Caractérisation de l'érodabilité des sédiments fins cohésifs de retenue au fil de l'eau pour optimiser la gestion sédimentaire du Rhône à long terme

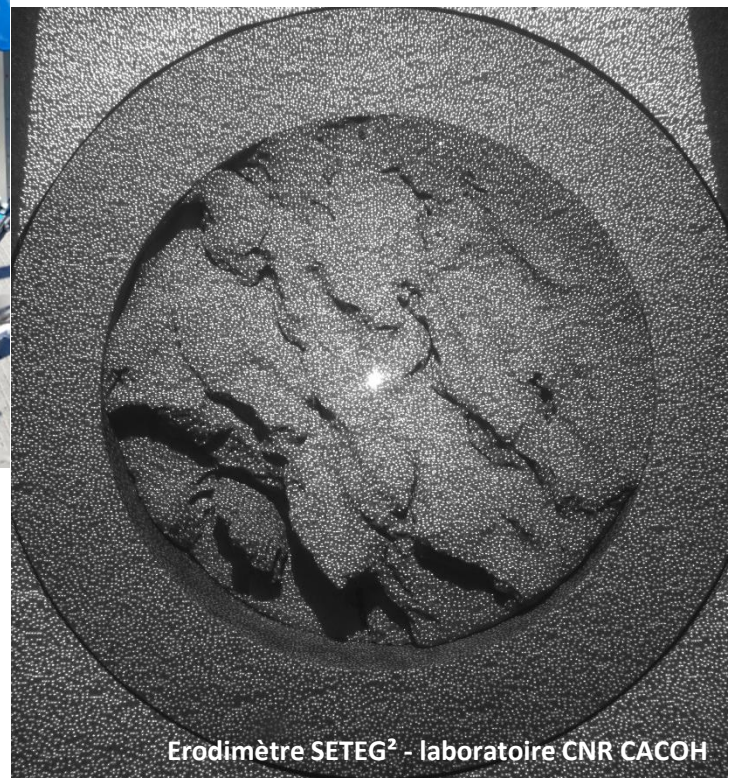
Damien ALLIAU (1)

Matthieu MIOLANE (2)

Stefan HAUN (3)

Christophe PETEUIL (1)

(1) (2) (3)



Erodimètre SETEG² - laboratoire CNR CACOH

Développements récents

- L'analyse du cas du barrage de Champagneux sur le Rhône (2014-2016) a permis de déterminer la méthode numérique de calcul de la contrainte pariétale par validation avec un modèle physique 1/35. La contrainte critique d'érosion des dépôts a été évaluée par *EFA* (ESTP). La comparaison entre contrainte hydraulique et loi d'érosion s'est faite de façon simplifiée.
  - Dépendance à labo extérieurs (contraire à l'exigence opérationnelle requise)
  - Non maîtrise de la chaine de mesure (depuis le terrain jusqu'au banc d'érosion)

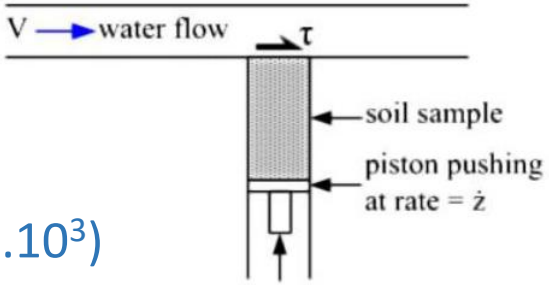
Décision d'internaliser des tests d'érosion sur échantillons intacts.

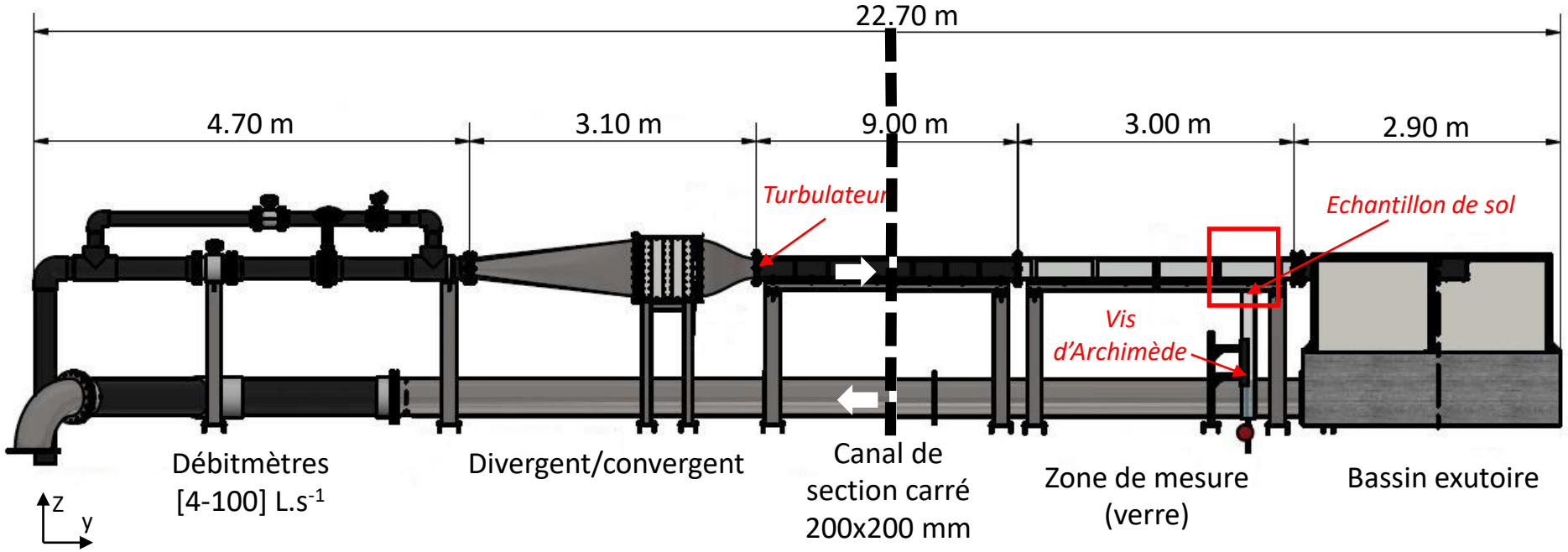
- Etude de faisabilité et développement de partenariats (2017-2019):
  - Formalisation d'un contrat de collaboration avec l'Université de Stuttgart (laboratoire IWS)
  - Lancement d'un projet de développement d'un banc d'érosion sur l'horizon 2020-2021
  - Etude de faisabilité de mesure du tenseur de Reynolds par méthode *PIV* (*Particle Image Velocimetry*)

