

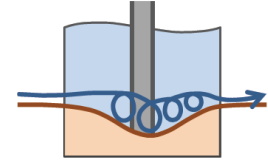
Journée publique de restitution
Mercredi 11 Septembre 2019, Marne-la-Vallée

MODÉLISATION PHYSIQUE DES AFFOUILLEMENTS : EXPÉRIMENTATIONS EN CANAL HYDRODYNAMIQUE

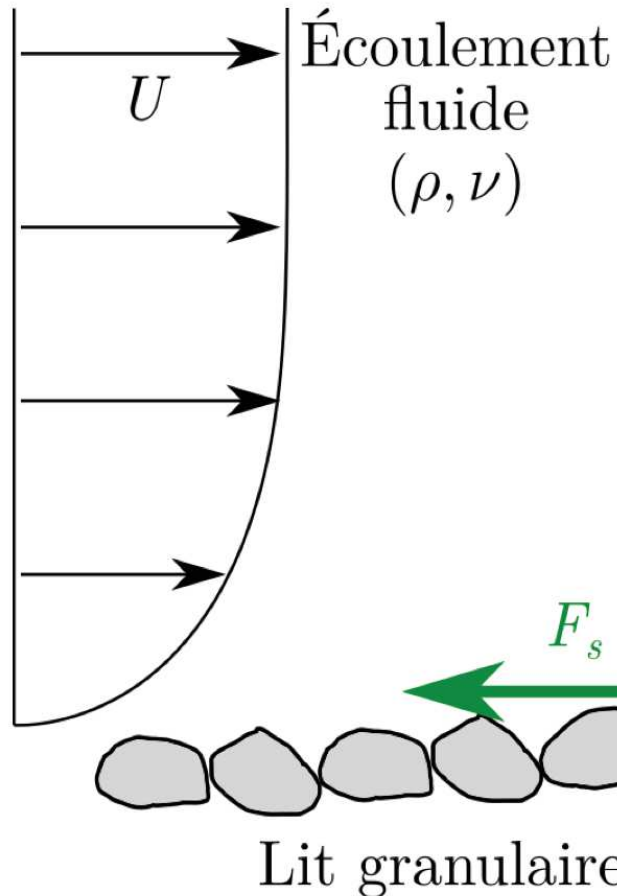
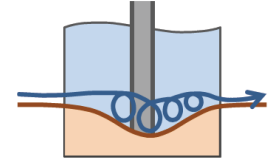
**Florent LACHAUSSEE, Yann BERTHO, Cyprien MORIZE, Alban SAURET,
Philippe GONDRET**

Laboratoire FAST, Orsay

Affouillement : Erosion au pied d'un obstacle



Physique de l'érosion d'un lit granulaire



- Force motrice :

$$F_f \propto \sigma_0 d^2 = \rho u_*^2 d^2 \quad \left(\text{Re} = \frac{LU}{\nu} \gg 1 \right)$$

Contrainte à la paroi
Vitesse de frottement

$$\sigma_0 \equiv \rho u_*^2$$

- Force de résistance :

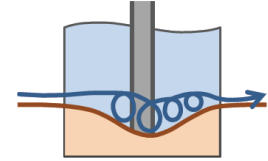
Frottement solide : loi de Coulomb

$$F_s \propto \Delta \rho g d^3, \text{ avec } \Delta \rho = (\rho_g - \rho)$$

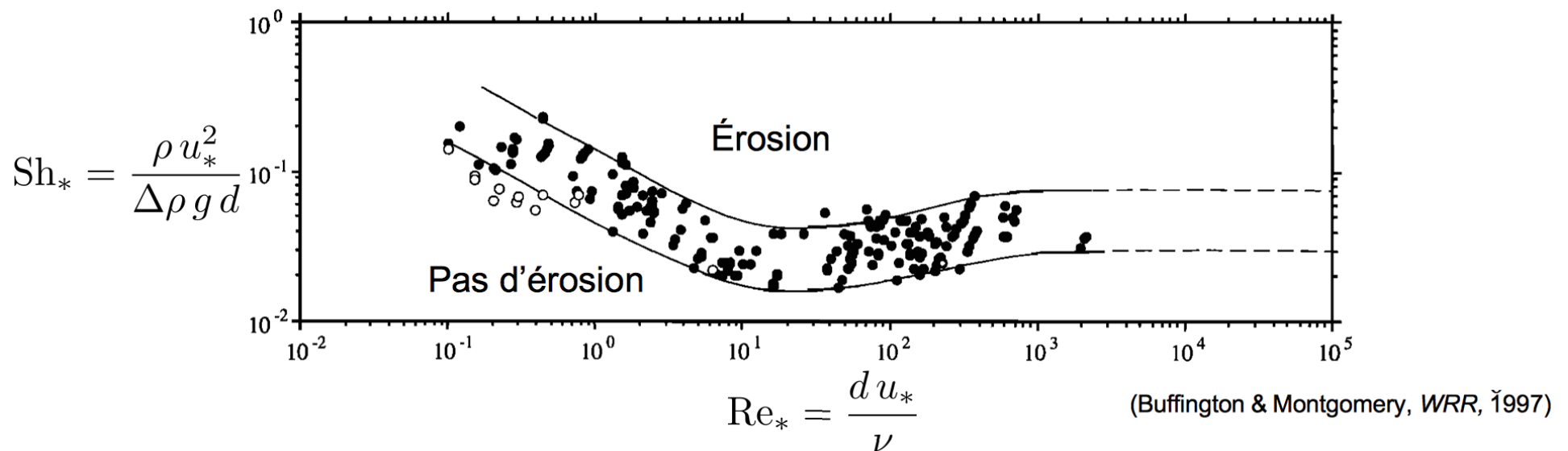
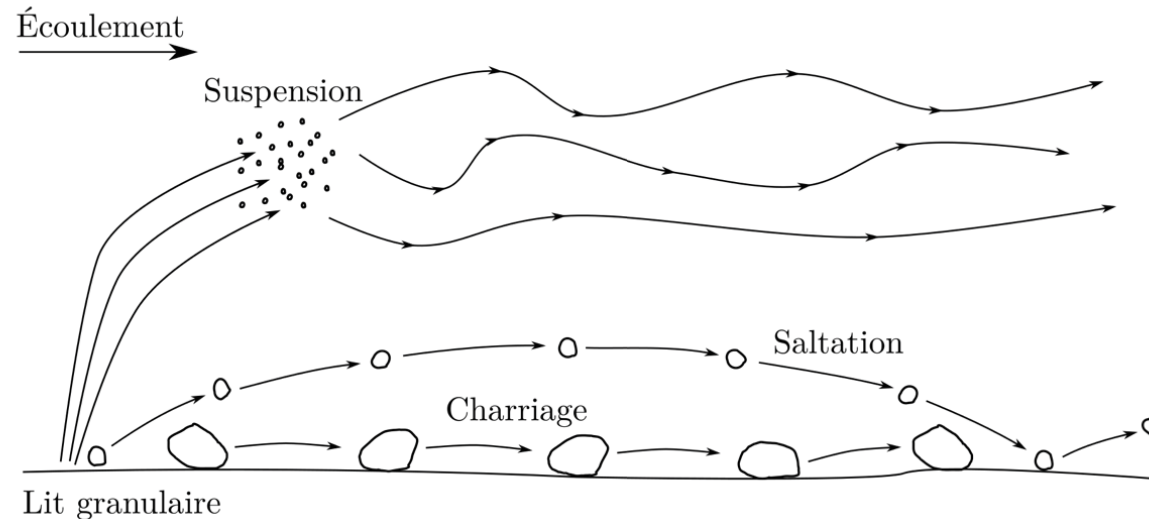
- Nombre de Shields :

