



Equipe transfert de chaleur	ProSit n°3 : Une course contre la fonte !!	2^{ème} TA
--	---	---------------------------

Objectifs spécifiques :

- Identifier le mode transfert thermique dominant
- Appliquer les lois fondamentales
- Proposer une modélisation mathématique du problème posé
- Vérifier les critères de choix

Référence(s) :

- Livre de transfert de chaleur « Heat and mass transfer », Y.A. Çengel et A.J. Ghajar
- <http://www.meretmarine.com/fr/content/lidee-de-remorquer-des-icebergs-pour-produire-de-leau-douce-refait-surface>
- https://www.youtube.com/watch?v=SbHZg_NzeI4

Support de cours : Cours de transfert de chaleur.

Enoncé :

Après avoir passé un siècle à les craindre et à les éviter, les navigateurs polaires vont-ils se muer demain en chasseurs d'icebergs? Des chercheurs envisagent en tout cas très sérieusement de tracter ces glaçons géants des rives du Groenland jusqu'aux îles Canaries pour abreuver les populations victimes de sécheresse. L'enjeu est de taille : un iceberg de 7 millions de tonnes pourrait en effet fournir 7 milliards de litres d'eau, soit l'équivalent de la consommation annuelle d'une ville de 150000 habitants! Mais le défi technologique est de taille car cela en ferait le plus gros objet jamais transporté en mer.

Un étudiant d'ESPRIT a décroché un stage chez IceDream, une société d'ingénierie naissante, spécialisée dans le transport d'icebergs. Cette compagnie a recours à une technique bien particulière pour remorquer des icebergs afin de les utiliser comme source d'approvisionnement en eau douce pour des régions arides ou encore pour préserver des installations offshore d'éventuels risque de collision.

Ceci pourrait sembler futuriste ou même encore s'apparenter à de la science-fiction, pourtant c'est depuis les années 70 que cette aventure a commencée, fruit d'un rêve, celui d'un homme, Mohamed Al-Fayçal qui à cette époque n'était encore que prince.

Inquiet des carences en eau douce dans son pays, le prince saoudien, contacte Georges Mougin pour lui faire part de son rêve : remorquer par voie maritime un iceberg géant pour s'en servir comme réservoir naturel d'eau douce. À l'occasion, en 1976, une entreprise est même fondée, **Iceberg Transport International**, qui est chargée d'étudier la faisabilité de ce projet. En 1977, les deux hommes organisent le premier congrès international sur l'utilisation des icebergs, qui réunit des ingénieurs, des scientifiques et des militaires. Malheureusement, l'entreprise se heurte à des problèmes techniques et financiers et est de ce fait abandonnée.

En 2003, la donne est nouvelle, compte tenu de la création de services de prévisions océaniques, et de la disponibilité des moyens maritimes développés pour l'offshore pétrolier, Georges MOUGIN y voit une opportunité de réactiver ce projet d'exploitation d'icebergs.

L'acharnement et la ténacité du vieil ingénieur naval finisse par payer puisque en 2009 l'entreprise Dassault Systèmes propose à Georges Mougin de tester sur ordinateur, à l'aide d'un logiciel de simulation, si le transport de l'iceberg est faisable.

En 2012 il obtient le financement nécessaire et durant le printemps de la même année l'opération est testée grandeur nature au large de Terre-Neuve, Précisément cent ans après la

PROSIT n°2 : Une course contre la fonte!!

catastrophe du «Titanic».

Pour sélectionner « son » iceberg, Georges Mougin se rend sur place, plus précisément dans une zone à l'est de Terre-Neuve réputée pour ses conditions de dérive ouest-est. Ce secteur rassemble au printemps des centaines de morceaux de glace descendus du Groenland par le courant du Labrador. L'IcePatrol canadienne publie quotidiennement la position de tous les icebergs les plus significatifs. « Il existe aujourd'hui des bulletins d'évaluation des courants marins aussi précis que les prévisions de Météo et notre objectif est de placer l'iceberg dans un courant favorable pour l'emmener où on veut, explique l'ingénieur naval. Compte tenu de sa masse, nous ne le tracterons pas à plus de 1 km/h ». Avec un bateau remorqueur standard, Georges Mougin estime pouvoir diriger son glaçon géant jusqu'aux Canaries en 10 jours. A condition d'éviter les collisions en mer. Le choix de ces îles espagnoles est lié au fait qu'elles manquent d'eau douce. Depuis des décennies, l'université de Terre-Neuve étudie la dérive des icebergs. Des entreprises se sont fait une spécialité de les détourner de leur trajectoire avec des remorqueurs s'ils s'approchent trop près d'une plate-forme pétrolière.

