

# Hydraulique, morphologie et dynamique fluviale

- **Hydraulique à surface libre**
- **Transport solide**
- **Formes naturelles**
- *Évolution rivières aménagées*
- *Action de l'homme sur les crues*
- *Prévention*

# Hydraulique à surface libre

Canaux, rivières,  
assainissement urbain

## Hydraulique en charge

Réseaux irrigation, AEP

## Hydraulique souterraine

Nappes phréatiques,  
nappes captives

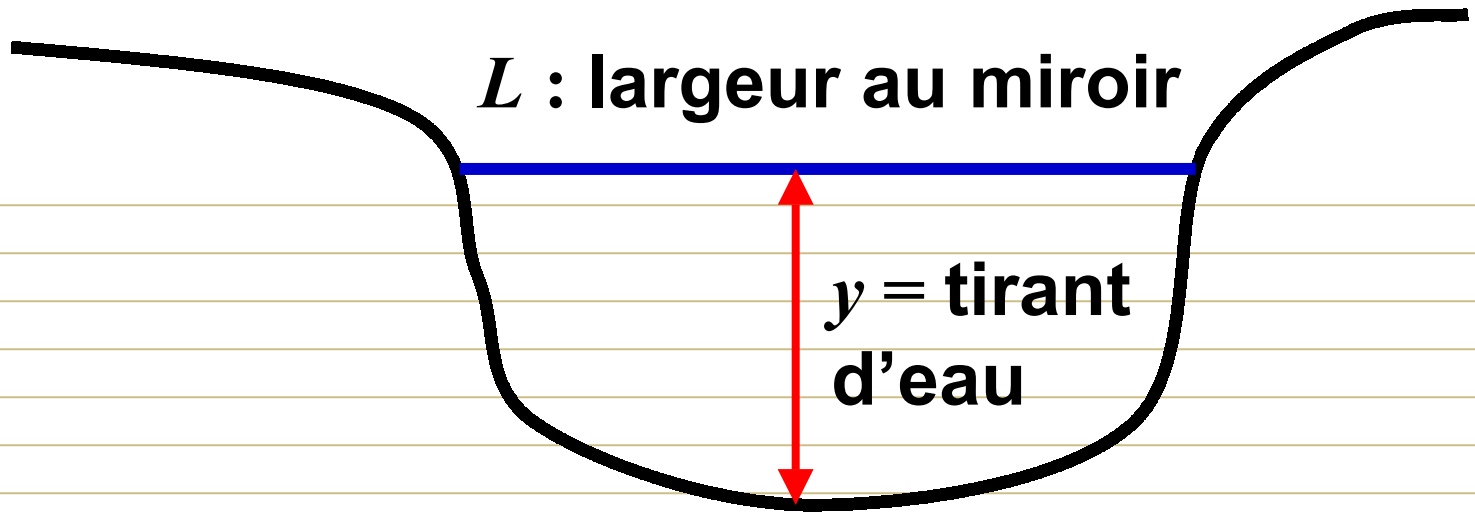
# Hydraulique à surface libre



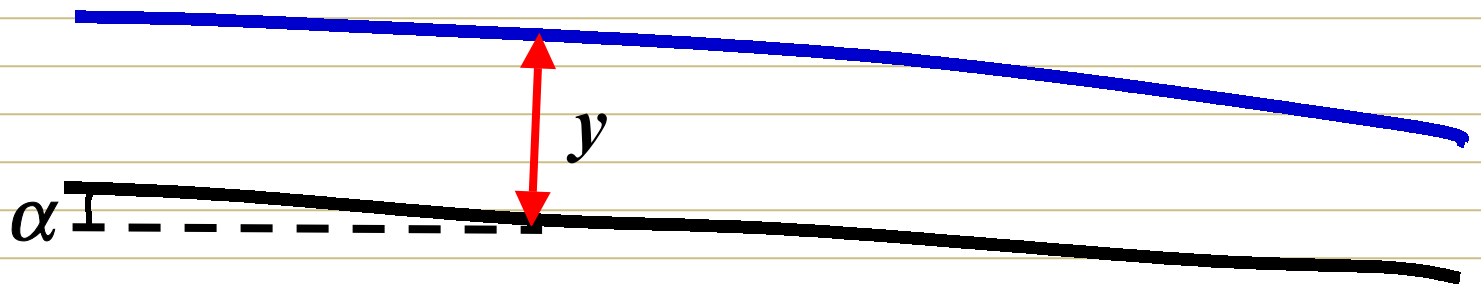