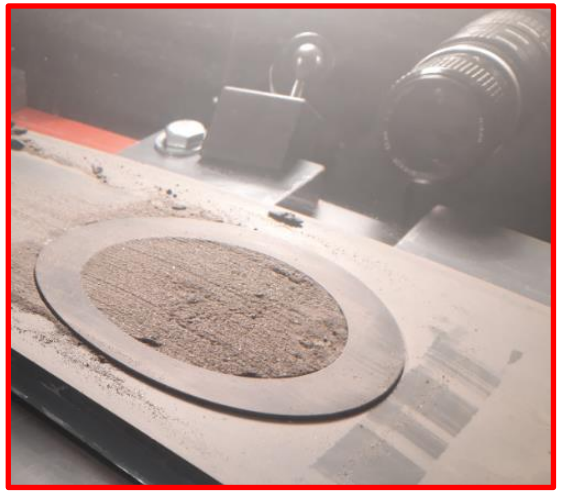
Décision de concevoir et construire un érodimètre CNR nommé SETEG²

Caractéristiques générales SETEG²

- Dimensions géométriques & hydrauliques
  - Longueur totale 23 m (dont 12 m dédiée au développement turbulent)
  - Section hydraulique carré 200x200 mm
  - Diamètres internes échantillons (85, 100 et 140 mm)
  - Vitesse moyenne [0.1;2.5] m.s^{-1}, contrainte pariétale [0;30] N.m^{-2} ($Re \geq 20.10^3$)

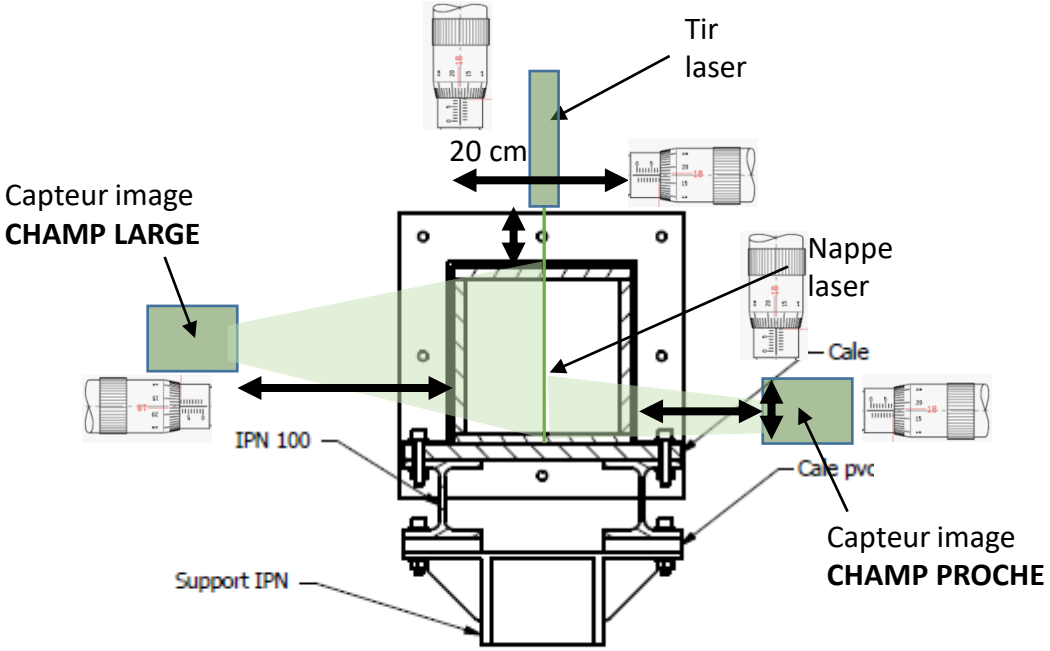






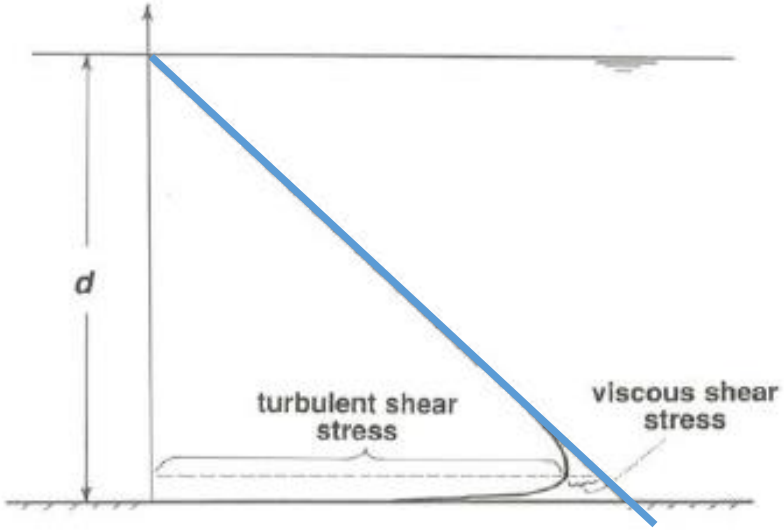
Contrainte pariétale

- Principe
  - Mesure de la contribution turbulente de la contrainte totale par *PIV*
  - Génération de lois univoques entre vitesse moyenne d'écoulement et contrainte à la paroi, pour différentes hypothèses de rugosité de fond, à l'endroit de l'échantillon



