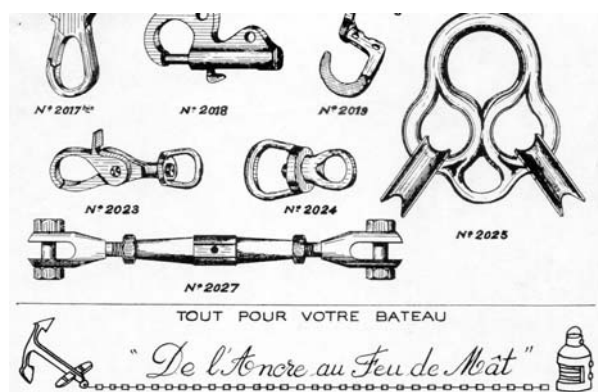


De Gérard Boulant, expert maritime, qui après les problèmes du stratifié polyester (son livre "DE COQUES EN CLOQUES - L'OSMOSE des bateaux en Plastique") nous parle ici des problèmes "surprenants" des inox.

Je me rappelle, à 15 ans quand j'ai construit mon premier bateau, un dériveur du type "Mousse", si pour les matériaux de construction, bois, contre-plaqué, clous, colle je n'avais pas de difficultés, pour les pièces d'accastillage nautique, ce n'était pas facile pour un campagnard habitant loin de la mer. Donc pour mon matériel nautique j'ai commandé par correspondance à une maison alors réputée qui vendait "tout pour votre bateau, de l'ancre au feu de mât" et selon son catalogue où ce n'étaient pas des photos qui illustraient les différentes pièces d'accastillage mais des dessins, fort bien faits, jugez vous mêmes.



Et ainsi mon étai s'est trouvé tendu par un ridoir "Réf. 2027 60x6 tout bronze à 6,40F pièce". Et tout allait bien, jusqu'au jour, plus d'un an après avoir la mise à l'eau, où après avoir préparé le bateau et gréé les voiles et prenant comme d'habitude le ridoir en main pour tirer et basculer le bateau sur son chariot de mise à l'eau, le ridoir m'est resté dans la main. Alors qu'une semaine avant j'avais navigué sans problème, là sans effort important, il venait de casser brusquement et sans prévenir.

Pourquoi ? Parce que sous le vocable "bronze", c'était en fait du laiton. Mais le laiton ne résiste-t-il pas à la corrosion ? Pas forcément, sous le nom "laiton", alliage essentiellement de cuivre + zinc, se nichent une quantité d'alliages différents, du laiton "Similor" (bijouterie fantaisie, du fait de sa ressemblance avec l'or), au laiton "amirauté" (laiton à l'étain U-Z 29 E1, à ça, ça commence à plaire au marin, encore que son nom est un peu trompeur, ses qualités de résistance à la corrosion en eau de mer sont très moyennes, dézinguéification, et son emploi est limité), en passant par le laiton "HR", Haute Résistance, ou "THR", Très Haute Résistance, (laiton à l'étain U-Z 40 MNA, appelé aussi "laiton marine" utilisé pour des hélices peu chargées), le laiton "armement" (étuis et douilles d'artillerie), le laiton "horlogerie" (pignons, engrenages des montres et horloges), le laiton de "décolletage" où l'addition de plomb facilite l'usinage.

La plupart ont une bonne résistance à la corrosion, tout au moins à la corrosion de surface c'est à dire qu'un film d'oxyde

protecteur se forme à la surface de la pièce et la protège, la corrosion ne va pas en profondeur. Sauf que pour certains, ils sont sujets à d'autres formes de corrosion qui se développent en profondeur du fait que le métal est un alliage, on parle de corrosion inter-granulaire, de dézinguéification, crique saisonnière ... La corrosion inter-granulaire c'est une corrosion qui se fait dans le métal et non pas à sa surface, donc on ne la voit pas, elle se développe progressivement dans la matière à travers les joints des grains de l'alliage qui se désagrège. Et un beau jour ça casse de façon fragile et sans prévenir, c'est ce qui m'était arrivé, le métier d'expert, fait de telles expériences, commençait à rentrer !

