage en tête,
 - haubannage fractionné.



Les conséquences d'un démâtage ne sont pas forcément liées au flambage du mât, mais plus souvent à la rupture d'un hauban.

Des haubans à la bonne longueur

Même dans le cas d'une production de grande série, aux cotes bien établies et connues, il est possible d'observer des différences de longueur entre deux haubans a priori égaux, et cela quel que soit leur type, monotoron serti ou à cosse. Ces différences s'observent majoritairement sur les gréements continus. Pour permettre une stricte concordance de réglage au niveau du nombre de tours de filetage par ridoir, il est bon de mesurer la longueur effective et très précise des haubans.

Cela peut se jouer à quelques millimètres, mais cette différence peut correspondre à l'allongement du gréement sous charge, et donc ruiner tous vos espoirs de stricte parité entre les réglages de charge de bord. S'il y a différence de longueur entre les câbles, il faut en tenir compte au moment de la première mise sous tension du ridoir en ajoutant ou en retirant un ou deux tours de filetage sur le bord concerné. Auparavant, il faut bien sûr calculer la concordance en millimètres.

Il existe encore des variantes avec des formules à bas-étau, bas-haubans avant et arrière, faux-étau ou étau de trinquette, des fractionnés en 19/20... Ces variantes seront abordées à l'intérieur de ces subdivisions car elles ne sont pas essentielles aux réglages de base. La partie la plus importante des réglages et leur difficulté se concentrent sur la partie latérale du mât car il y a de nombreuses interactions entre les câbles, surtout quand le nombre de barres de flèche augmente. Il est notamment plus facile d'incliner un mât d'avant en arrière en jouant avec le seul étau que de le conserver parfaitement vertical dans le plan latéral.

Enfin, il faut procéder aux réglages en deux temps : d'abord à quai et ensuite sous voiles par belle brise, entre 11 et 15 nœuds maximum, soit aux alentours de force 3.

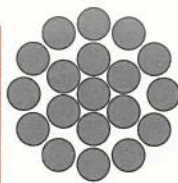
Le phénomène d'allongement

L'une des constantes d'un gréement en monotoron tient dans son allongement proportionnel à la charge. Sous tension, un monotoron s'étire de façon linéaire jusqu'à une valeur située en moyenne entre 15 et 20 % par rapport à sa charge de rupture, quel que soit son diamètre. On considère ainsi qu'un gréement chargé à 5 % de sa rupture s'allonge d'un millimètre tous les deux mètres. Si l'on reprend une coupe en section du monotoron (voir ci-contre), on s'aperçoit qu'il y a beaucoup d'espace entre les fils. Sous tension, les fils vont se rapprocher pour former un ensemble plus compact, proche du monofil (qui possède une valeur d'allongement 30 % inférieure à celle du monotoron à charge égale). Ainsi, plus on approche de la charge de rupture, moins le câble se détend. En revanche, la marge de sécurité diminue par rapport à la tension exercée.

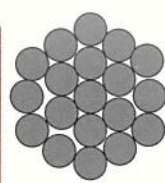
Rod éiré

Avec un gréement en monofil (rod), l'allongement n'est que de 0,7 mm tous les deux mètres, soit environ 30 % en moins que le monotoron, à charge de rupture égale (et non le diamètre).

Monotoron sans charge



Monotoron avec charge



Sections d'un câble monotoron soumis ou pas à une charge. Le dessin du bas montre que sous l'effet de la charge, les fils se sont rapprochés pour former un ensemble plus compact.

■ Charge de rupture d'un câble monotoron

Diamètre (mm)	Rupture (kg)	Ce tableau permet de déterminer la tension statique d'un câble en fonction de son diamètre et de sa charge de rupture. Ainsi, un galhauban de 8 mm mis sous tension à 15 % de sa charge de rupture exercera 807 kg de traction statique au niveau du ridoir (5 380 x 0,15). Autant dire qu'il faut un ridoir en bon état, lubrifié comme il se doit, pour atteindre cette valeur sans forcer sur le filetage
3	756	(source Soromap)
4	1 340	
5	2 100	
6	3 030	
7	4 120	
8	5 380	
10	8 400	
12	12 100	
14	16 500	
16	21 500	

Des efforts capables de déformer une coque...

La coque d'un voilier neuf en stratifié de fibre de verre se déforme plus ou moins à la première mise sous tension du mât – cela dépend de sa structure et de la reprise d'efforts du gréement. Il faut donc refaire les réglages dès la première saison passée.

Donc, sachant qu'un gréement monotoron s'allonge sous charge, il faut en tenir compte lors de la mise sous tension du gréement pour ne pas se retrouver avec des haubans sous le vent très mous et se baladant exagérément dès que l'on est au près dans la brise. C'est pour cela que les réglages de gréement se font en deux temps : le réglage statique au port et le réglage dynamique en mer, sous pleine voilure. Ceci est valable aussi bien pour les gréements neufs que pour les gréements anciens dont les câbles ont déjà servi, puisque ceux-ci reprennent leur état initial dès la charge supprimée.

Les préreglages statiques

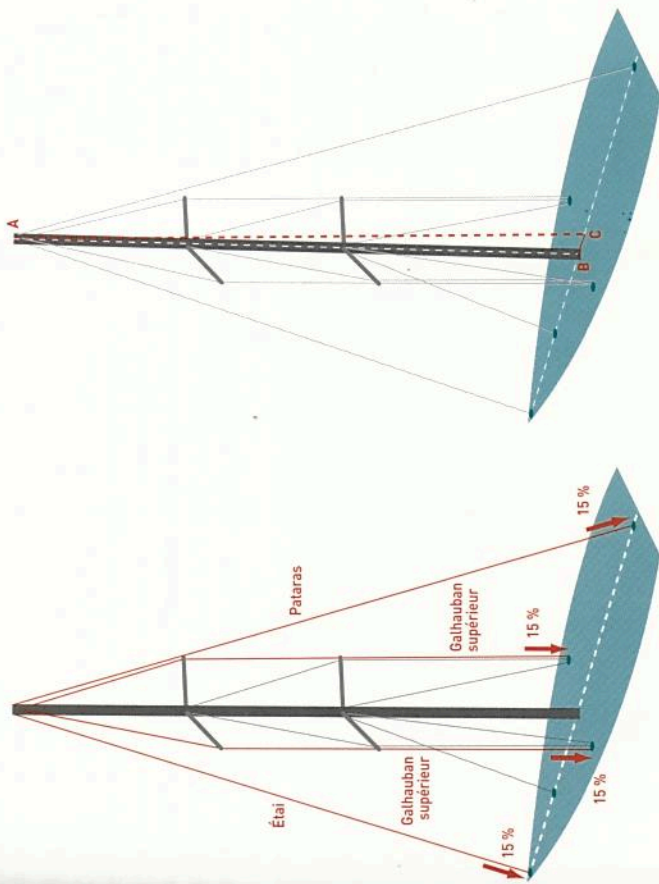
À quelques nuances près, ces préreglages peuvent s'appliquer à tous les gréements. Ils ont pour but de donner un minimum de tension à l'ensemble du gréement, de définir la quête du mât et de s'assurer que le profil est parfaitement rectiligne dans les deux plans, longitudinal et latéral.

Nous verrons que les mâts implantés sur la quille, ce qui est généralement le cas des voiliers orientés vers la régate et la course-croisière, demandent des préreglages plus spécifiques en raison du précintrage qu'il faut imposer au mât. Le réglage général d'un mât posé sur le pont se traduit ainsi :

- Réglage de l'étau principal permettant d'obtenir 1° de quête vers l'arrière. Selon les lois de la trigonométrie (tangente d'un angle) cela correspond à un décalage de 17 millimètres par mètre en arrière de l'axe du mât.
- Tension des câbles supérieurs (étai, pataras et galhaubans) à 15 % de leur charge de rupture.
- Serrage à la main des autres câbles (intermédiaires, bas-étai et bas-haubans).
- Contrôle de la forme parfaitement rectiligne du mât dans les deux plans, latéral et longitudinal.

■ La tension minimale

■ La quête du mât



Les préreglages de tension ne concernent que les câbles supérieurs, étai, pataras et galhaubans. Tous doivent être soumis à une tension de l'ordre de 15 % de leur charge de rupture. Les autres câbles, intermédiaires, bas-haubans et bas-étai doivent juste être raidis à la main en veillant à ce que le mât soit parfaitement rectiligne dans les deux plans.

Une quête de 1 degré sur l'arrière s'obtient en jouant sur la longueur de l'étau. Celui-ci n'ayant pas de ridoir, on ajoute ou on enlève des cardans entre la cadène d'étrave et l'étau lui-même. La quête se calcule avec un fil à plomb (AB) afin de déterminer le point C. La valeur du segment BC est de 17 mm par mètre de mât. Pour un mât de 10 m, BC sera égal à 17 cm.

Nous verrons lors de l'étude des réglages plus fins pour chacun des types de gréement que ces réglages de base peuvent être nuancés.

Le cas particulier des mâts implantés sur la quille

La production des voiliers de croisière utilise massivement l'épontille de mât pour des raisons de mise en œuvre industrielle, de prix de revient, d'entassement et d'esthétique. Les mâts implantés équipent donc des unités axées sur la performance, importance étant donnée à la répartition de la charge dans la structure de la coque et à la courbure du mât en adéquation avec la forme des voiles. Le dessin page 84 montre qu'un mât emplanté suit un cintrage constant à partir de la quille et non du pont, adoptant ainsi une forme convexe régulière et continue (en regardant vers l'étrave).