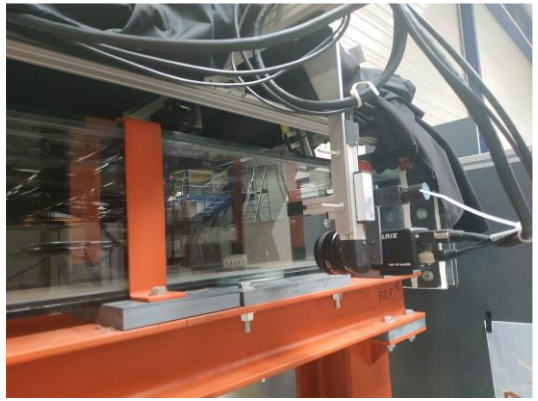
COUPE TRANSVERSALE

$$\tau_p = \tau_{lam} + \tau_{turb} = \mu \frac{\partial u}{\partial y} - \overline{\rho u' v'}$$



Contrainte pariétale

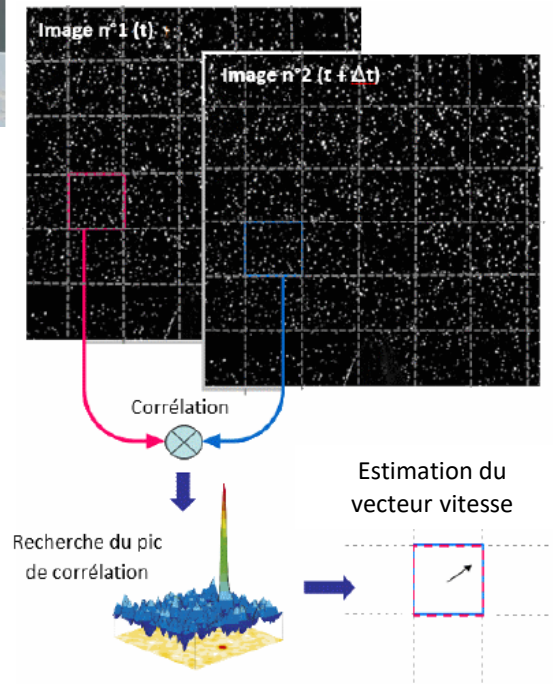
- Vues de l'installation & principe *PIV*

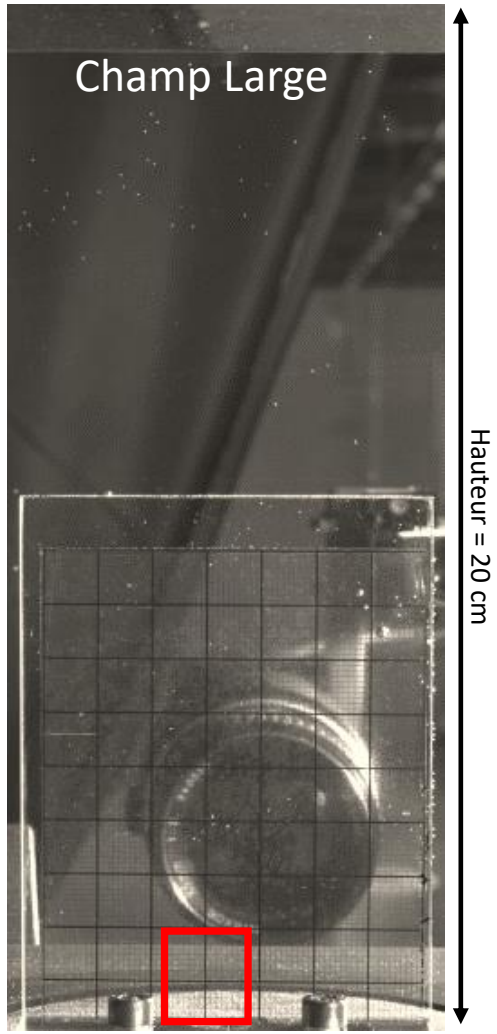


CMOS 4 MP 8 bits
(champ proche)

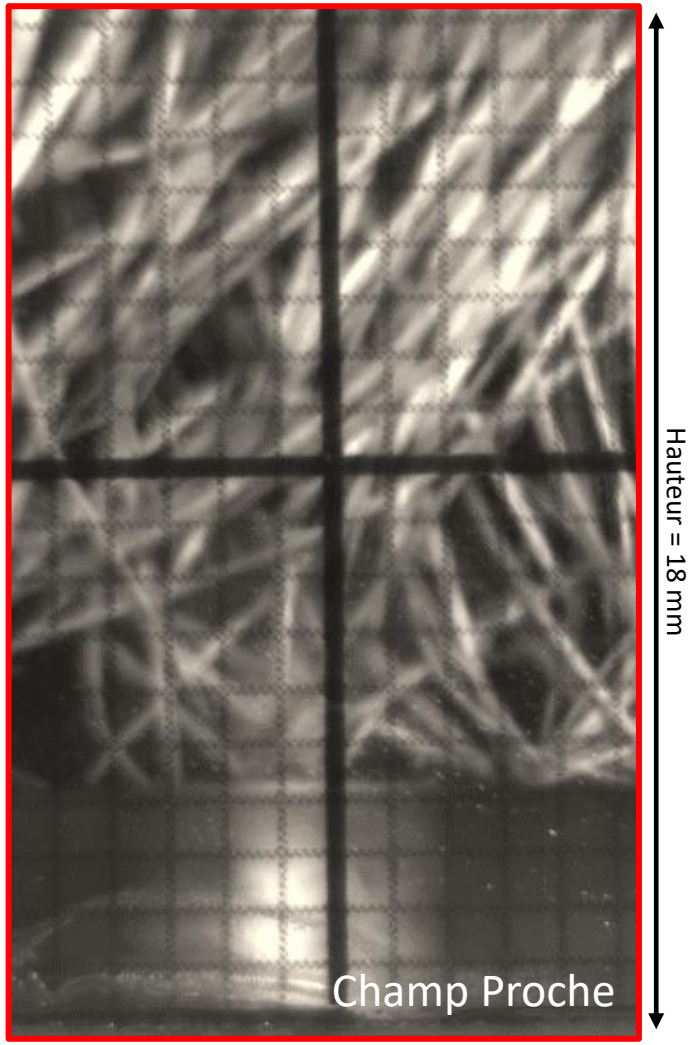
Générateur de plan laser
Nd-Yag (532 nm) pulsé –
145 mJ

