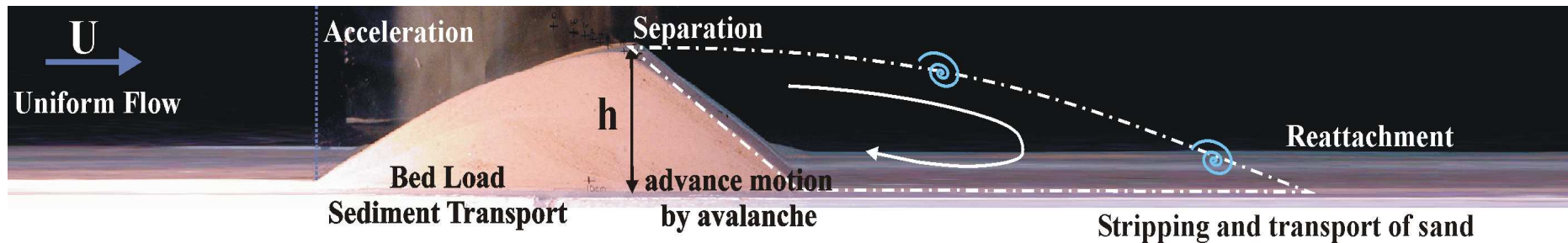


Morphodynamique d'une dune, couplage avec l'écoulement

Lionel Rossi, Hervé Michallet (LEGI, Grenoble)

Philippe Bonneton (DGO / EPOC, Bordeaux I)

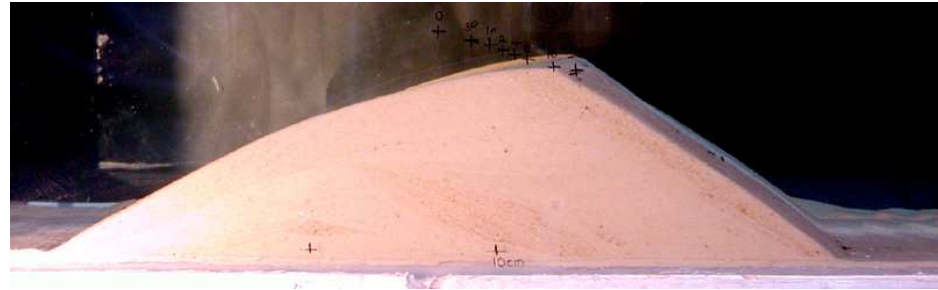


Structure sédimentaire de grande dimension
devant la profondeur d'eau ($h \sim H/2$)
évolution non-linéaire

