

Hydraulique, morphologie et dynamique fluviale

- **Hydraulique à surface libre**

- **Transport solide**

- **Formes naturelles**

- ***Évolution rivières aménagées***

- ***Action de l'homme sur les crues***

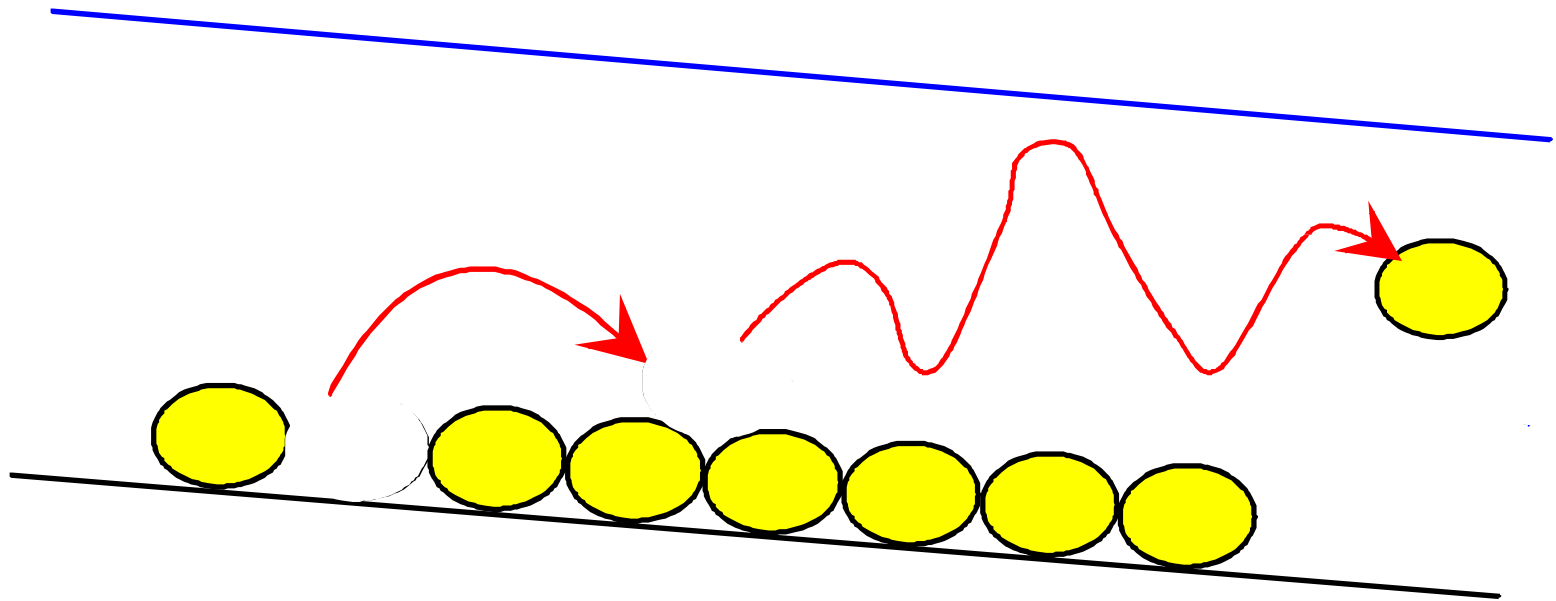
- ***Prévention***

TRANSPORT SOLIDE



Cas d'un matériau de fond uniforme

Faisons croître la vitesse ...

