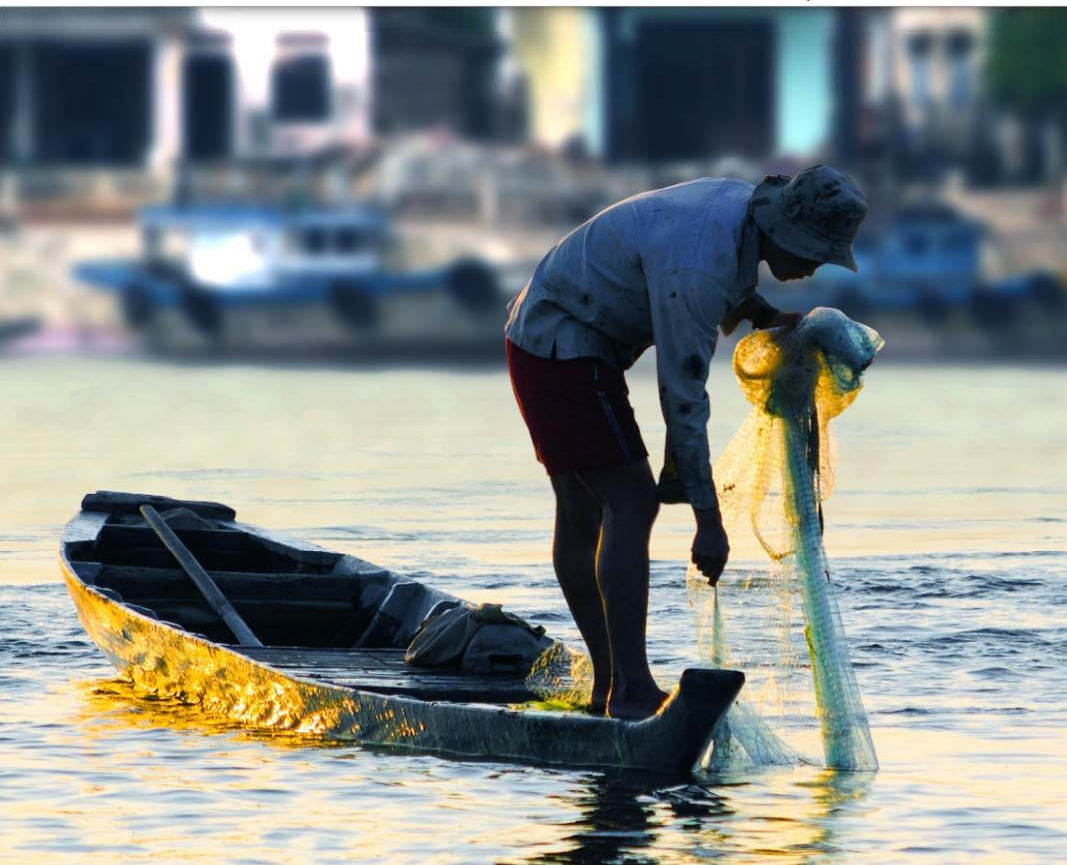


Des rivières
et des hommes



Les sédiments charriés en rivière

Processus et mesures sur le terrain



Dans le cadre de



RESCIF

Réseau d'excellence
des sciences de l'ingénieur
de la Francophonie

Les sédiments charriés en rivière

Oldrich NAVRATIL
Université Lyon 2

- ... comprendre le fonctionnement hydro-sédimentaire d'un cours d'eau
- ... identifier des ajustements fluviaux
- ... ou des impacts sur les milieux aquatiques

Processus et
mesures sur le terrain



Plan de la présentation

1. Granulométrie de surface
2. Granulométrie par couche (surface/sub-surface)
3. Le colmatage
4. Le transport des sédiments grossiers
5. Conclusion

Oldrich NAVRATIL
Université Lyon 2

Les sédiments
charriés en rivière



La granulométrie de surface

Les sédiments grossiers :

- tailles très hétérogènes
- structurent morphologie et rugosité du cours d'eau

256 mm

<



Hétérogénéité de la granulométrie sédimentaire dans un petit torrent en Corse

La granulométrie de surface

Les sédiments grossiers :

