

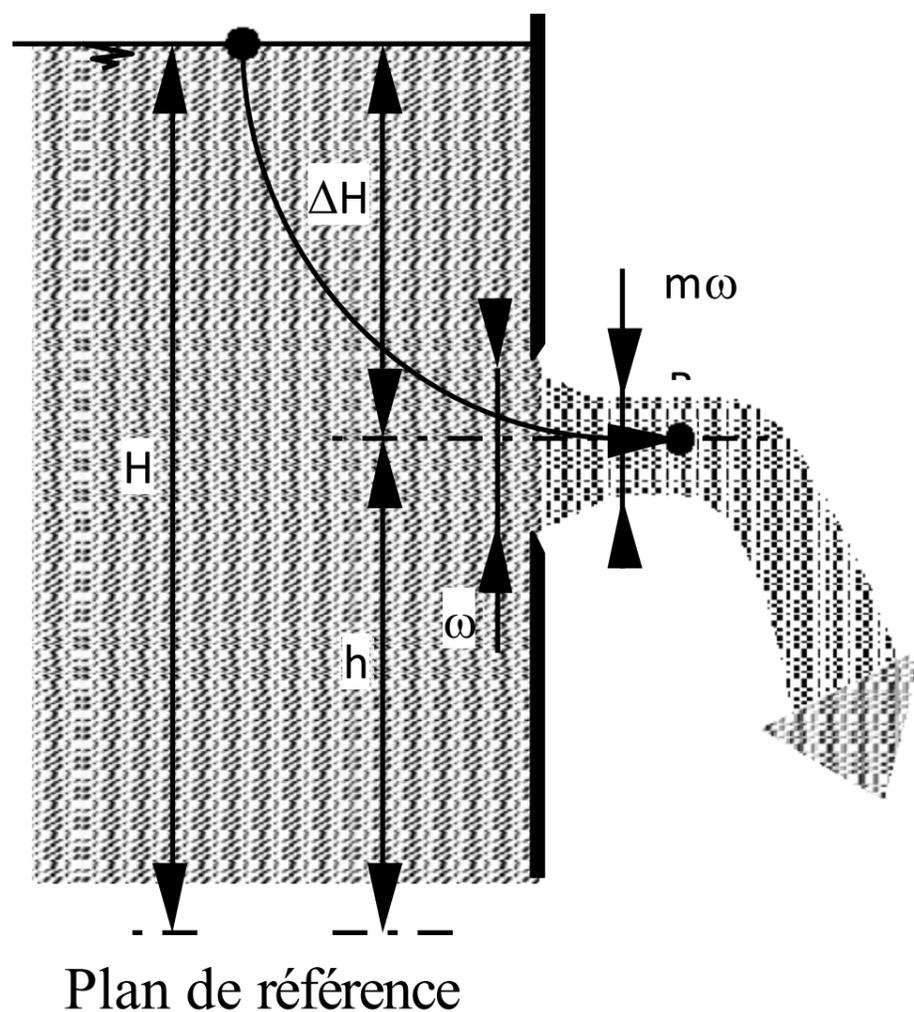
Chapitre II. Écoulements par les orifices, ajutages et déversoirs

Chapitre II : Écoulements par les orifices, ajutages et déversoirs

I. Écoulement par les orifices

I.1. Orifices non noyés

L'écoulement se fait à partir d'un bassin de grande dimension dont le niveau est supposé constant. A travers un orifice ménagé dans la paroi, l'écoulement se fait à l'air libre.



A une certaine distance de la paroi, la veine fluide s'est contractée. Dans cette section, dite contractée, les vitesses sont parallèles entre elles et le terme P^* est constant. On peut alors appliquer 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 ; $P_B = P_{atm}$, $z_B = h$

$$H = \frac{V^2}{2g} + h$$

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

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 :

$$Q = \int_{m\omega} \sqrt{2g(H - h)} ds$$

Cette intégrale est généralement difficile à calculer et on fait l'approximation suivante : la vitesse moyenne dans la section contractée est celle de la molécule qui passe au centre de gravité de cette section.