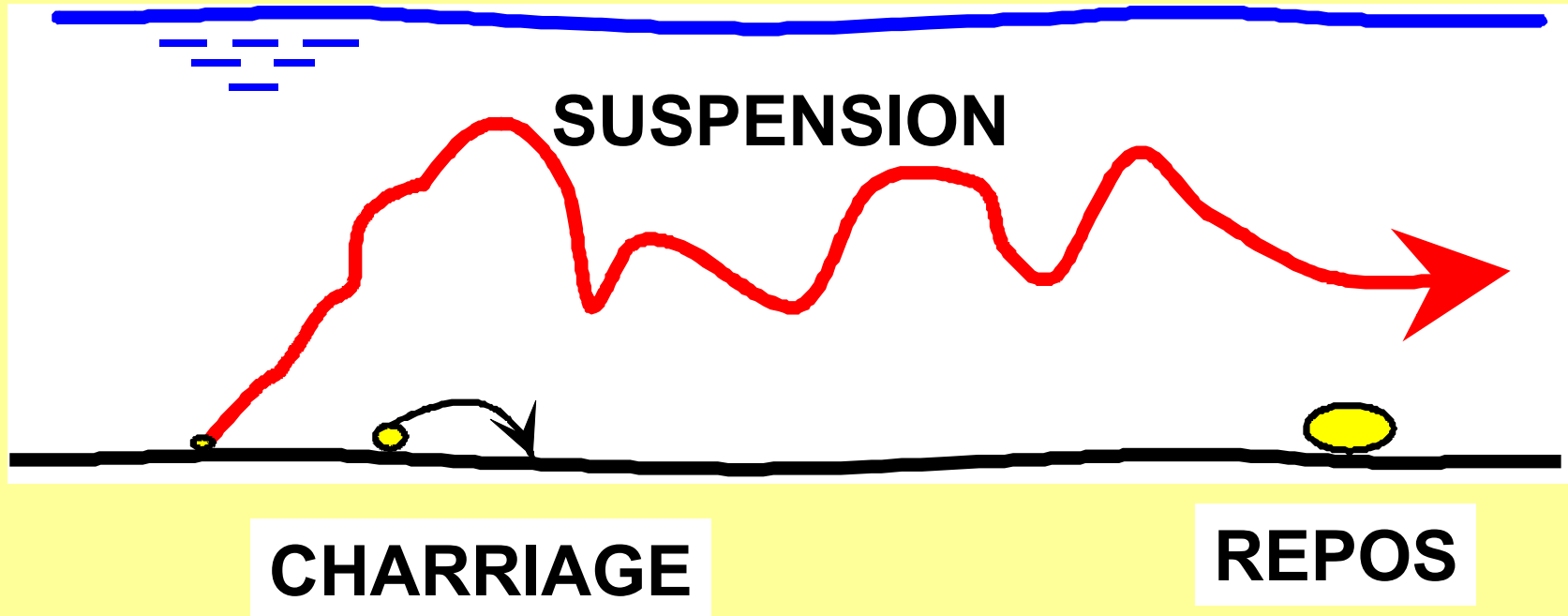


repos

charriage

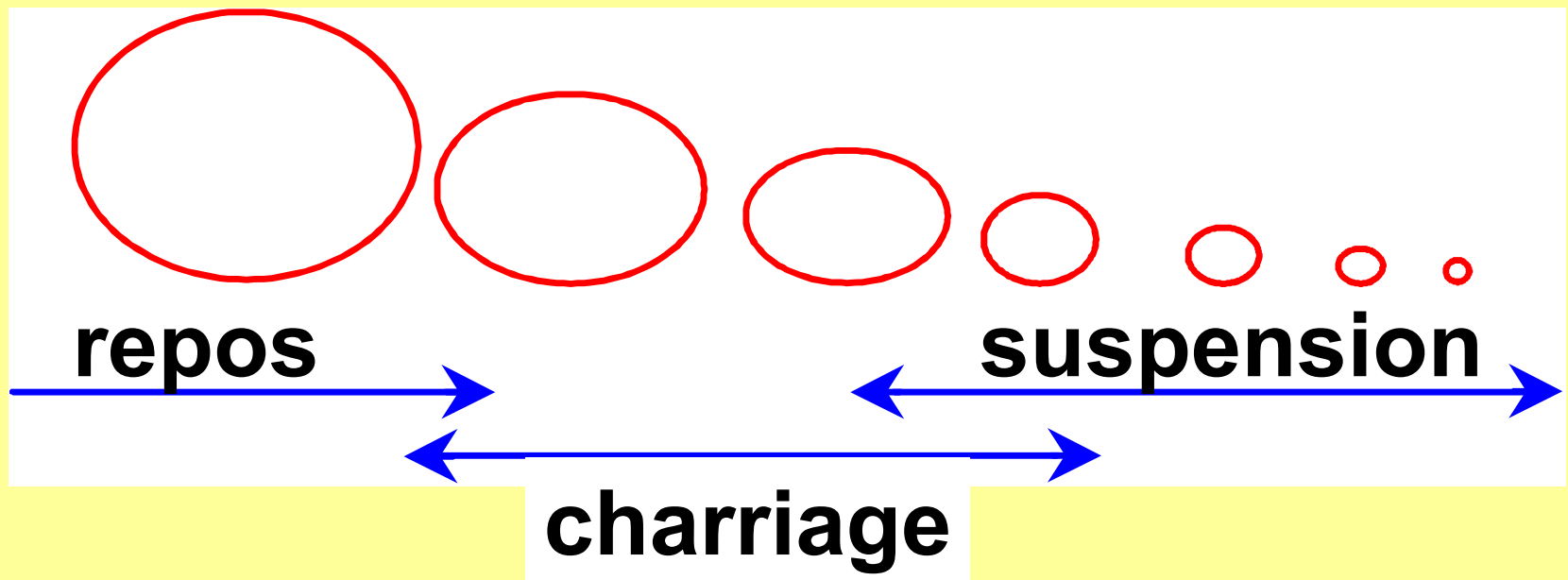
suspension

Cas de matériaux de fond non uniformes



Rôle de la taille des grains

Pour un débit donné, il peut y avoir simultanément :

