

Jean SANS

Expert Judiciaire honoraire (Navire et Maritime) près la Cour d'Appel de Rennes
Membre du Comité technique de l'IRC

Hubert SCHAFF.

Ancien Directeur Partenariats & Innovation d'Aubert et Duval.
Ancien Président de **La Société Française de Métallurgie et de Matériaux**, SF2M

Le 29 mars 2022

MEMOIRE au sujet de la prescription 3.02.2 des OSR (OFFSHORE SPECIAL REGULATIONS).

Rappel de cette prescription

§ 3.02.2 / Inspection structurelle –

Consulter le manuel du propriétaire pour toutes instructions relatives à la vérification des boulons de quille et leur resserrage.

L'inspection suivante doit être effectuée de l'extérieur, bateau mis au sec, par une personne qualifiée.

Vérifier qu'il n'y a pas de fissures de contrainte visibles, particulièrement autour de la quille, de la jonction quille/coque, des appendices de coque et autres zones de contrainte, à l'intérieur de la coque, des contre-plaques, de la disposition des boulons et de la semelle de quille. (Voir Annexe L des OSR– Modèle de procédure d'inspection de quille et de gouvernail).

Préambule

Ce mémoire ne remet pas en cause la volonté exprimée depuis plusieurs décennies par le Comité « Special Regulations », initié par l'ORC, puis par World Sailing, d'améliorer et d'universaliser les règlements de sécurité des voiliers participants à des régates.

Ce mémoire a pour objectif de cerner :

- L'introduction dans les OSR, d'une prescription initiant des opérations d'inspections non destructives.
- Les problèmes résultants de l'application de cette prescription 3.02.2
- La fiabilité des éventuels contrôles réalisés
- Les conclusions possibles et leurs applications, suite à cette série de contrôles ou inspections.

Dans un premier temps seront abordés, l'environnement technique imposé par les Certifications applicables avant le neuvage des bateaux et celui du suivi technique de ces mêmes bateaux durant leur vie maritime.

Ensuite, le mémoire traitera de l'interaction entre la technicité de ces contrôles biennuel en regard des sollicitations mécaniques générées par la mer et le vent rencontrées par les bateaux durant cette période.

L'objectif des « Special Regulations » est de prévenir les événements qui puissent mettre en danger les marins. Pour cela les « SR » imposent à la fois des prescriptions qui protègent individuellement l'équipage et des prescriptions qui concernent le bateau. Pour cette deuxième partie, les « SR » s'appuient sur des normes ISO ou l'utilisation de « bonnes pratiques (règles de l'Art) ».

Cette nouvelle prescription 3.02.2 est essentiellement une règle préventive dont l'objectif est d'anticiper, autant que faire se peut, un risque de ruine de l'assemblage de la quille ou des appareils à gouverner.

La question est donc : **Est-ce que la règle 3.02.2 atteint cet objectif ?** Ce mémoire tente d'apporter une réponse à cette question.

1/ Domaine d'application de cette prescription

Le domaine d'application de cette prescription concerne la fixation des quilles (au sens général) et s'étend aux appendices de coque dont les appareils à gouverner (safrans).

Remarquons que les conséquences de la ruine d'une mèche de safran (fut-il unique), ne sont pas les mêmes que celles résultantes de la perte de la quille, qui affecte directement la stabilité du bateau, donc son possible chavirage.

Remarquons aussi que la perte de la quille d'un bateau se traduit souvent par des conséquences tragiques, bien que certains bateaux aient réussi à rejoindre un abri ou attendre des secours après la perte de leur quille (L'Avs d'un bateau ayant perdu sa quille est de l'ordre de 45° à 60°).

Enfin cette prescription ne concerne que les ruines mécaniques relatives aux entités « **quilles ou appendices** », à **leurs assemblages sur le bateau** et exclut les conséquences de chocs en navigation avec des hautfonds, des mammifères marins ou des objets flottants.

La partie relative aux safrans sera traitée en fin de ce dossier.

2/ Des normes de construction et de la mise sur le marché des voiliers de régates

Quelques précisions :

- La Directive « CE 94/25 » a été mise en place en Europe en Juin 1996. A partir de cette date, tous les bateaux de 2.5 à 24m, pour être vendus sur le marché européen, doivent être conformes aux prescriptions contenues dans cette Directive.
- Les Organismes Notifiés sont des organisations reconnues par la CE. Ils sont chargés de l'application de cette certification.
Leurs missions se limitent à garantir qu'un bateau de plaisance de 2.5 à 24 m peut être vendu sur le marché européen.
- La Directive « 94/25 » n'impose que 3 " Normes ISO "
 - ISO 8666 (Dimensions principales)
 - ISO 10087 (Code CIN / HIN).
 - ISO 12217-2 (Stabilité / Flottabilité)

Je précise que l'utilisation de la norme ISO 12215-9, qui traite des calculs d'échantillonnages (mise en application en 2012) n'est pas obligatoire.

Le chantier naval (constructeur) peut utiliser ses propres méthodes (ou « Normes » internes), ou d'autres références (par exemple, sociétés de classification, autres normes comme l'ABS¹) à condition que leurs exigences soient au moins égales à celles de l'ISO précitée.

- La certification CE ne concerne que la construction du bateau.
En aucun cas, les organismes notifiés sont chargés d'émettre un avis sur les réparations suite à des sinistres ou sur les opérations d'entretiens courants.

Sur des éventuelles modifications du bateau (quille, structure, etc.). Cette opération doit être demandée préalablement par le **chantier naval constructeur** et faire l'objet d'un nouveau certificat de flottabilité/stabilité et d'une nouvelle étude d'échantillonnages (12215-9).

Un **chantier local réparateur** ne peut pas faire cette demande puisqu'il ne dispose pas du dossier de certification CE du bateau, qui est la propriété du **Chantier constructeur**.

En d'autres termes, seul le **Chantier constructeur** peut modifier le bateau, comme par exemple remplacer une quille à bulbe par une quille droite.

Normalement, toute modification de la quille doit faire l'objet d'une déclaration (et éventuellement d'un nouveau test de stabilité) de la mise sur le marché d'un nouveau modèle accompagné de son certificat de flottabilité.

- Les **OSR** classent les courses en « Catégories 0, 1, 2, 3... » et se réfèrent aux dispositions contenues dans les normes « ISO 12215 ou ISO 12217-2 Catégorie A, B, C ».
En fait, et ce n'est pas évident pour les propriétaires et/ou skippers, cette double utilisation du mot « **catégorie** » rend les OSR souvent complexes à interpréter.
La Certification CE utilise le terme de **Catégorie de conception A, B, C, D.**
La Catégorie de conception A se rapporte à la navigation « offshore », ce qui englobe les « **catégories 0, 1, 2** » des OSR.
- Pour les bateaux de plus de 24 m, c'est plus simple puisqu'ils ne relèvent pas de la certification CE mais doivent être certifiés par une société de classification et de contrôle (Veritas, Lloyd's, Rina, etc.) et ce, lors de leur première mise à l'eau, mais aussi en cas d'avaries ou de modifications.
- Pour les bateaux de moins de 24 m, non certifiés CE, car identifiés comme « voiliers destinés uniquement à la compétition » (exemple IMOCA), leurs règles de classe imposent souvent que leurs structures soient validées par un organisme reconnu ou par l'architecte et qu'ils doivent être conformes aux réglementations de leur Pavillon.

