Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
formav.co/explorer

Physique - BTS CN

Session 2006 • Code sujet : **CNPHY** • Durée : **Non indiquée**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Échangeur thermique eau de mer / eau douce (6 questions) **Page 3**

2. Moteur asynchrone monophasé (8 questions) **Page 6**

3. Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ) (Synthèse & Q&A Examen) **Page 9**

Sujet officiel (PDF) : https://btscicn.fr/assets/annales/bts-cicn/E3 - Mathématiques - Sciences physiques/2006/BTS CICN - E3 - Mathématiques - Sciences physiques - Session 2006 - 1-Sujet.pdf

1. Échangeur thermique eau de mer / eau douce

L'étude porte sur le dimensionnement d'un échangeur à contre-courant qui refroidit l'eau douce d'un moteur de yacht de 30 kW grâce à l'eau de mer. Les questions traitent du bilan thermique, des transferts par convection et conduction dans les tubes en cupro-nickel, puis du calcul de la surface et du nombre de tubes.

Bilan thermique

Question 1.1. Le débit volumique d'eau douce est QD = 2,6 m³/h. En déduire la puissance thermique P de l'échangeur, correspondant à la puissance thermique libérée par l'eau douce.

En régime permanent, la puissance libérée par l'eau douce vaut $P = \rho Q_D C(\theta_{D2} - \theta_{D1})$. Il faut convertir le débit horaire en débit par seconde : $Q_D = 2{,}6/3600\ \mathrm{m^3 \cdot s^{-1}}$. Avec $\rho = 1000\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$, $C = 4180\ \mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$ et $\theta_{D2} - \theta_{D1} = 80 - 65 = 15\ \mathrm{K}$, on obtient la puissance thermique transférée.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $P \approx 45{,}3\ \mathrm{kW}$.

Question 1.2. La température de l'eau de mer à la sortie de l'échangeur ne doit pas dépasser 40 °C afin de limiter l'entartrage des tubes. En déduire le débit volumique minimum d'eau de mer nécessaire.

Fluide	Températures	Écart
Eau douce	$80\ ^\circ\mathrm{C}$ et $65\ ^\circ\mathrm{C}$	$15\ \mathrm{K}$
Eau de mer	$40\ ^\circ\mathrm{C}$ et $30\ ^\circ\mathrm{C}$	$10\ \mathrm{K}$

L'échangeur étant calorifugé, la chaleur cédée par l'eau douce est égale à celle reçue par l'eau de mer. Les deux fluides ayant les mêmes masse volumique et capacité thermique, ces grandeurs se simplifient dans le bilan. Le débit minimal correspond à la sortie de mer à sa température limite de $40\ ^\circ\mathrm{C}$: $Q_M = Q_D(15/10)$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $Q_{M,\mathrm{min}} = 3{,}9\ \mathrm{m^3 \cdot h^{-1}}$.

Modèle simplifié

Question 1.3. En régime permanent, exprimer de trois manières la puissance thermique élémentaire dP transmise à travers une surface d'échange dS : par convection entre l'eau douce et le métal, par conduction dans le métal et par convection entre le métal et l'eau de mer.

En régime permanent, le même flux thermique traverse successivement la convection côté eau douce, la paroi métallique et la convection côté eau de mer. En prenant le sens du transfert de l'eau chaude vers l'eau froide, les écarts de température sont positifs. Les températures des deux faces du métal sont respectivement θ_{SD} et θ_{SM}, tandis que θ_D et θ_M désignent celles des fluides.

$$dP = h_D(\theta_D - \theta_{SD})\,dS = \frac{\lambda}{e}(\theta_{SD} - \theta_{SM})\,dS = h_M(\theta_{SM} - \theta_M)\,dS.$$

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $dP = h_D(\theta_D - \theta_{SD})dS = \dfrac{\lambda}{e}(\theta_{SD} - \theta_{SM})dS = h_M(\theta_{SM} - \theta_M)dS.$

Question 1.4. À partir des expressions des transferts thermiques, montrer que le coefficient global d'échange KDM vérifie 1/KDM = 1/hD + e/λ + 1/hM.