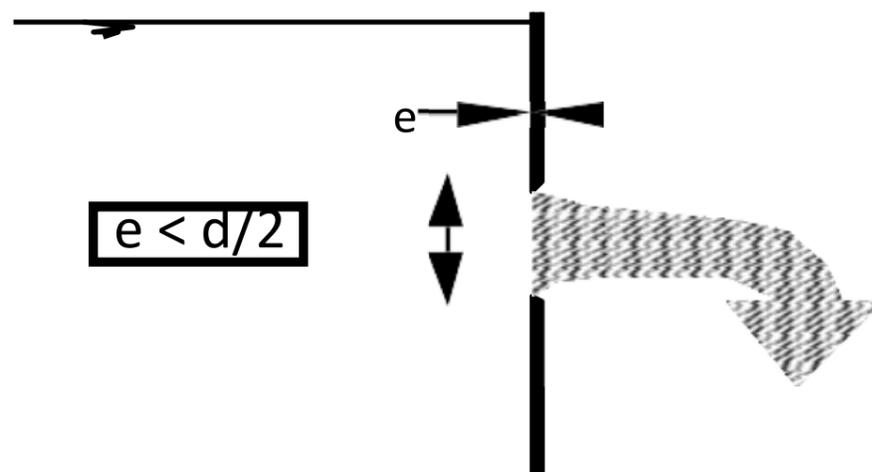
$$Q = m\omega \sqrt{2g(H - h)}$$

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

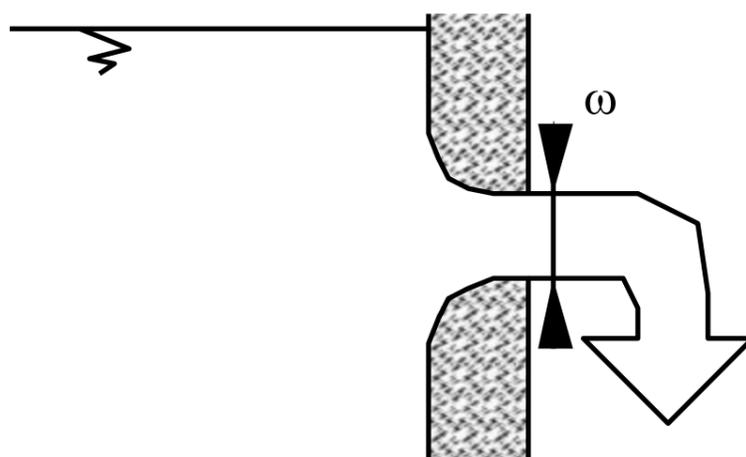
La valeur du coefficient m dépend de la nature de l'orifice et on distingue :

- **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.

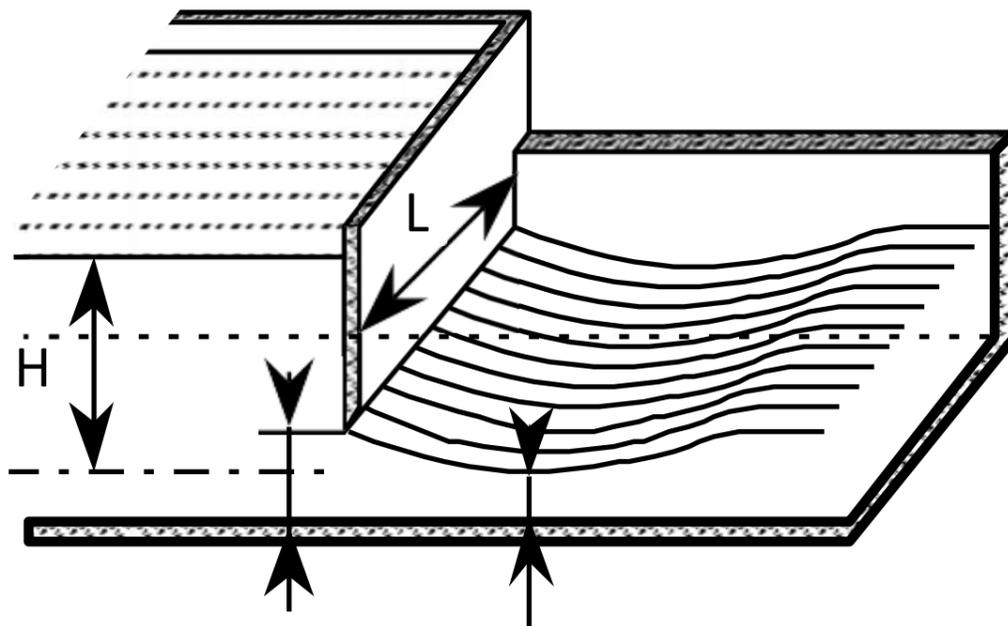


Dans ce cas, on aurait théoriquement $m=1$ mais en fait, il se produit toujours des pertes de charge et on ne dépasse jamais

$m=0,98$.

- **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 où $m = 0,70$.

$$Q = 0.70Le\sqrt{2gH}$$



I.2. Orifices noyés :