Huile qui file

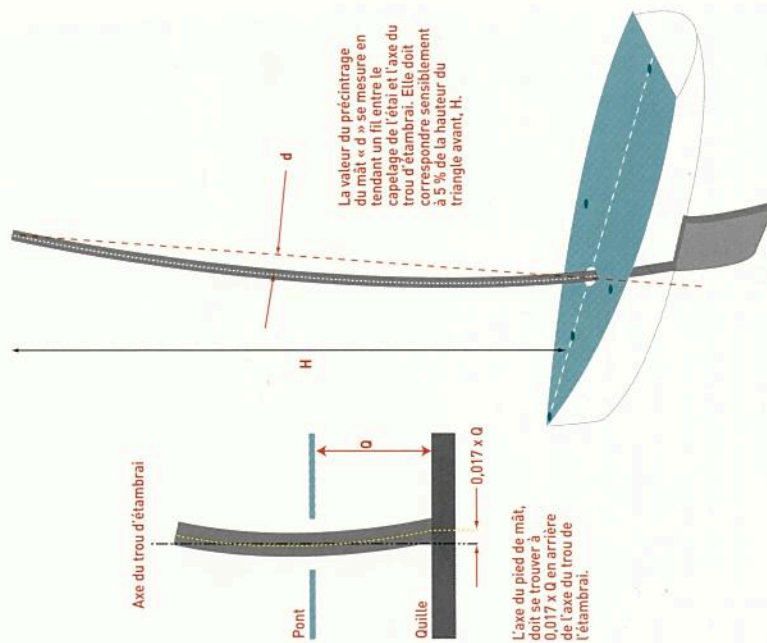
Les huiles pour filetage permettent de faire tourner sous forte charge un filetage de ridoir sans craindre une déstructuration des molécules d'huile, de la « casser ».

Ce sont des huiles à viscosité élevée et qui sont solubles dans l'eau (très chaude). Ainsi traité, un ridoir peut rester à poste, car les parties des filetages qui sont engagées restent bien lubrifiées.

Le réglage général d'un mât implanté se traduit ainsi :

- Comme avec n'importe quel autre mât, il faut régler l'étau principal pour obtenir 1° de quète vers l'arrière (soit 17 millimètres par mètre en arrière de l'axe du mât).
- L'axe du pied de mât posé sur la quille (dont le centre théorique se trouve à la verticale du centre du trou d'étrambrai) doit lui se trouver à 0,017 x Q vers l'arrière (Q étant la distance du pied de mât au pont). Par exemple, pour un bateau dont la hauteur sous barrot est de 1,80 mètre au pied du mât, l'axe du mât se trouvera 3 cm en arrière de la verticale (0,017 x 1,80 m).
- Si l'on tend le patacas à 15 % de sa charge de rupture, on obtient une courbure régulière, un précintrage, correspondant à environ 0,5 % de la hauteur du triangle avant.

■ Le centre des mâts implantés sur la quille



teur du triangle avant. Ce qui, pour un mât de 15 mètres au-dessus du pont, signifie que l'axe de la tête de mât se trouve à 7,5 cm en arrière de la verticale.

■ Ainsi réglé, le maître-voilier peut dessiner des voiles en fonction de ce précintrage, ce qui est particulièrement important pour le creux de la grande-voile et l'interaction avec le foc.

- En navigation, la base des réglages doit donc tenir compte d'une mise en tension du patacas. Celui-ci doit être ajusté sous voiles à partir des 15 % de charge statique (voir tableau p. 82).
- À noter que si la valeur du cintrage du mât (calculée par rapport à la verticale de l'axe) dépasse celle d'un demi-profil de mât, le mât lui-même risque de travailler moins bien en compression. Le gréement peut alors devenir plus mou. C'est dans cette configuration que l'on observe les déformations (hormis ceux dus à la rupture d'un hauban) les plus fréquents.

Réglage de tension : méthode du mètre pliant

Pour régler de façon précise un gréement en lui faisant subir une tension proportionnelle à sa charge de rupture, le fabricant de mâts Selden propose une méthode qui ne nécessite que des outils simples et qui convient à toutes les tailles de gréements de croisière en monotoron.

Pince-moi
Évitez l'usage du tournevis comme bras de levier à l'intérieur d'un ridoir à cage.
Si celui-ci est grippé, la cage sera faussée. Utilisez une pince-étau en enserrant la cage. Le levier sera aussi efficace.

Le sens des ridoirs



Serrez dans le bon sens !

Les ridoirs, quel que soit leur modèle, ont un sens conventionnel : on les sert dans le sens horaire. Si tel n'est pas le cas, il faut les retourner. Ceci est important car lors des réglages de

Il est important que l'opération de mise en tension débute par une stricte égalité du nombre de filets engagés en haut et en bas dans la cage du ridoir.

■ **Le cas des ridoirs à chape**
Avec un ridoir à chape, le procédé est le même, mais il est plus facile d'allonger le filetage supérieur puisqu'il n'est pas relié solidement au hauban.

Avant le mâtage, tous les filetages fixés sur les cadènes devront donc être allongés au maximum (jusqu'au dernier tour de fil) en tournant la cage dans le sens horaire. Lors de la mise en tension du gréement, il est important d'observer une bonne synchronisation de serrage entre chaque bord.

tension, on se simplifie grandement le travail si l'ensemble des ridoirs du gréement fonctionne dans le même sens. Il est également important que les quantités de filetages engagés en haut et en bas de la cage soient rigoureusement égales. Sinon on diminue la marge de serrage et de desserrage disponible.

■ **Le cas des embouts sertis**
Les ridoirs avec un embout fileté supérieur serti sur le câble possèdent un pas de vis permettant d'allonger le ridoir lorsque l'on visse la cage en sens horaire. Il faut donc allonger au maximum la partie supérieure, solidaire du hauban, rappelons-le, avant d'engager le filetage inférieur.

Le mètre pliant est simplement tenu par un ruban adhésif sur le hauban.

Il s'agit de mesurer facilement l'effet de la charge, c'est-à-dire l'allongement d'un hauban lorsque celui-ci est sollicité jusqu'à une valeur de 15 % en moyenne, sachant que l'allongement devient très limité au-delà de 20 % de charge.

Il est inutile de connaître le diamètre du câble, et donc sa charge de rupture, puisque, rappelons-le, quelle que soit sa grosseur un câble monotoron s'allonge en moyenne d'un millimètre tous les deux mètres avec 5 % de charge.

Voici donc la méthode :

1. Une fois le mât posé sur le pont et maintenu par l'étau, le pataras et les bas-haubans avec les ridoirs juste serrés à la main, on fixe le double mètre pliant sur l'un des galhaubans de telle façon que son extrémité se positionne à 5 millimètres au-dessus de la cosse ou du sertissage (le pied à coulisse sert à mesurer précisément ces 5 mm).
2. Serrez les ridoirs à la main sur chaque galhauban.
3. Avec les outils adaptés suivant le type de ridoirs, commencez à tendre (en mémorisant le nombre de tours) jusqu'à obtenir un allongement du câble de 1,5 mm. Avec le pied à coulisse, on doit donc mesurer 5 mm + 1,5 mm au-dessus de la cosse jusqu'à la base du mètre.
4. Opérez de même sur le galhauban opposé et serrez-le de la même valeur, c'est-à-dire du même nombre de tours sur le filetage du ridoir.

5. Recommencez l'opération sur chacun des galhaubans jusqu'à obtenir une valeur d'allongement de 3 millimètres, correspondant à la charge optimale statique d'un gréement de croisière, c'est-à-dire 15 % (5 % tous les millimètres). On doit donc lire 8 mm avec le pied à coulisse pour la distance entre la terminaison et la base du mètre pliant.

6. Suivant les préconisations du fabricant, on peut augmenter la valeur de tension, la règle du millimètre par 5 % de charge restant valable, mais dépasser 20 % n'a pas vraiment d'utilité sur un voilier de croisière en polyester utilisant un gréement en monotoron, la structure étant alors trop sollicitée.

Attention, quand vous mettez un galhauban sous tension, le galhauban opposé subit la même valeur de tension ! Il est donc très important de respecter précisément le même nombre de tours de filetage par ridoir pour conserver un mât droit. Conséquence directe : lorsque l'on essaie de redresser un mât en resserrant le ridoir d'un seul bord, on aug-



Dès que le câble est sous tension, son allongement se matérialise par un décalage que l'on mesure au pied à coulisse, entre le mètre et le manchonnage.

mente la charge de rupture sur les deux galhaubans et l'on détend le reste du haubanage, soit les bas-haubans et les intermédiaires dans le cas d'un gréement continu ! Tout est alors à refaire...

■ Réglages : les principes de base

Le réglage d'un gréement n'a qu'un but : conserver le mât droit ou harmonieusement cintré, sans aucun dévers d'un bord ou de l'autre et stable par tous les vents. Il doit à la fois procurer un sentiment de sécurité et permettre un accord le plus fin possible avec le jeu de voiles. Avant d'aborder les réglages par genre de gréements, il faut avoir en tête une constante : tous les haubans intermédiaires, bas-haubans et galhaubans intermédiaires, ne servent qu'à maintenir le mât droit latéralement et le plus en harmonie avec la voilure. Seuls les galhaubans supérieurs et le couple étau-pataras permettent d'obtenir l'essentielle compression statique du mât, et donc sa tenue par une tension appropriée. Le reste du haubanage ne doit pas être tendu au-delà des valeurs des galhaubans supérieurs. C'est pour cela qu'il est essentiel de concentrer tous ses efforts sur la parfaite similitude de réglages de ces galhaubans sur chaque bord.