$$\text{Sh}_* = \frac{F_f}{F_s} = \frac{\rho u_*^2}{\Delta \rho g d}$$

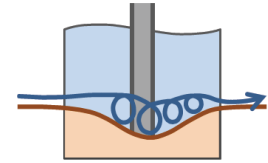
Seuil d'érosion d'un lit granulaire



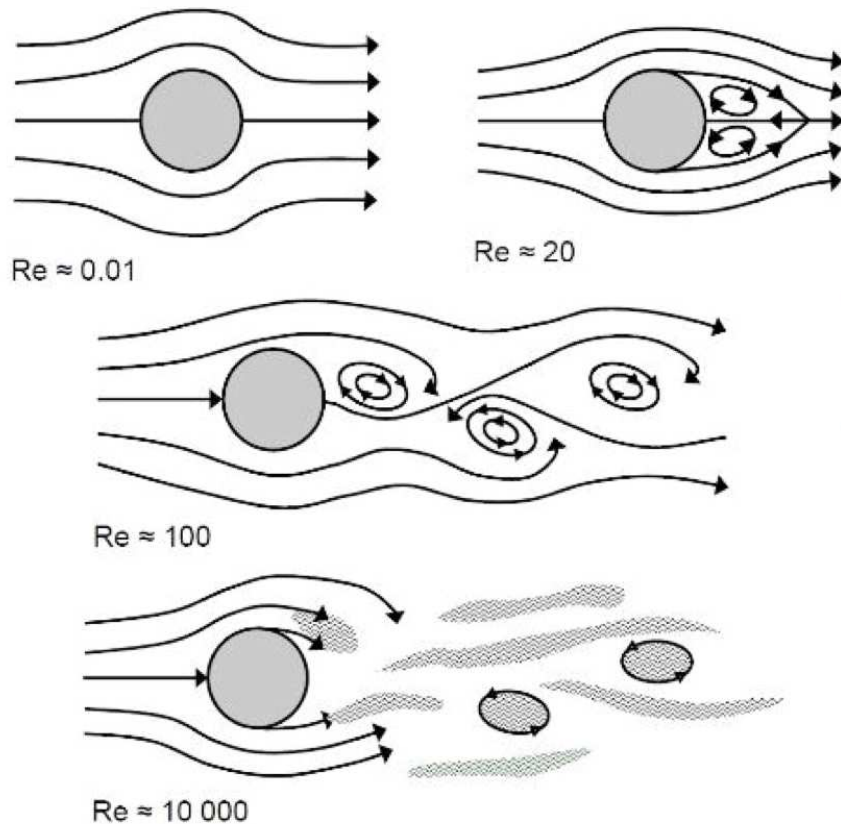
Surface libre



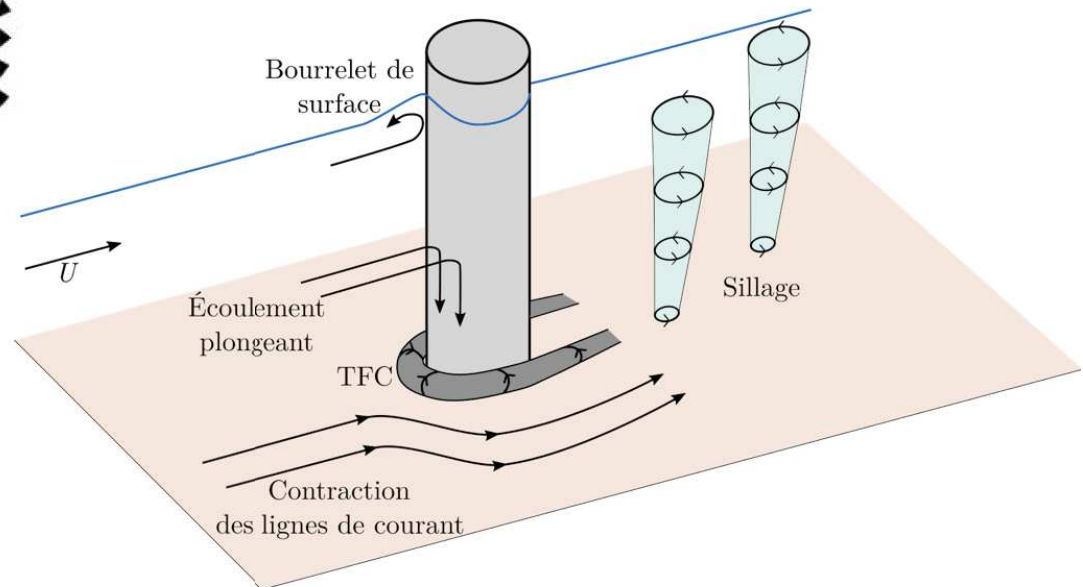
Ecoulement au voisinage d'un cylindre



Sans fond : bidimensionnel

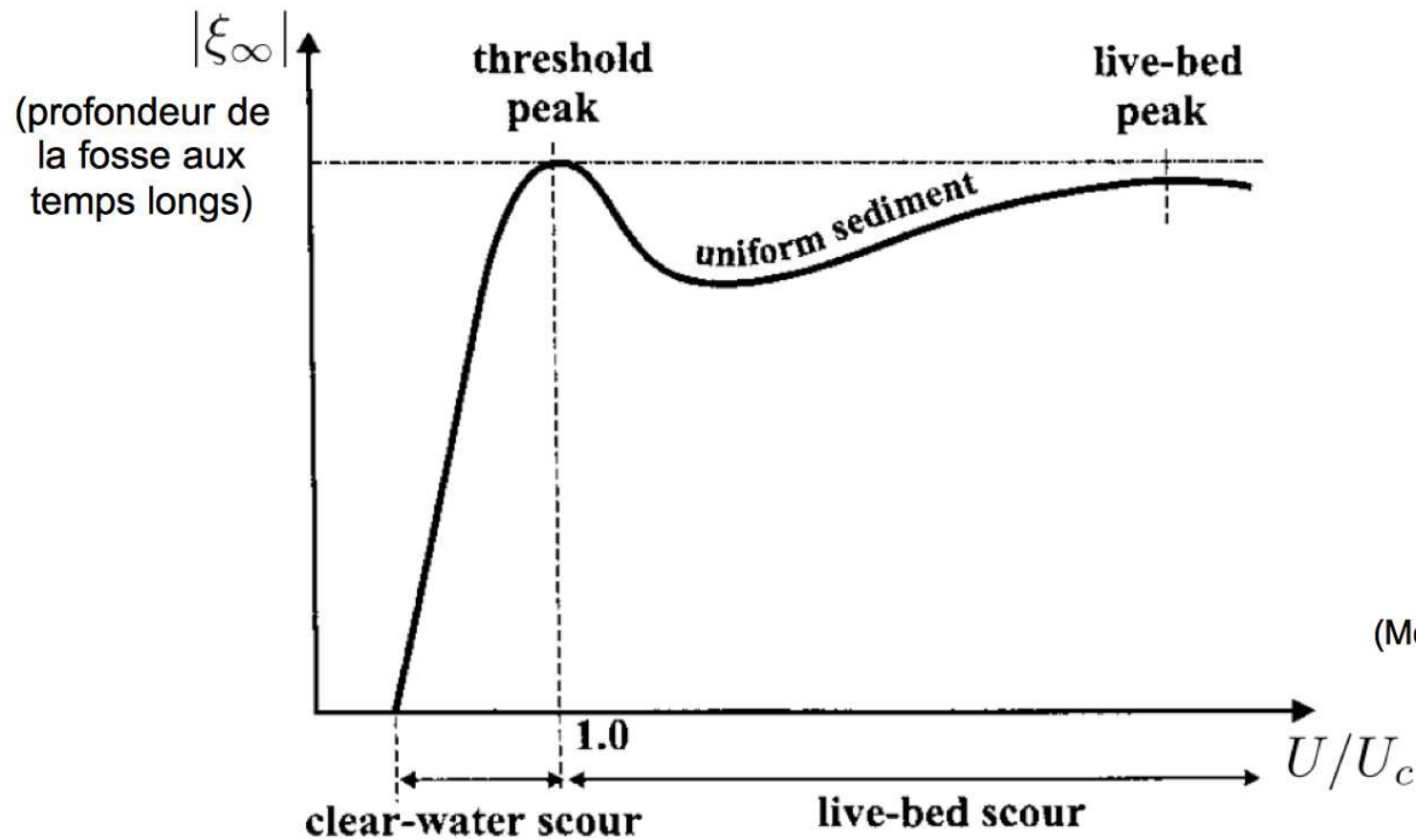
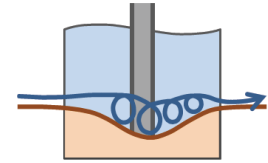


Avec fond : tridimensionnel

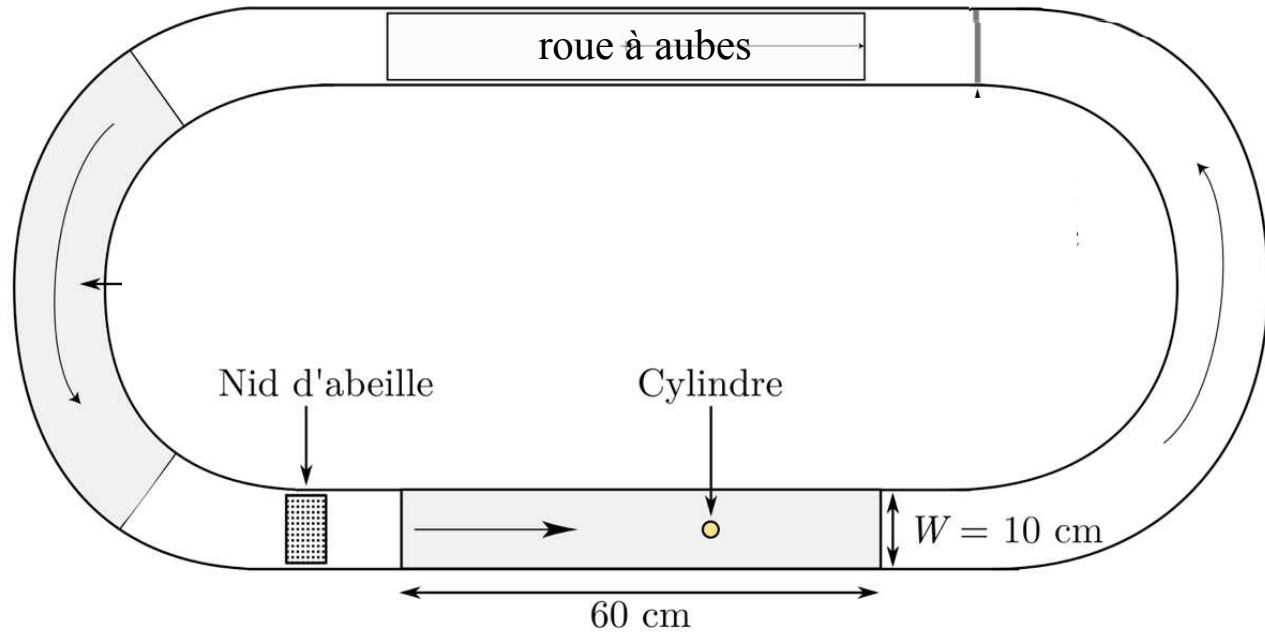
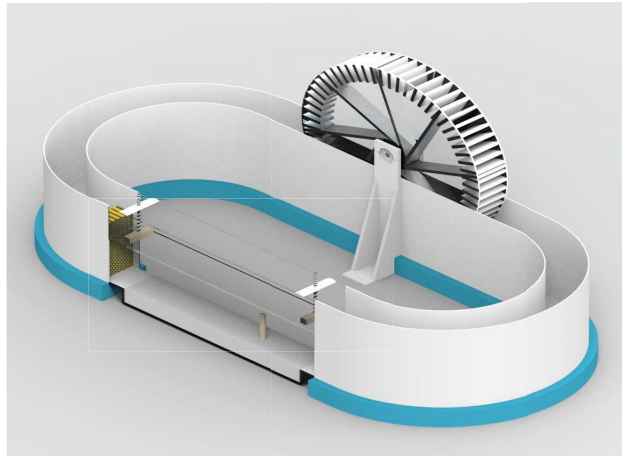
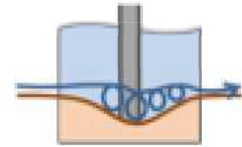


Augmentation locale de la contrainte fluide
→ Renforcement de l'érosion

Affouillement en régimes d' « eau claire » et de « lit actif » « clear-water » « live-bed »



Dispositif expérimental et paramètres



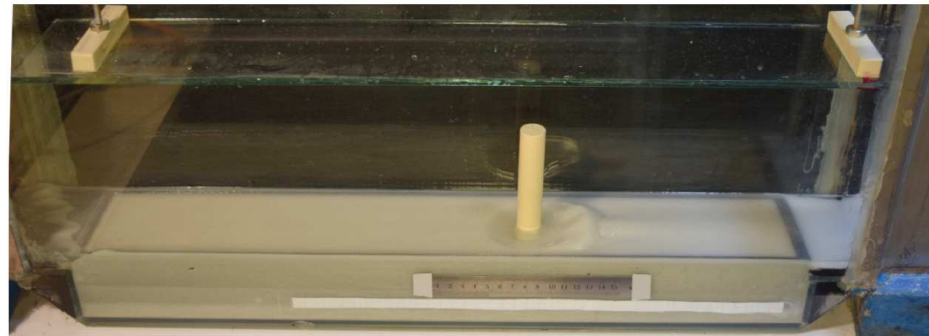
hauteur d'eau : $h \approx 16$ cm

vitesse $5 < U < 20$ cm/s

billes de verre $0.12 < d < 0.55$ mm

cylindre de hauteur $H = 9$ cm

diamètre $0.5 < D < 4$ cm



• Reynolds : $Re_W \simeq 10^4$

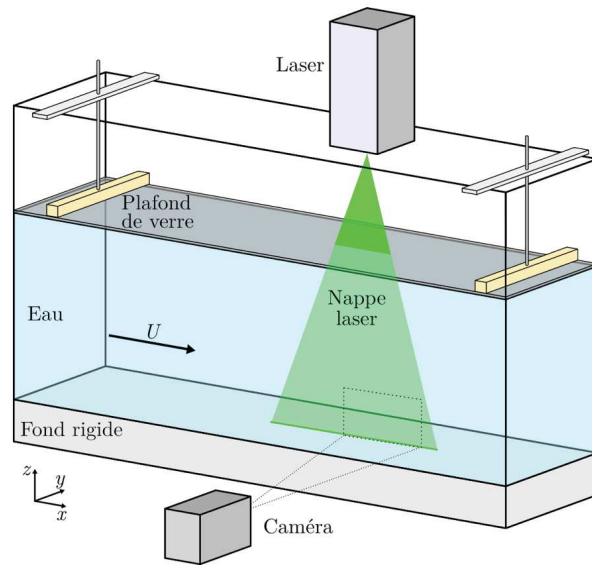
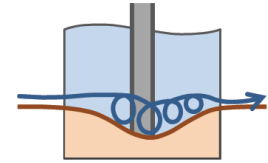
$Re_D \simeq 2 \cdot 10^3$

$Re_d \simeq 30$

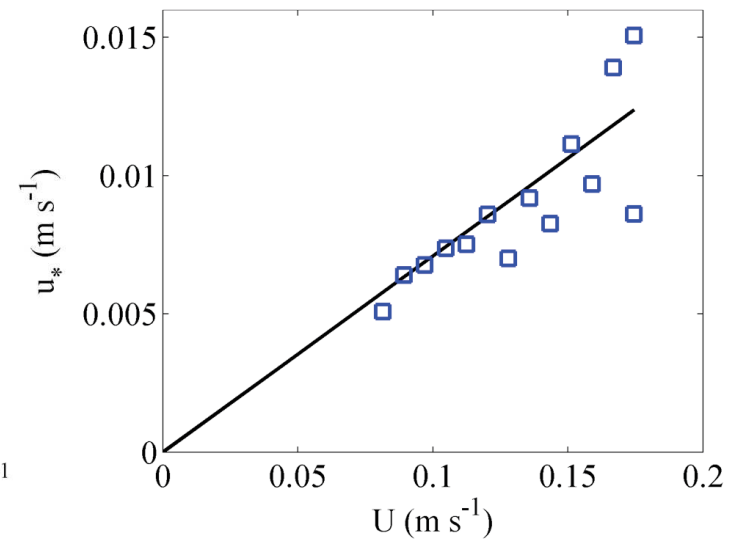
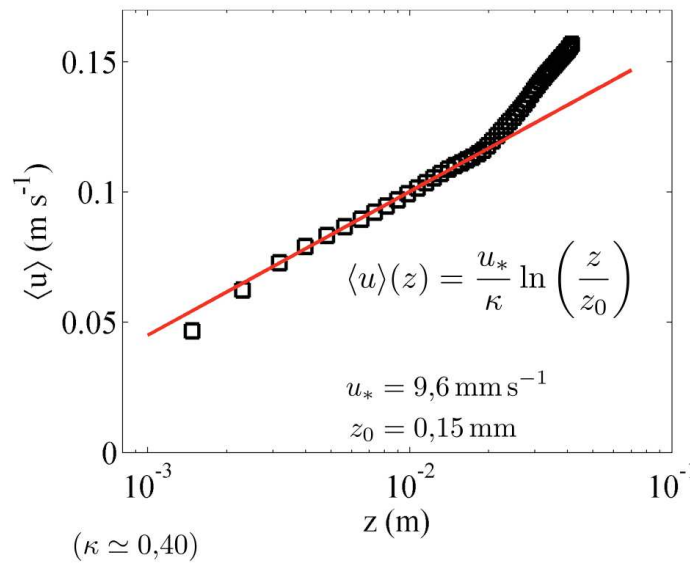
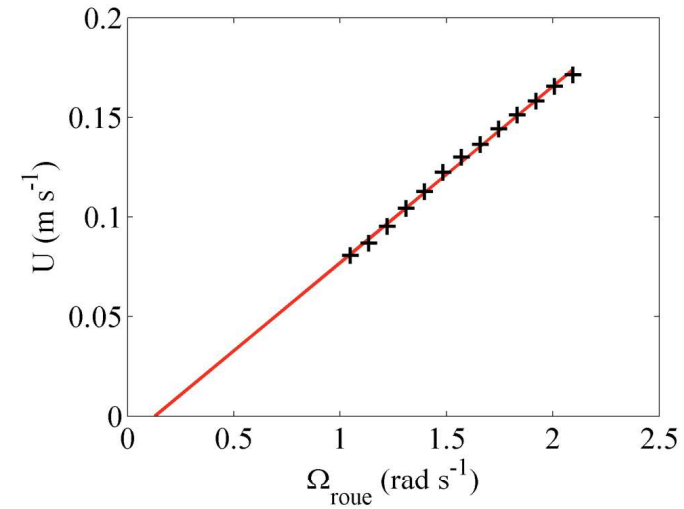
• Froude : $Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} < 0,2$

