



**Norme
internationale**

ISO 12215-9

**Petits navires — Construction de
coques et échantillons —**

**Partie 9:
Appendices des bateaux à voiles**

Small craft — Hull construction and scantlings —

Part 9: Sailing craft appendages

**Deuxième édition
2026-09**

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2026

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	v
Introduction	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles	2
5 Contraintes de conception	4
6 Élément structurel à évaluer	6
7 Cas de chargement	7
7.1 Généralités	7
7.1.1 Statut des cas de chargement de conception	7
7.1.2 Limitation des cas de chargement	7
7.2 Cas de chargement 1 — Quille fixe avec le bateau couché à 90°	8
7.3 Cas de chargement 2 — Charge continue sur une quille basculante (pendulaire) à 30° de gîte, avec un facteur de surcharge dynamique	9
7.3.1 Généralités	9
7.3.2 Exigences particulières pour la structure des quilles basculantes transversalement	10
7.4 Cas de chargement 3 — Talonnage vertical d'un voilier à quille	10
7.5 Cas de chargement 4 — Talonnage longitudinal d'un voilier à quille	11
7.6 Cas de chargement 5 — Dérive sur un dériveur chaviré redressable	12
7.7 Cas de chargement 6 — Dérive pivotante ou coulissante au près	12
7.7.1 Dérives non lestées	12
7.7.2 Dérives lestées	13
7.8 Autres cas de chargement	13
7.8.1 Généralités	13
7.8.2 Flexion et torsion combinées (cas du bateau couché)	13
7.8.3 Moment de flexion et impact vertical combinés, cas de chargement 3	15
7.8.4 Autres combinaisons de cas de chargement	15
8 Méthodes numériques d'évaluation	16
8.1 Généralités	16
8.2 Recommandations générales pour l'évaluation par des procédures de calcul 3-D	16
8.2.1 Généralités	16
8.2.2 Procédures numériques 3-D	16
8.2.3 Propriétés des matériaux	16
8.2.4 Hypothèse de conditions aux limites	16
8.2.5 Application de la charge	16
8.2.6 Idéalisations du modèle	16
8.3 Évaluation à l'aide de méthodes de résistance des matériaux non fondées sur le calcul par ordinateur	17
9 Conformité	17
Annexe A (normative) Déclaration d'application	18
Annexe B (normative) Informations sur le métal pour les appendices et les fixations et pratiques établies pour la fixation et le soudage	20
Annexe C (informative) Dispositions structurelles de pratique établie au droit de la quille de lest	29
Annexe D (informative) Dispositions structurelles de pratique établie pour le calcul de la résistance du voile de quille (fixe ou basculante) et des quilles de lest boulonnées	44

Annexe E (informative) Propriétés géométriques des profils de sections aérodynamiques d'appendices typiques	62
Annexe F (informative) Évaluation simplifiée de la résistance en fatigue	65
Bibliographie	78

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO avait/n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 188, *Petits navires*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 464, *Petits navires*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 12215-9:2012), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- des considérations relatives à l'actionneur de quille basculante et à la structure de support de la quille ont été ajoutées au [Tableau 3](#);
- l'[Annexe A](#) doit désormais être complétée dans tous les cas;
- un traitement qualifié du diamètre et de l'épaisseur de la contre-plaque dans le cas d'une épaisseur de coque réduite a été ajouté au [Tableau D.2](#);
- une note d'attention spécifique concernant la proximité des boulons avec les soudures a été ajoutée en [D.4.7](#);
- à l'[Annexe F](#), la vie opérationnelle a été doublée pour atteindre 16 millions de cycles de contrainte et le calcul du MSF associé a été révisé.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 12215 se trouve sur le site web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Introduction

Le présent document reconnaît l'importance d'une évaluation adéquate des échantillons, des pratiques de construction et de l'état des appendices des bateaux à voiles, principalement de la quille de lest.

La perte d'une quille de lest entraînant le chavirage du bateau est l'un des principaux risques de décès sur les bateaux à voiles et l'effectivité structurelle de tous les éléments de la quille et de sa liaison au bateau est capitale.

Le présent document spécifie les charges de conception et les facteurs de contrainte qui leur sont associés. L'utilisateur (par exemple, le concepteur ou le constructeur) a alors le choix entre l'une des deux options suivantes pour évaluer la disposition structurelle:

- a) utilisation de méthodes de calcul permettant de modéliser la structure en trois dimensions. Ces méthodes incluent l'analyse par éléments finis, une matrice de déplacement ou les méthodes d'encadrement, après quoi l'[Annexe A](#) est remplie à des fins de conformité. Des recommandations relatives aux hypothèses de modélisation sont fournies à l'[Article 8](#);
- b) utilisation de formules simplifiées pour les contraintes bidimensionnelles. Elles sont données dans les [Annexes B](#) à [F](#) et, lorsque cette option est choisie, l'utilisation de toutes les annexes applicables sera nécessaire pour satisfaire aux exigences du présent document, après quoi l'[Annexe A](#) est remplie à des fins de conformité.