Gréement continu

A - Gréement en tête à un étage de barres de flèche en plan ou pousantes, mât sur le pont, bas-haubans avant et arrière.

À quai

Lors de la mise en place du mât, fixer et raidir à la main les galhaubans, l'étai et le ou les pataras. Retirer l'élingue, puis tendre les bas-haubans également à la main, en essayant de maintenir le mât le plus droit possible.

Tendre les galhaubans à 15 % de charge suivant la « méthode du double mètre pliant ». Raidir les bas-haubans en veillant à ce que le mât reste parfaitement rectiligne. Pour cela, placez votre œil sous la gorge de grand-voile et vérifiez sa parfaite rectitude à chaque modification de réglage.

Variante 1 : bas-étai au lieu de bas-haubans avant.

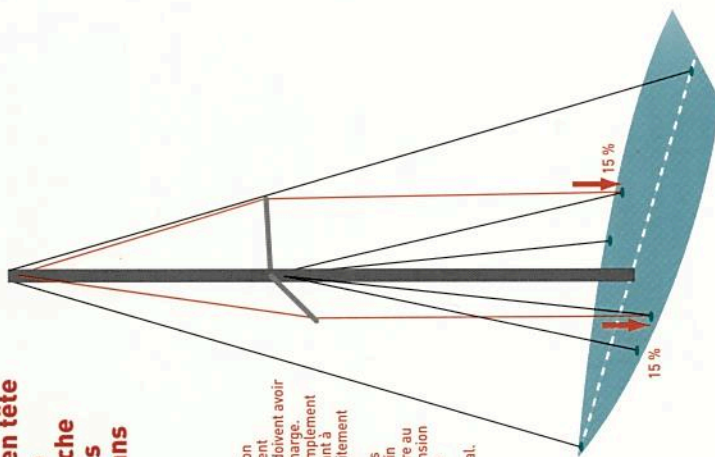
On peut donner un léger précintrage avec le bas-étai.

Les bas-haubans arrière ne servent qu'à contrôler ce précintrage.

■ Gréement en tête à un étage de barres de flèche et deux paires de bas-haubans

Les pré-règlages de tension concernent essentiellement les galhaubans. Ceux-ci doivent avoir une tension de 15 % de charge. Les autres câbles sont simplement tendus à la main en veillant à ce que le mât reste parfaitement rectiligne.

On peut raidir un peu plus les bas-haubans avant afin de donner un peu de cintre au mât. Dans ce cas, leur tension doit être rigoureusement identique afin de ne pas déformer le mât en latéral.



Variante 2 : plusieurs étages barres de flèche avec bastaques et étai de trinquette.

Les tensions de galhaubans ne changent pas. Les bastaques servant à raidir l'étai de trinquette peuvent être tendues jusqu'à 30 % de charge. Ne pas oublier le marquage de la position idéale sur le bout de manœuvre.

Sous voiles

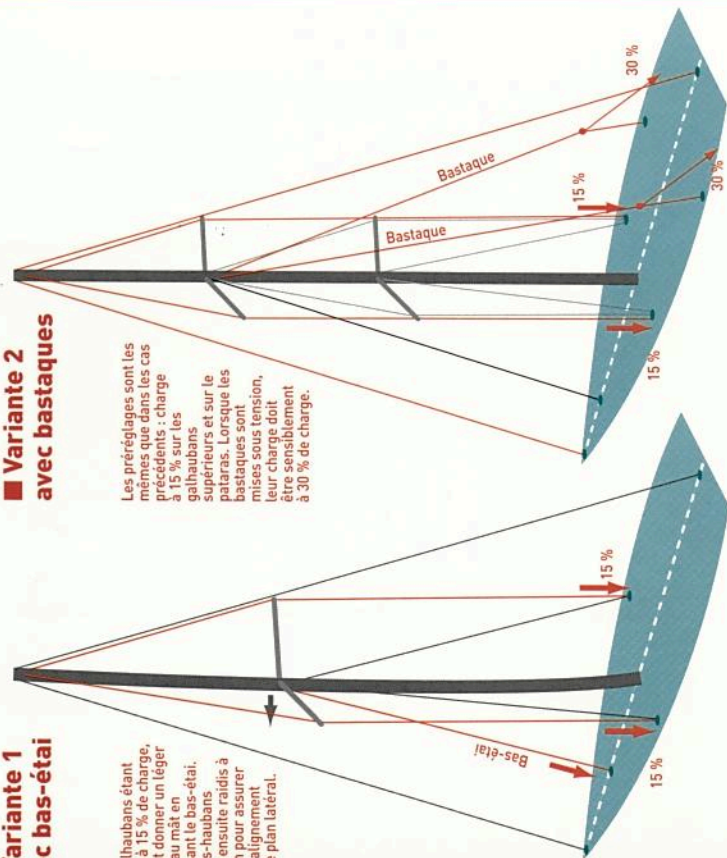
L'idéal est de faire une sortie en mer par un bon vent de force 3 (de 11 à 15 nœuds). Naviguez au près et observez si le galhauban sous le vent demeure tendu jusqu'à environ 20° de gîte. Si tel n'est pas le cas, raidissez-le raisonnablement. Contrôlez la rectitude du mât en observant le guindant la grand-voile. S'il y a divergence latérale (pas plus de 5 mm d'écart avec l'axe), reprenez le contrôle du mât avec les bas-haubans et reprenez également la tension du galhauban supérieur, juste pour éliminer le mou éventuel.

■ Variante 1 avec bas-étai

Les galhaubans étant réglés à 15 % de charge, on peut donner un léger cintre au mât en raidissant le bas-étai. Les bas-haubans seront ensuite raidis à la main pour assurer le bon alignement dans le plan latéral.

■ Variante 2 avec bastaques

Les pré-règlages sont les mêmes que dans les cas précédents : charge à 15 % sur les galhaubans supérieurs et sur le pataras. Lorsque les bastaques sont mises sous tension, leur charge doit être sensiblement à 30 % de charge.



Excès de tension
Plus on applique de tension sur un pataras, plus les galhaubans se détendent. Ainsi, reprendre excessivement de la tension de pataras dans la brise pour tendre l'étai n'est pas sans conséquence.



Un bon force 4 et une mer plate, le temps idéal pour raidir son haubannage en navigation.

Dans le cas d'un défaut d'alignement du mât et afin de conserver une tension égale, il faut dévisser le hauban trop tendu et le reprendre sur l'autre bord de la même valeur.

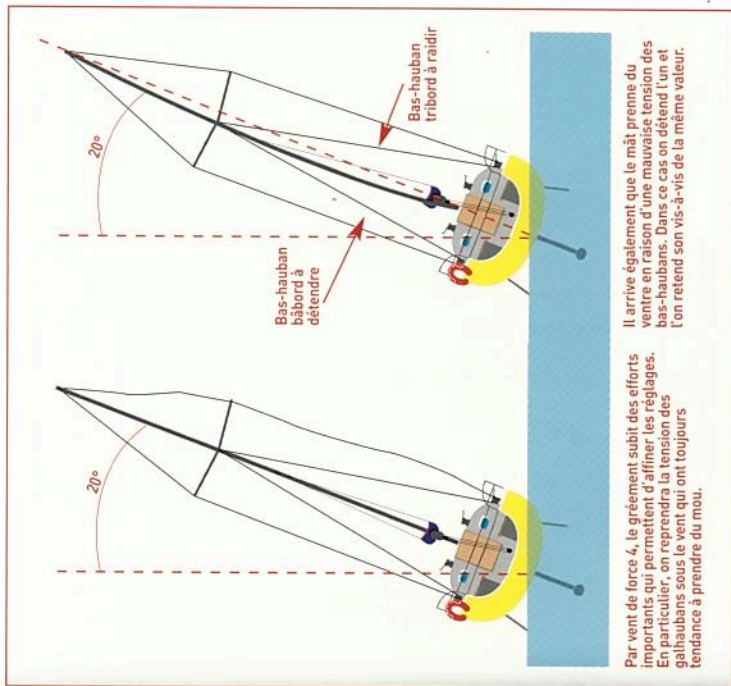
Répétez l'opération sur l'autre bord.

Avec ce vent, la charge croît sur l'étai et la tête de mât a tendance à partir sur l'avant. Il faut alors augmenter la charge du patacas jusqu'à 30 %, la marquer sur le ridoir, ce qui, compte tenu de l'angle plus aigu de l'étai avec le mât, augmentera la charge de l'étai de 40 % (c'est pour cette raison qu'un étai possède en général le plus gros diamètre de monotoron du bord).

Prendre des ris !

Sous voiles, quel que soit le gréement, il ne faut pas hésiter à prendre des ris pour vérifier si le mât conserve sa rectitude sous l'impulsion de la voile. Cela concerne surtout la partie basse du mât lorsque les trois ris sont pris et que la

tête de mât n'est plus soutenue avec la chute de la grand-voile. On peut alors observer des phénomènes de cintrage arrière ou bien de mât en S, par vent fort, au près. Une longue séance de réglages vous attend.



À la fin de la séance, bloquez les ridoirs et notez les réglages pour s'y référer s'il y a une mise à terre du mât annuelle ou par croisement des connaissances.

B - Gréement en tête à plusieurs étages de barres de flèche poussantes, mât sur le pont, bas-haubans avant et arrière.

Par rapport au gréement en plan, les barres de flèche poussantes requièrent plus de tension dans le haubannage, donc plus de compression.

À quai

Lors de la mise en place du mât, fixer et raidir à la main les galhaubans, l'étai et le patacas. Retirer l'élingue, puis tendre les bas-haubans et le bas-étai également à la main, en essayant de maintenir le mât le plus droit possible.