• Shields : $3 \cdot 10^{-3} < Sh_* = \frac{\rho u_*^2}{\Delta \rho g d} < 4 \cdot 10^{-2}$

Caractérisation hydrodynamique du canal

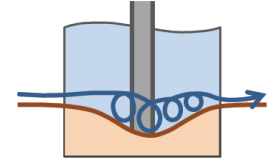


$$U = 0,16 \text{ m s}^{-1}$$



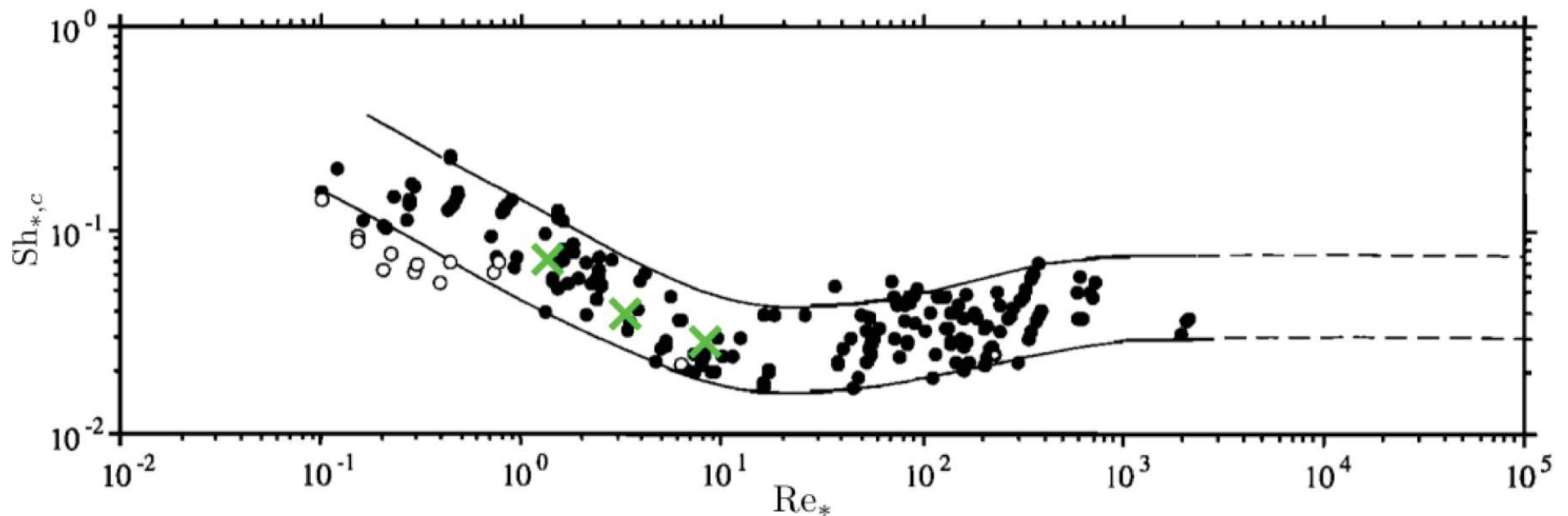
$$\Rightarrow u_* \simeq \frac{U}{14}$$

Seuil d'érosion hors obstacle



pour les différents diamètres de grains utilisés : $d \approx 0.12, 0.27, 0.55$ mm

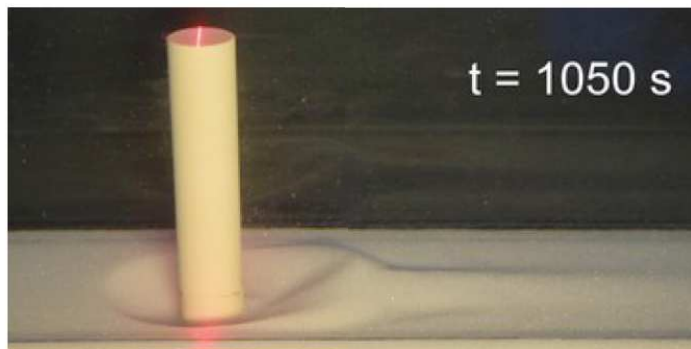
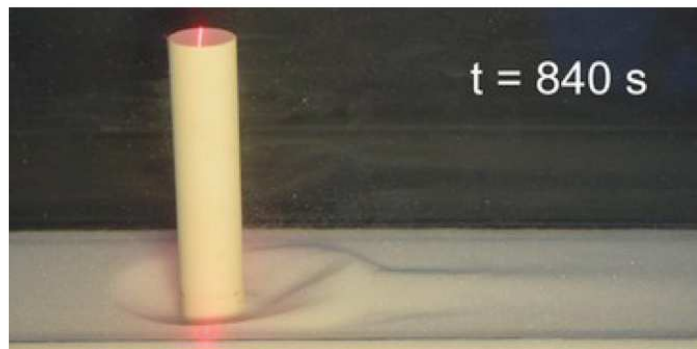
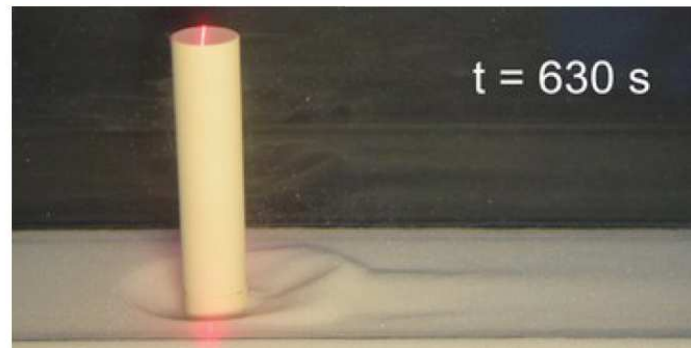
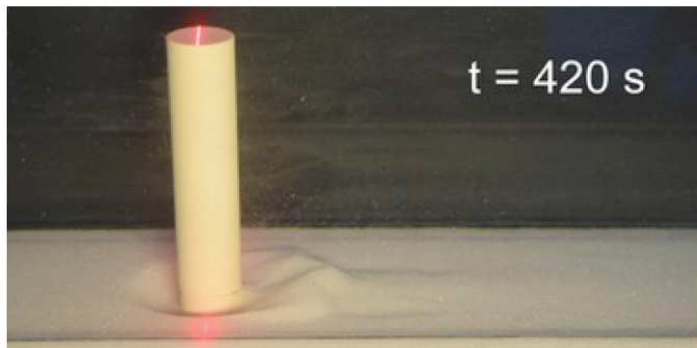
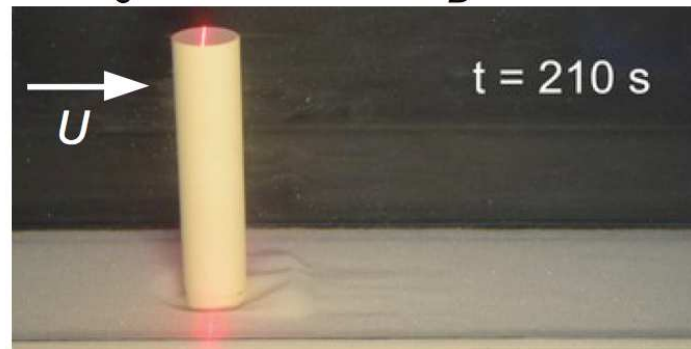
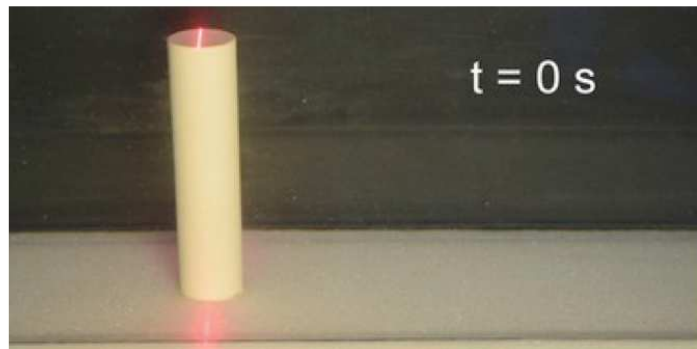
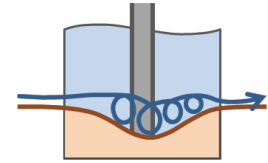
Vitesse critique d'érosion $U_c \approx 0.17$ m/s pour $d \approx 0,27$ mm



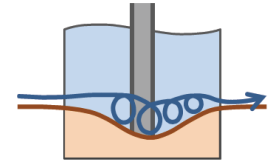
- Paramètre d'affouillement : $\frac{Sh}{Sh_c}$ $\left(= \frac{U^2}{U_c^2} \text{ pour des grains donnés} \right)$

Visualisation de l'affouillement au pied d'un cylindre

($U = 0,16$ m/s ; $D = 2$ cm ; $Sh/Sh_c = 0,85$; $Re_D = 3200$)

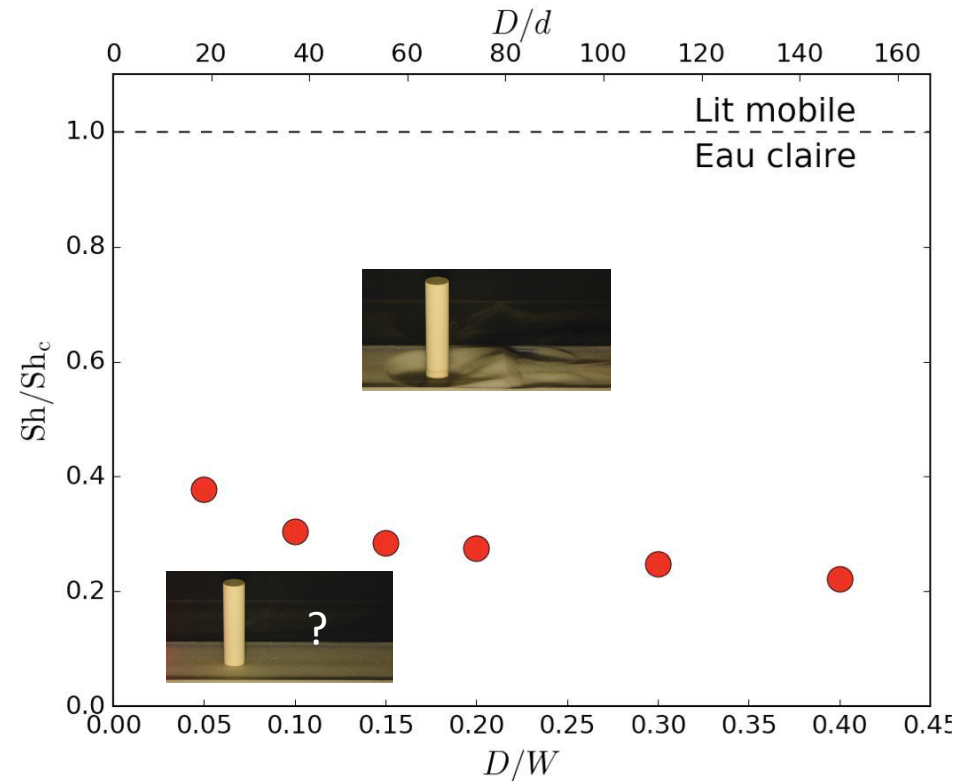
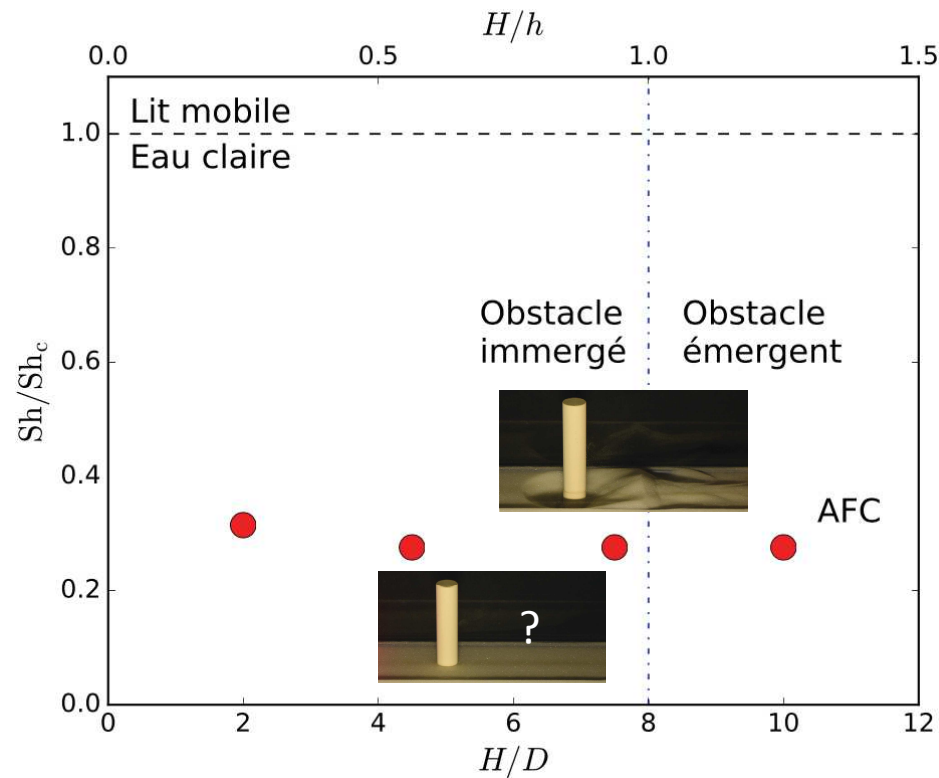


