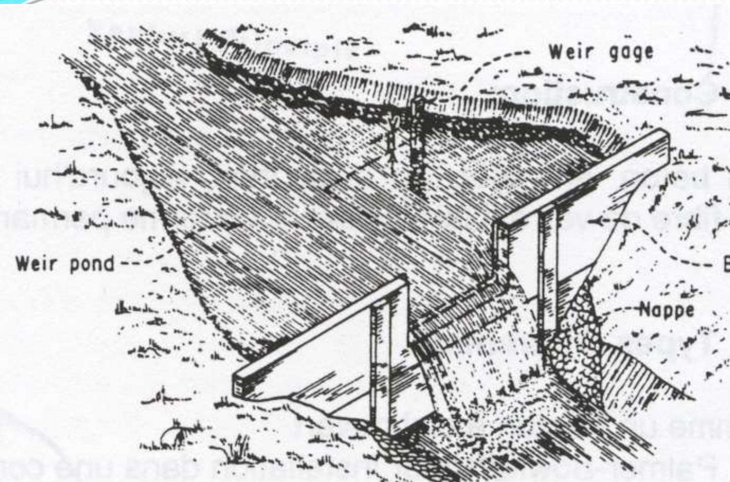
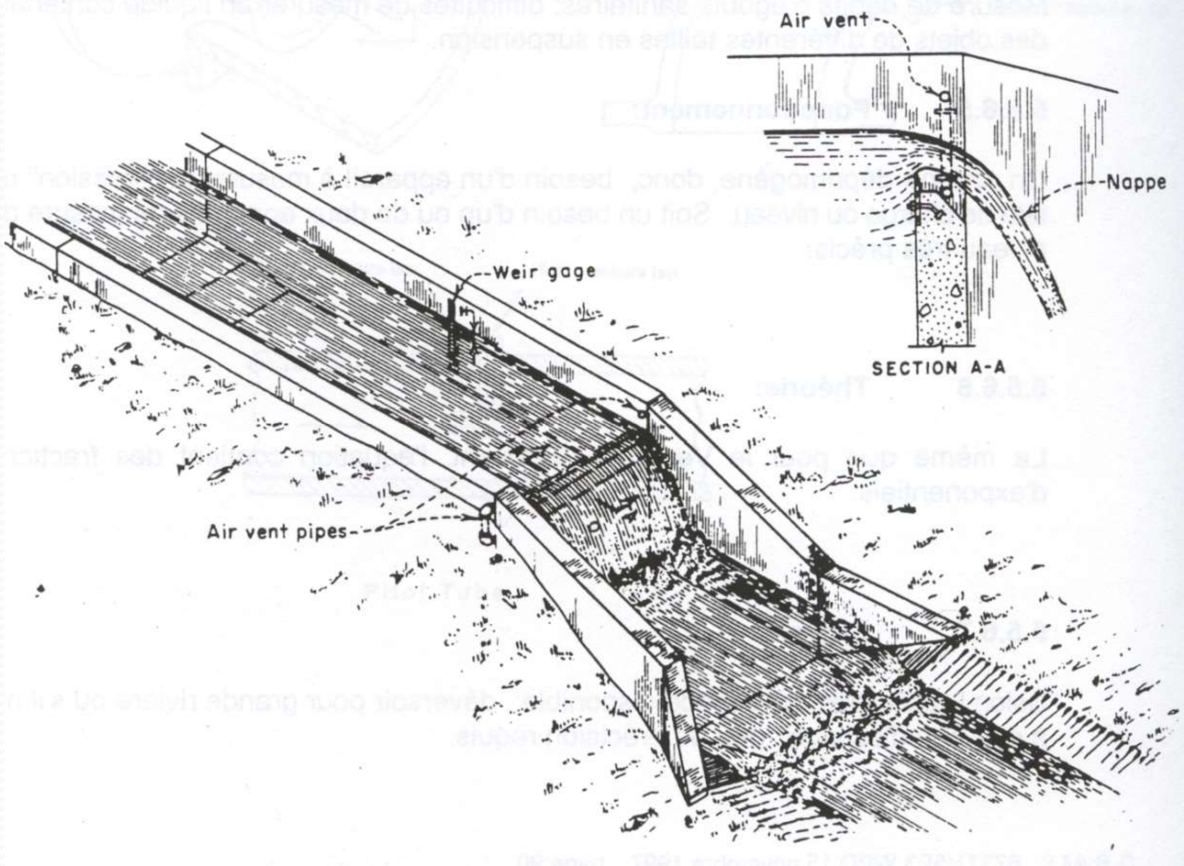
CH IV

Déversoirs
&
Vannes de fond

H BOUCHELKIA



The Cipolletti or V-Notch Weirs may be similarly installed.



Ecoulements par déversoirs

I. Introduction :

Le déversoir est un ouvrage de bifurcation qui permet un partage des débits dans deux canaux ou collecteurs. Par rapport à une simple bifurcation, où les débits sont partagés quelle que soit la hauteur d'eau, dans un déversoir, le déversement n'a lieu que si la hauteur du fluide atteint la hauteur de la crête déversante.

Le déversoir est un orifice ouvert à sa partie supérieure, il est utilisé pour le control et la mesure des débits dans les canaux à ciel ouvert. Il existe plusieurs formes de déversoirs :

a) Déversoir rectangulaire

b) Déversoir triangulaire

c) Déversoir trapézoïdal

d) Déversoir étagé

Il existe en outre deux types de déversoirs :

a) Déversoir à mince paroi, là où l'épaisseur du seuil déversoir est inférieur à la moitié de la charge dynamique ($\delta<0.5$ H).

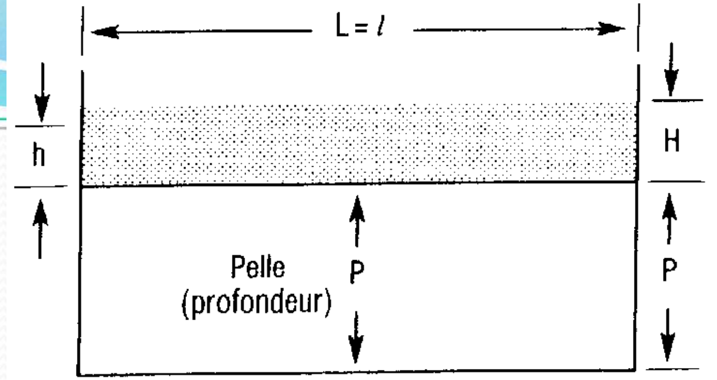
b) Déversoir à paroi épaisse, c'est les déversoirs dont l'épaisseur du seuil est supérieure à la moitié de la charge dynamique ($\delta>0.5$ H).

Déversoirs

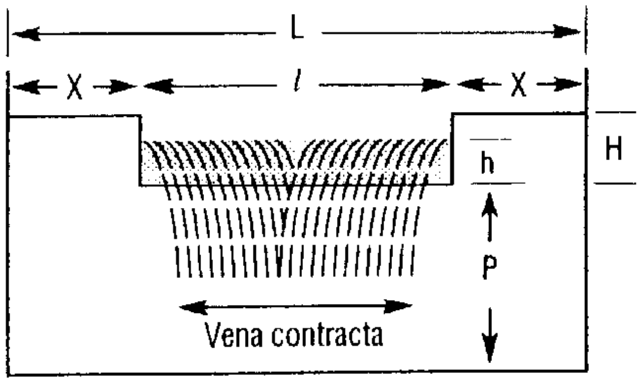
- Barrages perpendiculaires à l’écoulement du liquide.
- Le trop plein s’écoule par un déversoir.
- En amont, augmentation du niveau par rapport à l’aval.
- La mesure de ce niveau permet de déduire le débit.

- Éléments primaires de mesure:
  - L = largeur du canal en amont;
  - l = largeur du seuil déversant (crête);
  - H = niveau maximal du liquide;
  - h = dénivellation du liquide;
  - P = pelle ou profondeur du déversoir
  - X = distance entre l’extrémité de la crête et la paroi latérale.

- Formes possibles:
  - Rectangulaire (barrage total)
  - Rectangulaire à contraction latérale
  - Trapézoïdal ou de Cippoletti
  - Triangulaire ou à gorge
  - Linéaire (ou proportionnel)

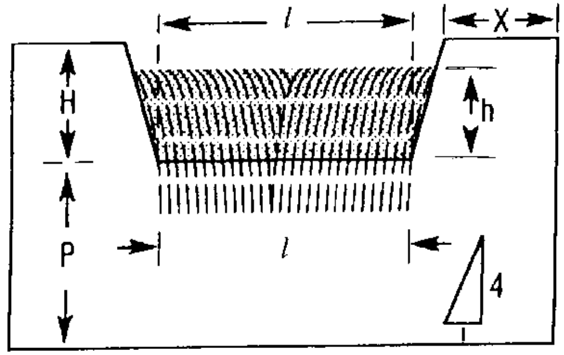


a) Rectangulaire sans contraction

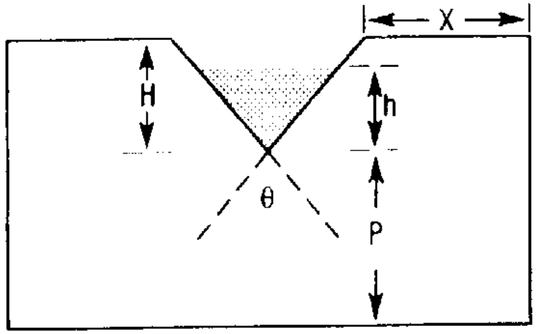


b) Rectangulaire à deux contractions

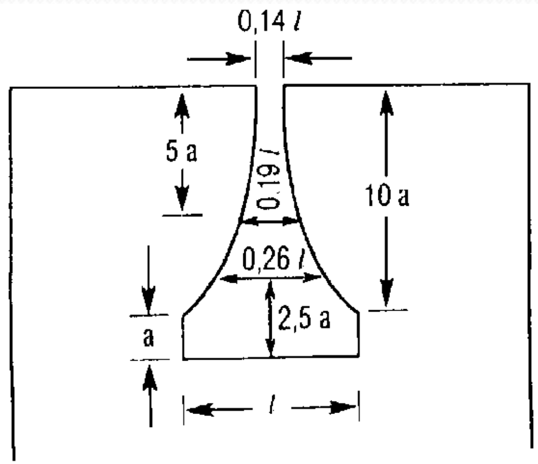
vc < l



c) Cipolletti ou trapézoïdal



d) Gorge ou triangulaire



f) Proportionnel ou linéaire

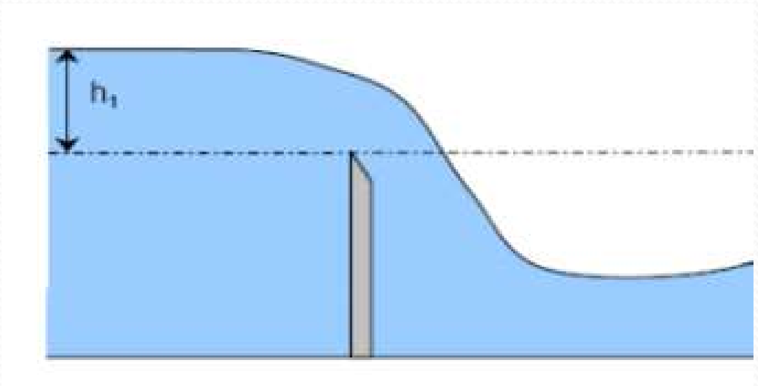
diversoir linéaire f: $2{,}3 \leq \frac{l}{a} \leq 25$

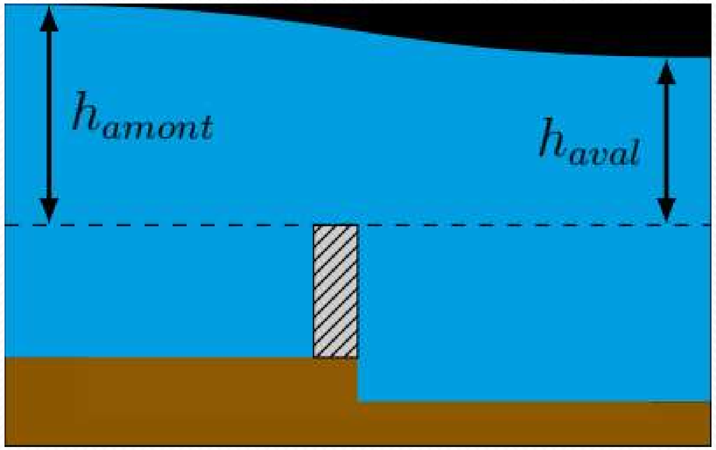
$2{,}5\ a \leq h \leq 10\ a$

Déversoir (Seuil) rectangulaire sans contraction à mince paroi dénoyé

Malgré la complexité de l'écoulement à travers un déversoir, il est possible d'établir une expression pour le calcul du débit. On constate expérimentalement dans la grande majorité des cas qu'au niveau du seuil la charge totale reste constante. On fera l'hypothèse que :

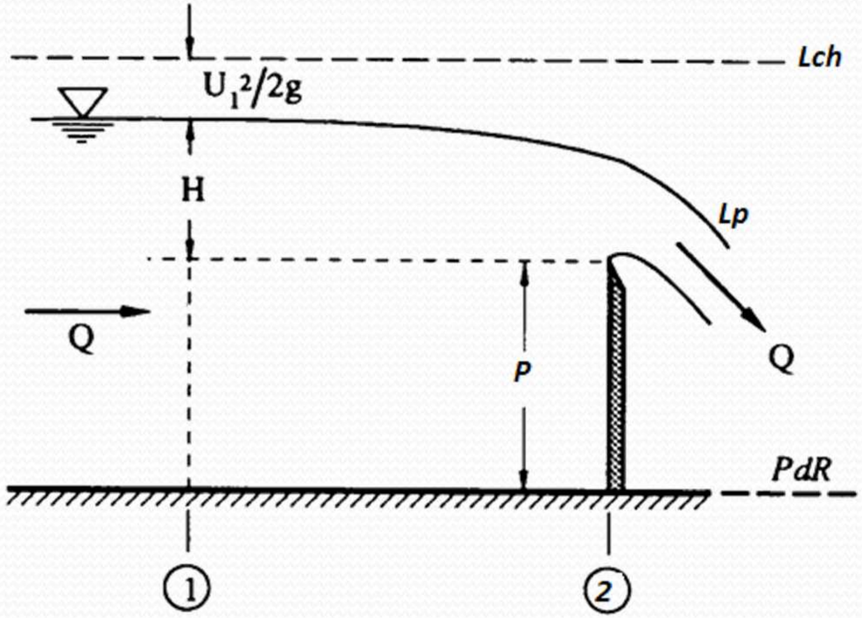
- ✓ dans le plan vertical du seuil, les lignes de courant sont horizontales et la pression (p=atm) est constante. Il s'agit là d'une hypothèse grossière, car dans ce plan, la vitesse est inclinée par rapport à l'horizontale d'un angle qui n'est pas constant, et les lignes de courant sont courbes.
- ✓ Les phénomènes de viscosité, turbulence et capillarité sont négligeables.
- ✓ A l'amont du seuil, la vitesse est supposée constante et le plan d'eau horizontal.