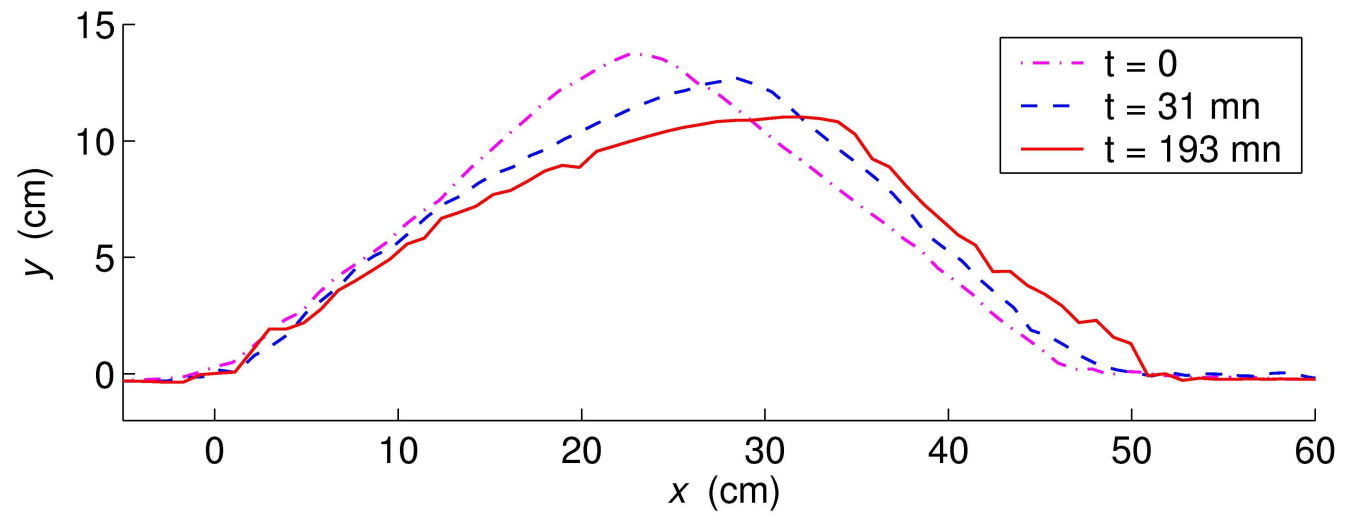
condition initiale



exemple d'évolution



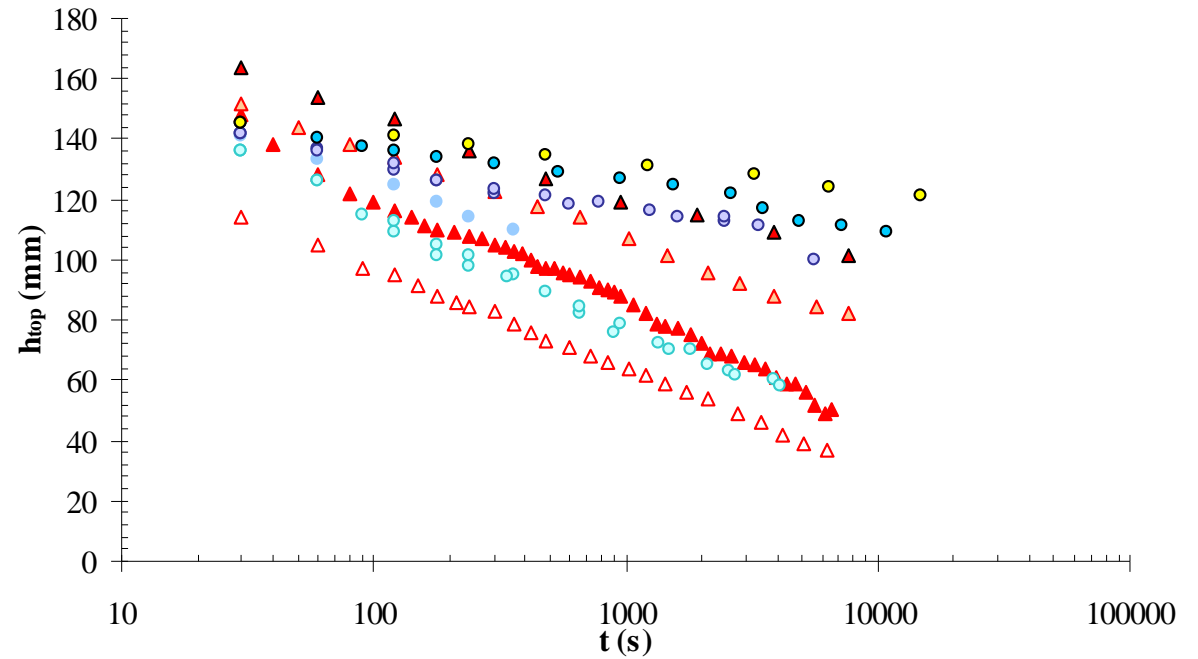
sable mixte
 $d_{50}=0.2; 0.9 \text{ mm}$



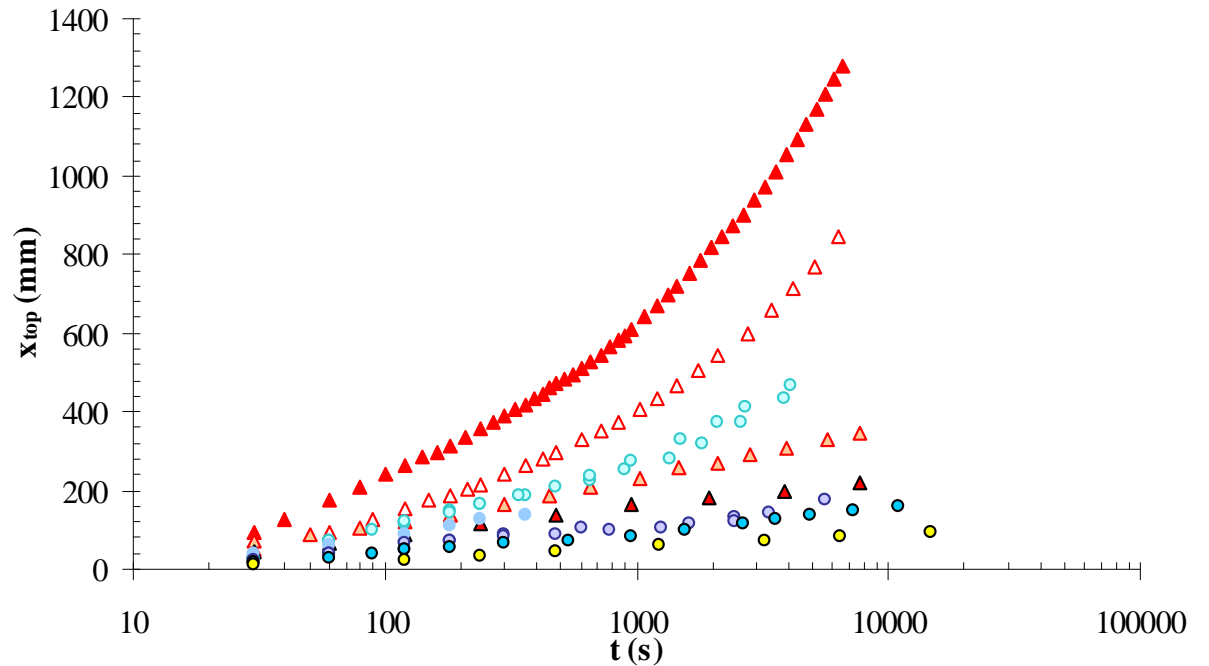
$U = 22.4 \text{ cm/s}$
 $d_{50} = 0.2 \text{ mm}$