Seuil d'affouillement au pied d'un cylindre

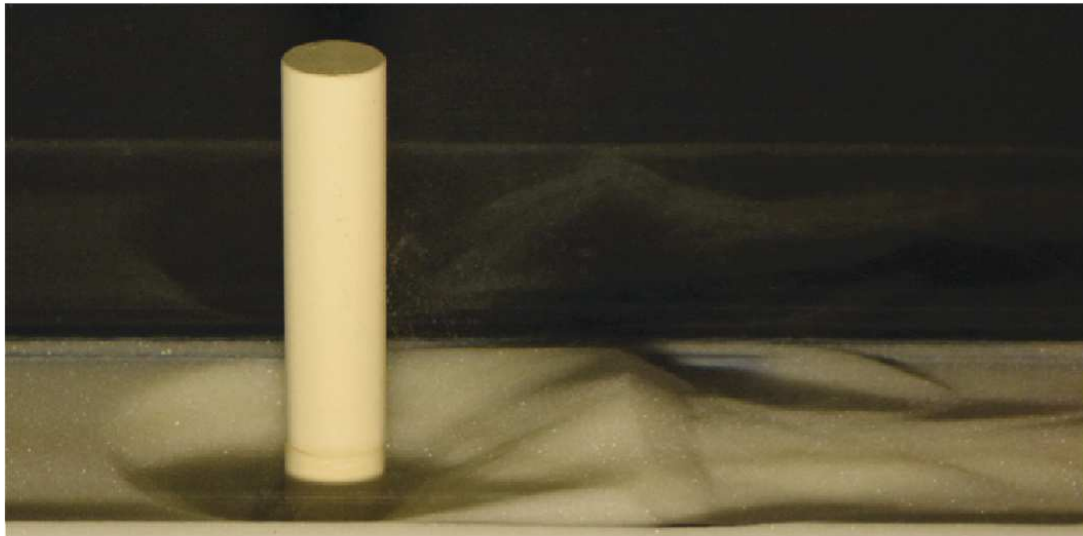
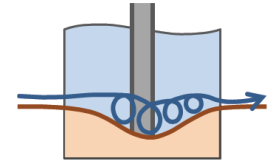


en fonction de sa hauteur H
($D = 2$ cm)

en fonction de son diamètre D
($H = 9$ cm)

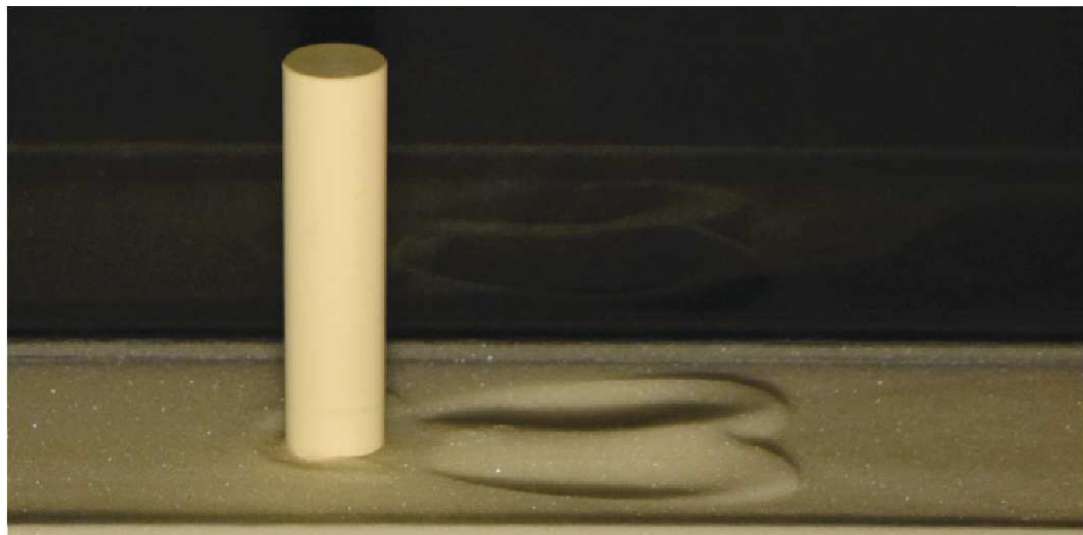
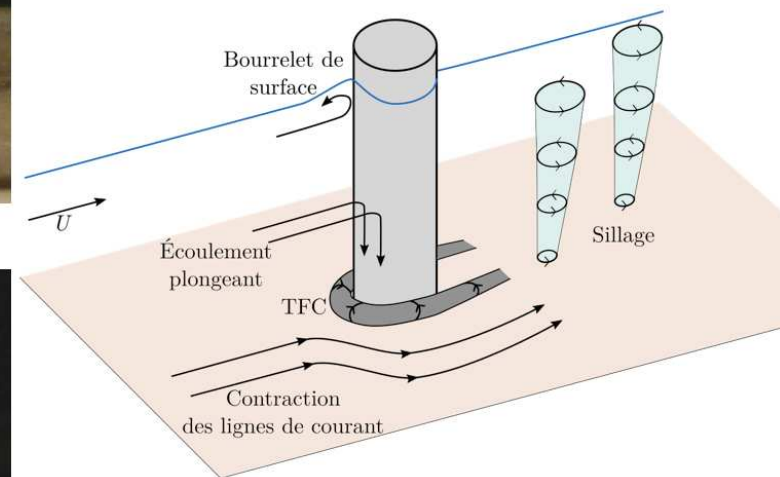


Un autre motif d'affouillement plus en aval



$$U = 0,16 \text{ m s}^{-1}$$
$$\text{Sh}/\text{Sh}_c = 0,85$$

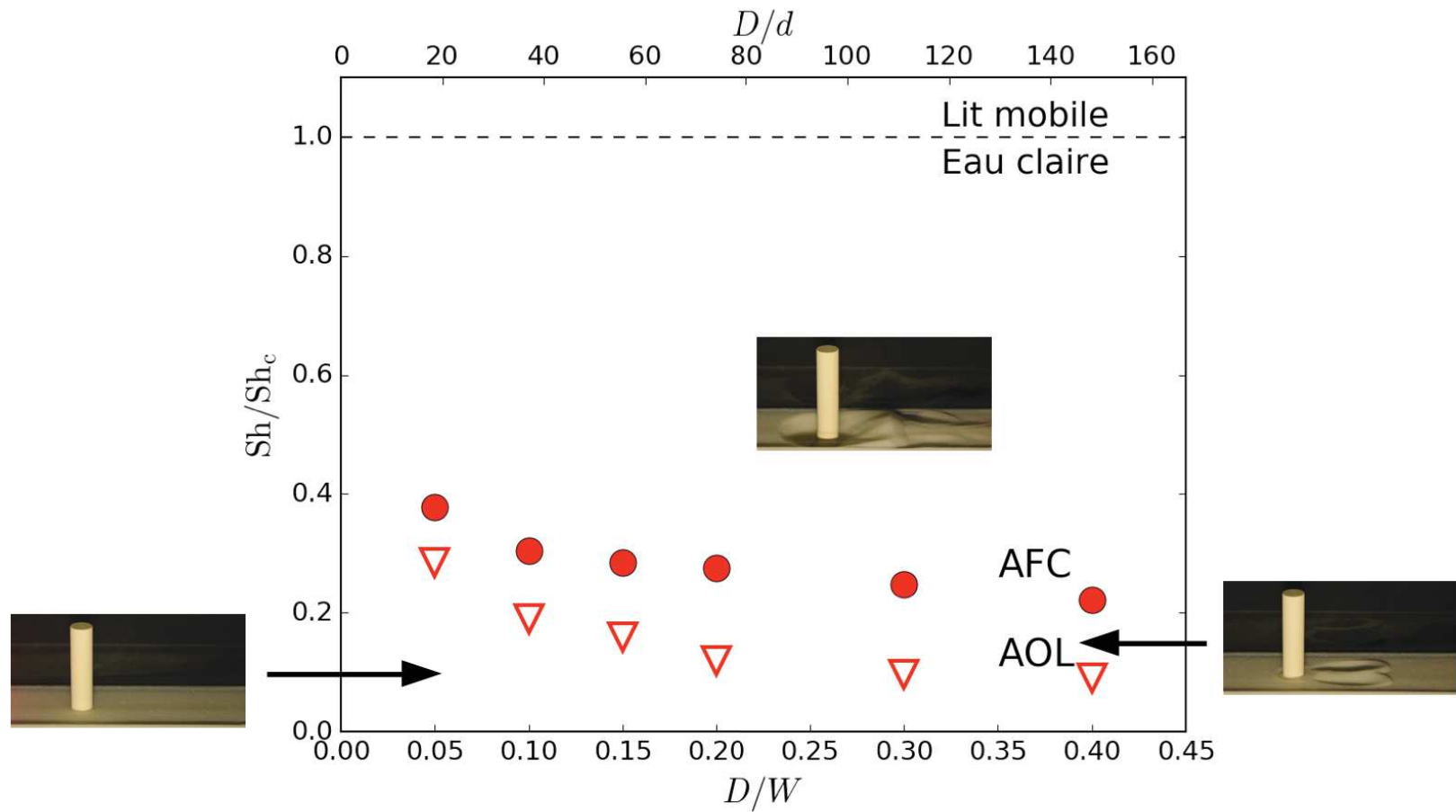
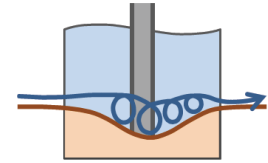
« Affouillement en
fer à cheval »
(AFC)



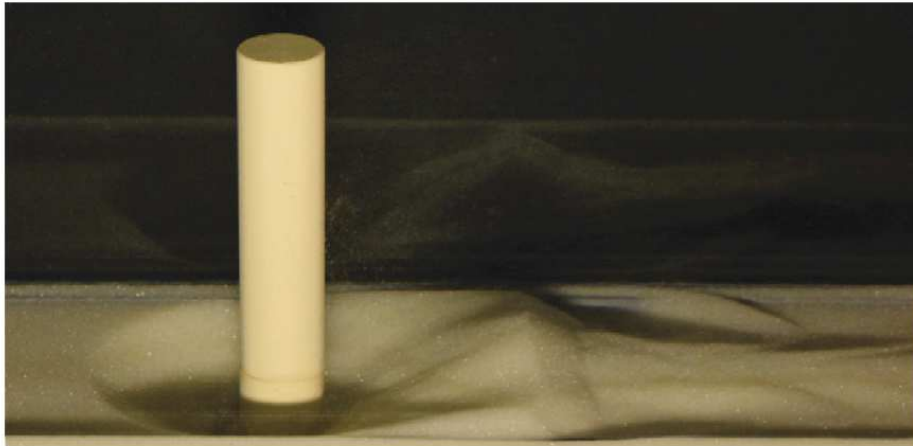
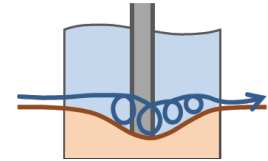
« Affouillement en
oreilles de lapin »
(AOL)

