BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

CONSTRUCTION NAVALE

ÉPREUVE : *SCIENCES PHYSIQUES*

Durée : *2 heures*

Coefficient : *2*

Conformément aux dispositions de la circulaire n° 99-018 du 01/02/1999, l'usage de la calculatrice est autorisé.

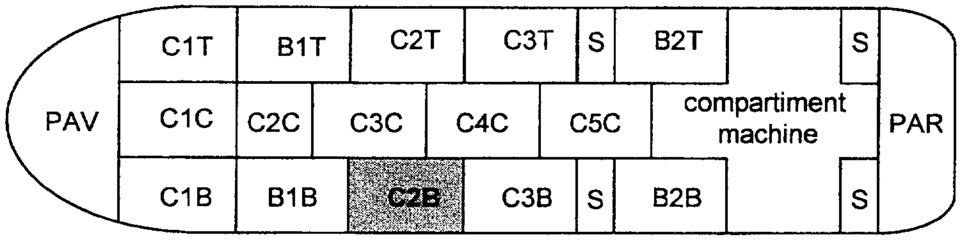
IMPORTANT :
Ce sujet comporte 6 pages numérotées de 1 à 6 et 1 document-réponse.
Assurez-vous qu'il est complet.

Note aux candidats :

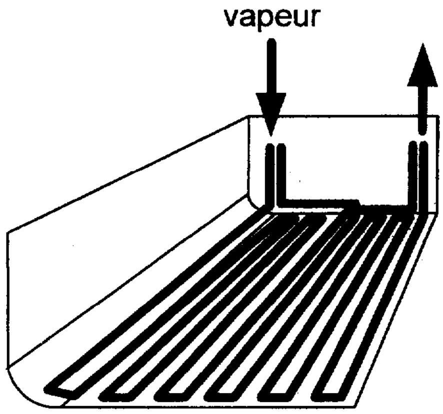
- *La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.*
- ***Les parties A, B, C, D et E du sujet peuvent être considérées comme indépendantes.***

RÉCHAUFFAGE D'UNE CITERNE D'UN PÉTROLIER

On se propose de dimensionner le circuit de réchauffage de la citerne C2B d'un pétrolier :



Cette citerne contient un fuel lourd de forte viscosité, difficile à manipuler à la température ambiante.
Un réseau de serpentins parcourus par de la vapeur d'eau sous une pression nominale de 7 bars permet d'élever la température du fuel et de diminuer ainsi sa viscosité.



Ce circuit de réchauffage doit permettre :

- de réchauffer dans un temps limité le fuel refroidi,
- d'équilibrer les pertes pour maintenir la température du fuel à la température désirée.

A. Elévation de la température du fuel (2,5 points)

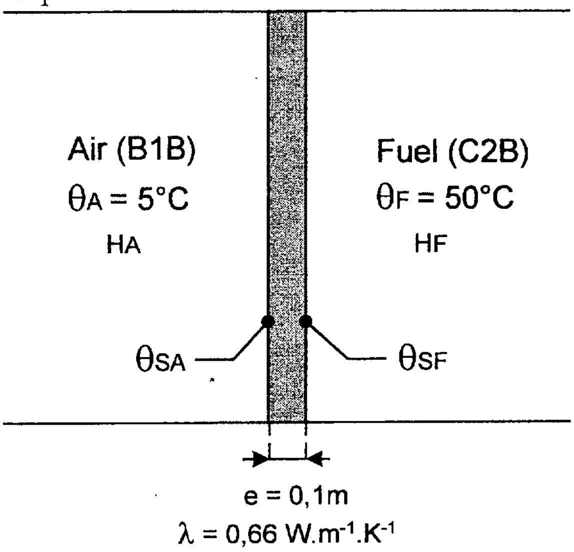
On donne :
$V = 3900\ m^3$: le volume du fuel contenu dans la citerne,
$r = 940\ kg.m^{-3}$: la masse volumique du fuel,
$C = 2000\ J.kg^{-1}.K^{-1}$: la chaleur massique du fuel.

A.1. Calculer l'énergie thermique W à fournir pour élever la température du fuel de $\theta_i = 0°C$ à $\theta_f = 50°C$ en supposant les pertes de chaleur nulles.

