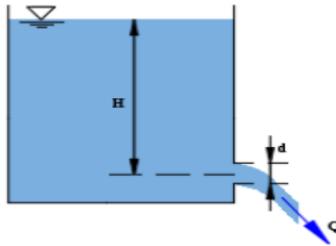


Chapitre 8 Écoulement à travers les orifices et les ajutages

8.1 Écoulement à travers les orifices

8.1.1 Définition

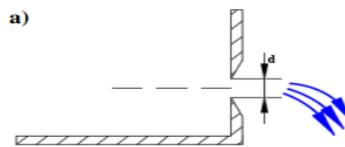
Un orifice est une ouverture de forme régulière dans une paroi ou dans le fonds d'un récipient, à travers laquelle s'écoulent le liquide contenu dans le récipient en restant complètement submergé.



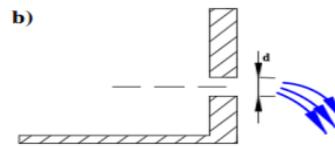
8.1.2 Classification des orifices

Les orifices sont classés suivant leur taille, la forme, la nature de l'écoulement qui passe à travers et aussi suivant la nature de la paroi.

- Les orifices sont classés comme orifice larges (grand) ou orifice petit suivant leur taille et la charge du liquide dessus. Si le rapport entre la charge et la hauteur de l'orifice H/d est supérieur à 5 ($H/d > 5$), l'orifice est dit petit si non il est dit grand ou large.
- Suivant leurs l'épaisseur de la paroi est classé en orifice a paroi mince ou épaisse. Si l'épaisseur de la paroi ne dépasse pas trois rayon ($3r$), l'orifice est dit orifice à paroi mince sinon il est dit orifice à paroi épaisse.

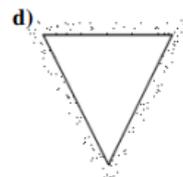
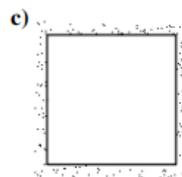
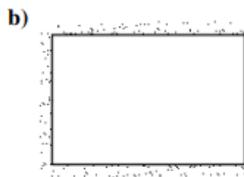
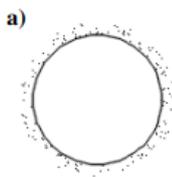


a) orifice à paroi mince



b) orifice à paroi épaisse

- Suivant leurs formes les orifices sont classés en orifice circulaire, triangulaire, rectangulaire ou carré.

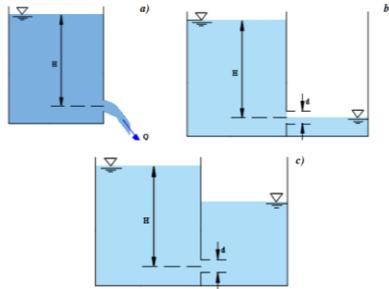


orifice : a) circulaire ; b) rectangulaire ; c) carré ; d) triangulaire.

- Suivant l'écoulement qui se fait à travers on distingue : orifice dénoyé, orifice noyé partiellement et totalement noyé.

a) Orifice dénoyé

b) orifice noyé partiellement



c) orifice totalement noyé

8.1.3 Coefficients hydrauliques

Les coefficients hydrauliques sont :

- Le coefficient de vitesse C_V .
- Le coefficient de contraction C_C .
- Le coefficient de débit C_d .

8.1.3.1 Le coefficient de vitesse C_V

C'est le rapport entre la vitesse réelle (U_R) de l'écoulement et la vitesse théorique

$$(U_{Th}). \quad C_V = \frac{U_R}{U_{Th}} = \frac{\sqrt{2gH_R}}{\sqrt{2gH}} = \sqrt{\frac{H_R}{H}}$$

H_R est la charge réelle de l'écoulement en tenant compte de la perte de charge.

C_V varie entre 0,95 et 0,99. Pour les orifices à paroi mince, on prend $C_V = 0,98$

8.1.3.2 Le coefficient de contraction C_C

Il décrit la contraction de la veine liquide à la sortie de l'écoulement, il est égal au

rapport entre la section contractée S_C et la section réelle de l'orifice S . $C_C = S_C/S$

La valeur de C_C varie entre 0,61 et 0,69 suivant la forme de l'orifice, la charge du liquide au-dessus de l'orifice. En général on prend une valeur autour de 0,64

8.1.3.3 Le coefficient de débit C_d

Le coefficient de débit est défini comme le rapport entre le débit réel (Q_R) sortant de

l'orifice et le débit théorique (Q_{th}). $C_d = \frac{Q_R}{Q_{th}} = \frac{U_R S_C}{U_{th} S} = C_V C_C$

Le coefficient de débit varie entre 0,61 et 0,65. La valeur 0,62 est souvent prise.

$$Q = C_d S \sqrt{2gH}$$

8.1.4 Orifices non noyés

En appliquant le **théorème de Bernoulli** entre un point A à la surface libre et un point B de la section contractée.

