PROGRAMME DE COLLE DE PHYSIQUE
Semaine du 20/01 au 25/01

MF3 - Bilan énergétique de l'écoulement d'un fluide parfait (cours + exercices)

– Notion de viscosité : exemple de l'écoulement de Couette plan.

> Un écoulement est parfait lorsque
> – la viscosité est nulle
> – il n'y a pas de transfert thermique
>
> On peut alors considérer que chaque particule fluide évolue de manière adiabatique réversible.

– Théorème de Bernoulli : démonstration à partir de l'expression du premier principe appliqué au systèmes ouverts.

> Pour un écoulement parfait, stationnaire, homogène ($\rho = cte$ dans tout le fluide), on peut écrire, en l'absence de pièces mobiles (turbines, pompes), le long d'une ligne de courant $\mathcal{L}$
>
> $$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = C(\mathcal{L})$$
>
> avec $C(\mathcal{L})$ une constante attachée à la ligne de courant considérée.

– Une propriété utile : si on considère un écoulement parfait, stationnaire, homogène ($\rho = cte$) dont les lignes de courant sont suivant une direction horizontale $\vec{u}_x$, on retrouve la loi de la statique des fluides dans chaque plan perpendiculaire à la direction de l'écoulement.
– Conséquence du théorème de Bernoulli : effet Venturi. Applications : vaporisateur, trompe à eau.
– Mesure d'un débit avec un tube de Venturi
– Mesure d'une vitesse avec un tube de Pitot
– Effet Magnus
– Vidange d'un récipient : formule de Toricelli (**à savoir refaire absolument !**).

MF4 - Pertes de charge (cours + exercices)

– Écoulement de Poiseuille dans une conduite cylindrique. Le profil des vitesses étant admis, calcul du débit volumique et de la vitesse débitante U définie par :

$$D_v = SU = \pi R^2 U$$

– Résistante hydraulique d'une conduite cylindrique horizontale de rayon R, de longueur L parcourue par un fluide de viscosité dynamique η en écoulement laminaire

$$R_h = \frac{P(0) - P(L)}{D_v} = \frac{8\eta L}{\pi R^4}$$

– Transition vers la turbulence : nombre de Reynolds.
– Pertes de charge. Expression générale :

$$\left[P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho g z_B\right] = \left[P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho g z_A\right] - J + \frac{\mathscr{P}_u}{D_v} \qquad (\text{Pa} = \text{ J.m}^{-3})$$

où A et B désignent respectivement les grandeurs d'entrée et de sortie et J correspond aux pertes de charge (homogène ici à une énergie par unité de volume donc à une pression).

Savoir passer si nécessaire aux expressions équivalentes :

- bilan en hauteur :

$$\left[\frac{P_B}{\rho g}+\frac{v_B^2}{2g}+z_B\right]=\left[\frac{P_A}{\rho g}+\frac{v_A^2}{2g}+z_A\right]-h_J+h_u \qquad (\text{ m})$$

- bilan en énergie massique :

$$\left[\frac{P_B}{\rho}+\frac{1}{2}v_B^2+gz_B\right]=\left[\frac{P_A}{\rho}+\frac{1}{2}v_A^2+gz_A\right]-w_J+w_u \qquad (\text{ J.kg}^{-1})$$

– pertes de charge régulières (se produisent tout au long de la conduite). On pose :

$$J_{\text{reg}}=f\frac{L}{D}\rho\frac{U^2}{2}$$

le coefficient f se lit sur le diagramme de Moody.
– pertes de charge singulières (se produisent ponctuellement au niveau des changements de section, ou de direction de conduites et au niveau d'éléments tels que des vannes...). On pose :

$$J_{\text{sing}}=\xi\frac{1}{2}\rho U^2$$

ξ dépend de la forme de la singularité. Ses valeurs sont tabulées.

Description d'un fluide en écoulement en régime stationnaire	
Énergétique des écoulements parfaits dans une conduite	Définir un écoulement parfait. Énoncer, à l'aide d'un bilan d'énergie, la relation de Bernoulli en précisant les hypothèses. Établir un bilan de puissance pour un circuit hydraulique ou pneumatique avec ou sans pompe.
Perte de charge singulière et régulière.	Modifier la relation de Bernoulli afin de tenir compte de la dissipation d'énergie mécanique par frottement.