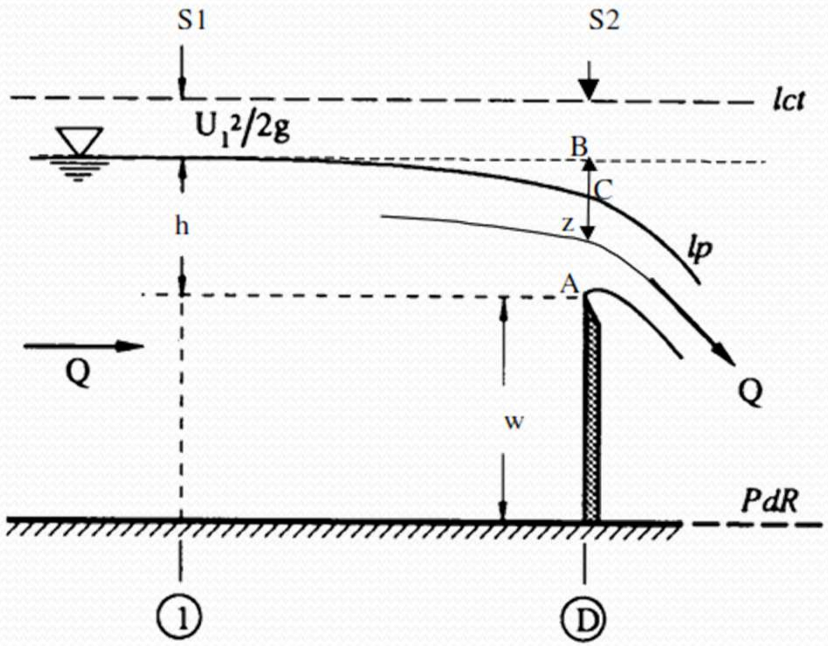
Etude des déversoirs en régime dénoyé

En appliquant l'équation de l'énergie entre la section suffisamment en amont du déversoir située au niveau de la surface libre et une section au droit du déversoir située au niveau de la surface libre, on obtient :



$$\frac{V_1^2}{2g} + H + P = \frac{V_2^2}{2g} + H + P - z$$

$$\Rightarrow V_2 = \sqrt{V_1^2 + 2gz}$$



V_1 est la vitesse d'approche

Dans la plupart des cas $V_2 >> V_1$

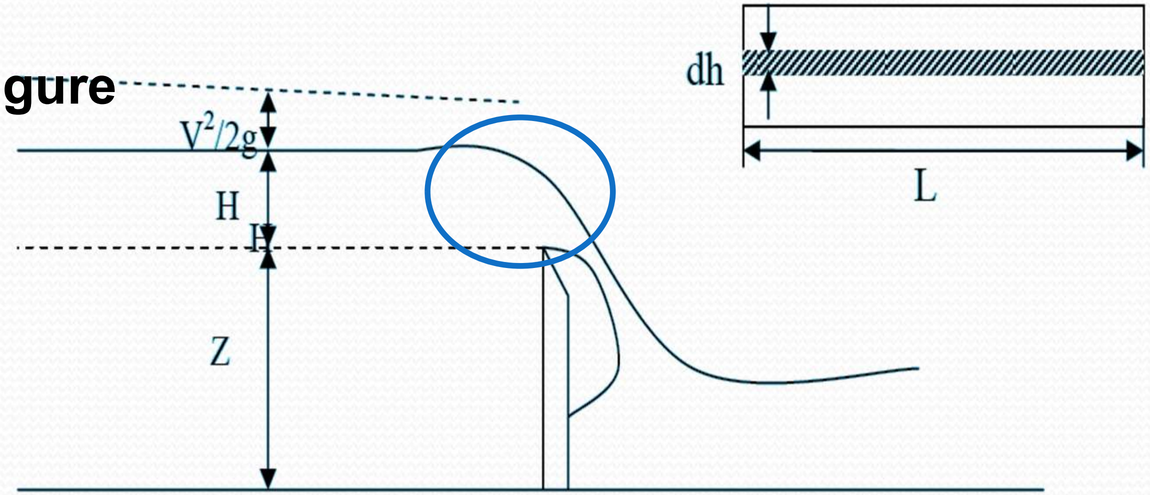
$$\Rightarrow V_2 = \sqrt{2g \cdot z}$$

Etude des déversoirs

on déterminera les expressions théoriques du débit pour les divers formes de déversoirs traités.

2-1-Déversoir rectangulaire :

Considérant le déversoir de la figure
H : La charge dynamique
(charge sur le déversoir)
L : Longueur du déversoir
Z : La hauteur de pèle.



Considérant aussi une tranche élémentaire de l'écoulement d'épaisseur dh et de longueur L, la surface de la tranche est donc : ds**= dh x L**

- **Comme dans le cas de l'orifice, la vitesse de l'écoulement est :** $\boldsymbol{V = \sqrt{2gh}}$
- **Le débit dQ qui s'écoule à travers cette tranche liquide seras :**

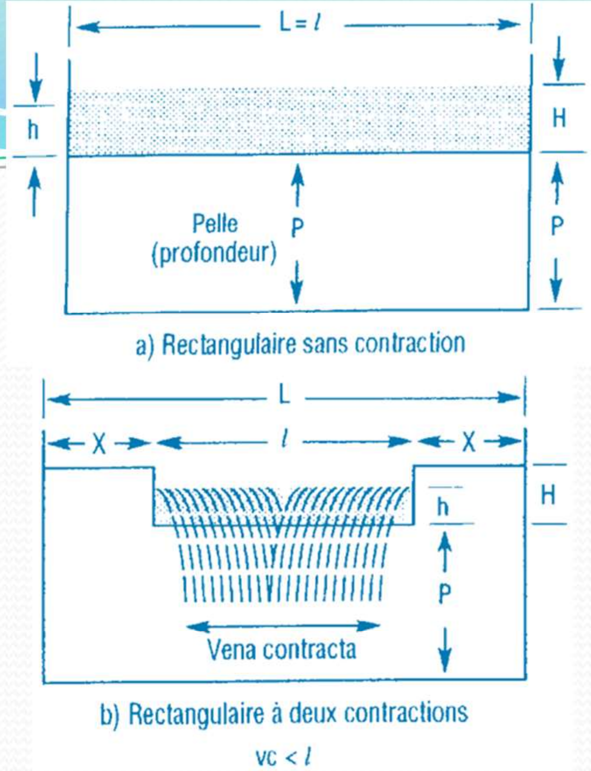
$dQ = V \cdot \sigma = V \cdot C_C \cdot ds$= $\boldsymbol{dQ = \sqrt{2gh} \cdot L \cdot C_C \cdot dh}$

C_C : étant un coefficient tenant compte de la contraction de la nappe à son passage dans l'échancrure dans la paroi mince .

$$\int dQ = \int \sqrt{2gh} \cdot L \cdot C_c \cdot dh$$

$$Q = \int_0^H L \cdot C_c \cdot \sqrt{2gh} \cdot dh = L \cdot C_c \cdot \sqrt{2g} \int \sqrt{h} \cdot dh$$

$$Q = \frac{2}{3} C_c \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$



$$Q = C_d \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

Avec le coef de débit $C_d = \frac{2}{3} C_c$

En pratique dans le cas d'un déversoir à mince paroi rectangulaire pour une première approximation prendre:

C_d= 0,43 sans contraction ; c_d=0,40 avec contraction latérale

- Système métrique:

$$Q = c_d \cdot \sqrt{2g} \cdot \left(l - 0.1 \cdot n \cdot H\right) H^{3/2} = m \cdot \left(l - 0.1 \cdot n \cdot H\right) H^{3/2}$$

$$Q = 0,43 \cdot \sqrt{2g} \cdot \left(l - 0,1 \cdot n \cdot H\right) H^{3/2} \approx 1,83 \left(l - 0,1 \cdot n \cdot H\right) H^{3/2}$$

  - Avec $m = c_d \cdot \sqrt{2g}$ "coef du déversoir"

  n=0 barrage total, n=1 ou 2 à contraction; H, l en mètres, Q en m^3/s

2-2-Déversoir triangulaire :

Soit le déversoir de la figure -2-

:

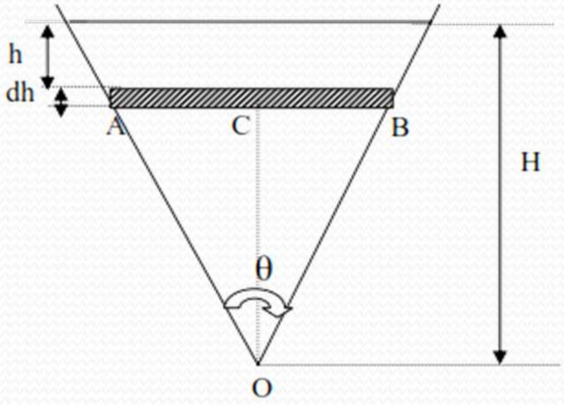


Figure-2- Déversoir triangulaire

Soit le déversoir de la figure –2-

θ : L'angle du déversoir

Considérons une tranche d'écoulement d'épaisseur dh , on peut déduire que :

$$\tan(\frac{\theta}{2}) = \frac{AC}{OC} = \frac{AC}{H-h}$$

$$AC = \tan(\frac{\theta}{2})(H-h)$$

$$AB = 2\tan(\frac{\theta}{2})(H-h)$$

La surface de la tranche Liquide sera : $S = AB \times dh$

Où : $S = 2\tan(\frac{\theta}{2})(H-h)dh$

La vitesse d'écoulement : $V = \sqrt{2gh}$

Le débit élémentaire serait :

$$dQ = 2\tan(\frac{\theta}{2})(H-h)\sqrt{2g}dhC_d$$

$$Q = \int_0^H 2C_d\tan(\frac{\theta}{2})\sqrt{2g}(Hh^{\frac{1}{2}} - h^{\frac{3}{2}})dh$$

$$Q = \frac{8}{15}C_d\sqrt{2g}\tan(\frac{\theta}{2})H^{\frac{5}{2}}$$

$$Q = \int_0^H 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right)(H-h)\sqrt{2gh} \cdot cd \cdot dh$$

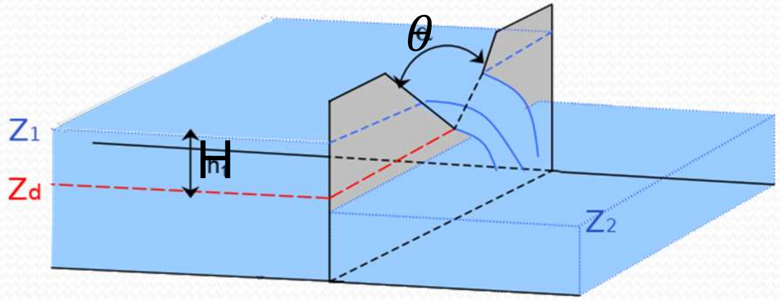
$$Q = cd \cdot 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right)\sqrt{2g}\int_0^H (H-h)\sqrt{h} \cdot dh$$

$$Q = cd \cdot 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right)\sqrt{2g}\int_0^H \left(H\sqrt{h} - h\sqrt{h}\right)dh$$

$$Q = cd \cdot 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right)\sqrt{2g}\int_0^H \left(Hh^{1/2} - h^{3/2}\right)dh$$

$$Q = cd \cdot 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right)\sqrt{2g}\int_0^H \left(Hh^{1/2} - h^{3/2}\right)dh$$

$$Q = cd \cdot 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right)\sqrt{2g}\left(H\int_0^H h^{1/2}dh - \int_0^H h^{3/2}dh\right)$$



$$Q = cd \cdot 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right)\sqrt{2g}\left(H \cdot \frac{2}{3}\, h^{\frac{3}{2}}\Big]_0^H - \frac{2}{5}h^{\frac{5}{2}}\Big]_0^H\right)$$

$$Q = cd \cdot 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right)\sqrt{2g}\left(\frac{2}{3}H^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{5}H^{\frac{5}{2}}\right)$$

$$Q = cd \cdot 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right)\sqrt{2g}\left(\frac{2}{3} - \frac{2}{5}\right)H^{\frac{5}{2}} \qquad Q = cd \cdot 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right)\sqrt{2g}\left(\frac{4}{15}\right)H^{\frac{5}{2}}$$

$$Q = \frac{8}{15}cd\sqrt{2g} \cdot tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H^{\frac{5}{2}}$$

2-3-Déversoir trapézoïdal :

Soit le déversoir de la figure-3-

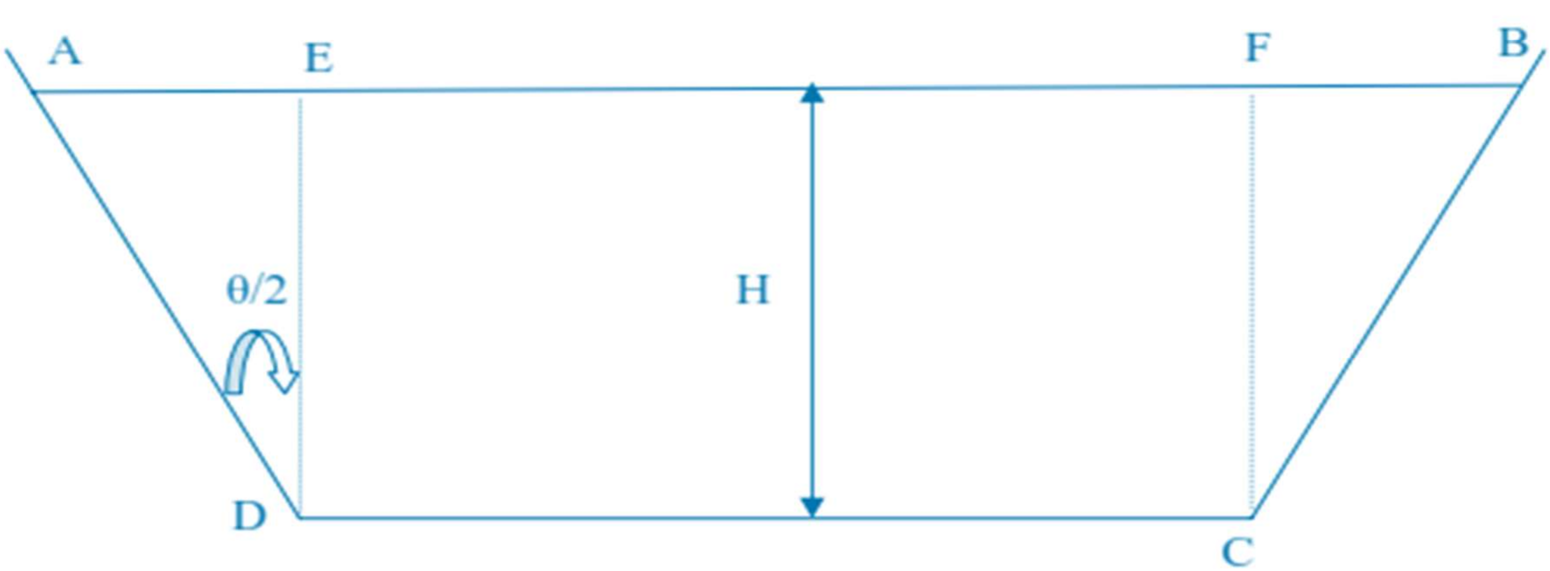


Figure-3-: Déversoir trapézoïdal.