- tailles très hétérogènes
- structurent morphologie et rugosité du cours d'eau

Sables < 2 mm

2 mm < Gravier < 64 mm

64 mm < Galets < 256 mm

< Blocs

256 mm

<



Rivière en tresses des Duyes

La granulométrie de surface

Les sédiments grossiers :

- tailles très hétérogènes
- structurent morphologie et rugosité du cours d'eau
- analyse granulométrique

Sables < 2 mm

2 mm < Gravier < 64 mm

64 mm < Galets < 256 mm

< Blocs

256 mm

<



Vue du Bec d'Allier. Confluence de l'Allier et de la Loire

Le protocole de mesure



M. Gordon "Reds" Wolman, professeur de géographie,
B. Howell Griswold Jr. University

Méthode de mesure :

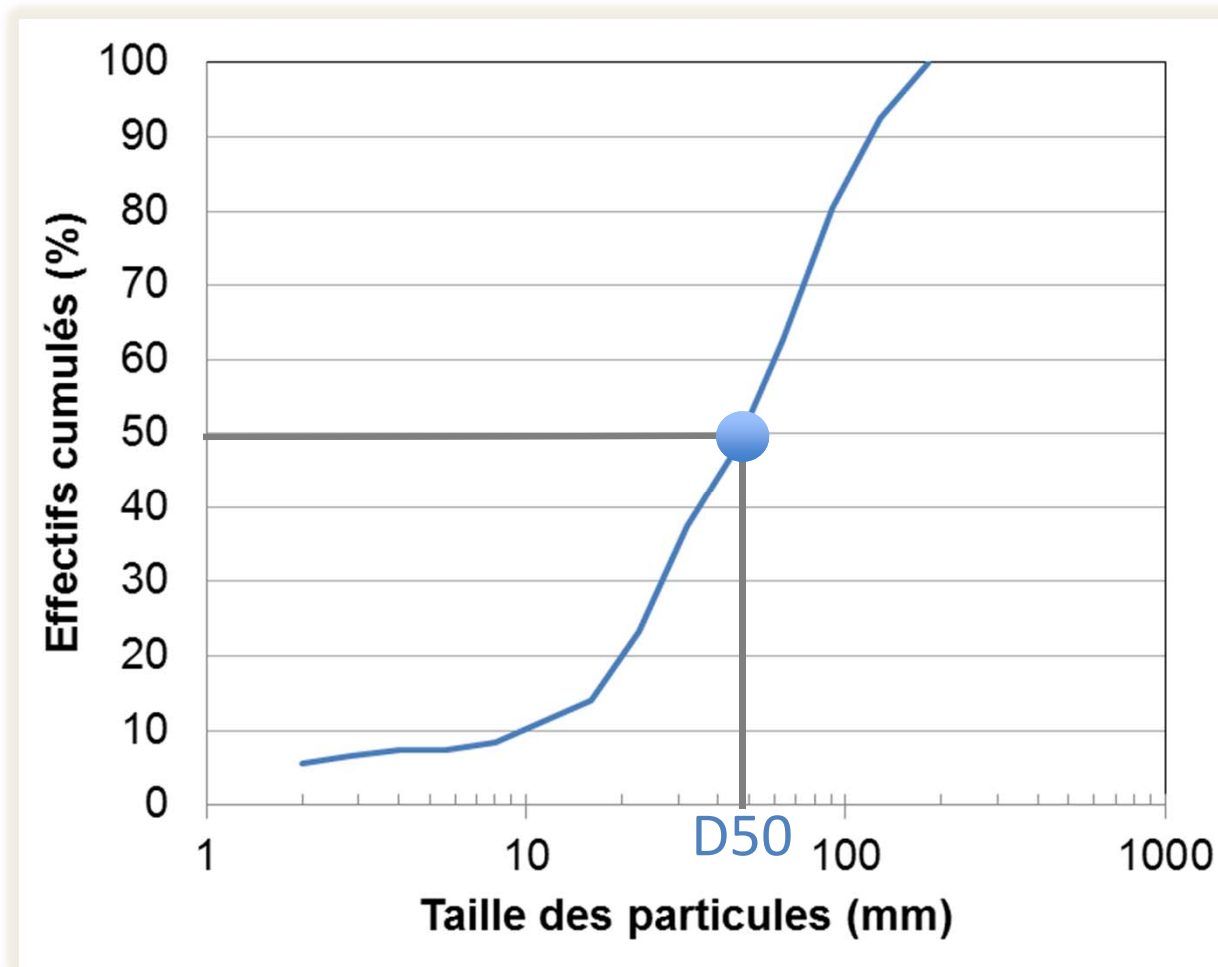
- Wolman Pebble Count
- échantillon de 100 particules

