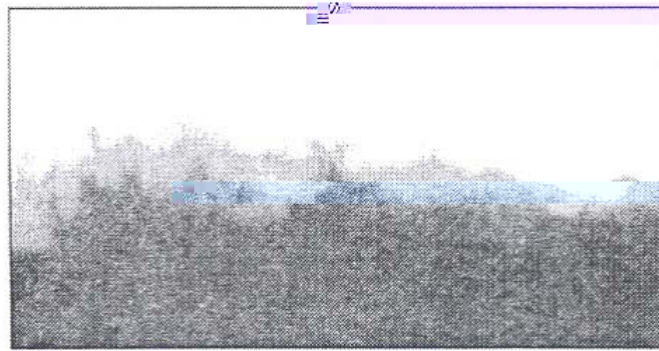
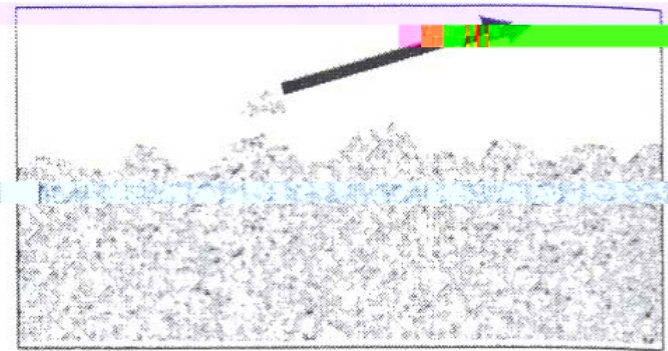


# processus d'érosion des sédiments cohésifs

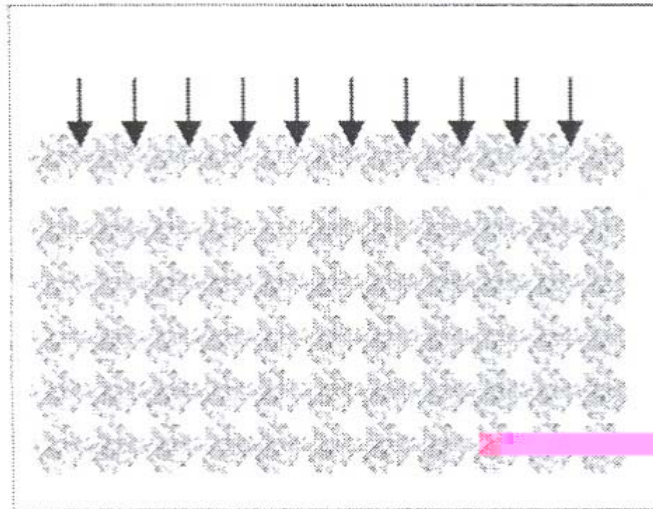


*Fig. 9.1a: Entrainment of a dense mud layer by turbulent water flow (entrainment = "one-way" mixing).*

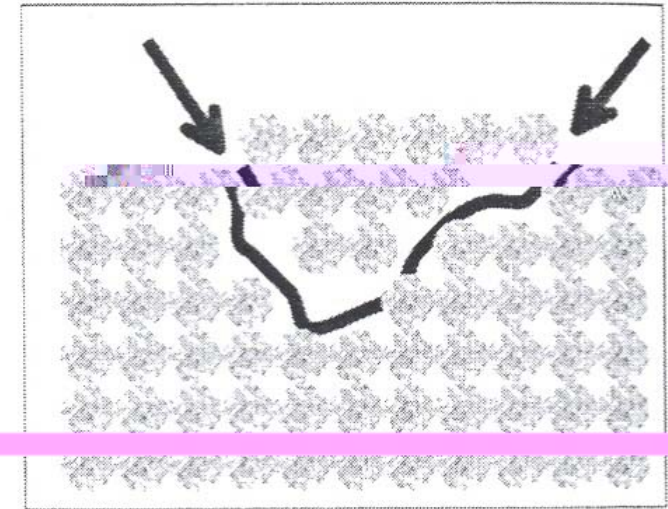


*Fig. 9.1b: Floc erosion = disruption and break-up of individual flocs or part of flocs from the bed surface.*