Limnigraphe sur le Rhône à Arles

**Voyons quelques  
définitions,**

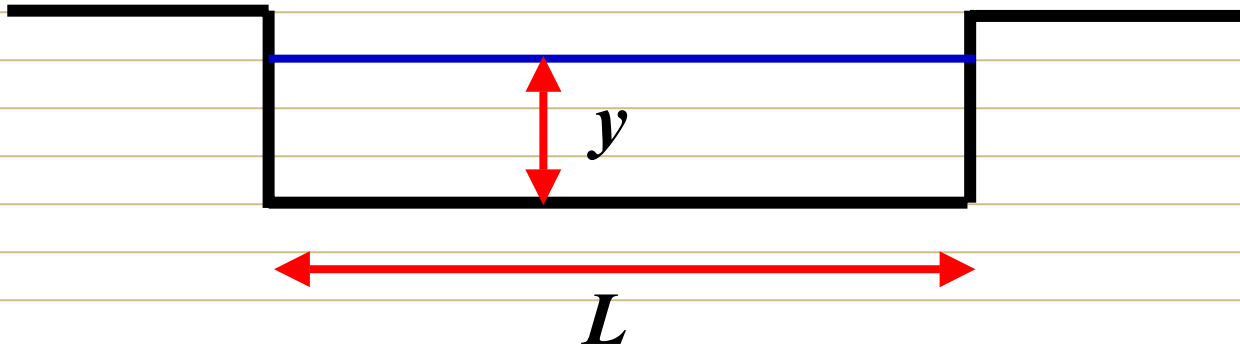
**d'abord  
géométriques,  
ensuite  
hydrauliques.**



Rayon hydraulique :  $R = \frac{S}{P}$



Pente :  $i = -\frac{dz}{dx} = \sin \alpha$



Rayon hydraulique :  $R = \frac{S}{P}$

$$R = \frac{L \cdot y}{L + 2 \cdot y} \approx y$$

**si infiniment large**

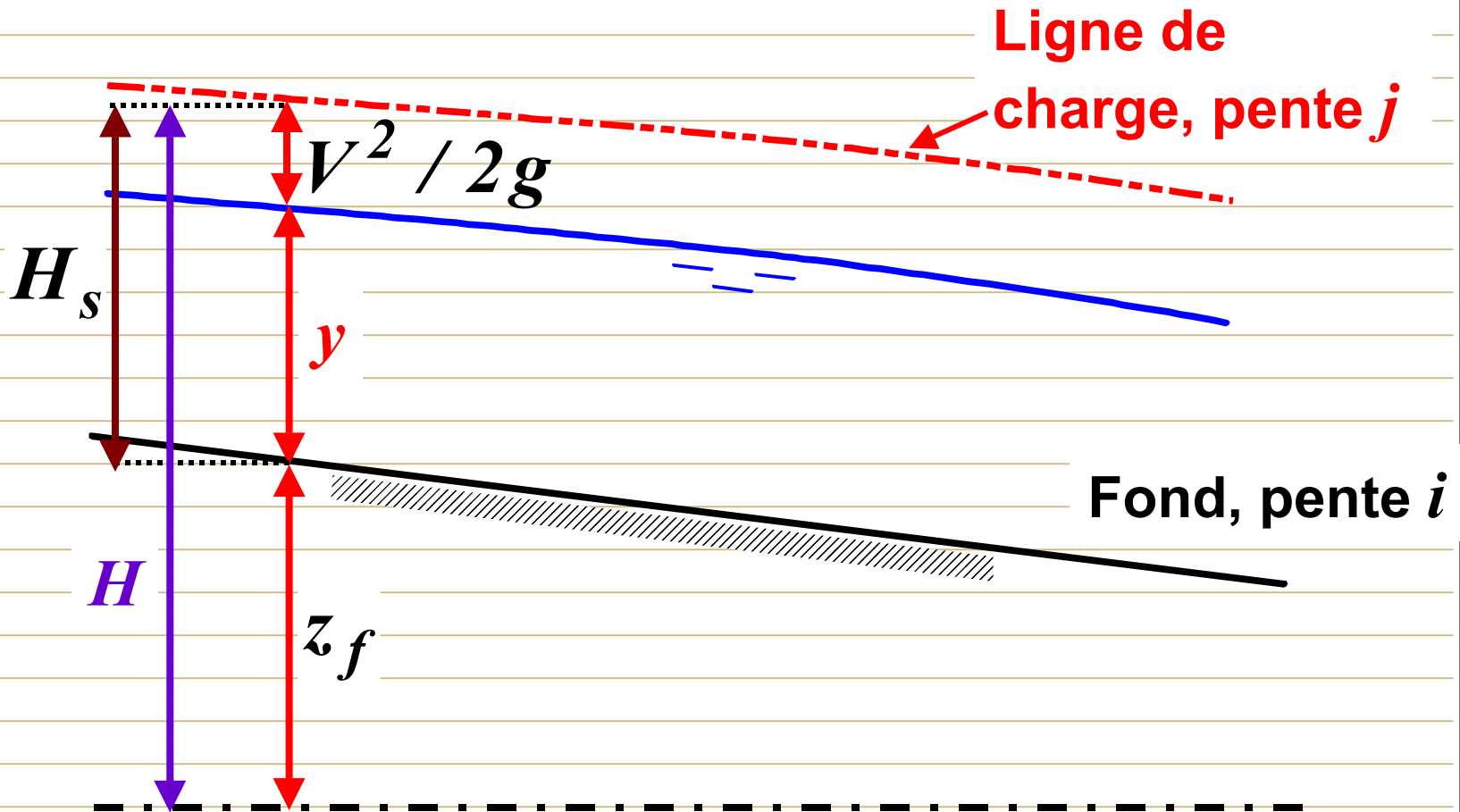
**Masse volumique :**  $\rho_w = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$