Le présent document a été élaboré en tenant compte des pratiques actuelles et des principes d'ingénierie. Les charges et critères du présent document peuvent être utilisés avec leurs formules de détermination de l'échantillonnage du présent document ou à l'aide de méthodes d'ingénierie équivalentes, comme indiqué au point a) ci-dessus.

Le présent document reflète la pratique actuelle, à condition que le bateau soit correctement manœuvré conformément avec un bon sens marin, qu'il soit bien conçu et construit et qu'il soit entretenu, équipé et exploité à une vitesse adaptée à l'état de la mer rencontré. L'inspection de tous les appendices après le talonnage est essentielle.

NOTE Le respect du présent document n'assure pas une conception satisfaisante dans tous les cas et n'exonère pas l'utilisateur, tel que le concepteur ou le constructeur, de ses responsabilités en matière de conception, lesquelles lui incombent entièrement.

Les bateaux de course ne sont pas l'objet principal de la série ISO 12215. Les utilisateurs sont notamment fortement mis en garde contre les tentatives de conception d'échantillons pour les bateaux de course de manière à ce que ces échantillons soient tout juste conformes.

Petits navires — Construction de coques et échantillons —

Partie 9: Appendices des bateaux à voiles

1 Domaine d'application

Le présent document définit les charges et spécifie les échantillonnages des appendices des voiliers monocoques d'une longueur de coque (L_H) mesurée conformément à l'ISO 8666 ou d'une longueur de référence (voir l'ISO 12215-5:2019, Article 1, NOTE 1) est inférieure ou égale à 24 m. Il indique:

- les contraintes de conception;
- les éléments structurels à évaluer;
- les cas de chargement et les charges de conception pour la quille, la dérive et leurs éléments de liaison;
- les méthodes de calcul et les recommandations de modélisation;
- les moyens de se conformer à ses dispositions.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 898-1, *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié — Partie 1: Vis, goujons et tiges filetées de classes de qualité spécifiées — Filetages à pas gros et filetages à pas fin*

ISO 3506-1, *Fixations — Caractéristiques mécaniques des fixations en acier inoxydable résistant à la corrosion — Partie 1: Vis, goujons et tiges filetées de grades et classes de qualité spécifiés*

ISO 12215-5:2019, *Petits navires — Construction de coques et échantillonnage — Partie 5: Pressions de conception pour monocoques, contraintes de conception, détermination de l'échantillonnage*

ISO 12217-1, *Petits navires — Évaluation et catégorisation de la stabilité et de la flottabilité — Partie 1: Bateaux à propulsion non vélique d'une longueur de coque supérieure ou égale à 6 m*

ISO 12217-2, *Petits navires — Évaluation et catégorisation de la stabilité et de la flottabilité — Partie 2: Bateaux à voiles d'une longueur de coque supérieure ou égale à 6 m*

ISO 12217-3, *Petits navires — Évaluation et catégorisation de la stabilité et de la flottabilité — Partie 3: Bateaux d'une longueur de coque inférieure à 6 m*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

3.1 catégorie de conception

description des conditions de mer et de vent pour lesquelles un bateau est évalué comme approprié

Note 1 à l'article: Les catégories de conception sont définies dans la série ISO 12217.

Note 2 à l'article: Les définitions des catégories de conception sont en ligne avec la directive européenne 2013/53/UE^[1] sur les bateaux de plaisance.

3.2 déplacement en charge

m_{LDC}

masse du bateau, y compris tous ses appendices, lorsqu'il est en condition de charge maximale prêt à l'emploi

Note 1 à l'article: La condition de charge maximale prête à l'emploi est définie plus avant dans l'ISO 8666.

3.3 bateau à voiles

bateau dont le moyen principal de propulsion est la puissance du vent

Note 1 à l'article: Cela est défini plus avant dans l'ISO 8666.

3.4 masse de la quille

m_{KEEL}

masse de la quille de lest, en kilogrammes, c'est-à-dire l'aileron de quille plus le bulbe, le cas échéant, et, pour les quilles doubles ou multiples, la masse de chaque quille

4 Symboles

Pour les besoins du présent document, sauf définition spécifique contraire, les symboles donnés au [Tableau 1](#) s'appliquent.