Evolution du sommet

hauteur

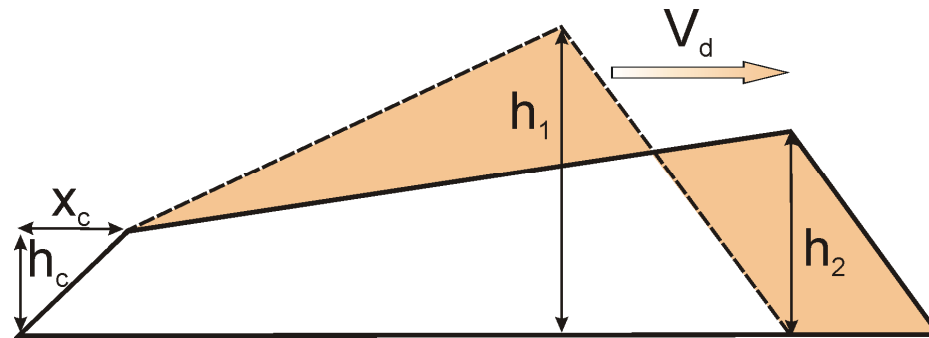


abscisse



- ▲ $h_0=176\text{mm}$ $U=319\text{mm/s}$ $D_{50}=0.9\text{mm}$
- △ $h_0=128\text{mm}$ $U=312\text{mm/s}$ $D_{50}=0.9\text{mm}$
- ▲ $h_0=177\text{mm}$ $U=236\text{mm/s}$ $D_{50}=0.9\text{mm}$
- ▲ $h_0=177\text{mm}$ $U=210\text{mm/s}$ $D_{50}=0.9\text{mm}$
- $h_0=150\text{mm}$ $U=297\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$
- $h_0=150\text{mm}$ $U=246\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$
- $h_0=150\text{mm}$ $U=233\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$
- $h_0=150\text{mm}$ $U=211\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$

Estimation de la vitesse critique :



Approximation d'évolution 'bilinéaire' et conservation de la masse :
→ estimation du seuil de transport pour tout t :

$$h_c \text{ \& } U_c$$

Estimation du débit solide au sommet :

$$q_s = (1-p) h(t) V_d$$

$$V_d = \frac{dx}{dt}$$

Lois de transport sédimentaire :

Formulation générale (Bagnold (1941)) : $q_s = A u_{*top}^3$

Meyer-Pettersen et Müller (1948) : $q_s = A_1 (u_{*top}^2 - u_{*c}^2)^{3/2}$

Nielsen (1992) : $q_s = A_2 (u_{*top}^2 - u_{*c}^2) u_{*top}$

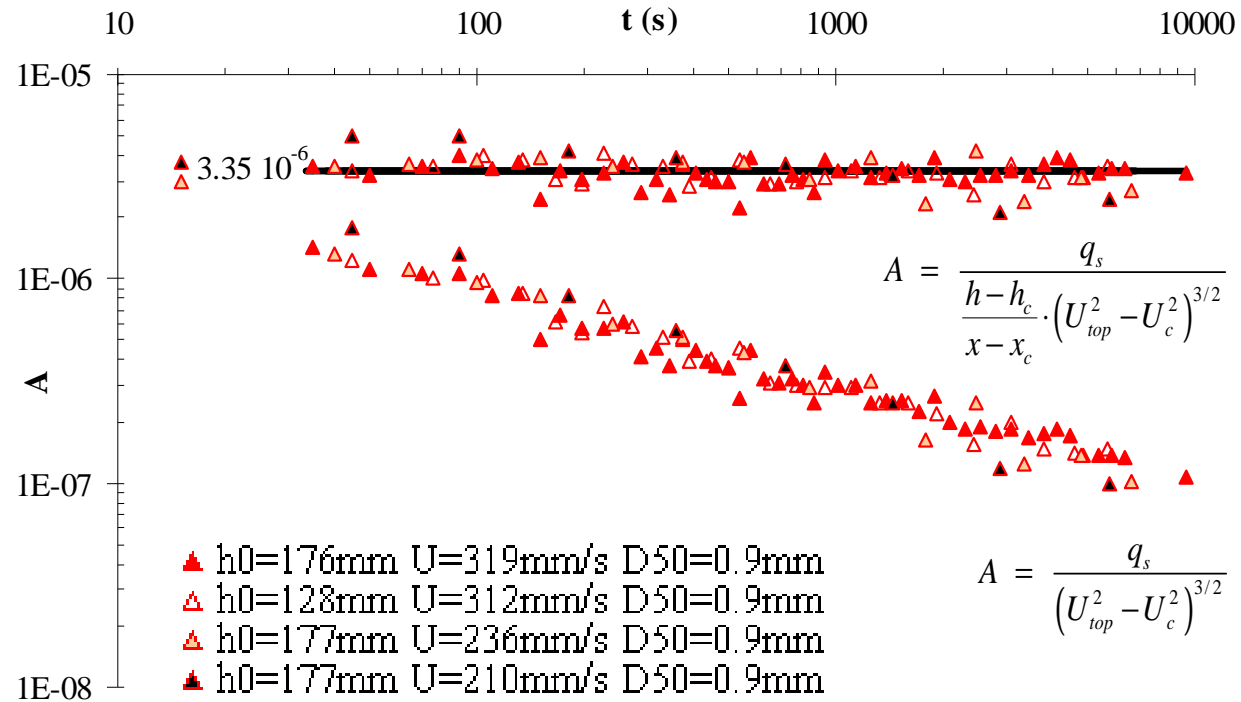
u_* vitesse de cisaillement
(pas de mesure directe)