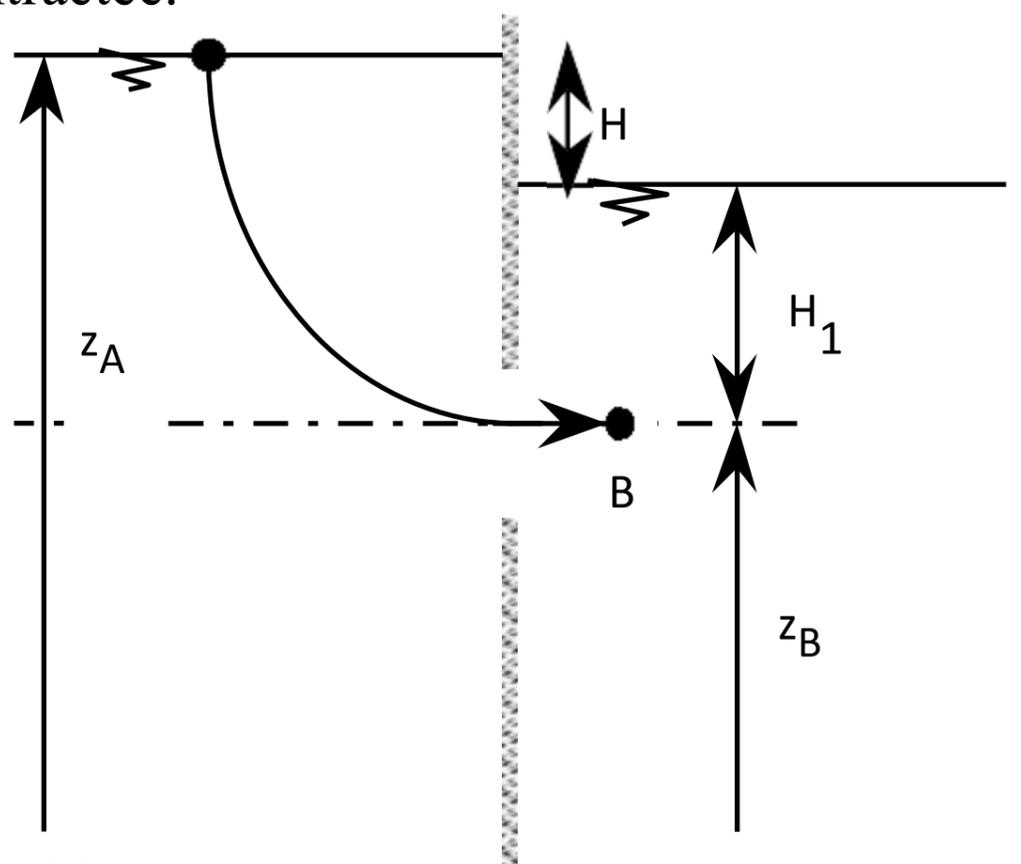
On applique le **théorème de Bernoulli** entre les points A de la surface et B de la section contractée.

$$P_A = P_{atm}; V = 0; z_A$$

$$P_B = \rho g H_1 + P_{atm}; V; z_B$$

$$\frac{V^2}{2g} = z_A - z_B - H_1$$

$$\frac{V^2}{2g} = H$$



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 $0,70$).

II. Écoulement par les ajutages

Un **ajutage** est un petit conduit de forme variable, généralement circulaire, dont on munit un orifice.

II.1. Ajutage cylindrique sortant

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

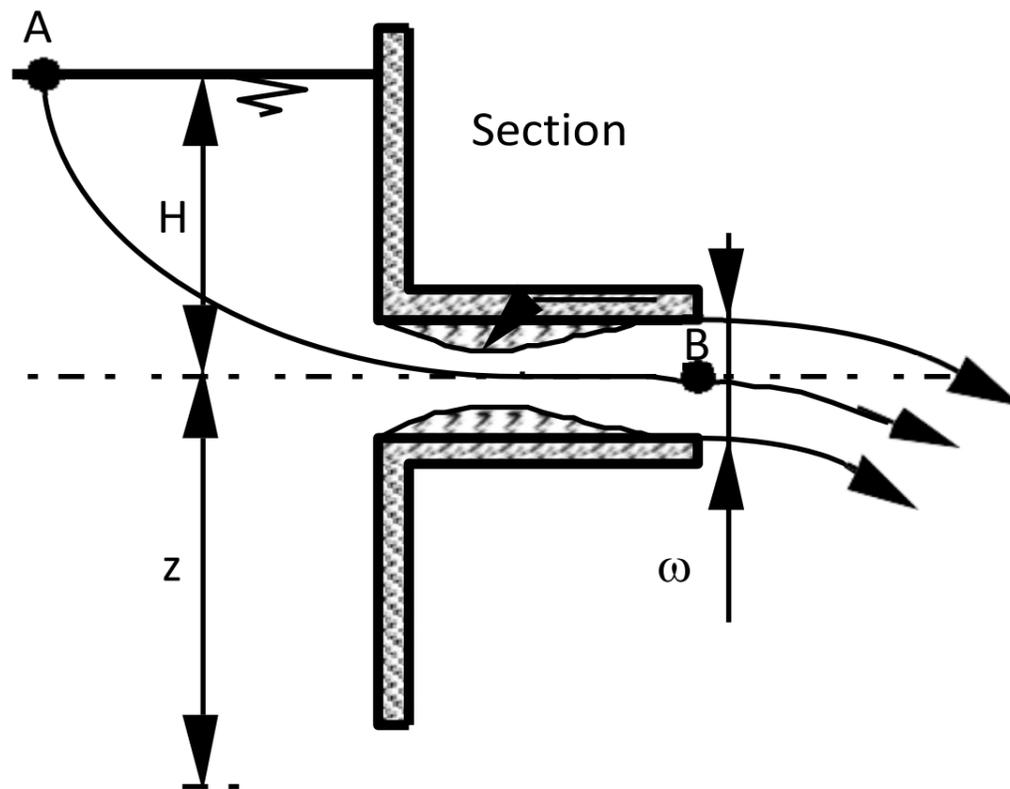
$$\frac{P_A}{\rho g} + z + H = \frac{P_B}{\rho g} + z + \frac{V^2}{2g} + J$$