Tableau 1 — Nomenclature

Symbole	Unité	Désignation/signification du symbole	Article/Paragraphe
A_{CB}	m ²	Surface de la dérive entièrement déployée	7.7.1
A_S	m ²	Surface de voilure de référence (GV + triangle AV+ mâ-t-ail), comme définie dans l'ISO 12217-2	7.7.1
a	m	Distance, mesurée le long de l'axe de la quille, entre le centre de gravité (CG) de la quille et sa liaison avec la coque ou l'aileron de quille	7.2
b_f	mm	Largeur totale de la section aérodynamique de l'appendice	E.1
c	m	Distance, mesurée le long de l'axe de la quille, entre la liaison de la quille et la mi-hauteur de la varangue	7.2
c_a	m	Valeur moyenne de c pour plusieurs varangues	7.5
d	mm	Diamètre nominal du boulon de quille sélectionné (peut dépasser d_{req})	B.5.2
d_i	mm	Diamètre du i ème boulon de quille pris en considération ($i = 1, 2$, etc.)	D.4.4 , D.4.5
d_{neck}	mm	Diamètre du noyau du boulon de quille	D.4.1

Tableau 1 (suite)

Symbole	Unité	Désignation/signification du symbole	Article/Paragraphe
d_{ineck}	mm	Diamètre du noyau du $i^{\text{ème}}$ boulon de quille pris en considération ($i = 1, 2$, etc.)	D.4.4.2
d_{req}	mm	Diamètre nominal du boulon de quille calculé pour le cas de chargement 1 ou le cas de chargement 4	D.4
d_3	mm	Désignation spécifique ISO pour d_{neck}	Tableau D.1
e	—	Proportion de la force latérale totale prise par la dérive	7.7.1
F_i	N	Force de conception, où i correspond au cas de chargement	7
g	m/s ²	Accélération de la pesanteur = 9,81 m/s ²	7
h_{CE}	m	Hauteur du centre de surface de A_S	7.7.1
h_K	m	Hauteur de la quille, entre sa base et sa liaison avec la coque	7.5
h_{F4}	m	Hauteur du point d'application de la force F_4 (cas de chargement 4)	7.5
I_L	cm ⁴	Second moment longitudinal de la section aérodynamique de l'appendice	E.2.2
I_T	cm ⁴	Second moment transversal de l'aire	E.2.1
k_{DC}	—	Coefficient de catégorie de conception	Tableau 2
k_f	—	Facteur de forme de la section de l'appendice	Tableau E.1
k_{f1}	—	Facteur de forme de la section de l'appendice	Tableau E.1
k_{LC}	—	Coefficient de cas de chargement	Tableau 3
k_{LD}	—	Coefficient de longueur/déplacement	7.7.1
k_{MAT}	—	Coefficient de matériau	Tableau 2
L_f	mm	Longueur de la corde de la section aérodynamique de l'appendice	E.1
L_F	m	Longueur transversale d'une varangue, qui est la distance entre les points où les charges verticales sont transférées à la structure	C.1.2
L_{WL}	m	Longueur de la flottaison en conditions m_{LDC}	7.7.1
m_{LDC}	kg	Voir 3.2	3.2 , 7
m_{KEEL}	kg	Voir 3.4	3.4 , 7.4
m_{IJ}	N·m	Moment de flexion de conception, où les indices I et J dépendent du cas de chargement	7
M_{RUP}	N·m	Moment de redressement lorsque le bateau navigue au près, il doit être pris, sauf documentation contraire, comme le moment à 30° de gîte	7.7
n_{PR}	—	Nombre minimal requis de personnes nécessaires pour redresser un bateau chaviré, conformément à la série ISO 12217	7.6
P	mm	Pas de filetage du boulon de quille	D.4.1
SM_K	cm ³	Module d'inertie transversal de la quille de lest autour de son axe neutre	D.3.1
SM_L	cm ³	Module d'inertie longitudinal de la forme aérodynamique de l'appendice	E.2.2
SM_T	cm ³	Module d'inertie transversal de la forme aérodynamique de l'appendice	E.2.1
SM_{T0}	cm ³	Module d'inertie en torsion	E.3
st_i	N/mm ²	Contrainte, qui peut être σ ou τ , où i peut être LIM, d, u, y, yw ou uw	5
t_f	mm	Épaisseur de la paroi de la section aérodynamique creuse de l'appendice	E.1
V	nœuds	Vitesse maximale du bateau en condition minimale de navigation, m_{MOC}	7.7

Tableau 1 (suite)

Symbole	Unité	Désignation/signification du symbole	Article/Paragraphe
α	°	Angle d'attaque de la dérive	7.7.1
ε_R	%	Allongement à la rupture	Tableau B.2
θ	°	Angle entre l'axe de la quille et l'axe du bateau, pour les quilles basculantes	7.3.1

5 Contraintes de conception

La contrainte maximale doit être calculée pour chaque élément structurel pertinent et combinaison de cas de chargement.

