

C38182

Ecole Normale Supérieure de Cachan

61 avenue du président Wilson
94230 CACHAN

Concours d'admission en 3^{ème} année
GÉNIE MÉCANIQUE
Session 2008

Épreuve de SCIENCES DE LA PRODUCTION

Durée : 4 heures

« aucun document n'est autorisé »

« L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé selon la circulaire n° 99018 du 1^{er} février 1999. De plus, une seule calculatrice est admise sur la table, et aucun échange n'est autorisé entre les candidats »

Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre

Le sujet comporte 8 pages, 1 document et 5 documents-réponses dont 1 au format A3.

Nota : l'épreuve comporte 3 parties indépendantes.

Ces parties peuvent être traitées dans un ordre quelconque. Il est vivement conseillé au candidat de répartir son travail de la façon suivante :

Lecture du sujet	¼ d'heure
Partie 1 : Modélisation de la propulsion hors-bord par hélice tripale	1 heure et ¼
Partie 2 : Conception d'une hélice à pas réglable	1 heure et ¼
Partie 3 : Obtention et contrôle de l'hélice	1 heure et ¼

Les parties traitées seront rédigées sur des copies séparées. Il faudra préciser sur chaque copie :

- le titre,
- le repère de l'épreuve,
- la partie de l'épreuve traitée,
- le nombre de feuilles constituant la copie.

Vous veillerez à rendre les documents-réponses avec les copies correspondantes.

Propulsion d'un bateau semi-rigide par hors bord

Présentation

Un semi-rigide est une embarcation constituée d'une coque rigide (généralement en matériau composite) entourée de flotteur en hypalon – néoprène. La propulsion est réalisée grâce à un moteur hors-bord (Figure 1).

Sur ces embarcations, au rapport (poids / puissance) favorable, les problèmes de navigation sont principalement axés sur deux points :

- ✓ Il est difficile de naviguer en ligne droite du fait des effets de couple dus à l'hélice. Ce point fera l'objet de l'étude présentée en partie 1.
- ✓ La charge embarquée influence beaucoup les performances du bateau. Ce point fera l'objet de l'étude présentée en partie 2 et 3.



Figure 1 : Bateau semi-rigide en action.