Le débit totale (Q_{ABCD}) est égale a :

$$Q_{ABCD}=Q_{AED}+Q_{EFDC}+Q_{FBC}$$

$$Q_{AED}=Q_{FBC}$$

Donc : $Q_{ABCD}=2Q_{AED}+Q_{EFDC}$

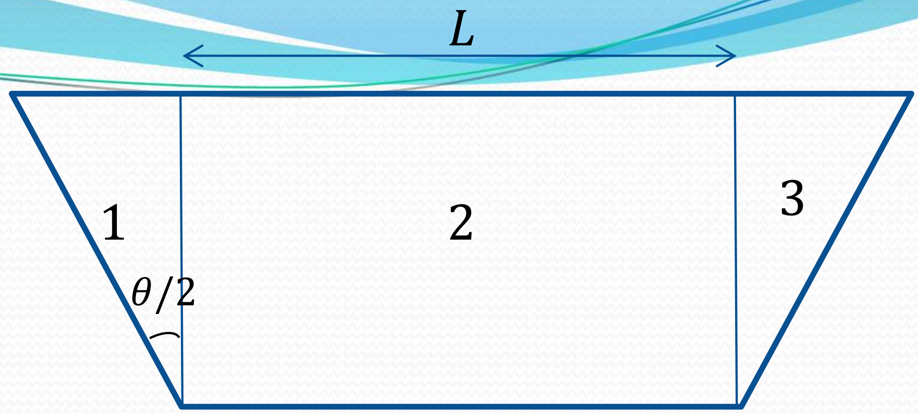
$$Q_{AED} = \frac{8}{15} C_{d1} \sqrt{2g} \tan(\frac{\theta}{2}) H^{\frac{5}{2}}$$

$$Q_{EFDC} = \frac{2}{3} C_{d2} L \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}$$

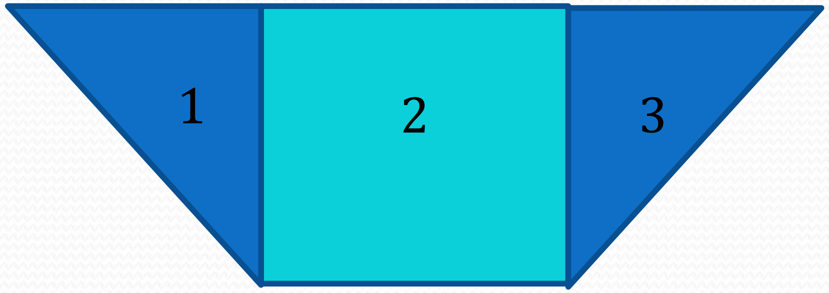
D'où :

$$Q_{ABCD} = \frac{8}{15} C_{d1} \sqrt{2g} \tan(\frac{\theta}{2}) H^{\frac{5}{2}} + \frac{2}{3} C_{d2} L \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}} \quad ....(3)$$

$S = S1 + S2 + S3 =$  $+$ 



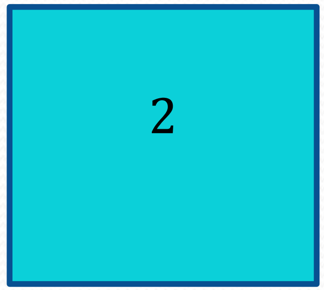
$$Q = Q1 + Q2 + Q3$$



$Q2 = Debit\ d'un\ déversoir\ réctangulaire$

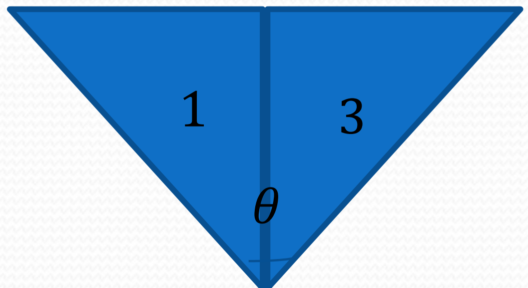
$1 + Q3 = Debit\ d'un\ déversoir\ triangulaire$

$$Q1 + Q3 = \frac{8}{15} cd_1 \sqrt{2g} \cdot tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H^{\frac{5}{2}}$$



$$Q2 = \frac{2}{3} cd_2 \sqrt{2g} \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

$$\boxed{Q = \frac{8}{15} cd_1 \sqrt{2g} \cdot tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H^{\frac{5}{2}} + \frac{2}{3} cd_2 \sqrt{2g} \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}}$$



Buts des déversoirs et des seuils

1. Ouvrage de réglage et de contrôle pour une prise d'eau ou une centrale hydroélectrique.
2. Dispositif de mesure de débit.
3. Point fixe dans un cours d'eau pour limiter les érosions du lit.

4. En combinaison avec une prise d'eau

a)Augmenter et contrôler le niveau d'eau.
b)Diminuer la vitesse de l'écoulement.
c)Diriger le courant vers la prise d'eau.

Faciliter le captage d'eau

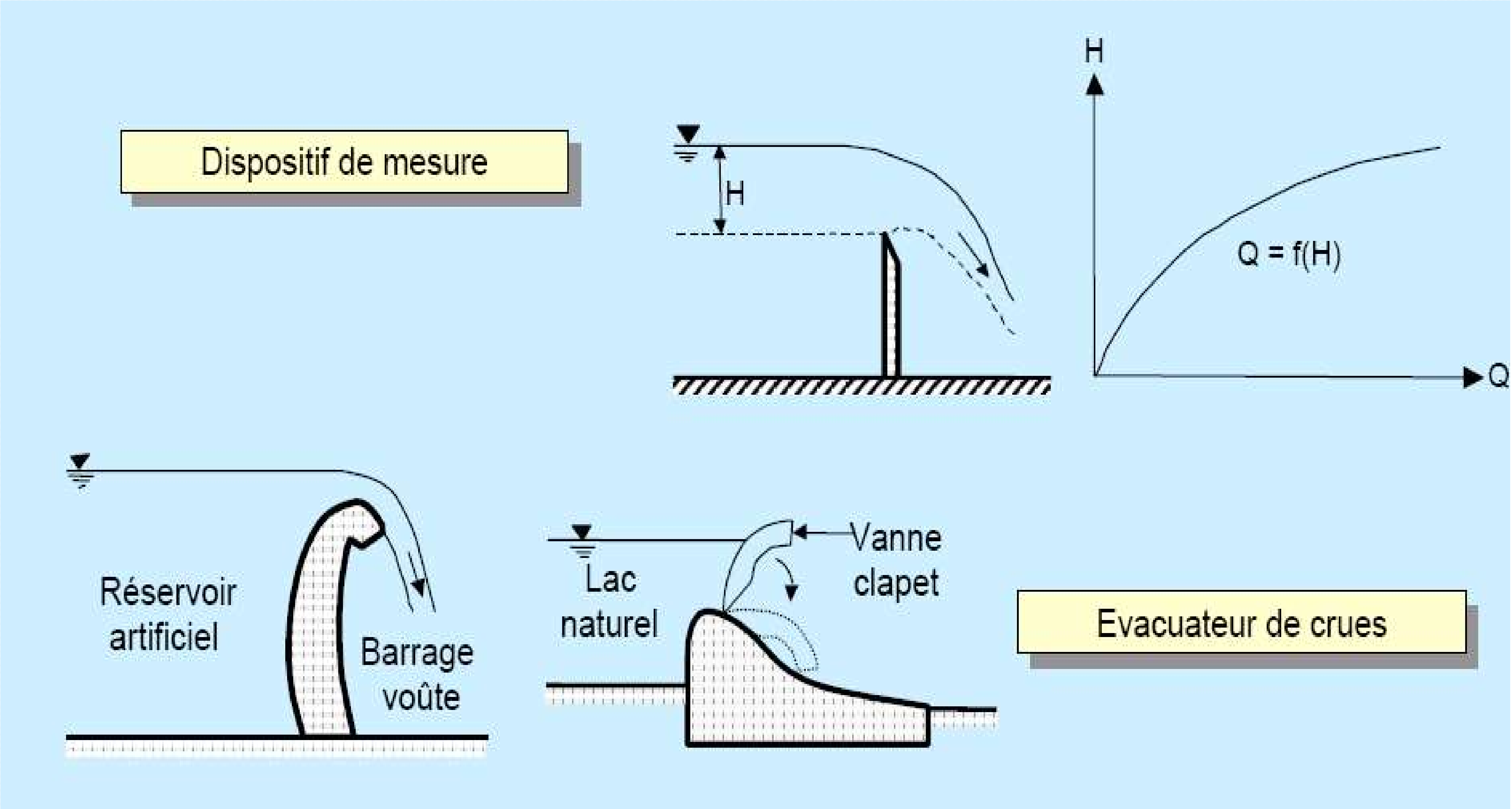
.

FONCTIONS D'UN DÉVERSOIR

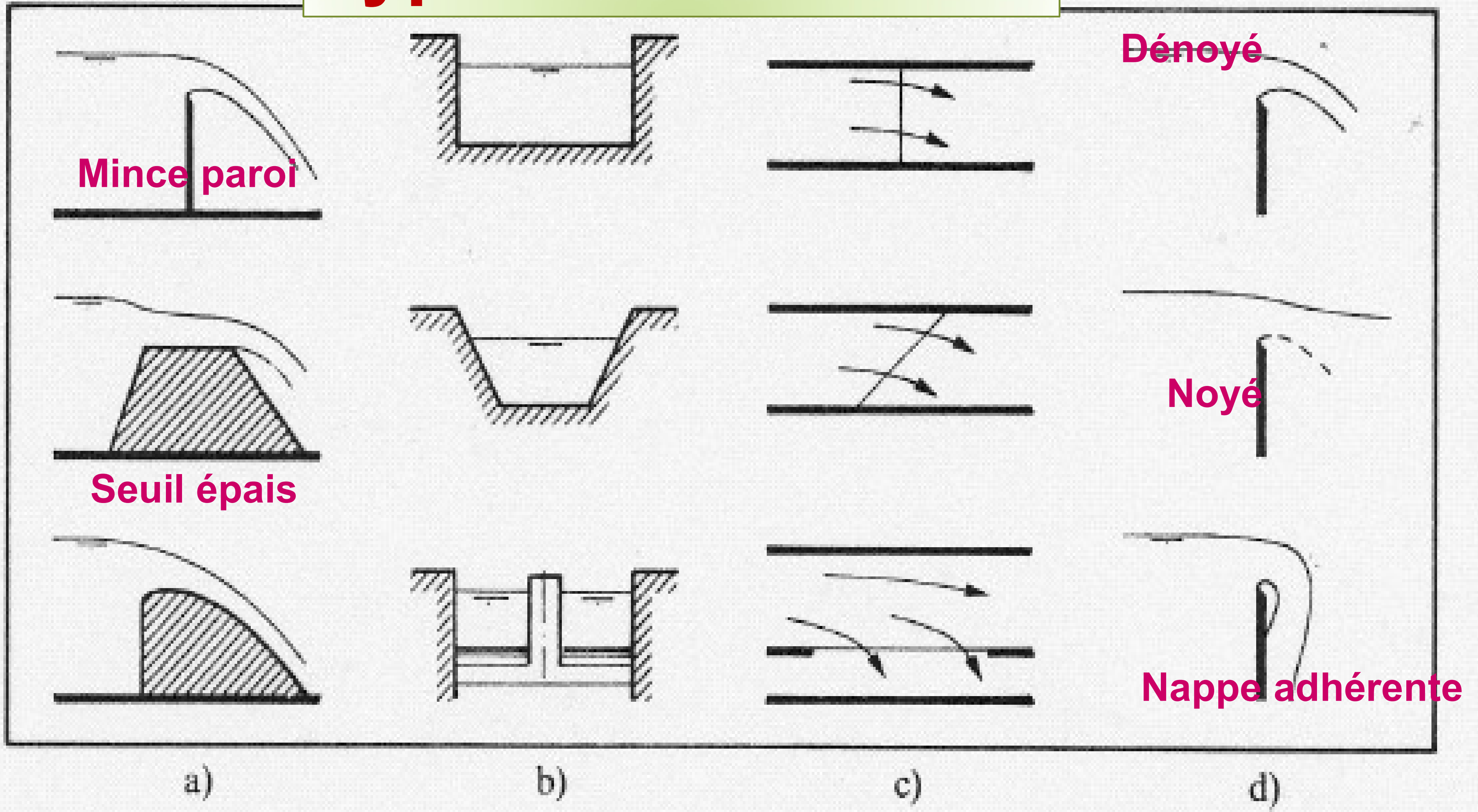
Bien que la fonction principale d'un évacuateur de crues soit de faire passer l'excédent d'eau du réservoir dans le cours d'eau aval, il existe précisément sept fonctions qui peuvent être attribuées à l'évacuateur de crues, comme les a discuté Takasu et al. (1988).

1. Maintenir les fonctions normales de l'eau de rivière (compensation de l'approvisionnement en eau)
2. Décharge d'eau pour utilisation
3. Maintenir le niveau d'eau initial dans l'opération de contrôle des crues
4. Contrôler les inondations
5. Contrôler les inondations supplémentaires
6. Libérer l'excédent d'eau (sécuriser la sécurité du barrage et du réservoir)
7. Abaissement des niveaux d'eau (épuisement des niveaux d'eau en cas d'urgence)

Utilisation des déversoirs



Types de déversoir



a) Coupe longitudinale (en mince paroi, à seuil épais, à crête arrondie)
b) Coupe transversale (profil rectangulaire, trapézoïdal, rectangulaire avec pilier
c) Vue en plan (à crête perpendiculaire et oblique à l'axe, déversoir latéral
d) Types d'écoulement (dénoyé, noyé, adhérent).