Mesures sur fonds:
- Lisse
- Rugueux (425-125-60-35-16 µm)





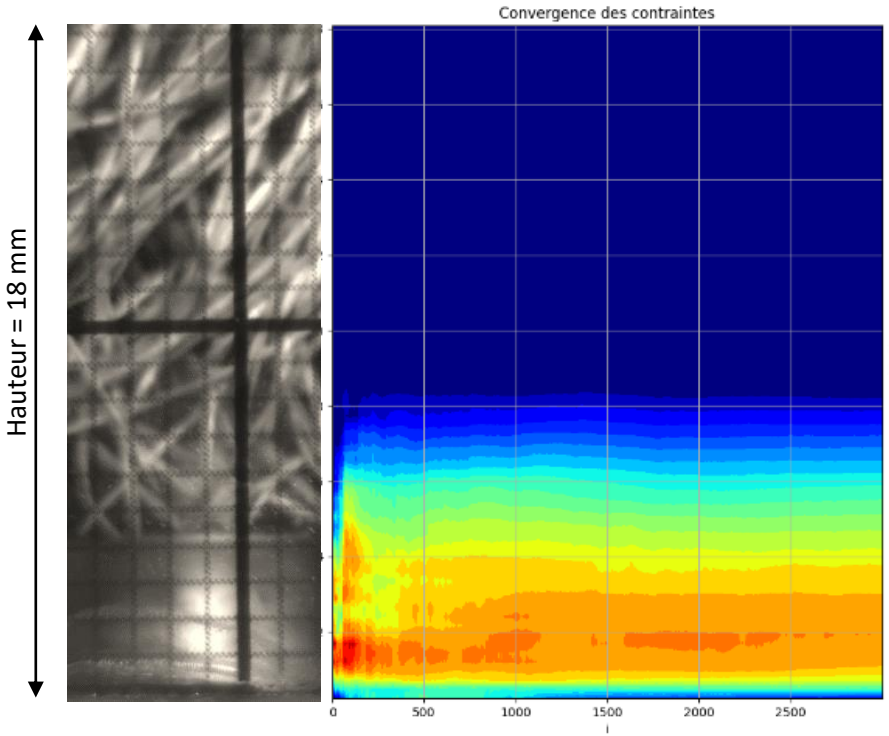
Capteur 3006x4104 px



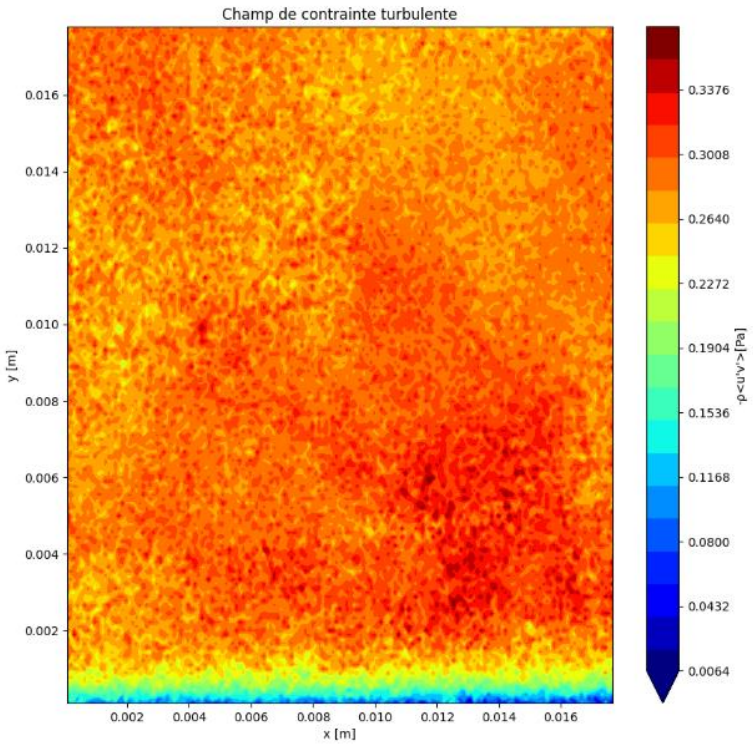
Capteur 2048x2048 px

Contrainte pariétale

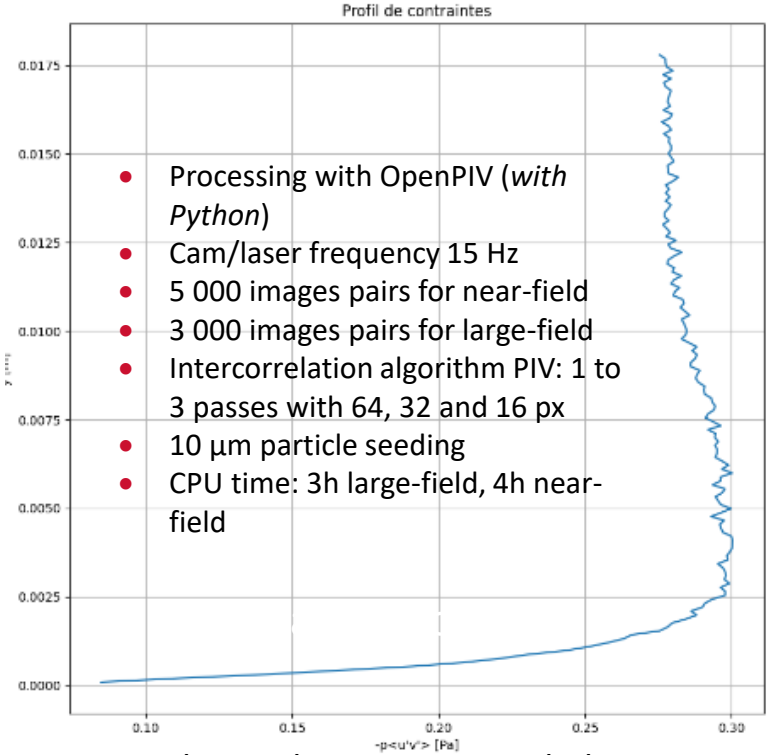
- Calcul des grandeurs statistiques par *PIV*
  - REX: temps de convergence incompatible avec temps d'érosion !



