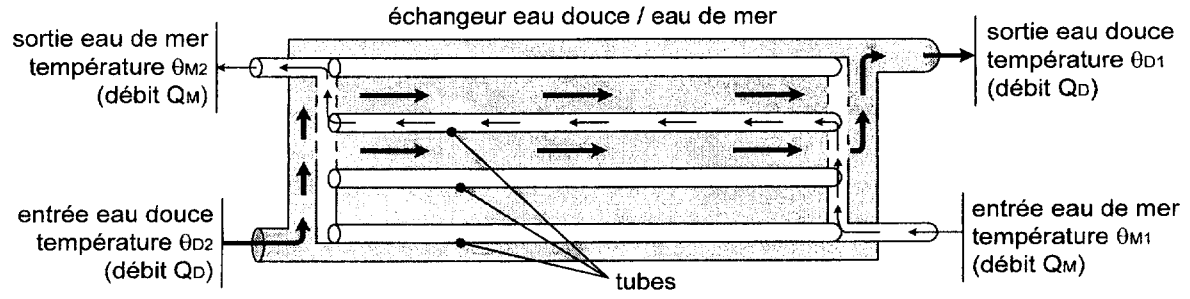
Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

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

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

Partie 1 : Echangeur thermique

Dans cette première partie du sujet, on se propose de dimensionner l'échangeur thermique eau de mer / eau douce prévu pour le refroidissement d'un moteur de yacht de 30 kW. Le refroidissement de l'eau douce (fluide chaud) est assuré par un faisceau de tubes en cupro-nickel parcourus par de l'eau de mer (fluide froid). Deux pompes assurent une circulation des fluides à contre-courant.



Le constructeur du moteur recommande des températures d'eau douce de θ_{D1} = 65°C à l'entrée du moteur et θ_{D2} = 80°C à la sortie. La température prévue d'eau de mer à l'entrée de l'échangeur est de θ_{M1} = 30°C. On note θ_{M2} la température de l'eau de mer à la sortie de l'échangeur. Les débits Q_M et Q_D sont des débits volumétriques.

Compte tenu des faibles écarts de températures mis en jeu dans ce problème, les capacités thermiques massiques et les masses volumiques des fluides seront considérées comme constantes. On donne :

C = 4180 $J.kg^{-1}.K^{-1}$, la capacité thermique massique de l'eau douce et de l'eau de mer ;

ρ = 1000 $kg.m^{-3}$, la masse volumique de l'eau douce et de l'eau de mer.

L'échangeur est supposé parfaitement calorifugé et on néglige toutes les pertes thermiques.

BILAN THERMIQUE

1.1 Le débit volumique de l'eau douce prévu est Q_D = 2,6 m^3/heure. En déduire la puissance thermique P de l'échangeur (P est la puissance thermique libérée par l'eau douce)

1.2 L'eau de mer à la sortie de l'échangeur ne doit pas dépasser θ_{M2} = 40°C pour limiter l'entartrage des tubes. En déduire le débit volumique minimum Q_M de l'eau de mer.

MODELE SIMPLIFIÉ

Compte tenu de l'encrassement, on surdimensionne l'échangeur de façon à ce que P=50kW (valeur que l'on conservera dans la suite du problème).

Les tubes en cupro-nickel sont tous identiques et on désigne par :

e : l'épaisseur du métal ;

dS : un élément de la surface d'échange d'un tube calculée sur son rayon moyen ;

λ : la conductivité thermique du métal ;

h_D : le coefficient de convection thermique entre l'eau douce et le métal ;

h_M : le coefficient de convection thermique entre l'eau de mer et le métal ;

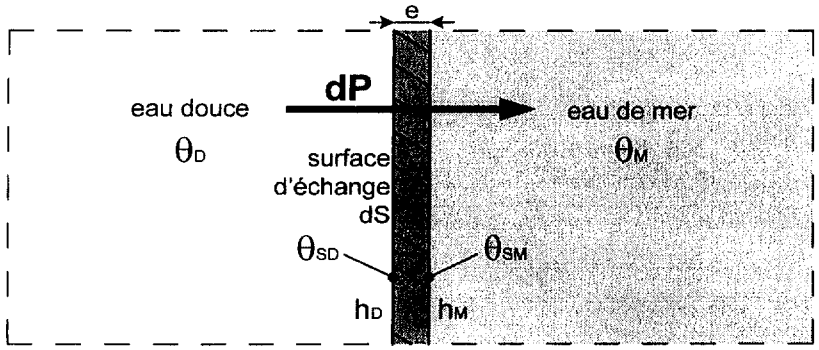
θ_D : la température de l'eau douce ;

θ_{SD} : la température de la surface d'échange métal / eau douce ;

θ_M : la température de l'eau de mer ;

θ_{SM} : la température de la surface d'échange métal / eau de mer.