1. Les expressions de la question précédente donnent les écarts aux interfaces : $\theta_D - \theta_{SD} = dP/(h_D dS)$, $\theta_{SD} - \theta_{SM} = e dP/(\lambda dS)$ et $\theta_{SM} - \theta_M = dP/(h_M dS)$.
2. En les additionnant, les températures des faces du métal s'éliminent : $\theta_D - \theta_M = (dP/dS)(1/h_D + e/\lambda + 1/h_M)$. Or, par définition, $dP/dS = K_{DM}(\theta_D - \theta_M)$. En identifiant les deux expressions, on obtient la relation demandée entre le coefficient global et les résistances thermiques en série.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\dfrac{1}{K_{DM}} = \dfrac{1}{h_D} + \dfrac{e}{\lambda} + \dfrac{1}{h_M}.$

Caractéristiques géométriques

Question 1.5. À partir des données fournies, calculer le coefficient global d'échange KDM puis la surface totale S nécessaire à l'échangeur en utilisant la moyenne logarithmique des écarts de température.

Les résistances thermiques en série donnent $K_{DM} = 1/(1/h_D + e/\lambda + 1/h_M)$. En contre-courant, les écarts aux extrémités sont $\Delta\theta_1 = \theta_{D2} - \theta_{M2} = 80 - 40 = 40\ \mathrm{K}$ et $\Delta\theta_2 = \theta_{D1} - \theta_{M1} = 65 - 30 = 35\ \mathrm{K}$. La moyenne logarithmique vaut $\Delta\theta_L = (40 - 35)/\ln(40/35)$. Avec la puissance de dimensionnement de $50\ \mathrm{kW}$, la surface nécessaire est $S = P/(K_{DM}\Delta\theta_L)$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $K_{DM} \approx 2459\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$; $S \approx 0{,}543\ \mathrm{m^2} = 54{,}3\ \mathrm{dm^2}$.

Question 1.6. La longueur et le rayon moyen d'un tube sont respectivement L = 400 mm et R = 6 mm. Estimer le nombre de tubes nécessaires à l'échangeur.

Grandeur	Valeur
Rayon moyen R	$6\ \mathrm{mm} = 0{,}006\ \mathrm{m}$
Longueur L	$400\ \mathrm{mm} = 0{,}400\ \mathrm{m}$
Surface latérale d'un tube	$2\pi RL \approx 0{,}01508\ \mathrm{m^2}$

Le nombre estimé de tubes est le rapport de la surface totale calculée à la surface latérale d'un tube : $n = S/(2\pi RL)$. On retient le nombre entier correspondant à l'estimation.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$n \approx 36$ tubes.

2. Moteur asynchrone monophasé

Les moteurs des pompes de l'échangeur sont alimentés par le réseau monophasé du yacht, de 230 V et 50 Hz, et démarrent par condensateur. L'étude porte sur le couple de démarrage, les courants, la caractéristique couple-vitesse, le fonctionnement en charge, les puissances, le rendement et la protection électrique.

Question 2.1. L'interrupteur Kp étant fermé, relier les bornes 1 et 2 par un fil conducteur. Déterminer le couple de démarrage Td et préciser si le moteur peut démarrer seul.

Le fil entre les bornes 1 et 2 supprime le déphasage entre les courants des enroulements, donc $\alpha = 0$. La relation $T_d = M I_a I_p \sin\alpha$ donne alors un couple de démarrage nul. Le moteur ne peut donc pas démarrer seul.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $T_d = 0\ \mathrm{N\cdotp m}$; le moteur ne démarre pas seul.

Question 2.2. À partir des mesures de l'essai à rotor bloqué avec le condensateur, déduire les valeurs numériques du déphasage α et du couple de démarrage Td.