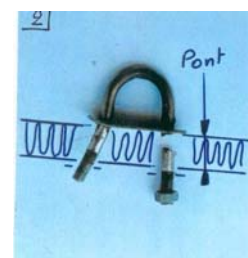
Sur les bateaux, on trouve bien d'autres éléments, soit disant en "bronze" mais plus généralement en laiton et qui peuvent souffrir du même problème si c'est en fait un laiton X ou Y susceptible de corrosion inter-granulaire. On peut citer les passe-coques, les vannes, les embouts crantés pour raccorder un tuyau souple, les chaises d'arbre etc...

Les vannes, qui sont en fait des vannes de plomberie bâtiment, sont pour la plupart en laiton nickelé, et on constate qu'elles tiennent le coup.

Par contre j'ai déjà vu des chaises d'arbre cassées net à mi-hauteur, alors que l'arbre et l'hélice étaient en bon état, il n'y avait donc pas eu de contraintes mécaniques anormales, pas de vibrations ni talonnage avec hélice tordue. Non, c'était bien une question de qualité du métal. Il est vrai aussi que sur ce bateau, le constructeur a l'habitude d'y raccorder une tresse de masse. Cette tresse de masse est raccordée de l'autre côté au moteur, donc à l'arbre inox. J'ai donc une liaison électrique entre deux métaux différents (inox et laiton) trempant dans l'électrolyte (l'eau de mer). Et si mon laiton est riche en zinc (plus de 15% de zinc), cela est favorable au phénomène de dézinguéification, l'alliage perd son zinc (comme une anode en zinc qui se consomme), il devient rouge, spongieux, se désagrège et casse net. Notons que l'addition d'inhibiteur comme l'arsenic à faible dose, et oui, permet au laiton d'être efficacement protégé contre la dézinguéification, mais le fabricant l'avait-il fait ?

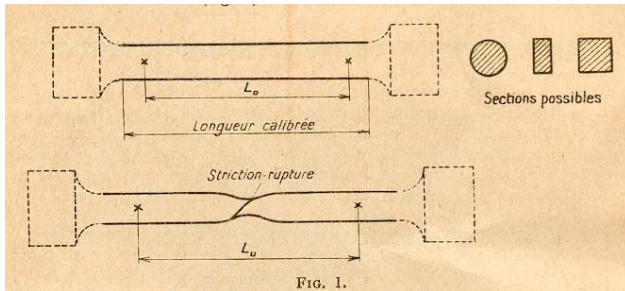
Pour l'instant on ne parlait que de laiton. Et vous me direz, maintenant avec l'inox, pas de problème. Si, si, il y a encore des problèmes.

Récemment, la même chose est arrivée sur le bateau de mon cousin, un 8m de 20 ans, très répandu, équipé de cadènes fils en inox. On venait de sortir du port, les voiles n'étaient pas encore hissées, donc aucune force sur le mât, quand j'ai vu qu'une des cadènes fils était cassée, **photo 2**. La régatée était finie, il fallait rentrer au port. Il est clair que si nous avions hissé les voiles, le mât tombait.



Examen de la cassure de l'inox :

- Le métal n'a pas été étiré, ce n'est donc pas une cassure du fait d'un effort plus important que ce que peut supporter la tige d'acier, car en cas de traction trop forte, le métal s'allonge d'abord, il s'étire, il y a une striction, un étranglement dans la zone de rupture, **dessin 3**, et ici n'est pas le cas.



ESSAI DE TRACTION (AFNOR A1-2)

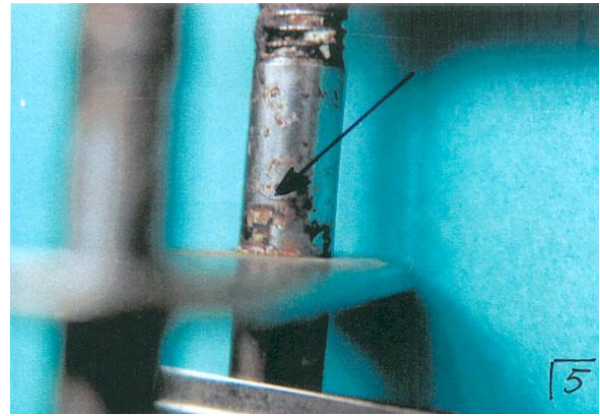
Principe. Dans cet essai, on soumet à une traction croissante une éprouvette du matériau à essayer, et cela jusqu'à la rupture. L'éprouvette peut être à section circulaire, carrée, rectangulaire; elle comporte une partie calibrée, où deux repères ont été tracés, se raccordant à deux têtes de fixation dans la machine d'essai.