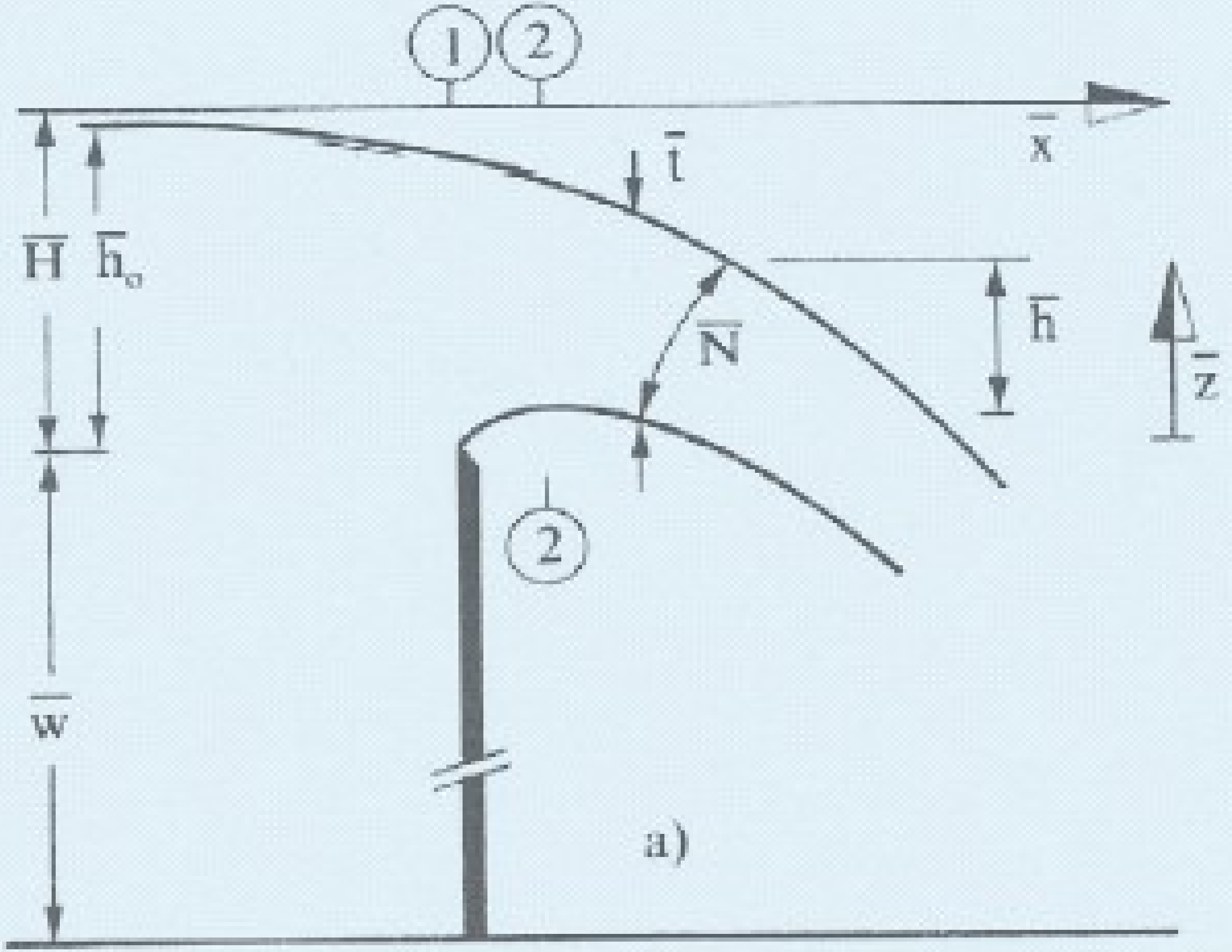




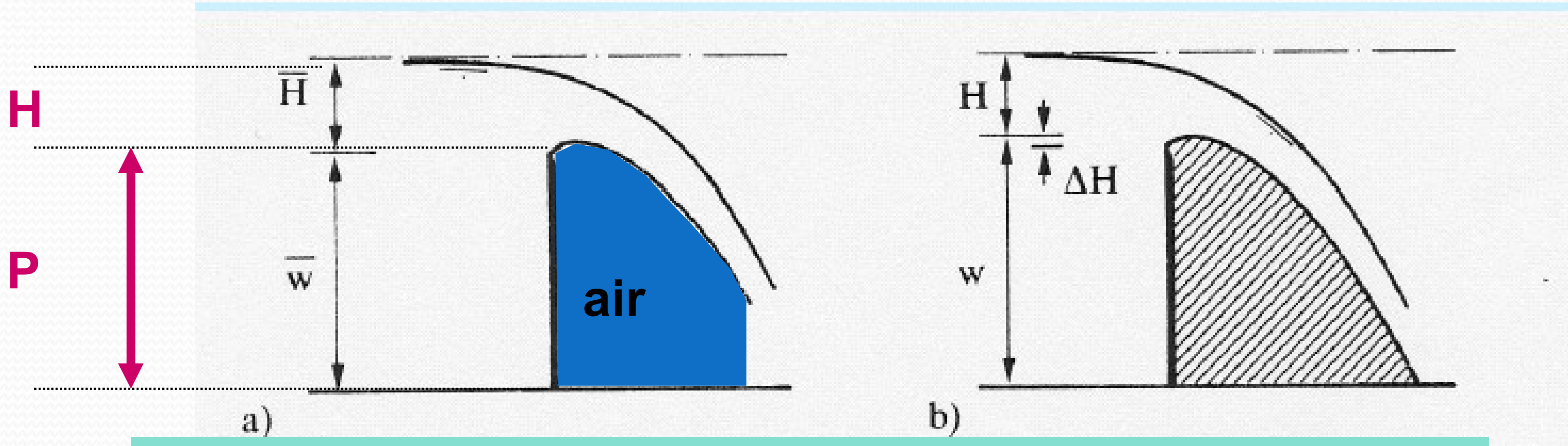




Déversoir a mince paroi



FORMULE GENERALE



Mince paroi **Seuil épais profilé**

$$Q = C_d b \sqrt{2g} H^{3/2}$$

$$0{,}35 < C_d < 0{,}60$$

C_d **Coefficient de débit variable suivant le type de déversoir**

H **hauteur de la nappe déversante en amont du déversoir**

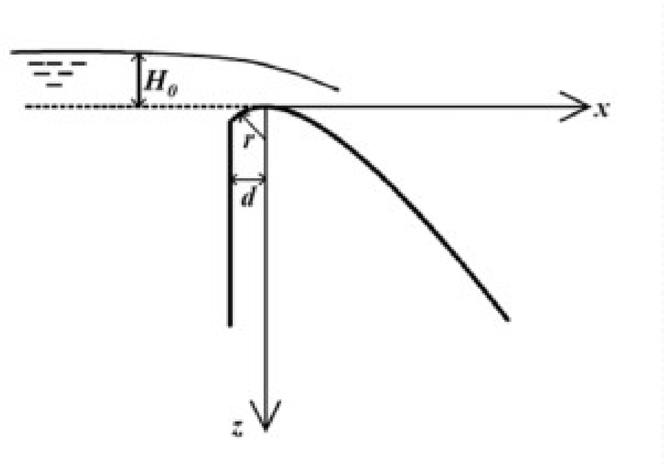
W ou P **hauteur de la Pelle du déversoir**

Déversoir à seuil profilé :

Afin d'améliorer les performances des déversoirs donc faciliter l'écoulement au dessus du seuil, il est recommandé de donner au déversoir une forme profilé afin qu'il épouse la forme de la lame écoulée et pour qu'il n y ai pas de dépressions.

Le seuil le plus utilisé est celui de Creager dont l'expression est :

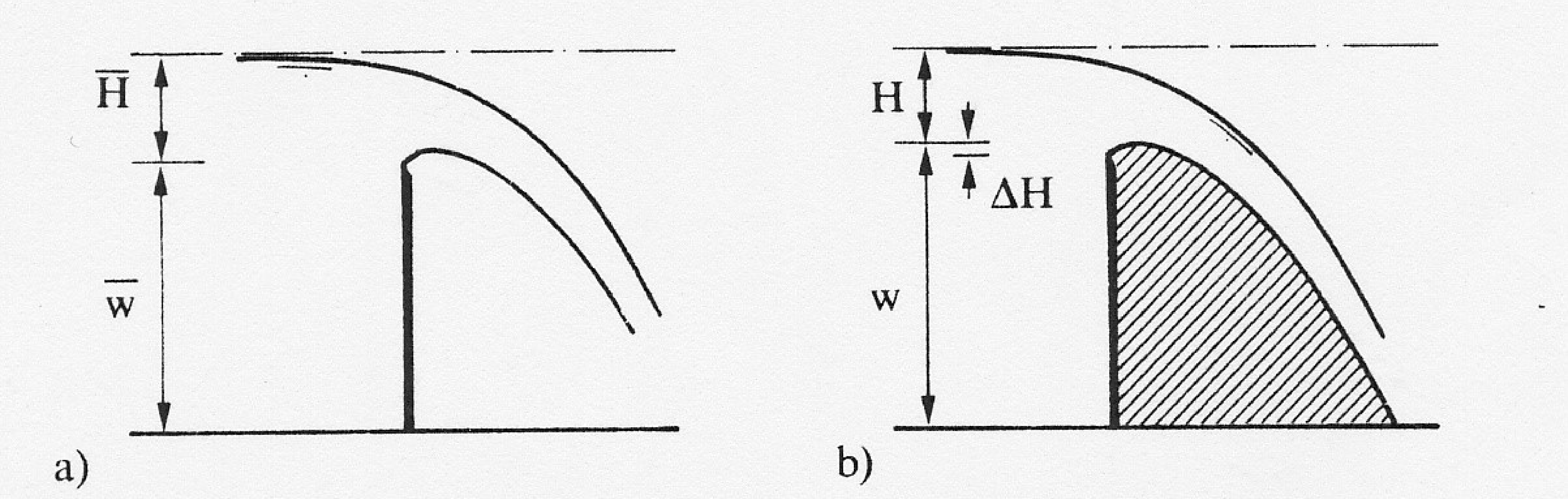
$$Z = 0,5 \frac{x^{1,85}}{H_0^{0,85}}$$



étant la charge d'écoulement correspondant au débit de dimensionnement.

Déversoir standard

Pour éviter des zones de sous-pressions le long du radier, la nappe Inférieure du déversoir en mince paroi pourrait être reprise comme géométrie du déversoir à crête fixe. Théoriquement ainsi une pression égale à zéro le long du radier est garantie.



a) déversoir en mince paroi standard et b) déversoir standard correspondant

Capacité du déversoir standard

•la charge H est mesurée à partir de la crête du déversoir standard

$$Q = C_d b \sqrt{2g} H^{3/2}$$

C_d: coefficient du débit du déversoir standard qui dépend de la charge H

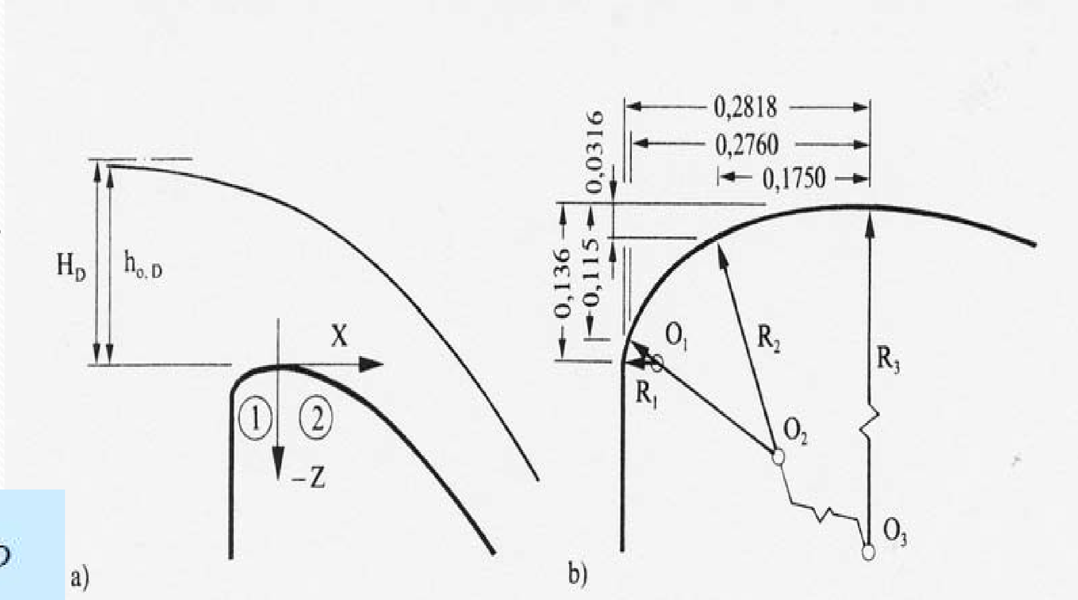
Géométrie du déversoir standard

Définition géométrique de la crête du déversoir standard à parement amont vertical

a) Définition du système des coordonnées (1) quadrant amont, (2) quadrant aval

Détail du quadrant amont (tous les chiffres par rapport à H_D=1m)

Définition selon USCE



$$\boxed{-Z = \frac{1}{2} X^{1,85},\ X > 0}$$

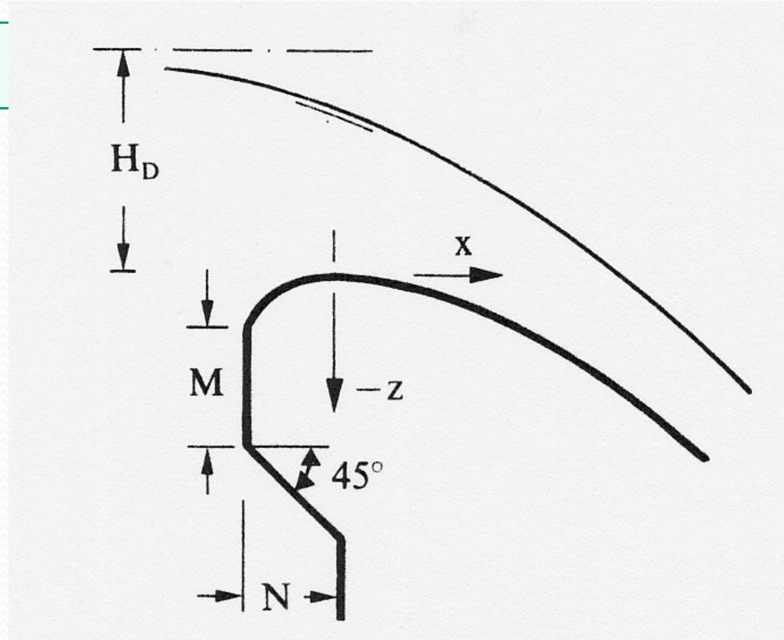
$$X = x / H_D$$
$$Z = z / H_D$$
$$X > O$$

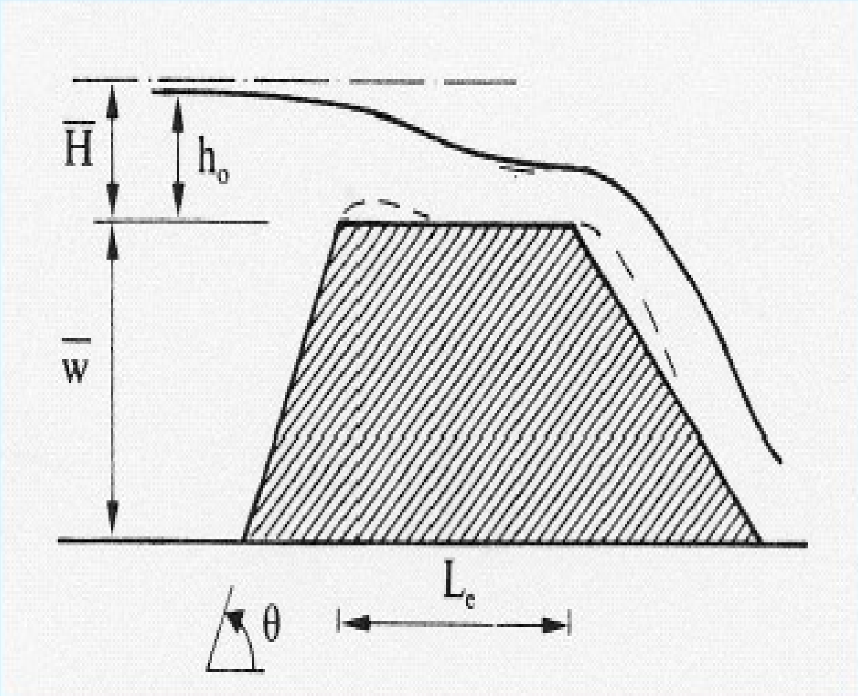
Déversoir standard à parement amont surplombant

Pour économiser du béton le parement amont est modifié en ménageant une saillie:

Recommandé: $M / N > 0.5$

$M / H_D \geq 0.6$





Déversoir à seuil épais, géométrie polygonale.

Capacité du déversoir polygonal

$$Q = \overline{C}_d c_e b \sqrt{2g} \cdot \overline{H}^{3/2}$$

c_e : coefficient de correction

$$c_e = 1 - \frac{2\sin\theta}{9\left(1+\xi_e^4\right)}$$

$$\xi_e = \left(\overline{H} - \overline{w}\right) / L_e$$

Déversoirs à seuils épais Déversoirs à seuils épais

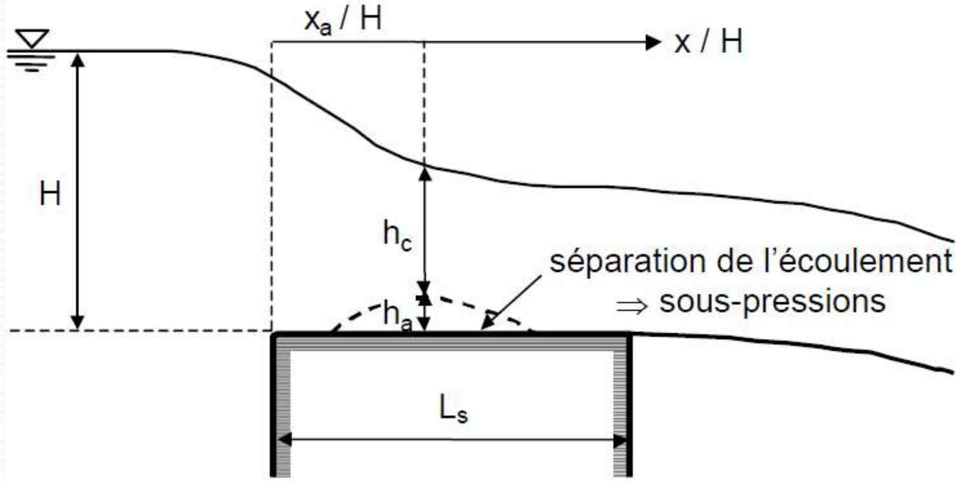
$$\boxed{Q = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{3/2}}$$

avec $C_d = 0.326$

si $\quad 0.1 < \sigma_\omega < 0.4$ (seuil large)