La courbe granulométrique de surface

Résultats :

- courbe des effectifs cumulés
- indicateurs de taille :
ex. D50, D84...

Courbe d'effectifs cumulés (en %)
des tailles de sédiments



Granulométrie par couche

Surface,
sub-surface



Armure
de surface

Oldrich NAVRATIL
Université Lyon 2

Les sédiments
charriés en rivière

1. Surface

2. Sub-surface

3. Colmatage

4. Transport solide

5. Conclusion

Deux couches bien distinctes

Rivières à gravier

1) couche(s) de sub-surface
avec une granulométrie plus
fine

Armure
de surface



Deux couches bien distinctes

Rivières à gravier

1)couche(s) de sub-surface
avec une granulométrie plus
fine

2)couche de surface

•armure de surface :
remobilisation fréquente

Vue d'une coupe
d'un banc de gravier



Couche
de surface

Couche de
sub-surface

Deux couches bien distinctes

Rivières à gravier

1)couche(s) de sub-surface avec une granulométrie plus fine

2)couche de surface

- armure de surface : remobilisation fréquente
- pavage: stabilité du lit



Mécanisme de mise en place du pavage/armurage

Causes :

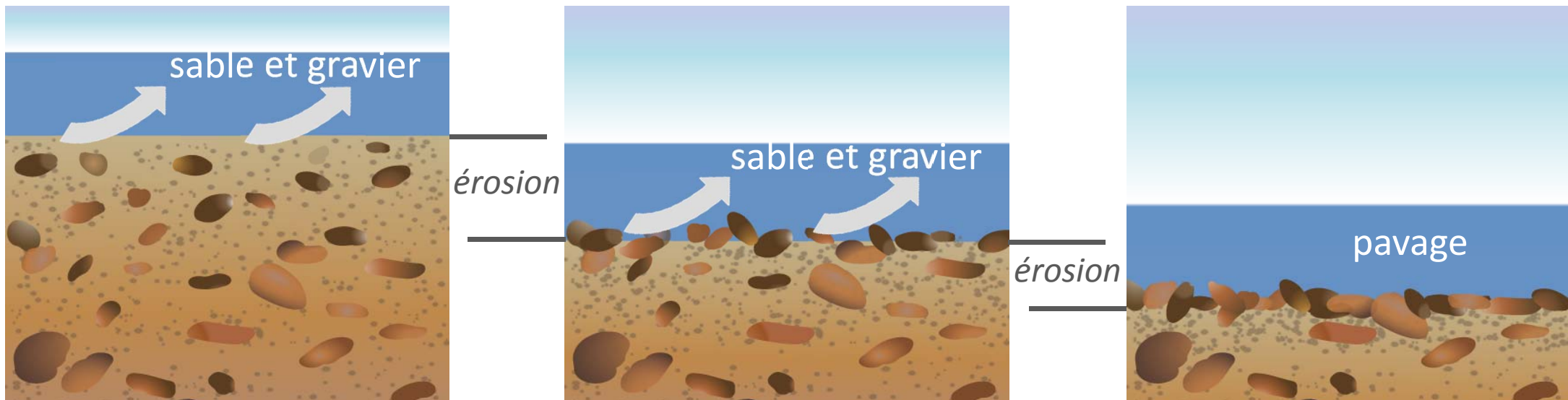
- changement de la capacité de transport
- déficit de l'apport solide