La contrainte de conception, st_d , exprimée en N/mm², est la contrainte limite pertinente multipliée par divers coefficients de contrainte, comme indiqué par la [Formule \(1\)](#):

$$st_d = st_{LIM} \times k_{MAT} \times k_{LC} \times k_{DC} \quad (1)$$

où

st_{LIM} est la contrainte limite, où st signifie σ , pour une contrainte directe, ou τ , pour une contrainte de cisaillement, et l'indice LIM signifie:

- pour les métaux non soudés ou loin des zones affectées par la chaleur de soudure (HAZ), $\min(st_y; 0,5 \times st_u)$ où l'indice y signifie la limite élastique et l'indice u signifie la résistance à la rupture, c'est-à-dire. σ_y, σ_u pour les contraintes directes, τ_y, τ_u pour les contraintes de cisaillement et σ_{yb}, σ_{ub} pour les contraintes de matage;
- pour les métaux dans les zones affectées par la chaleur de soudure, $\min(st_{yw}; 0,5 \times st_{uw})$ où l'indice y signifie la limite élastique et l'indice u signifie la résistance à la rupture (c'est-à-dire σ_{yw}, σ_{uw} pour les contraintes directes, τ_{yw}, τ_{uw} pour les contraintes de cisaillement et $\sigma_{ybw}, \sigma_{ubw}$ pour les contraintes de matage;
- la contrainte de rupture en traction, σ_{ut} , en compression, σ_{uc} , en flexion, σ_{uf} , en matage, σ_{ub} , ou en cisaillement, τ_u , pour le bois ou le stratifié (résine armée de fibre);

k_{MAT} est le coefficient de matériau défini au [Tableau 2](#), et ajustant la contrainte de conception selon le matériau;

k_{LC} est le coefficient de chargement défini au [Tableau 3](#), et ajustant la contrainte de conception selon le cas de chargement;

k_{DC} est le coefficient de catégorie de conception défini au [Tableau 2](#), et permettant d'augmenter la contrainte de conception pour des catégories de conception plus basses.

NOTE 1 Le [Tableau 2](#) spécifie les détails de ces différentes variables.

Les valeurs de st_{LIM} (c'est-à-dire $\sigma_y, \sigma_u, \tau_u$ pour les métaux non soudés, $\sigma_{yw}, \sigma_{uw}, \tau_{yw}, \tau_{uw}$ pour les zones affectées par la chaleur de soudure sur les métaux soudés, ou $\sigma_{ut}, \sigma_{uc}, \sigma_{uf}, \sigma_{ub}$ ou bien τ_u pour le bois et le stratifié) doivent être déterminées:

- conformément à l'ISO 12215-5:2019, Annexes C, E et F, c'est-à-dire selon les valeurs provenant d'essais ou selon les valeurs par défaut données respectivement pour les stratifiés, pour les âmes de sandwich, et pour le bois moulé et le contreplaqué;
- conformément à l'ISO 3506-1 pour les fixations en acier inoxydable, et l'ISO 898-1 pour les fixations en acier au carbone ou en acier allié.

NOTE 2 Voir l'[Annexe B](#) pour les métaux cités.

Tableau 2 — Contraintes de conception et coefficients de contrainte

Variable	Matériau/désignation	Valeur
st_{LIM}	Métaux, non soudés ou loin des zones affectées par la chaleur de soudure ^a	$\min(st_y; 0,5 \times st_u)^{b,c}$
	Métaux, dans les zones affectées par la chaleur de soudure ^a	$\min(st_{yw}; 0,5 \times st_{uw})^{b,c}$
	Bois et stratifiés, selon la direction de la contrainte appliquée	$\sigma_{uc}, \sigma_{ut}, \sigma_{uf}, \sigma_{ub}$ et τ_u le cas échéant ^c
k_{MAT}	Facteur de contrainte	
	Métaux dont l'allongement à la rupture, $\varepsilon_R \geq 7 \%$	0,75
	Métaux dont l'allongement à la rupture, $\varepsilon_R < 7 \%$	$\min(0,0625\varepsilon_R + 0,3125; 0,75)^d$
	Bois et stratifié	0,33 ^e
k_{LC}	Facteur de contrainte (voir le Tableau 3)	
k_{DC}	Facteur de contrainte	
	Bateau de catégorie de conception A et B	1,00
	Bateau de catégorie de conception C et D	1,25

^a On doit considérer que la zone affectée par la chaleur de soudure est située à une distance inférieure à 50 mm des soudures, comme spécifié en [F.3.4.3](#).

