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 consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + SI, veuillez visiter :
bac-maths-si.fr/annales-sujets-et-corriges

Bac 2023 Métropole Jour 1 Sciences physiques pour les sciences de l'ingénieur.e

https://www.labolycee.org

EXERCICE B (10 points, 30 min) ÉTUDE THERMIQUE D'UN MÉTHANIER

Le transport de gaz liquéfié par méthanier présente des défis technologiques. En effet, en dépit de l'excellente isolation thermique des réservoirs des méthaniers transportant le Gaz Naturel Liquéfié (GNL) à température cryogénique, les transferts thermiques entre les cuves et leur environnement engendrent une évaporation du GNL. Ce gaz d'évaporation doit être relâché afin d'éviter l'apparition de surpressions qui pourraient endommager la structure du méthanier.



Le méthanier français LNG Endeavour d'après www.gazocean.com

La qualité de l'isolation thermique du méthanier est caractérisée par le coefficient BOR qui correspond au pourcentage journalier de gaz évaporé par rapport à la quantité initialement embarquée.

Données :

- température du GNL : $T_{GNL} = -162$ °C ;
- volume de GNL initialement embarqué : $V_{GNL} = 12 \times 10^4$ m^3 ;
- masse volumique du GNL : $\rho = 0{,}43 \times 10^3$ kg·m^{-3} ;
- énergie massique de vaporisation du GNL : $\ell_{vap} = 510$ kJ·kg^{-1} ;
- aire de la paroi interne des cuves en contact avec le GNL : $S_{GNL} = 21 \times 10^3$ m^2 ;
- épaisseur de la coque externe : $e_{ce} = 50$ mm ;
- épaisseur de la coque interne : $e_{ci} = 18$ mm ;
- conductivité thermique des coques en acier : $\lambda_{ce} = \lambda_{ci} = 17$ W·m^{-1}·K^{-1} ;
- conductivité thermique de l'isolant : $\lambda_i = 0{,}011$ W·m^{-1}·K^{-1} ;
- résistance thermique R_{th} d'une paroi : $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda \times S}$;

  R_{th} : résistance thermique en K·W^{-1} ;
  λ : conductivité thermique du matériau en W·m^{-1}·K^{-1} ;
  e : épaisseur de la paroi en m ;
  S : aire de la paroi en m^2.

La figure 1 propose une modélisation thermique unidimensionnelle du méthanier. Le transfert thermique de puissance P_{GNL} traverse l'ensemble de la structure depuis la coque externe jusqu'aux cuves de GNL.

La température de l'environnement extérieur $T_{env} = 39$ °C est la température extérieure moyenne pondérée, prenant en compte la surface en contact avec l'air et celle en contact avec l'eau de mer dans des conditions extrêmes.

L'aire de la paroi à travers laquelle s'effectuent les échanges thermiques est l'aire S_{GNL} en contact avec le GNL.

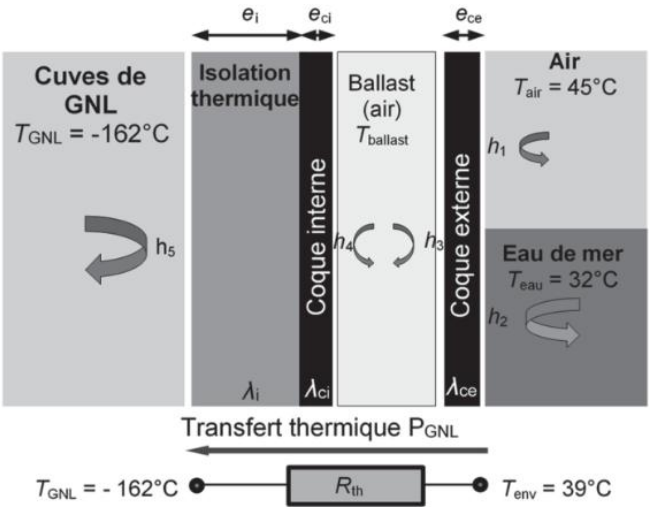


Figure 1. Modèle thermique unidimensionnel simplifié d'un méthanier

« Journal of the Korean Society of Marine Engineering - Vol. 39 , No. 10 »

Q1. Justifier le sens de la flèche modélisant le transfert thermique P_{GNL}.

Une simulation numérique a permis d'évaluer la puissance thermique reçue par le GNL contenu dans les cuves du méthanier étudié : P_{GNL} = 400 kW.

Q2. Exprimer la résistance thermique R_{th} des parois du méthanier en fonction des grandeurs P_{GNL}, T_{env} et T_{GNL} puis calculer sa valeur.

Q3. La résistance thermique de la coque externe du méthanier a pour valeur $R_{ce} = 1{,}4 \times 10^{-7}$ K·W^{-1}. Comparer les valeurs de R_{ce} et de R_{th}.

Q4. La modélisation proposée figure 1 fait apparaître des coefficients h (h_1 à h_5) et λ (λ_{ce}, λ_{ci} et λ_i). Citer deux modes de transferts thermiques qu'ils permettent de modéliser.

Q5. Donner l'expression reliant le transfert thermique Q_{GNL} reçu par le GNL pendant une durée Δt et la puissance thermique P_{GNL} définie précédemment. Calculer la valeur de Q_{GNL} pour une durée égale à une journée.

L'énergie Q échangée sous forme de chaleur lors de la vaporisation d'une masse m d'une espèce chimique d'énergie massique de vaporisation ℓ_{vap} est donnée par la relation suivante :

$$Q = m \times \ell_{vap}$$

Q6. On admet que l'énergie Q_{GNL} reçue par le GNL pendant une journée est utilisée pour vaporiser le GNL. Exprimer le volume V de GNL vaporisé pendant une journée. Déterminer la valeur de V.

On admet que le volume V de GNL vaporisé pendant une journée est environ égal à 160 m^3.

La qualité de l'isolation thermique du méthanier est caractérisée par le coefficient BOR qui correspond au pourcentage volumique journalier de GNL évaporé par rapport à la quantité initialement embarquée.

Q7. En déduire l'expression puis la valeur du BOR du méthanier étudié. Comparer la qualité de l'isolation des cuves de ce méthanier avec celle du LNG Endeavour qui possède un BOR égal à 0,09 % par jour.

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.