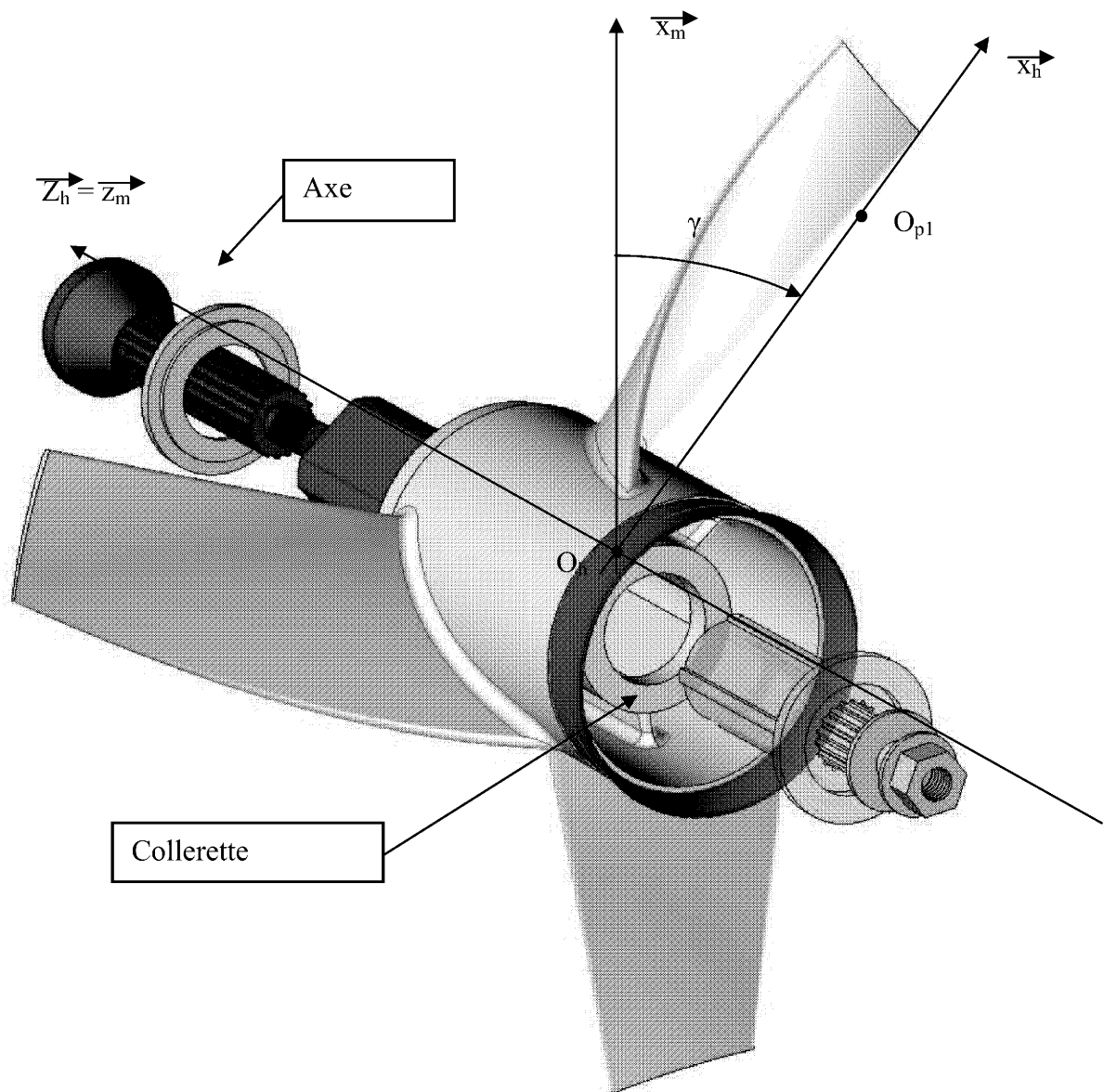


Figure 2 : Montage d'une hélice tripale.

Partie 1 : Modélisation de la propulsion hors-bord par hélice tripale.

L'ensemble du système de propulsion est constitué :

- ✓ d'une hélice tripale,
- ✓ d'un moteur hors-bord,
- ✓ d'un ensemble de raccordement réglable du moteur au bateau appelé « trim » qui permet de régler l'inclinaison relative du moteur.

