Devoir maison 2

Les mesures de débits d'écoulement par organe déprimogène consistent à accélérer l'écoulement par une diminution de la section de passage et à mesurer la variation de pression ainsi provoquée.
Ces débitmètres ont été parmi les premiers utilisés, suite à la découverte en 1797 par G. Venturi du tube qui porte son nom. Ils sont largement répandus en secteur industriel et en génie civil (station de pompage, usine de traitement des eaux, centrale hydroélectrique,…) tant pour les liquides que pour les gaz et vapeurs ; les organes déprimogènes sont caractérisés par leur rapport de contraction de diamètre et regroupent les tubes de Venturi, les tuyères et les diaphragme.

1) Etude préliminaire d'un écoulement

Considérons l'écoulement stationnaire d'un fluide homogène, soumis au champ de pesanteur, dans une conduite horizontale dont la section décroît de façon continue, comme le montre la figure 9. Le fluide est supposé incompressible, de masse volumique ρ_f et de viscosité négligeable. Les pertes de charge ne sont pas prises en compte.

Dans la partie amont (référencée (1)), de diamètre D_1 (section d'aire S_1), la pression sera notée P_1 et la vitesse du fluide V_1. Les mêmes grandeurs avec l'indice 2 seront employées pour la zone d'étranglement notée (2). Le rapport des diamètres D_2 / D_1 est appelé β , rapport de contraction.

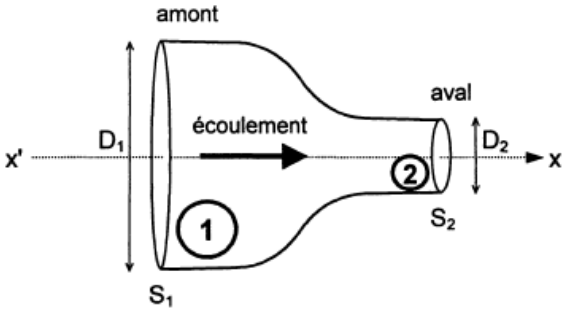

Figure 9

1) L'écoulement étant supposé unidimensionnel, que pouvez-vous dire des grandeurs liées à tout point d'une section droite de la conduite ?

2) Schématiser quelques lignes de courant dans la conduite ; quelles remarques ce tracé vous inspire-t-il ?

3) Justifier puis écrire la conservation du débit volumique entre les sections droites d'aires S_1 et S_2.

4) En précisant ses conditions d'application, donner la relation de Bernoulli.

5) Que représente cette équation ? Quelle est la signification physique de chacun des trois termes ? Appliquer cette relation le long d'une ligne de courant judicieusement choisie.

6) Décrire qualitativement les évolutions de la vitesse et de la pression du fluide lors du rétrécissement de la conduite.

7) Exprimer la vitesse V_2 du fluide au niveau du rétrécissement en fonction de P_1, P_2, ρ_f et du rapport de contraction β . La variation de pression entre P_1 et P_2 pourra être notée ΔP .

8) Citer des exemples d'applications simples et de réalisations illustrant la variation de pression observée au niveau de la zone contractée (ce qui constitue l'effet Venturi).

2) Tube de Venturi

Monté sur une canalisation cylindrique de section S_1, ce dispositif comporte successivement un premier tube tronconique dénommé convergent (C) suivi d'un tube cylindrique de section réduite S_2, appelé col (T), puis d'un second tube tronconique assez long appelé divergent (D), avant de retrouver la section initiale S_1, comme l'illustre la figure 10. Les angles d'ouverture du convergent et du divergent sont normalisés et désignés par α_C (respectivement α_D).