Nombre de paires d'images



Champ de contrainte turbulente (moyenne temporelle)

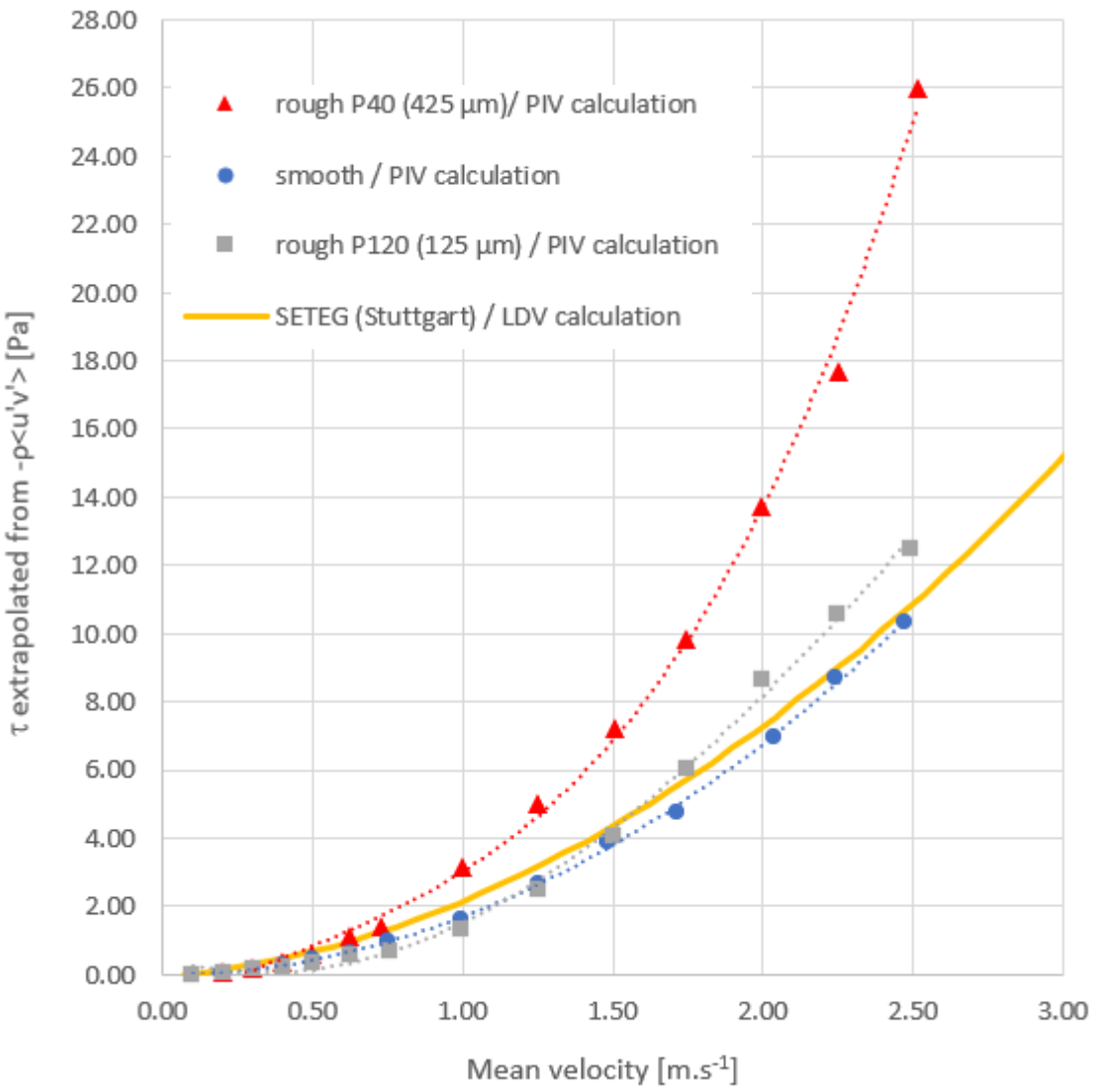


- Processing with OpenPIV (*with Python*)
- Cam/laser frequency 15 Hz
- 5 000 images pairs for near-field
- 3 000 images pairs for large-field
- Intercorrelation algorithm PIV: 1 to 3 passes with 64, 32 and 16 px
- 10 µm particle seeding
- CPU time: 3h large-field, 4h near-field

Champ de contrainte turbulente (moyenne temporelle et spatiale)

Contrainte pariétale

- Abaques
  - Disponible par rugosité
  - Analogie avec mesures IWS avec technologie *LDV* (*Laser Doppler Velocimeter*)
- En cours d'investigation
  - 2 rugosités complémentaires
  - Effets de bord