U vitesse moyenne

$$q_s = A (U_{top}^2 - U_c^2)^{3/2}$$

Evolution corrigée du débit solide

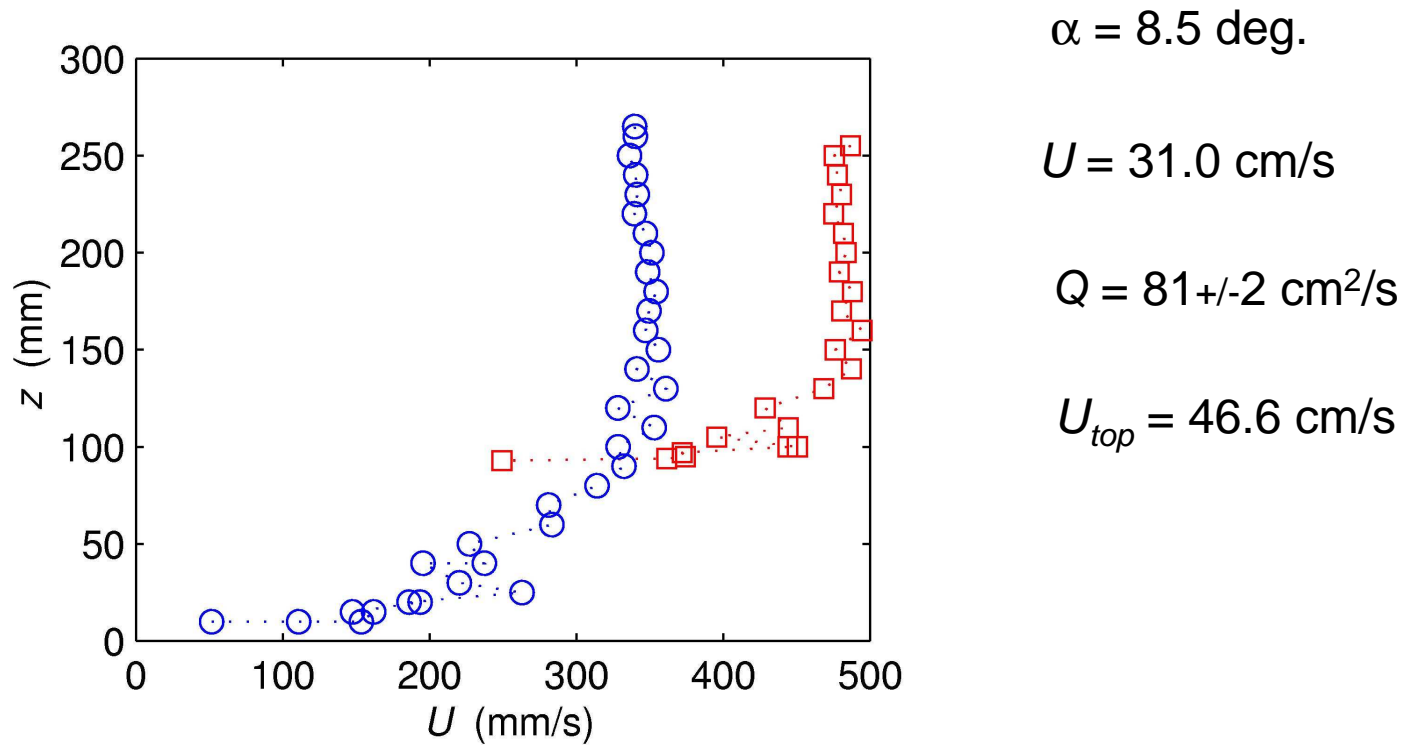


$$q_s = A Cf(\alpha) (U_{top}^2 - U_c^2)^{3/2}$$

facteur de forme :
$$Cf(\alpha) = \alpha^n = \left(\frac{h-h_c}{x-x_c} \right)^n$$