$$U = 0,10 \text{ m s}^{-1}$$
$$\text{Sh}/\text{Sh}_c = 0,37$$

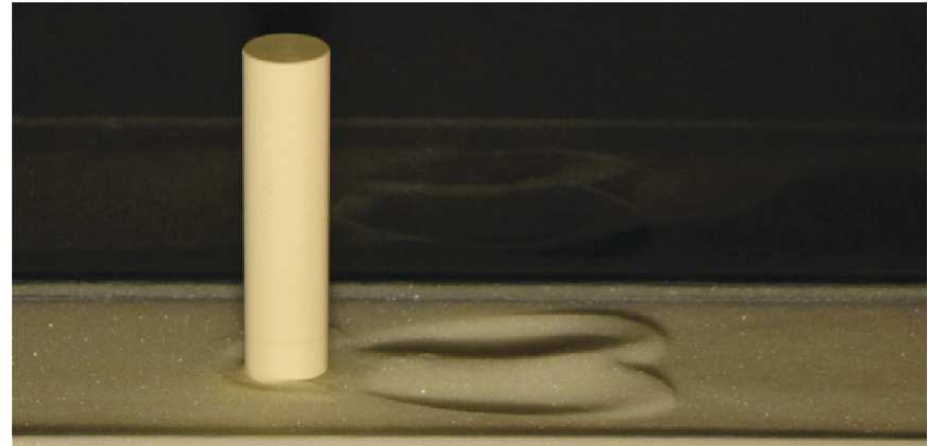
Seuil des deux motifs d'affouillement



Développement des motifs au-delà de leur seuil

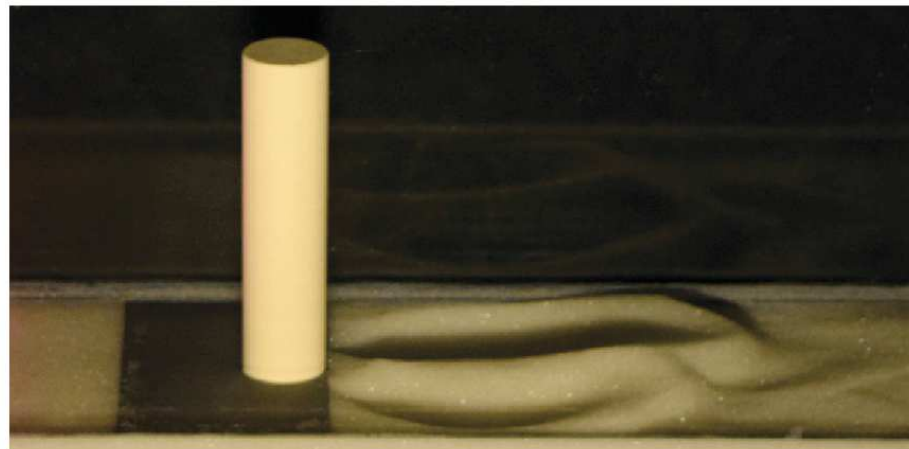


$Sh/Sh_c = 0,85$



$Sh/Sh_c = 0,37$

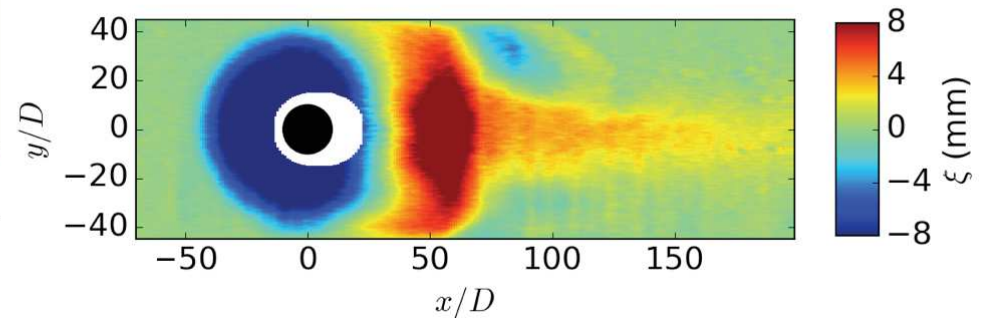
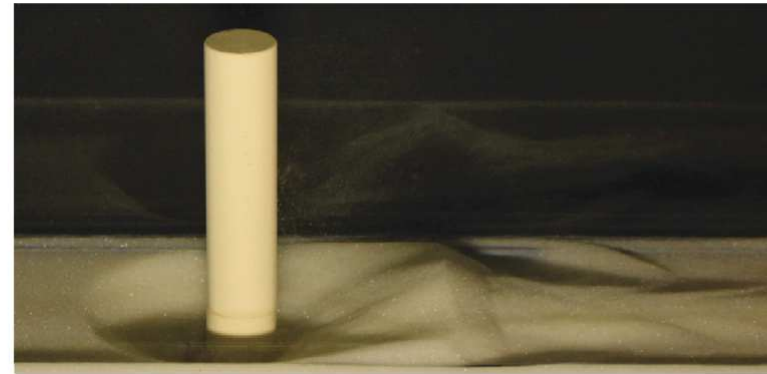
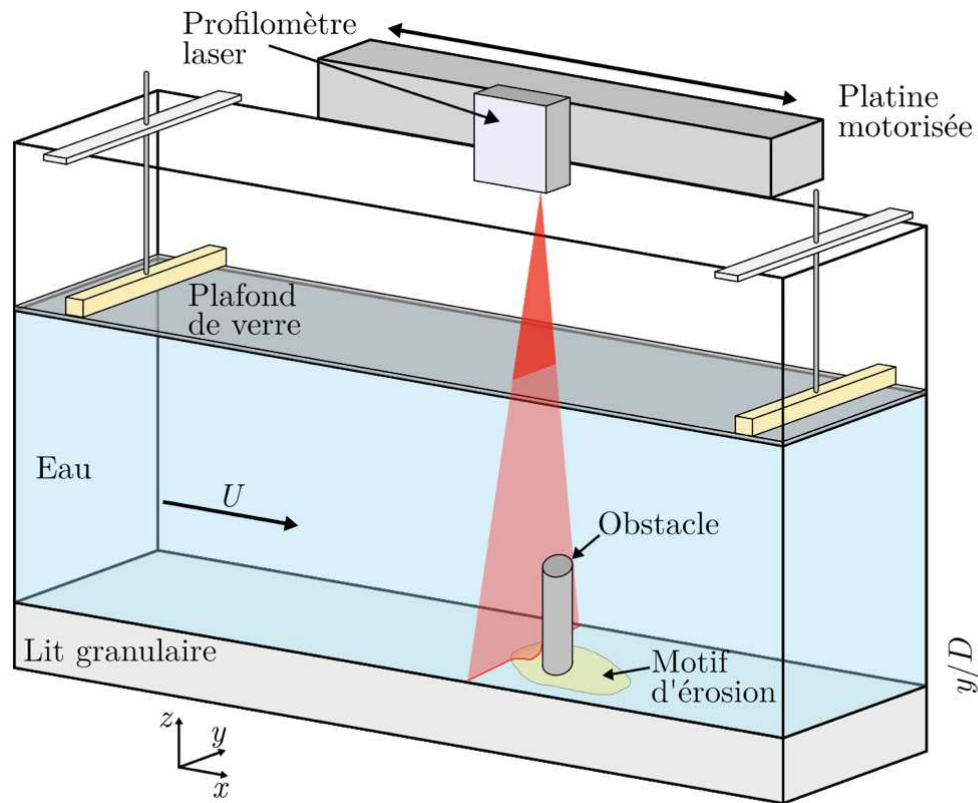
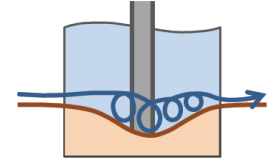
Et si l'on utilise un sabot rigide en pied d'obstacle ?



$Sh/Sh_c = 0,85$

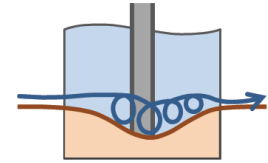
→ Extension du domaine de l'AOL seul

Profilométrie laser des motifs d'affouillement

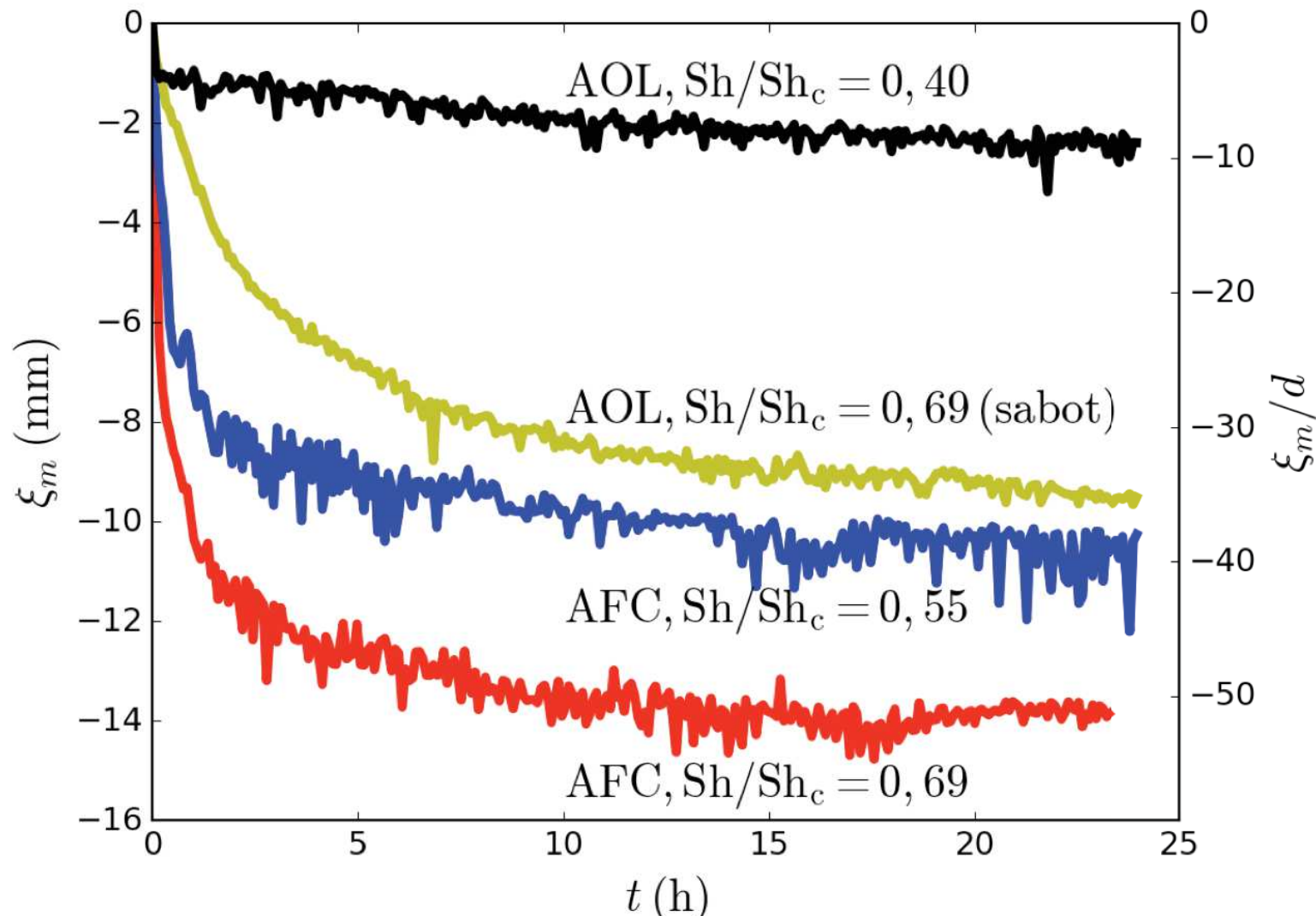


- Suivi temporel en “continu” : une cartographie 27 x 10 cm toutes les 10 s ($\delta x \approx 1 \text{ mm}$, $\delta y \approx 0.1 \text{ mm}$, $\delta z \approx 0.2 \text{ mm}$)