^b Pour les métaux, $\tau = 0,58 \times \sigma$.

^c Les contraintes de matage dépendent du type de matériau (généralement, $\sigma_{ub}/\sigma_{uc} = 2,8$ pour le mat de verre (CSM) et 0,91 pour le roving). Les métaux donnent généralement une valeur de 2,4 à 3,0 pour les boulons (mais avec des restrictions: loin des bords, écartement minimal des boulons, valeur minimale épaisseur/diamètre du boulon d).

^d Le facteur donne 0,75 pour $\varepsilon_R \geq 7 \%$, et 0,375 pour $\varepsilon_R = 1 \%$ avec une interpolation linéaire entre ces valeurs. Les valeurs de ε_R doivent être conformes au [Tableau B.2](#).

^e Pour le bois et le stratifié, k_{MAT} peut être réduit (c'est-à-dire que la contrainte de calcul est réduite et le facteur de sécurité est augmenté) et doit être conforme au k_{BB} approprié (stratifié uniquement; pour éviter tout doute, pour le bois $k_{BB} = 1,0$) et k_{AM} (stratifié et bois) comme spécifié dans l'ISO 12215-5:2019, Tableau 15 et Tableau 16, respectivement. Par exemple, dans un cas où $k_{BB} = 0,75$ et $k_{AM} = 0,9$, k_{MAT} deviendrait $0,33 \times 0,75 \times 0,9 = 0,22$. Si $k_{BB} = 1,0$ et $k_{AM} = 1,0$, k_{MAT} reste de 0,33.

Tableau 3 — Valeurs de k_{LC} , facteur de contrainte selon le cas de chargement

Cas de chargement	Description du cas de chargement des quilles et des appendices	Paragraphe	Valeur de k_{LC}
1	Boulon de quille ^a	7.2	0,67
	Autres éléments de quilles fixes: métal	—	0,8
	Autres éléments de quilles fixes: stratifié ^b	—	0,9
2	Quilles basculantes: métal	7.3	0,8
	Quilles basculantes: stratifié	7.3	0,9
	Quille basculante: actionneur métallique/actionneur et structure de support de quille métalliques	7.3	0,8
	Quilles basculantes: actionneur en stratifié/actionneur et structure de soutien de la quille en stratifié	7.3	0,9
3	Talonnage vertical	7.4	1
4	Impact longitudinal sur la quille	7.5	1
5	Redressement d'un dériveur chaviré (résistance de la dérive pivotante ou coulissante)	7.6	1,34
6	Dérive pivotante ou coulissante au près	7.7	1,0

NOTE La contrainte de conception des boulons est plus faible que celle des autres éléments structurels afin de prendre en compte les effets de concentration de contrainte dans les boulons et conformément à une pratique établie depuis longtemps.

^a Le cas de chargement 1 considère différemment les boulons des autres éléments structurels.

^b Attention: Les exigences du présent document sont fondées sur des critères de résistance. Dans certains cas, comme les voiles de quille construits avec des matériaux à faible module d'élasticité, la nécessité de limiter les déformations et/ou d'augmenter les fréquences naturelles peut exiger une augmentation substantielle d'échantillonnage par rapport à celui requis par le présent document. De tels cas ne relèvent pas du domaine d'application du présent document.

6 Élément structurel à évaluer

ATTENTION — La perte de la quille peut être attribuée à une épaisseur insuffisante du bordé de fond dans la zone de la quille. Particulièrement, les boulons de liaison ou un chemin de contrainte inadéquat entre les boulons de liaison et la structure correspondante, ainsi que les boulons placés trop loin des raidisseurs correspondants, sont des facteurs de causalité. Il est fortement recommandé de suivre les dispositions données à l'[Article D.5](#) et au [Tableau D.2](#) et, en particulier, pour les boulons placés trop loin des raidisseurs, les dispositions du [Tableau D.2](#), élément 3.

La perte de la quille peut également être attribuée à une résistance insuffisante en fatigue. Les voiles de quille en métal fabriqués (généralement soudés) sont particulièrement sensibles à la fatigue. Dans ces cas, la fatigue doit être prise en considération et évaluée et les dispositions de l'[Annexe F](#) ou d'autres méthodes appropriées de conception en fatigue doivent être suivies.

Les éléments suivants doivent être pris en compte lors de l'évaluation ou la conception des éléments de structure couverts par le présent document:

- liaison entre la quille et la coque (boulons, blocage conique, aileron de quille, etc.); voir les [Figures 1](#), [C.3](#), [C.4](#) et [D.1](#);
- bordé de fond au niveau des boulons de quille et disposition de la transition au-delà de la zone des boulons de quille dans la structure de la coque. Il convient de ne pas boulonner les quilles à un fond de coque en construction sandwich. La disposition structurelle doit assurer que tous les chargements (contraintes de compression dues à la quille, précontrainte des boulons, etc.) sont correctement transmis;

NOTE 1 Les termes «prétension» et «précharge» sont utilisés de manière interchangeable.