α = pente amont

Profils de vitesses au pied et au sommet de la dune



accélération de l'écoulement

→ amincissement de la couche limite

→ augmentation du cisaillement

Modélisation morphodynamique

- Equations de Saint Venant stationnaires

$$q = hu = d_0 U_0$$

$$\frac{1}{2}u^2 + gh + gZ = \frac{1}{2}U_0^2 + gd_0$$

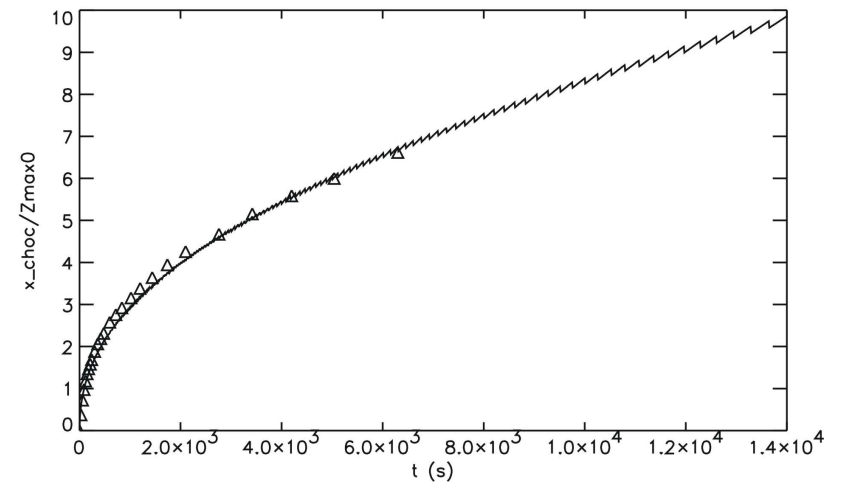
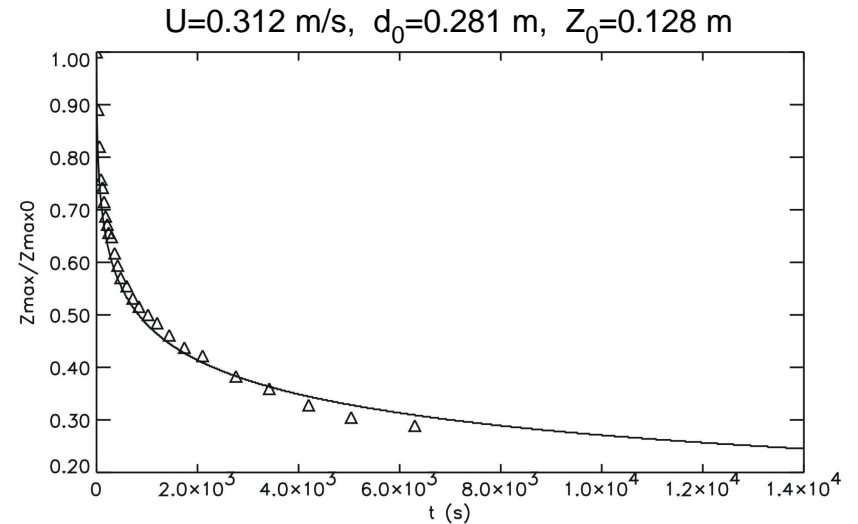
- Equation d'Exner