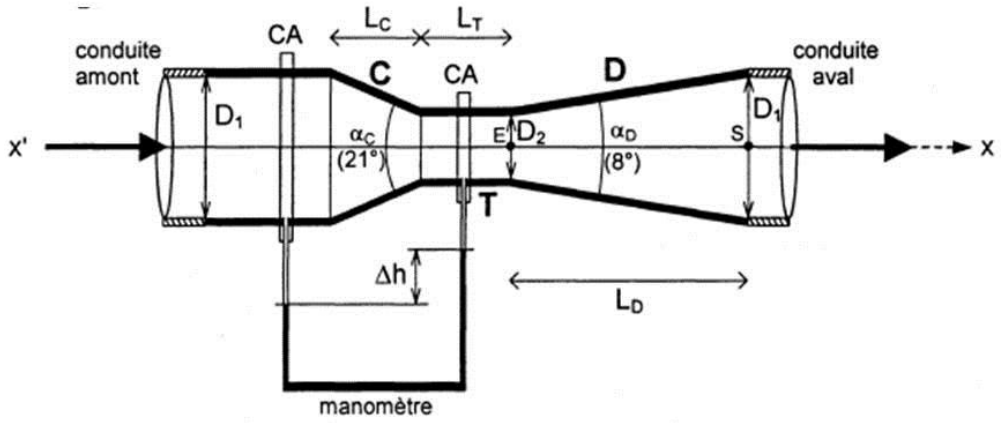

Figure 10

Dans les sections 1 et 2 sont insérés deux tubes de faible diamètre δ ($\delta < D_1/10$) reliés à un manomètre rempli de mercure (de masse volumique ρ_{Hg}). Ces prises de pressions sont disposées dans une double enveloppe du tube cylindrique au niveau d'une chambre annulaire (CA), à $D_1/2$ avant (C) pour la zone amont et à $D_1/2$ après (C) pour le col.

Lorsque le fluide (qui possède les mêmes caractéristiques d'écoulement que dans l'étude préliminaire) transite dans le tube de Venturi, une dénivellation Δh est relevée entre les surfaces de séparation mercure/fluide dans les deux branches du manomètre.

9) Expliquer le rôle du convergent (C) dans le tube de Venturi.

10) Justifier la dimension et la localisation des prises de pression.

11) Relier la dénivellation Δh à la différence de pression ΔP.

12) En utilisant les résultats établis en partie 1, établir l'expression du débit volumique noté Q_V sous la forme : $Q_V = K\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_f}}$

K étant un terme constant à expliciter en fonction de D_2 et β. En déduire que la dénivellation Δh résulte du débit volumique de l'écoulement.

13) Proposer un mode d'étalonnage afin d'obtenir la plus grande précision possible sur la mesure du débit. Comment cette précision évolue-t-elle en fonction de la valeur de β ?

14) A l'aide des caractéristiques géométriques de ce débitmètre et des paramètres expérimentaux fournis ci-après, calculer le débit volumique théorique Q_V du fluide dans cette conduite (exprimé en m^3/heure).

Conduite de refoulement d'une centrale hydroélectrique	
Diamètre conduite amont	D_1 = 600 mm
Type de fluide	Eau
Température d'écoulement	t = 10°C
Pression amont	P_1 = 5 bars
Viscosité du fluide	$\mu = 10^{-3}$ Pa.s
Masse volumique du fluide	$\rho_f = 999$ kg.m^{-3}
Diamètre du col	D_2 = 350 mm
Longueur du convergent	L_C = 675 mm
Longueur du col	L_T = 700 mm
Longueur du divergent	L_D = 1787 mm
Dénivelée manométrique	Δh = 21 cm (Hg)
Masse volumique du mercure	$\rho_{Hg} = 13546$ kg.m^{-3}
Accélération de la pesanteur	g = 9,81 m.s^{-2}

15) Dans le cas où l'écoulement faiblit, le débit volumique n'étant plus que le dixième du débit maximal autorisé $Q_{v(max)}$, que devient la variation de pression ΔP mesurée en fonction de sa valeur maximale $\Delta P_{(\max)}$?

En déduire qualitativement l'ordre de grandeur de la plage d'utilisation potentielle de ce tube de Venturi.

16) Expliquer le rôle joué par le divergent (D).

17) Calculer les vitesses V_E et V_S du fluide, les pressions P_E et P_S aux points E et S situés, sur une même ligne de courant, respectivement dans les sections d'entrée et de sortie du divergent (de longueur L_D).

19) Envisager les sources potentielles d'erreurs de mesure du débit.

Pour prendre en compte ces autres erreurs, les constructeurs d'appareil, dans une plage de fonctionnement donnée et conformément à des normes, introduisent un coefficient correcteur appelé coefficient de décharge C_Q (fonction de β) : $Q_V = C_Q K \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_f}}$

20) Dans les conditions de l'expérience décrite, C_Q vaut 0,985 ; en déduire le débit volumique réel du fluide dans la conduite (exprimé en m^3/heure).