(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 :
$$J = 0.49 \frac{V^2}{2g} \Rightarrow V = 0.82 \sqrt{2gH} \Rightarrow Q = 0.82 \omega \sqrt{2gH}$$



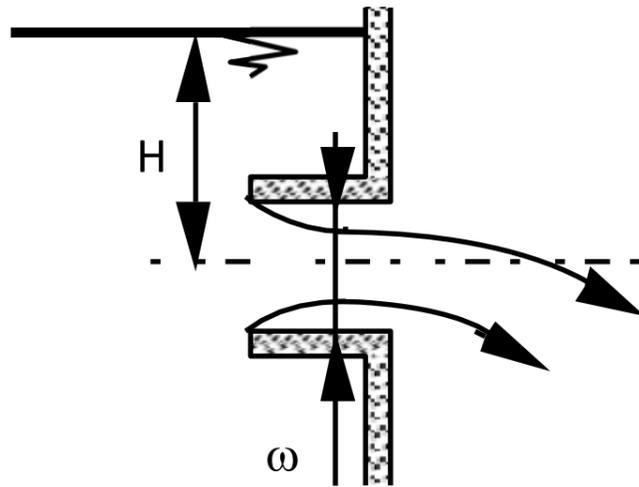
0,82 n'est pas un **coefficient de contraction** mais le **coefficient de débit**. On montre par ailleurs que le coefficient de contraction de la veine fluide est légèrement augmenté par rapport à la valeur de 0,62. La pression qui règne en C est inférieure à la pression atmosphérique (phénomène de **Venturi**) et on montre que la dépression y est de 0,75 H.

II.2. Ajutage cylindrique rentrant ou ajutage de Borda

II.2.1. 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 $m = 0,5$.

$$Q = 0.5\omega\sqrt{2gH}$$



II.2.2. 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.

III. Écoulement par les déversoirs

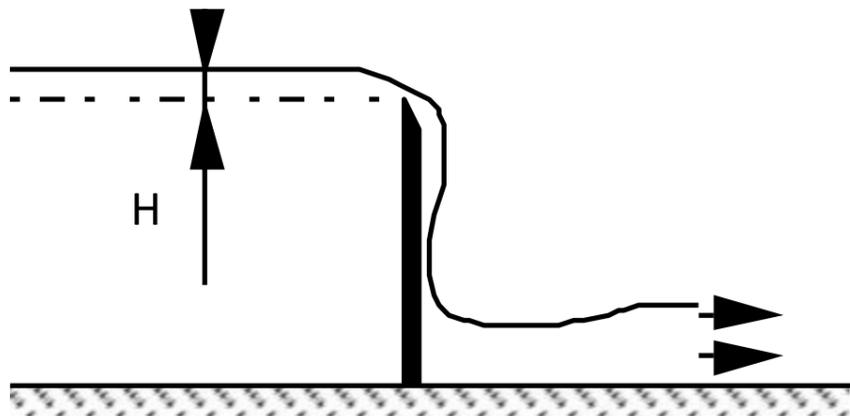
III.1. Définition et principaux types de nappes

Un **déversoir** peut être assimilé à un orifice superficiel ouvert à sa partie supérieure et pratiqué généralement dans une paroi verticale. Le plan d'eau, à une certaine distance en amont du **déversoir**, peut être considéré comme horizontal ; la différence de cote H entre le plan d'eau et le seuil est la **charge**.

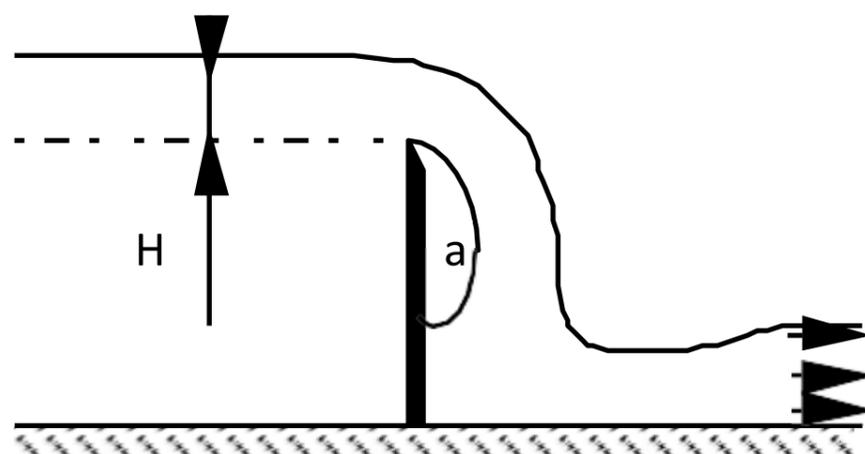
Les différents types de nappes dépendent de la **charge** et du niveau aval.