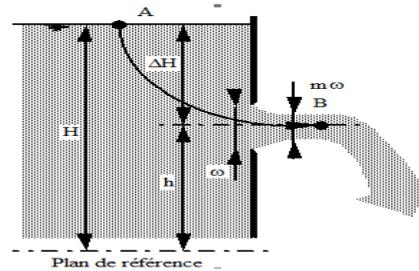
Soit ω la surface de l'orifice et $m\omega$ la surface de la section contractée ; m est appelé coefficient de contraction ($m < 1$).

En A : $V_A = 0$ $P_A = P_{atm}$ $z_A = H$

En B : $V_B = v$ $P_B = P_{atm}$ $z_B = h$

$$\frac{P_{atm}}{\rho g} + H = \frac{P_{atm}}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + h$$

$$v = \sqrt{2g(H - h)} = \sqrt{2g\Delta H}$$



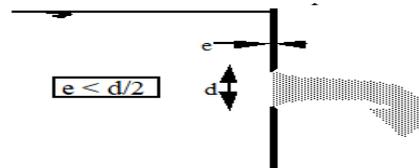
Cette formule est appelée formule de Toricelli où ΔH représente la charge sur l'orifice. Le débit est obtenu en intégrant la vitesse sur toute la section contractée, d'où :

$$Q = \int_{m\omega} \sqrt{2g\Delta H} ds = m\omega \sqrt{2g\Delta H}$$

Cette formule est d'autant moins approchée que l'orifice est petit par rapport à la charge.

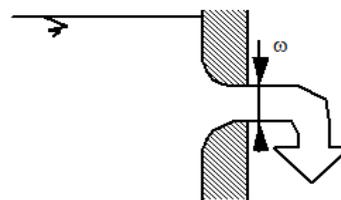
les orifices en mince paroi où l'épaisseur e de la paroi est plus petite que la moitié de la plus petite dimension transversale de l'orifice. Dans ce cas, **le coefficient de contraction** dépend encore de la forme de l'orifice, position par rapport à la verticale et par l'acuité des arêtes.

En première approximation et pour un orifice circulaire, on peut admettre $m = 0,62$



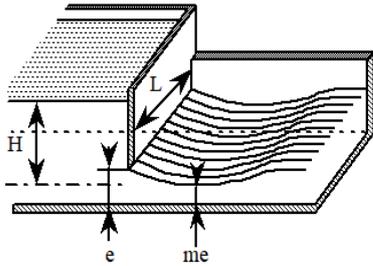
les orifices à veine moulée, où la paroi intérieure de l'orifice épouse la forme de la veine de manière à ce que la section contractée soit à l'intérieur de la paroi.

Dans ce cas, on aurait théoriquement $m=1$ mais en fait, il se produit toujours des pertes de charge et on ne dépasse jamais $m=0,98$.



les orifices à contraction incomplète

où le coefficient de contraction varie entre 0,62 et 1. Le cas le plus fréquent est celui de la vanne de fond verticale où $m = 0,70$. $Q = 0,7 \cdot L \cdot e \cdot \sqrt{2gH}$



Vanne inclinée à 1/1 : $Q=0,74 \cdot L \cdot e \cdot \sqrt{2gH}$

8.1.5 Orifices noyés

On applique le **théorème de Bernoulli** entre les points A de la surface et B de la section contractée.

En A : $V_A = 0$ $P_A = P_{atm}$ z_A

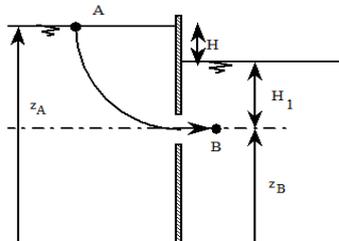
En B : V $P_B = P_{atm} + \rho g H_1$ z_B

$$\frac{P_{atm}}{\rho g} + z_A = \frac{P_{atm}}{\rho g} + H_1 + \frac{v^2}{2g} + z_B \quad z_A = H_1 + \frac{v^2}{2g} + z_B \quad \frac{v^2}{2g} = z_B - z_A - H_1 = H$$

$$V = \sqrt{2gH}$$

On obtient une formule analogue à celle du régime dénoyé mais H représente ici la différence de cote entre les plans d'eau amont et aval.

Les valeurs des **coefficients de contraction** sont légèrement **inférieures** en **régime noyé** qu'en **régime dénoyé**. Par exemple, pour une vanne de fond noyée : $m = 0,61$ (au lieu de 0,70).