Tendre ensuite le patacas à 15 % de charge suivant la « méthode du double mètre pliant » et faire une marque.

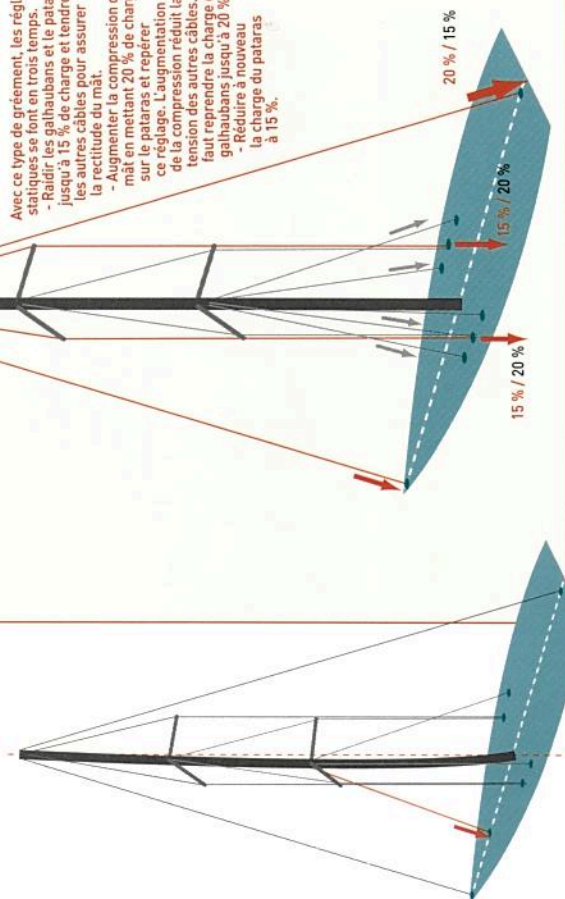
Tendre également les galhaubans à 15 % de charge.

Raidir de façon égale et sans excès les bas-haubans et les haubans intermédiaires de telle façon que le mât reste rectiligne. Pour cela, placez votre œil

■ Gréement en tête à plusieurs étages de barres de flèche et bas-haubans avant et arrière

Avec ce type de gréement, les réglages statiques se font en trois temps.

- Raidir les galhaubans et le pataras jusqu'à 15 % de charge et tendre les autres câbles pour assurer la rectitude du mât.
- Augmenter la compression du mât en mettant 20 % de charge sur le pataras et repérer ce réglage. L'augmentation de la compression réduit la tension des autres câbles. Il faut reprendre la charge des galhaubans jusqu'à 20 %.
- Réduire à nouveau la charge du pataras à 15 %.



Variante 1 : bas-étai au lieu de bas-haubans avant

Il faut donner un léger précintrage avec le bas-étai au niveau du premier étage de barres de flèche. Les bas-haubans arrière ne servent qu'à contrôler ce précintrage.

sous la gorge de grand-voile et vérifiez sa parfaite rectitude à chaque modification de réglage.

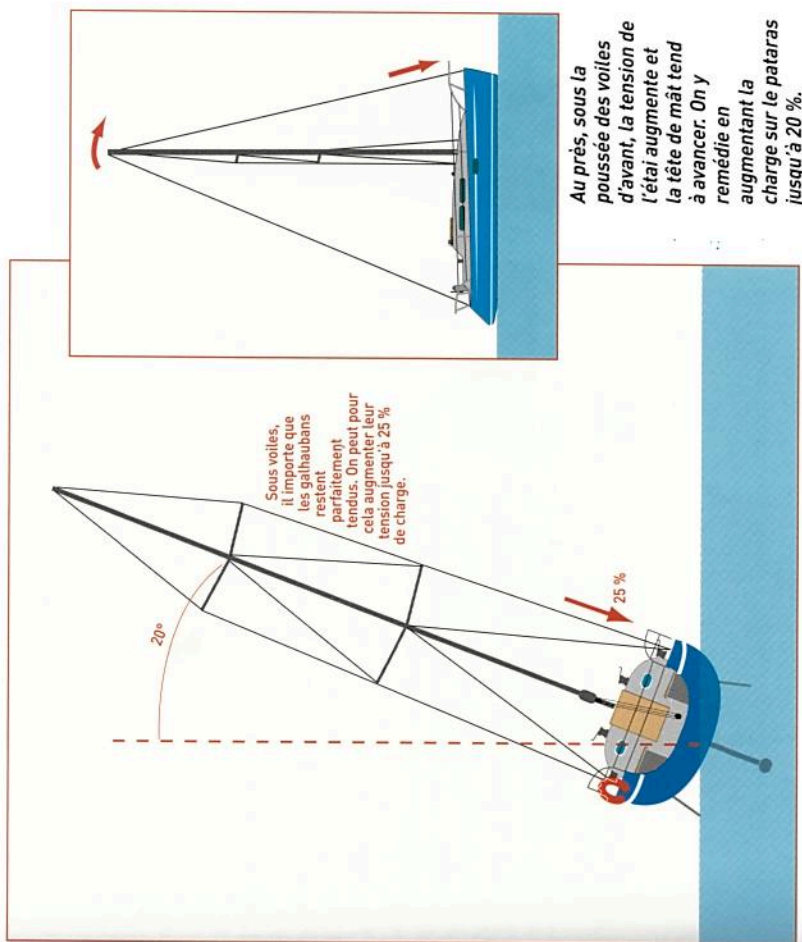
Tendre maintenant le pataras à 20 % de charge et placer une marque sur le câble (ou le ridoir si vous possédez un ridoir hydraulique, à volant ou à vis). Cette marque est la limite supérieure de tension statique pour un gréement poussant.

Suite à l'augmentation de la compression du mât, le gréement a été détendu. Augmenter alors la tension des galhaubans jusqu'à 20 % de charge.

Réduire ensuite la tension du pataras à 15 % et vérifier à nouveau la tension des galhaubans qui ne peut dépasser 25 % de la charge de rupture car la structure de la coque n'apprécierait pas la longue...

Sous voiles

Au près, par force 4, observez si le galhauban sous le vent demeure tendu – ceci est très important dans le cas d'un gréement poussant – jusqu'à environ



Au près, sous la poussée des voiles d'avant, la tension de l'étai augmente et la tête de mât tend à avancer. On y remédie en augmentant la charge sur le pataras jusqu'à 20 %.

Sous voiles, il importe que les galhaubans restent parfaitement tendus. On peut pour cela augmenter leur tension jusqu'à 25 % de charge.

20° de gîte. Sinon, raidissez-le raisonnablement jusqu'à 25 % de charge. Contrôlez la rectitude du mât avec le guindant de la grand-voile. S'il y a divergence latérale (pas plus de 5 mm d'écart avec l'axe), reprenez le contrôle du mât avec les bas-haubans ainsi que la tension du galhauban, juste pour éliminer le mou éventuel.

Dans le cas d'un défaut d'alignement du mât et afin de conserver une tension égale, il faut dévisser le hauban trop tendu et reprendre son vis-à-vis sur l'autre bord de la même valeur.

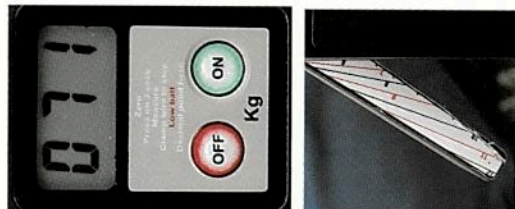
Il faut répéter l'opération après avoir viré de bord.

Avec ce vent, la charge croît sur l'étai et la tête de mât a tendance à partir sur l'avant. Il faut augmenter la charge sur le pataras jusqu'à 20 %, la marquer sur le ridoir, ce qui, compte tenu de l'angle plus aigu de l'étai avec le mât, augmentera la charge de l'étai de 40 %. À la fin de la séance, bloquez les ridoirs et notez les réglages.

Le tensiomètre

Ce tensiomètre de chez Harken (modèle Rig-tune Pro) permet de régler la charge de tension au kilo près. Il se fixe sur le hauban grâce à ces deux boutons bloqueurs. Le levier latéral permet de régler le palpeur en fonction du diamètre du câble. La tension s'affiche sur l'écran digital et varie instantanément dès que l'on agit sur le ridoir.

L'intérêt d'un tel appareil est de connaître exactement la charge appliquée au hauban et de régler à l'identique l'ensemble des câbles d'un bord et de l'autre. Les propriétaires de monotypes transportables que l'on mâte et démâte souvent sont les principaux utilisateurs. Son principal inconvénient est son prix : un peu plus de 250 euros hors taxes...



Raidir un patacas

Comme avec les galhaubans, un patacas doit être raidi à 15 % de charge. C'est une tension minimale pour obtenir un étai raisonnablement raide par beau temps. Si le vent forcé, il faut augmenter la charge car la tête de mât avance naturellement sous la pression du foc et ramollit l'étai. Il faut donc régler le patacas pour maintenir la tête de mât verticale ou bien lui donner plus de quète arrière. La charge peut augmenter jusqu'à 30 %, voire plus. Tout dépend de la raideur longitudinale que votre voilier est capable d'accepter avant les premiers craquements ou les ouvertures de coiffes qui coïncident. Dans tous les cas, ce type de réglage ne peut être réalisé qu'avec un ridoir à vis, à volant, hydraulique

ou encore par cascades de palans pour les unités les plus petites. Il faut repérer la position minimale et maximale sur le câble ou sur le filetage. Pour être précis on peut adjoindre une règle au corps du ridoir qui indiquera précisément l'effet de la tension sur la longueur de câble absorbée.