$\Rightarrow \quad h_a = 0.20 \cdot H$

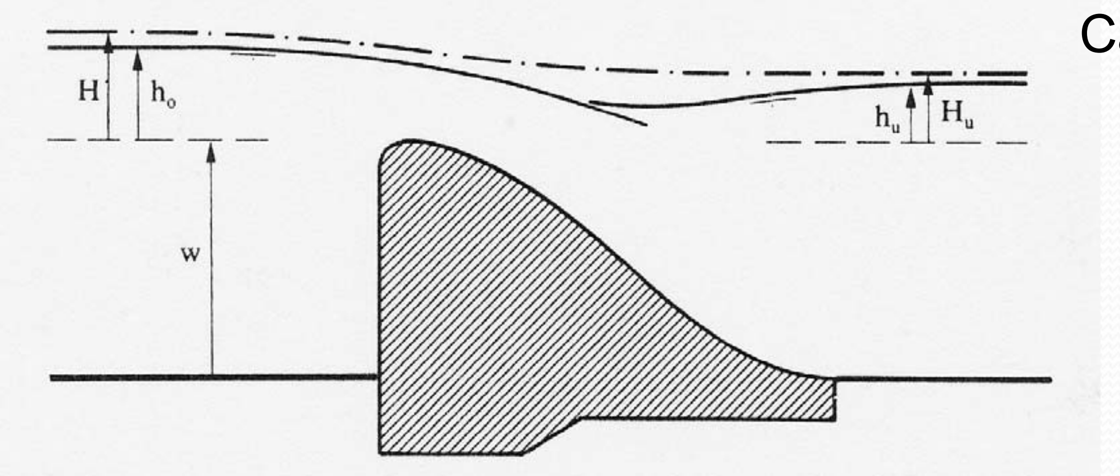
$\qquad x_a = 0.44 \cdot H$



Facteur caractéristique
$\sigma_\omega = H / L_s$

Déversoir standard noyé

Déversoir noyé pour lequel l'écoulement dépend des charges amont *H* et aval *Hu.*



Capacité d'un déversoir standard noyé

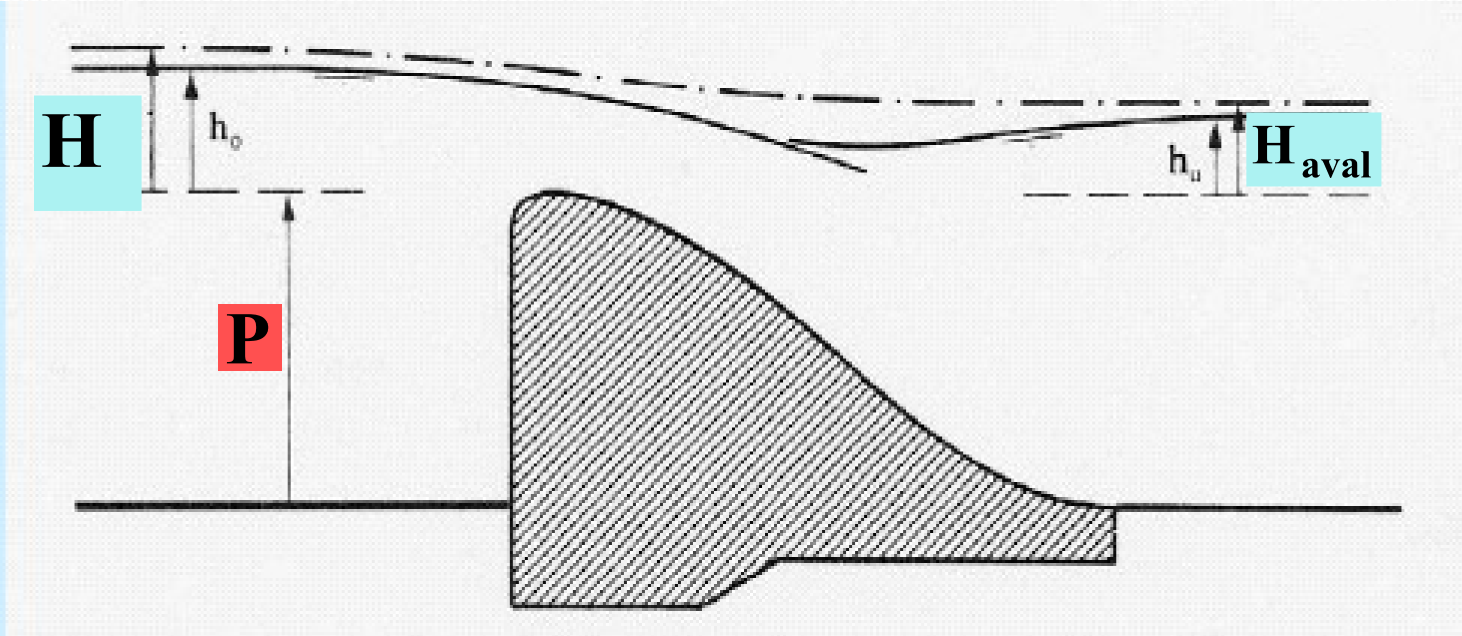
$$Q = C_d \cdot S \cdot b\sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

Coefficient de submersion

$$S = \left(1 - \left(\frac{H_u}{H}\right)^2\right)^{1/2}$$

$$\text{avec } H = V_o^2 / 2g \text{ ou } V_o = Q/\left(\left(h_o + w\right)b\right)$$

Déversoir en régime noyé

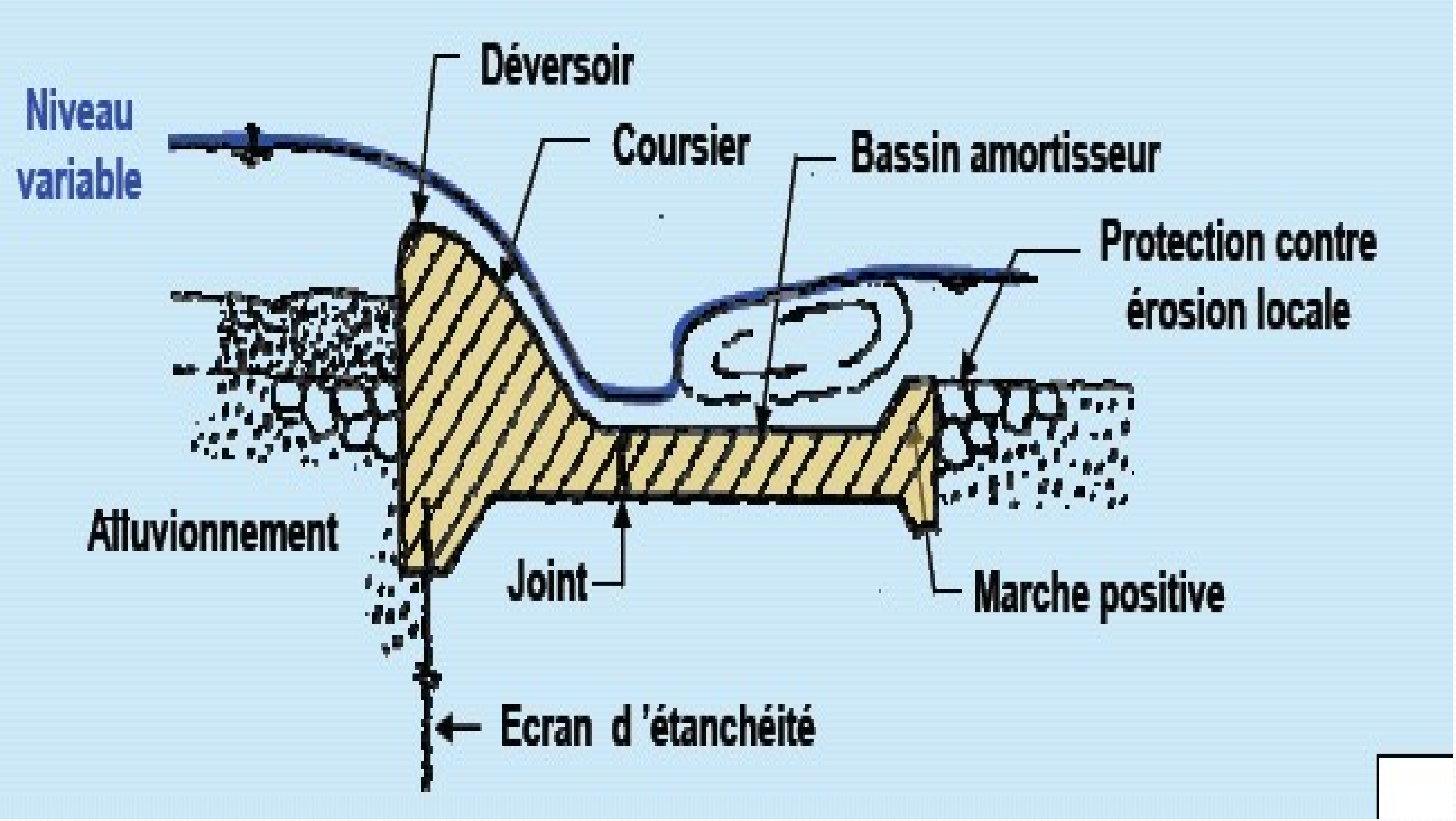


$$Q = C_d\, b\left(1{,}05H + 0{,}15H_{aval}\right)\sqrt{2gH}$$

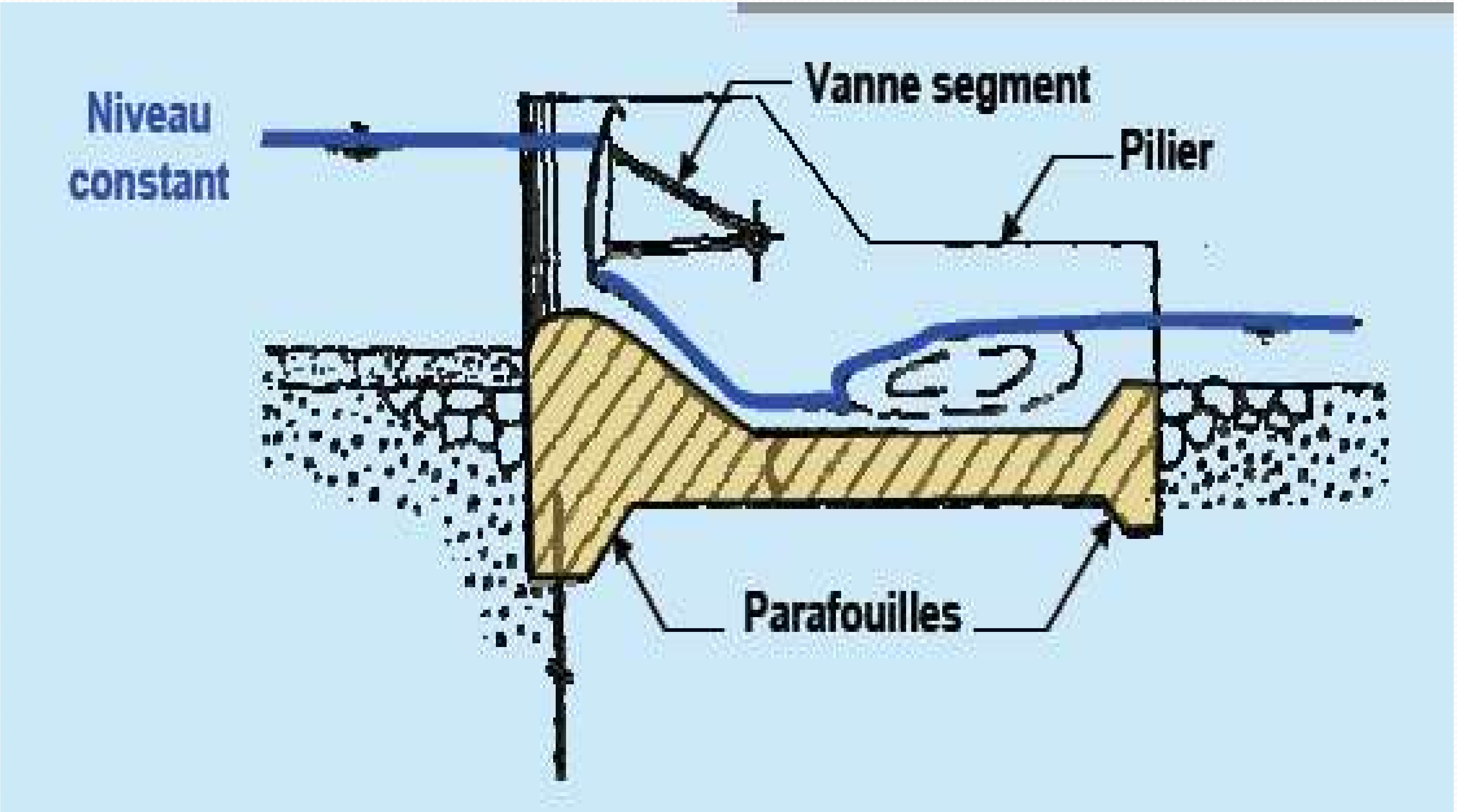
$$H - H_{aval} > 0{,}75\,P$$

$$\frac{Q_{noyé}}{Q_{dénoyé}} = \left(1-\left(\frac{h_u}{h_o}\right)^{2.5}\right)^{0.385}$$ d'après Brater et King (1976)

Déversoir à seuil épais (fixe)



Déversoir mobile



Montage d’un déversoir

- Dimensionner pour que la vitesse d’approche du liquide soit de 0.2 à 0.5 m/s.
- L’espace en la lame d’eau et le déversoir doit être rempli d’air atmosphérique.
- Le niveau en aval doit être inférieur d’au moins 6 à 8 cm.
- La profondeur P de la pelle doit être supérieure à 3H. (Varie de 20 cm à 3m).
- La sur largeur latérale X ainsi que la largueur de la crête doit être supérieure à 3H. Le point de mesure du niveau doit être situé à au moins 4H en amont du déversoir, ou supérieure à 2(P+H).
- Le canal amont doit être droit sans turbulences sur une distance d’au moins 20H.

Exercice 1 :

Un orifice vive arête de 50mm de diamètre, débite de l'eau sous une hauteur de charge de 4.5m.

1.trouver le coefficient de débit, si le débit mesuré est de 11,45 dm^3/s.

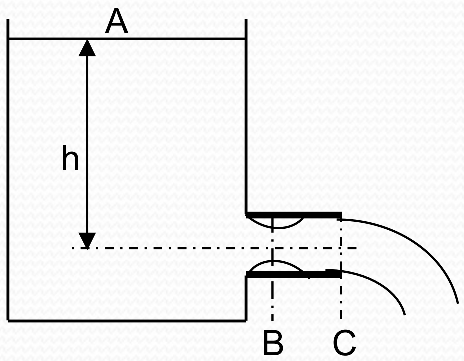
2.Calculer le coefficient de contraction, en négligeant les pertes de charge si la pression moyenne du jet sur le plan de l'orifice est de $26{,}5.10^3$ Pa (pression relative)

Exercice 2 :

Un ajutage de 10 cm de diamètre (figure en face) permet de vidanger un réservoir

•quel est le débit d'eau sous une charge h=9m sachant que le coefficient de vitesse est de 0.82?

•Quelle est la hauteur de pression à la section B sachant que le jet se contracte pour atteindre 62% de la surface du tube et que la perte de charge entre A et B est de 4.2% de la hauteur de vitesse en B ?



Exercice 3:

Le flot provenant d'un orifice à bord mince de 150 mm de diamètre, sous une charge de 3,05 m et s'écoule dans le canal rectangulaire d'un déversoir contracté. Le canal a 1,83 m de large et, pour le déversoir, Z = I,50 m et *b = 0,31 m. Calculer la profondeur de l'eau dans le canal si* $m_{deversoir}$ *= 1,82 (c = 0,600* $_{orifice}$*).*

Exercice1:

Au cours d'un essai effectué sur un *déversoir non contracté* de 914 mm de haut, la hauteur de charge a été maintenue constante à 305 mm. En 38,0 secondes, 28,73 m^3 d'eau ont été collectés. Trouver la valeur du coefficient de débit de ce déversoir. On donne *b* = 2,44 m.