Pour de très **faibles charges**, la nappe est adhérente à la paroi

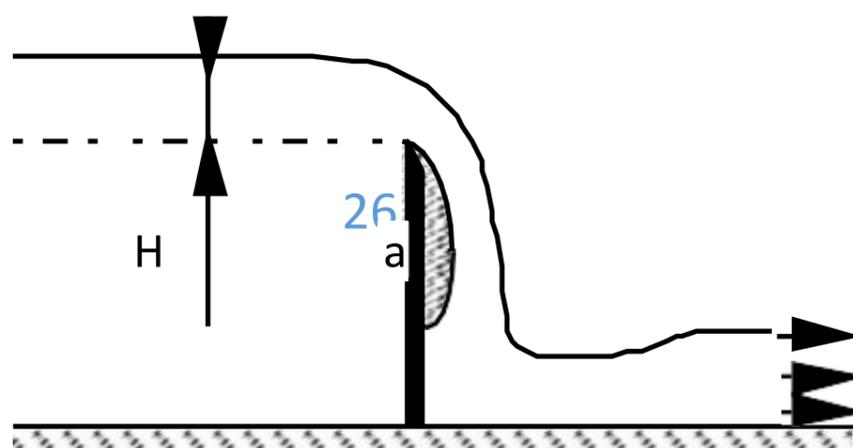
car la vitesse horizontale de l'eau n'est pas suffisante pour éloigner la nappe. On parle alors de **nappe adhérente**.



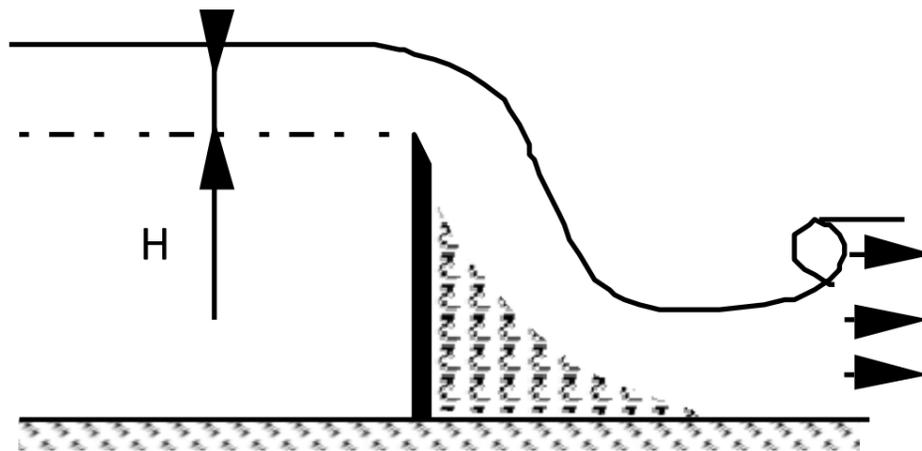
Lorsque la charge augmente, la vitesse croît et la nappe se décolle de la paroi. On parlera alors de **nappe libre** si l'aération de la zone a est possible.



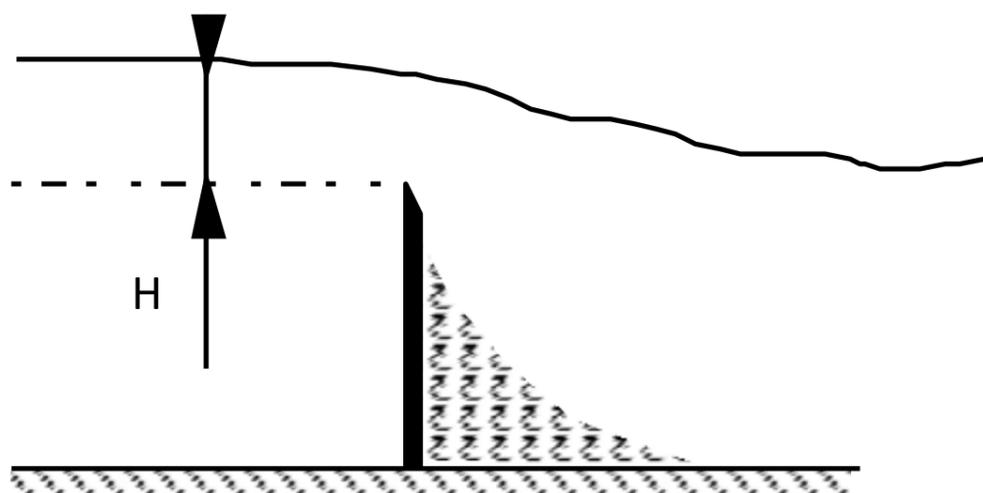
Dans le cas où la zone a n'est pas facilement aérée, il se produit une dépression et on a alors affaire à une **nappe déprimée**.