À noter qu'à quai il est bon de respecter la valeur minimale de charge car un patacas trop mou sifflie aussi un étai trop mou et des pièces d'accastillage manquant de tenue et de tension. Conséquence : les chapes, les axes, les œils, les cosse s'usent sous le va-et-vient et conduisent parfois à des ruptures de gréement en navigation, inexplicables a priori.

C - Gréement 19/20°, ou presque en tête, barres de flèche poussantes à un ou plusieurs étages, mât sur le pont, bas-haubans arrière.

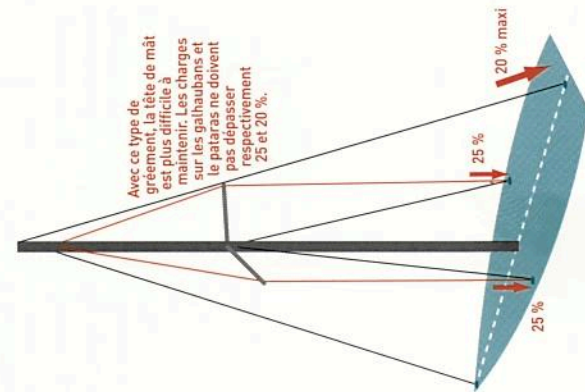
Par rapport aux réglages du cas B, il ne faut pas dépasser 20 % de charge avec le patacas, alors que les galhaubans restent à 25 % de charge maximale. L'intérêt de ce type de gréement, très répandu chez les voiliers de série de taille moyenne, est de limiter la compression du mât en changeant légèrement la géométrie et de réduire les efforts mécaniques.

La tension du patacas est ici primordiale. La relâcher en deçà de sa position normale (15 % de charge) peut entraîner un cintrage négatif de la partie haute du mât. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les barres de flèche poussantes ne peuvent empêcher ce phénomène.

À bord des voiliers utilisant des palans en cascade pour le réglage de la tension du patacas, on a intérêt à assurer le patacas avec une sauvegarde qui limite la course du patacas en cas de rupture des palans ou de fausse manœuvre.

Naturellement, le mât devrait toujours montrer un cintrage positif et régulier.

■ Gréement 19/20°



Le patacas n'étant pas capelé à la même hauteur que l'étai et que les galhaubans, sa tension est primordiale. Trop faible (- de 15 %), le mât risque de prendre un cintrage inverse dans sa partie haute.

Avec ce type de gréement, la tête de mât est plus difficile à maintenir. Les charges sur les galhaubans et le patacas ne doivent pas dépasser respectivement 25 et 20 %.

Ajuster l'angle de barre

Pour barrer avec toute la sensibilité nécessaire, un bateau ardent est préférable à un bateau neutre. Mais point trop n'en faut. La quête du mât est un des moyens de régler cette sensation qui doit générer entre 2° et 5° de barre au vent, maximum. Donc, sous voiles, celles-ci étant les mieux réglées possibles et les plus plates possible pour obtenir un centre de voilure le plus proche de l'idéal, il faut observer la quête et juger de l'importance du couple de rappel de barre. Entre ardent et neutre. Ce type de réglage, la modification de la quête, est plus facile à effectuer avec un gréement largement fractionné.

Gréement discontinu

Un processus lent et rigoureux

Contrairement au gréement continu, le gréement discontinu est un gréement solidaire ! En clair, raidir un galhauban entraîne tout le haubannage latéral par cascade au-dessus du V1 et demande un protocole rigoureux pour ne pas endommager le reste du gréement.

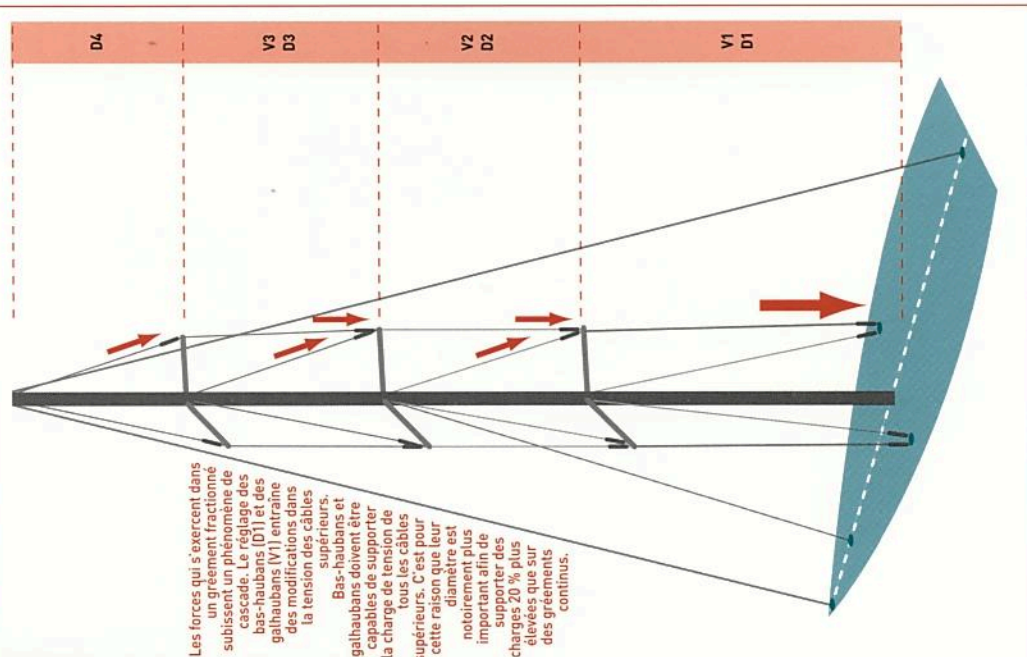
Les valeurs de charge des galhaubans peuvent être augmentées jusqu'à 25 % par rapport au gréement continu dans toutes ses variantes, que ce soit avec des barres de flèche poussantes ou en plan, car ces galhaubans supportent la tension des intermédiaires (D2 et D3...). Toutefois, dès que l'on a affaire à un gréement à plusieurs étages, les choses se compliquent puisque les ridoirs des intermédiaires se trouvent alors en bout des barres de flèche. Et donc hors de portée du réglage des ridoirs de galhaubans au niveau des cadènes de pont.

Il faut donc prérégler avant le mâtage tout le haubannage intermédiaire (D2, D3...) ainsi que les galhaubans (V2, V3...). Un ajustage minutieux et en premier lieu un peu lâche doit être réalisé avec les préconisations du fabricant de mât. Les barres de flèche fixées par un barreau permettent de trouver instantanément le bon angle (+ ou - 6°) et donc de prérégler le haubannage en tenant compte de cette valeur. Le plus difficile est de chiffrer l'allongement des câbles (1 mm par 5 %) et de mettre en charge tout le gréement avec le seul ridoir du galhauban (V1). Si le gréement est trop précontraint au montage avant l'action sur le V1, il y a risque d'avarie majeure au niveau des embouts de barres de flèche, sans compter les surcharges dans les terminaisons.

Il faut ensuite compter sur la parfaite exactitude de la longueur des haubans par panneaux et du respect de la précision du nombre de tours de filetage pour obtenir des réglages symétriques.

Il y a une forte chance que vous soyez obligé de monter dans la mâture au port et de terminer patiemment les réglages adéquats, en particulier de retendre les intermédiaires avant d'appliquer la charge finale sur chaque gal-

■ Gréement discontinu



Les forces qui s'exercent dans un gréement fractionné subissent un phénomène de cascade. Le réglage des bas-haubans (D1) et des galhaubans (V1) entraîne des modifications dans la tension des câbles supérieurs. Bas-haubans et galhaubans doivent être capables de supporter la charge de tension de tous les câbles supérieurs. C'est pour cette raison que leur diamètre est notoirement plus important afin de supporter des charges 20 % plus élevées que sur des gréements continus.

hauban. À noter que les gréements discontinus ne tolèrent pas des galhaubans mous sous le vent et demandent une valeur de charge permanente de 20 % à 25 % suivant la configuration du mât, en tête ou fractionné, poussant ou en plan.

Avec le discontinu, il est très difficile de régler un tel gréement en mer. Il faut donc prendre des notes. Revenir, reprendre les réglages, ressortir, etc.

Il est assez normal qu'en navigation le ou les bas-haubans sous le vent soient juste tendus et non « blindés » ; il en est de même pour les intermédiaires (D), puisque, rappelons-le, ils ne servent qu'à tenir le mât droit et ne participent pas vraiment à la charge de compression venant du V1.

Encore une fois, la subtilité des réglages est un gage de réussite de l'équilibre du bateau à la barre et de sa capacité à subir du vent à toutes les allures et avec toutes combinaisons de voilure.



Les voiliers modernes ne donnent le maximum de performances et de plaisir qu'à la condition que voiles et gréement soient parfaitement réglés.

■ Maintenance les précautions à prendre

“ Même si un mât en aluminium ne vieillit pas comme un espar vernis, il faut toutefois l'inspecter régulièrement pour détecter d'éventuels points de faiblesse : fissures de fatigue, corrosion anormale, etc. Mais le plus important reste le contrôle du haubanage. C'est lui qui tient le mât, subit tous les efforts et à ce titre mérite tous les égards. Jusqu'à son remplacement, par principe de précaution ! ”

Vérification annuelle	101
Un haubanage sous surveillance	105
Changer le haubanage ?	107

Attention...

Évitez de monter dans le mât, votre chaise de calfat accrochée avec une drisse mixte câble-textile. L'épissure de liaison est le gros point faible de ce genre de montage !