Exercice2: Un déversoir sans contraction, de 7,62 m de long, est destiné à débiter 10,6 m3/s dans un canal. Le coefficient du déversoir *m* = 1,85. Quelle doit être la hauteur Z du déversoir, si l'eau qui se trouve derrière a une profondeur qui ne dépasse pas 1,83 m?

Exercice3:

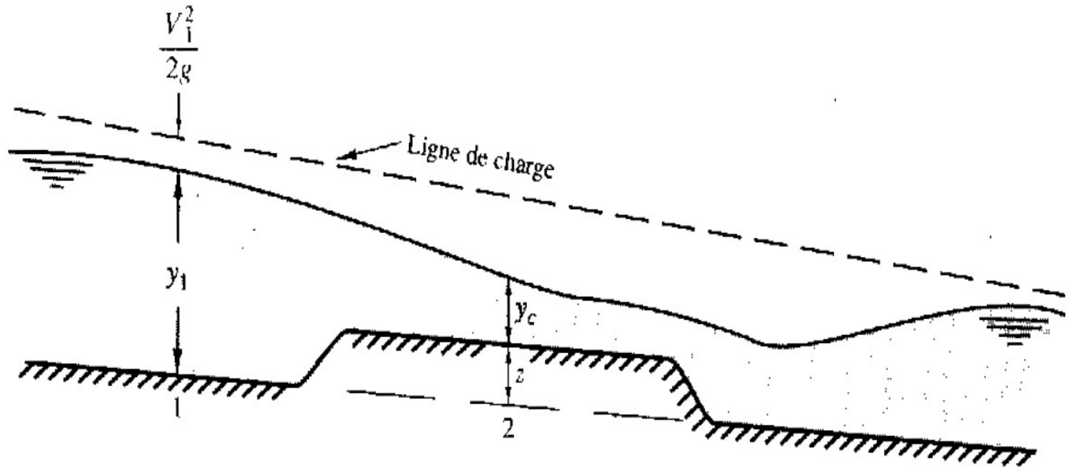
Le débit d'eau par-dessus un déversoir triangulaire de 45° est de 0,0212 m^3/s. Pour c = 0,580. calculer la charge au déversoir.

Exercice4: (en utilisant la hauteur critique et l'énergie spécifique critique)

Trouver la formule applicable à une mesure du débit critique et l'illustrer par un exemple en face. On donne la perte de charge

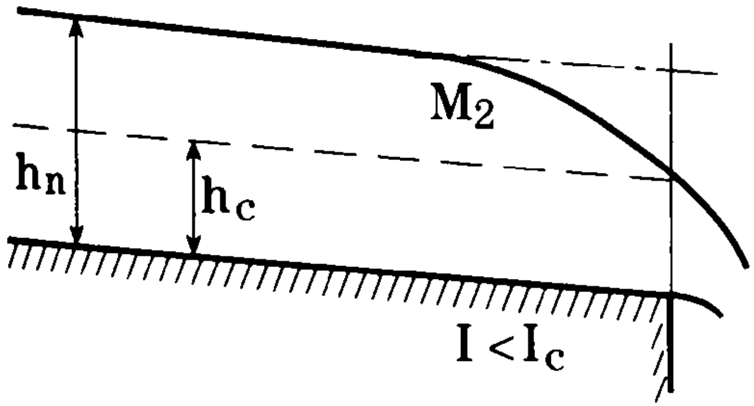
$$\Delta H = \frac{1}{10}\left(\frac{V_c}{2g}^2 - \frac{V_1}{2g}^2\right)$$

b=3,05m; z=0,335m; y_1 =0,738m

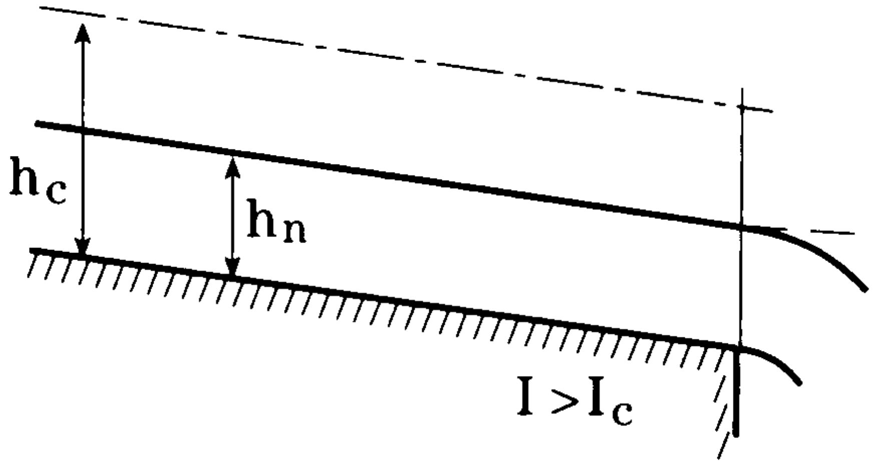


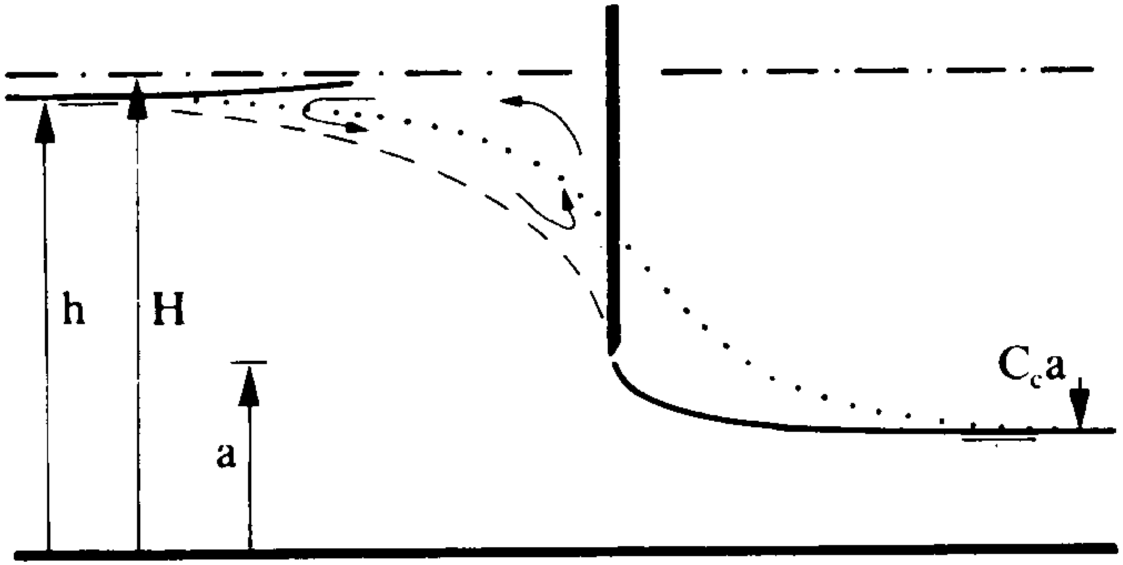
- Chutes brusques

Dans une chute brusque, si le canal est à pente faible ($I < I_c$), dans la section de la chute survient le régime critique.



Si le canal est à forte pente (I > Ic) le régime reste uniforme, jusqu'à la section de chute.





$h_2 = C_c \cdot a.$

C_c ≤1: coefficient de contraction

b : largeur de la vanne.

a: hauteur d'ouverture de la vanne

En considérant un écoulement potentiel (sans perte de charge)

$$Q = C_d \cdot ab\sqrt{2gh_1}$$

$$C_d = \frac{C_c}{\left(1 + \frac{a \cdot C_c}{h_1}\right)^{1/2}}$$

C_d : coefficient de débit.

h_1 : Hauteur d'eau en amont de la vanne

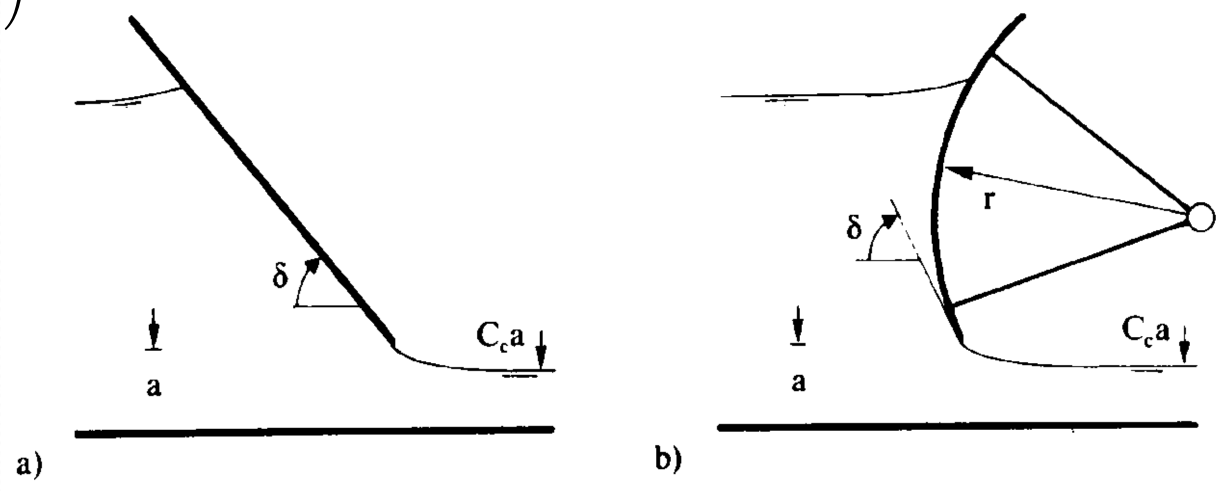
En première approximation C_c = C_d= 0.611 pour une vanne plane verticale.

$$Q = Cd \cdot ab\sqrt{2gh_1}$$

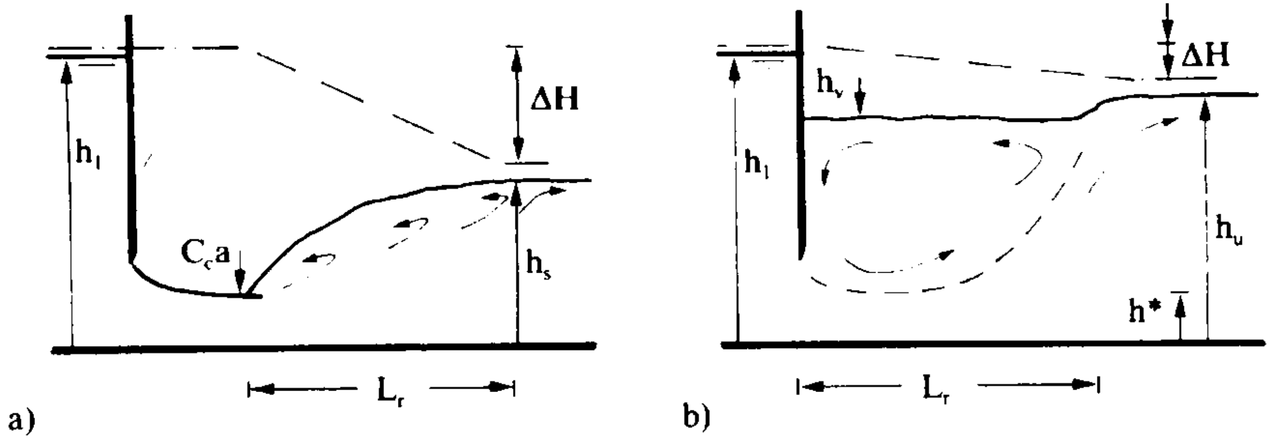
Pour : $\frac{a}{h} \leq 6.0 \; et \; a \; \geq \; 5cm$

$$C_d = \zeta\left(\frac{4+5e^{-0,76\delta}}{9}\right)\cdot e^{\left(\frac{-a}{2h_1}\left(1-\frac{\delta^2}{6}\right)\right)}$$

avec
ζ =0.98 pour les vannes planes inclinées
et ζ =0.96 pour les vannes secteurs.
δ : angle d'inclinaison.(en radian)

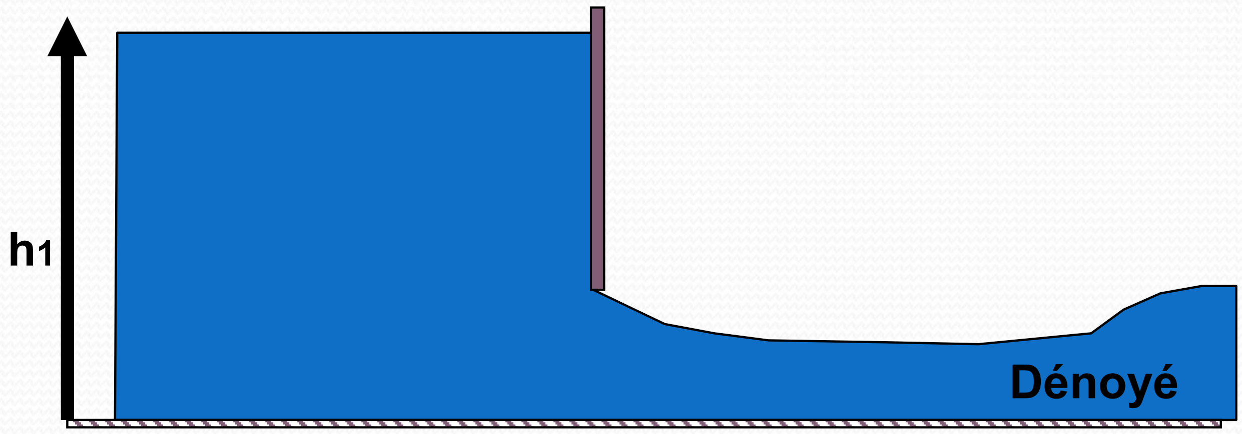


Géométrie a) de la vanne plane inclinée et b) de la vanne secteur.



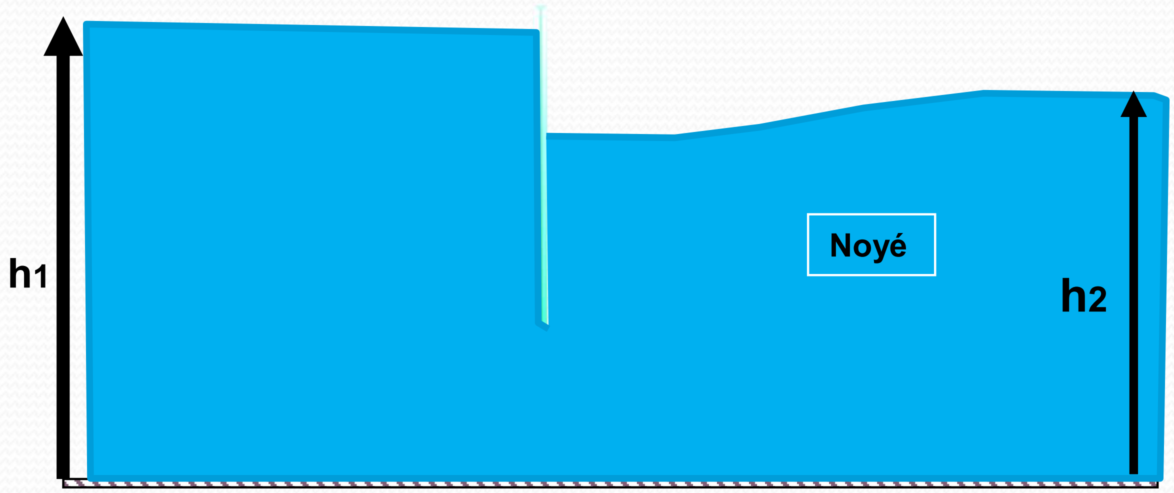
a) écoulement dénoyé à submersion limite, b) écoulement noyé.

$$Q = C_c\, a\, b \sqrt{\frac{2gh_1}{1 + \frac{C_c a}{h_1}}}$$



$$C_c \approx 0{,}611$$

$$Q = C_d\, a\, b \sqrt{2g\left(h_1 - h_2\right)}$$



Exercice1:

Au cours d'un essai effectué sur un *déversoir non contracté* de 914 mm de haut, la hauteur de charge a été maintenue constante à 305 mm. En 38,0 secondes, 28,73 m^3 d'eau ont été collectés. Trouver la valeur du coefficient de débit de ce déversoir. On donne b = 2,44 m.