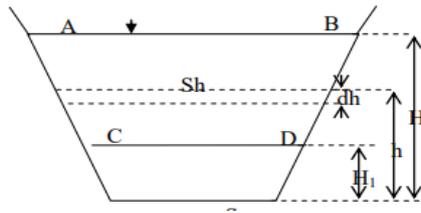


On obtient une formule analogue à celle du régime dénoyé mais H représente ici la différence de cote entre les plans d'eau amont et aval. Les valeurs des **coefficients de contraction** sont légèrement **inférieures** en **régime noyé** qu'en **régime dénoyé**. Par exemple, pour une vanne de fond noyée : $m = 0,61$ (au lieu de 0,70).

8.1.4 Vidange d'un réservoir muni d'un orifice

Pour un réservoir de toute forme, la section du réservoir S_h est suffisamment grande pour que les vitesses à l'intérieur soient négligeables. Le réservoir est muni d'un

orifice au fond de section S.



Soit un élément d'écoulement de largeur (dh) le débit est : $Q = C_d S \sqrt{2gh}$

Pendant un temps dt le niveau baisse de (dh), donc : $Q dt = -S_h dh$

Où $C_d S \sqrt{2gh} dt = -S_h dh$

Cas général: - Le temps nécessaire pour que le niveau AB s'abaisse à CD sera :

$$t = \frac{1}{C_d S \sqrt{2g}} \int_{H_1}^H \frac{S_h}{\sqrt{h}} dh$$

Le temps T nécessaire pour la vidange complète $T = \frac{1}{C_d S \sqrt{2g}} \int_0^H \frac{S_h}{\sqrt{h}} dh$

8.2 Écoulement par les ajutages

Un ajutage est un orifice dont les parois sont prolongées sur une longueur de 2 ou 3 diamètres, ou bien une ouverture ménagée dans un récipient à paroi relativement épaisse.

8.2.1 Différents types des ajutages:

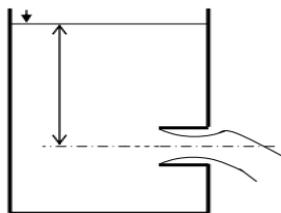
8.2.1.1 Ajutage cylindrique:

On rencontre deux types principaux :

- ❖ L'ajutage intérieur ou rentrant (ajutage de Borda)
- ✓ Ajutage court: Si la longueur de **l'ajutage** est suffisamment courte, le jet sort sans toucher les parois et le même calcul que pour les orifices en mince paroi est possible.

On montre que le **coefficient de contraction** est ici de $m = 0,5$. $Q = 0,5 S \sqrt{2gh}$

- ✓ **Ajutage long:** Si la longueur est suffisamment grande pour que la veine recolle aux parois, le **coefficient de débit** passe à 0,7 et le **coefficient de contraction** demeure de 0,5.

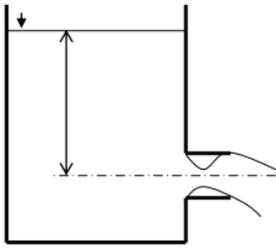


L'ajutage de Borda

- ❖ L'ajutage extérieur ou sortant

Soit un **ajutage** suffisamment long pour que la **veine fluide** recolle aux parois après la

section contractée. $\frac{p_{atm}}{\rho g} + z + H = \frac{p_{atm}}{\rho g} + z + \frac{v^2}{2g} + J$



(Charge en A = Charge en B + Pertes de charge entre A et B)

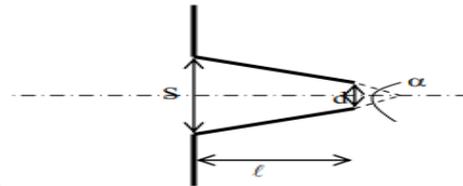
La **perte de charge** entre A et B résulte essentiellement de la variation des sections offertes à l'écoulement et on peut l'estimer à :

$J = 0,49 \frac{v^2}{2g}$ d'où $H = 1,49 \frac{v^2}{2g} \rightarrow v = 0,82 \sqrt{2gh} \rightarrow Q = 0,82 S \sqrt{2gh}$ 0,82 n'est pas un

coefficient de contraction mais le **coefficient de débit**. On montre par ailleurs que le coefficient de contraction de la veine fluide est légèrement augmenté par rapport à la valeur de 0,62. La pression qui règne est inférieure à la pression atmosphérique (phénomène de **Venturi**) et on montre que la dépression y est de 0,75 H.

8.2.1.2 Ajutage conique convergent:

α : Est l'angle au sommet du cône. l : Longueur de l'ajutage. d : diamètre de l'ajutage.



H: charge. $Q = \mu S \sqrt{2gh}$ $\mu : (0,75 \div 0,97)$

8.2.1.3 Ajutage conique divergent:

Si la veine est moulée $Q = S \sqrt{2gh}$, il n'y a pas de perte de charge.

Si on considère la légère perte de charge due au frottement à la paroi, $Q = \mu S \sqrt{2gh}$ donc les coefficients de débit et de vitesse à l'entrée sont égaux, $\mu = \phi = 0,45$.