¹ ABS : American Bureau of Shipping

- La norme ISO 12215 comprend 6 modules (les modules 1, 2, 3 ont été supprimés). Les modules 4, 5, 6 se limitent à des codes de constructions ou de définitions d'éléments de structures. Le module 8 traite des calculs des safrans et ne prend pas en compte les risques de fissuration par fatigue. En fait l'évolution du calcul des échantillonnages s'est échelonnée, du savoir-faire accumulé par les Constructeurs vers progressivement une approche scientifique avec le module 12215-9.

Le module 9 prend en compte la résistance de la coque à certaines conditions de talonnages et présente en annexe (Informative) une « Évaluation simplifiée de la résistance à la fatigue ».

Le module 10 traite des calculs des mâts et des gréements.

- Le "**Plan Review**" initié par World Sailing.
Extrait de la description du « Plan Review »

« **Calculations**

[The plan review shall include independent calculations by the notified body of the areas listed above. These calculations may be by hand, spreadsheet or by an ISO 12215 program. The designers/builders submitted calculations shall not be taken as the only proof of compliance.](#) »

Par elle-même cette idée de « Plan Review » n'est pas aberrante, car elle revient à instituer un système de contrôle redondant. Afin de réaliser ce contrôle, World Sailing agréé un certain nombre d'Organismes Notifiés.

En réalité, World Sailing ne gère que le coté administratif de ce « Plan Review ».

En effet la méthodologie du « Plan Review » n'est pas redondante, puisque c'est (pour des raisons notamment de coûts) le même Organisme Notifié qui procède à la certification CE initiale qui est totalement indépendante des prescriptions de World Sailing, puis réalise le « Plan Review ».

Il y a peu de chance que l'organisme qui a validé la certification CE déjuge son propre travail dans le « Plan Review ».

Remarques sur ce § 2 :

Pour les voiliers de moins de 24 m, les OSR établissent une frontière avant et après 2009, (soit 1987 à 2009 et après 2010), cette frontière paraît incompréhensible puisque depuis 1996 tous les voiliers mis sur le Marché Européen doivent être « CE ». Dans la réalité tous les Constructeurs extra-européens souhaitant exporter vers l'Europe, se conforment à la réglementation CE.

Normalement la référence devrait être 1996 (ou au moins 1998 afin d'absorber le temps de mise en place de la Directive dans les législations de chaque pays européen) et non 2009.

Par contre il est surprenant que la date la plus ancienne soit 1987, d'autant plus que des bateaux antérieurs à 1987, participent encore à des régates offshores (Fastnet, Bermuda race, Sydney Hobart ...).

Il est même envisagé un remake de la Whitbread :

“2023 Ocean Globe Race : The Whitbread Race is back!”

: « *Entries are limited to 'approved' fiberglass production yachts designed prior to 1988, from 47ft (14.32m) to 66ft (20.11m) LOA segregated into two groups: ADVENTURE 47 to 56ft (14.32-17.06m) and SAYULA 56-66ft (17.07-20.11m) classes. In addition, original entries from the first three Whitbread Races (1973/4, 1977/8 and 1981/2) together with 'Class surveyed' production sail training yachts up to 68ft (20.73m) make up a third FLYER Class. Nautor Swan production yachts that fall within the age/length parameters are currently approved, and similar well-proven production yachts will be considered on application. The fleet is limited to a maximum of 30 yachts and the Race will be sailed under the International Collision Regulations. »*

La première Whitbread c'était il y a 50 ans !!! et pour autant un SWAN 65, n'est pas encore classé « *voilier classique* », d'ailleurs une douzaine de SWAN 65 sont encore jaugés en 2021 en ORC ou IRC.

Ce paragraphe relatif à l'évolution de la mise en œuvre des règles OSR permet de situer le domaine d'application de cette prescription OSR 3.02.2 par rapport aux réglementations qui étaient en vigueur lors de la construction des bateaux.

Il faut aussi prendre en compte que la Certification CE ne concerne que la Construction de bateaux et leurs mises sur le marché européen et n'est en aucun cas applicables pour les réparations, l'entretien, les éventuels « refits ».

Seuls les bateaux de plus de 24 m sont soumis à des contrôles périodiques durant leurs vies ou après un sinistre.

3/ Les causes des ruines des assemblages des quilles

Les archives qui ont été compilées par le Comité Special Régulations énumèrent environ 90 ruines de quille (généralement la perte de la quille) affectant des bateaux participants à des régates offshores ou des convois.

Sur ces 90 cas connus entre 1983 et 2018 (35 ans) on identifie :

- Environ 20 quilles qui ont été perdues suite à des échouages, des contacts violents avec des mammifères marins, des containers, des épaves.
- 22 bateaux de la Classe IMOCA qui ont perdu leur quille ou leur bulbe ou encore ont subi des dommages sur la tête de quille ou les systèmes de commande.
- 11 bateaux du type Mini 6.50 qui ont perdu leur quille.

Sur les 90 cas connus, des désordres récurrents ont été identifiés sur plus de 60 bateaux avec les causalités techniques suivantes :

« Fatigue, Conception, Soudures, Fabrication, Technologie d'assemblage, Délaminage, Sous-dimensionnement ».

On remarque que seulement quelques bateaux de plus de 24 m ont été victimes de ce type de sinistres. Ce qui est normal, car d'abord ces bateaux sont moins nombreux, ensuite parce qu'ils sont soumis à des règlements plus contraignants qui s'appliquent durant leurs vies maritimes (réglementations de leur « pavillon »), alors que les voiliers de plaisance

(jusqu'à 24 m) ne font l'objet d'aucun contrôle technique post-construction et cela même après un sinistre.

En « Navigation de Plaisance », en cas de sinistre, l'assureur missionne un expert maritime qui inventorie les dommages, chiffre avec le chantier réparateur la méthodologie de remise en état. En aucun cas l'assureur n'est tenu par le contrat d'assurance de missionner le suivi des travaux et la recette de ces travaux.

Il est aussi impossible pour un expert maritime d'obtenir de la part des assureurs des renseignements relatifs à d'éventuels sinistres survenus préalablement sur un bateau.

Bien que la tenue du livre de bord du bateau soit normalement obligatoire en navigation offshore, cela n'est pas la réalité. Il est donc impossible de connaître l'historique des navigations, des événements éventuels, des opérations d'entretiens, etc...