- contre-plaques (généralement des plaques d'acier rectangulaires installées sur la surface intérieure du bordé de coque, qui répartissent la charge)/rondelles d'acier (annulaires, placées sous les écrous de fixation ou les têtes de boulons);
- varangues, carlingues et structure porteuse associée;
- boîtes de quille, actionneurs de quille basculante et structure de support;
- voiles, dérives, dérives pivotantes de section aérodynamique.

NOTE 2 Les hydrofoils ne sont pas pris en considération.

L'évaluation doit être effectuée au moyen de méthodes numériques conformément à l'[Article 8](#) ou au moyen de méthodes de «pratique établie» indiquées à l'[Article 9](#).

Le [Tableau 4](#) décrit étape par étape la procédure permettant d'établir la conformité des éléments structurels.

Tableau 4 — Procédure permettant d'établir la conformité

Étape	Sujet	Article/Paragraphe
1	Contraintes de conception	5
2	Élément structurel à évaluer	6
3	Cas de chargement	7
L'analyse structurelle et la détermination de l'échantillonnage doivent être effectuées en utilisant une des deux méthodes énumérées à l'étape 4 ou 5:		
4	Calcul par des procédures numériques de calcul en 3D, y compris la fatigue le cas échéant	8.1 , 8.2
5	Calcul par des méthodes simplifiées d'évaluation de la résistance, y compris la fatigue le cas échéant	8.1 , 8.3 et Annexes B à F
6	Conformité et achèvement de l' Annexe A	9 , Annexe A

7 Cas de chargement

7.1 Généralités

7.1.1 Statut des cas de chargement de conception

ATTENTION — Pour les cas de chargement 1 et 2, lorsque les quilles ont un grand angle de balayage longitudinal, le centre de gravité (CG) de l'ensemble aileron/bulbe peut se trouver à une distance significative en avant ou en arrière du centre longitudinal du profil d'aileron de quille à sa racine ou du groupe de boulons. Cela induit un moment de torsion en plus du moment de flexion. Dans de tels cas, les contraintes directes dues à la flexion doivent être combinées aux contraintes de cisaillement dues à la torsion (contrainte équivalente de von Mises) et ne doivent pas dépasser la contrainte de conception indiquée dans la [Formule \(1\)](#), en notant également [7.8](#).

La contrainte de conception doit être évaluée pour chaque cas de chargement, à l'aide de la [Formule \(1\)](#) avec les coefficients de contrainte de conception respectivement donnés aux [Tableaux 2](#) et [3](#), comme suit:

- le [paragraphe 7.2](#) définit le cas de chargement 1, quille fixe couchée à 90°, ainsi que la force correspondante, F_1 , et le moment de flexion de conception, M_1 , à 90° de gîte, respectivement pour la quille au niveau de sa racine ou de son boulonnage et pour la varangue à son axe neutre; il doit être appliqué pour les quilles fixes (qu'elles soient verticales ou angulées comme pour les biquilles) et pour les quilles relevables coulissantes ou pivotantes dans l'axe;
- le [paragraphe 7.3](#) définit le cas de chargement 2, quille basculante transversalement, ainsi que la force correspondante, F_2 , et le moment de flexion de conception, M_2 , à un angle continu de 30° de gîte, plus un coefficient de chargement dynamique; il doit uniquement être appliqué pour les quilles basculantes transversalement;
- le [paragraphe 7.4](#) définit le cas de chargement 3, talonnage vertical, ainsi que la force de conception verticale, F_3 ;
- le [paragraphe 7.5](#) définit le cas de chargement 4, impact longitudinal, ainsi que la force de conception horizontale, F_4 , qui considère un impact longitudinal avec un objet fixe ou immergé ou avec un animal marin;
- le [paragraphe 7.6](#) définit le cas de chargement 5, redressement d'un dériveur chaviré, ainsi que la force de conception verticale, F_5 , appliquée sur l'extrémité de la dérive pour le redressement d'un dériveur couché à 90°;
- le [paragraphe 7.7](#) définit le cas de chargement 6, dérive pivotante ou coulissante, ainsi que la force de conception horizontale, F_6 , qui s'applique sur une dérive pivotante ou coulissante lors de la navigation au près;
- le [paragraphe 7.8](#) prend en compte d'autres cas de chargement, particulièrement lorsque des conceptions particulières causent des charges combinées.