*Winterwerp &  
Kesteren, 2004*



*Fig. 9.1c: Surface erosion = drained process: eroding sediment particles are replaced by water.*



*Fig. 9.1d: Mass erosion = undrained process: local failure within the bed (crack formation).*

# érosion des sédiments fins

- vase fraîchement déposée, crème de vase : entraînement

$$E = V_e \cdot C_{\text{vase}}, = f(\text{Ri}), \text{ pas de seuil d'érosion}$$

$$\text{Ri} = g \cdot (\rho_{\text{vase}} - \rho_{\text{eau}}) / \rho_{\text{eau}} \cdot ep / \Delta u^2$$

$$V_e : \text{vitesse d'entraînement} = 0.1 \Delta u / (1 + 63\text{Ri}^2)^{0.75}$$

- vase en cours de consolidation :

$$E = E_0 \exp [\alpha(\tau - \tau_e)^{1/2}] \text{ Mehta., Sanford \& Maa, } \tau_e \sim 0.1 \text{ to } 1 \text{ Pa ?}$$

- vase consolidée : *loi de Partheniades* :

$$E = E_0 (\tau - \tau_e) / \tau_e, \quad E_0 \sim 0.01 \text{ to } 1 \text{ g.m}^{-2}.\text{s}^{-1} \quad \tau_e \sim 1 \text{ to } 10 \text{ Pa ?}$$

- sables fins : *Shields* :

D :	100μ	1mm	1 cm
τ <sub>e</sub> :	0.1 Pa	0.4 Pa	7 Pa

# Érodabilité

dépend de l'état de consolidation du sédiment

$$u_{*e} = a \rho_{sol}^b \quad (\rho_{sol}, \text{ en kg.m}^{-3})$$

Mitchener & Torfs, 1996:  $\tau_e = a (\rho_b - 1000)^b$   
 $a = 0.015, b = 0.73$

# Consolidation / tassement

## Sédimentation

équation de continuité

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C \cdot W_s}{\partial z} = 0$$

relation constitutive du sol

$W_s(C)$  "super-entravement"

Kynch (1952)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + W(C) \frac{\partial C}{\partial z} = 0$$

## Consolidation

équation de continuité

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \frac{\partial W_m}{\partial \xi} = 0 \quad \xi : \text{coordonnée matérielle}$$

équation dynamique

$$W_m = -ki = -\frac{1}{\rho} \frac{k}{1+e} \frac{\partial v}{\partial \xi} \quad v = \sigma - \sigma' - \rho g (\zeta - z)$$