Le rayonnement mutuel est négligé au vu des faibles écarts de température.
On assimilera la surface d'échange dS à une paroi équivalente plane :



1.3 En régime permanent, exprimer de 3 manières la puissance thermique dP transmise à travers une surface dS.

1.4 On définit le coefficient global d'échange K_{DM} entre l'eau de mer et l'eau douce par la relation : $dP = K_{DM}(\theta_D - \theta_M)\,dS$

où : dP est la puissance thermique à travers dS

θ_D la température de l'eau douce

θ_M la température de l'eau de mer.

Montrer que le coefficient K_{DM} peut s'exprimer sous la forme : $\frac{1}{K_{DM}} = \frac{1}{h_D} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_M}$.

On considérera par la suite le coefficient K_{DM} constant le long des tubes de l'échangeur.

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'ÉCHANGEUR

En tenant compte de la géométrie cylindrique des tuyaux de l'échangeur la puissance thermique P de l'échangeur est donnée par la relation :

$P = K_{DM} \cdot S \cdot \Delta\theta_L$, avec S la surface totale d'échange de l'échangeur et $\Delta\theta_L = \frac{(\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1)}{\ln\left(\frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1}\right)}$

$\Delta\theta_L$ est la moyenne logarithmique des écarts de température des deux fluides aux extrémités du tube : $\Delta\theta_2 = \theta_{D2} - \theta_{M2}$ et $\Delta\theta_1 = \theta_{D1} - \theta_{M1}$.

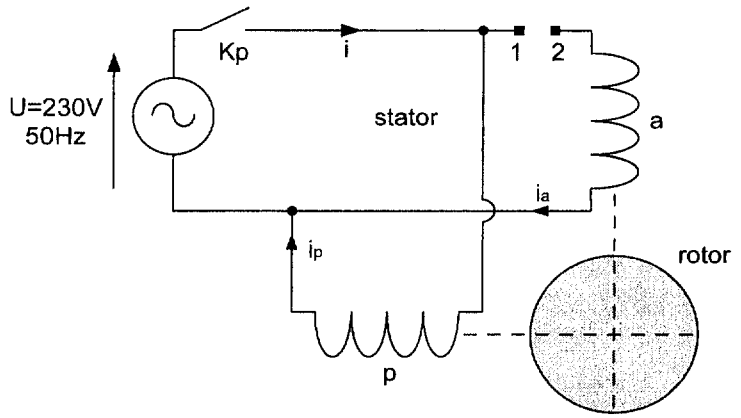
On donne : P = 50 kW, θ_{D1} = 65°C ,θ_{M1} = 30°C , θ_{D2} = 80°C, θ_{M2} = 40°C ,
λ = 300 W.m^{-1}.K^{-1}, $h_D = h_M$ = 5000 W.m^{-2}.K^{-1}, e = 2 mm.

1.5 Calculer la valeur du coefficient K_{DM} puis celle de la surface totale d'échange S nécessaire à l'échangeur.

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

Partie 2 : Moteur asynchrone monophasé

Dans cette seconde partie du sujet, on se propose d'étudier les moteurs des pompes de l'échangeur. Le yacht ne disposant pas de réseau électrique triphasé, mais seulement d'un réseau monophasé 230V – 50Hz, le choix de ces moteurs s'est porté sur des moteurs asynchrones monophasés à démarrage par condensateur.



Les enroulements p (principal) et a (auxiliaire) du stator sont **identiques**.

Le moment du couple de démarrage obéit à la relation : $Td = M.Ia.Ip.\sin\alpha$, avec

Ia : la valeur efficace du courant ia(t) circulant dans l'enroulement auxiliaire (a) ;

Ip : la valeur efficace du courant ip(t) circulant dans l'enroulement primaire (p) ;

α : l'angle de déphasage du courant ip sur le courant ia ;

M = 0,36 N.m/A^2 (constante dépendant de la construction du moteur).

2.1 L'interrupteur Kp étant fermé, on relie les bornes 1 et 2 par un fil conducteur. Quelle est la valeur du couple de démarrage Td ? Le moteur peut-il démarrer seul ?