**Poids volumique :**  $\gamma_w = g \cdot \rho_w = 9,81 \text{ kN} / \text{m}^3$

**Vitesse moyenne :**  $V = Q/S$

**Charge moyenne :**  $H = z_f + y + V^2 / 2.g$

Charge spécifique :  $H_s = H - z_f = y + V^2 / 2.g$



# RÉGIME PERMANENT

$Q = \text{constante}$

# RÉGIME PERMANENT UNIFORME

Chenal uniforme et  $y = \text{constante}$

# RÉGIME TRANSITOIRE

Rivière réelle en crue ....

# 1-ÉCOULEMENT PERMANENT UNIFORME (1/4)

Conservation masse :  $Q_1 \cdot \Delta t = Q_2 \cdot \Delta t \Rightarrow Q_1 = Q_2$

$Q = \text{constante}$

$\Rightarrow$

$V = Q/S = \text{constante}$

$$H = z_f + y + V^2 / 2.g \Rightarrow$$

$$j = -\frac{dH}{dx} = -\frac{dz_f}{dx}$$

$$j=i$$

# 1-ÉCOULEMENT PERMANENT UNIFORME (2/4)

## Formule de Manning Strickler

$$Q = K . S . R^{2/3} \sqrt{i}$$

$$S(y) , R(y)$$

$y = f(Q)$  baptisé tirant d'eau normal  $y_n$

# 1-ÉCOULEMENT PERMANENT UNIFORME (3/4)

$$Q = K.S.R^{2/3} \sqrt{i}$$

Si section rectangulaire large :  $R \approx y$

$$\Rightarrow Q = K.L.y^{5/3} \sqrt{i}$$

$$y = \left( \frac{Q}{K.L\sqrt{i}} \right)^{3/5}$$

# 1-ÉCOULEMENT PERMANENT UNIFORME (4/4)

Nature des parois	Valeur de $K$ en $m^{1/3}/s$
<b>Béton lisse</b>	<b>75</b>
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en forêt	< 10

## 2-ÉCOULEMENT PERMANENT GRADUELLEMENT VARIÉ (1/6)

$$H = z_f + y + \frac{V^2}{2.g} = z_f + y + \frac{Q^2}{2.g.S^2}$$

$$j = -\frac{dH}{dx} = -\frac{dy}{dx} + i \frac{dz_f}{dx} + \frac{Q^2}{g.S^3} \frac{L dy}{dx}$$

$$\Rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{i - j}{1 - \frac{Q^2 L}{g.S^3}}$$

## 2-ÉCOULEMENT PERMANENT GRADUELLEMENT VARIÉ (2/6)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{i - j}{1 - \frac{Q^2 L}{g \cdot S^3}}$$

$$j = \frac{Q^2}{K^2 S^2 R^{4/3}}$$

## 2-ÉCOULEMENT PERMANENT GRADUELLEMENT VARIÉ (3/6)

Tirant d'eau critique pour énergie minimale

$$H_s = y + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot S^3}$$

$$\frac{dH_s}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{g \cdot S^3} \left( \left( \frac{\partial S}{\partial x} \frac{dx}{dy} + \frac{\partial S}{\partial y} \right) \right)$$

$$\frac{dH_s}{dy} = 1 - \frac{Q^2 \cdot L}{g \cdot S^3} \Rightarrow$$

$$\boxed{\frac{Q^2 \cdot L}{g \cdot S^3} = 1}$$

## 2-ÉCOULEMENT PERMANENT GRADUELLEMENT VARIÉ (4/6)

Nombre de Froude : 
$$F = \sqrt{\frac{Q^2 L}{g \cdot S^3}}$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y_m}}$$