Exercice 2:

Le débit d'eau par-dessus un déversoir triangulaire de 45° est de 0,0212 m^3/s. Pour c = 0,580. Calculer la charge au déversoir.

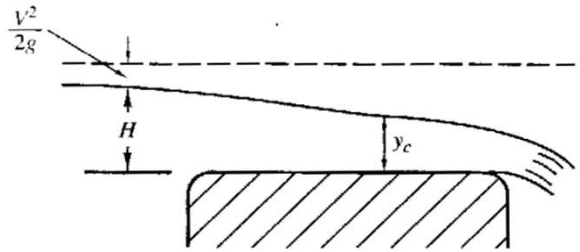
Exercice2: Un déversoir sans contraction, de 7,62 m de long, est destiné à débiter 10,6 m^3/s dans un canal. Le coefficient du déversoir m = 1,85. Quelle doit être la hauteur Z du déversoir, si l'eau qui se trouve derrière a une profondeur qui ne dépasse pas 1,83 m?

Exercice 3:

Le flot provenant d'un orifice à bord mince de 150 mm de diamètre, sous une charge de 3,05 m et s'écoule dans le canal rectangulaire d'un déversoir contracté. Le canal a 1,83 m de large et, pour le déversoir, Z = l,50 m et b = 0,31 m. Calculer la profondeur de l'eau dans le canal si $m_{deversoir}$ = 1,82 (c = 0,600 orifice).

Exercice4:

Etablir l'équation de l'écoulement par dessus un déversoir à crête large, en supposant qu'il n'y a pas de perte de charge,

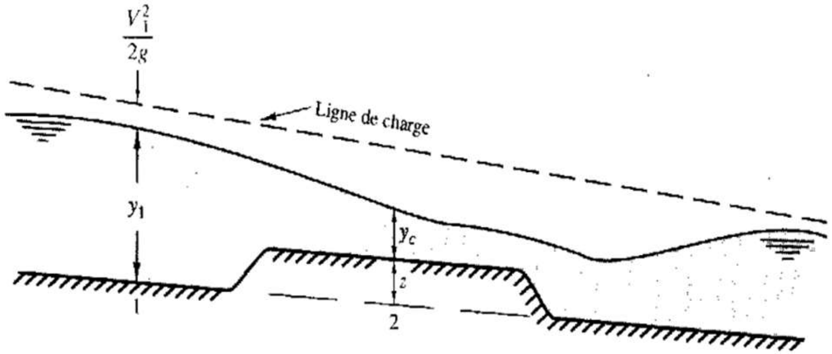


Exercice5: (en utilisant la hauteur critique et l'énergie spécifique critique)

Trouver la formule applicable à une mesure du débit critique et l'illustrer par un exemple en face. On donne la perte de charge

$$\Delta H = \frac{1}{10}\left(\frac{V_c^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right)$$

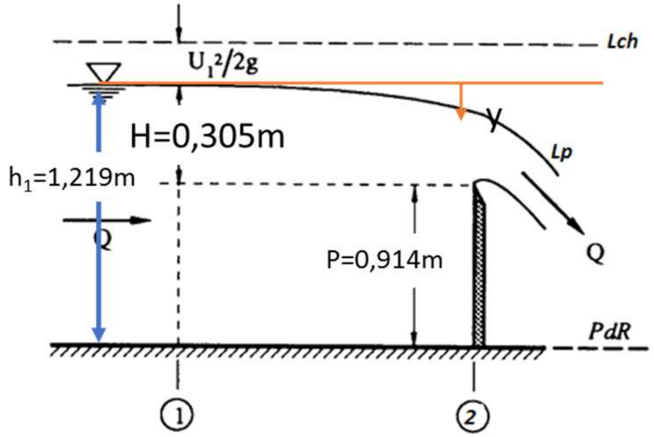
b=3,05m; z=0,335m; y_1 =0,738m



Exercice1:

Au cours d'un essai effectué sur un *déversoir non contracté* de 914 mm de haut, la hauteur de charge a été maintenue constante à 305 mm. En 38,0 secondes, 28,73 m³ d'eau ont été collectés. Trouver la valeur du coefficient de débit de ce déversoir. On donne *b* = 2,44 m.

Solution



$$Q = \frac{volume}{temps} = \frac{28{,}73}{38} = 0{,}756\ \mathrm{m}^3/s$$

Equation de Bernoulli en (1) et (2)

$$h_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad en\ negligeant\ les\ P\ de\ charge$$

$$z_1 = z2$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = (h_1 - h_2) + \frac{V_1^2}{2g} \Rightarrow \frac{V_2^2}{2g} = y + \frac{V_1^2}{2g} \Rightarrow \boldsymbol{V_2 = \sqrt{2g\left(y + \frac{V_1^2}{2g}\right)}}$$

$$V_1:\ vitesse\ d'approche = \frac{Q}{h_1 \cdot b} = \frac{0{,}756}{1{,}219 \cdot 2{,}44} = 0{,}254 m/s$$

$$\boldsymbol{V_2 = \sqrt{2g\left(y + \frac{V_1^2}{2g}\right)}}$$

$$dQ \quad \boldsymbol{V_2 \cdot d\sigma = V_2 \cdot Cc \cdot ds = V_2 \cdot Cc \cdot b \cdot dh}$$

$$\int dQ = \int \boldsymbol{V_2 \cdot Cc \cdot b \cdot dh} = \int \boldsymbol{\sqrt{2g\left(y + \frac{V_1^2}{2g}\right)} \cdot Cc \cdot b \cdot dh} \Leftrightarrow Q = \int_0^H \boldsymbol{\sqrt{2g\left(y + \frac{V_1^2}{2g}\right)} \cdot Cc \cdot b \cdot dh}$$

$$\Rightarrow Q = \boldsymbol{Cc \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \int_0^H \left(\boldsymbol{y + \frac{V_1^2}{2g}}\right)^{\boldsymbol{1/2}} \cdot \boldsymbol{dy}$$

$$\Rightarrow Q = \boldsymbol{Cc \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot \left[\frac{2}{3}\left(y + \frac{V_1^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}}\right]_0^H} = \boldsymbol{\frac{2}{3} Cc \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot \left[\left(y + \frac{V_1^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}}\right]_0^H} = \boldsymbol{Cd \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot \left[\left(y + \frac{V_1^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}}\right]_0^H}$$

$$\Rightarrow Q = \boldsymbol{Cd \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot \left[\left(y + \frac{V_1^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}}\right]_0^H} = \boldsymbol{Cd \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot \left[\left(H + \frac{V_1^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{V_1^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}}\right]} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(1)$$

$$\boldsymbol{Q = Cd \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 2,44 \cdot \left[\left(0,305 + \frac{0,254^2}{2 \cdot 9,81}\right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{0,254^2}{2 \cdot 9,81}\right)^{\frac{3}{2}}\right]}$$

$$\boldsymbol{0,756 = Q = Cd \cdot 0,417\,\sqrt{2 \cdot 9,81} = 1,848 \cdot Cd}$$

$$\boldsymbol{\Rightarrow Cd = 0,409 \approx 0,41\ avec\ m = Cd \cdot \sqrt{2 \cdot g} = 1,813}$$

Cd: Coefficient de débit
m: coefficient du déversoir

Si la vitesse d'approche est négligeable car $\boldsymbol{V_2} >>> \boldsymbol{V_1}$

(1) devient $\quad Q = \boldsymbol{Cd \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot H^{\frac{3}{2}}} \Rightarrow \boldsymbol{Cd} = \dfrac{Q}{\boldsymbol{\sqrt{2g} \cdot b \cdot H^{\frac{3}{2}}}} = \dfrac{0{,}256}{\boldsymbol{\sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 2,44 \cdot 0,305^{\frac{3}{2}}}} = 0{,}417$

$\approx 0{,}42$

$\boxed{\boldsymbol{Cd = 0,42\ et\ m = 1,847 \approx 1,85}}$

En négligeant la vitesse d'approche le débit sera augmenté d'environ 1,9%

Exercice 2:

Le débit d'eau par-dessus un déversoir triangulaire de 45° est de 0,0212 m³/s. Pour c = 0,580.

Calculer la charge au déversoir.

$$Q = \frac{8}{15} cd\sqrt{2g} \cdot tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H^{\frac{5}{2}}$$

$$\Longrightarrow H^{\frac{5}{2}} = \frac{15Q}{8 \cdot cd\sqrt{2g} \cdot tg\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

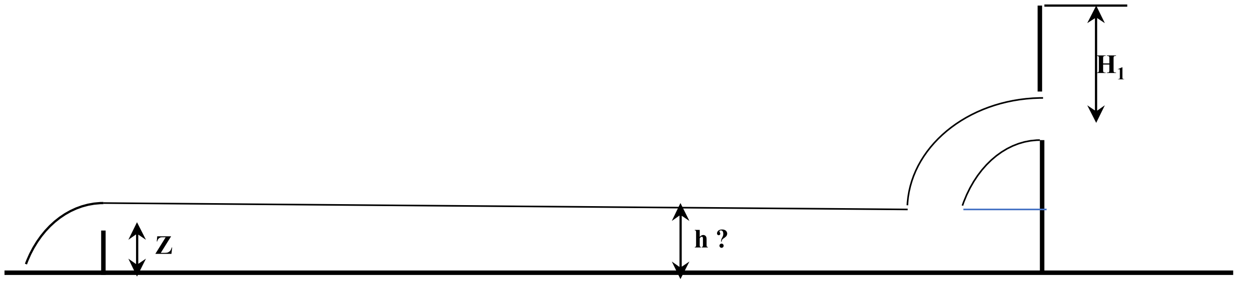
$$\Longrightarrow H = \left[\frac{15 \cdot Q}{8 \cdot cd\sqrt{2g} \cdot tg\left(\frac{\theta}{2}\right)}\right]^{2/5}$$

$$\Longrightarrow H = \left[\frac{15 \cdot 0{,}0212}{8 \cdot 0{,}58\sqrt{2 \cdot 9{,}81} \cdot tg\left(\frac{45}{2}\right)}\right]^{2/5}$$

$$\Longrightarrow \boldsymbol{H = 0{,}268m}$$

Exercice 3:

Le flot provenant d'un orifice à bord mince de 150 mm de diamètre, sous une charge de 3,05 m et s'écoule dans le canal rectangulaire d'un déversoir non contracté. Le canal a 1,83 m de large et, pour le déversoir, Z = l,50 m et *b = 1,83 m. Calculer la profondeur de l'eau dans le canal si m*$_{deversoir}$ *= 1,82 (c = 0,600* $_{orifice}$*).*

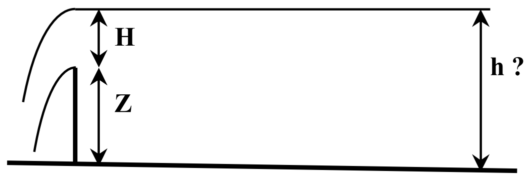


Le débit à travers un orifice est donné par : $\boldsymbol{Q_{orif} = C_{orif}\sqrt{2gH_1} \cdot s_{Orif}}$

$$\boldsymbol{s_{Orif}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}15^2}{4} = 0{,}0176 m^2$$

$$\boldsymbol{Q_{orif}} = 0{,}6 \cdot \sqrt{2 \cdot \mathbf{9,81 \cdot 3,05}} \cdot 0{,}0176 = 0{,}0817 \mathrm{m}^3/\mathrm{s}$$

Le débit à travers un déversoir contracté est donné par :



$$Q = c_d \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot H^{\frac{3}{2}} = m \cdot b \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = m \cdot b \cdot H^{3/2}$$

Avec $\boldsymbol{Q_{orif}} = Q_{dev} = 0{,}817 m^3/s$ ➔ loi de continuité

$$donc\ Q = m \cdot b \cdot H^{3/2} = 0{,}0817$$

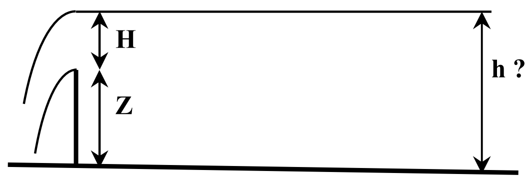
$$donc\ Q = 1{,}82 \cdot 1{,}83 \cdot H^{3/2} = 0{,}0817$$

Donc $H = \left(\frac{0{,}0817}{1{,}82 \cdot 1{,}83}\right)^{2/3} = \left(\frac{0{,}0449}{0{,}31 - 0{,}2H}\right)^{2/3}$

$$\mathbf{Donc\ H = 0{,}084m = 8{,}44cm}$$

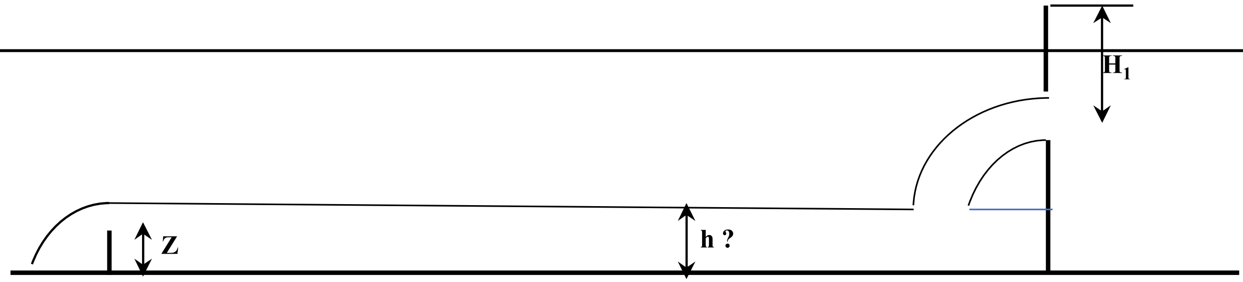
Avec h =H+Z=0,084+1,5= 1,58m

c'est le tirant d'eau dans le canal



Exercice 3:

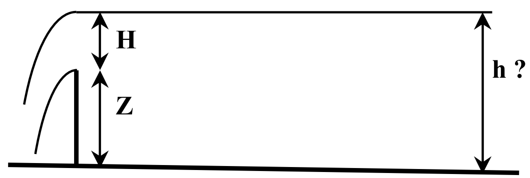
Le flot provenant d'un orifice à bord mince de 150 mm de diamètre, sous une charge de 3,05 m et s'écoule dans le canal rectangulaire d'un déversoir contracté. Le canal a 1,83 m de large et, pour le déversoir, Z = l,50 m et *b = 0,31 m. Calculer la profondeur de l'eau dans le canal si* $m_{deversoir}$ *= 1,82 (c = 0,600* orifice*).*



Le débit à travers un orifice est donné par : $\boldsymbol{Q_{orif} = C_{orif}\sqrt{2gH_1}\cdot s_{Orif}}$

$$\boldsymbol{s_{Orif}} = \frac{\pi\cdot d^2}{4} = \frac{3{,}14\cdot 0{,}15^2}{4} = 0{,}0176m^2$$

$$\boldsymbol{Q_{orif}} = 0{,}6\cdot\sqrt{2\cdot\mathbf{9,81\cdot 3,05}}\cdot 0{,}0176 = 0{,}0817\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$$