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0$$

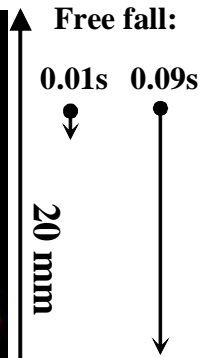
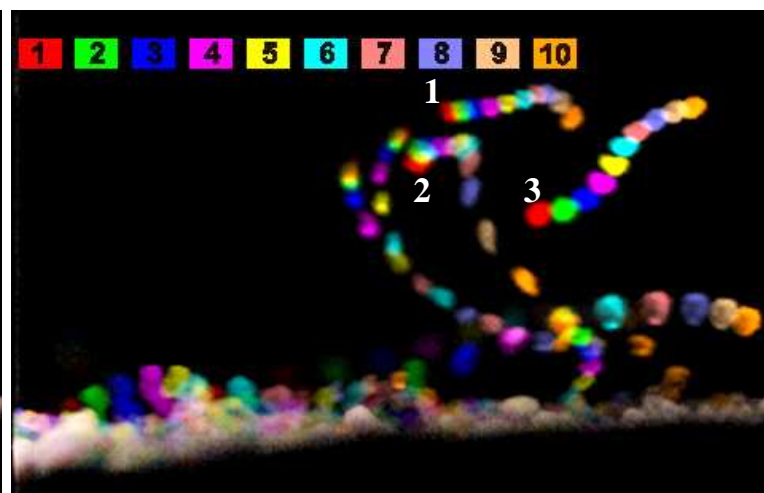
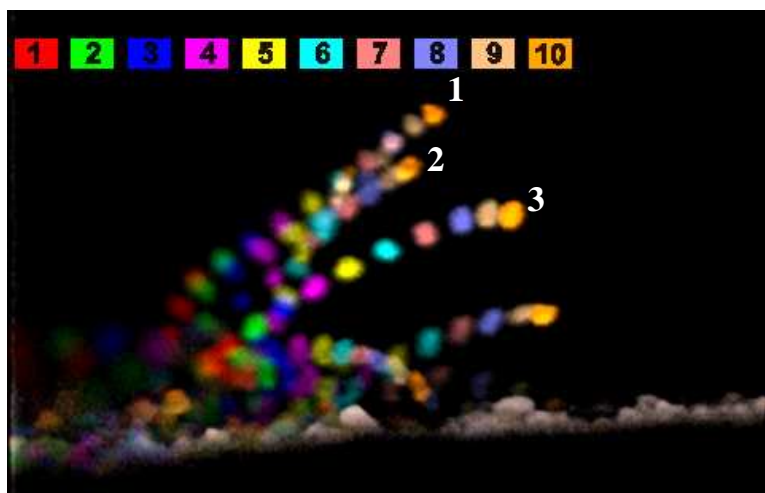
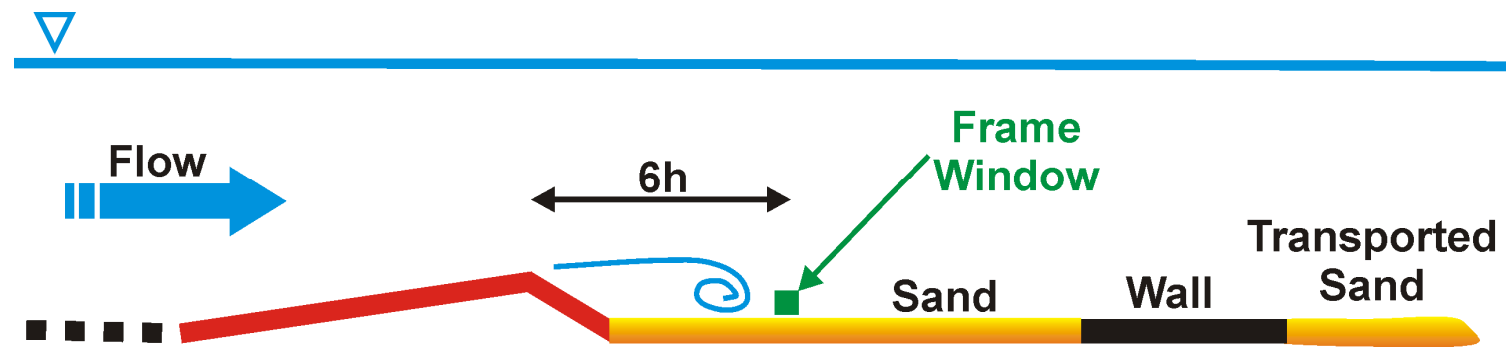
$$\frac{\partial Z}{\partial t} + C_Z(Z) \frac{\partial Z}{\partial x} = 0$$

$$C_Z(Z) = \frac{u}{h(1 - F^2)} \left(\frac{\partial Q_s}{\partial u} \right)_q$$

- Condition de saut pour le front aval :
Pente d'équilibre + conservation du sable