Sur ces 90 pertes de quille, on peut exclure les 20 sinistres par échouages ou contact avec un obstacle. Ces événements relèvent de la responsabilité du skipper ou du manque de chance de heurter un obstacle flottant.

Le dernier module de la norme ISO 12215-9 comprend un paragraphe « *Talonnage vertical d'un voilier à quille* ». Ce paragraphe a plutôt été ajouté pour inciter les Constructeurs à prévoir une structure qui prend en compte les mises au sec pour inspections ou pour carénage.

Ainsi les prescriptions de la norme 12215-9 exigent que la structure doive résister à une force verticale égale à :

$F \text{ (newtons)} = 9,81 * (\text{Déplacement en charge maxi} - \text{masse de la quille}).$

Pour un **bateau de 12 m (5500 kg)** cette force est de l'ordre de $40 * 10^3$ Newtons.

On comprend qu'il est impossible d'imposer que la structure de ce bateau de plaisance résiste à un choc frontal sur une roche, au niveau du point bas de la quille lors d'une navigation à 8 ou 10 nœuds (5,2 m/s).

Au moment de ce type de choc, la décélération brutale est de l'ordre de 16 m/s^2 .

Les lois de la dynamique évaluent la force au contact à $5500 * 16 = 88 * 10^3$ Newtons.

Il faut rester réaliste, un bateau doit rester archimédien, c'est-à-dire être calculé pour résister aux efforts en navigation normale relatifs à ce mode.

33 bateaux du type IMOCA ou Mini 6.50 ont effectivement perdu leur quille. Ce nombre important de bateaux sinistrés est assez simple à expliquer. Pour cela il faut remettre ces sinistres dans le contexte de l'époque.

Durant les années 80² et 90, a régné un esprit d'aventures et de libertés, qui s'est traduit par la volonté de sortir des schémas de régates conventionnelles qui s'appuyaient sur des bases de règles de jauge très contraignantes (la principale étant alors la jauge IOR).

Ce sera le cas de la Mini-Transat, du BOC Challenge, du Vendée Globe.

On s'est alors retrouvé dans le schéma et les dérives connus dans tous les sports mécaniques. Ce qui peut se résumer ainsi : « les ingénieurs, les architectes, les skippers sont obnubilés par le gain de vitesse. Ils recherchent alors cette vitesse là où c'est techniquement réalisable le plus facilement ».

L'invention des quilles pendulaires (d'abord en Mini 6.50) qui peut être comparé au turbo compresseur sur les moteurs thermiques, sera de point de départ de l'obsession de

² L'OSTAR et le GLOBE CHALLENGE ont représenté les débuts de ces nouveaux types de Courses.

construire un FIN KEEL le plus léger possible afin de récupérer ce delta de poids pour augmenter le poids du bulbe, sans pour autant augmenter le déplacement du bateau.

Avec la diffusion du Carbone³, qui apparaît à ce moment, comme « le matériau miracle » qui peut se travailler dans n'importe quel atelier, on dispose alors tous les ingrédients pour que les ruines se produisent.

Ayant été très proche des Teams, comme co-directeur de course (Vendée Globe de 89/92/96/2000), je peux dire que l'imagination technologique a sévi de 1992 à 2000⁴ et que toutes les solutions technologiques ont été essayées, mais pas toujours à bon escient.

Ainsi une quinzaine de Fin Keel en carbone ont eu de très sérieux problèmes (rupture partielle ou totale)

L'utilisation du Carbone ayant montré sa limite, la communauté IMOCA se tourne alors vers une nouvelle technologie utilisant la construction mécano-soudée à partir d'aciers du type HLE⁵ (exemple STREX 700/960/1300 ou WELDOX 700/900/1200).

Le résultat sera techniquement moins désastreux, mais la publicité sur ce type de fabrication et surtout sur le matériau HLE se révélera la causalité de ruines de voiles de quille de bateaux standards et aussi de bateaux supérieurs à 24m. Ces ruines portant, non pas sur la qualité du matériau mais sur les traitements de détensionnement post-soudures nécessaire mais qui sont très souvent négligés ou mal conduit.

Un traitement de détensionnement oublié ou mal réalisé laisse des contraintes résiduelles de tensions dans certaines soudures. Ces contraintes s'ajoutent aux contraintes de fatigue et peuvent conduire rapidement à une fissuration.

Le non-respect des « bonnes pratiques » de la conception en mécano-soudure apparaît comme une sérieuse cause de ruine des quilles.

Il faudra attendre les années 2010 pour que la Classe IMOCA impose la solution de la mutualisation des voiles de quille en adoptant une fabrication sur les bases d'un même modèle en acier forgé monobloc (sans soudure). Une seule nuance d'acier sera autorisée, (« APX4 » pour Aubert & Duval ou « VG900i » pour Thyssen). Depuis cette date, il n'y pas eu d'incident.

J'ajoute qu'un document de conception très précis et documenté relatif à l'équipement technologique des voiles de quille a été introduit dans les règles de Classe.

Sur les Mini 6.50, un schéma identique s'est développé, mais le facteur d'échelle par rapport aux IMOCA limitera les conséquences des ruines.

Causalités citées dans les rapports de sinistres

Fatigue, Conception, Soudures, Fabrication, Technologie d'assemblage, Délaminage, Sous-dimensionnement

³ **Carbone** : Module d'élasticité 230 Mpa, Densité 1.75 / **Acier** : Module d'élasticité 210 Mpa, Densité 7.8

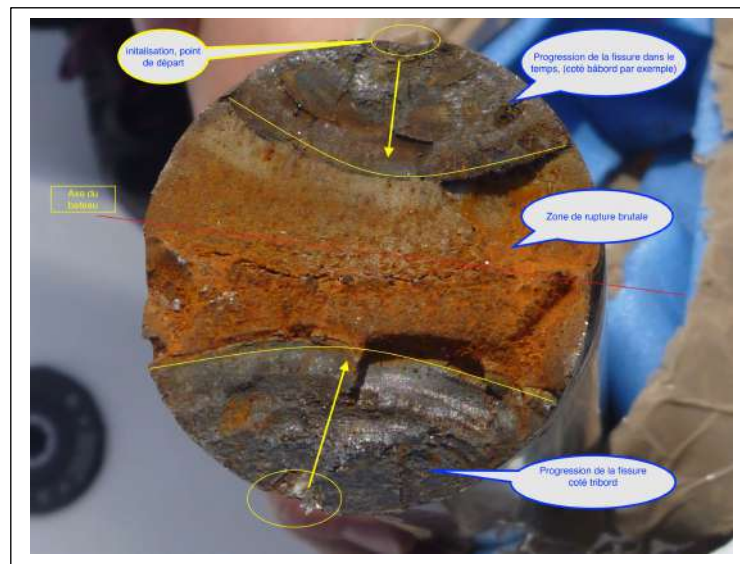
⁴ La Classe IMOCA n'est pas encore créée en 2000, elle le sera progressivement à partir de 2000.