Si le niveau aval augmente, il arrive un moment où il n'y a plus d'air en a ; on parle alors d'une **nappe noyée en dessous** à ressaut éloigné.



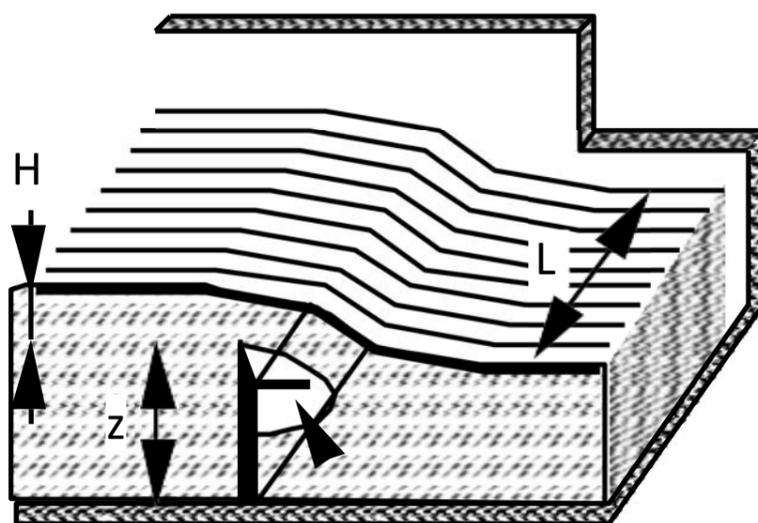
Le niveau aval augmentant encore, le ressaut se rapproche de la nappe déversante jusqu'à recouvrir le pied de la nappe. A ce moment, le débit du déversoir est influencé par le niveau aval. Le niveau augmentant encore jusqu'à être supérieur à celui du seuil, on parlera alors de **déversoir noyé à nappe ondulée**.



III.2. Ecoulement par nappe libre

III.2.1. Déversoir à mince paroi

Un tel **déversoir** doit avoir une épaisseur à la crête inférieure à la moitié de la charge. Par la suite, nous ne considérerons que des déversoirs verticaux. Par application du **théorème de Bernoulli**, la vitesse en un point du plan vertical de la crête, situé à une profondeur h au-dessous du plan d'eau amont, est :



Aération

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

$$\text{d'où; } Q = \mu S \sqrt{2gH}$$

(S = section mouillée ; μ = coefficient de débit)

Dans le cas d'un **déversoir rectangulaire sans contraction latérale** et à nappe libre, **Bazin** a donné pour μ la relation suivante :

$$\mu = \left[0.405 + \frac{0.003}{H} \right] \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H+z} \right)^2 \right]$$

(H : charge ; z : hauteur de pelle)

Le débit est donc :

$$Q = \mu LH \sqrt{2gH}$$

Dans les limites où :

$0,08 \text{ m} < H < 0,70 \text{ m}$, $L > 4 H$ et $0,2 \text{ m} < z < 2 \text{ m}$

En première approximation, on prendra $\mu = 0,43$.

Pour un **déversoir rectangulaire à contraction latérale**, on peut retenir la formule de **Hegly** :

$$\mu = \left[0.405 + \frac{0.0027}{H} - 0.03 \frac{L_1 - L}{L_1} \right] \left[1 + 0.55 \left(\frac{LH}{L_1(H + z)} \right)^2 \right]$$

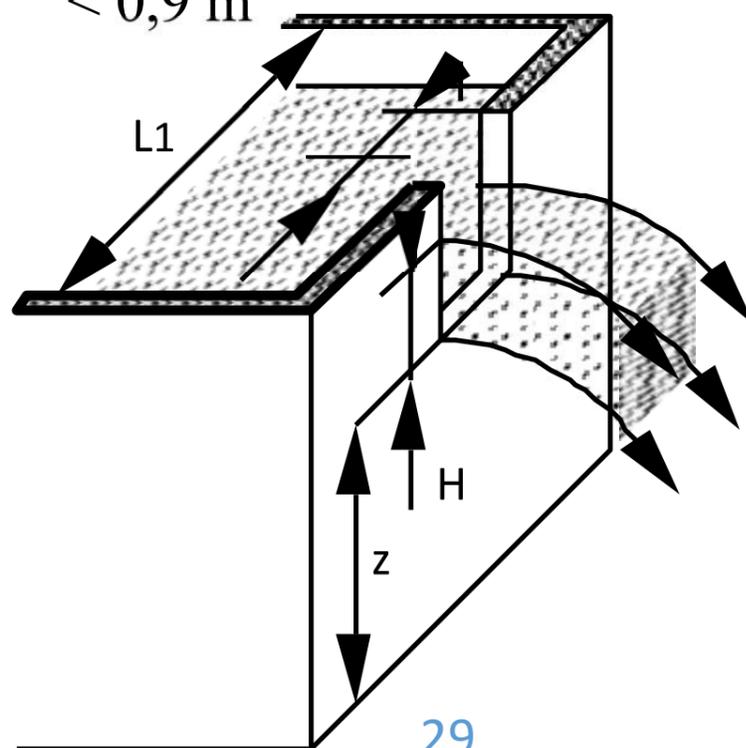
Dans les limites où :