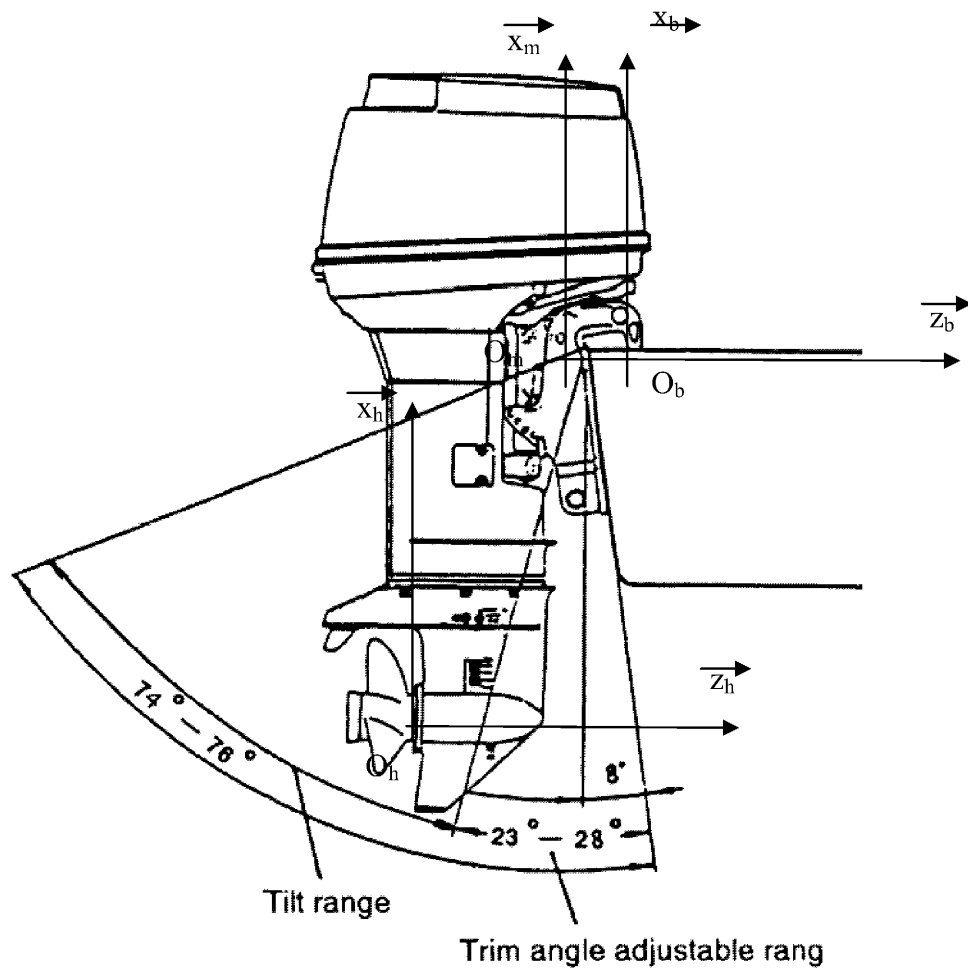


Figure 3 : Hélice, moteur hors-bord et angles d'utilisation du « trim ».

Le réglage du « trim » en navigation permet d'obtenir une assiette optimale du bateau. Ce réglage s'effectue grâce à un bouton situé sur la manette des gaz (Figure 4).



Figure 4 : Influence du « trim » sur l'assiette du bateau.

Paramétrage de l'ensemble (voir aussi Figures 2 & 3) :

- ✓ Au bateau, on associe un repère noté $R_b (O_b, \vec{x}_b, \vec{y}_b, \vec{z}_b)$, $O_b, \vec{z}_b$ étant l'axe longitudinal du bateau positif dans le sens du déplacement.
- ✓ Au « trim », on associe un repère noté $R_t (O_b, \vec{x}_t, \vec{y}_t, \vec{z}_t)$, obtenu par rotation d'angle α autour de $\vec{y}_b$
- ✓ Au moteur, on associe un repère noté $R_m (O_m, \vec{x}_m, \vec{y}_m, \vec{z}_m)$, obtenu par rotation d'angle β autour de $\vec{x}_t$ avec $\vec{O_b O_m} = -a \cdot \vec{z}_t$.
- ✓ A l'hélice, on associe un repère noté $R_h (O_h, \vec{x}_h, \vec{y}_h, \vec{z}_h)$, obtenu par rotation d'angle $\gamma = \omega t$ autour de $\vec{z}_m$, avec $\vec{O_m O_h} = -p \vec{x}_m - d \vec{z}_m$.
- ✓ A chacune des pales p_i , on associe un repère noté $R_{pi} (O_{pi}, \vec{x}_{pi}, \vec{y}_{pi}, \vec{z}_{pi})$, obtenu par rotation d'angle δ autour de $\vec{x}_h$ avec : Pour la pale p_1 , $\vec{O_h O_{p1}} = R \vec{x}_h$. ($R = 105 \text{ mm}$)

Les pales p_2 et p_3 sont réparties à 120° et 240° .

Nb : les paramètres angulaires α, β, γ sont imposés par des dispositifs qui ne sont pas l'objet de l'étude.

Question 1. Établir la relation entre le pas de l'hélice et l'angle de calage δ . Préciser le signe de δ , sachant que γ est positif quand le bateau avance. Effectuer l'application pour un pas d'hélice de 15 pouces (1 pouce=25.4mm).