Visualisation des arrachements en aval

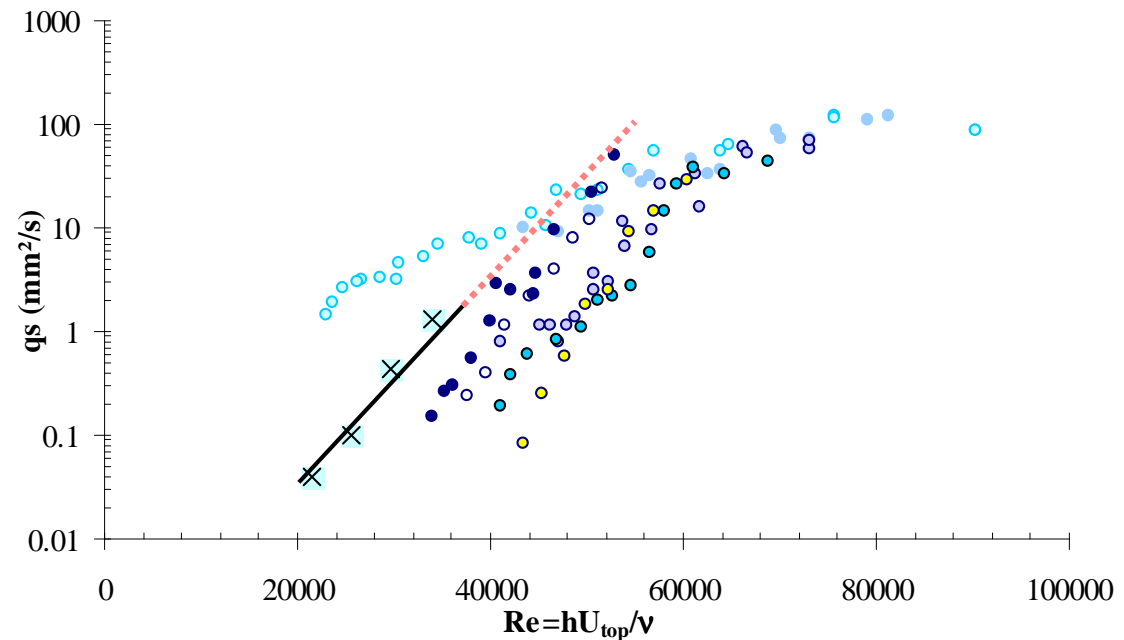
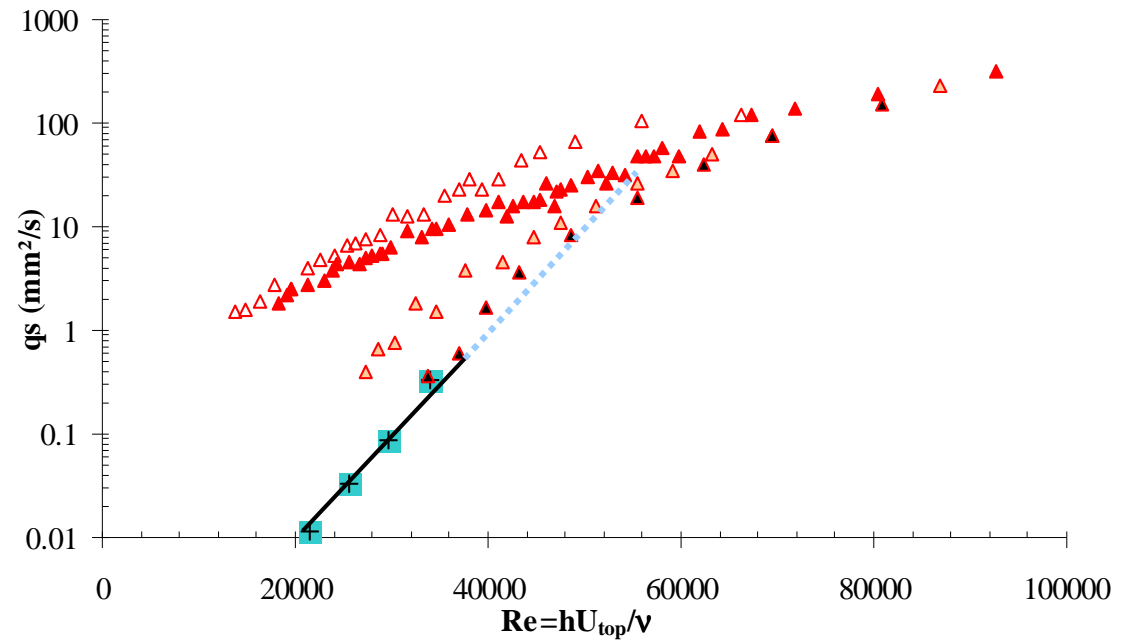


→ estimation de la fréquence des arrachements, de la répartition des transports vers l'aval et vers l'amont par PIV...

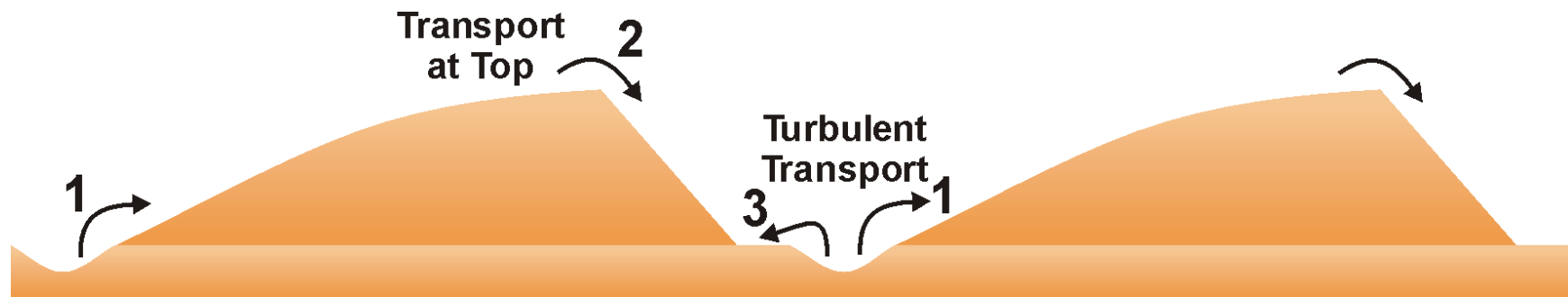
Comparaison des transports :

- au sommet (charriage)
- en aval (turbulence)

