

BTS CONSTRUCTION NAVALE

SESSION 2007

ÉPREUVE D'ÉTUDE ET CONCEPTION

Sous-épreuve U42 : Étude d'un élément du navire

ÉTUDE D'UNE QUILLE PENDULAIRE DE 60' OPEN

Temps alloué : 4 heures

Coefficient 2,5 : 50 pts

Tous documents et calculatrices autorisés

Composition du sujet :

	<i>Pages 1/4 à 4/4</i>	Format
Texte du sujet : feuilles vertes		A4
Documents techniques et réponses : feuilles blanches.		
▪ Principe de la quille pendulaire	<i>Document 1</i>	A4
▪ Schéma du voile de quille	<i>Document 2</i>	A4
▪ Dérive du navire au près	<i>Document 3</i>	A4
▪ Cas de charge	<i>Document 4</i>	A4
▪ Caractéristiques des sections de la quille (document réponse)	<i>Document 5</i>	A4
▪ Bagues ORKOT®	<i>Document 6</i>	A4
▪ Principe du renforcement de la structure	<i>Document 7</i>	A4
▪ Plan de structure du voile de quille (document réponse)	<i>Document 8</i>	A0

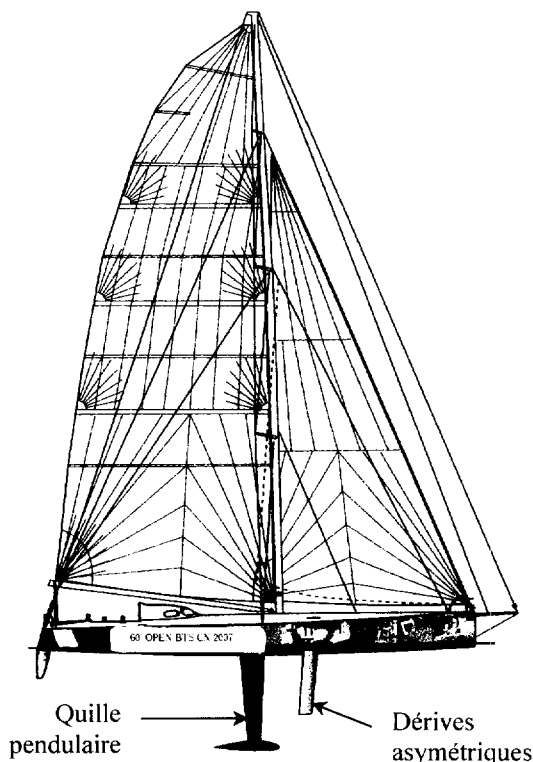
Le sujet comporte 3 **parties indépendantes** :

1. Étude géométrique 16 pts
2. Calcul de la structure de base 14 pts
3. Conception du renforcement de la structure 20 pts

Documents à rendre :

Les 2 documents réponses 5 et 8 sont à rendre même s'ils ne sont pas complétés.

Présentation (voir documents 1 et 2)



L'étude concerne une quille pendulaire montée sur un voilier monocoque de 60' (18,28 m) conçu pour le tour du monde en solitaire sans escale (Vendée Globe Challenge). Le pivotement de la quille de $\pm 35^\circ$ autour d'un axe longitudinal permet d'augmenter le bras de levier de redressement par déplacement du lest. L'inclinaison du voile de quille engendre par contre une diminution de son efficacité antidérive compensée par l'adjonction de 2 dérives asymétriques relevables.

La structure du voile de quille est réalisée par une poutre centrale en acier HR (S355) principalement constituée de 2 tôles de bordé d'épaisseur 18mm et de 2 tôles latérales de 12mm. Sur le pied de quille situé à 4m sous l'axe de rotation est fixé un lest en plomb de 3,5T. Sur la tête de quille à 1,725m au dessus de l'axe est monté une boîte à réas pour deux palans multibrins placés symétriquement permettant de manœuvrer la quille.

La partie immergée du voile de quille est prolongée sur l'avant et l'arrière de la structure acier par un habillage composite non structural permettant d'avoir la géométrie hydrodynamique souhaitée. La partie supérieure de ce voile est logée dans un puits réalisant un caisson structural étanche. Celui-ci est constitué de 2 cloisons longitudinales inclinées à $\pm 35^\circ$ par rapport au plan de symétrie de la coque et de 2 cloisons transversales verticales.

L'axe de rotation est un rond en inox 316L de diamètre 80mm soudé sur la poutre en acier. Le guidage en rotation est réalisé par 2 paliers boulonnés au travers des cloisons transversales du puits et de contreplaques extérieures. 2 bagues en ORKOT[®] (matériau synthétique stratifié) sont interposées entre les 2 paliers et l'axe en inox pour minimiser les frottements et l'usure.

