

Phénomènes de Transferts

Examen

Une feuille A4 recto-verso autorisée

Exercice 1 : Température d'un composant électronique

On considère un transistor de puissance dissipant une puissance $\mathcal{P} = 0.2 \text{ W}$ dans un environnement à température $T_0 = 30^\circ\text{C}$, et fonctionnant en régime permanent. Le transistor a une hauteur de $l = 0.4 \text{ cm}$ et un diamètre $d = 0.5 \text{ cm}$. On suppose que les transferts de chaleur s'effectuent de manière uniforme sur toute la surface du transistor, et l'on ne prend en compte, dans un premier temps, que des échanges de nature convective, de coefficient d'échange $h = 100 \text{ W/m}^2/\text{K}$.

1. Déterminer la quantité de chaleur dissipée par ce composant pendant une durée $T = 24 \text{ h}$.
2. Déterminer la densité de flux de chaleur *sortant* à la surface du transistor.
3. En déduire la température T_S à la surface du transistor.
4. On souhaite maintenant tester la validité de l'hypothèse concernant la prise en compte des seuls effets convectifs : calculer, pour la température trouvée à la question précédente, un ordre de grandeur du flux sortant par rayonnement à la surface du transistor. Conclure.

(On donne la valeur de la constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$)

Exercice 2 : Refroidissement d'une centrale nucléaire

Une centrale nucléaire fonctionne à l'aide de barres de combustible (le plus souvent de l'uranium enrichi) disposées dans des tubes d'oxyde de zirconium. Sous l'impact d'un neutron le noyau d'un atome de combustible va se briser en deux noyaux plus petits tout en libérant de l'énergie et de nouveaux neutrons. On parle alors de fission nucléaire. Dans le cas où les neutrons libérés vont eux-même percuter de nouveaux noyaux de combustible, une réaction en chaîne se déclenche, et la fission est auto-alimentée.

Cependant les neutrons libérés par ces réactions nucléaires sont trop rapides, ils rebondissent contre les noyaux, sans être absorbés. C'est pourquoi il est nécessaire de les ralentir, avec ce que l'on appelle un modérateur (dans la pratique il s'agit souvent d'eau ou de graphite). Plus on ralentit les neutrons, plus ils auront tendance à être absorbés par de nouveaux noyaux et à propager la réaction en chaîne. Ces modérateurs permettent donc de contrôler la fission nucléaire en conservant l'activité nécessaire à la réaction en chaîne, tout en évitant que la réaction ne s'emballe (comme pour une bombe nucléaire). Une fois la réaction amorcée, le combustible nucléaire se consume en libérant de la chaleur de deux manières :

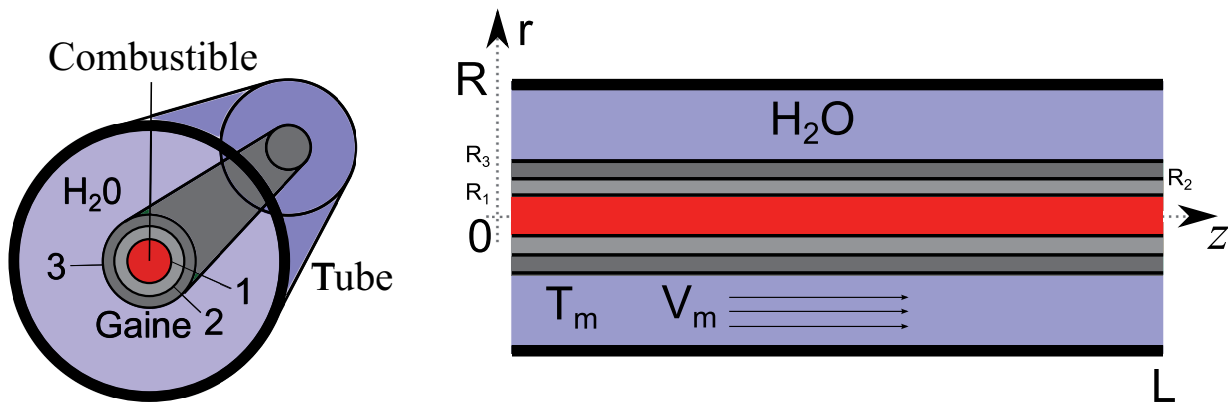
- soit par conduction thermique dans la gaine qui l'entoure.
- soit par rayonnement, les réaction nucléaire émettant des rayon α (atome d'hélium), β (électron ou positon), ou γ (onde électromagnétique de très courte longueur d'onde).