Pour modéliser les efforts du fluide sur la pale p_1 , nous ferons l'hypothèse que le torseur des efforts du fluide (F_l) sur la pale p_1 est un glisseur dont les éléments de réduction en O_{p1} sont :

$$\vec{R}_{(F_l \rightarrow p_1)} = \vec{F} \quad \vec{M}_{(O_{p1}, F_l \rightarrow p_1)} = \vec{0}$$

Il existe une composante ascendante des mouvements du fluide à l'arrière du bateau provoquée par la forme de la carène. Sur un tour d'hélice, cette composante crée un effort qui s'oppose au mouvement de la pale p1 pour $0 < \gamma < \pi$ et accompagne le mouvement pour $\pi < \gamma < 2\pi$. $\vec{F}$ n'est donc pas constant et est donnée par l'expression :

$$\vec{F} = -F(1 + k \sin \gamma) \cdot \vec{y}_{p1} \quad (k \text{ et } F \text{ constantes})$$

L'objectif est maintenant de calculer le torseur des efforts transmis au bateau par le mécanisme décrit ci-dessus. **Cette première approche est uniquement statique.**

- Question 2.** Etablir les éléments de réduction en O_h du torseur des actions du fluide sur la pale p1 exprimées dans R_h puis dans R_m .
- Question 3.** En déduire le torseur moyen des actions du fluide sur p1 pour 1 tour d'hélice par intégration pour $0 < \gamma < 2\pi$.
- Question 4.** En déduire le torseur moyen des actions du fluide pour l'hélice tripale.
- Question 5.** Commenter les résultats obtenus.
- Question 6.** Transporter le torseur obtenu en O_b en l'exprimant dans le repère du bateau R_b . Cette expression fera apparaître la contribution des actions de l'hélice sur le bateau.

Le pilote souhaite se déplacer en ligne droite (suivant $\vec{z}_b$), pour cela il règle le trim α à 0 et la barre (β) à 0.

- Question 7.** L'action du système de propulsion est-elle conforme à l'objectif du pilote ? Expliquer.
- Question 8.** Plusieurs solutions peuvent être utilisées pour contrer ce phénomène. Classer vos propositions suivant 3 catégories (pilotage, montage du moteur sur le bateau, solutions constructives).

Nous allons maintenant évaluer les contraintes subies par les pales et le corps d'hélice.

Dans un souci de simplification, une pale est modélisée comme un parallélépipède rectangle de hauteur $h = 120$ mm, de largeur $b = 120$ mm, d'épaisseur $e = 2$ mm, monté sur le moyeu cylindrique de rayon $R_m = 50$ mm, et inclinée de l'angle de calage γ .

Le moteur équipant le bateau développe la puissance de 90 CV (66kW) pour une vitesse de rotation d'hélice de 2850 tr/min. Le bateau navigue à 35 nœuds (65 km/h).

- Question 9.** Evaluer la composante F , on prendra $k = 0$.

L'action du fluide sur la pale est en fait une répartition de pression linéaire par partie, dont le maximum se situe à une hauteur de $0.7 h$, et qui est nulle à l'extrémité de la pale, et nulle à la jonction avec le moyeu.

- Question 10.** Dans ces conditions, évaluer les contraintes de flexion subies au pied de la pale, et en déduire des dispositions constructives (matériaux, formes, moyens d'obtention).
On rappelle que le matériau de l'hélice type AS7G06 (série 42200) a une limite élastique de l'ordre de 250 Mpa.

Partie 2 : Conception d'une hélice à pas réglable

L'efficacité de la propulsion de ces bateaux semi-rigides est fortement dépendante de la masse de l'embarcation et de la charge embarquée. Cette charge peut varier fortement en fonction des utilisations du bateau (entre 20 et 250 % de la masse du bateau).

Pour accorder au mieux les performances du bateau à la motorisation retenue, il faut choisir deux principaux paramètres de l'hélice : son diamètre et son pas. L'étude ci-dessous s'intéresse au réglage du pas de l'hélice.

Ces deux constatations font que certains constructeurs proposent des hélices à pas réglable pour les moteurs hors bord (Figure 5). Ainsi, le pilote règle le pas de l'hélice en fonction de l'utilisation de son bateau : pêche, ski nautique, plongée...



Figure 5 : Réglage du pas d'une hélice.

Question 11. Énoncer et catégoriser les principaux points du cahier des charges d'une hélice à pas réglable.