Mécanisme de mise en place du pavage/armurage

Causes :

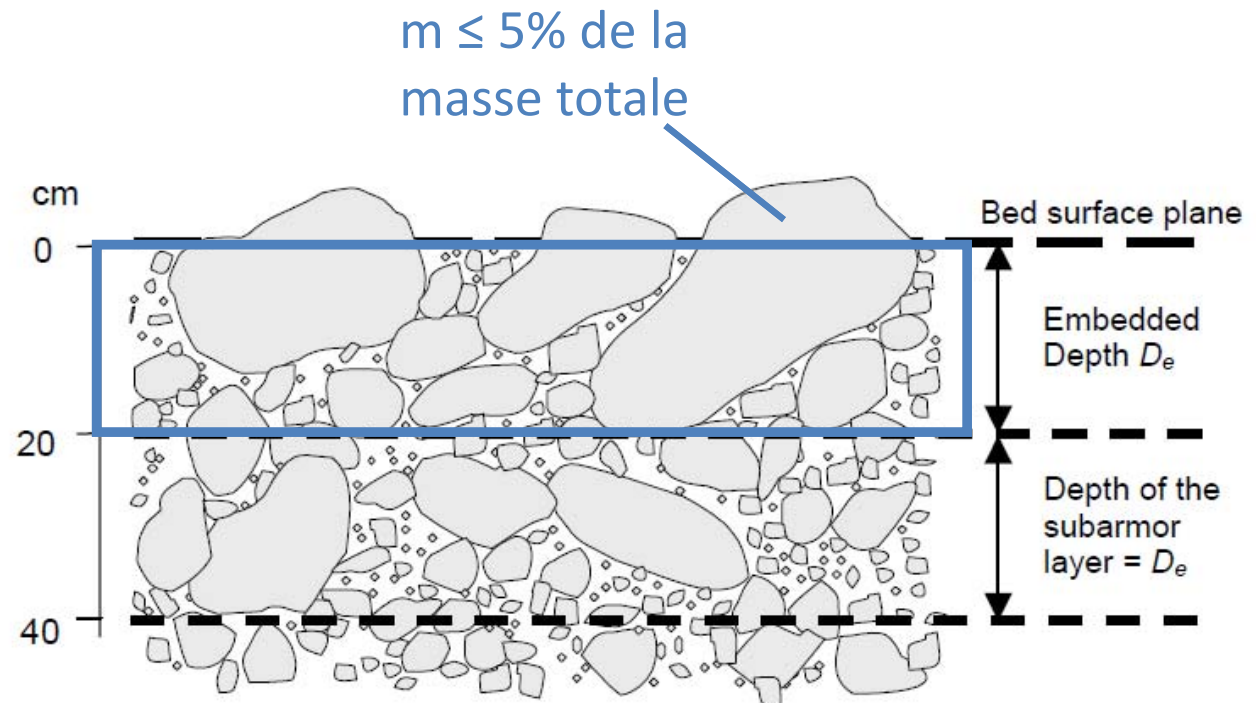
- changement de la capacité de transport
- déficit de l'apport solide



Protocole de mesure granulométrique

Granulométrie massique :

- prélèvement d'un volume/masse identique de l'armurage/pavage et en sub-surface



Epaisseur d'échantillonnage de la couche d'armure et de subsurface en fonction de la taille de la plus grosse particule

Protocole de mesure granulométrique

Granulométrie massique :

- prélèvement d'un volume/masse identique de l'armurage/pavage et en sub-surface
- tamisage et pesage



Tamisage du volume prélevé

Protocole de mesure granulométrique

Granulométrie massique :

- prélèvement d'un volume/masse identique de l'armurage/pavage et en sub-surface
- tamisage et pesage