Pour chaque enroulement, $\cos\varphi = P/(UI)$. Les mesures donnent $\varphi_p \approx 22,8^\circ$ et $\varphi_a \approx 10,1^\circ$, donc $\alpha = \varphi_p - \varphi_a \approx 12,7^\circ$. On applique ensuite $T_d = M I_a I_p \sin\alpha$, avec $M = 0,36\ \mathrm{N\cdotp m/A^2}$, $I_a = 15,6\ \mathrm{A}$ et $I_p = 8,9\ \mathrm{A}$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\alpha \approx 12,7^\circ$; $T_d \approx 11,0\ \mathrm{N\cdotp m}$.

Question 2.3. Déterminer la valeur efficace de l'intensité i(t) du courant appelé par le moteur à partir des courants des deux enroulements et de leurs déphasages.

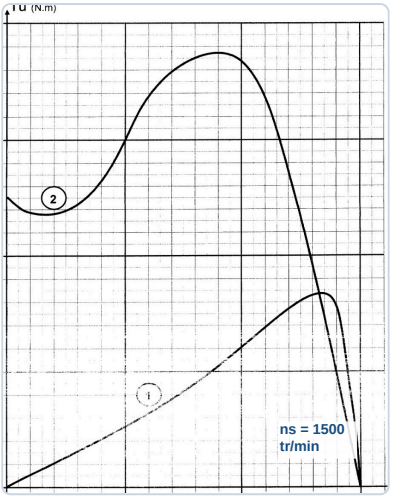
Le courant appelé est la somme vectorielle des courants des deux enroulements. Avec leur déphasage relatif α, sa valeur efficace est $I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2 + 2 I_a I_p \cos\alpha}$. En utilisant les mesures de l'énoncé et le déphasage calculé à la question précédente, on obtient le courant total.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $I \approx 24,4\ \mathrm{A}$.

Question 2.4. Déterminer la vitesse de synchronisme ns et le nombre p de paires de pôles du moteur.

Sur la caractéristique couple-vitesse, le couple devient nul à la vitesse de synchronisme : $n_s = 1500\ \mathrm{tr/min}$. Pour un moteur asynchrone, $n_s = 60 f/p$, où $f = 50\ \mathrm{Hz}$. On en déduit $p = 60 f/n_s$.

Vitesse de synchronisme lue sur le graphe



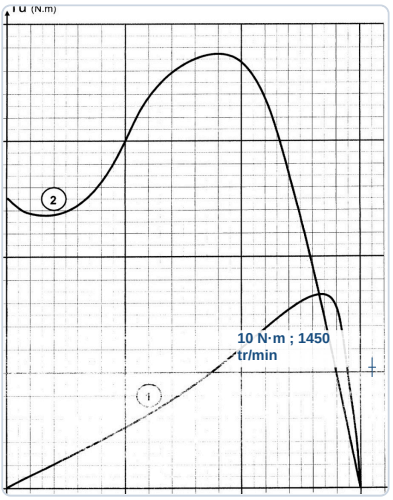
✓ RÉPONSE À RETENIR

$n_s = 1500$ tr/min ; $p = 2$ paires de pôles.

Question 2.5. Le moteur entraîne une charge opposant un couple résistant de 10 N·m. Déterminer sa vitesse n et son glissement g en régime permanent, puis préciser si l'enroulement auxiliaire est alimenté, sachant que le coupleur centrifuge le met hors circuit au-delà de 80 % de la vitesse de synchronisme.

À l'intersection de la caractéristique avec le couple résistant de $10\ \mathrm{N\cdotp m}$, on lit $n \approx 1450$ tr/min. Le glissement est $g = (n_s - n)/n_s$. Le coupleur coupe l'enroulement auxiliaire au-delà de $0,80 n_s$. La vitesse de régime étant supérieure à ce seuil, l'enroulement auxiliaire est hors circuit.

Point de fonctionnement sur la caractéristique



✓ RÉPONSE À RETENIR

$n \approx 1450$ tr/min ; $g \approx 3,3\%$; enroulement auxiliaire non alimenté.

Question 2.6. Déterminer la puissance utile Pu du moteur.