⁵ HLE : pour Acier à Haute Limite Élastique.

Ces causalités techniques des ruines, énumérées ci-dessus, sont en fait intimement liées entre-elles.

Dans la réalité il n'y a jamais de **ruptures plastiques brutales initiales** résultantes d'un sous-dimensionnement patent du voile de quille ou de son assemblage.

La rupture de l'assemblage a lieu par fatigue d'un élément mécanique, sous l'effet de charges beaucoup plus faibles que celles prises en compte dans les hypothèses de calculs (statique ou dynamique) usuels de RDM (Résistance des Matériaux) relatifs aux différents cas de chargement.



Il faut comprendre par « *cas ou conditions de chargement* » l'influence du déplacement du bateau et des conditions de navigations (vitesse, accélération, état de la mer, etc.), qui génèrent des sollicitations mécaniques dynamiques, des régimes vibratoires qui agissent sur le bateau et notamment sur la poutre navire et sont à l'origine de la création de sollicitations cycliques.

La prise en compte des sollicitations cycliques⁶ devient alors primordiale.

La norme ISO 12215-9 donne un aperçu de ces nombres de cycles :

- *Virement de bord et empannage* — *typiquement de l'ordre de 10^4 cycles de contraintes alternées durant la vie du bateau*
- *Mouvements de corps rigide⁷* — *typiquement de l'ordre de 10^5 cycles de contraintes alternées durant la vie du bateau*
- « *Flutter* » ou *phénomènes liés à la vibration* — *typiquement de l'ordre de 10^5 cycles de contraintes alternées durant la vie du bateau.*

⁶ Sollicitations cycliques : on emploie aussi l'expression « Sollicitations alternées »

⁷ Déformations plastiques du bateau dans une mer formée.

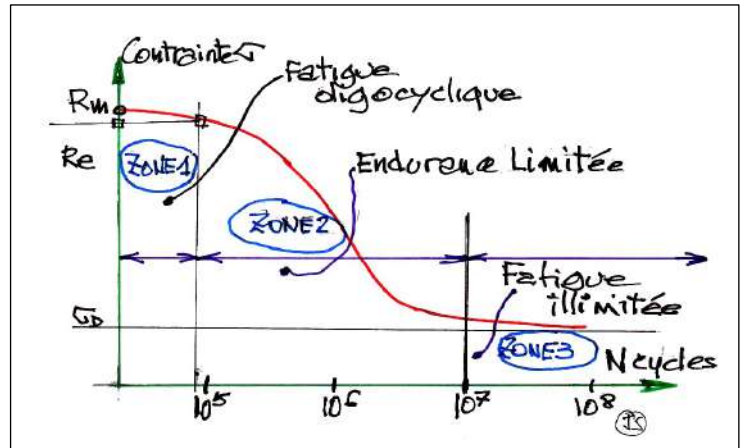
La résistance à la fatigue est bien représentée par la courbe de Wöhler.

La courbe de Wöhler d'un matériau représente **la relation expérimentale** entre l'amplitude des contraintes appliquées S (en ordonnée) et un nombre de cycles N (en abscisse).

Au départ « Cycle 1 » la contrainte maximale admissible est celle la résistance mécanique R_m du matériau.

Au fur et à mesure que le nombre de cycle augmente, la contrainte par fatigue diminue. La droite horizontale au bas de la courbe est appelée « limite d'endurance ».

En dessous de cette contrainte, la durée de vie est infinie (A condition qu'il n'y ait pas d'apparition d'autres dommages comme par exemple la corrosion).



La courbe de Wöhler partage l'espace « Ncycles » en **3 zones** :

- **La zone de Fatigue oligocyclique (entre « 0 » et 10^5 cycles)**
La fatigue **oligocyclique** correspond au domaine (**Zone 1** de la courbe de Wöhler) à très courte durée de vie. Elle englobe la « fatigue plastique », cependant il existe par exemple des alliages à haute résistance mécanique pour lesquels la fatigue **oligocyclique** n'implique pas nécessairement de déformation plastique.
- **La Zone d'endurance limitée (entre 10^5 et 10^7 cycles)**
C'est la **zone 2**. La durée de vie sans ruine ne doit pas dépasser le nombre de cycle déterminé par les essais.
- **La Zone de fatigue illimitée (au-delà de 10^7 cycles)**
C'est la **Zone 3**. Si aucune fissure n'apparaît lors de essais à 10^7 cycles, la pièce ou l'assemblage est dit « sain ». C'est-à-dire qu'il y a peu de chance qu'une rupture en fatigue se produise.

Le problème est que tout repose sur le nombre de cycles de fatigue et que ce nombre total de cycles est étroitement lié au facteur temps, c'est-à-dire à la vie du bateau et à la sévérité des sollicitations cycliques qu'il rencontre.

La durée de vie d'un bateau est basée théoriquement sur huit millions de cycles (hypothèse de la norme ISO 12215-9).

Ces 8 millions de cycles, c'est (10^7 cycles) – (2 millions de cycles).

On se trouve donc assez proche de la charnière entre la zone (2) d'endurance et la zone (3) de fatigue illimitée.

Ces 8 millions de cycles se réfèrent aux différentes périodes, allures et conditions de navigations (manœuvres, état de la mer, régularité du vent, etc). Il est évident que ce nombre à l'état global est une approximation.

Tous les éléments mécaniques ne subissent pas le même nombre de cycles sur la même période. Par exemple la mèche de safran est beaucoup plus sollicitée en flexion alternée que le voile de quille, car chaque effort sur la barre génère un cycle, donc un moment de flexion de la mèche, dont l'intensité est fonction de l'effort exercé sur la barre.

Comme il est impossible de réaliser des essais en grandeur réelle et sur une période de temps illimité (au moins jusqu'à **10⁷** cycles), on travaille alors sur une hypothèse que l'on pense réaliste. Pour le voile de quille, les cycles sont générés par les virements de bord, l'instabilité de la gîte et les mouvements résultants des vagues rencontrées.

Ainsi, pour la Norme 12215-9, les hypothèses correspondent à environ 25 ans à 30 ans d'utilisation modérée à forte en navigation de plaisance usuelle (y compris des régates basiques) ou à environ 5 années de course au large intensive (environ 30 000 milles de course par an plus l'entraînement et la préparation associés).

Ces hypothèses sont proches de la réalité, avec une marge de sécurité très importante, pour des voiliers en croisière (même certains one-off).

Par contre pour des bateaux utilisés par des équipages « professionnels⁸ » l'appréciation est beaucoup plus complexe et dépend du type de bateau et du parcours des régates. Par exemple un Vendée-Globe c'est 28000 milles en Catégorie 0. A cela il faut ajouter que ces hypothèses considèrent implicitement que les bateaux restent en permanence archimédiens durant leurs durées d'exploitation.