Critique :  $F = 1$

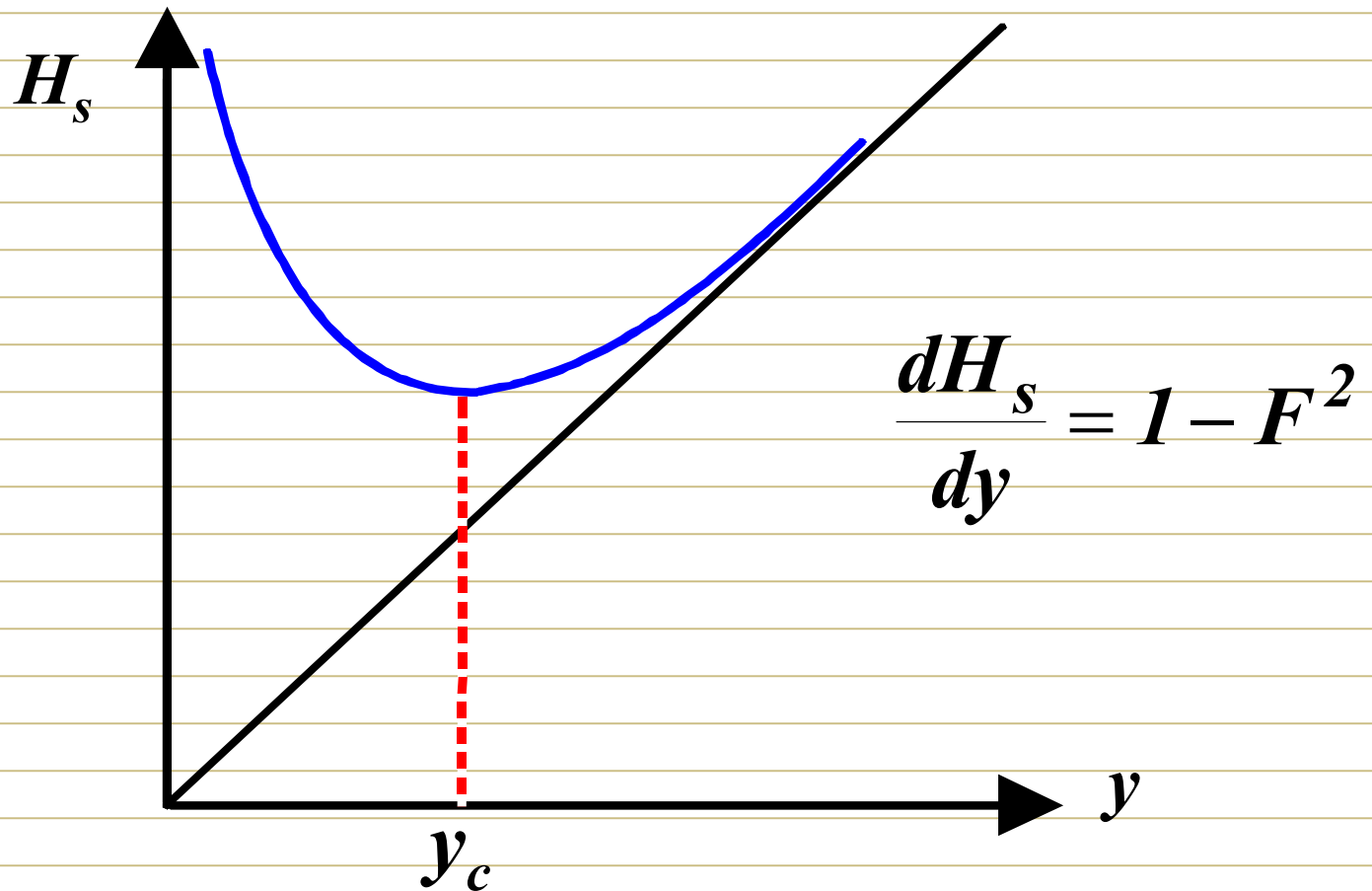
Fluvial :  $F < 1$

Torrentiel :  $F > 1$

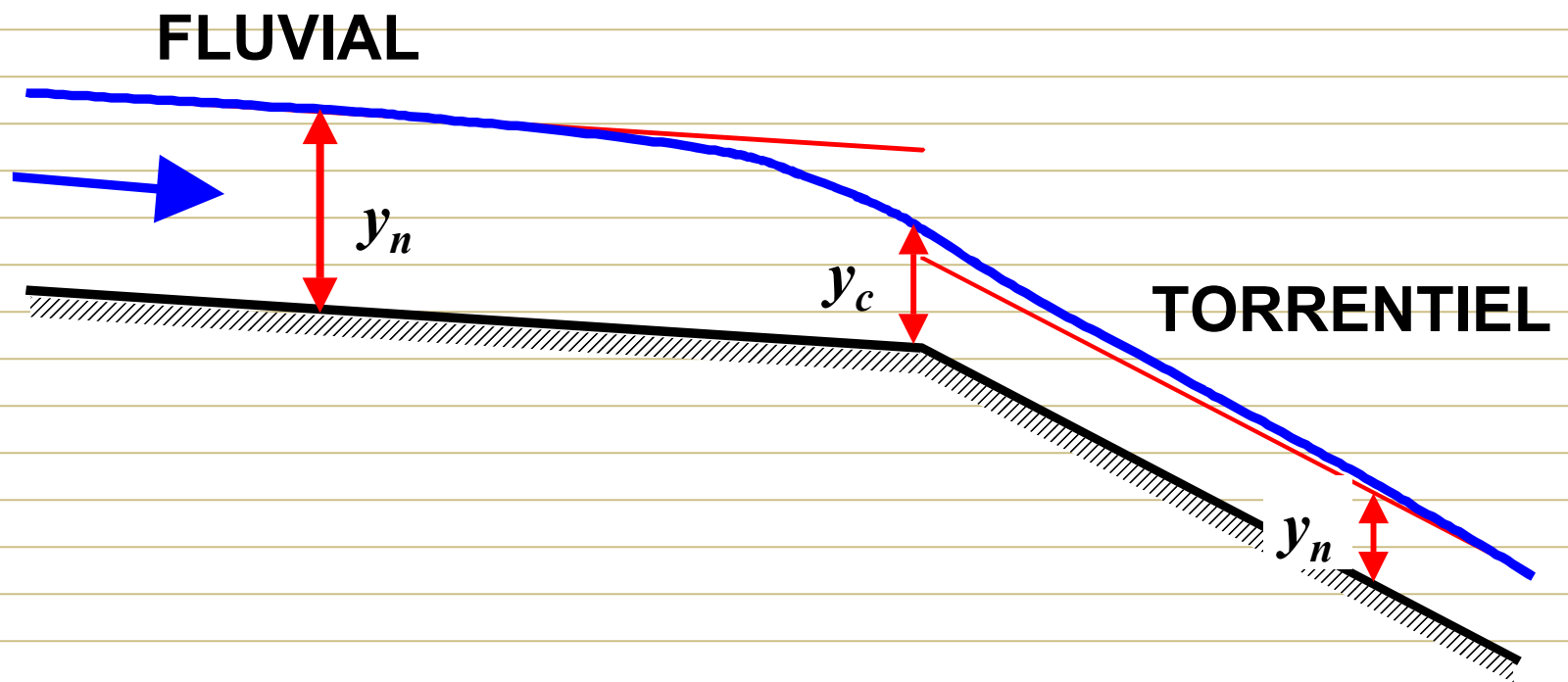
Tirant d'eau critique :