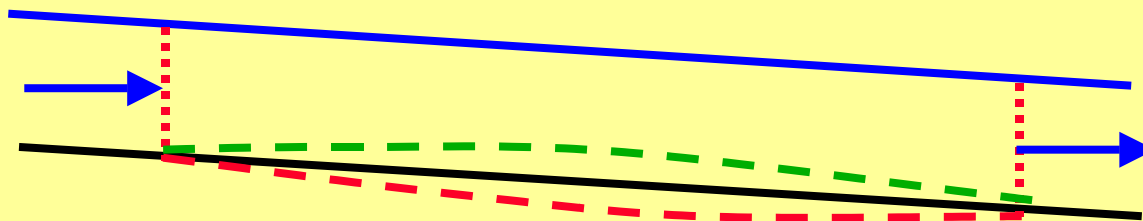


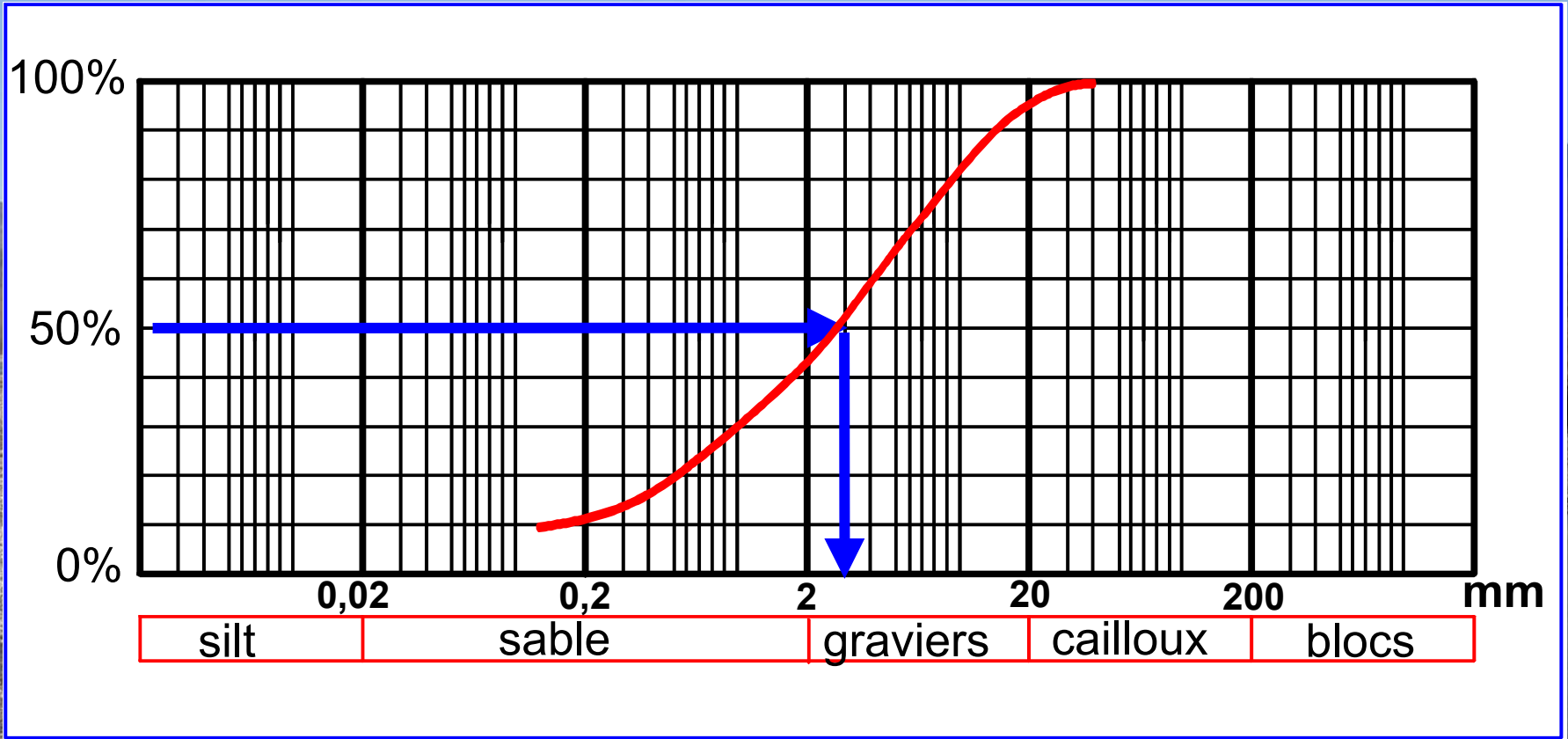
Saturation en débit solide

Q_s sortant = Q_s entrant : équilibre

Q_s sortant < Q_s entrant : dépôt

Q_s sortant > Q_s entrant : érosion



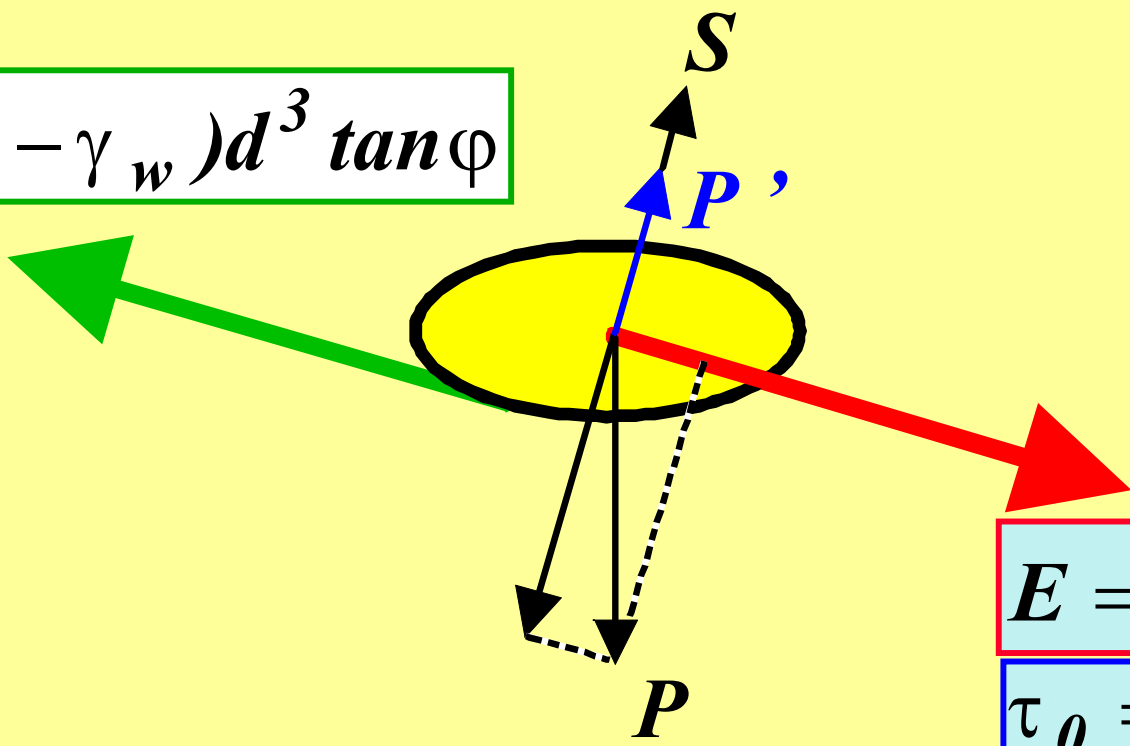


$$d_{50} = 3 \text{ mm}$$

*Élément fondamental
de l'identité de la rivière*

Équilibre d'un grain

$$F = a(\gamma_s - \gamma_w)d^3 \tan \varphi$$



$$E = b \cdot \tau_0 \cdot d^2$$