En effet, ces hypothèses deviennent fausses dans le cas de voiliers de régates qui utilisent, occasionnellement en navigation, des moyens de sustentations (Foils et quilles pendulaires) qui amplifient les mouvements cycliques et génèrent des variations de charges très difficilement évaluables et supérieures à celles du même bateau navigant en permanence en régime archimédien.

Quant aux effets des chocs, du flambage, du poinçonnement par la mer des bordés ou des structures associées, du tossage (Slamming), ils sont aussi beaucoup moins bien évalués (se rappeler le poinçonnement du bordé d'American Magic lors de l'AC36).

4/ _____ Comment maîtriser ce problème ?

Le nombre d'accidents concernant des pertes de quille rapporté au nombre de bateaux de plaisance en circulation dans le monde est infiniment faible, ce qui n'exonère pas de s'intéresser à ce phénomène de ruine.

Ensuite, la Norme ISO 12215-9 paraît, à ce jour, suffisamment complète et explicite pour encadrer l'assemblage des quilles au coque de bateaux lors de la conception et de la fabrication.

⁸ Il n'existe pas de statut sportif « professionnel » en voile, ni de compétitions exigeant des licences professionnelles pour participer. Les JO exigent des niveaux.

En effet, les outils contenus dans l'ISO 12215-9 permettent aux bureaux de calcul de dimensionner, mais surtout de concevoir des systèmes qui limitent les concentrations de contraintes. Il est évident que le savoir-faire du Bureau d'étude représente le meilleur rempart contre ces types de ruine par fatigue.

Cela ne signifie pas pour autant que dans le domaine de la course au large, il ne soit pas nécessaire d'alerter les constructeurs, propriétaires et skippers de certains risques de ruines technologiques provoqués par les sollicitations cycliques de fatigue.

La certification CE apparait donc comme la référence exhaustive relative à la fabrication d'un bateau de plaisance.

D'ailleurs les OSR se réfèrent à la fois à cette certification (notamment pour les Échantillonnages et la Stabilité) et aux textes des normes ISO.

Il n'existe pas dans la Directive CE, de classification des voiliers qui peuvent être utilisés en régates, qu'elles soient : côtière, hauturière, « transatlantique », et cela même si ces voiliers évoluent lors des courses offshores dans des conditions de navigation plus difficiles que celles rencontrées normalement par un voilier de croisière.

Le législateur européen a toutefois publié cette mise en garde au sujet des conditions de chargement.

*« Lors des derniers stades de développement de l'ISO 12215-9, et après que certaines de ses parties essentielles ont été publiées, plusieurs autorités ont adopté cette Norme internationale pour l'évaluation des voiliers de régates de haute performance. S'il est vrai qu'un voilier de croisière de **catégorie A** prévu pour la navigation transocéanique peut en théorie subir les mêmes chargements qu'un voilier de régates compétitif, ces derniers n'ont pas été l'objectif principal de l'ISO 12215-9. Les concepteurs sont en conséquence fortement avertis de ne pas concevoir de voilier de compétition en ayant quasiment tous les éléments structurels juste conformes. »*

Cette précision a son importance et de fait définit les limites d'application de la norme ISO 12215-9 ou de toutes normes qui s'appuient sur les mêmes limites.

En effet, l'interprétation des calculs de résistance des structures, (fond de coque, assemblage de la quille, etc...) repose sur les méthodes de calcul utilisées, mais surtout, au final, sur la comparaison des résultats avec les limites prévues à ne pas franchir.

Et ces limites dépendent des conditions d'utilisation du bateau, c'est-à-dire :

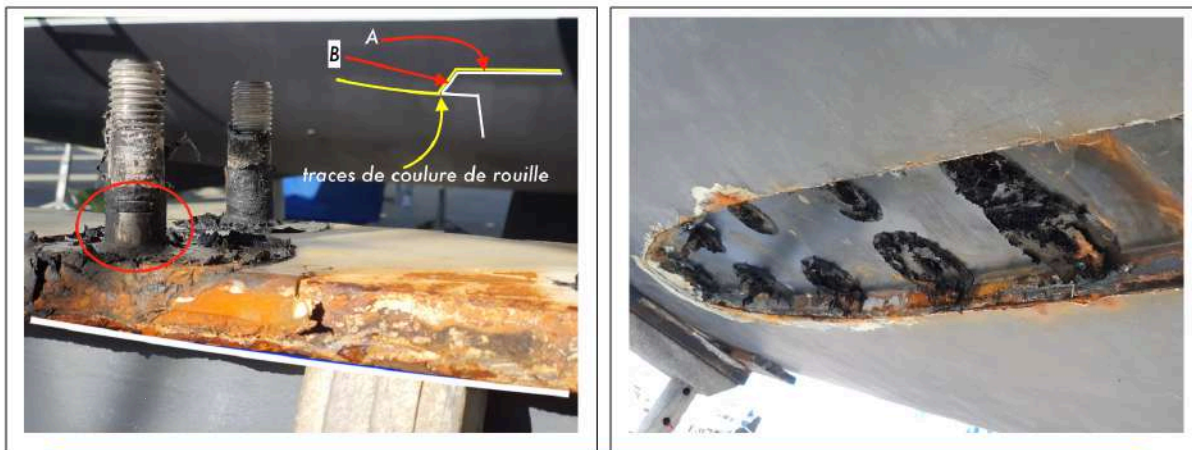
- **De son type et de ses caractéristiques**
- **De son domaine de navigation (mer et météo)**
- **De la durée de navigation**

5/ La fiabilité et la fragilité des diagnostics

On remarquera que dans le cas des pertes de quille, **les ruptures affectent des zones totalement inaccessibles**, comme l'interface **semelle d'appui / coque** ou l'**encastrement du nez du voile de quille dans un puits intégré à la coque**, ou **les paliers d'une canting keel**, etc... Trois exemples les plus courant.

Des fissurations locales de Gel-coat au niveau de l'interface, ou même des traces de rouille ne sont pas exploitables pour déduire un diagnostic. Tout au plus, elles orientent vers un déquillage et une investigation très locale de la boulonnerie (les éléments structurels en acier surmoulés dans la quille en plomb ne peuvent pas être inspectés), ou du composite (Ultra-sons).

Comme le montre le déquillage ci-dessous, toute la périphérie du dessin de la semelle montrait des coulures de rouille au niveau du fond de coque. Le déquillage a montré que l'assemblage était hyper sain, que même les filetages des goujons étaient limités de telle manière à avoir un cylindre lisse en sortie du lest en fonte (zone sensible en fatigue). Les coulures de rouille provenaient en fait de l'arête inférieure de la semelle en fonte qui est impossible à protéger de la corrosion, même avec une peinture.



Il est mécaniquement impossible d'avoir un contact surface contre surface simultanément en A et B car la géométrie est surabondante. On privilégie l'appui sur A car c'est la surface fonctionnelle, la surface B est liée à la hauteur d'implantation du goujon ou de la tête de la vis, suivant le type d'assemblage. Son encastrement dans l'épaisseur de la coque est optionnel, la semelle pourrait très bien être entièrement en surépaisseur sur la coque du bateau.