7.1.2 Limitation des cas de chargement

Le présent document est basé sur l'hypothèse que le niveau des efforts est placé à un degré suffisamment élevé pour que le nombre de fois où ces efforts sont rencontrés pendant la vie du bateau soit faible. En conséquence, tous les cas de chargement sont considérés comme étant statiques et utilisés en conjonction avec des contraintes de conception statiques dans les [Tableaux 2](#) et [3](#).

Pour les quilles en construction soudée, la conformité aux cas de chargement statique ne peut assurer l'absence de rupture en fatigue causée par des charges cycliques. Dans ces cas, on doit mettre en œuvre une évaluation explicite de la durée de vie en fatigue et une procédure d'inspection.

NOTE 1 Voir les [Annexes A](#) et [F](#) pour l'évaluation de la durée de vie en fatigue et la procédure d'inspection.

NOTE 2 Il est de la plus haute importance que la réponse des structures soumises à des charges cycliques soit inférieure à la résistance en fatigue. L'analyse de la fatigue est nécessaire lorsque les contraintes sont importantes et lorsque les structures comportent des soudures qui nécessitent une conception et une documentation détaillées.

Les configurations de quilles ressemblant aux types illustrés à la [Figure C.4](#) nécessitent un examen au cas par cas.

NOTE 3 En outre, les cas de chargement considèrent que, pour les connexions boulonnées, les méthodes d'évaluation des boulons des quilles se fondent sur l'hypothèse d'une distribution essentiellement uniforme des diamètres et des espacements des boulons le long de la racine de l'aileron ou de la semelle de quille (voir [l'Article D.4](#) pour de plus amples détails).

7.2 Cas de chargement 1 — Quille fixe avec le bateau couché à 90°

7.2.1 Ce cas correspond au cas où le bateau est couché à 90° (voir [Figure 1](#)), habituellement le cas le plus sévère pour le moment de flexion transversal d'une quille de lest fixe.