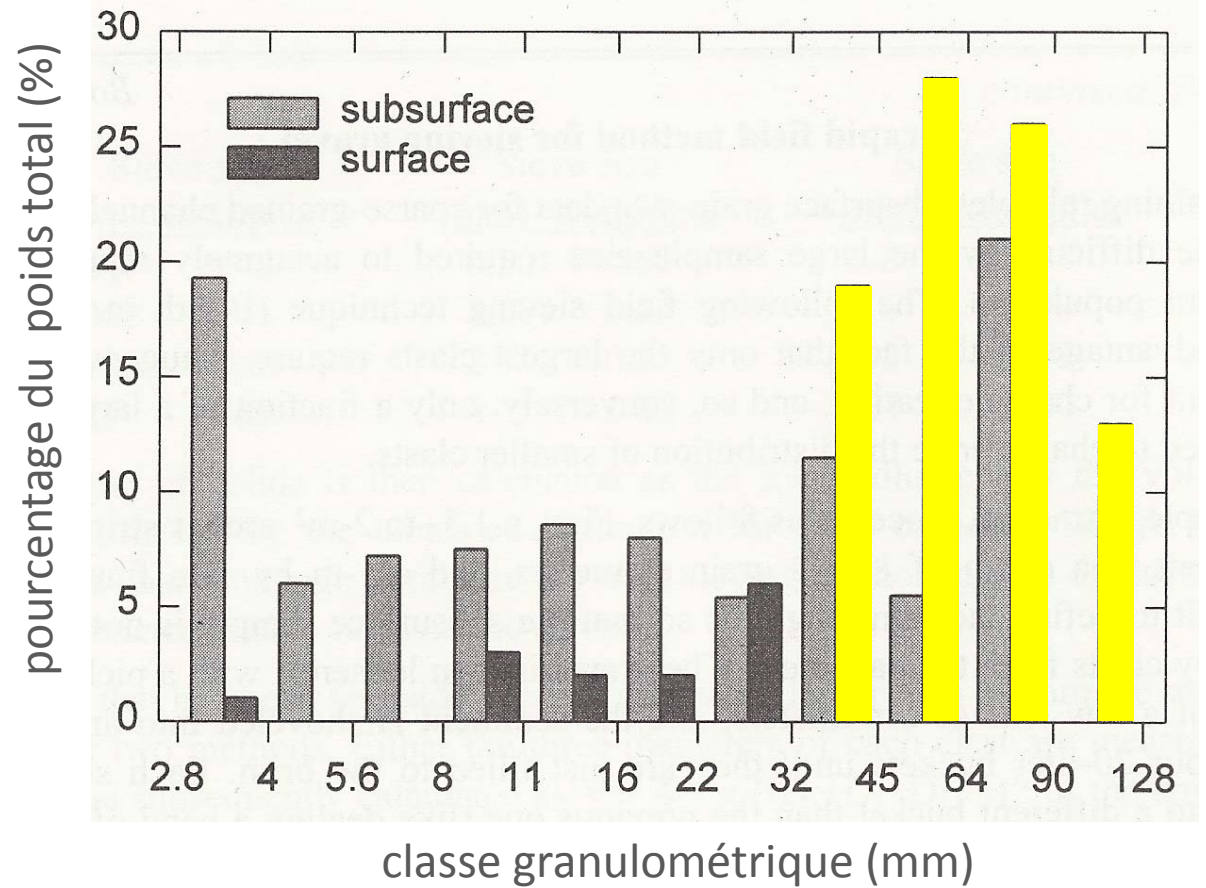


Tamisage du volume prélevé

Un exemple de résultat

D'après L. Reid and T. Dunne

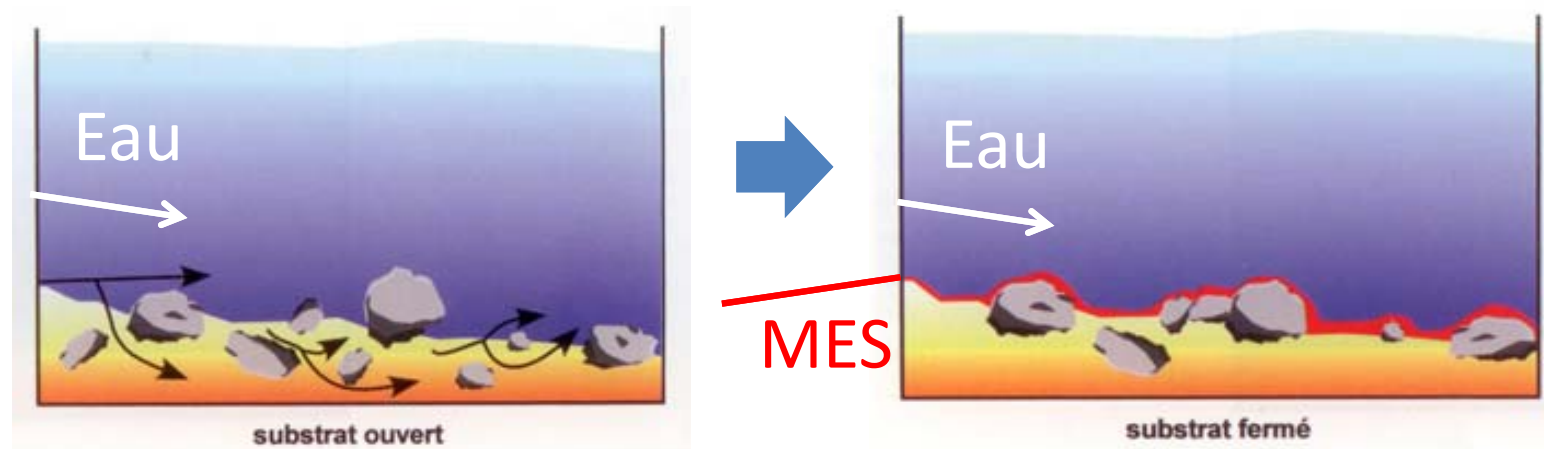
Grain size distributions of channel sediment at river mile 22 of Snoqualmie River WA



Le colmatage du substrat

Formation :

- infiltration des matières en suspension (MES)
- cimentation du substrat
- diminution de sa porosité



Oldrich NAVRATIL
Université Lyon 2

Les sédiments
charriés en rivière

1. Surface

2. Sub-surface

3. Colmatage

4. Transport solide

5. Conclusion

Enjeux du colmatage

Conséquences :

- augmente la stabilité du substrat
- diminution des échanges nappe-rivière
- diminution de la capacité d'autoépuration
- forts impacts biologiques