Ce déquillage prescrit de fait par les OSR apparaît comme un principe de précaution. La décision de déquiller au moment des constatations (rouille sur le pourtour de la semelle de quille) restera une décision très subjective.

La prescription 3.02.2 évoque aussi le resserrage des boulons, vis, goujons utilisés pour l'assemblage de la quille à la coque et demande pour cela de se reporter au manuel du propriétaire.

Soyons réaliste, cette opération n'est pas anodine, et surtout ne doit pas être conduite sans posséder le plan d'assemblage quille / coque. En effet tout dépend du type d'assemblage :

- A-t-on utilisé dans l'interface quille / coque, un joint rigide du type résine de coulée ou un joint type Sykaflex ou un joint non polymérisant, etc... ?
- Est-on en présence d'un encastrement conique ?
- Quel est le couple de serrage ?

Autant de questions dont les réponses ne figurent pas dans le manuel du propriétaire. Même en faisant appel à un chantier naval local, sauf s'il est concessionnaire du Constructeur (et encore), il y peu de chance qu'il puisse répondre à ces questions. Reste aussi que sur beaucoup de bateaux, les têtes d'écrous hexagonaux sont recouvertes de stratification, quand elles ne sont pas carrément inaccessibles, surtout pour une clef de serrage dynamométrique.

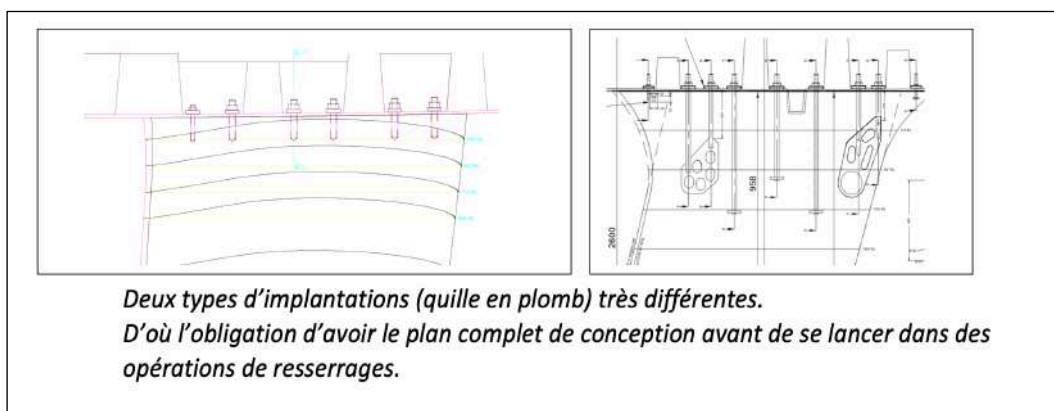
En fait, il n'est pas du tout recommandé (il est même déconseillé) de tenter de resserrer les boulons de quille. En effet, avec le temps, les deux filetages (tige filetée et filetage intérieur de l'écrou) se gomment ce qui rend impossible tout contrôle du couple de serrage existant sur chaque goujon ou vis.

Si on souhaite vraiment réaliser ce type de contrôle (couple de serrage existant) il faut au préalable dévisser complètement tous les écrous⁹, nettoyer les filets, puis les graisser, rénover les mastics d'étanchéité ... etc. Il faut aussi, dans le cas de quilles en plomb, savoir si les tiges filetées sont solidaires d'une structure interne surmoulée dans le plomb ou sont des goujons vissés dans des noix surmoulées, car le desserrage peut extraire les goujons et non dévisser les écrous ... ce qui posera de sérieuses difficultés.

Il est évident que sans les documents techniques (dessins mécaniques, nomenclatures techniques, etc...) il est impossible de générer un process d'investigation techniquement fiable.

Si l'objectif de l'OSR 3.02.2 est de réaliser un véritable contrôle des éléments d'assemblage et de la structure de liaison fond de coque-quille, il est indispensable de procéder à un véritable déquillage du bateau, en suivant une procédure établie par le constructeur. Ceci n'est pas clairement demandé dans le formulaire et dans l'annexe L, qui ne mentionne que le « resserrage des boulons ».

Ce type d'opération mal conduit peut aboutir à une situation plus dégradée après qu'avant, voir dangereuse.



⁹ Le couple de desserrage est toujours supérieur au couple de serrage initial. J'ajoute que dans le cas de filetages en acier inox 316L, le risque de grippage au desserrage est très élevé.

Il faut prendre en compte que certaines opérations totalement inadaptées mais réalisées dans le cadre de cette recherche imposée par la prescription 3.02.2 peuvent créer un environnement qui soit potentiellement déclencheur de processus de ruines qui n'existaient pas avant les interventions prescrites.

6/ La relation entre l'espace-temps et l'utilisation du bateau

Comme cela a été exposé dans le paragraphe précédent, cette prescription (3.02.2) souffre d'une méthode d'expertise qui se base exclusivement sur la vision externe de l'assemblage.

De cette vision, l'opérateur tire un diagnostic qui se révèle peu fiable du fait de la nature même du type de ruine potentiel qui est recherché.

Finalement l'expertise comme le diagnostic, sont menés sans que l'opérateur connaisse la nature de la conception technique de l'assemblage et des éléments assemblés.

Ensuite cette prescription, de par l'énumération des actions à réaliser, apparaît comme très généraliste, presque universelle et totalement indépendante des facteurs d'échelle et de temporalité.

- Cette prescription doit s'appliquer à un bateau de 9m (3.2 T de déplacement) équipé d'une quille en fonte basique de 1 T et d'un tirant d'eau de 1.70 m **comme** à un bateau de 20 m (10 T) et 4.50 de tirant d'eau, 4 T de bulbe et une canting keel. Alors que tout, par l'effet d'échelle, différencie ces deux bateaux. Rien que l'accès visuel à l'interface (extérieur) à inspecter est très différent. Dans le premier cas, cela se fait normalement sur le parking à bateaux, dans le deuxième cas, il faut un échafaudage ou une nacelle autonome.
- Cette prescription doit s'appliquer sur une périodicité fixe de 24 mois, sans prendre en compte la navigation (nombre de cycles et éventuels incidents) qui aura été effectuée réellement. Cela fausse toute la validité de l'inspection puisque les potentielles causalités pouvant entraîner une ruine de l'assemblage dépendent du temps réel de navigation et les incidents. Après un tour du monde de 26000 milles, le risque de fatigue existe plus qu'après une saison de course en Europe, même intensive (4000 milles avec les convoys sur une année. Soit 20 à 25 jours en mer).
- Un élément manque dans cette prescription, c'est le livre de bord (Log Book) qui représente l'élément « espace-temps / conditions de navigation » du bateau. Imposer une périodicité de 24 mois entre deux inspections, n'a de sens que si un archivage¹⁰ des constatations existe et reste accessible et aussi que les contrôleurs soient de même niveau de formation.
- Cette prescription de par son organisation décisionnelle actuelle n'apporte aucune certitude quant à l'état de navigabilité du bateau, ce qui est pourtant l'objectif recherché, puisqu'elle est initiée afin de voir si le bateau est en état de participer à la

¹⁰ Ce qui nécessite la mise en place d'une structure administrative, qui devienne de fait, la mémoire des bateaux qui participent aux Courses au Large.

course auquel il est inscrit. Je rappelle que cette inspection n'est pas un contrôle technique obligatoire pour tous les bateaux mais une inspection avant de participer à une ou plusieurs régates offshores, puisque de fait ce document est valable 24 mois.