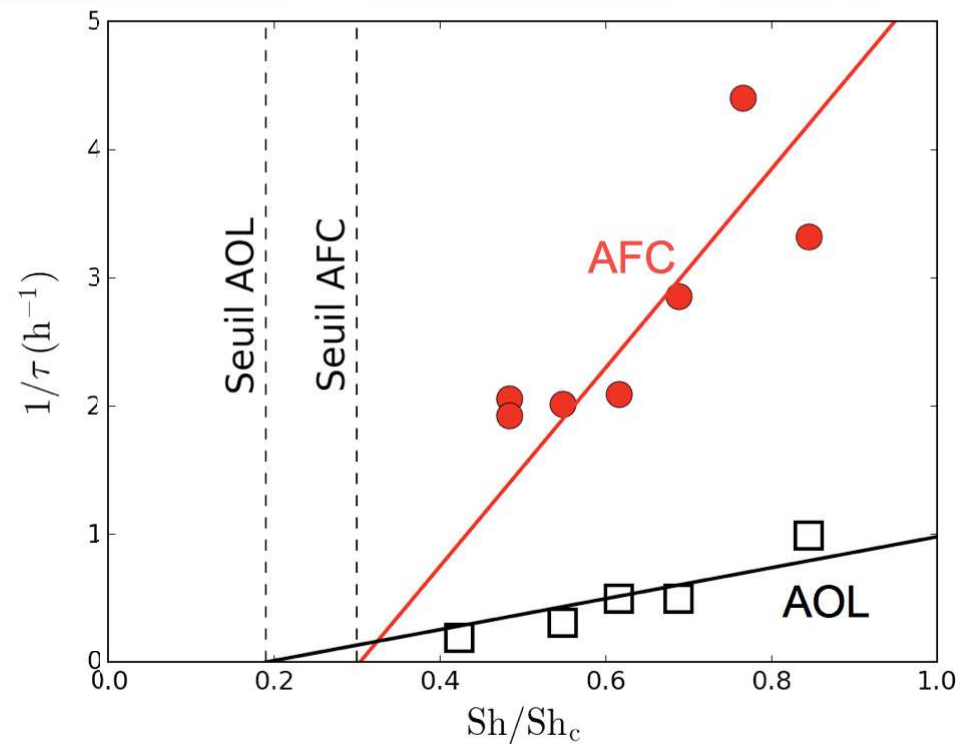
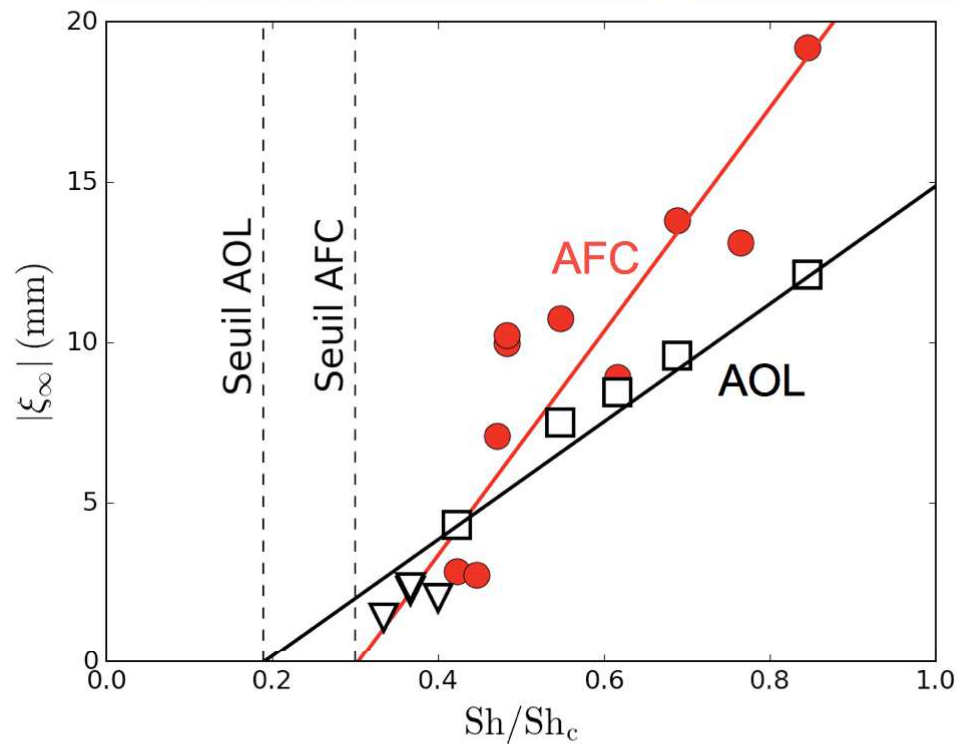
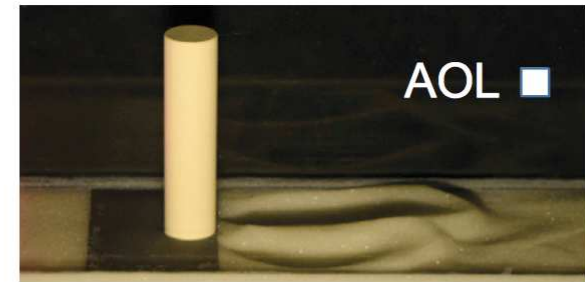
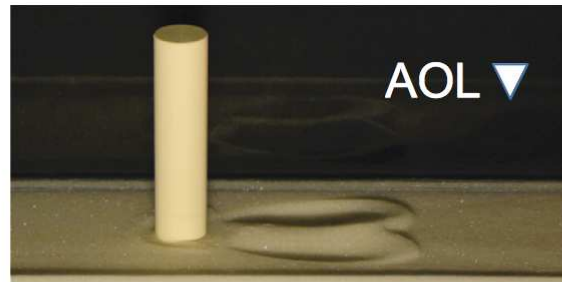
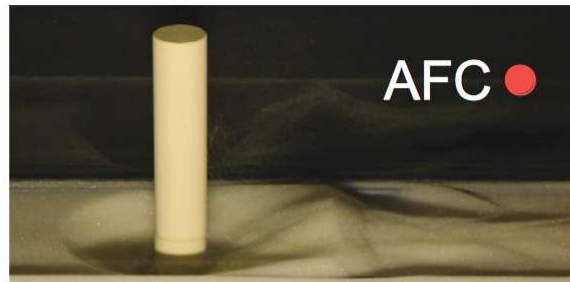
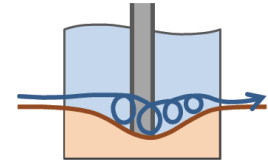
Suivi temporel des motifs d'affouillement



$D = 10 \text{ mm}$
 $d = 0,27 \text{ mm}$

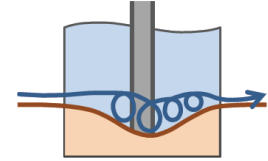


Seuil des motifs d'affouillement



$(D = 10 \text{ mm})$

Seuil du motif AFC

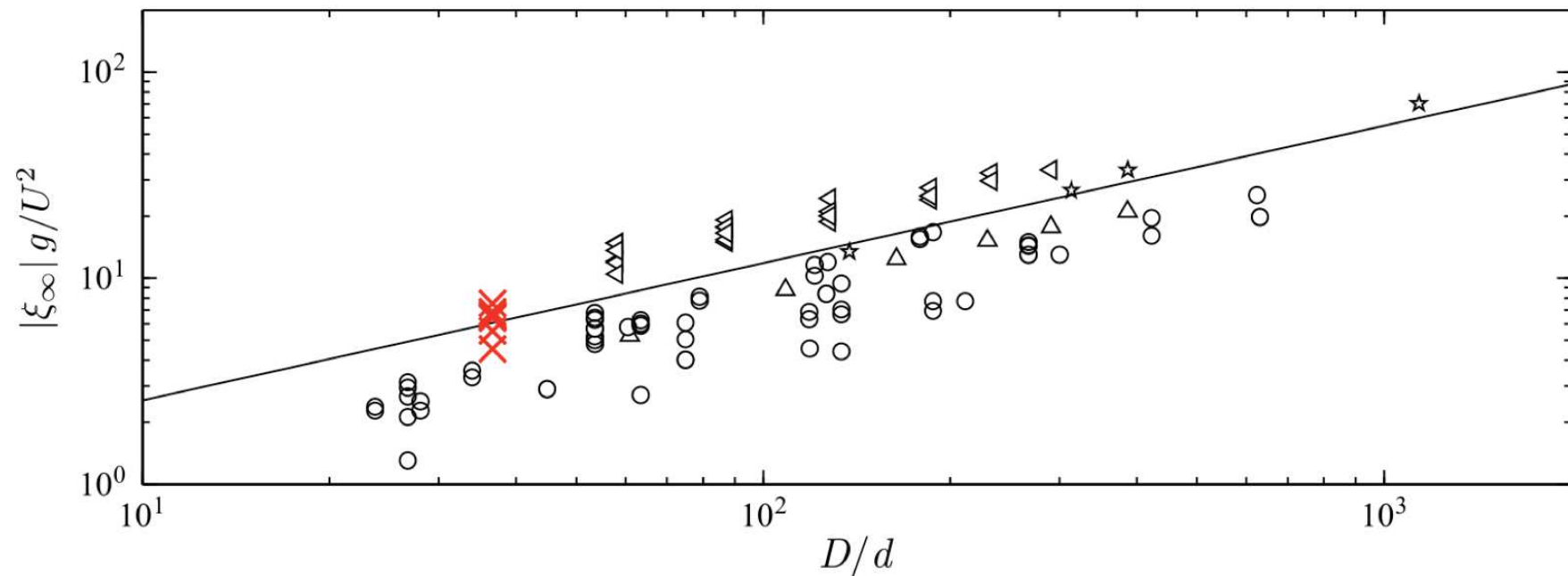


- Manes & Brocchini, (*JFM*, 2015) :

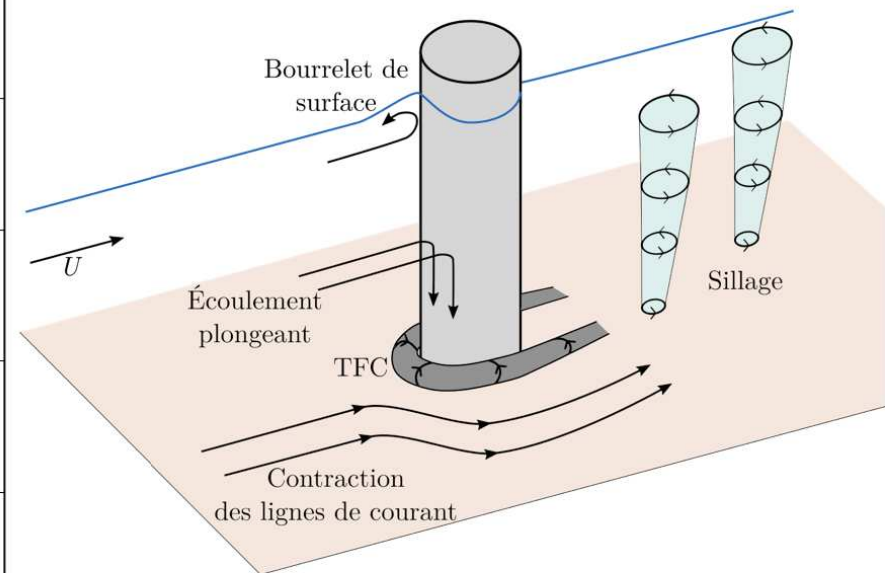
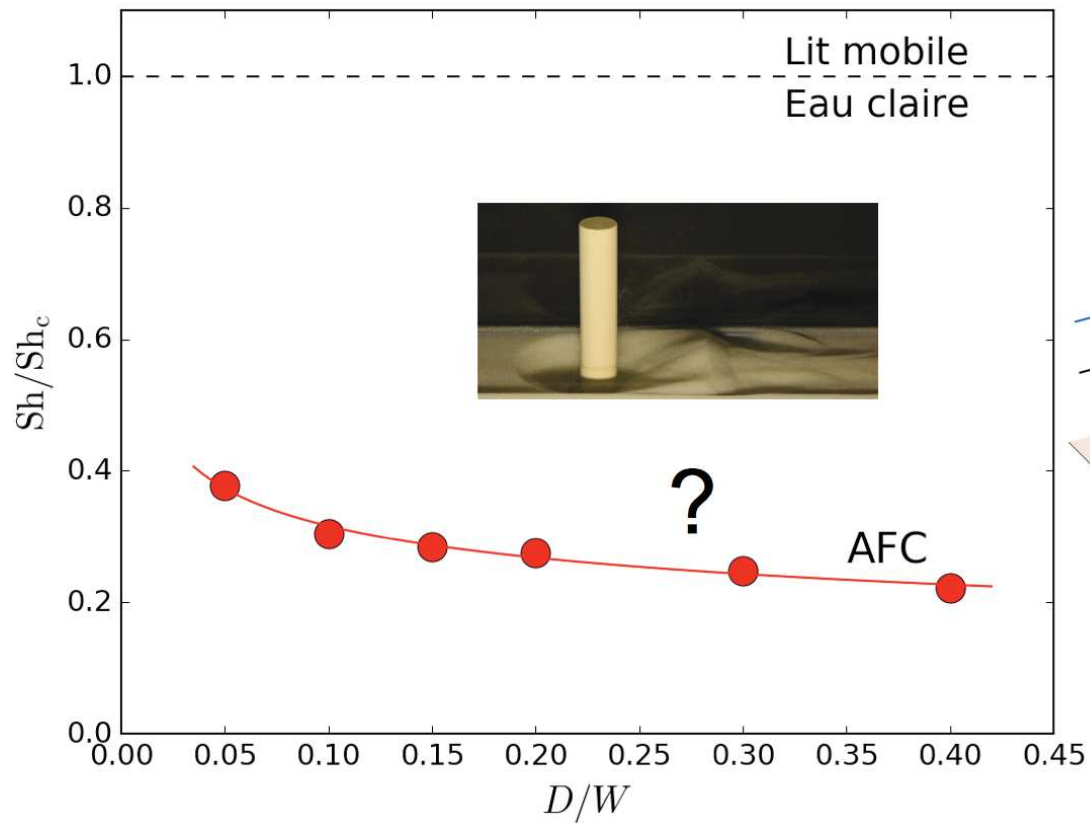
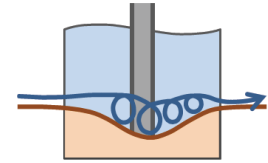
Pour l'AFC : $|\xi_\infty| \sim \text{Sh} D^{2/3} d^{1/3}$

Nos expériences :

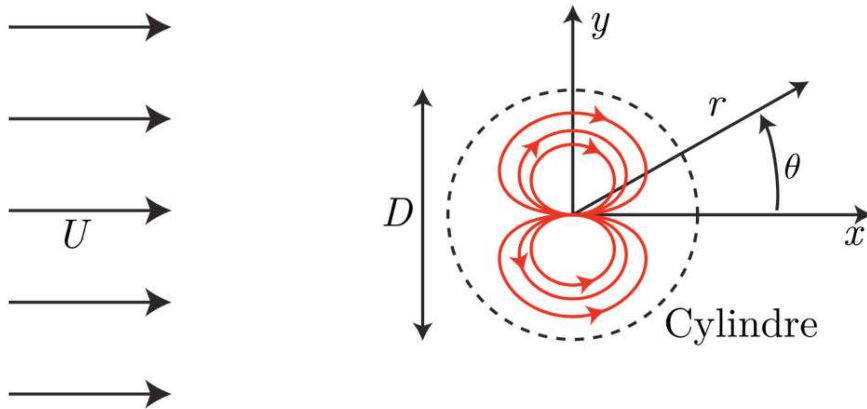
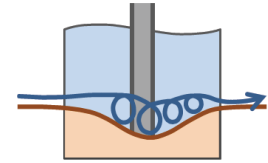
$$|\xi_\infty| \propto [\text{Sh} - \text{Sh}_c^{\text{AFC}}(D)]$$



Motif AFC et écoulement ?