La puissance mécanique utile est $P_u = T_u \omega$, avec $\omega = 2\pi n/60$. Pour le couple résistant équilibré par le moteur, $T_u = 10\ \mathrm{N\cdot m}$, et la vitesse lue $n = 1450\ \mathrm{tr/min}$, on calcule $P_u = 10 \times 2\pi \times 1450/60$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $P_u \approx 1,52\ \mathrm{kW}$.

Question 2.7. À partir des valeurs mesurées U = 230 V, I = 12,1 A et φ = 39°, déduire la puissance active P absorbée par le moteur puis son rendement η.

En monophasé, la puissance active absorbée est $P = UI\cos\varphi$. Le rendement est le rapport de la puissance utile à la puissance absorbée : $\eta = P_u/P$. On utilise $U = 230\ \mathrm{V}$, $I = 12,1\ \mathrm{A}$, $\varphi = 39^\circ$ et $P_u \approx 1518\ \mathrm{W}$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $P \approx 2,16\ \mathrm{kW}$; $\eta \approx 70\%$.

Question 2.8. Quel dispositif de protection électrique permet à un usager de poser sa main sur le moteur sans risquer un choc électrique ?

La carcasse métallique du moteur doit être reliée à la terre. Cette protection est associée à un dispositif différentiel résiduel (DDR), qui coupe l'alimentation en cas de défaut d'isolement.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Mise à la terre de la carcasse et protection par DDR.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2006)

Bilan de l'épreuve : Cette épreuve de physique du BTS CN, repérée CNPHY, étudie un échangeur thermique eau de mer / eau douce destiné au refroidissement d'un moteur de yacht, puis le moteur asynchrone monophasé d'une pompe. Elle évalue les bilans thermiques, les transferts par convection et conduction, l'exploitation d'une caractéristique couple-vitesse, ainsi que les calculs de puissance et de rendement. La session, la durée et le coefficient ne sont pas indiqués.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Dans un échangeur calorifugé, la puissance cédée par le fluide chaud est égale à celle reçue par le fluide froid.
- Résistance thermique globale : 1/KDM = 1/hD + e/λ + 1/hM.
- La surface d'échange se calcule avec la moyenne logarithmique : S = P/(KDM · ΔθL).
- Pour un moteur asynchrone, g = (ns - n)/ns et Pu = Tu · 2πn/60.

Points de vigilance & attentes du jury

- Convertir les débits volumiques en unités cohérentes avant le bilan thermique.
- Identifier correctement les écarts de température aux deux extrémités avant de calculer leur moyenne logarithmique.
- Lire la courbe couple-vitesse pertinente et distinguer vitesse réelle et vitesse de synchronisme.
- Pour le courant total, combiner les composantes en phase et en quadrature avant d'en déterminer la valeur efficace.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment établir le bilan thermique de l'échangeur ?

Dans un échangeur calorifugé sans pertes, la puissance cédée par l'eau douce est égale à celle reçue par l'eau de mer. Utilisez P = ρQ C Δθ et convertissez d'abord le débit volumique en m³/s.

Q : Comment calculer la surface d'échange à partir des températures ?

Calculez les écarts de température aux deux extrémités, puis leur moyenne logarithmique ΔθL. La surface requise est S = P/(KDM ΔθL), avec KDM obtenu à partir des résistances de convection et de conduction.

Q : Comment gérer le temps pour cette épreuve ?

La durée officielle n'est pas indiquée dans le document. Traitez les questions dans l'ordre, conservez les résultats intermédiaires avec leurs unités et réservez du temps pour lire la caractéristique couple-vitesse de l'annexe.

Q : Quels éléments du barème faut-il particulièrement soigner ?

Le barème attribue des points aux démarches et aux résultats des questions, notamment aux bilans, aux relations de transfert et aux calculs de puissance. Présentez les formules adaptées, les étapes utiles et les unités.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btscicn.fr/assets/annales/bts-cicn/E3 - Mathématiques - Sciences physiques/2006/BTS CICN - E3 - Mathématiques - Sciences physiques - Session 2006 - 1-Sujet.pdf

Ressources BTS Conception et Industrialisation en Construction Navale : Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.