La section de la quille est définie par un profil NACA 0015. L'épaisseur maxi est de 15% de la corde et est située à 30% du bord d'attaque. La corde est de 1m à l'axe de rotation de la quille et de 0,5m en pied de quille. Afin de pouvoir former le bordé en acier, on a réalisé une surface développable conique droite (axe du cône perpendiculaire aux sections). L'axe du cône est la droite du plan de symétrie passant à l'épaisseur maxi.

Un carénage composite rapporté sur la coque permet de réduire les turbulences et donc la traînée au voisinage de l'axe.

Note aux candidats : les 3 parties d'étude et les questions dans chaque partie sont indépendantes et peuvent être traitées dans n'importe quel ordre.

1. Étude géométrique (documents 2 et 3)

Note aux candidats : les 5 questions de cette partie sont indépendantes

- 1.1. Déterminer l'épaisseur maxi du profil aux sections d'abscisse $x=0$ (axe) et $x=-4000\text{mm}$ (pied).
- 1.2. Définir la position x_S du sommet du cône définissant la surface du bordé du voile de quille ainsi que la corde fictive du profil et l'épaisseur maxi en tête ($x=1725\text{ mm}$).
- 1.3. En étude d'avant projet on est amené à estimer la masse de la quille. La masse volumique de l'acier (HR S355 et inox) est de 7850 kg/m^3 . On fera les approximations suivantes:
 - Les 2 tôles de bordé sont assimilées à des tôles planes dont le contour est défini sur la vue longitudinale du document 2.
 - Les 2 tôles latérales sont assimilées à des trapèzes de longueur développée $5,80\text{m}$ de largeur 25 mm en pied de quille et 140 mm en tête.
 - L'axe inox de diamètre 80mm a une longueur de 940 mm .
 - La masse des soudures est estimée à 5% de la masse de la structure acier.

Calculer la masse totale de la structure acier du voile de quille.

- 1.4. On désire déterminer le volume immergé du voile de quille. On donne :
 - Surface de la section d'un profil NACA symétrique : $S=0,678.e.l$ (e =épaisseur maxi, l =corde)
 - Volume d'un cône : $V = S.H/3$ (S =surface de la base, H =hauteur du cône de la base au sommet).
 - 1.4.1. Pour quelle raison est on amené à calculer ce volume ?
 - 1.4.2. Déterminer ce volume en m^3 .
- 1.5. On désire déterminer la perte de force anti-dérive provoquée par l'inclinaison du voile de quille. Le navire est au près serré à une vitesse de 10 Nds et l'angle de dérive d est de 5° . La gîte du navire est de 15° . La quille pendulaire est ramenée au maximum au vent (angle de 35° par rapport au plan de symétrie du navire). On considère que le navire navigue dans une eau de mer standard ($\rho=1025\text{ kg/m}^3$). Lire attentivement toutes les informations du document 3.
 - 1.5.1. Définir les angles b_1 et b_2 (voir document 3) et en déduire les angles d'incidence a_1 et a_2 pour les 2 configurations (quille droite, quille inclinée). Définir alors les coefficients de portance $C_{p\text{infini}}$ à l'aide de la courbe du document 3 pour les 2 configurations.
 - 1.5.2. Calculer la surface projetée S et l'allongement géométrique A du profil.
 - 1.5.3. On admet que la forme planante de la carène permet d'améliorer l'écoulement sur le profil et de corriger l'allongement d'un facteur $k=1,7$. Calculer l'allongement corrigé $A_{\text{corrigé}}$ ainsi que les coefficients de portance corrigés $C_{p\text{corrigé}}$ pour les 2 configurations.
 - 1.5.4. En déduire les modules des forces de portance P et antidérive D pour les 2 configurations. Quelle est la perte de force antidérive en N due à l'inclinaison de la quille? Exprimer cette perte en valeur relative (en %).

1.5.5.

2. Calcul de la structure de base (documents 4, 5 et 6).**Note aux candidats : les 2 questions de cette partie sont indépendantes**

Dans cette partie on se propose de vérifier la résistance de la structure de base en acier (voile et axe) dans 2 cas de chargements extrêmes N°1 et N°2 (document 4).

Données et hypothèses :

- On néglige le poids propre de la structure, on ne tient compte que du poids \bar{P} du lest (3,5 T).
- On prendra $g = 10$ USI.
- Pour l'acier HR S355 $R_e = 355$ Mpa, pour l'inox de l'axe $R_{p0.2} = 200$ Mpa.
- On prendra comme critère de résistance le critère de Von-Mises et un coefficient de sécurité de 2,5 pour tenir compte des surcharges dynamiques dues aux mouvements de la mer.
- En flexion, les contraintes tangentielles dues à l'effort tranchant sont négligées devant les contraintes normales dues au moment fléchissant.
- Les caractéristiques géométriques de la section du voile de quille à l'axe sont données sur le document 5.