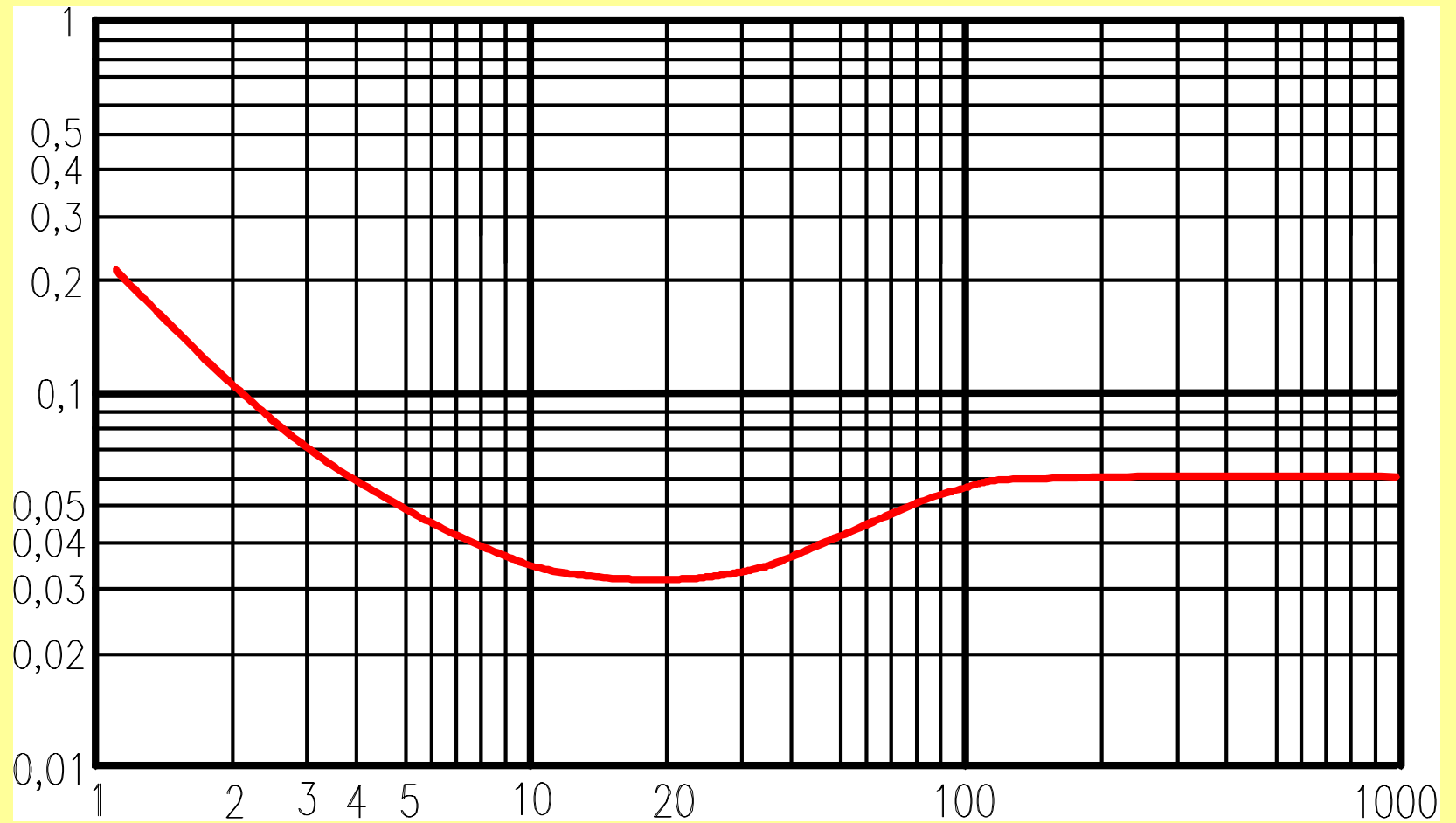
$$\tau_0 = \gamma_w R \cdot i$$

$$\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma_w)d} < a \cdot \tan \varphi / b$$

$$\tau^* = \frac{y \cdot i}{1,6 \cdot d}$$

Diagramme de Yalin

τ^*



à $20^\circ C$, $d^* = 25000.d$

d^*

Déplacement grain diamètre d

$$\tau^* = \frac{y \cdot i}{1,6 \cdot d}$$

$$\tau^* > 0,047$$

: charriage

$$\tau^* < 0,062$$

: charriage sur fond plat