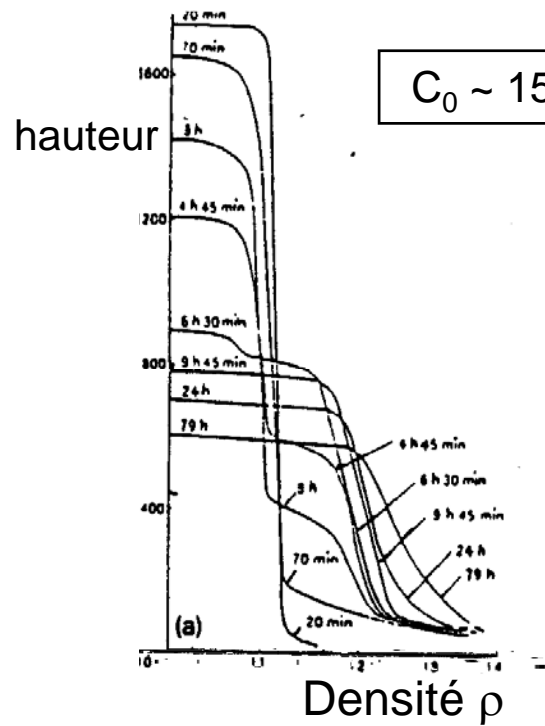
relations constitutives

$k(e)$  et  $\sigma'(e)$

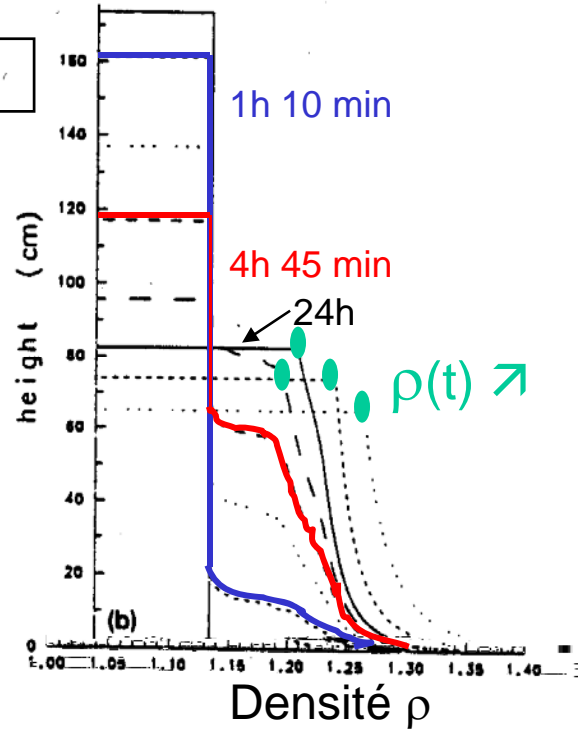
Gibson (1967):

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \frac{d}{de} \left( \frac{k}{1+e} \right) \frac{\partial e}{\partial \xi} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left[ \frac{k}{1+e} \frac{d\sigma'}{de} \frac{\partial e}{\partial \xi} \right] = 0$$