Cas de charge N°1 (document 4) :

- Le navire a chaviré quille droite et a une gîte de 90° , l'axe Ox est donc horizontal.
- Le voile de quille est modélisé par une poutre en appui parfait aux points O (axe) et B (palans).

Cas de charge N°2 (document 4) :

- Le navire talonne quille droite et gîte nulle à une vitesse de 5Nds, une étude de dynamique permet d'estimer la force du choc \bar{F} sur le bulbe à 2,5T.
- Le voile de quille est modélisé par une poutre en appui aux points C et D (paliers) et E (butée en bout d'axe).

2.1. Cas de charge N°1

- 2.1.1. À quelle(s) sollicitation(s) est soumise la poutre voile de quille?
- 2.1.2. Calculer les réactions aux appuis en O et B.
- 2.1.3. Tracer les diagrammes de $T_y(x)$ et $M_fz(x)$, justifier la géométrie longitudinale de la poutre.
- 2.1.4. Montrer que le moment fléchissant maximal est en O et vaut 140000 N.m.
- 2.1.5. Calculer, à l'aide du document 5, le module de résistance $W_z = I_{Gz}/V$ de la poutre en O (juste sous l'axe) et montrer que celui-ci est insuffisant pour satisfaire le cahier des charges.
- 2.1.6. Tracer en rouge sur le document 5 (section de base d'avant-projet) les points subissant les contraintes maximales.
- 2.1.7. La masse totale de la partie immergée du voile de quille (acier+composite) est estimée à 610 Kg avec un centre de gravité $x_G = -1300$ mm. Calculer la valeur du moment fléchissant maximal en O en tenant compte du poids propre de la poutre (et du lest). Quelle est alors la contrainte normale maxi ? Conclure.

2.2. Cas de charge N°2

- 2.2.1. À quelle(s) sollicitation(s) est soumise la poutre voile de quille?
- 2.2.2. Calculer les réactions aux appuis en C, D et E.
- 2.2.3. À l'aide des résultats du calcul des réactions en C et D, vérifier la résistance de l'axe inox au cisaillement pur. On rappelle que le diamètre de l'axe est de 80mm.
- 2.2.4. L'épaisseur des paliers étant de 85mm et à l'aide du document 6, montrer que la pression de contact maxi de l'axe inox sur les bagues en ORKOT[®] est satisfaisante.

3. Conception du renforcement de la structure (documents 5, 7 et 8)

Note aux candidats : les 2 questions de cette partie sont indépendantes

Afin de s'assurer que l'axe inox travaille au cisaillement pur (pas de flexion) et pour augmenter l'inertie IG_z du voile de quille, il a été décidé de rajouter sur le voile acier 4 goussets d'épaisseur 24 mm dans le plan de symétrie ainsi que 3 raidisseurs transversaux d'épaisseur 18mm, tous en acier HR S355 (voir document 7).

Toute la structure interne du voile de quille (raidisseurs latéraux, raidisseur transversaux, goussets, axe inox) est d'abord soudée sur la tôle de bordé bâbord. La soudure du bordé tribord sur les raidisseurs transversaux est alors réalisée par soudures bouchons, la longueur des cordons est de 80mm avec un pas de 180mm.

On respectera la cotation définie sur le document 7.

3.1. Calcul de la nouvelle section en O :

3.1.1. Compléter sur le document 5 la nouvelle section cotée de la poutre en O (juste sous l'axe)

3.1.2. Calculer alors son nouveau IG_z à partir de celui donné avant renforcement (section de base) et son nouveau module de résistance $W_z = IG_z / V$ (certaines cotes seront estimées directement sur le plan du document 5).

3.1.3. Le moment fléchissant M_{fz} dans cette section valant 148000N.m, calculer la contrainte normale maximale et en déduire le coefficient de sécurité. Conclure par rapport au coefficient de sécurité désiré de 2,5.

3.2. Concevoir sur le document 8 une solution constructive permettant de définir complètement les éléments de structure ajoutés (goussets et raidisseurs transversaux) et pour cela :

3.2.1. Compléter les vues suivantes :

- Les 3 vues longitudinales (droite, face et coupe AA)
- La section transversale à -200
- La section longitudinale BB

On ne représentera les formes cachées que sur la vue de face. On fera apparaître toutes les formes permettant de réaliser correctement les soudures.

3.2.2. Réaliser la cotation relative aux éléments de structure ajoutés.

3.2.3. Réaliser la représentation symbolique des soudures des éléments de structure ajoutés. Dessiner sur la vue de face les usinages cotés réalisés sur la tôle de bordé tribord pour pouvoir réaliser les soudures bouchons. Justifier la différence des cordons de soudure définis sur la section 1700 (répondre sur copie).

3.2.4. Compléter la numérotation des pièces et la nomenclature du document 8.