$$\tau^* < 0,25$$

: charriage par dunes

$$\tau^* > 0,25$$

: suspension

$$\tau^* < 2,5$$

: dunes et suspension

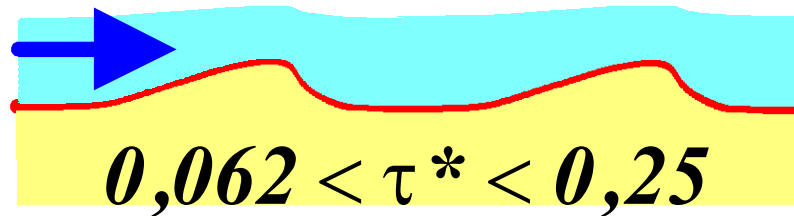
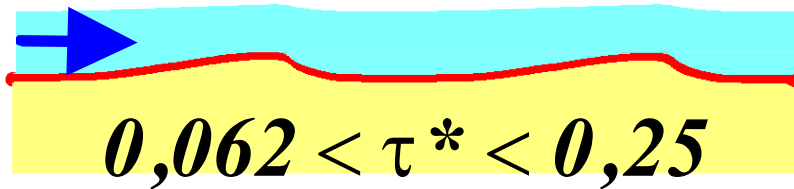
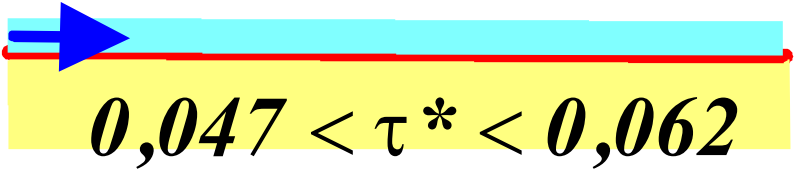
$$\tau^* > 2,5$$

: suspension et fond plat

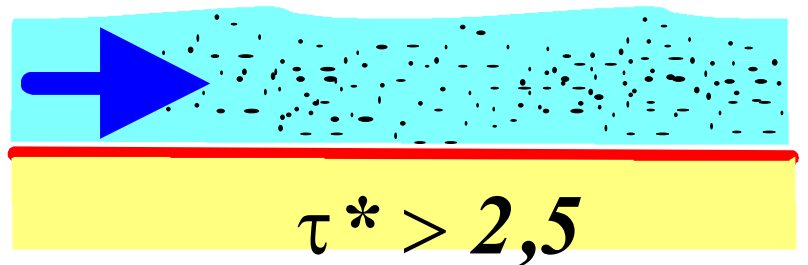
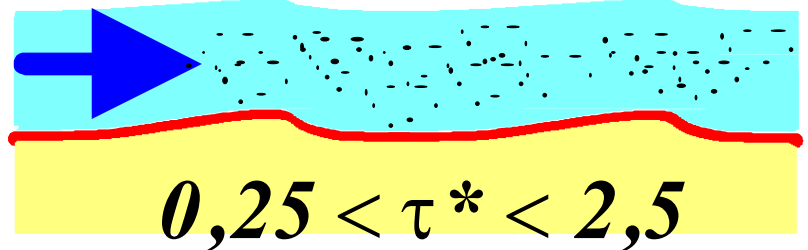
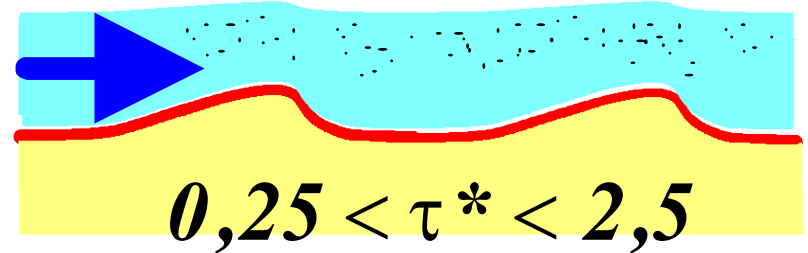
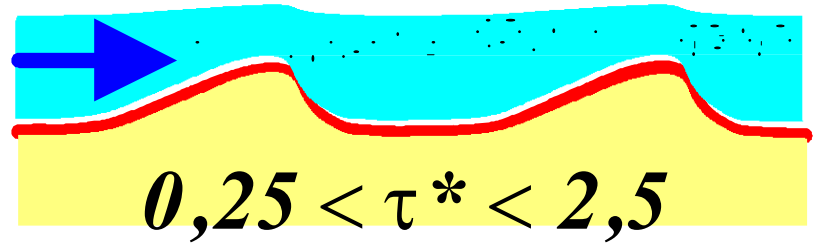
DUNES