# Simulation du tassement



*Expérience (Been & Sills, 1981)*

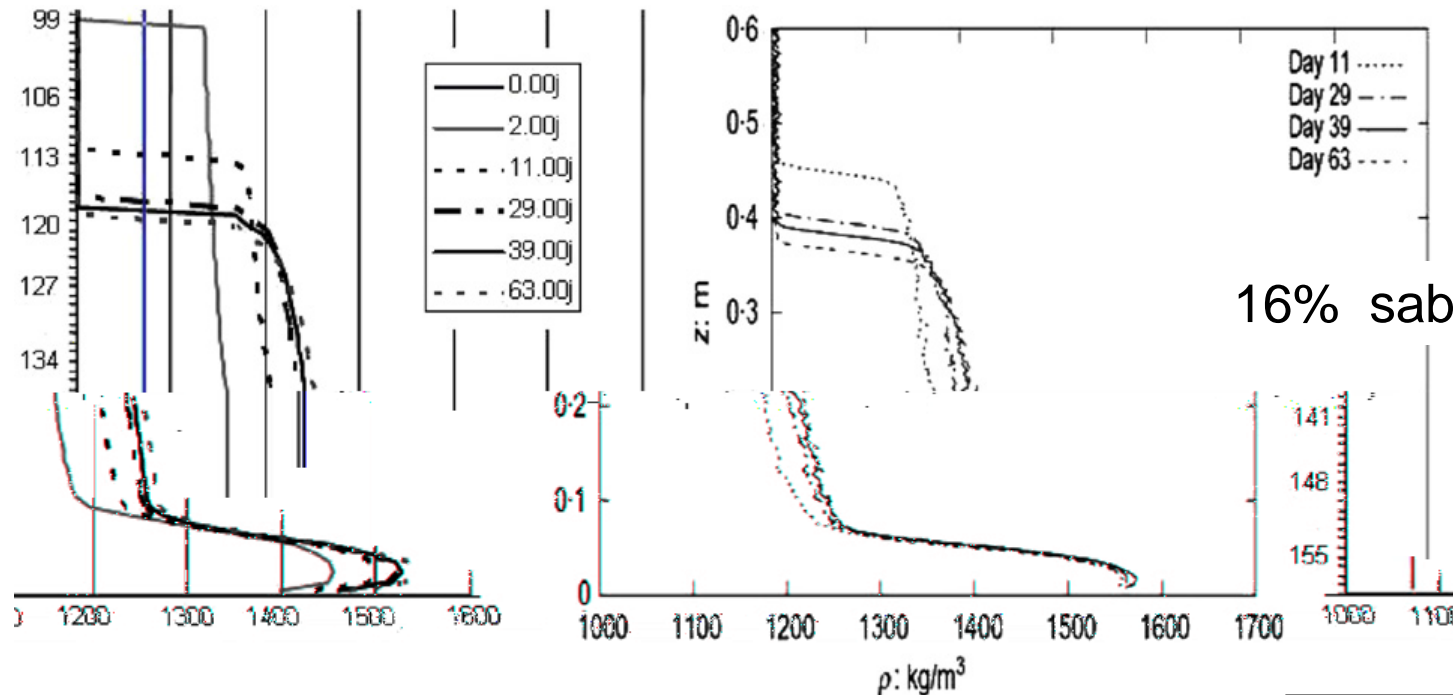


*Calcul*

# Consolidation d'un mélange sable et vase

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ C_i \max \left( \frac{k}{\rho_w}, W_{S_{i,hindered}} \right) \Delta(\text{load}) \right]$$

$$\text{with } \Delta(\text{load}) = \left( C \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s} + \frac{1}{g} \frac{\partial \sigma'}{\partial z} \right)$$



## Flux de dépôt

Loi de Krone, 1962 :

*Probabilité de dépôt*

$$Dép \text{ (en kg/m}^2 \text{ / s)} = W_f C \left( 1 - \frac{u_*^2}{u_{*d}^2} \right) \text{ pour } u_* < u_{*d}$$

$U^*$  : vitesse de frottement critique pour le dépôt, de l'ordre de 1 cm/s

Si tassement explicitement pris en compte : ***inutile***

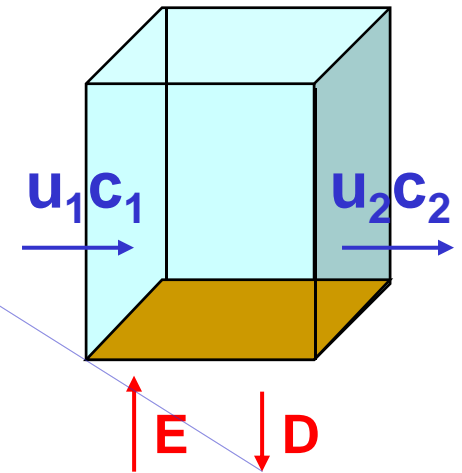
# Modélisation de la dynamique des sédiments fins

transport en **suspension**

$$\mathbf{u}_{\text{particules}} = \mathbf{u}_{\text{eau}}$$

→ équation d'advection/dispersion (*bilan de masse*)

$$\frac{\partial c}{\partial t} = - \frac{\partial c u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial c W_s}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) + E - D$$