En effet, la prescription énumère un grand nombre d'actions à réaliser, dont une grande majorité sont d'ailleurs techniquement impossible à mener sans opérations complexes et moyens importants et demande aussi de rédiger une simple note (voir annexe 1) « technique » sur ce qui a été constaté. Il est étonnant que cette note précise en conclusion :

« Cette inspection visuelle a été menée pour observer et faire un compte rendu sur les indications visibles notoires qui peuvent compromettre l'intégrité structurelle de la quille et du gouvernail du navire. Cela ne garantit pas que le navire est en état de naviguer ou que le Propriétaire a réparé les problèmes relevés. »

Cette note est, à priori, présentée par le propriétaire dans son dossier d'inscription comme il le fait pour son certificat de jauge ou de conformité à une Classe.

La question qui se pose alors est la suivante :

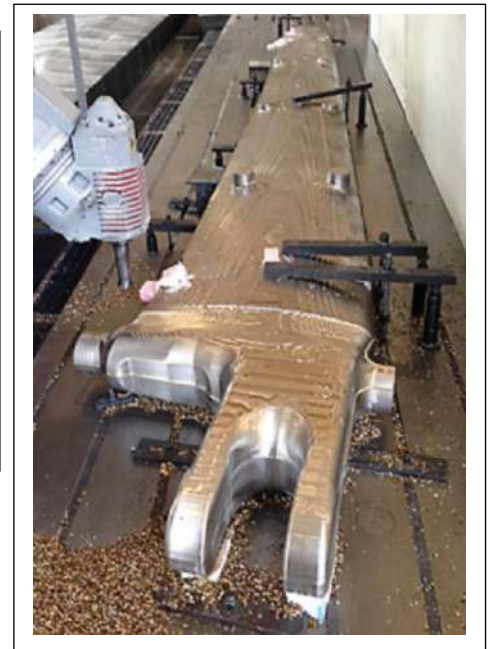
Que fait-on de cette fiche d'inspection (qui n'est pas un contrôle), qui, de par le texte de l'OSR 3.02.2 paraît très précise techniquement, et surtout, quelle décision sera éventuellement prise par l'organisateur, le directeur de course... ?

On remarquera que l'Annexe L de cette prescription 3.02.2, détaille impérativement les actions que la personne habilitée devra réaliser. C'est une « check list ». Mais surtout qu'en face de chaque action, l'opérateur doit noter ses conclusions.

The following checks may be completed with boat in the water:		
Item:	Action:	Inspector's Notes:
Keel Bolts	<u>Check for excessive corrosion.</u> Torque to manufacturer's specs.	
Internal Hull Structure	Check for signs of structural failure and/or laminate separation especially in area around keel structure, keel floor and other stress points.	

What does "excessive corrosion" mean, where is the line between acceptable and excessive corrosion? We are entering a fuzzy area.

Quand on voit (ci-contre) un voile de quille de canting keel lors des opérations d'usinage, on peut raisonnablement se poser la question de la validité de constatations d'un contrôle visuel lorsque la quille sera assemblée sur le bateau.



6/ L'inspection du safran et des systèmes de commande

Dans le cadre de la règle 3.02.2 c'est en principe l'inspection la plus facilement réalisable (sans prendre en compte le coût et les moyens nécessaires à la conduite de l'opération qui dépend évidemment de la taille du bateau).

Les sollicitations mécaniques qui agissent sur le safran (ou les safrans) sont pratiquement exclusivement celles qui affectent la mèche du safran en flexion alternée, sollicitations très liées au risque de ruine par fatigue cyclique. En fait depuis plus de 40 ans les safrans sont du type suspendu (Assez rarement implanté sur le tableau arrière) ce qui les expose à ce type de sollicitations.

Ainsi l'inspection portera principalement sur la recherche de fissures de fatigue dans la zone de la sortie de la mèche¹¹ au niveau du palier. Cette inspection impose que l'on « descende la mèche » (après avoir déconnecté les systèmes de commandes) lorsque le bateau est au sec, sans pour autant extraire intégralement le safran du bateau. La zone du palier supérieur peut-être exclue de cette inspection.



La technique basique la plus efficace est celle d'un ressuage (recherche de fissures) local de la mèche de safran dans la zone proche du palier de sortie de coque.

Mais là encore la connaissance :

- Du nombre de cycles liés à aux sollicitations mécaniques,
- De la conception du safran,
- Du matériau de la mèche,

Représentent les paramètres indispensables que doit connaître l'inspecteur pour rédiger ses conclusions.

Ainsi revient-on toujours dans cette prescription OSR 3.02.2, à :

- Ignorer ce que j'appellerai « l'horizon de temps » qui est la base de toutes opérations de suivis et de vieillissements d'un assemblage mécanique sollicité de manière cyclique.
- Ne pas corréliser le type de bateau et son utilisation avec éventuellement une idée d'inspection de ce type.
- Imposer une inspection Biannuelle, qui se traduira par un « certificat » sans valeur technique.

¹¹ Les mèches de safran métallique (matériau isotrope) sont adaptées à ce type de recherche de fissure. C'est beaucoup plus complexe avec une mèche en composite ou la ruine fait suite à un délaminage (matériau non isotrope) très difficilement identifiable préventivement.

7/ Conclusion

Les bateaux mis sur le marché depuis plus une quarantaine d'années sont de plus en plus fiables et sûrs. C'est vrai pour les bateaux de croisière et pour ceux qui sont utilisés en régates offshore.

Reste les bateaux, disons à usage de « régates » dans des circuits « professionnels ».

Là se trouve la charnière entre l'utilisation « basique » du propriétaire standard (bateau CE) et celle de bateaux où l'optimisation, l'innovation en termes de conception peut se traduire par des prises de risques technologiques amplifiées par des navigations dans des zones compliquées.

Bien souvent ces types de bateaux appartiennent à des classes souvent très bien structurées (IMOCA, CLASS 40, FAST 40, MAXI, Mini-Maxi, Mini 6.50 etc...).

Si on souhaite encadrer ces risques, il faut travailler avec les Classes. En effet leurs cas de chargement sont nettement supérieurs à ceux des bateaux « basiques » fussent-ils utilisés en course offshore, même transatlantique.