On connecte entre les bornes 1 et 2 un condensateur et on mesure lors d'un essai à rotor bloqué sous la tension nominale U = 230V :

Ia = 15,6 A Pa = 3533 W (puissance active absorbée par l'enroulement a)

Ip = 8,9 A Pp = 1588 W (puissance active absorbée par l'enroulement p)

2.2 Déduire de ces mesures les valeurs numériques de α et Td.

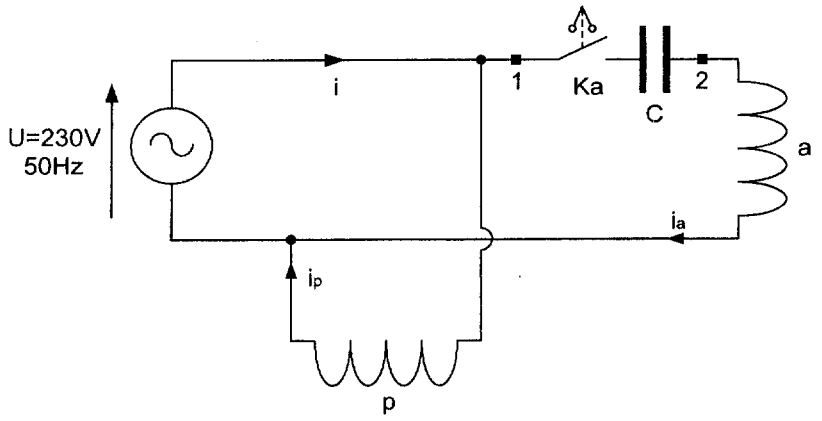
2.3 Déterminer la valeur efficace de l'intensité i(t) du courant appelé par le moteur.

On donne (voir annexe page n°6) les caractéristiques couple utile / vitesse du moteur :

- Caractéristique n°1 : moteur sans condensateur
- Caractéristique n°2 : moteur avec condensateur permanent.

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

L'enroulement auxiliaire est maintenant alimenté par l'intermédiaire d'un coupleur centrifuge (interrupteur Ka). Ce coupleur met hors circuit l'enroulement auxiliaire lorsque la vitesse du moteur dépasse 80% de sa vitesse de synchronisme.



Le moteur entraîne une charge opposant un couple résistant de 10 Nm.

2.5 Déterminer la vitesse n et le glissement g du moteur en régime permanent. L'enroulement auxiliaire est-il alimenté lors de ce régime permanent ?

2.6 Déterminer la puissance utile Pu du moteur.

On note :

- $u(t) = U \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t)$, la tension instantanée du réseau monophasé
- $i(t) = I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi)$, l'intensité instantanée du courant appelé par le moteur

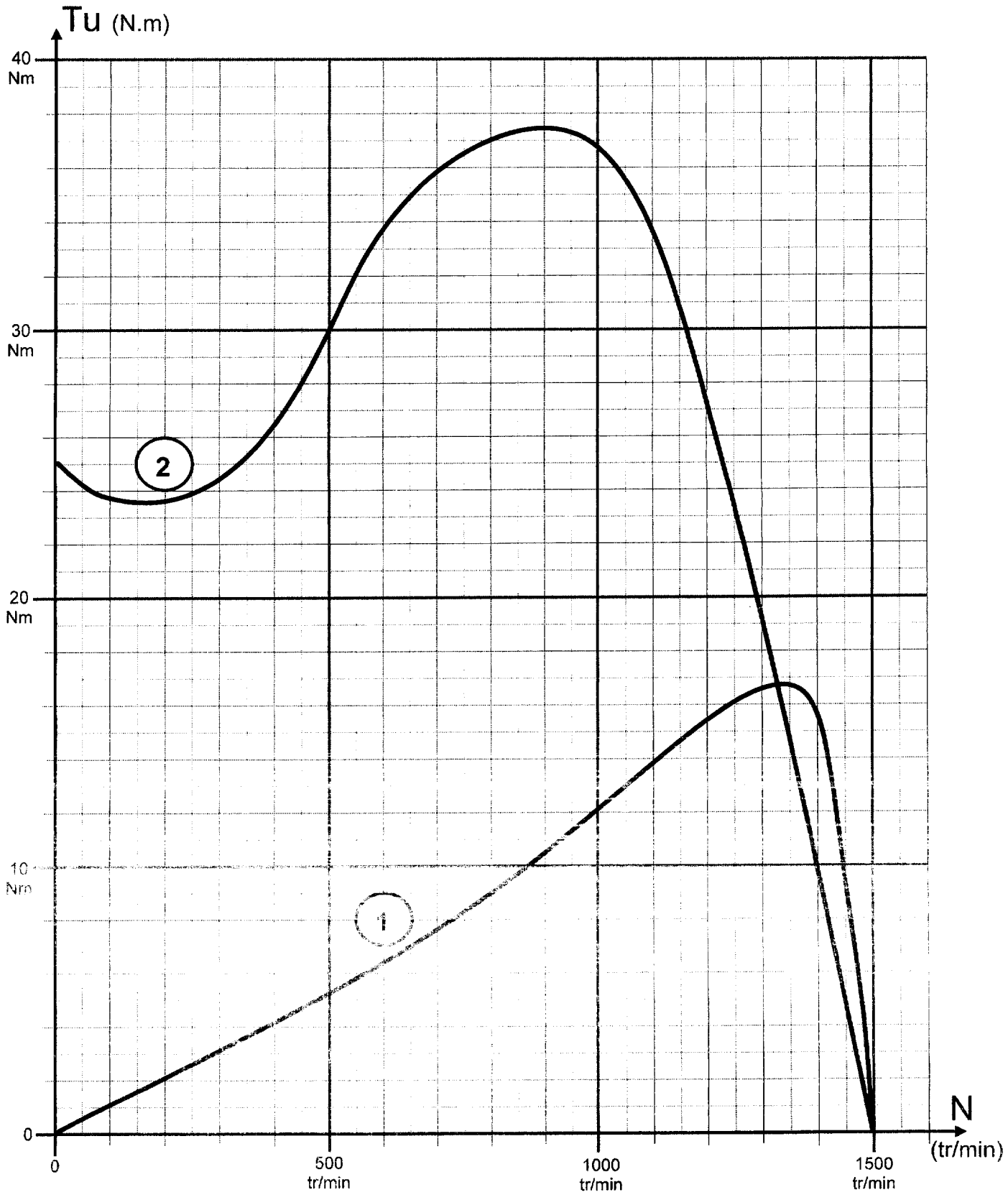
et on mesure : U = 230 V, I = 12,1 A et φ = 39°.