Motif AFC et écoulement potentiel



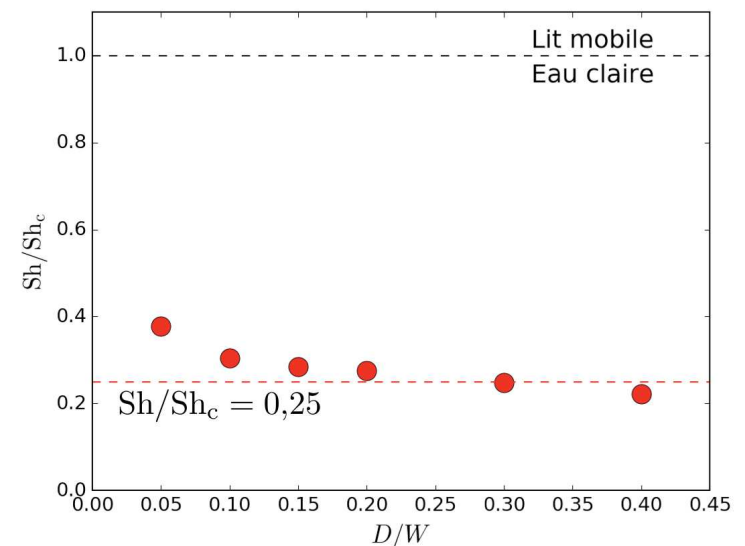
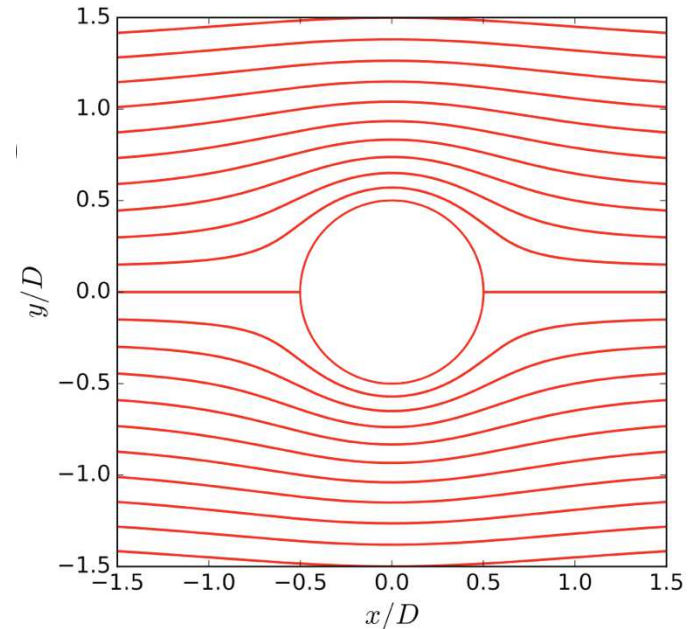
- Vitesse maximale en $(r = D/2, \theta = \pm\pi/2)$

$$u_{\max} = 2U \quad (\forall D)$$

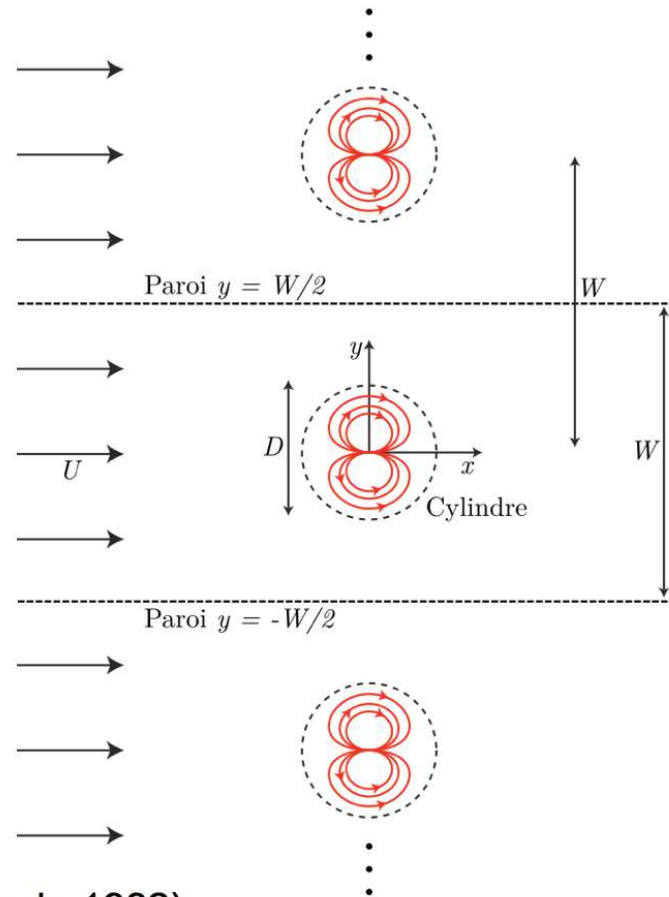
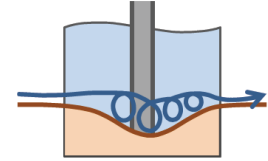
- Donc érosion locale pour $U \geq U_c/2$

$$\text{Sh} \geq \text{Sh}_c/4$$

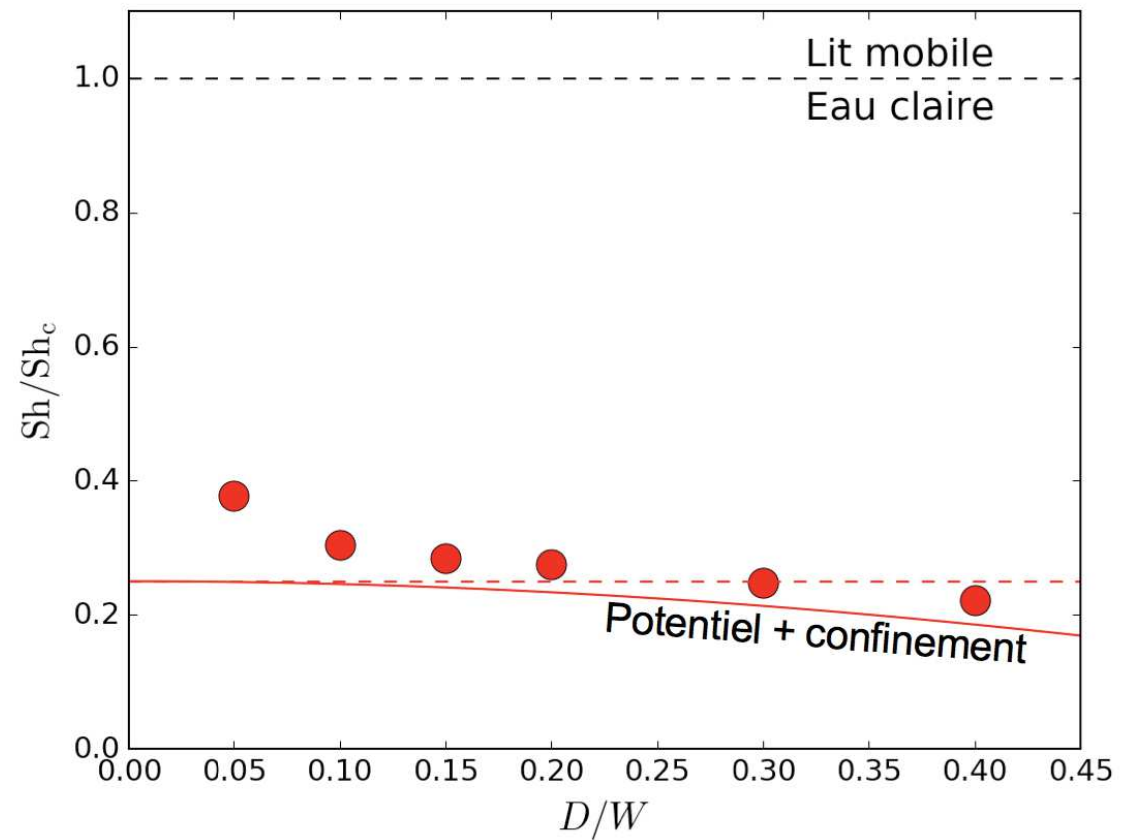
$$\text{Sh}/\text{Sh}_c \geq 0,25$$



Motif AFC et écoulement potentiel confiné

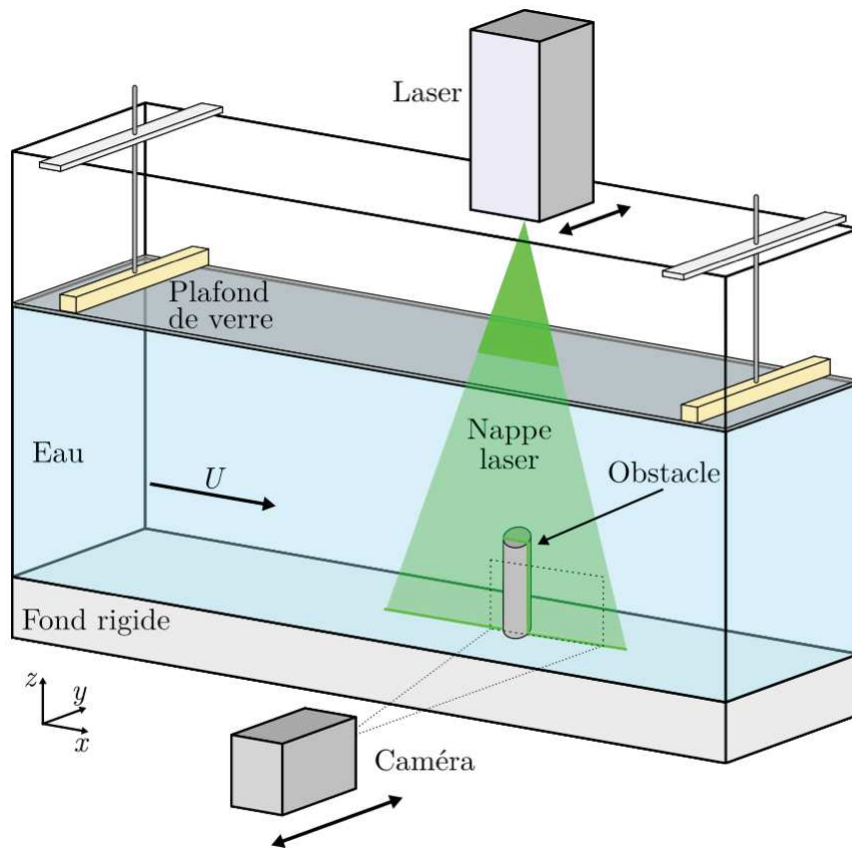
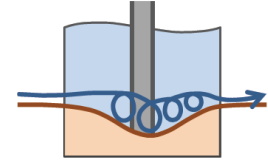


(Lamb, 1932)

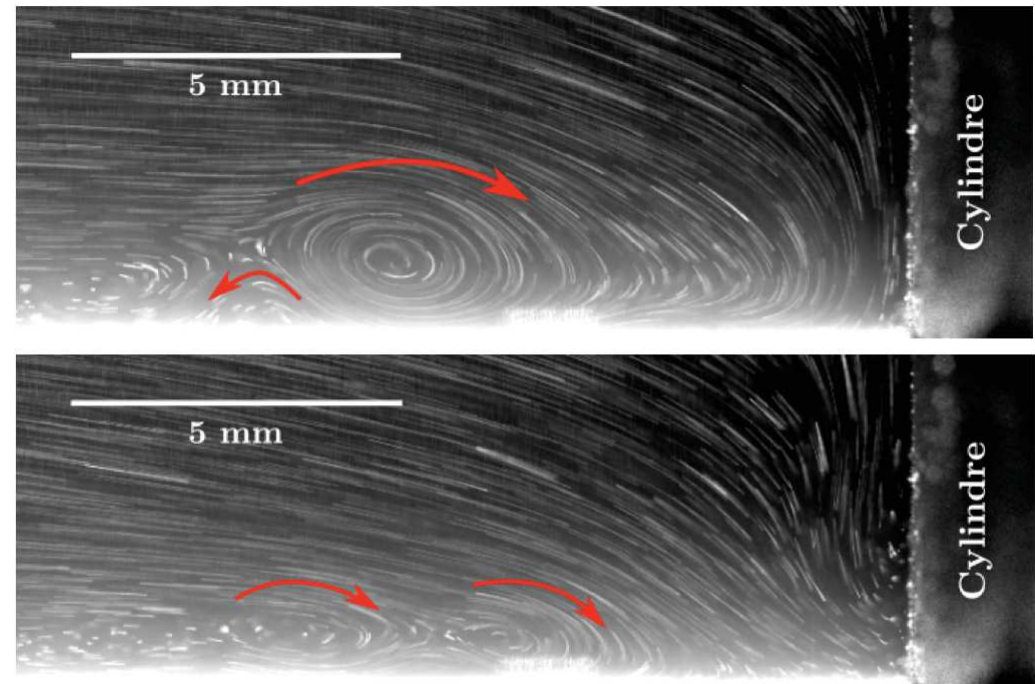


En pratique, survitesses mesurées plus faibles ($u_{\max} \simeq 1,4 U$)
 → Rôle du tourbillon en fer à cheval (TFC) ?