Une inspection régulière du gréement est nécessaire car toutes les pièces d'accastillage ne travaillent ni ne vieillissent de la même façon.

Développé et industrialisé en même temps que les voiliers de série en polyester, le mât en alliage d'aluminium est aussi « increvable » qu'une coque en « plastique ». Comment ne pas louer les qualités d'un matériau qui ne s'oxyde pas comme un vulgaire morceau d'acier, qui s'autoprotège dans le temps et qui subit les assauts du soleil et des embruns salés sans subir de dommages et fait face structurellement à toutes les tempêtes sans broncher ? Un miracle, en somme. Une aubaine pour le plaisancier dont le mât dépassera probablement l'espérance de vie du bateau, et ceci grâce à des coefficients de sécurité importants au moment de la conception du profil et à une tolérance sous l'effort qui n'a d'égale que la simplicité d'utilisation.

Insensible à la corrosion, certes. Largement calculé pour parer aux soudains efforts de compression, soit. Le mât n'en possède pas moins un ennemi : le haubannage qui le soutient. Les chutes de mât dues à la seule rupture du tube restent rarissimes. Un mât de compétition conçu avec d'infimes marges de

sécurité peut s'écrouler lorsqu'une compression dynamique dépasse le seuil critique de la résistance structurelle du tube. C'est ce qui se passe lors d'un saut de vague et d'une réception très violente sans aucun amortissement. La compression subit alors un pic qui peut conduire au désastre. Mais d'autres facteurs peuvent rentrer en jeu, comme celui d'un haubannage qui perd sa tension initiale à la suite de la déformation de la structure de la coque sous un impact particulier. Le mât, moins soutenu pendant un court laps de temps, peut alors subir des efforts directionnels imprévus, comme l'inversion de la forme du profil.

Les démâtages sont donc quasiment uniquement le fait d'avaries périphériques. Lorsque l'on détaille tout ce qui compose un mât complet avec son gréement, on s'aperçoit que nombre de pièces de liaison sont à surveiller de très près, de même que les terminaisons de haubans qui peuvent être affaiblies par les chocs et l'oxydation. D'où l'intérêt de vérifier tout cela périodiquement.

■ Vérification annuelle

Même si un mât en alliage d'aluminium ne demande aucun entretien, sous réserve qu'il soit correctement anodisé, il faut toutefois contrôler visuellement son état tous les ans en se hissant jusqu'à sa tête à l'aide d'une chaise de calfat. On considère qu'une grosse révision, qui peut prendre la forme de la mise à terre du mât, doit être entreprise tous les 4 à 5 ans ou après plus de 10 000 milles (un aller et retour d'une traversée de l'Atlantique).

C'est également une précaution nécessaire si vous avez acquis un voilier d'occasion qui a déjà plusieurs saisons de navigation. Même si un expert sérieux mandaté lors de la transaction d'achat n'a pas manqué de faire une telle inspection, il est important de vérifier visuellement chaque pièce d'accastillage et toutes les liaisons avec le gréement.

Voici une liste non exhaustive de points de détail à inspecter régulièrement sur le mât et à réparer éventuellement le plus rapidement possible.

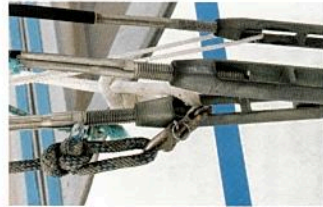
- Repérer les chocs, en particulier au niveau du rail de tangon. Cela peut engendrer des pertes de résistance mécanique de l'aluminium, et donc du profil. Contactez le constructeur du mât, avec photos à l'appui et en prenant soin de matérialiser l'échelle avec un centimètre étalon près de l'impact.
- Contrôler attentivement tout l'environnement des barres de flèche, notamment les embases et les embouts. Ce sont des endroits où s'exercent le plus de contraintes et où se produisent les plus grosses usures dues au jeu des pièces quand le gréement est détendu sous le vent.
- Les fixations de pièces d'accastillage prennent souvent du jeu, soit par ovalisation sur le métal, soit par usure de la pièce suite à un manque de serrage. L'ovalisation peut se rattraper en fixant la pièce avec un axe de diamètre supérieur et en réalisant éventuellement le trou. Si la pièce est usée, il faut la changer.

Bien protégé

Si le mât est stocké à terre, enveloppez-le avec du film alimentaire transparent. Cela le protège de toutes les poussières qui peuvent salir les gréements dormants ou courants. Seule précaution : il ne faut pas enferrer d'humidité comme des drisses textiles pleines de sel.



Un démâtage permet d'ausculter tout le gréement facilement.



Évitez de fixer une drisse sur des cages ouvertes de ridoirs.



Isolez l'accastillage du mât avec un joint élastomère.

■ Les rayures profondes peuvent engendrer des fissures, et donc conduire à des pertes de résistance mécanique. Elles s'observent souvent le long du rail de grand-voile, sur la face avant du mât à l'endroit où le point d'écoute de foc rague, et vers la tête de mât où l'émillon d'enrouleur peut être responsable d'usure s'il est un peu trop baladeur. Il faut alors prendre les mêmes précautions que pour un choc et appliquer les mêmes remèdes, c'est-à-dire suivre les conseils du constructeur.

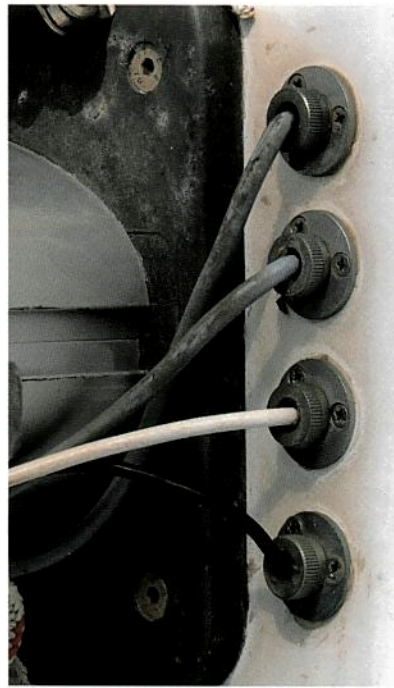
■ Les vis, sous forme de système Torx ou Allen, doivent être maintenues serrées à bloc. Sinon, la prise de jeu peut conduire à « foirer » le filetage jusqu'à l'arrachage du métal. La pièce que ces vis maintiennent peut également casser.

■ Un rivet qui a du jeu doit être réparé. Au mieux, si le rivet peut se retirer sans trop de dégâts, on peut le remplacer par un de même diamètre en veillant à ce qu'il s'écrase bien et que la pièce soit fortement fixée. Au pire, on peut le remplacer par un rivet de diamètre plus gros. Pour cela, il faut réparer le trou dans le mât.

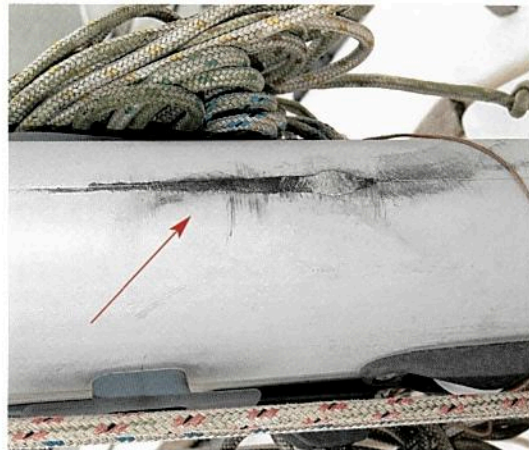
■ Un rivet ou une vis inox posé sur un mât ancien doit être isolé de l'alliage du mât, même si l'anodisation paraît bonne. Une pointe de joint type Sikaflex suffit. À défaut, un film plastique alimentaire redécoupé après la pose peut fonctionner.

■ Les ridoirs en alliage bronze cupro-nickel à cage ouverte, très répandus sur les petits croiseurs, peuvent être rechromés pour retrouver un aspect proche du neuf et mieux visualiser leur vieillissement.

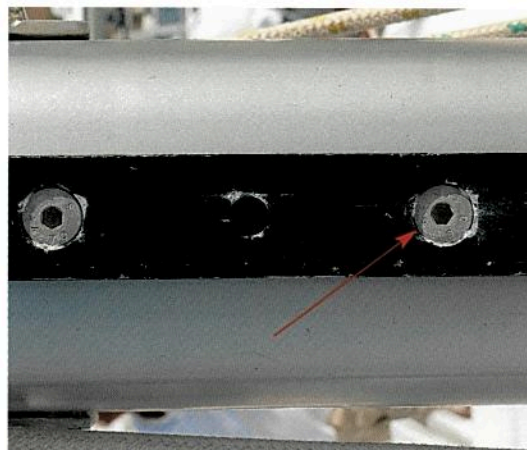
■ Vérifier avec le plus grand soin le cheminement des câbles électriques alimentant les différents capteurs d'électronique dans le mât : girouette, VHF, radar, etc. Toute fuite électrique est une source de corrosion instantanée.



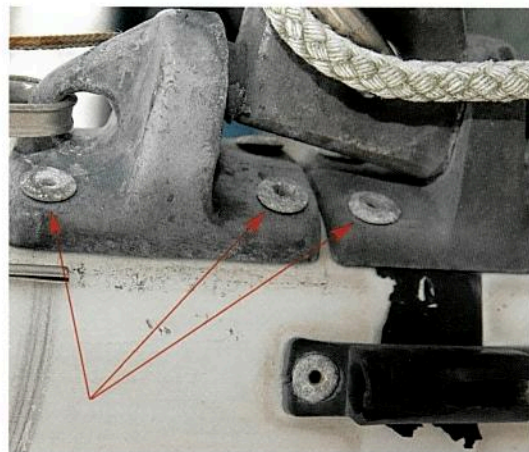
Les passages des câbles doivent être visités très souvent pour éviter toute infiltration. Ici, sur un Océanis de série, il manque une protection...