$0,1 \text{ m} < H < 0,6 \text{ m}$

$0,4 \text{ m} < L < 1,8 \text{ m}$

$0,4 \text{ m} < z < 0,8 \text{ m}$

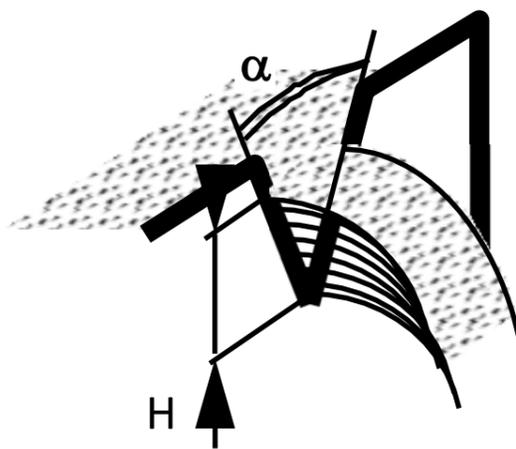
$0,4 \text{ m} < \frac{L_1 - L}{L_1} < 0,9 \text{ m}$



Enfin pour un déversoir triangulaire, on peut retenir la formule de **Gourley et Crimp** :

$$Q = 1.32tg \frac{\alpha}{2} H^{2.47}$$

(H charge sur la pointe, α angle d'ouverture)



III.2.2. Déversoir à seuil épais

Dans un tel déversoir, les filets liquides sont parallèles et horizontaux au droit du seuil. Si h est la hauteur d'eau au-dessus du seuil et H la charge, on a par application **du théorème de**

Bernoulli :

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

D'où le débit pour une largeur L :

$$V = Lh\sqrt{2g(H - h)}$$

A priori H et h ne sont pas indépendants et lorsque l'on baisse le

niveau aval (à partir de $h = H$), on constate que le débit augmente jusqu'à atteindre une valeur maximale. Lorsque celle-ci est atteinte l'influence du niveau aval ne se fait plus sentir. Le niveau h est alors à une valeur telle qu'elle maximise le débit :

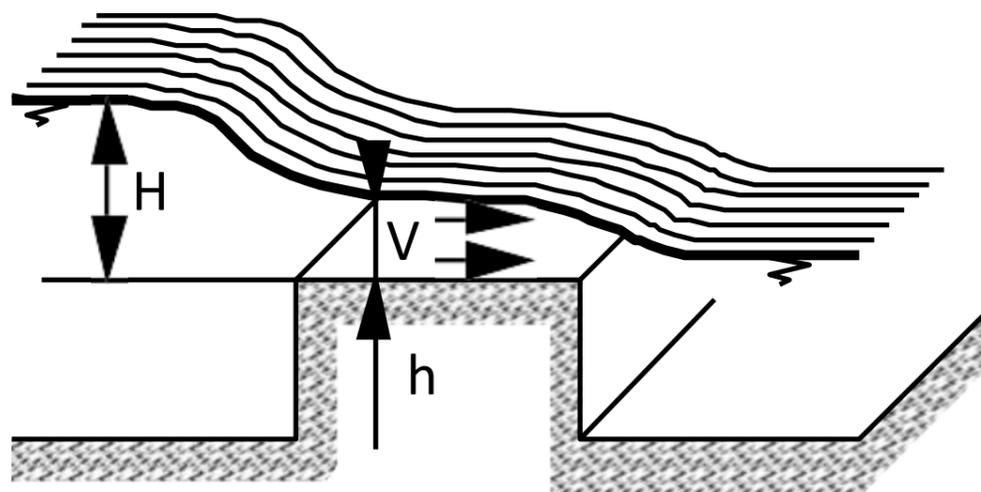
$$Q = \max i \rightarrow \frac{\partial Q}{\partial h} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial h} = L\sqrt{2g(H-h)} - \frac{Lh}{2} \frac{2g}{\sqrt{2g(H-h)}}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial h} = 0 \rightarrow h = \frac{2}{3}H$$