A.2. Calculer la puissance thermique Pth nécessaire pour une élévation de 7°C par jour (toujours en supposant les pertes nulles).

B. Coefficient de transmission thermique (4 points)

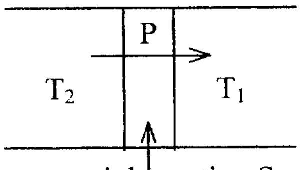
On considère la paroi qui sépare la citerne C2B du ballast B1B :



On donne :
$e = 0,1$ m : l'épaisseur de la paroi,
$\lambda = 0,66\ W.m^{-1}.K^{-1}$: la conductivité thermique de la paroi,
$\theta_A = 5°C$: la température de l'air,
$\theta_F = 50°C$: la température du fuel,
θ_{SA}, θ_{SF} : les températures des surfaces d'échange,
H_A, H_F : les coefficients de transmission superficiels par convection-rayonnement.
$\frac{1}{H_A} + \frac{1}{H_F} = 0,007\ W.m^{-2}.K^{-1}$

B.1. En régime permanent, exprimer la puissance thermique échangée entre l'air du ballast et le fuel de la citerne :
- à travers l'interface Fuel-paroi
- à travers l'interface Air-paroi
- à travers la paroi.

On désigne par K le coefficient global d'échange ou coefficient de transmission thermique entre l'air du ballast et le fuel de la citerne.
On rappelle la définition du coefficient K d'échange thermique.
Soit S la surface d'une paroi séparant deux milieux à la température T_1 et T_2 , la puissance P thermique traversant cette paroi est donnée par :