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

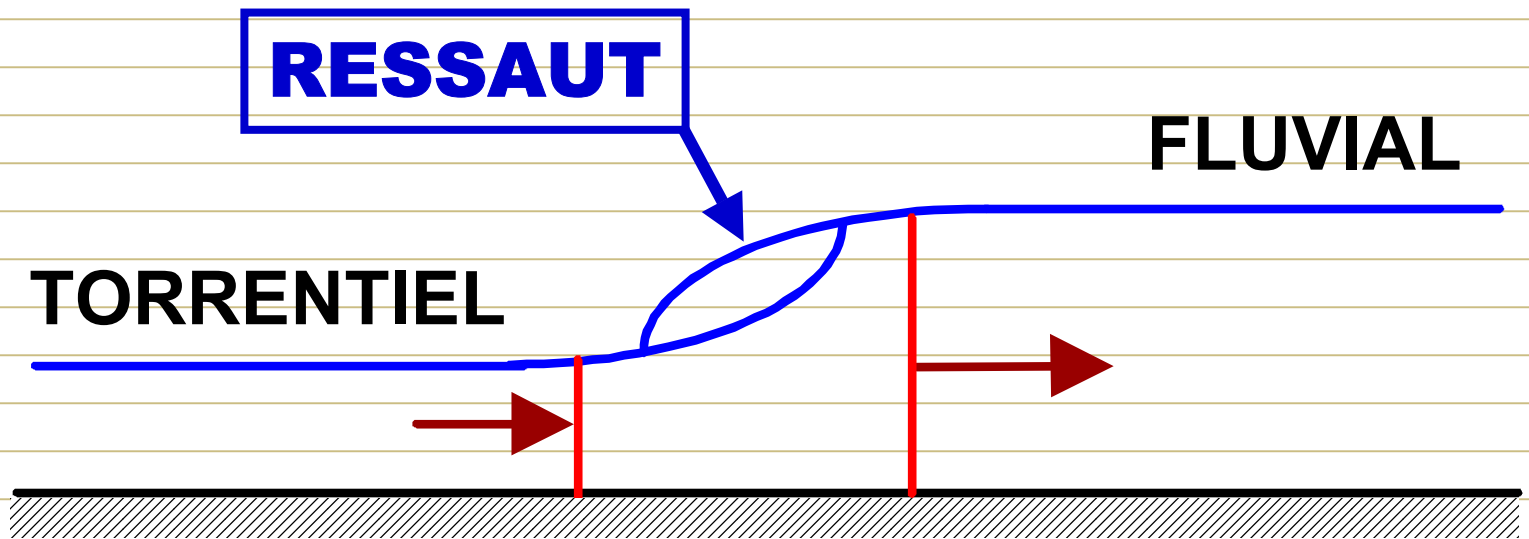
## 2-ÉCOULEMENT PERMANENT GRADUELLEMENT VARIÉ (1/6)