A partir d'une valeur maximum de la charge, l'éprouvette continue de s'allonger, même sous charge réduite, la section diminue alors fortement dans une région localisée : cette *striction* s'achève par la *rupture*.

- La surface de la rupture est oxydée partout, **photo 4**, elle n'est pas brillante comme c'est le cas dans une rupture par traction trop forte et le métal qui lâche. L'oxydation de toute la surface montre que la corrosion s'infiltré partout entre les grains du métal et quand la cassure est ouverte on a l'impression que c'est très ancien.
- La zone oxydée est juste sous la surface du pont, on a là une aération différentielle (métal à l'air, contigu au métal masqué) qui a activé le phénomène.



Sur les autres cadènes, non cassées, il y avait déjà la trace extérieure de la corrosion qui s'était infiltrée, **photo 5** (c'est le fin trait curviligne juste au bout de la flèche, que vous verrez mieux avec une loupe, ce n'est pas le gros pâté marron doré) et sur l'autre l'effritement du métal, **photo 6**, la rupture était proche aussi.



Et si le mât était tombé et que le dommage soit déclaré à l'assureur ? L'assureur aurait dit, en s'appuyant sur le rapport de l'expert :

- C'est cassé alors qu'il n'y avait pas de traction insupportable sur la cadène, ce n'est donc pas un événement de mer, ce n'est donc pas assuré.
- C'est dû au choix du métal de la cadène, c'est donc une vice propre, or l'assurance ne vous couvre pas dans le cas d'un vice propre, relisez votre contrat d'assurance. Rappel : un vice propre c'est un défaut, une insuffisance, dû à un défaut de conception ou une conception simpliste, ou dû à un défaut de fabrication. Ici c'est un cas typique, on peut en citer d'autres, comme un hauban qui lâche parce qu'il est sous-dimensionné, une épontille qui flambe parce qu'elle est sous-dimensionnée etc....
- Et si malgré tout l'expert avait admis que c'est un cas assuré, avec la vétusté, le remboursement d'un mât de 20 ans aurait été quasiment nul. Il vaut mieux l'éviter.

Alors replongeons nous dans les différentes nuances de l'acier inox, appellation des inox que l'on trouve couramment :

AISI :	304	304L	316	316L	305Cu ou	AISI 630,
AFNOR :	Z 6 CN 18-9	Z 2 CN 18-10	Z 6 CND 17-11	Z 2 CND 17-12	Z 6 CNU 17-4	Z 6 CND 17-4
Nlle Norme :	X5CrNi 18-10	X2CrNi 18-10	X5CrNiMo 17-12-2	X2CrNiMo 17-12-2		
européenne EN10088-2						
Courante :	18/10	18/10 bas Carbone	18/12 Mo	18/12 Mo bas Carbone		
Commerciale :	NS21AS	NS22S	NSM21	NSM21S	F16PH	F17-4PH
UGINE						

Inox 304 :

- Inox 304, en boulonnerie baptisé "A2" : c'est le classique et bien répandu acier inox d'usage courant appelé couramment du "18/10".
- Appellation : Acier Inoxydable austénitique au Chrome-Nickel 18/10, ou AISI 304, ou AFNOR Z 6 CN 18.09. Nlle Norme Européenne EN10088-2 : X5CrNi 18-9 Densité = 7,9.
- Composition, % : C (Carbone) = 0,05 Cr (Chrome) = 18,5 Ni (Nickel) = 9
- Propriétés - Emplois : "Acier Inoxydable d'usage courant, non garanti à la corrosion inter-granulaire"
- Résistance à la corrosion : "Eaux douces - Atmosphères naturelles rurales ou citadines". Autrement dit, pas fameux pour eau de mer ni pour atmosphère marine, plus corrosives.

Inox 304 L :

Si on veut un inox d'usage courant mais qui résiste bien à la corrosion inter-granulaire il faut passer au 304 L qui a moins de carbone : appelé couramment du "18/10 à bas carbone"

- Appellation : Acier Inoxydable austénitique au Chrome-Nickel 18/10 à bas carbone, ou AISI 304 L, ou AFNOR Z 2 CN 18.10. Nlle Norme Européenne EN10088-2 : X2CrNi 18-10 Densité = 7,9.
- Composition, % : C (Carbone) < 0,03 Cr (Chrome) = 18,5 Ni (Nickel) = 9,5
- Propriétés - Emplois : "Grande résistance à la corrosion. Insensible à la corrosion inter-granulaire"
- Résistance à la corrosion : "Eaux douces - Atmosphères naturelles rurales ou citadines". Autrement dit, c'est pas encore fameux en eau de mer ni en atmosphère marine.