D'où :

$$Q = .0385LH\sqrt{2gH}$$



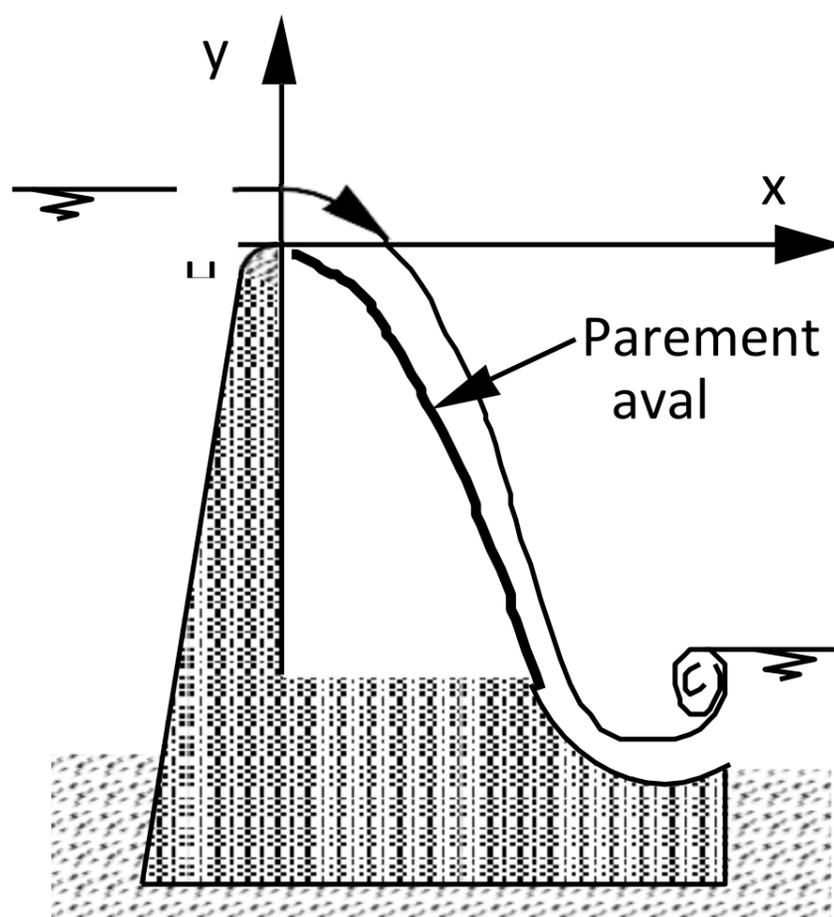
III.2.3. Déversoir à seuil déversant

Ce type de déversoir est principalement employé comme évacuateur de crue de barrages. Le but recherché est un profil

donnant le meilleur **coefficient de débit** μ (minimisation du volume de béton), tout en respectant une marge de sécurité en regard des effets destructeurs de la lame déversante.

Prenons pour profil de référence celui de la lame naturelle pour une charge donnée. Si la charge (et le débit) augmente la paroi se trouvera en dessous du profil théorique, ce qui améliore le coefficient de débit mais provoque par contre une dépression et donc des risques d'altération du parement aval de l'ouvrage. En général, on cherche un compromis et parmi ceux-ci, celui proposé par **Creager** est des plus utilisés. **Le coefficient de débit** μ est de 0,492. Ce profil calculé pour une charge H présente une sécurité de 10% (pas de dépression si $H' < 1,1H$).

$$y = -0.47H \left(\frac{x}{H} \right)^{1.8}$$

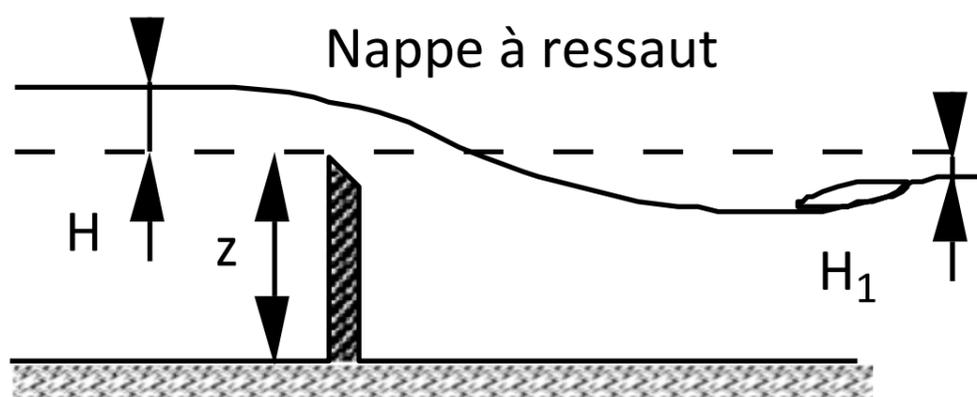


III.2.4 Ecoulement par nappe noyée en dessous

Dans le cas d'une **nappe noyée** en dessous, sans ressaut ou avec un ressaut éloigné on pourra utiliser **les formules des déversoirs avec nappe libre** mais en multipliant le coefficient de débit \square par un terme correctif k tel que :

$$k = 0.878 + 0.128 \frac{z}{H}$$

sous réserve: $H > 0,75(z - H_1)$ et $H > H_1$ ou $H > 0,375 z$



Si le **ressaut** recouvre le pied de la nappe on prendra un terme correctif k tel que :

$$k = 1.05 + 0.15 \frac{H_1}{H}$$

Sous réserve d'avoir : $H > H_1$