## 2-ÉCOULEMENT PERMANENT GRADUELLEMENT VARIÉ (6/6)



### 3-ÉCOULEMENT PERMANENT RAPIDEMENT VARIÉ (1/6)

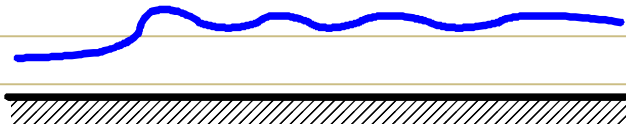


$$y_2 = y_1 \left( \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1}{2} - \frac{1}{2} \right)$$

### 3-ÉCOULEMENT PERMANENT RAPIDEMENT VARIÉ (2/6)

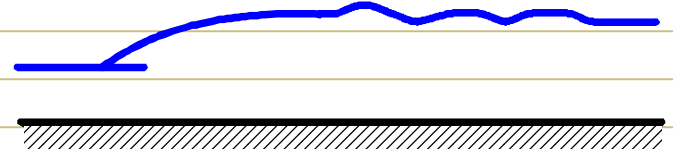
**Ressaut ondulé**

$$1 < F < 1,7$$



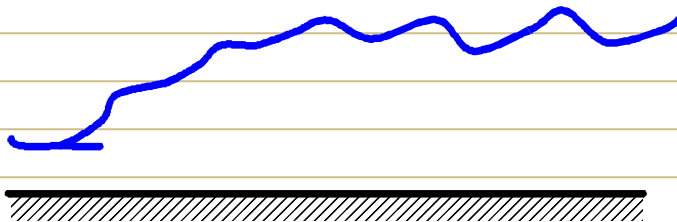
**Ressaut faible**

$$1,7 < F < 2,5$$



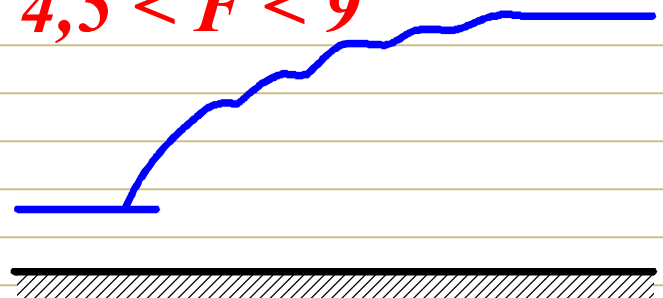
**Ressaut oscillant**

$$2,5 < F < 4,5$$



**Ressaut établi**

$$4,5 < F < 9$$



### 3-ÉCOULEMENT PERMANENT RAPIDEMENT VARIÉ (3/6)

Longueur du ressaut :

$$L_r = 35.y_2 \frac{\sqrt{F_1}}{8 + F_1}$$



### 3-ÉCOULEMENT PERMANENT RAPIDEMENT VARIÉ (4/6)

Loi de débit d'un seuil :