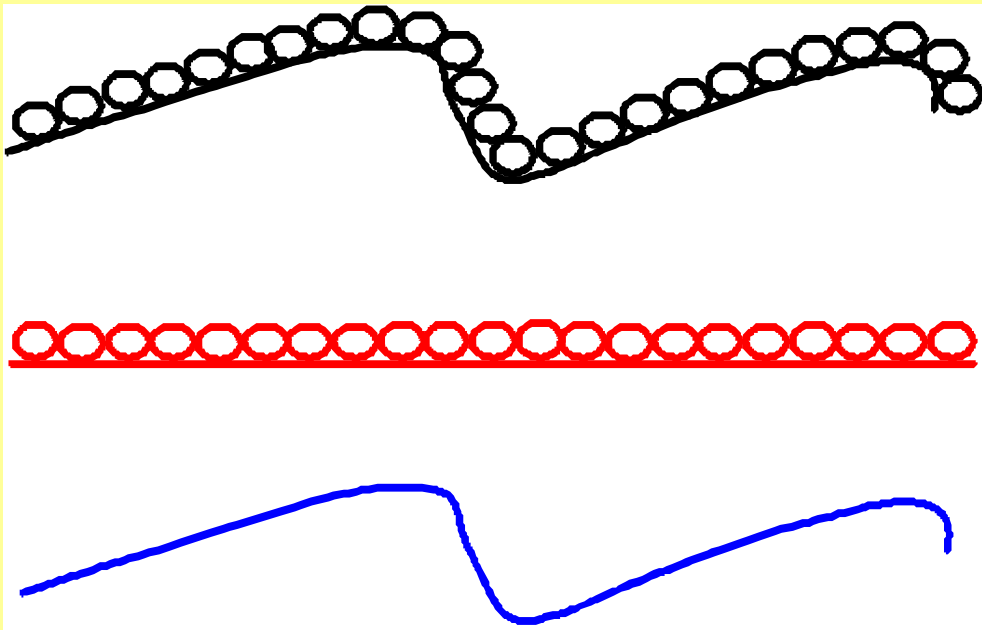
τ^* ↗

Charriage



Suspension





Force tractrice totale τ_0

=

Force tractrice due aux grains (efficace) $\beta \cdot \tau_0$

+

Force tractrice due aux dunes $(1 - \beta) \tau_0$

$$\tau_0 \text{ efficace} = \beta \cdot \tau_0$$

$$\beta = \left(\frac{K}{K_{\text{grain}}} \right)^{3/2}$$

CHARRIAGE SEUL : formule de Meyer-Peter et Muller

$$q_s = 32(\beta \cdot \tau^* - 0,047)^{3/2} d^{3/2}$$

sans vides.

$$\bar{q}_s = q_s / (1 - n)$$

vides compris.