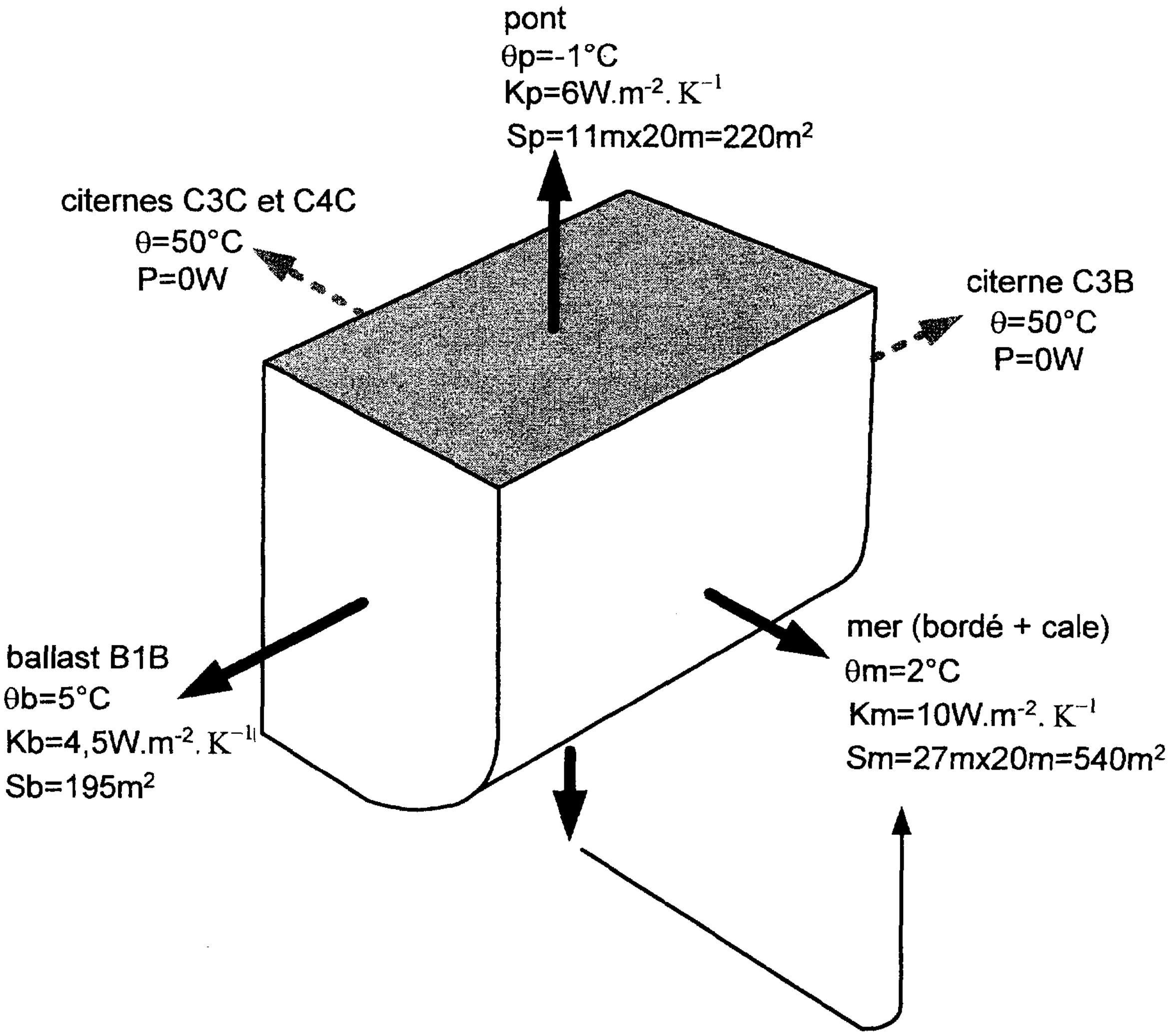


$P = K.(T_2 - T_1).S$

B.2. En déduire la relation $\frac{1}{K} = \frac{1}{H_F} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{H_A}$ puis calculer la valeur numérique de K.

C. Compensation des pertes de chaleur (3 points)

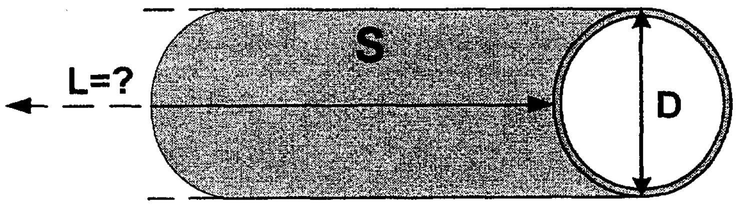
Le schéma ci-dessous fait l'inventaire des températures, des surfaces et des coefficients globaux d'échange thermique à prendre en compte pour le calcul des pertes thermiques de la citerne C2B :



Étant donné le fort tirant d'eau du pétrolier, on considèrera que tout le bordé est mouillé.
Les températures de la mer, l'air du pont et l'air du ballast sont fixées pour les conditions climatiques les plus défavorables.
On suppose que le fuel de toutes les citernes a atteint sa température maximale : θ = **50 °C**.
Les pertes sont alors maximales et les transferts de chaleur vers les citernes adjacentes (C3B, C3B, C4C) sont nuls.

C.1. Calculer la puissance thermique nécessaire pour compenser l'ensemble des pertes thermiques sur les surfaces de la citerne C2B.

La surface de chauffe S de la citerne C2B est constituée d'un réseau de serpentins de diamètre $D = 40$ mm et de longueur totale L.



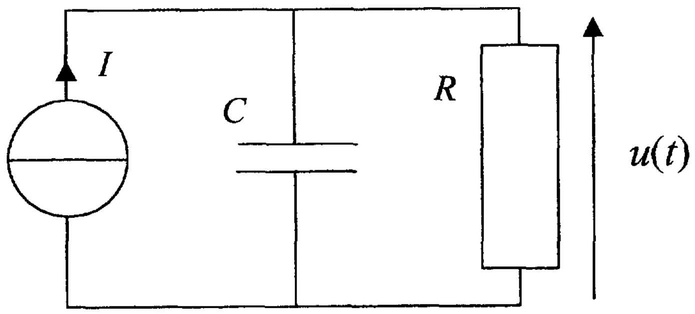
Cette surface doit pouvoir fournir une puissance thermique de $P_S = 366$ kW et doit être calculée pour un coefficient global d'échange thermique entre vapeur et fuel égal à $K_S = 110\ W.m^{-2}.K^{-1}$. La température de la vapeur des serpentins et celle du fuel valent respectivement : $\theta_V = 135$ °C et $\theta_F = 50$ °C.