$$Q = \mu \sqrt{2gL} \cdot H^{3/2}$$

- ➔ Coefficient de débit
- ➔ Longueur déversante
- ➔ Charge sur le seuil



Seuil sur l'Arc - 13



**Seuil et passe à poissons sur le Vidourle**

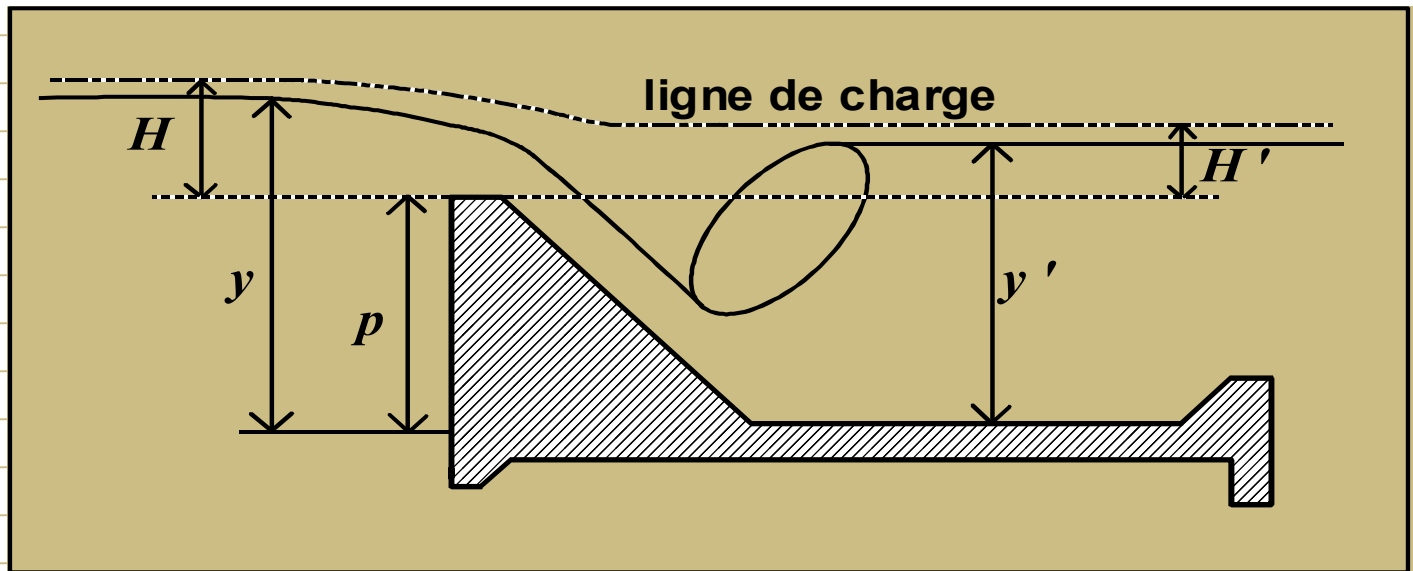
ENGREF G. DEGOUTTE

### 3-ÉCOULEMENT PERMANENT RAPIDEMENT VARIÉ (5/6)

## Seuil **ennoyé** ou **dénoyé**

$$Q = \mu.L.\sqrt{2.g.H^{3/2}} \quad \text{si } H' < 2H / 3$$

$$Q = \mu'.L.H'.\sqrt{2.g(H - H')} \quad \text{avec } \mu' = 3\sqrt{3} / 2$$



### 3-ÉCOULEMENT PERMANENT RAPIDEMENT VARIÉ (6/6)

## Relation hauteur - débit



$$H' = 2H/3$$

## 4 - ÉCOULEMENT TRANSITOIRE 1/6

### Équations de Barré de Saint Venant

• continuité : 
$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

• dynamique : 
$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = i - j$$

**inertie**

**propagation**

**frottement**

# 4 - ÉCOULEMENT TRANSITOIRE 2/6

## 4.1 - Cas des rivières à forte pente

$$\cancel{\frac{I}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{g \partial x}} + \cancel{\frac{\partial v}{\partial x}} = i - j$$