$$\beta = \left(\frac{K}{K_{grain}} \right)^{3/2}$$

Sur fond plat, $\beta = 1$

$$\tau^* < 0,25$$

TRANSPORT SOLIDE TOTAL

formule d'Engelund

$$\overline{q_s} = 0,010.K^2 .y^{17/6} .i^{5/2} .d^{-1}$$

vides compris

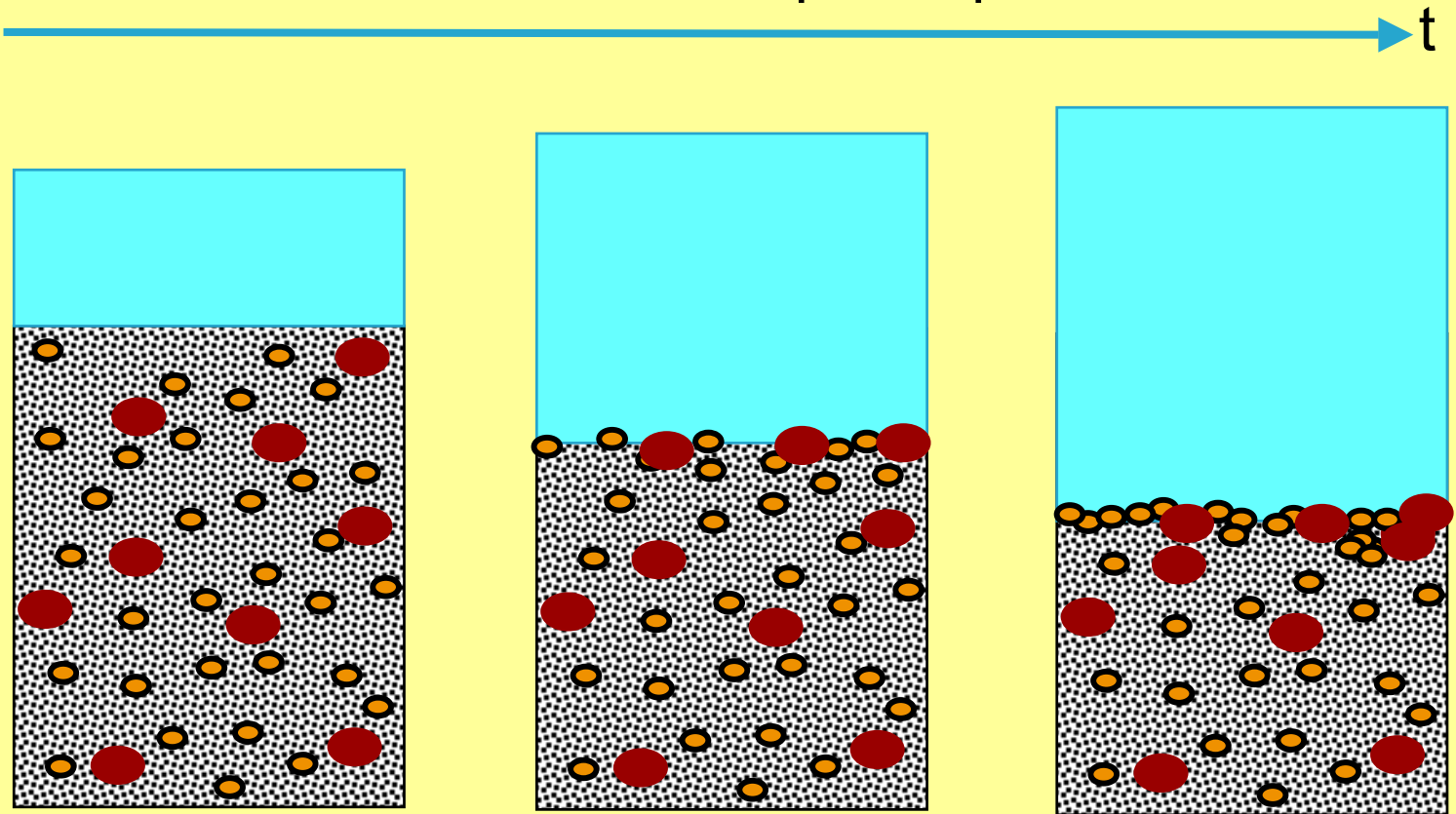
$$q_s = (1 - n) \overline{q_s}$$

sans vides

$$\tau^* > 0,25$$

Pavage 1/3

En crue, érosion du fond par départ de sable



$\tau^* \text{ sable} > 0,047$ et $\tau^* \text{ graviers} < 0,047$

Pavage 2/3

- **Granulométrie étendue : *départ des fines en premier***
- **Grains grossiers : *rôle structurant***
- **⇒ pavage (protection de surface)**
- **Le pavage participe à une stabilité relative**
- **La capacité de transport solide n'est pas assurée si la rivière est pavée**

Pavage 3/3



Banc pavé sur l'Allier

Masquage



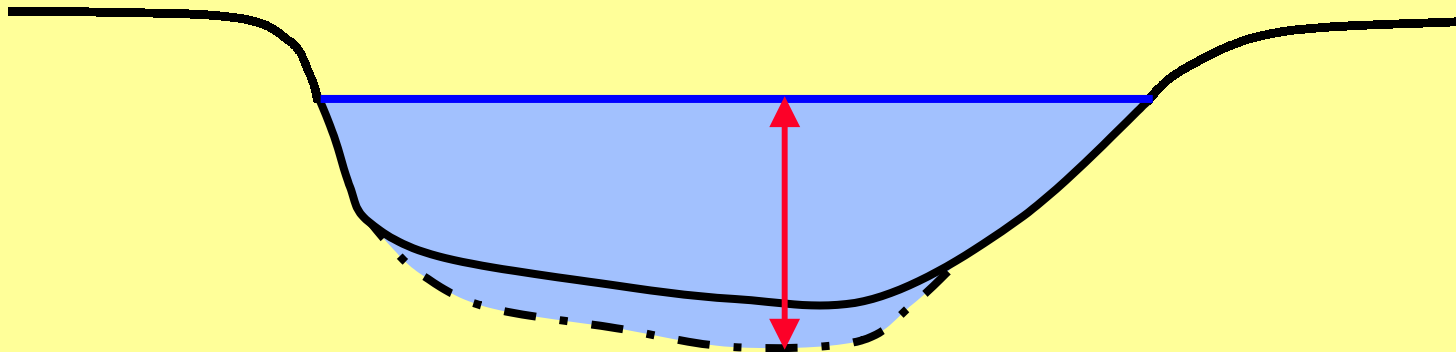
Vitesse de début d'entraînement

$$V_0 = 2,7 \cdot K^{1/4} \cdot y^{1/6} \cdot d^{3/8}$$

$$K = 28, \quad y = 3 \text{ m}, \quad d = 10 \text{ cm} \longrightarrow V = 3,4 \text{ m/s}$$