C.2. Calculer la surface de chauffe S nécessaire.

C.3. En déduire la longueur L.

<u>D. Modélisation</u> (6,5 points)

On propose de faire l'analogie du système de réchauffage avec le circuit électrique suivant :



grandeurs électriques	I (A)	C (F)	R (W)	$u(t)$ (V)
grandeurs thermiques	Pth (W)	$Cth = m \cdot C$ $(J.K^{-1})$	Rth $(K.W^{-1})$	$\theta(t)$ (K)

Les grandeurs I, Pth, C, Cth, R et Rth sont supposées constantes.

D.1. Montrer que l'expression de la tension $u(t)$ est la solution d'une équation différentielle linéaire du premier ordre de la forme : $u(t) + \tau \dfrac{du}{dt} = E$.

On précisera l'expression littérale des constantes τ et E.

On donne la condition initiale suivante : $u(0) = 0$.

D.2. À partir de l'équation différentielle établie ci-dessus, déterminer l'expression temporelle de la tension $u(t)$.

D.3. En reprenant l'analogie entre le système thermique et le circuit électrique, donner l'expression temporelle de la température du fuel $\theta(t)$ en supposant : $\mathbf{\theta(0) = 0°C}$.

On donne les valeurs suivantes :

$Pth = 595$ kW, $Rth = 8{,}4.10^{-5}$ K.W^{-1} , $Cth = 7{,}33.10^{9}$ J.K^{-1}

D.4. Calculer en nombre de jours la constante de temps τ du système thermique.

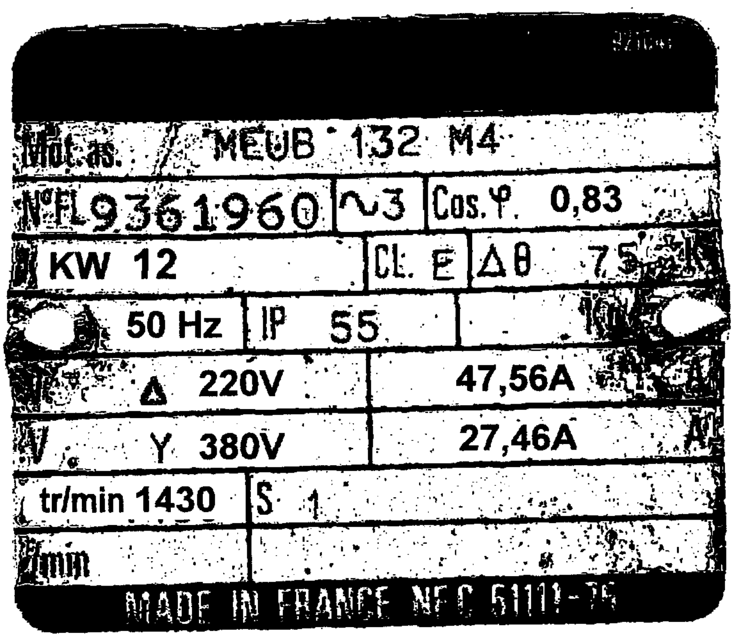
D.5. Calculer la température maximale du fuel θ_{max}.

D.6. Sur le document réponse :

- tracer l'asymptote de $\theta(t)$ pour $t \to +\infty$,
- tracer la tangente à l'origine de $\theta(t)$,
- déterminer la valeurs particulière $\theta(\tau)$,
- en déduire **l'allure** du tracé de $\theta(t)$.

E. Moteur asynchrone (4 points)

En fin de parcours dans le circuit de réchauffage, la vapeur est condensée. Le condensat contenu dans les serpentins est alors pompé vers une chaudière. Le moteur asynchrone associé à une de ces pompes porte sur sa plaque signalétique les indications suivantes :



Ce moteur est alimenté par un réseau triphasé **380V-50Hz** (tension composée).

E.1. Quel couplage faut-il réaliser au stator ?

E.2. Déterminer le nombre de paires de pôles p du stator.

Pour un fonctionnement nominal du moteur, calculer :

E.3. le moment T_u du couple utile nominal ,

E.4. le rendement au régime nominal.