Inox 316 :

- Inox 316, en boulonnerie baptisé "A4", appelé couramment du "18/12 Mo", Mo comme Molybdène.
- Appellation : Acier Inoxydable austénitique au Chrome-Nickel-Molybdène 18/12 Mo, ou AISI 316, ou AFNOR Z 6 CND 17.11. Nlle Norme Européenne EN10088-2 : X5CrNiMo 17-12-2. Densité = 8,0.
- Composition, % : C (Carbone) = 0,06 Cr (Chrome) = 17 Ni (Nickel) = 11 Mo (Molybdène) = 2,25
- Propriétés - Emplois : "Résistance à la corrosion améliorée par l'addition de Molybdène. Non garanti à la corrosion inter-granulaire". Autrement dit, c'est pas encore fameux en eau de mer ni en atmosphère marine.

Inox 316 L :

- Inox 316 L : appelé couramment du "18/12 Mo à bas carbone", Mo comme Molybdène
- Appellation : Acier Inoxydable austénitique 18/12 Mo à bas carbone, ou AISI 316 L, ou AFNOR Z 2 CND 17.12.

Nlle Norme Européenne EN10088-2 : X2CrNiMo 17-12-2 Densité = 8,0.

- Composition, % : C (Carbone) < 0,03 Cr (Chrome) = 17 Ni (Nickel) = 11,5 Mo (Molybdène) = 2,25
- Propriétés - Emplois : "Résistance à la corrosion améliorée par l'addition de Molybdène. Insensible à la corrosion inter-granulaire".
- Résistance à la corrosion : "Acide..., solutions salines... Eaux douces et atmosphères naturelles (marines en particulier)". Autrement dit, c'est pas mal du tout en eau de mer et atmosphère marine, c'est le meilleur à retenir pour les inox courants.

F 16 PH :

C'est un inox à résistance mécanique élevée à durcissement structural par trempe et revenu.

- Appellation : Acier Inoxydable martensitique à durcissement structural par le cuivre, ou AISI 630, ou AFNOR Z 6 CNU 17.04
- Composition, % : C (Carbone) = 0,05 Cr (Chrome) = 16 Ni (Nickel) = 4 à 4,5 Cu (Cuivre) = 3,5/3,55 Nb (Niobium) = 0 à 0,30
- Propriétés - Emplois : "Résistance mécanique élevée, pouvant aller jusqu'à 1100-1400 N/mm² (100/130 kg/mm²) suivant le revenu. Bonne ductilité", on pourra le forger. On peut l'employer pour des tirants de cadènes, des cadènes de bastaques, WICHARD l'utilise pour ses cadènes pliantes et autres pièces d'accastillage très sollicitées.
- Résistance à la corrosion : "un peu meilleure que celle des aciers 18/10" c'est à dire le 304, une rouille superficielle se forme à la surface. Par contre, insensible à la corrosion inter-granulaire".

F17-4 PH :

- Le voisin, F17-4 PH américain, correspondant à l'AFNOR Z 5 CND 17-4, est un acier Inoxydable martensitique où on a ajouté du D (Molybdène) au lieu du U (Cuivre) comme le précédent, on le traite après forgeage par trempe à l'huile à 1 050°C suivie d'un revenu à 600°C pour avoir une forte résistance mécanique. Les cadènes de bastaques HARKEN en sont un exemple. Une rouille superficielle se forme aussi à sa surface.

Commentaire : en laissant de côté le F 16 PH ou le F 17-4 PH qu'on utilise pour des pièces particulières (effort mécanique important), on peut se guider comme ceci :

- En AFNOR :
 - le premier chiffre, 6 ou 2, indique la quantité de carbone (le pourcentage multiplié par 100, ex. 6 => 0,06% et pour le "bas carbone", 2 => 0,03% max).

- CN et les deux chiffres : C=Chrome et N=Nickel et 17% pour le premier et 12% (ou autour de 12%) pour le second. Le D ajouté signifie l'addition de Molybdène.
- Paramètres du choix pour une pièce de sécurité:
 - Les Z6 ne sont pas bons (corrosion inter-granulaire), il faut les Z2 (bas carbone, pas de corrosion inter-granulaire).
 - Avec du D ou pas ? L'addition de Molybdène n'est pas suffisante en soi, elle vient dans un deuxième temps pour améliorer l'aspect vis à vis de la corrosion de surface.