Profondeur des fonds perturbés

$$f_p = 0,73 \cdot q^{2/3} / d^{1/6}$$



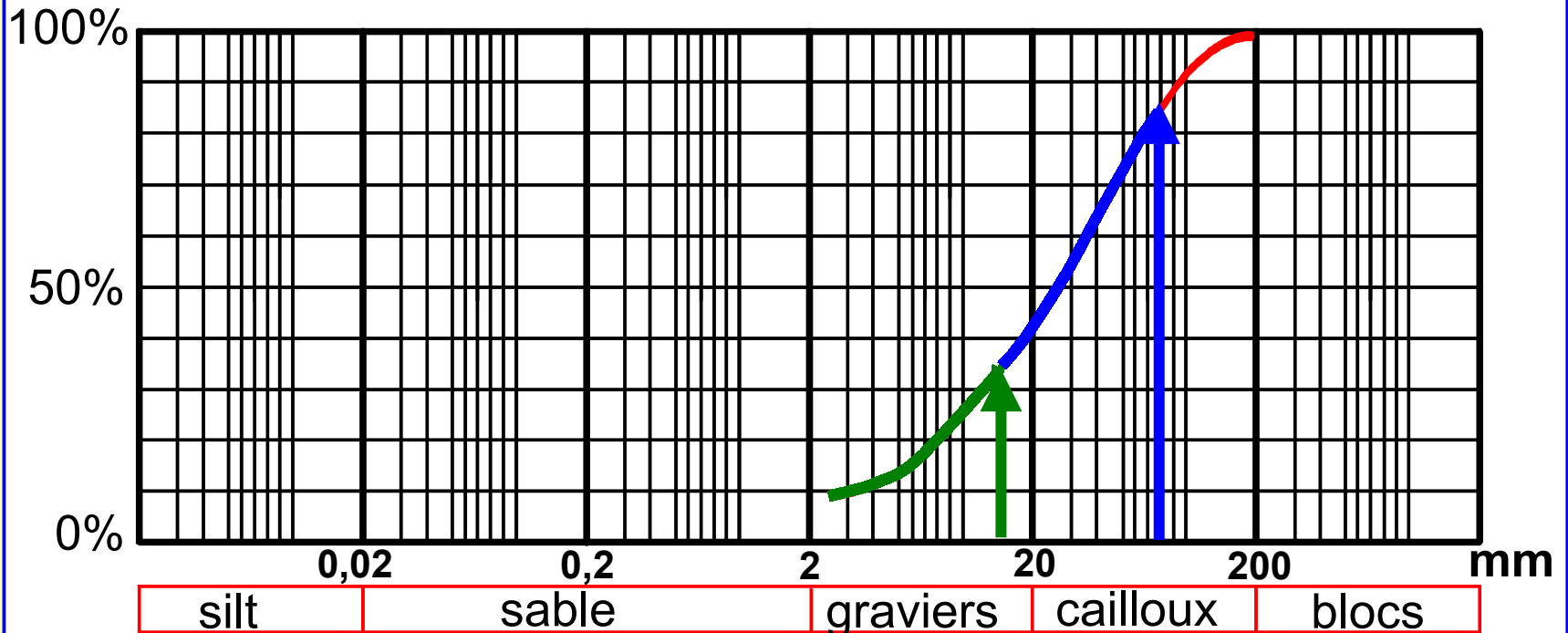
Application 1

Soit une rivière de pente $0,2 \%$
et de profondeur du lit mineur 3 m .

Quelle est la taille des grains transportés en crue ?

Application 1

Soit une rivière de pente 0,2 %
et de profondeur du lit mineur 3 m.



Début du charriage pour : $\tau^* = y.i / 1,6.d = 0,047 \Rightarrow d = 8 \text{ cm}$

Début de la suspension pour : $\tau^* = 0,25 \Rightarrow d = 1,5 \text{ cm}$

Application 2

Soit une rivière de pente $i=0,2 \%$,
de profondeur du lit mineur 3 m ,
de largeur $L=20 \text{ m}$,
de Strickler $K=25$,
coulant sur un sable $d=3 \text{ mm}$.

Pour un débit donné, y-a-t'il transport solide ?

Application 2

Soit une rivière de pente $i=0,2 \%$,
de profondeur du lit mineur 3 m ,
de largeur $L=20 \text{ m}$,
de Strickler $K=25$,
coulant sur un sable $d=3 \text{ mm}$.

Le débit mesuré est $Q=90 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$y = \left(\frac{Q}{K \cdot L \sqrt{i}} \right)^{3/5} = 2,3 \text{ m}$$

$$\tau^* = \frac{y \cdot i}{1,6 \cdot d} = 0,096 \Rightarrow$$

charriage (avec dunes)