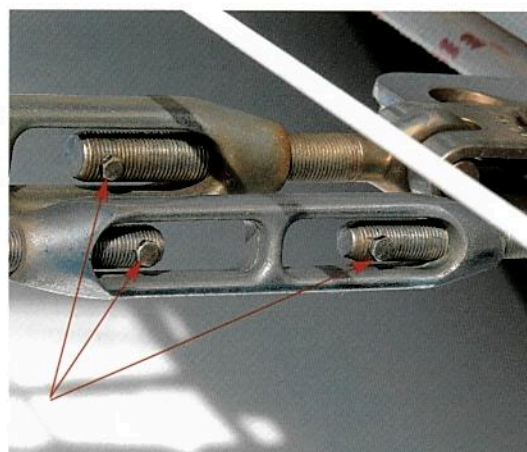
Tous les chocs et les griffures sur le métal doivent être inspectés avec sérieux. On peut les protéger avec du vernis époxy incolore.



Les vis Allen sont à inspecter souvent parce qu'elles sont généralement mal isolées du mât. Lubrifiez et serrez à bloc.



Ces rivets ont pris du jeu et leur remplacement est recommandé. Si le trou d'origine est ovalisé, il faudra prendre un rivet de diamètre supérieur.



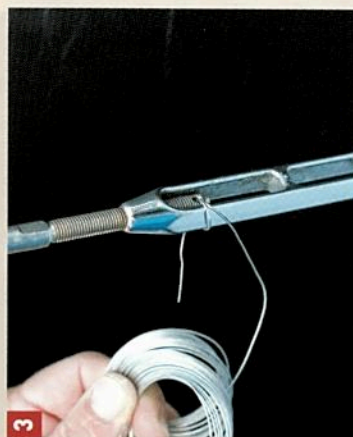
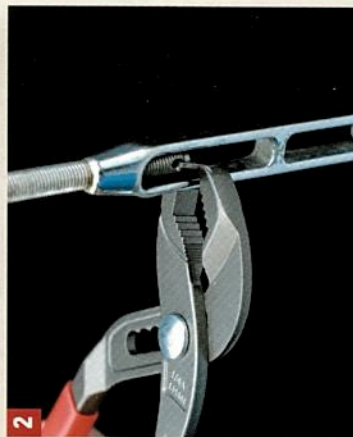
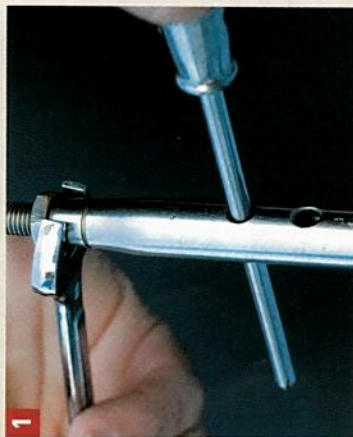
Ces petits boulons sont une alternative aux goupilles. Le ridoir de droite mériterait une passivation de l'inox pour lui rendre son brillant.

Assurer un ridoir

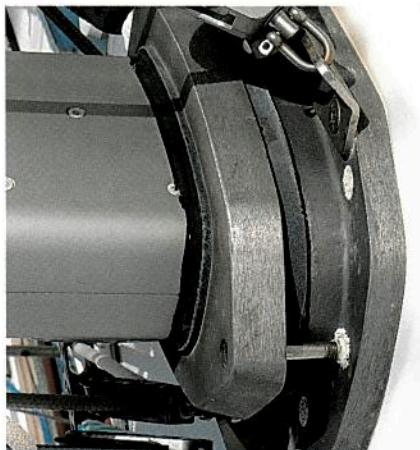
Avec un haubannage en monoton, le gréement sous le vent se détend sous le vent dès que la charge augmente, c'est-à-dire dès que le vent forcé au-delà de force 4. Libérées de toute tension, les cages de ridoirs jouent alors sur leur filetage et se dévissent facilement si le ridoir n'est pas assuré. En général, deux systèmes prévalent : le blo-

cage par contre-écrous sur les axes de filetage au-dessus de la cage - un montage observé sur les ridoirs à cage fermée -, et des axes percés sur les filetages - généralisés sur les ridoirs à cage ouverte - qui permettent d'y insérer des goupilles empêchant le débatement de l'axe. On le répète : il faut changer les goupilles à chaque fois qu'elles

sont extraites car le pliage du métal conduit à la casse... On peut également effectuer un transfilage avec du textile (comme illustré sur la photo page 72), mais la tenue dans le temps est plus aléatoire. Enfin, n'oubliez pas les protections en plastique ou mieux en métal, qui protègent le ridoir du ragage de l'écoute de foc.



Trois systèmes permettent de bloquer un ridoir au réglage désiré : par contre-écrou (1) en haut et en bas du ridoir à cage fermée ; avec une goupille pour des ridoirs à cage ouverte (2) ; on peut aussi les bloquer avec un transfilage (3). Les protéger d'un adhésif ou d'un cache-ridoir évite les accrocs sur les vêtements et dans les voiles (4).



L'étanchéité d'un mât implanté se fait soit par une jupe en caoutchouc, soit par un joint en polymère (photo).



Un rinçage régulier à l'eau douce de l'ensemble du gréement est l'un des meilleurs facteurs anti-corrosion pour les câbles inox.

née qui va déliter rapidement l'alliage, et donc engendrer une faiblesse structurelle, souvent invisible si elle est à l'intérieur du mât. Il faut donc repérer d'éventuelles fuites de courant avec un multimètre et localiser la fuite éventuelle. Déposer le mât demeure alors la vraie solution pour remplacer le câble incriminé ou refaire la connectique aérienne en toute sécurité.

■ Si l'anodisation a été grattée et enlevée du métal, l'alliage va s'autoprotéger rapidement. Mais, pour éviter toute prolifération de la perte d'anodisation, il suffit de vernir la partie concernée avec une laque époxy transparente.

■ Si vous êtes équipé d'un mât implanté, vérifier l'étanchéité du collier au niveau de l'étambrai. Changer éventuellement la jupe de caoutchouc ou réagréer le joint de Sikaflex.

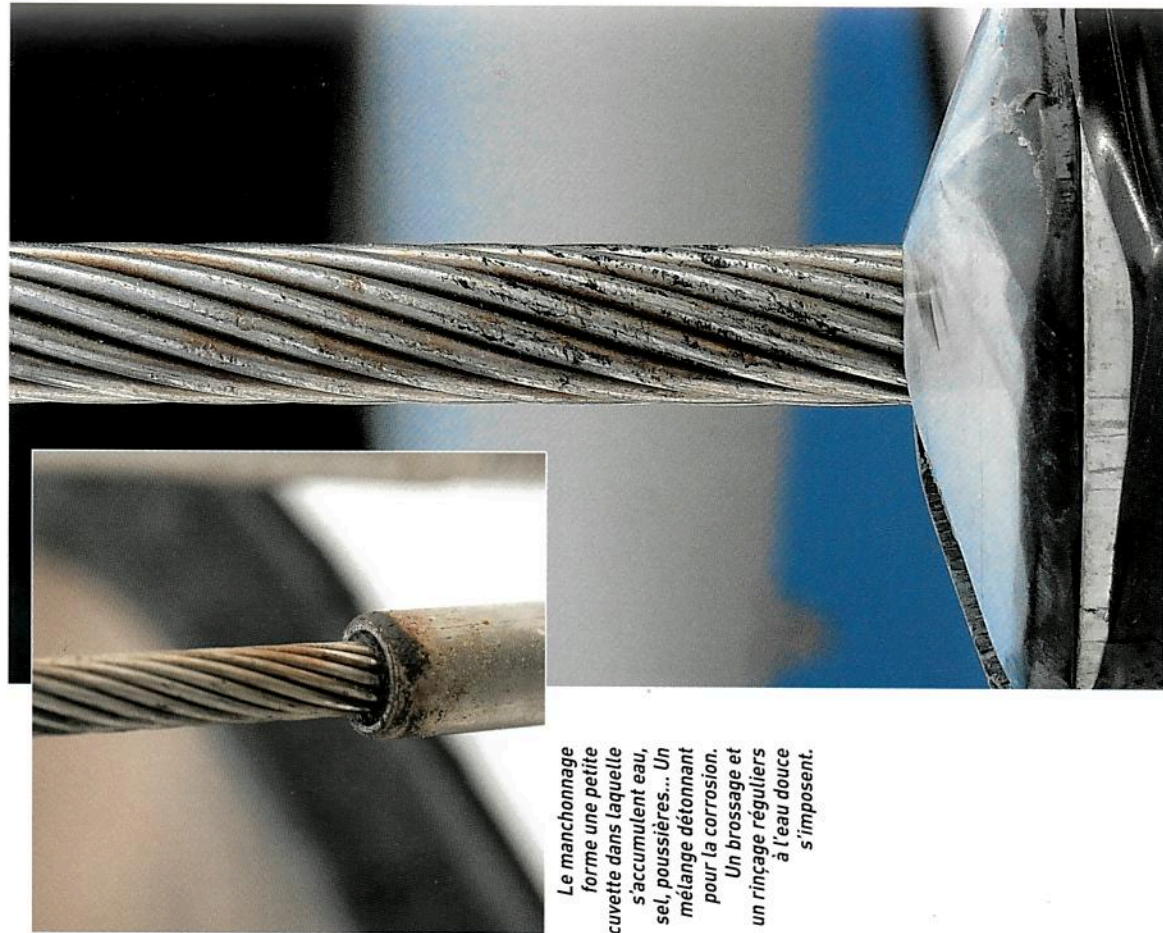
■ Laver le mât régulièrement ainsi que toutes les parties accessoires, comme le tangon et la bôme, avec un détergent doux, surtout pas avec un produit « décapant » qui pourrait attaquer l'anodisation ou les vernis de protection de soudure.