Le cahier des charges peut imposer un réglage indépendant ou synchronisé des pales.

Question 12. En s'inspirant de la forme d'une hélice classique (Figure 2 & Document 1), proposer sous forme de dessins à main levée, deux solutions constructives permettant un réglage **indépendant** des trois pales.

Question 13. Proposer sous forme de dessins à main levée, deux solutions constructives permettant un réglage **synchronisé** des trois pales.

Question 14. Sur le document réponse I format A3 dessiner aux instruments, une solution de réglage indépendant. Une attention particulière sera portée :

- aux différents choix technologiques de la solution,
- au respect des contraintes de fabrication,
- à la qualité graphique et aux règles de dessin.

Toutes les vues utiles à la compréhension de la solution technique sont à réaliser sur le document réponse I.

Partie 3 : Obtention et contrôle de l'hélice.

Pour la suite, nous nous intéressons à la réalisation d'une hélice classique non réglable. Tout d'abord, une étude d'obtention de brut est proposée. Ensuite, nous nous intéresserons à l'assemblage de la collerette sur l'hélice. Enfin, un contrôle tridimensionnel sera effectué.

Obtention de brut

Les hélices, en fonction des caractéristiques de l'embarcation et des performances attendues, peuvent être réalisées en différents matériaux.

Pour les semi-rigides, les deux matériaux couramment utilisés sont les alliages d'aluminium et les inox.

Question 15. Pour les **alliages d'aluminium**, proposer une gamme d'obtention du brut. Vous détaillerez les différentes étapes en vous aidant de schémas et en précisant les éventuelles surfaces usinées.

Question 16. Pour les **inox**, proposer une gamme d'obtention du brut. Vous détaillerez les différentes étapes en vous aidant de schémas et en précisant les éventuelles surfaces usinées.

Assemblage de la collerette

La collerette est réalisée par déformation plastique. Elle est ensuite assemblée à l'hélice. On considère une hélice en inox.

Question 17. Proposer une gamme de fabrication pour obtenir la collerette.

Question 18. Proposer deux solutions d'assemblage de la collerette à l'hélice. Pour chacune des solutions, vous donnerez les caractéristiques dimensionnelles principales à respecter pour la collerette et l'hélice.

Contrôle tridimensionnel

Un dessin de définition partiel de l'hélice est donné sur le document 1.

Question 19. À l'aide des documents-réponses II, III, IV & V, vous expliquerez les spécifications portées sur le dessin.

Afin de contrôler ces spécifications, une Machine à Mesurer Tridimensionnelle est mise à disposition. Un logiciel de métrologie doté des fonctions classiques y est associé.

Question 20. Proposer une gamme de contrôle pour les spécifications portées sur le dessin de définition.

⊙ 0.1 A

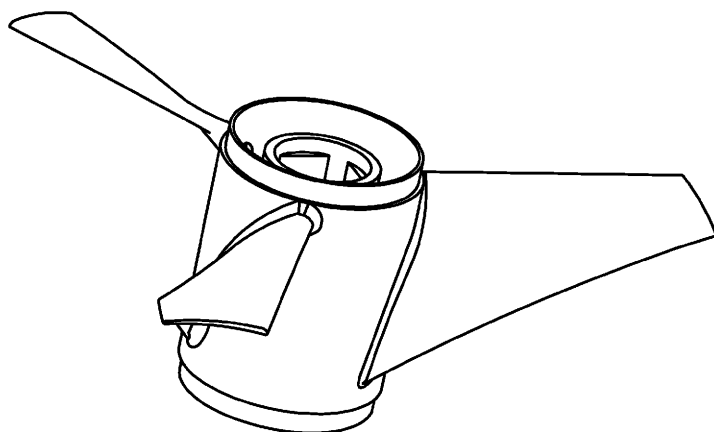
A-A

⊥ Ø 0.1 A

— Ø 0.1

A

Ø 42_{+0.15}⁰



ÉCHELLE	dessin de définition partiel de l'hélice		AUTEUR	
0.5			king of the seas	
			DATE	
A4			08/01/2008	
		TopSolid		
				00