2.7 En déduire la puissance active P absorbée par le moteur puis son rendement η.

2.8 Quel dispositif de protection électrique permet à un usager de poser sa main sur le moteur sans prendre le risque d'un choc électrique ?

ANNEXE

Caractéristiques Couple utile / Vitesse du moteur



Éléments de correction et barème BTS CN

Partie 1 : échangeur thermique

1.1 $P = \rho \cdot Q_D \cdot C \cdot (\theta_{D2} - \theta_{D1}) \simeq 45283$ W (1,5pt)

1.2 $\rho \cdot Q_D \cdot C \cdot (\theta_{D2} - \theta_{D1}) + \rho \cdot Q_M \cdot C \cdot (\theta_{M1} - \theta_{M2}) = 0 \Rightarrow Q_M = \dfrac{\theta_{D2} - \theta_{D1}}{\theta_{M2} - \theta_{M1}} \cdot Q_D = 3900$ dm^3/h (1,5pt)

1.3 $\dfrac{dP}{dS} = h_D \cdot (\theta_D - \theta_{SD}) = \dfrac{\lambda}{e} \cdot (\theta_{SD} - \theta_{SM}) = h_M \cdot (\theta_{SM} - \theta_M)$ (2pts)

1.4 $$\frac{dP}{dS} = \frac{\theta_D - \theta_{SD}}{\frac{1}{h_D}} = \frac{\theta_{SD} - \theta_{SM}}{\frac{e}{\lambda}} = \frac{\theta_{SM} - \theta_M}{\frac{1}{h_D}} = \frac{\theta_D - \theta_{SD} + \theta_{SD} - \theta_{SM} + \theta_{SM} - \theta_M}{\frac{1}{h_D} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_D}} = \frac{\theta_D - \theta_M}{\frac{1}{h_D} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_D}}$$

soit $\dfrac{1}{K_{DM}} = \dfrac{1}{h_D} + \dfrac{e}{\lambda} + \dfrac{1}{h_D}$ (2pts)

1.5 $K_{DM} \simeq 2459$ W·m^{-2}·K^{-1} ; $\Delta\theta_L = 37{,}44$ K ; $S = \dfrac{P}{K_{DM} \cdot \Delta\theta_L} \simeq 54{,}3$ dm^2 (1pt)

1.6 $n = \dfrac{S}{S_{Tube}} = \dfrac{S}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L} \simeq 36$ tubes (1pt)

Partie 2 : moteur asynchrone monophasé

2.1 $T_D = 0$, car le déphasage α est nul. Le moteur ne peut pas démarrer seul. (1,5pt)

2.2 $\alpha = \varphi_p - \varphi_a = \cos^{-1}\left(\dfrac{P_p}{U \cdot I_p}\right) - \cos^{-1}\left(\dfrac{P_a}{U \cdot I_a}\right) \simeq 30°$; $T_d = M \cdot I_a \cdot I_p \cdot \sin\alpha \simeq 25$ N·m (2pts)