Le débit à travers un déversoir contracté est donné par :

$$Q = c_d\cdot\sqrt{2g}\cdot\left(b-0.1\cdot n\cdot H\right)H^{3/2} = m\cdot\left(b-0.1\cdot n\cdot H\right)H^{3/2}$$

$$Q = m \cdot (b - 0{,}1 \cdot n \cdot H)H^{3/2}$$

n étant le nombre de contraction, Dans notre cas le nombre de contraction est n=2

$$donc\ Q = m \cdot (b - 0{,}1 \cdot 2 \cdot H)H^{3/2}$$

Avec $\boldsymbol{Q_{orif}} = Q_{dev} = 0{,}817 m^3/s$ ➔ loi de continuité

$$donc\ Q = m \cdot (b - 0{,}1 \cdot 2 \cdot H)H^{3/2} = 0{,}0817$$

$$donc\ Q = 1{,}82 \cdot (0{,}31 - 0{,}2 \cdot H)H^{3/2} = 0{,}0817$$

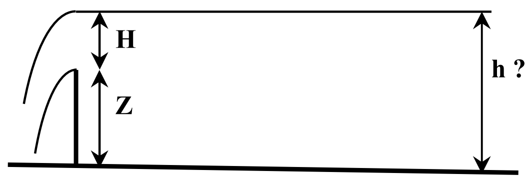
$$\textbf{Donc}\ \ H = \left(\frac{0{,}0817}{1{,}82 \cdot (0{,}31 - 0.2H)}\right)^{2/3} = \left(\frac{0{,}0449}{0{,}31 - 0{,}2H}\right)^{2/3}$$

H	Qcal	
0,5	0,13	>0,0817
0,5	0,105	>
0,3	0,07	<
0,35	0,09	>
0,32	0,081	<
0,322	0,0817	=0,0187

À résoudre par itérations

$H1 = 0{,}5; H2 = 0{,}36; \mathrm{H3} = 0{,}328; \mathrm{H4} = 0{,}321; \mathrm{H5} = 0{,}322\mathrm{m}\ ;\ \mathrm{H5} = 0{,}322\mathrm{m}$

$$\textbf{Donc H} = \mathbf{0{,}322m}$$



Avec h =H+Z=0,322+1,5= 1,822m

c'est le tirant d'eau dans le canal

Exercice 4:

Etablir l'équation de l'écoulement par dessus un déversoir à crête large, en supposant qu'il n'y a pas de perte de charge,

Solution

Donc H = 0,084m = 8,44cm

Equation de Bernoulli en (1) et (2)

$$y_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \textit{en négligeant les P de charge}$$

$$z_1 = z_2 \qquad \Rightarrow \boldsymbol{H} + \frac{\boldsymbol{V^2}}{\boldsymbol{2g}} = \boldsymbol{y_C} + \frac{\boldsymbol{V_C^2}}{\boldsymbol{2g}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(\boldsymbol{1})$$

Sachant que $F_{rc} = 1 = \sqrt{\dfrac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S_C^3}} \Leftrightarrow 1 = \dfrac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S_C^3} = \dfrac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S_C^2 \cdot S_C} = \dfrac{V_C^2}{g \cdot y_C} \Rightarrow y_C = \dfrac{V_C^2}{g} \ldots\ldots(2)$

$$(2)\text{en }(1) \Rightarrow \boldsymbol{H} + \frac{\boldsymbol{V^2}}{\boldsymbol{2g}} = \boldsymbol{y_C} + \frac{\boldsymbol{y_C}}{\boldsymbol{2}} = \frac{3}{2}\boldsymbol{y_C} \ldots.(\boldsymbol{3}) \qquad \textit{puisque } y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}} \quad \textit{donc } (3) \Leftrightarrow \boldsymbol{H} + \frac{\boldsymbol{V^2}}{\boldsymbol{2g}} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{\boldsymbol{Q^2}}{\boldsymbol{g \cdot b^2}}}$$

En négligeant le terme $\frac{\boldsymbol{V^2}}{\boldsymbol{2g}} \Rightarrow \boldsymbol{H} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{\boldsymbol{Q^2}}{\boldsymbol{g \cdot b^2}}} \Rightarrow \frac{\boldsymbol{Q^2}}{\boldsymbol{g \cdot b^2}} = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot H^{\frac{3}{2}} \Leftrightarrow$

$$\boxed{\boldsymbol{Q} = \left(\frac{\boldsymbol{2}}{\boldsymbol{3}}\right)^{\frac{\boldsymbol{3}}{\boldsymbol{2}}} \cdot \sqrt{\boldsymbol{g}} \cdot \boldsymbol{b} \cdot \boldsymbol{H}^{\frac{\boldsymbol{3}}{\boldsymbol{2}}} \approx \boldsymbol{1,705} \cdot \boldsymbol{b} \cdot \boldsymbol{H^{3/2}}}$$

Cette relation donne le débit Théorique en pratique on doit tenir compte de la perte charge singulière en introduisant un coefficient C à déterminer expérimentalement ainsi $\boldsymbol{Q} = C \cdot \boldsymbol{b} \cdot \boldsymbol{H^{3/2}}$

En utilisant l'Energie spécifique Hsc

$$Q = V_c \cdot y_c \cdot b \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$H_{Sc} = y_c + \frac{V_C^2}{2g} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

Sachant que $F_{rc} = 1 = \sqrt{\frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S_C^3}} \Leftrightarrow 1 = \frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S_C^3} = \frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S_C^2 \cdot S_C} = \frac{V_C^2}{g \cdot y_C} \Rightarrow y_C = \frac{V_C^2}{g} \ldots\ldots(3)$

(2) devient $H_{Sc} = y_c + \frac{V_C^2}{2g} = \frac{V_C^2}{g} + \frac{V_C^2}{2g} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_C^2}{g}$

$$\boxed{\Rightarrow \frac{V_C^2}{g} = \frac{2}{3} \cdot H_{Sc} = y_C \ldots\ldots(4)}$$

$$\boxed{\Rightarrow V_c = \sqrt{\frac{2}{3} g \cdot H_{Sc}} \ldots\ldots(5)}$$

$$(4) et\ (5) en\ (1) \Rightarrow Q = V_c \cdot y_c \cdot b = \left(\sqrt{\frac{2}{3} g \cdot H_{Sc}}\right) \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot H_{Sc}\right) \cdot b = b \cdot \sqrt{g} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot H_{Sc}\right)^{3/2}$$

$$\boldsymbol{Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot b \cdot \sqrt{g} \cdot {H_{Sc}}^{3/2}}$$

En négligeant le terme $\frac{V^2}{2g}$ on aura $H = H_{Sc}$ et on retrouvera la premiere formule $\boldsymbol{Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot H^{\frac{3}{2}}}$

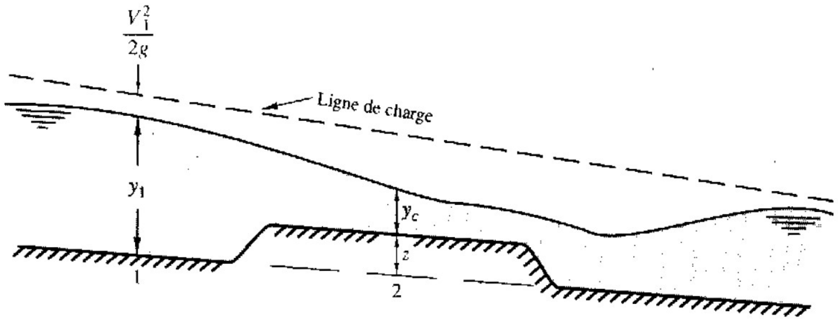
Cependant, la valeur de H_{Sc} : est difficile à mesurer avec précision, parce que la profondeur critique est difficile à déterminer.
L'équation utilisée dans la pratique s'écrit $\boldsymbol{Q} = C \cdot \boldsymbol{b} \cdot \boldsymbol{H}^{3/2}$;
On doit étalonner le déversoir sur place pour obtenir des résultats précis.

Exercice 5:

Trouver la formule applicable à une mesure du débit critique et l'illustrer par un exemple en face. On donne la perte de charge

$$\Delta H = \frac{1}{10}\left(\frac{V_c^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right)$$

b=3,05m; z=0,335m; y_1 =0,738m



Pour un canal rectangulaire de largeur constante, on applique l'équation de Bernoulli entre la section 1 et 2, dans laquelle on prend pour la perte de charge duc à l'accélération de l'écoulement, le dixième de la différence des hauteurs dynamiques, soit

$$y_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + Z + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_{12} \qquad \text{Avec } \Delta H = \frac{1}{10}\left(\frac{V_C^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right)$$

$$z_1 \approx z_2 \qquad \Rightarrow y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_C + Z + \frac{V_C^2}{2g} + \frac{1}{10}\left(\frac{V_C^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right)$$

$$\Rightarrow y_1 + 1,1\frac{V_1^2}{2g} = y_C + Z + 1,1\frac{V_C^2}{2g} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

Sachant que $F_{rc} = 1 = \sqrt{\frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S_C^3}} \Leftrightarrow 1 = \frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S_C^3} = \frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S_C^2 \cdot S_C} = \frac{V_C^2}{g \cdot y_C} \Rightarrow y_C = \frac{V_C^2}{g} \ldots\ldots(2)$

$$(2)\text{en }(1) \Rightarrow y_1 + 1,1\frac{V^2}{2g} = y_C + Z + 1,1\frac{y_C}{2} = Z + \frac{3,1}{2}y_C = Z + 1,55y_C \ldots.(3)$$

$$puisque\ y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}} \quad donc\ (3) \Leftrightarrow y_1 + 1,1\frac{V^2}{2g} = Z + 1,55 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}} \qquad \Leftrightarrow \frac{1}{1,55^3}\left(y_1 - Z + 1,1\frac{V^2}{2g}\right)^3 = \frac{Q^2}{g \cdot b^2}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{1{,}55^3}\, g\left(y_1 - Z + \mathbf{1,1}\,\frac{\boldsymbol{V^2}}{\boldsymbol{2g}}\right)^3 = \frac{\boldsymbol{Q^2}}{\boldsymbol{b^2}} \qquad \Leftrightarrow \mathbf{2,634}\cdot\left(y_1 - Z + \mathbf{1,1}\,\frac{\boldsymbol{Q^2}}{\boldsymbol{2g\cdot b^2\cdot y_1^2}}\right)^3 = \frac{\boldsymbol{Q^2}}{\boldsymbol{b^2}}$$

$$\Leftrightarrow \boldsymbol{q^2} = \mathbf{2,634}\cdot\left(y_1 - Z + \mathbf{1,1}\,\frac{\boldsymbol{q^2}}{\boldsymbol{2g\cdot y_1^2}}\right)^3 \qquad \text{car } q = \frac{Q}{b}$$

$$\boldsymbol{q} = \mathbf{1,623}\cdot\left(y_1 - Z + \mathbf{1,1}\,\frac{\boldsymbol{q^2}}{\boldsymbol{2g\cdot y_1^2}}\right)^{3/2} \qquad \Rightarrow \boldsymbol{q} = \mathbf{1,623}\cdot\left(y_1 - Z + \mathbf{0,056}\,\frac{\boldsymbol{q^2}}{\boldsymbol{y_1^2}}\right)^{3/2}$$

$\boldsymbol{AN}$: $b = 3{,}05m;\ z = 0{,}335m;\ y_1 = 0{,}738m$

commme premiere approximation $\boldsymbol{q_0} = \mathbf{1,623}\cdot(y_1 - Z)^{\frac{3}{2}} = \mathbf{1,623}\cdot(0{,}738 - 0{,}335)^{\frac{3}{2}} = 0{,}415$

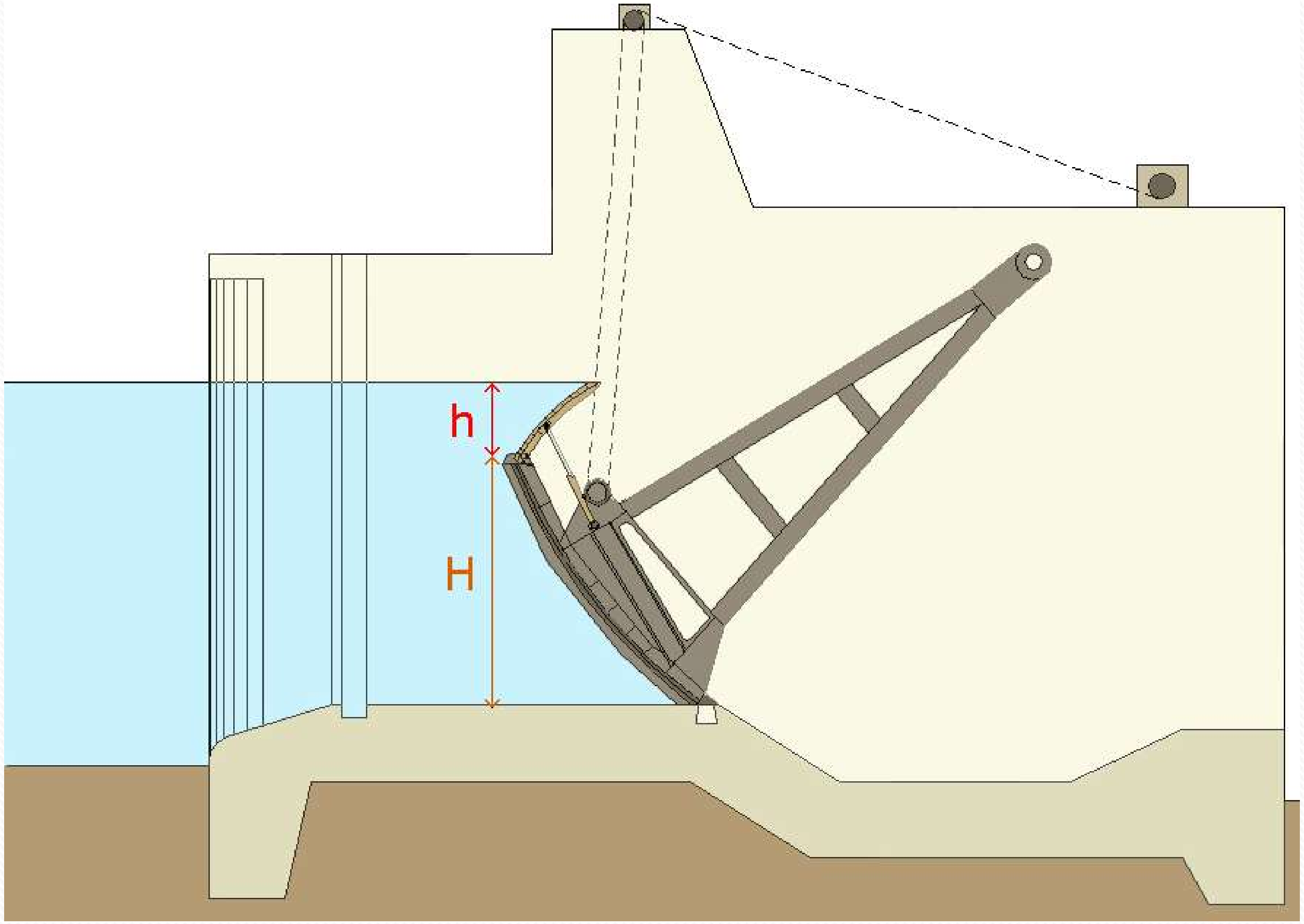
On procédera par itérations

$$\boldsymbol{q} = \mathbf{1,623}\cdot\left(0{,}738 - 0{,}335 + \mathbf{1,1}\,\frac{\boldsymbol{q^2}}{\mathbf{2\cdot 9,81\cdot 0,738^2}}\right)^{3/2}$$

$$\boldsymbol{q} = \mathbf{1,623}\cdot\left(0{,}403 + \mathbf{0,103}\cdot\boldsymbol{q^2}\right)^{3/2}$$

$\boldsymbol{q_0} = 0{,}415;\ \boldsymbol{q_1} = 0{,}443;\ q_2 = 0{,}447;\ \boldsymbol{q_3} = 0{,}447$

Donc $\boldsymbol{q} = 0{,}447\mathrm{m^3/m\cdot s}$ Et $\mathrm{Q} = \boldsymbol{q}\cdot\mathrm{b} = 1{,}363\mathrm{m^3/s}$


h
H