Th9 - Conduction thermique (cours)

– Rappels sur les différents modes de transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement.
– Vecteur densité de flux thermique ; Flux thermique. Savoir exprimer les flux dans les cas :

- ◇ 1D axial : $\phi(x,t)=j_Q(x,t)S$
- ◇ 1D radial en cylindrique : $\phi(r,t)=j_Q(r,t)\,2\pi rh$
- ◇ 1D radial en sphérique : $\phi(r,t)=j_Q(r,t)\,4\pi r^2$

– Conduction thermique : connaître la loi de Fourier et savoir l'interpréter.

$$\vec{j}_{cd}=-\lambda\,\overrightarrow{\text{grad}}\,T \quad \text{avec } \lambda \text{ la conductivité thermique (Unité SI : W.K}^{-1}\text{.m}^{-1})$$

Savoir l'exprimer dans les cas :

- ◇ 1D axial : $\vec{j}_{cd}=-\lambda\frac{\partial T}{\partial x}(x,t)\vec{u}_x$
- ◇ 1D radial en cylindrique : $\vec{j}_{cd}=-\lambda\frac{\partial T}{\partial r}(r,t)\vec{u}_r$
- ◇ 1D radial en sphérique : $\vec{j}_{cd}=-\lambda\frac{\partial T}{\partial r}(r,t)\vec{u}_r$

– Savoir établir l'équation de la diffusion thermique 1D axiale (sans terme source) :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\mu c}\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

– Soit L une dimension caractéristique du système et τ le temps caractéristique de diffusion thermique. Savoir établir :

$$L^2 = D\tau \quad \text{avec } D = \frac{\lambda}{\mu c} \text{ diffusivité thermique (Unité SI : m}^2\text{.s}^{-1}\text{)}$$

– Cas particulier du régime stationnaire 1D axial : **en l'absence de source, le flux thermique se conserve**. Calcul du champ de température $T(x)$ à partir de la conservation du flux ou à partir de la résolution directe de l'équation de diffusion en régime stationnaire. Résistance et conductance thermique.

$$R_{\text{th}} = \frac{T_1 - T_2}{\phi} = \frac{L}{\lambda S} \qquad G_{\text{th}} = \frac{1}{R_{\text{th}}} = \frac{\lambda S}{L}$$

Savoir identifier les résistances thermiques en série ou en parallèle.
– ARQS : applicable si la température varie sur des échelles de temps très supérieure à $\tau = L^2/D$.
– Cas non stationnaire. Pour un forçage en surface ($x = 0$) correspondant à $T_{\text{surf}}(t) = T_0 + \theta_0 \cos\omega t$, savoir établir que la température à une profondeur x est de la forme

$$T(x,t) = T_0 + \theta_0\, e^{-\frac{x}{\delta}} \cos\left(\omega t - \frac{x}{\delta}\right) \quad \text{avec } \delta = \sqrt{\frac{2D}{\omega}}$$

Estimation de δ pour des variations diurnes ou annuelles de température.
– Transfert conducto-convectif à la paroi. Loi de Newton. Résistance thermique conducto-convective.

Transfert d'énergie par conduction thermique	
Densité de flux thermique	Définir et algébriser la puissance thermique échangée à travers une surface.
Loi de Fourier	Relier la non-uniformité de la température à l'existence d'un flux thermique et interpréter son sens. Citer des ordres de grandeur de conductivité thermique pour des matériaux dans le domaine de l'habitat.
Analogie électrique dans le cas du régime stationnaire	Définir la résistance thermique. Exploiter l'analogie électrique lors d'un bilan thermique.
Loi de Newton	Exploiter la loi de Newton fournie pour prendre en compte les échanges conducto-convectifs en régime stationnaire.
Équation de la chaleur sans terme source dans le cas d'une conduction thermique unidirectionnelle.	Établir l'équation de la diffusion thermique dans le cas unidimensionnel. Interpréter qualitativement l'irréversibilité du phénomène. Relier le temps et la longueur caractéristiques d'un phénomène de diffusion thermique au coefficient de diffusion thermique par une analyse dimensionnelle
Ondes thermiques	Établir une distance ou un temps caractéristique d'atténuation en utilisant le modèle de l'onde plane en géométrie unidimensionnelle.