• En AISI :

- Paramètres du choix pour une pièce de sécurité:
 - D'abord il faut du L pour avoir du "bas carbone" = bonne résistance à la corrosion inter-granulaire.
 - Et du 16 (avec Molybdène) c'est mieux que du 04, dans un deuxième temps pour améliorer l'aspect vis à vis de la corrosion de surface.

"Pas bons" : 304 et 316
 "Bon" : 304 L
 "Le meilleur" : 316 L

- En appellation courante : l'appellation courante ne "parle" pas du pourcentage de carbone, donc pas de repère vis à vis de la corrosion inter-granulaire, on n'en sait rien. Sous l'appellation 18/10, on peut avoir le mauvais ou le passable. De même sous l'appellation 18/12 Mo, on peut avoir l'aussi mauvais ou le meilleur.

Nota : on dit souvent, "pour savoir si c'est de l'inox ou pas, il suffit de savoir s'il est magnétique ou non, s'il attire l'aimant ou non". Oui et non :

- nos inox courants qu'on a étudiés sont des austénitiques qui ne sont pas magnétiques, ça c'est vrai. Par contre les inox ferritiques et martensitiques sont magnétiques, ils attirent l'aimant, c'est le cas des "cadènes super-résistantes" en F 16PH qui sont en martensitique.
- Et rappelons nous que, même si c'est de l'inox, il y a du "bon" et du "mauvais" inox vis à vis de la résistance à la corrosion inter-granulaire.

Je vous sens songeur....."et moi ma cadène, elle est en quoi, comment savoir si elle va pas casser brusquement demain ?"

D'où votre question, y a t'il un moyen simple pour analyser la nature de l'inox ?

On connaît les fioles de réactifs liquides que l'on dépose sur l'inox et qui vous indiquent selon la couleur qu'ils prennent, la présence ou non de molybdène par exemple.

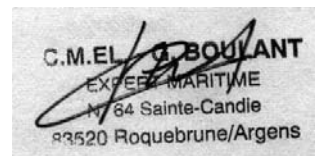
Mais pour savoir si c'est un "bas carbone" ou non, puisque c'est ça la question en ce qui concerne la corrosion inter-granulaire, eh bien non, il n'existe pas d'analyse simple à faire sur place. Il faut prélever un échantillon et le faire analyser par un laboratoire spécialisé.... mais ce sera moins cher, beaucoup moins cher, de les changer toutes préventivement, sinon comptez sur la chance, et si une cadène lève la patte sans que le mât ne vous tombe sur la tête, dites vous qu'il y a un Dieu pour les marins.

On peut évidemment faire un ressuage pour révéler les fissures de corrosion inter-granulaire. Principe, on utilise 3 bidons de produits présentés en "bombe", les produits ARDROX sont les plus connus :

- on pulvérise d'abord un solvant pour dégraisser nettoyer la surface
- on pulvérise un "Pénétrant", c'est un produit liquide, couleur rouge, qui a le pouvoir de pénétrer dans les fissures les plus petites.
- on essuie la surface pour éliminer le "Pénétrant" (sauf, justement, là où il est logé dans une fissure invisible) et on pulvérise un "Révélateur" qui en séchant va ressembler à de la craie blanche et pomper le "Pénétrant" et nous indiquer où est la fissure, s'il y en a une. Ici c'est le cas, **photo 7**, le trait rouge, c'est le fin trait curviligne de la photo 5 qui est bien visible cette fois.



Mais pour faire cela il faut démonter la cadène puisque la zone à inspecter se trouve cachée dans l'épaisseur du pont..... et puisqu'elle est démontée, changez la, ça vous coûtera moins cher que d'acheter les 3 atomiseurs des produits de ressuage.



Vous avez noté aussi que votre boulonnerie inox, fixation de cadènes plates par exemple etc... est en "A2" ou en "A4" c'est à dire de l'inox 304 ou 316 et que les deux ne sont pas garantis à la corrosion inter-granulaire.

Conclusion : à part le changement préventif, il n'y a pas de solution facile, rapide, peu onéreuse (ou d'un coût acceptable) pour se prémunir de la rupture d'une telle cadène.