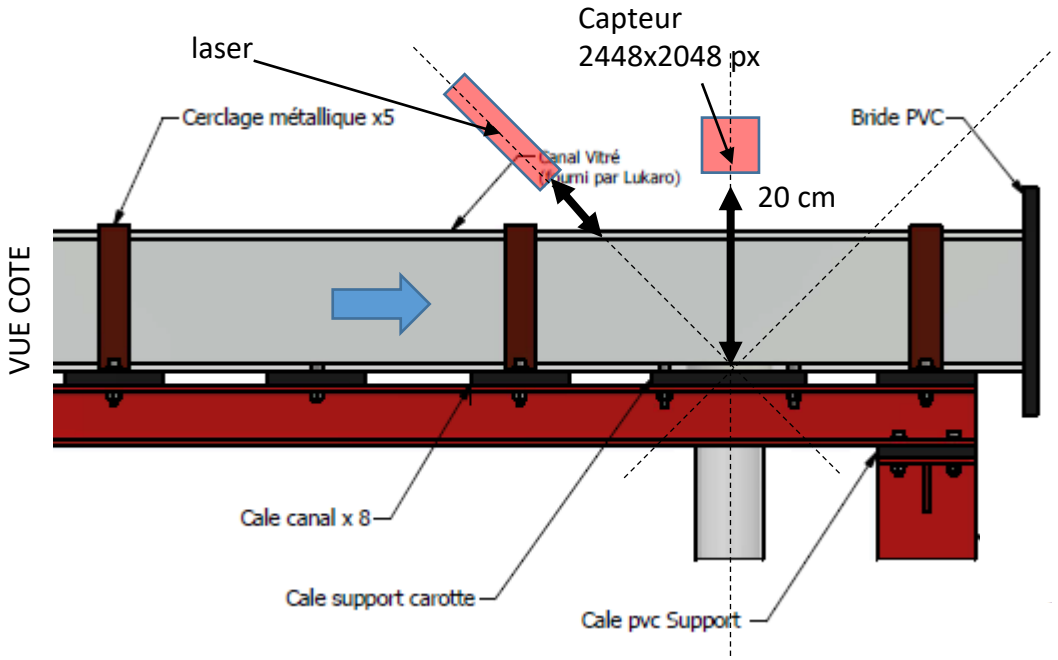


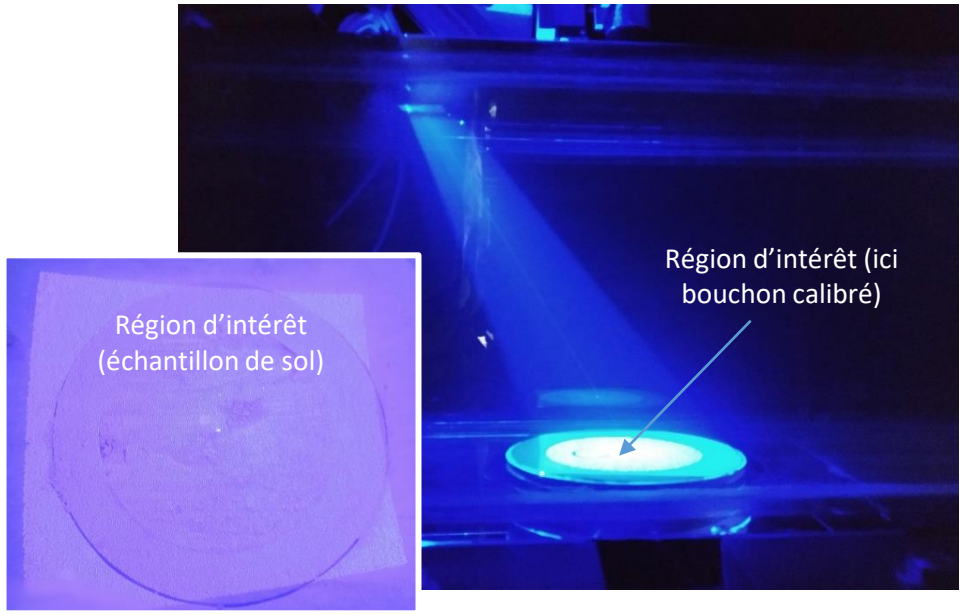
Mesure d'érosion (volumique)

- Principe *PHOTOSED* (*PHOTOgrammetric Sediment Erosion Detection*)

  - Projection par semi-conducteur laser d'un motif pseudo-aléatoire de 40 000 points sur l'échantillon de sol pendant les essais d'érosion

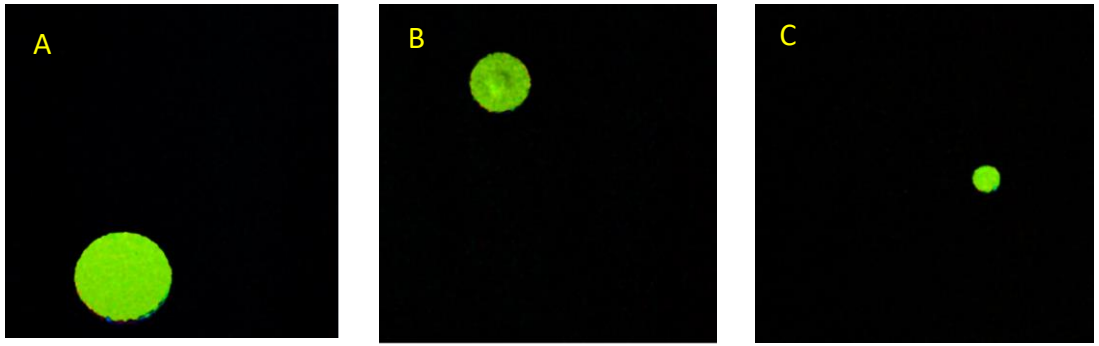
  - Calcul de volume par algorithme *DOF (Dense Optical Flow)* entre paires d'images successives, par analyse du déplacement des points projetés