Nous pensons que cette prescription 3.02.2 deviendra rapidement une « formalité payante » biannuelle, qui n'apportera aucune sécurité supplémentaire aux bateaux « basiques » et aussi à ceux que l'on peut classer en « haute performance ».

Mais il ne faut pas oublier que l'application de cette règle impose OBLIGATOIREMENT que quelqu'un ou une entité (Organisateur, Comité de Course, Jury, ... etc...) décide de la participation OU de la non-participation du bateau à une régata...

La responsabilité du décideur sera engagée, quoique que l'on écrive dans les documents de course pour se dégager d'une possible responsabilité (Special Reg, Notice of Race... etc...), surtout si par malheur le débat se déplace au Pénal puisque cette règle 3.02.2 paraît supplanter la règle 1.02 (Responsabilité du propriétaire sur l'état de son bateau décrite dans la **Règle OSR 1.02 Responsabilité de la Personne responsable du bateau.**)

Jean SANS / Hubert SCHAFF (29/03/2022)

ANNEXE 1 Commentaires possible sur les actions décrites dans l'ANNEXE L de la 3.02.2

ACTIONS	VISIBILITÉ Ou Commentaires	DIAGNOSTIC POSSIBLE ? O/N
L'inspection de la structure d'un bateau doit être effectuée par une personne qualifiée,		
À l'intérieur et à l'extérieur	Bonne au sens large	
Manuel du Propriétaire pour le bateau spécifique	Document très succinct techniquement	Très limité voire impossible
Le type de quille		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inspecter en détail toute zone de charge élevée <ul style="list-style-type: none"> ○ Fixation de la quille ○ Semelle de la quille 	Impossible sans les plans de construction	Aucun
	Moyenne à mauvaise	Extrêmement limité
	NON	NON
Porter une attention particulière aux réparations préalables, surtout après un échouage.	Non connaissance de l'historique de la vie du bateau	Aucun
<u>Inspection interne</u> : Vérifier les plaques d'appui, les dispositifs de boulonnage, la zone du puisard et la semelle de la quille pour tout signe de fissuration, d'affaiblissement ou de délaminage.	Visibilité très réduite, pouvant être nulle.	Aucun diagnostic sérieux possible
Les quilles en plomb ou en alliage de plomb peuvent nécessiter un serrage des boulons selon les normes ISO	Resserrage non recommandé. Le resserrage peut générer des causes de ruine.	Aucun diagnostic possible
Vérifiez que les trous des boulons ne sont pas "ovalisés"	Aucune visibilité	Action aberrante
Inspecter visuellement la structure porteuse pour déceler un éventuel décollement.	Action aberrante	Aucun diagnostic

Inspection externe : Vérifier qu'il n'y a pas de signes de fissures de contrainte (pas de fissures de gelcoat) autour des fixations de la quille à la coque	Craquelures du Gelcoat ne signifie pas « FISSURES » dans la coque	Aucun diagnostic fiable possible
Mouvement ou ouverture autour de l'interface quille/coque qui pourrait permettre l'entrée d'eau	Pas les deux actions en même temps	Quel diagnostic en déduire ?
Corrosion conséquence du boulon de quille	Visible, mais que signifie « conséquence » ?	Quel diagnostic en déduire ? Est absolument rédhibitoire ?
En cas de doute, poncer la peinture de fond/gelcoat pour identifier la profondeur de la fissure	Action réalisable	Qui remet en état après l'inspection ?
Vérifier la déflexion du bout de la quille pour assurer un retour immédiat et aucun mouvement interne concomitant dans le fond de quille	Sur COMANCHE (6.80m de draft), WILD OATS XI, Etc... ?	Diagnostic visuel impossible.
Vérifier visuellement les zones de forte contrainte, en particulier autour des zones de fixation avant et arrière de la quille	Où se situent ces zones ?	Consigne aberrante.
Soulever et faire pivoter les quilles		
Vérifier qu'il n'y a pas de fissures de contrainte significatives dans la structure autour des axes supportant la quille	Aucune visibilité (A terre : Carénage. A flot : sous l'eau)	Aucun diagnostic possible
Vérifier s'il y a beaucoup de corrosion sur les axes, les paliers et la structure métallique de support.	Qu'est-ce que beaucoup de corrosion ? Les axes, les paliers ?	Accès impossible sans déposer les canting keel.

Systemes de direction		
Safran(s).		
Vérifier la présence de dommages ou de fissures de contrainte dans la zone des roulements	Dépose du ou des safrans	Réaliser des tests de recherche de fissurations
Vérifier l'intégrité de l'arbre et des pales du gouvernail	Visuellement ?	Diagnostic subjectif
Effectuer un essai de flexion de l'extrémité pour déceler tout mouvement excessif	Essai possible, MAIS quelle amplitude de flèche accepte ont ?	Diagnostic Très subjectif.

ANNEXE 2 Modèle de formulaire annexé à la règle 3.02.2

REGLEMENTATIONS SPECIALES OFFSHORE WORLD SAILING		
ANNEXE L		
Modèle de Formulaire d'Inspection de Quille et de Gouvernail		
Nom du Bateau :	Numéro de Voile :	
Nom du Propriétaire :	Architecte :	
Adresse :		
Email du Propriétaire :	Constructeur :	
Date de Première Mise à l'eau	Numéro d'identification de la coque :	
Numéro de Certificat de contrôle de plan World Sailing :		
Les contrôles suivants peuvent être menés le bateau à l'eau :		
Sujet :	Action :	Note de l'Inspecteur :
Boulons de quille	Vérifier une corrosion excessive Serrage dynamométrique aux spécifications du fabricant	
Structure intérieure de la coque	Vérifier des signes de défaut structurel et/ou de délamination de stratifié spécialement dans la zone autour de la structure de la quille, la semelle de la quille et autres points de contrainte.	
Les contrôles suivants seront réalisés à l'extérieur avec bateau hors de l'eau :		
Etat extérieur de la coque	Vérifier les fissures de contrainte sur la coque des points d'attache à la structure autour des zones de bords d'attaque et bords de fuite, appendices de coque, et fosse de quille. Inspecter la jonction entre quille et coque par un test de déflexion pour relever des signes d'avaries	
Safran	Vérifier les fissures du montage support gouvernail/coque Inspecter l'intégrité du safran par un test de déflexion.	
Déclaration d'Inspection Complète :		
Lieu :	Date :	
Cette inspection visuelle a été menée pour observer et faire un compte rendu sur les indications visibles notoires qui peuvent compromettre l'intégrité structurelle de la quille et du gouvernail du navire. Cela ne garantit pas que le navire est en état de naviguer ou que le Propriétaire a réparé les problèmes relevés.		
Nom en lettre capitale :	Signature :	
Adresse :		
Version au 1 ^{er} janvier 2022		
page 61		