2.3 $I = \sqrt{\left(I_a \cdot \cos\varphi_a + I_p \cdot \cos\varphi_p\right)^2 + \left(I_a \cdot \sin\varphi_a + I_p \cdot \sin\varphi_p\right)^2} \simeq 23{,}73$ A (1,5pt)

2.4 $n_s = 1500$ tr·min^{-1} ; $p = \dfrac{60 \cdot f}{n_s} = 2$ (2pts)

2.5 $n = 1450$ tr·min^{-1} ; $g = \dfrac{n_s - n}{n_s} \simeq 3{,}3\%$ (1pt)

2.6 $Pu = Tu \cdot \dfrac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \simeq 1518$ W (1pt)

2.7 $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \simeq 2163$ W ; $\eta = \dfrac{Pu}{P} \simeq 70\%$ (1pt)

2.8 Mise à la « terre » (coque métallique du yacht) du moteur + DDR (1pt)

Partie 1 : échangeur thermique

1.1 $P = \rho \cdot Q_D \cdot C \cdot (\theta_{D2} - \theta_{D1}) \approx 45283$ W (1,5pt)

1.2 $\rho \cdot Q_D \cdot C \cdot (\theta_{D2} - \theta_{D1}) + \rho \cdot Q_M \cdot C \cdot (\theta_{M1} - \theta_{M2}) = 0 \Rightarrow Q_M = \dfrac{\theta_{D2} - \theta_{D1}}{\theta_{M2} - \theta_{M1}} \cdot Q_D = 3900$ dm^3/h (1,5)

1.3 $\dfrac{dP}{dS} = h_D \cdot (\theta_D - \theta_{SD}) = \dfrac{\lambda}{e} \cdot (\theta_{SD} - \theta_{SM}) = h_M \cdot (\theta_{SM} - \theta_M)$ (2pts)

1.4 $$\frac{dP}{dS} = \frac{\theta_D - \theta_{SD}}{\frac{1}{h_D}} = \frac{\theta_{SD} - \theta_{SM}}{\frac{e}{\lambda}} = \frac{\theta_{SM} - \theta_M}{\frac{1}{h_D}} = \frac{\theta_D - \theta_{SD} + \theta_{SD} - \theta_{SM} + \theta_{SM} - \theta_M}{\frac{1}{h_D} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_D}} = \frac{\theta_D - \theta_M}{\frac{1}{h_D} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_D}}$$

soit $\dfrac{1}{K_{DM}} = \dfrac{1}{h_D} + \dfrac{e}{\lambda} + \dfrac{1}{h_D}$ (2pts)

1.5 $K_{DM} \approx 2459$ W·m^{-2}·K^{-1} ; $\Delta\theta_L = 37,44$ K ; $S = \dfrac{P}{K_{DM} \cdot \Delta\theta_L} \approx 54,3$ dm^2 (1pt)

1.6 $n = \dfrac{S}{S_{Tube}} = \dfrac{S}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L} \approx 36$ tubes (1pt)

Partie 2 : moteur asynchrone monophasé

2.1 $T_D = 0$, car le déphasage α est nul. Le moteur ne peut pas démarrer seul. (1,5pt)

2.2 $\alpha = \varphi_p - \varphi_a = \cos^{-1}\left(\dfrac{P_p}{U \cdot I_p}\right) - \cos^{-1}\left(\dfrac{P_a}{U \cdot I_a}\right) \approx 30°$; $T_d = M \cdot I_a \cdot I_p \cdot \sin\alpha \approx 25$ N·m (2pts)

2.3 $I = \sqrt{\left(I_a \cdot \cos\varphi_a + I_p \cdot \cos\varphi_p\right)^2 + \left(I_a \cdot \sin\varphi_a + I_p \cdot \sin\varphi_p\right)^2} \approx 23,73$ A (1,5pt)

2.4 $n_s = 1500$ tr·min^{-1} ; $p = \dfrac{60 \cdot f}{n_s} = 2$ (2pts)

2.5 $n = 1450$ tr·min^{-1} ; $g = \dfrac{n_s - n}{n_s} \approx 3,3\%$ (1pt)

2.6 $Pu = Tu \cdot \dfrac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \approx 1518$ W (1pt)

2.7 $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \approx 2163$ W ; $\eta = \dfrac{Pu}{P} \approx 70\%$ (1pt)

2.8 Mise à la « terre » (coque métallique du yacht) du moteur : DDR (1pt)

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.