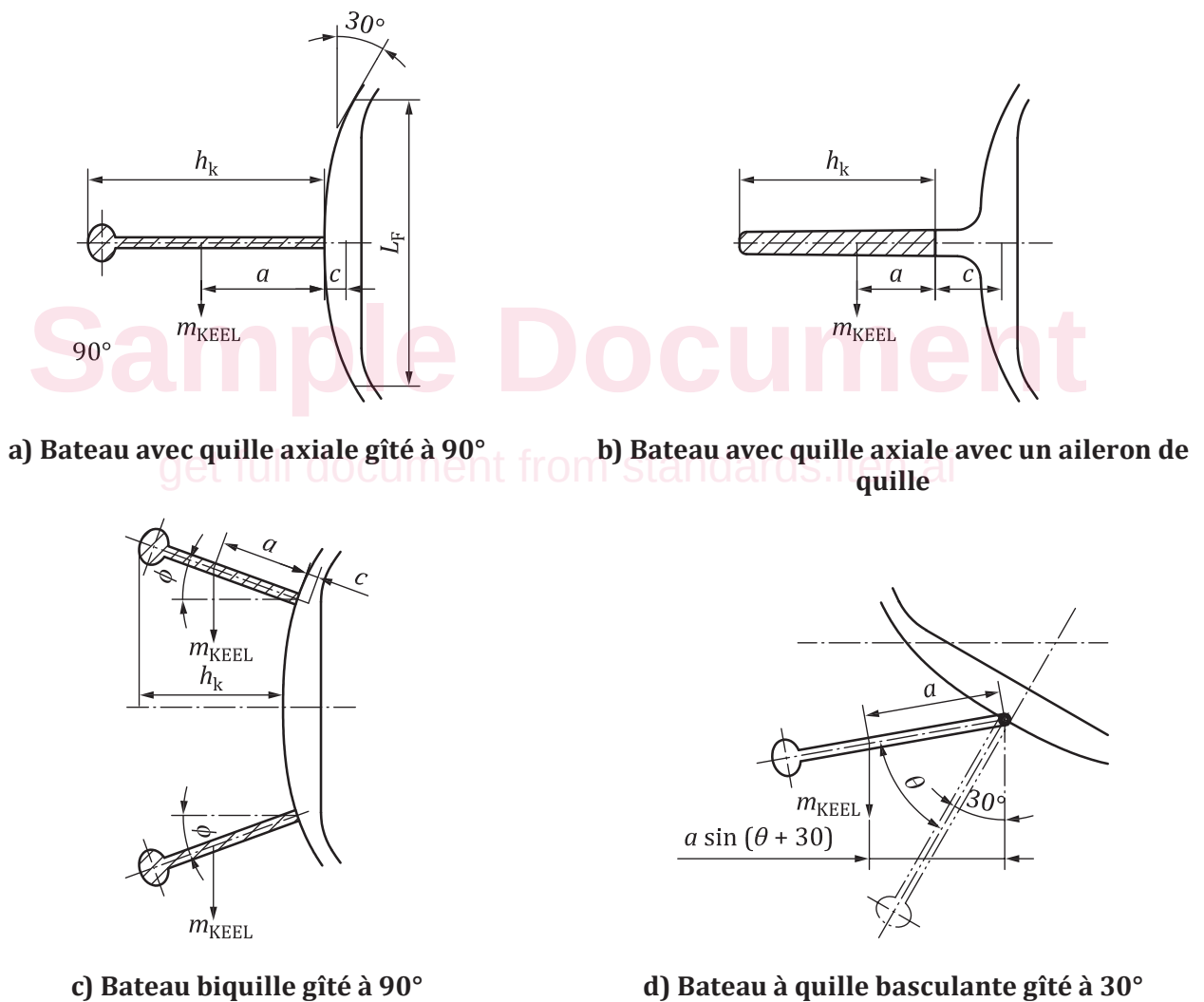


Figure 1 — Schéma de quille axiale fixe, biquille et quille basculante latéralement

Calculer la force verticale, bateau couché à 90°, exercée par la pesanteur au centre de gravité de la quille, F_1 , exprimée en N, à l'aide de la [Formule \(2\)](#):

$$F_1 = m_{\text{KEEL}} \times g \quad (2)$$

Calculer le moment de flexion de conception provenant de la quille, à la section de liaison de la quille, $M_{1,1}$, exprimé en N m, à l'aide de la [Formule \(3\)](#):

$$M_{1,1} = F_1 \times a \quad (3)$$

Calculer le moment de flexion de conception provenant de la quille, à mi-hauteur de la varangue, $M_{1,2}$, exprimé en N m, à l'aide de la [Formule \(4\)](#):

$$M_{1,2} = F_1 \times (a + c) \quad (4)$$

où

- a est la distance mesurée le long de l'axe de la quille entre le CG de la quille et sa liaison avec la coque ou l'aileron, exprimée en mètres (m);
- c est la distance mesurée, en mètres, le long de l'axe de la quille entre la liaison de la quille avec la coque ou l'aileron et la mi-hauteur de la varangue;
- g est l'accélération due à la gravité, prise comme étant égale à 9,81 m/s² et utilisée dans l'ensemble du présent document.

La structure du bateau, la liaison de la quille et les raidisseurs doivent pouvoir résister à cette force et à ces moments.

NOTE 1 L'[Annexe C](#) fournit des informations sur la manière de calculer l'effort tranchant et le moment de flexion sur chaque varangue lorsqu'elles peuvent être analysées comme des poutres indépendantes.

NOTE 2 Pour les quilles fixes simples, considérées comme étant parallèles à l'axe du bateau, ces moments de flexion correspondent à un angle de gîte du bateau de 90°. Pour les quilles doubles biquilles, [voir la [Figure 1 c](#)], le cosinus de l'angle ϕ avec l'horizontale, lorsque le bateau est couché à 90°, n'est pas pris en compte, car les quilles seront parallèles à la flottaison à un certain angle avant ou après que le bateau gîte à 90°.

7.2.2 Pour les bateaux dotés d'un aileron [voir la [Figure 1 b](#)], il convient que l'utilisateur prenne en considération plusieurs valeurs de c afin de déterminer le point le plus chargé.

7.3 Cas de chargement 2 — Charge continue sur une quille basculante (pendulaire) à 30° de gîte, avec un facteur de surcharge dynamique

7.3.1 Généralités

Le présent cas de chargement doit s'appliquer uniquement aux quilles basculantes comme illustré à la [Figure 1d](#)) et correspondre à un angle de gîte continu de 30°, qui peut se rencontrer sous forme d'un chargement continu sur une longue période, avec un facteur de charge dynamique représentant la charge fluctuante additionnelle qui s'exerce lorsque le bateau réagit à la mer.

Le cas de chargement 2 représente la condition de navigation normale avec un bateau dont la quille est basculée au vent, mais qui est augmentée d'un facteur de surcharge dynamique) de 40 % pour tenir compte d'une combinaison inhabituelle des mouvements d'un corps rigide et d'une accélération, et est en conséquence considéré comme un cas se produisant peu fréquemment. La fatigue doit être prise en considération et évaluée dans les calculs, conformément à [7.1.2](#).

NOTE 1 Le facteur de surcharge dynamique pour des conditions de navigation normales est de l'ordre de 15 % à 20 %, mais peut être plus élevé.