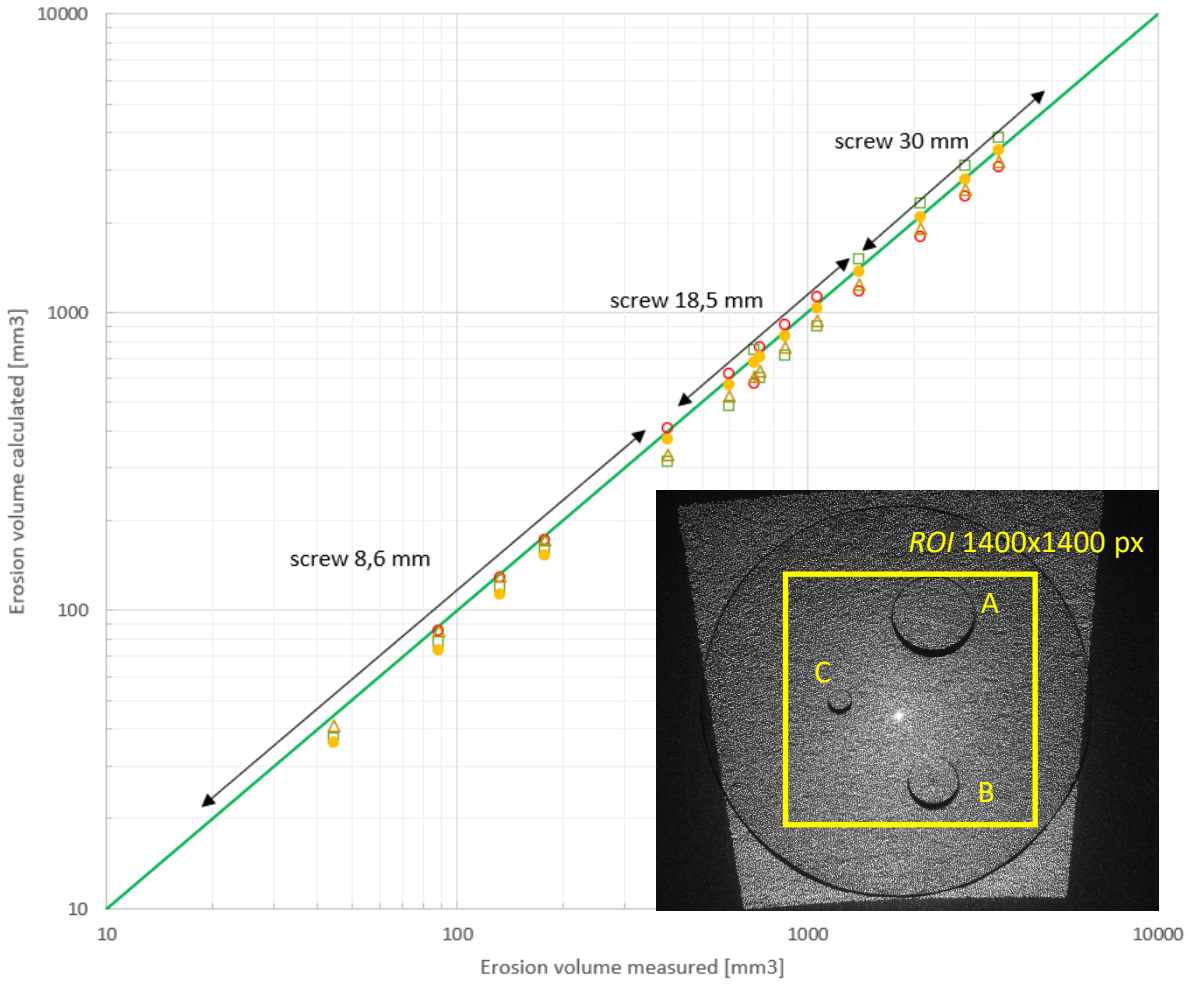
Mesure d'érosion (volumique)

- Performances *PHOTOSED* (*PHOTOgrammetric Sediment Erosion Detection*)
  - Calibration géométrique par bouchon calibré
  - Résolution horizontale et verticale: 73 µm/px
  - Résolution vertical: 105 µm/px
  - Calcul de fonction de correction liée à l'angle
  - Gamme de volume détectable *in fine* [10;5000] mm^3



Résultats d'algorithme DOF

- *ROI* (*Region Of Interest*) à ajuster en fonction des effets de bord, équivalent à 10 444 m² (1400x1400 px) pour calibration

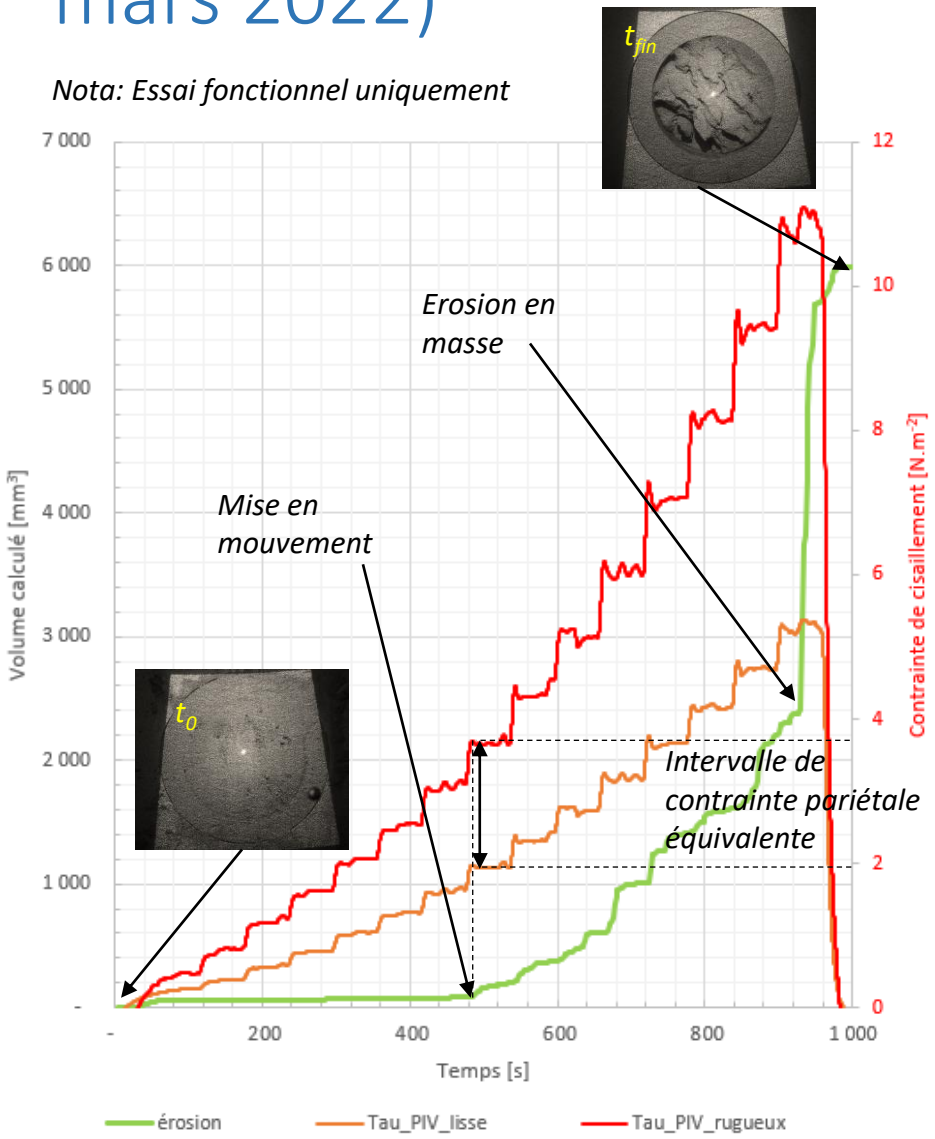


Mesure d'érosion (mise en service : 1er mars 2022)