- + turb toward downstream $D_{50}=0.9\text{mm}$
- ▲ $h_0=176\text{mm}$ $U=319\text{mm/s}$ $D_{50}=0.9\text{mm}$
- △ $h_0=128\text{mm}$ $U=312\text{mm/s}$ $D_{50}=0.9\text{mm}$
- △ $h_0=177\text{mm}$ $U=236\text{mm/s}$ $D_{50}=0.9\text{mm}$
- ▲ $h_0=177\text{mm}$ $U=210\text{mm/s}$ $D_{50}=0.9\text{mm}$
- × turb toward downstream $D_{50}=0.2\text{mm}$
- $h_0=150\text{mm}$ $U=297\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$
- $h_0=150\text{mm}$ $U=264\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$
- $h_0=150\text{mm}$ $U=246\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$
- $h_0=126\text{mm}$ $U=242\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$
- $h_0=150\text{mm}$ $U=233\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$
- $h_0=134\text{mm}$ $U=218\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$
- $h_0=150\text{mm}$ $U=211\text{mm/s}$ $D_{50}=0.2\text{mm}$

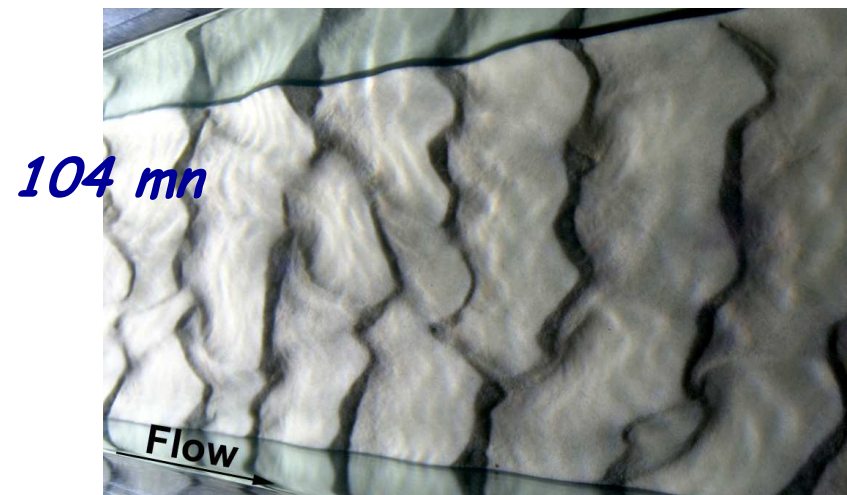
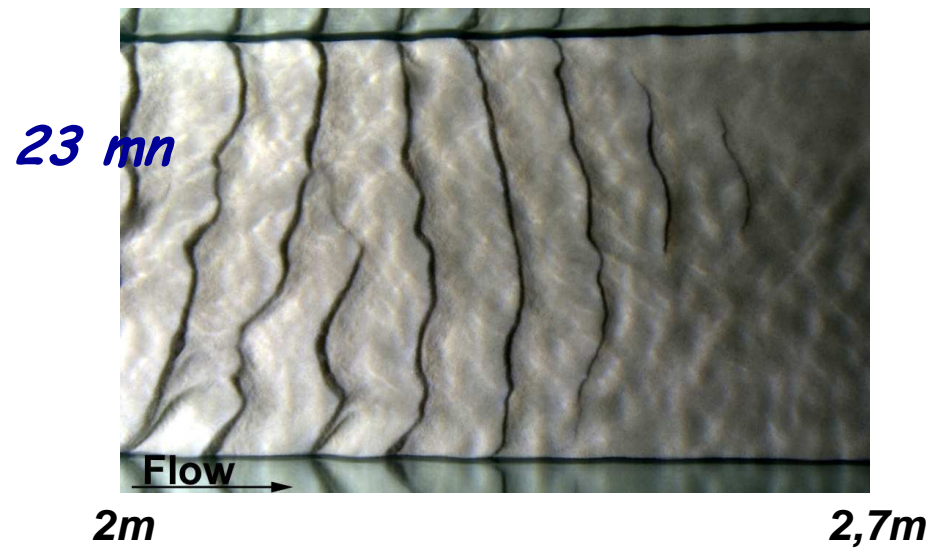


Vers la formation d'ondes de sable ...



le transport vers l'amont lié à la turbulence (3)
est nécessaire pour maintenir la hauteur de dune

Formation de rides en aval de la dune à $U < U_c$



Conclusions

- effet de la pente sur q_s
 - ⇒ mise en évidence indirecte de l'augmentation du cisaillement
 - ⇒ nouvelle paramétrisation : $q_s = A C_f(\alpha) \cdot (U_{top}^2 - U_c^2)^{3/2}$
- modèle morphodynamique de propagation des dunes
- importance du transport par la turbulence

Perspectives

- meilleure estimation du seuil de transport
- estimation de la vitesse de cisaillement
- modèle de formation d'ondes de sable