évolution

les courants

chute

Mélange

- moléculaire
- turbulent

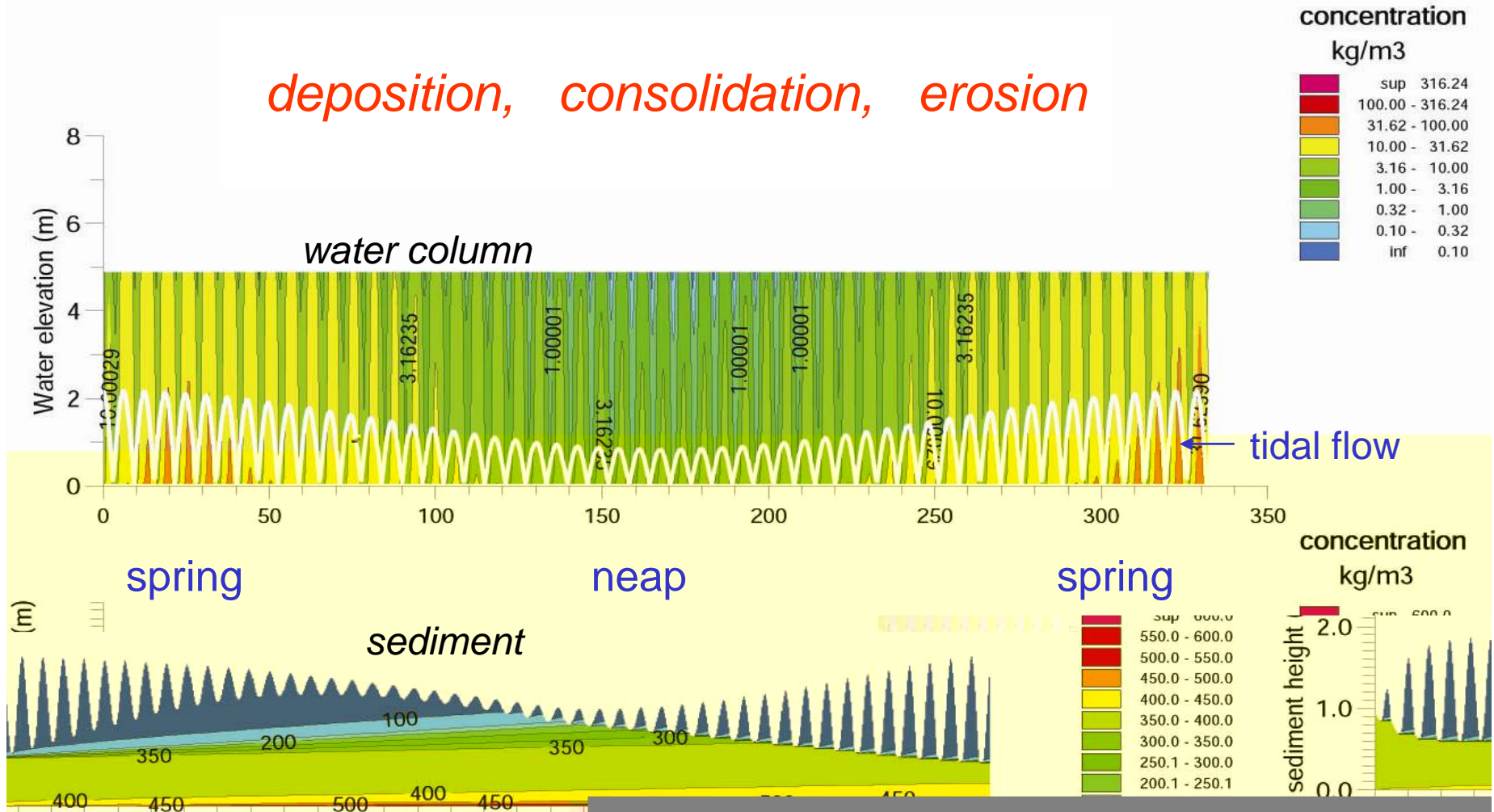
**érosion**

**dépôt**



# Simulating a tidal cycle (15 days) with a 1DV model

*deposition, consolidation, erosion*





# Concept de modélisation continue eau/sédiment - 1DV

## bilan de masse

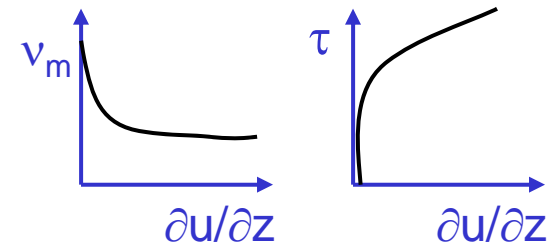
$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial c W_s}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

$W_s$  : floculation / chute entravée / consolidation  
 $K_z$  : mélange turbulent  
 effet des stratifications

## équilibre dynamique

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial z} \left( -\overline{u_i' w'} + T_{iz} \right)$$

fermeture turbulente →  $v_t \frac{\partial u_i}{\partial z}$   
 amortissement par stratifications →  $v_m \frac{\partial u_i}{\partial z}$   
 rhéologie  
 $v_m = \alpha C^\beta f(du/dz)$



→  $E, D$  : flux « diffusifs » et flux de chute, calculés  $\forall z$