- Primo-essais sur échantillons du réservoir de Donzère-Mondragon
  - Observation de la contrainte critique de mise en mouvement
  - Calcul du taux d'érosion, de la profondeur d'érosion spécifique (rapportée à la surface totale *ROI*)

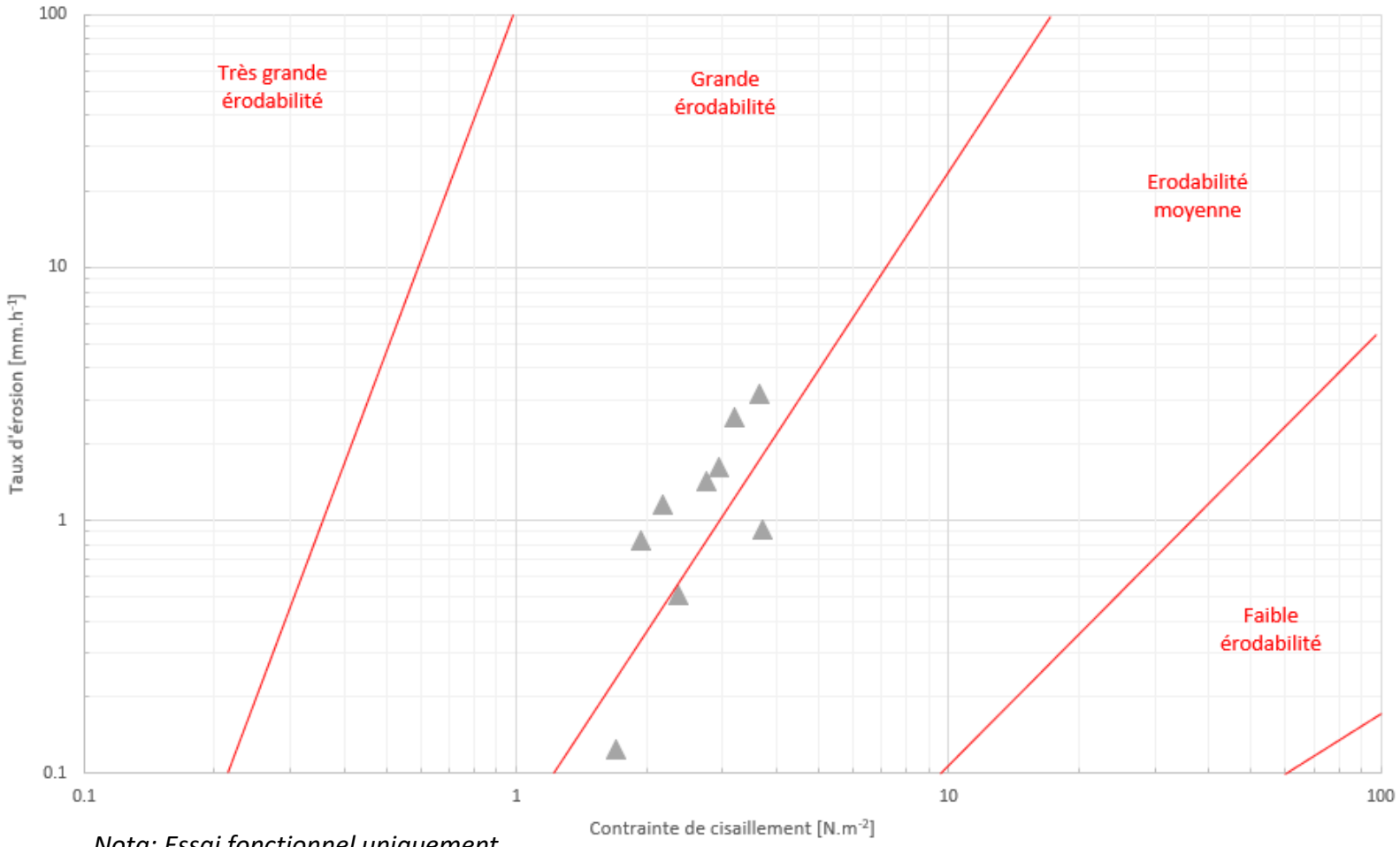
Durée réelle 500 s

Nota: Essai fonctionnel uniquement



Mesure d'érosion (mise en service : 1er mars 2022)

- En cours d'investigation
  - Encadrement de la valeur de contrainte
  - Evaluation des incertitudes d'érosion
  - Réplicabilité des essais
  - Effets de bord (taille *ROI*)
  - Comparaison SETEG *vs.* SETEG²



Nota: Essai fonctionnel uniquement

Enseignements internes

- ✓ Choix volontaire, pour satisfaire des enjeux de performance opérationnelle, d'internaliser toute la chaine de prélèvement, d'essais et de modélisation permettant de définir le mode de gestion des dépôts le plus efficient entre laisser faire la nature et intervenir mécaniquement
- ✓ Très forte synergie et proximité entre équipes mesure / essais et modélisation de CNR permettant de répondre avec efficience aux enjeux de sûreté

- ✓ Collaboration intéressante avec le laboratoire IWS de l'Université de Stuttgart, en pointe sur le sujet qui nous fait bénéficier d'un transfert technologique
- ✓ Internalisation de la compétence *PIV* au sein de l'équipe hydraulique, mesures de raffinement inédites

Références

- ✓ Alliau et al., 2016, Evaluating 3D hydraulic conditions to favor sediment transport and erosion through a reservoir: the case study of Champagneux run-of-river dam on the Rhône River, Proceedings XXIIIrd TELEMAC & MASCARET User Conference, Paris, France.
- ✓ Beckers, F., Haun, S., Noack, M., 2018. Experimental investigation of reservoir sediments. E3S Web of Conferences 40, 03030. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184003030

Remerciements

- ✓ Optifluides : expertise PIV
- ✓ Université de Stuttgart (IWS) : appui conception, instrumentation, REX SETEG (*Strömungskanal zur Ermittlung der tiefenabhängigen Erosionsstabilität von Gewässersedimenten*)