Un haubannage sous surveillance

Stationnant dans un port tout au long de l'année, un voilier passe en général l'épreuve du temps avec une remarquable constance grâce, entre autres, à la qualité des matériaux qui composent son équipement. Même si le haubannage en monotoron inox ne craint pas grand-chose, il vieillit, agressé par l'air salin, les efforts dans la mer et le vent, les coups et les mauvais traitements. Voici de quoi le maintenir en forme.



Les axes et les lattes à trous qui fixent l'étai sont sujets à torsion et à chocs : une inspection régulière s'impose.



Le manchonnage forme une petite cuvette dans laquelle s'accumulent eau, sel, poussières... Un mélange détonnant pour la corrosion. Un brossage et un rinçage réguliers à l'eau douce s'imposent.

Un fil de monotoron peut subir de violents impacts comme lors du passage du point d'écoute de génôis. Il se crée ainsi des points de faiblesse propices à l'apparition de « gendarmes » (rupture du fil).

- Avant l'hiver, même sans dématé, nettoyer le haubanage, câbles et ridoirs, avec un chiffon imbibé de solvant type white-spirit. Cela neutralise l'oxydation éventuelle en passant le métal et élimine les pollutions de toutes sortes pouvant transporter des matières favorisant l'oxydation.
- Repérer un éventuel gendarme, signe d'un fil d'acier cassé. Il faut alors changer systématiquement le hauban incriminé ainsi que son frère sur l'autre bord. En effet, les haubans ont vieilli par paires et ont donc subi les mêmes efforts.
- Regarder attentivement les sertissages et autres terminaisons. À la moindre fissure sur l'inox, changer le hauban (et son frère de l'autre bord...). Une corrosion sévère qui ne s'efface pas avec un solvant conduit aux mêmes conclusions.
- Contrôler attentivement les contacts entre l'acier inox et l'aluminium. Même si l'inox est parfaitement neutre sur l'échelle galvanique, il possède toutefois une forte différence de potentiel avec l'alliage d'aluminium.
- Si vous ne naviguez plus pendant plusieurs mois, vous pouvez mollir légèrement le haubanage, continu ou discontinu, au niveau des ridoirs de galhaubans. Attention de ne pas oublier le repérage des tours desserrés, et surtout de remettre le gréement en tension avant la première navigation.

■ Changer le haubanage ?

Est-il vraiment nécessaire de changer ses haubans après un certain nombre de milliers de milles ? La plaisance moderne a grosso modo cinquante ans et nombre de voiliers de l'époque naviguent toujours avec le même hauba-



Changer un haubanage est une opération nécessaire après un certain nombre de milles. Les assureurs l'exigent pour des voiliers de plus de dix ans d'âge.

■ Annexes

nage. Cela ne veut pas dire que ces haubans ne soient pas fragilisés ou qu'ils aient longtemps navigué sous charge, subi du mauvais temps et aient été mal entretenus. Mais, comme dans beaucoup d'assemblages mécaniques soumis à des contraintes connues, le principe de précaution prévaut et l'on considère qu'au bout d'un certain nombre de cycles de fatigue du métal – vibrations, chocs, charges soudaines... –, il faut changer la pièce. Bref, un haubanage en monoton de dix ans ou ayant accompli l'équivalent de 25 000 milles est bon à changer.

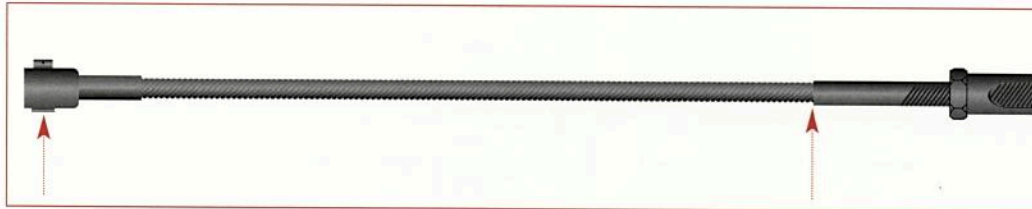
Un conseil qui peut faire grincer des dents et alimenter forums et polémiques mais, au-delà de ces chiffres, on rentre dans un cycle de vieillissement qui ne garantit plus l'homogénéité de l'ensemble du haubanage. Encore une fois, il se peut très bien que les haubans assurent leur service dix années supplémentaires, mais le risque augmente de subir une casse majeure entraînant la chute du mât.

Il est à noter que nombre de compagnies d'assurances demandent systématiquement le renouvellement du haubanage après un certain temps (cela varie suivant les compagnies), que c'est une précaution recommandée par des experts maritimes lors de transactions de voiliers anciens, mais que vous n'êtes pas non plus obligé d'assurer votre voilier (à moins de stationner à l'année dans un port ou d'y faire escale).



Cet Etap 30, de près de trente ans d'âge, devrait en être au troisième renouvellement de son gréement...

Mémorisez vos longueurs de haubans	110
Mémorisez vos réglages de ridoirs	111
À propos des tensiomètres	112
Adresses utiles	112

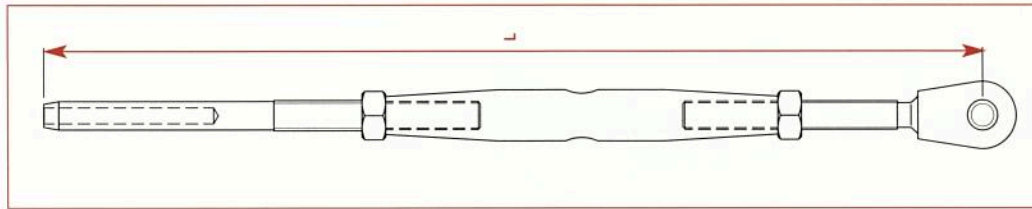


La longueur d'un hauban se prend depuis l'axe du trou de la chappe supérieure jusqu'au haut du manchonnage inférieur.

■ Mémorisez vos longueurs de câbles (gréement continu)			
Nom du câble	Année de mise en service	Longueur en mètres	Diamètre en millimètres
Étai principal			
Étai de trinquette			
Bas-étai			
Bas-hauban avant			
Bas-hauban arrière			
Galhauban supérieur			
Galhauban intermédiaire			
Pataras			

■ Mémorisez vos longueurs de câbles (gréement discontinu)			
Nom du câble	Année de mise en service	Longueur en mètres	Diamètre en millimètres
Étai principal			
Étai de trinquette			
Bas-étai			
Bas-hauban avant			
Bas-hauban arrière			
V1			
D1			
V2			
D2			
V3			
Pataras			

■ Mémorisez vos réglages de ridoirs			
Étai principal			trou
Étai de trinquette			mm
Bas-étai			mm
Bas-hauban avant		bâbord tribord	mm
Bas-hauban arrière		bâbord tribord	mm
Galhauban supérieur		bâbord tribord	mm
Galhauban intermédiaire		bâbord tribord	mm
Bas-hauban avant		bâbord tribord	mm
D1 (discontinu)		bâbord tribord	mm
V1 (discontinu)		bâbord tribord	mm
D2 (discontinu)		bâbord tribord	mm
V2 (discontinu)		bâbord tribord	mm
V3 (discontinu)		bâbord tribord	mm
D3 (discontinu)		bâbord tribord	mm
Pataras			mm



La longueur d'un ridoir se prend depuis le haut du manchonnage du câble jusqu'à l'axe du trou de la chappe inférieure.

■ À propos des tensiomètres

Il existe au moins deux types de tensiomètres disponibles en France chez Paris Voile (www.paris-voile.com).

- L'un, fabriqué par Loos (États-Unis), est un tensiomètre à ressort pour câbles de 5 à 7 mm en version PT 2 et pour câbles de 7 à 10 mm en version PT 3. Leur précision est garantie dans une fourchette de + ou - 5%, un chiffre qui reste relativement élevé par rapport à la valeur de charge - 15% - appliquée au moment des réglages de tension recommandés pour un voilier de croisière.

- Le deuxième, commercialisé par Harken (www.harken.fr), le RigTune Pro (voir page 94), fait confiance à l'électronique mais limite sa capacité de réglage à des câbles de 5,5 mm de diamètre. Soit pour des petits croiseurs jusqu'à 7,50 m. La charge maximale admise est de 500 kg avec une précision de lecture garantie au kilo, soit 0,2 %.

■ Adresses utiles

Fabricants de mâts de croisière

- Z-Spars www.z-spars.com/
- Selden www.seldenmast.com/
- RDM Sparcraft www.sparcraft.fr/
- Soromap www.soromap.com/
- Nordic Mast www.nordicmast.com/
- Maréchal Mâts tél. 05 46 01 01 44 (voir Z-Spars)
- AG + Spars www.agplus-spars.com

Fabricants de gréements, haubanage

- Soromap www.soromap.com/
- ACMO www.acmo.fr/
- Z-Spars www.z-spars.com/
- Grément Import www.greemimport.fr/
- Gremco www.gremco-sarl.com/
- XPO tél. 05 46 45 25 82