**inertie**

**propagation**

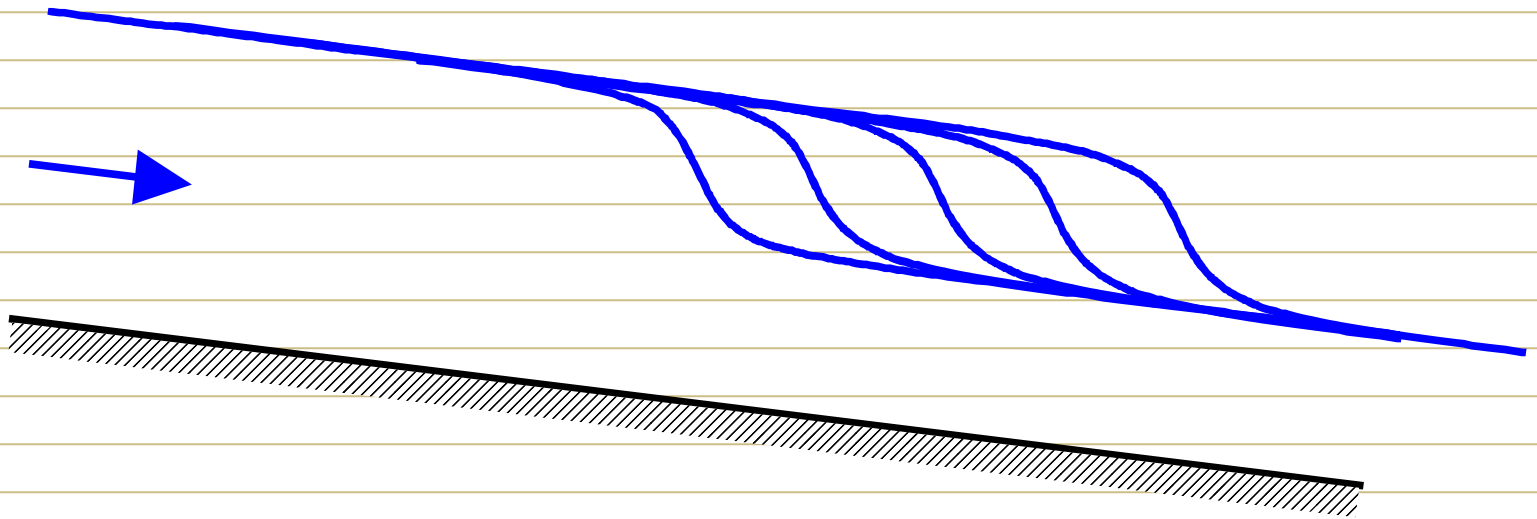
**frottement**

$i = j$  : **onde cinématique**

$$Q = K \cdot S \cdot R^{2/3} \sqrt{i} \quad \text{à chaque instant.}$$

## 4 - ÉCOULEMENT TRANSITOIRE 3/6

### Propagation de l'onde cinématique



$$\text{Célérité} : c_c = \frac{\partial Q}{\partial S} = 5 \cdot V / 3$$

# 4 - ÉCOULEMENT TRANSITOIRE 4/6

## 4.2 - Cas des rivières à faible pente

$$\cancel{\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x}} + \frac{\partial y}{\partial x} = i - j$$

**inertie**

**propagation**

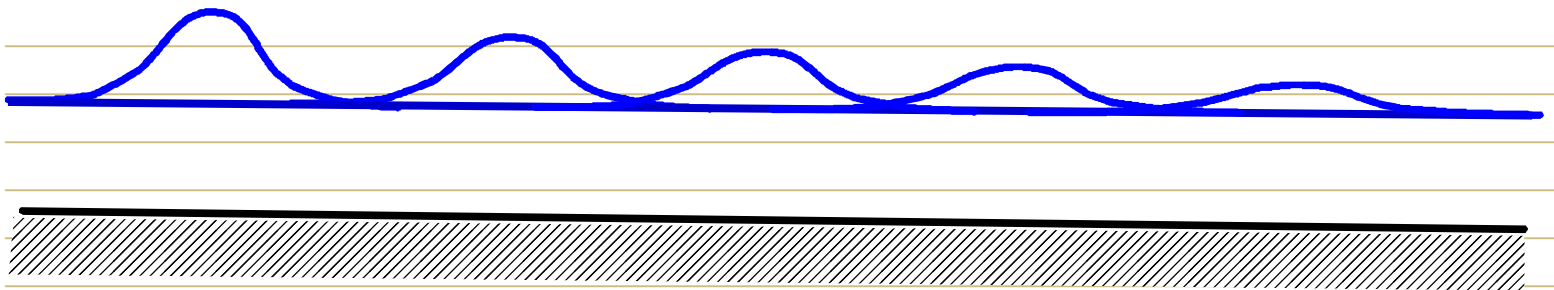
**frottement**

$$\frac{\partial y}{\partial x} = i - \frac{Q^2}{K^2 \cdot S^2 R^{4/3}} \quad : \text{ onde diffusante}$$

$$\Leftrightarrow Q = K \cdot S \cdot R^{2/3} \sqrt{i - \frac{\partial y}{\partial x}}$$

## 4 - ÉCOULEMENT TRANSITOIRE 5/6

### Propagation de l'onde diffusante



$$\text{Célérité : } c_d = 5. V / 3$$

# 4 - ÉCOULEMENT TRANSITOIRE 6/6

Épandage de la crue  
dans le lit majeur

Suppression  
de l'épandage