Cette chaleur est ensuite absorbée par un circuit de refroidissement primaire (le plus souvent de l'eau sous pression) fonctionnant en circuit fermé. Un circuit secondaire – que l'on ne cherchera pas à modéliser dans cet exercice – permet de récupérer l'énergie nucléaire à l'aide d'un système de pompe à chaleur où le circuit primaire correspond à la source chaude, et où la source froide provient de l'eau d'un fleuve. C'est l'évaporation de l'eau de cette source froide qui donne lieu au panache de vapeur

d'eau que l'on peut observer au dessus des réacteurs nucléaires.

Dans cet exercice, pour plus de simplicité, on modélisera le système barre de combustible et circuit de refroidissement sous la forme suivante :

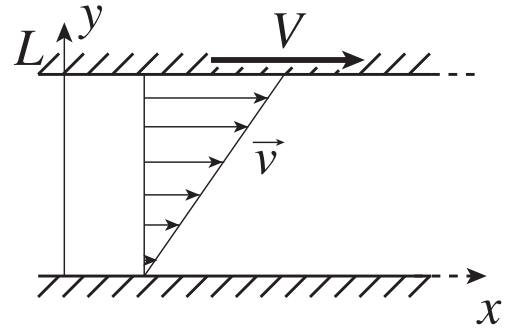
- une gaine cylindrique d'une longueur L et de rayon R_3 à l'intérieur de laquelle se trouve le combustible. La gaine est constituée de deux couches superposées de matériaux de conductivités thermiques k_{12} et k_{23} , respectivement. Le rayon intérieur est noté R_1 , le rayon extérieur R_3 , et le rayon intermédiaire au niveau de la séparation entre les deux couches de la gaine, R_2 (cf schéma).
- ce cylindre est placé au centre d'un tube de longueur L et de rayon R .
- dans ce tube l'eau du circuit primaire circule dans le sens des $z > 0$. La vitesse moyenne et la température moyenne de l'eau sur une section $z = c^{te}$ sont notées $V_m(z)$ et $T_m(z)$, respectivement.



1. Dans un premier temps, on ne s'intéresse pas à l'intérieur de la gaine, et l'on considère que la paroi extérieure de la gaine est maintenue à température constante T_{gaine} par le combustible. Le combustible émet aussi un rayonnement radioactif à travers la gaine, caractérisé par un flux surfacique Φ_r dont une proportion ϵ_0 est absorbée par l'eau. On note h le coefficient d'échanges convectifs entre la paroi de la gaine et l'eau. À l'aide d'un bilan d'énergie, calculer l'équation différentielle régissant la température moyenne $T_m(z)$ tout au long du tube.
2. Résoudre cette équation différentielle et exprimer la température de l'eau lorsqu'elle arrive au bout du conduit (elle aura alors parcouru une longueur L). On prendra comme conditions aux limites $T_m(0) = T_0$.
3. On s'intéresse maintenant à la gaine elle-même et aux couches qui la composent. À l'aide d'un schéma de résistances, modéliser cette gaine de combustible.
4. En se plaçant au niveau d'une section du tube, calculer la température aux 3 endroits montrés sur le schéma (1, 2 et 3). Pour cela on prendra un flux de chaleur sortant du coeur combustible fixe et égal à Φ'_r . Attention à la géométrie!
5. Question « bonus » : À votre avis, que peut-il se passer si la réaction nucléaire s'emballe? Comment cet emballement va se répercuter sur les différentes constantes et coefficients (Flux, Absorption, Convection) du problème. Quel est dans ce cas l'intérêt d'un réacteur utilisant l'eau comme modérateur?

Exercice 3 : Palier lisse semi-isolé

On considère l'écoulement d'un film d'huile lubrifiant entre deux grandes plaques isothermes parallèles séparées par une distance L (cf schéma). La plaque supérieure se déplace à une vitesse constante de $\vec{V} = V \vec{e}_x$ et est maintenue à la température $T_0 = 20^\circ \text{C}$ tandis que la plaque inférieure est fixe et isolée thermiquement.



La conductivité thermique de l'huile est $k = 0.145 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ et sa viscosité dynamique est $\eta = 0.800 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$.

1. Écrire les équations régissant le comportement du champ de vitesse dans l'huile.
En détaillant votre démarche, simplifier au maximum ces équations.
2. Déterminer le champ de vitesse dans l'huile.
3. Obtenir l'équation différentielle permettant de déterminer le champ de température $T(y)$ dans l'écoulement, en la simplifiant au maximum.
4. Écrire les conditions aux limites pour le champ de température en $y = 0$ et $y = L$.
5. En déduire l'expression du champ de température dans l'huile.
Déterminer alors la température maximale atteinte par l'huile, et préciser l'endroit où ce maximum est atteint.
6. Déterminer le flux de chaleur transmis de l'huile à chacune des plaques supérieure et inférieure.

FIN DU SUJET