PROGRAMME DE COLLE DE PHYSIQUE
Semaine du 11/01 au 16/01

MF1 - Statique des fluides

Tout exercice sur le sujet.

Description d'un fluide statique	
Échelle mésoscopique	Définir et connaître des ordres de grandeurs des dimensions de l'échelle mésoscopique dans le cas des liquides et des gaz.
Pression dans un fluide Forces surfaciques, forces volumiques	Citer des ordres de grandeur de la pression. Distinguer les forces de pressions des forces de pesanteur.
Champ de pression Relation de la statique des fluides	Donner l'expression de la résultante des forces pressantes s'exerçant sur un volume élémentaire de fluide. Énoncer et établir la relation de la statique des fluides dans le cas d'un fluide soumis uniquement à la pesanteur. Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et pour l'atmosphère isotherme dans le cadre du modèle du gaz parfait.

MF2 - Description d'un fluide en écoulement (cours + exercices)

– Description lagrangienne, description eulérienne.
– Champ eulérien de vitesse. Ligne de courant. Tube de courant.
– Écoulement stationnaire, dans un référentiel donné.
– Débit volumique, débit massique.
– Flux d'un champ vectoriel à travers une surface. Théorème d'Ostrogradski. Définition de la divergence.
– Bilan de matière **en régime stationnaire**. Savoir établir à l'aide du théorème d'Ostrogradski que

$$\operatorname{div} \vec{\jmath} = 0$$

$\vec{\jmath}$ est à flux conservatif : le débit massique D_m est constant à travers toute section d'un tube de courant.
– Pour un écoulement stationnaire de champ de masse volumique ρ uniforme

$$\operatorname{div} \vec{v} = 0$$

Le débit volumique D_v est constant à travers toute section d'un tube de courant et $D_m = \rho D_v$.
– Observation du champ vectoriel des vitesses d'un solide en rotation. En utilisant un formulaire on calcule le rotationnel de ce champ et on constate que $\overrightarrow{\mathrm{rot}}\, \vec{v} = 2\vec{\Omega}$ avec $\vec{\Omega}$ le vecteur rotation du solide.
– Définition du vecteur tourbillon (ou vorticité) :

$$\vec{\Omega} = \frac{1}{2} \overrightarrow{\mathrm{rot}}\, \vec{v}$$

Ce vecteur traduit localement la rotation des particules fluides.
– Circulation d'un champ vectoriel. Théorème de Stokes
– Écoulement irrotationnel. On déduit du théorème de Stokes qu'un écoulement irrotationnel est à circulation conservative : la circulation de la vitesse sur un contour fermé est nulle. On peut alors poser $\vec{v} = \overrightarrow{\mathrm{grad}}\, \varphi$.
– Interprétation locale de $\operatorname{div} \vec{v}$: la divergence de la vitesse représente le taux de dilatation d'une particule fluide.
– Visualisation de quelques écoulements
– Connaître les expressions de la divergence et du rotationnel en coordonnées cartésiennes (en s'aidant de l'opérateur nabla).

Description d'un fluide en écoulement en régime stationnaire	
Grandeurs eulériennes Champ de vitesse Ligne de courant, tube de courant Régime stationnaire	Décrire les propriétés thermodynamiques et mécaniques d'un fluide à l'aide des grandeurs locales pertinentes. Évaluer le caractère divergent ou rotationnel d'un écoulement uniforme, à symétrie sphérique, à symétrie axiale (radiale ou orthoradiale) en connaissant l'expression du champ des vitesses.
Débit volumique et débit massique	Exprimer les débits volumique et massique. Définir le vecteur densité de flux de masse.
Écoulement stationnaire dont le champ des masses volumiques est uniforme	Établir un bilan local et global de matière en régime stationnaire. Établir qu'en régime stationnaire le champ des vitesses est à flux conservatif. Connaître les propriétés d'un écoulement pour lequel le champ des vitesses est à flux conservatif.
Écoulement stationnaire et irrotationnel	Connaître les propriétés d'un écoulement pour lequel le champ des vitesses est à circulation conservative.

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

– 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 Bernouilli : 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

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = C(\mathcal{L})$$

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 Bernouilli : 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.

MF4 - Pertes de charges (cours)

– 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 parcouru 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 charges. Expression générale :

$$\left[P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho g z_B\right] = \left[P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho g z_A\right] - J + \frac{\mathscr{P}_u}{D_v}$$

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