Pour réduire la fonte de l'iceberg, les ingénieurs ont imaginé une sorte de jupe en textile qui enveloppera la partie immergée du glaçon et l'isolera de l'eau de mer. Un matelas d'eau douce fondue se créera ainsi au fil du trajet entre l'iceberg et la jupe. Une ceinture flottante encerclera l'iceberg sur une hauteur de douze mètres (six mètres en surface et six mètres sous l'eau) pour le protéger de l'érosion. D'après les simulations effectuées par Dassault Systèmes, la température de l'eau s'élèvera à 10°C.

De ce fait, une des tâches qui vous est incombée sera de déterminer, en vous basant sur les chiffres fournis par Mougin et Dassault Système, le pourcentage massique de glace perdue durant le voyage.

NB : L'iceberg est assimilé à un cylindre dont le diamètre est égal à la hauteur, et que 2/3 seulement de l'iceberg est immergé dans l'eau.

Bon travail

PROSIT n°2 : Une course contre la fonte!!

Solution :

Il faut chercher le flux thermique qui est divisé en une partie latérale et une autre sur la surface de base inférieure de l'iceberg.

Il s'agit d'une convection forcée d'un écoulement externe autour d'un cylindre (surface latérale) et un plan horizontal (base du cylindre).

$$\Phi_{cv} = \Phi_{lat} + \Phi_{base} = h_{lat} S_{lat} (T_{\infty} - T_{gl}) + h_{base} S_{base} (T_{\infty} - T_{gl})$$
$$M_{glace} = \frac{Q_{perdue} [J]}{L_{fusion} [J/kg]} = \frac{\Phi_{cv} \cdot \Delta t}{L_{fusion}}$$

Déterminons alors h_{lat} et h_{base} ?

• $T_f = \frac{0 + 10}{2} = 5^\circ C \Rightarrow \begin{cases} \lambda = 0,568 W/mK \\ \nu = 1,593 \cdot 10^{-6} m^2/s \\ Pr = 12 \end{cases}$

$$Re_D = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{(2 \cdot 10^3 / 3600) \cdot D}{\nu}$$

Diamètre D ? $Volume = \frac{\pi D^3}{4} = \frac{m_{iceberg}}{\rho}$

$$m_{iceberg} = 7 \cdot 10^{12} \text{ kg} ; V = 7 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = \frac{\pi D^3}{4}$$
$$\rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{4 \times 7 \cdot 10^6}{\pi}} = 207,3 \text{ m} \quad (2)$$

$$Re = 36159674,95$$

Les équations de Nusselt utilisés sont

Latéral :

$$Nu_D = 0.3 + \frac{0.62 Pr^{1/3} Re_D^{1/2}}{\left[1 + \left(\frac{0.04}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282}\right)^{5/8}\right]^{4/5} \quad \text{valable pour } Re \cdot Pr > 0.2$$

$$h_{lat} = 1881,865376 \text{ W/K.m}^2$$

surface de base :

PROSIT n°2 : Une course contre la fonte!!

$$Nu_L = (0.037 Re_L^{4/5} - 871) Pr^{1/3}$$

$$h_{base} = 252,8317997 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\text{flux total} = 1.78 \text{ GW}, \quad \text{energie} = \text{flux total} \times 10 \text{ jours} \times 24 \text{ h} \times 3600$$

Masse fondue = Energie totale échangé pendant 10 jours / chaleur latente de fusion de la glace

$$L_{\text{fusion}} = 335 \text{ kJ/kg}$$

$$M_{\text{fondue}} = 4589,112332 \times 10^6 \text{ kg}$$

$$\text{Or la masse de l'iceberg} = 7 \times 10^9 \text{ kg}$$

Donc le pourcentage de la masse restante est de 34.4%