Motif AFC et écoulement TFC



Dispositif PIV



Visualisation du TFC

$$D = 20 \text{ mm}, U = 0,13 \text{ mm s}^{-1}, \text{Re}_D \simeq 2600$$

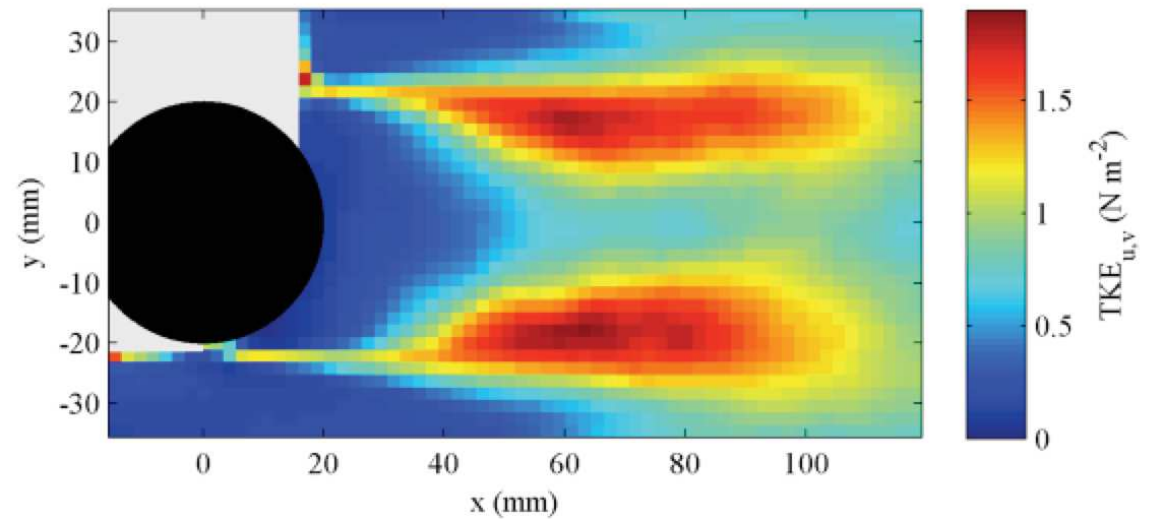
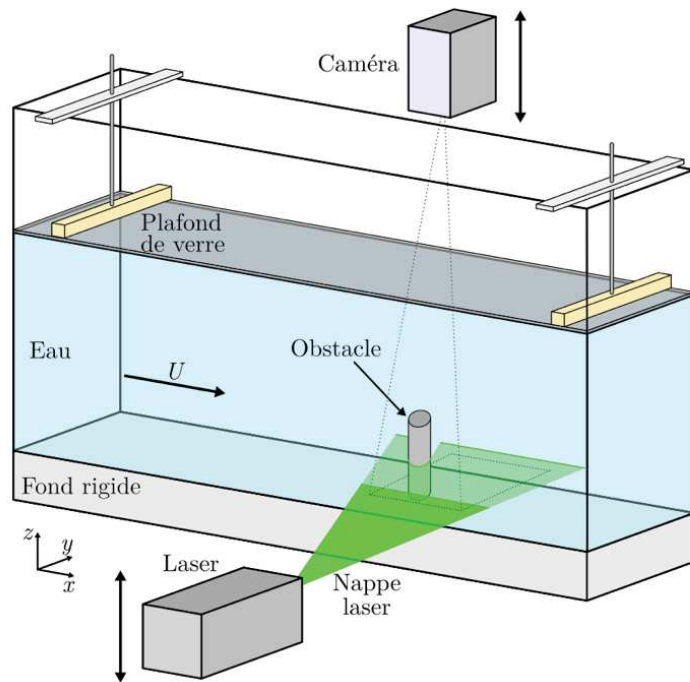
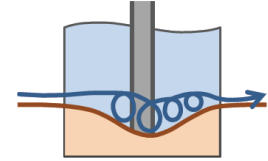
$$\Delta t = 0,5 \text{ s}$$

Moyenne

Fluctuations turbulentes

$$\text{TKE}_{u,w} = \frac{1}{2} \rho (\langle u'^2 \rangle + \langle w'^2 \rangle)$$

Ecoulement moyen et fluctuations

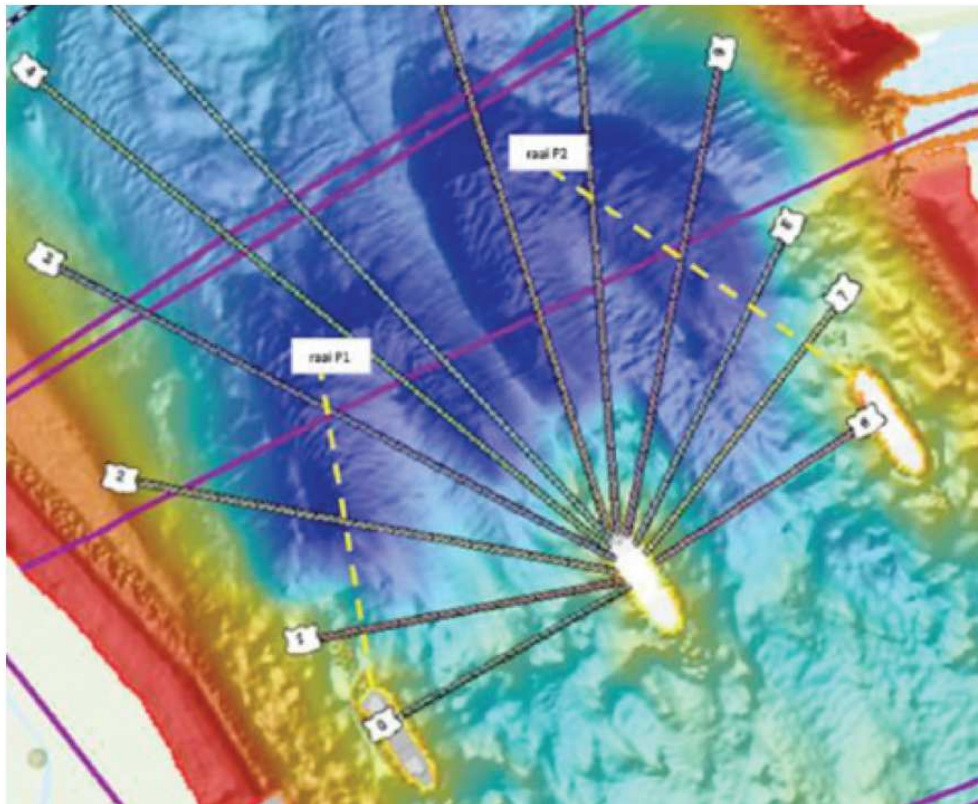
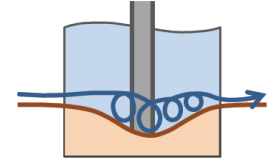


$$U = 0,13 \text{ mm s}^{-1}, D = 40 \text{ mm}, \text{Re}_D \simeq 5100$$

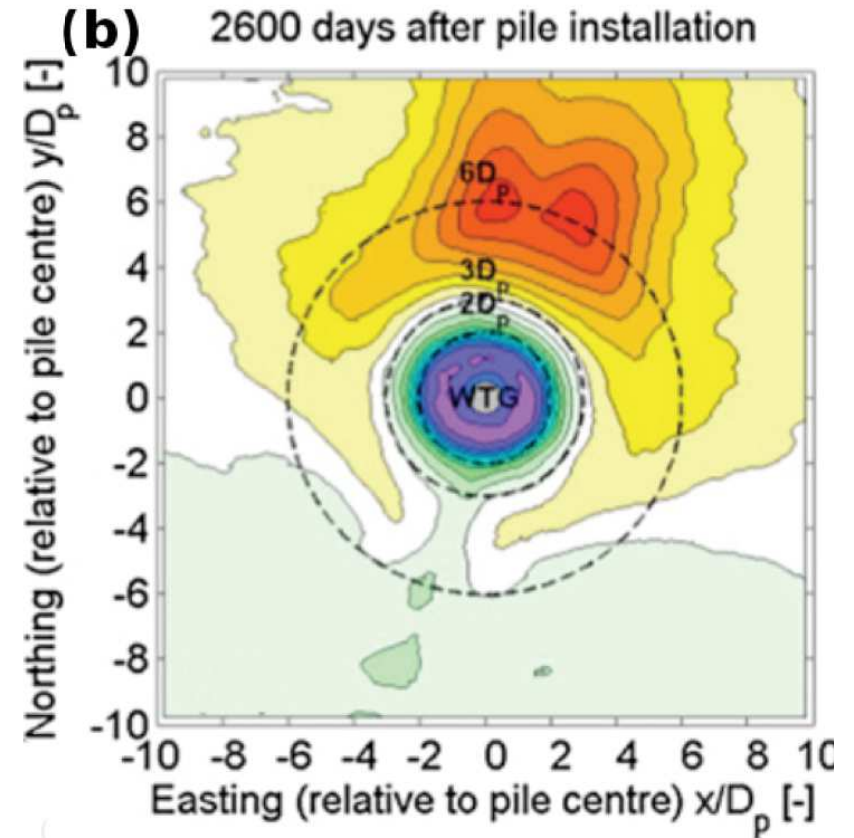
Moyenne sur 5360 champs

$$\text{TKE}_{u,v} = \frac{1}{2} \rho (\langle u'^2 \rangle + \langle v'^2 \rangle)$$

Le motif AOL hors labo

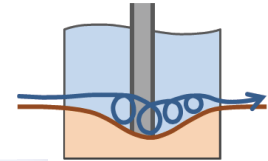


Pont sur la Vieille-Meuse
(*Spijkenisserbrug*, Rotterdam, Pays-Bas)



Éolienne off-shore,
avec enrochements au pied
(Egmond aan Zee, Pays-Bas)
(Petersen *et al.*, CE, 2015)

Bilan et perspectives



Actualité
CNRS (INSIS)
5 mars 2018



INSIS

[Actualités](#)

[Agenda](#)

[Appels à candidature](#)

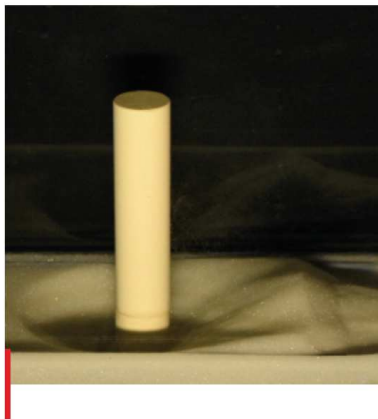
[Librairie](#)

[Annuaire](#) 

Recherche

Innovation

Internationa



[Accueil](#) > [Actualités](#)

Deux motifs d'érosion en compétition au voisinage d'un obstacle

05 mars 2018

RÉSULTAT SCIENTIFIQUE MÉCANIQUE
DES FLUIDES

A - / A +

Contact(s)

[Yann Bertho](#)

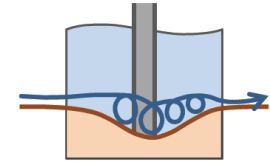
[Communication INSIS](#)

Partager ce contenu

Les constructions installées dans un écoulement, comme les éoliennes offshore ou les piles d'un pont, subissent une forme d'érosion appelée affouillement. Elle creuse le sol et peut mener à des effondrements catastrophiques. Des chercheurs du laboratoire Fluides, automatique et systèmes thermiques, en collaboration avec le laboratoire Surface du verre et interfaces, ont étudié ce phénomène dans un petit canal. Ils ont déterminé la vitesse critique d'écoulement et mis en évidence un nouveau

Bilan et perspectives

Rapport d'Activité 2018 du CNRS



ACCUEIL
LES TEMPS FORTS
LES CHIFFRES-CLÉS
LA PRÉSIDENTE
LES INSTITUTS
L'INTERNATIONAL
L'INNOVATION
LA RECHERCHE
LES TALENTS
LES DISTINCTIONS
LES DONNÉES CHIFFRÉES
LE PDF 2018

MATIÈRE ET PARTICULES

Deux motifs d'érosion en compétition au voisinage d'un obstacle

Les constructions installées dans un écoulement, comme les éoliennes offshore ou les piles d'un pont, subissent une forme d'érosion appelée affouillement. Elle creuse le sol et peut mener à des effondrements catastrophiques. Des chercheurs du laboratoire Fluides, automatique et systèmes thermiques, en collaboration avec le laboratoire Surface du verre et interfaces, ont étudié ce phénomène dans un petit canal. Ils ont déterminé la vitesse critique d'écoulement et mis en évidence un nouveau motif d'érosion. Ces résultats sont publiés dans la revue *Physical Review Fluids*.

Vers l'article *Deux motifs d'érosion en compétition au voisinage d'un obstacle*

