

LP 19 : Bilans thermiques. Flux conductifs, convectifs et radiatifs

Armel JOUAN, Géraud DUPUY

Ebauche de plan - Niveau : L2

Introduction

On a vu la thermo à l'équilibre, mais manifestement, pour une baraque à 20°C en contact avec de l'air à 0°C, on est hors équilibre. Incorporons des flux pour expliquer cette thermodynamique hors équilibre. Contextualisons en rappelant que 60% de la consommation énergétique moyenne d'un foyer sert à chauffer, donc c'est vraiment important. Rappelons également sur slide ce qu'est l'équilibre thermodynamique local [1], et en quoi il nous permet de manipuler les variables thermodynamiques usuelles (Énergie, température, pression, etc) alors qu'on traite de systèmes hors équilibre.

Prérequis

- Thermo : 1er et 2nd principe, définition d'un flux thermique et du vecteur densité de flux thermique
- Corps noir et rayonnement d'équilibre thermique
- Mécanique des fluides : notion de couche limite et convection naturelle
- Loi d'Ohm en électrocinétique
- Gradient, divergence, Laplacien

1 Conduction thermodynamique dans les solides [2]

1.1 Conservation de l'énergie

- Barreau solide 1D de section S (pas de mouvement macro, pas de dilatation)
- Premier ppe: $dU = \delta Q$

- $dU = m c_v dT = [j_q(x, t) - j_q(x + dx, t)] S dt = -\frac{\partial j_q}{\partial x}(x, t) S dx dt$
- On obtient l'équation de conservation de l'énergie thermique : $\rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial j_q}{\partial x} = 0$
- Généraliser à 3D

1.2 Diffusion thermique

- Le vecteur densité de flux c'est pas facile à mesurer, voyons comment reformuler ça.
- def conduction thermique: Mode de transfert thermique interne à la matière et sans mouvement macroscopique de matière.
- Modélisation phénoménologique: Loi de Fourier (def conductivité thermique, dimension)
- Aboutir à l'équation de la diffusion thermique. Coeff de diffusion thermique, OdG sur slide
- Manip, clou collé à une plaque de métal à l'envers par de la parafine. On chauffe une extrémité de la plaque avec une bougie

1.3 Régime stationnaire: Résistance thermique

- La résolution en régime variable est difficile (pour la culture, c'est l'origine de la TF)
- On se place en stationnaire
- On se donne une paroi 1D, d'épaisseur e , de béton homogène
- Pour $x < 0$, on est à l'intérieur à la température T_1 . Pour $x > e$, on est à l'extérieur à la température T_2 .
- Poser l'équation de diffusion, aboutir à la dérivée seconde nulle
- Aboutir au profil de température comme une droite
- Poser la résistance thermique, motnrer qu'elle se met sous la forme $R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$
- Slide: Analogie loi d'Ohm

2 Transfert thermique aux interfaces

2.1 Phénomènes de conducto-convection [1], [2]

- On a un solide à T_1 , et un fluide à T_2 à l'infini
- Dans le fluide, homogénéisé par convection, dans le solide par conduction
- Entre les deux, couche limite sans déplacement, donc transfert par conduction. On considère que de part et d'autre de la couche on a T_1 et T_2 .
- Loi de Fourier dans la couche avec une discontinuité: $\vec{j}_q(x=0) = h(T_1 - T_2) \vec{n}_{1 \rightarrow 2}$. (avec $h = \frac{\lambda}{\delta}$)
- On peut définir de la même façon une résistance $T_1 - T_2 = R_{CC} \Phi$. On a $R_{CC} = \frac{1}{hS}$

2.2 Flux radiatifs et corps noir [2]

- Décrire rayonnement thermique et rayonnement d'équilibre
- Rappel sur slide: Un corps noir à une température donnée est à l'équilibre avec un rayonnement purement thermique, qui est décrit par la loi de Planck.
- Donner la loi de Stefan. Constante de Stefan
- Application à la puissance du flux du soleil vis à vis de sa température de surface. Montrer que l'OdG est monstrueux (comparer à une centrale nuke au GW)

3 Application au bilan thermique d'un studio [3] chap 5 exercice 10

3.1 Déperdition thermique

- On s'intéresse à un studio, chauffé à 20°C alors qu'il fait 0°C dehors
- Un seul mur de 25 m^2 donne sur l'extérieur (le reste donne sur des voisins à l'équilibre thermique)
- Epaisseur e du mur, qui est à 30°C
- Conductivité thermique du béton $\lambda = 1 \text{ W/m/K}$
- Coefficient conducto-convectif du béton $h = 3 \text{ W/m/K}$
- On a $\Phi_p = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_{th} + R_{cc}}$
- On a $R_{th} + R_{cc} = \frac{e}{\lambda S} + \frac{1}{hS} = 0.035 \text{ K/W}$
- On perd alors 571 W

3.2 Dimensionnement d'un chauffage

- On prends un radiateur à infrarouge modélisé par une surface carrée A de 50 cm de côté. voyons à quelle température T_R il faut le chauffer.
- Grosse hypothèse, on suppose que l'entièreté du rayonnement est absorbé par la surface intérieure du mur
- Pour que ce soit bien dimensionné, il faut faire un bilan sur le mur pour avoir $\Phi_R = A^2 \sigma T_R^4 = \Phi_p$
- On doit trouver 175°C, ça semble cohérent

Conclusion

Ouvrir soit sur les régimes non permanents et la résolution par TF. On peut aussi ouvrir sur les résolutions numériques et la modélisation. Ou plus simplement sur le fait qu'on ne modélise pas les pertes par rayonnement sur le studio car il n'est pas vraiment un corps noir, mais on peut voir les flux de rayonnement par la thermographie infrarouge

Bibliographie

- [1] B. Diu, Thermodynamique, chapitre 9 (surtout pour les notions d'équilibre local)
- [2] H prépa MP/PC/PT/PSI, Thermodynamique, chapitres 2/3/(6) (pour la présentation made in prépa et les données)
- [3] C. Garing, Ondes mécaniques et diffusion, chapitre 5