Colmatage du substrat avec désoxygénation du benthos

Diagnostic : méthode basée sur la conductivité hydraulique

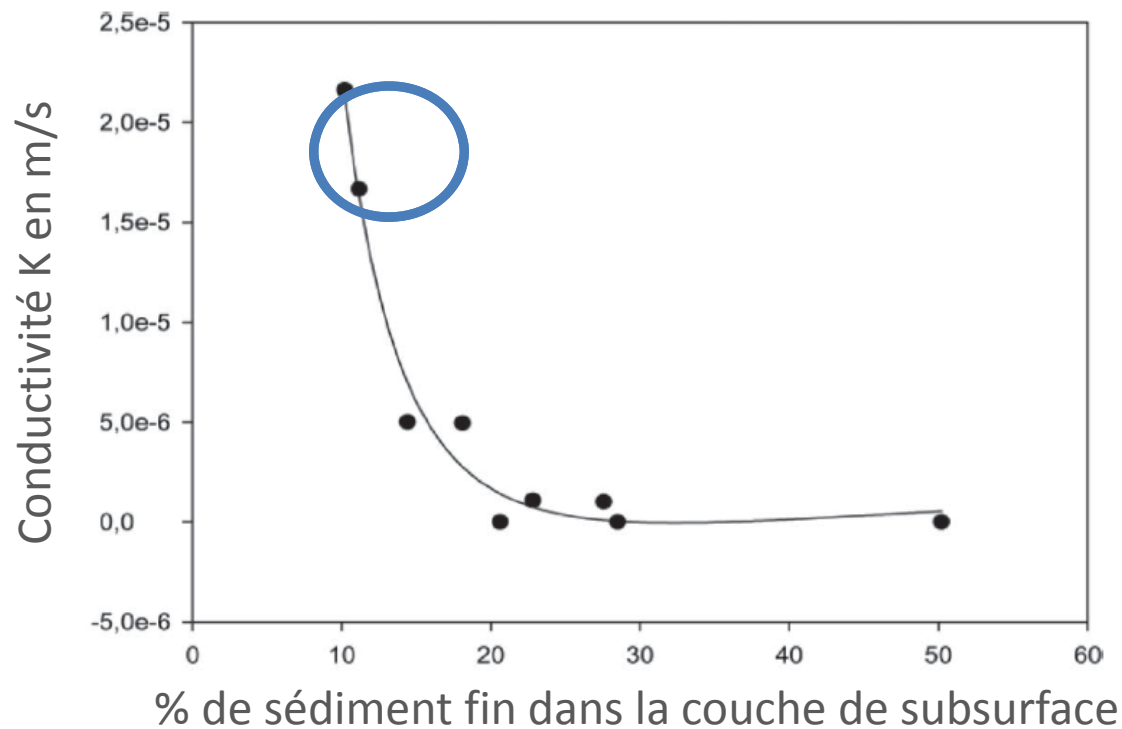


Colmatage du substrat avec désoxygénation du benthos



Sédiment bien oxygéné d'un torrent

Diagnostic : méthode basée sur la conductivité hydraulique

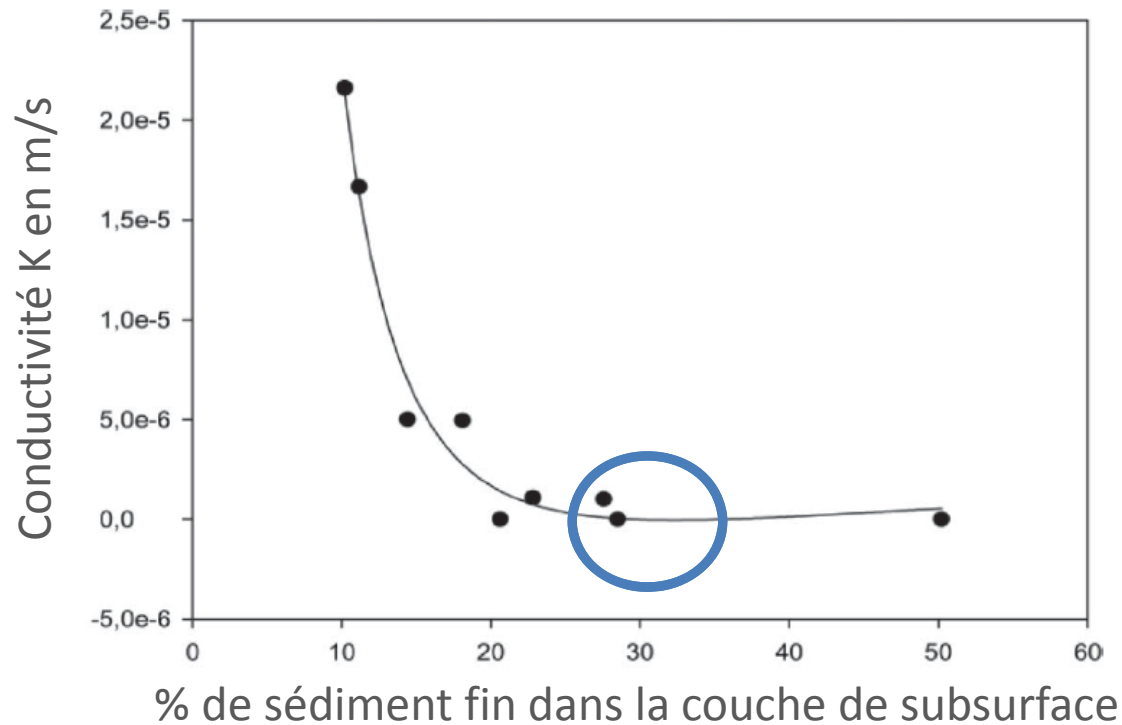


Relation entre la conductivité hydraulique (k) et le pourcentage de sédiments fins

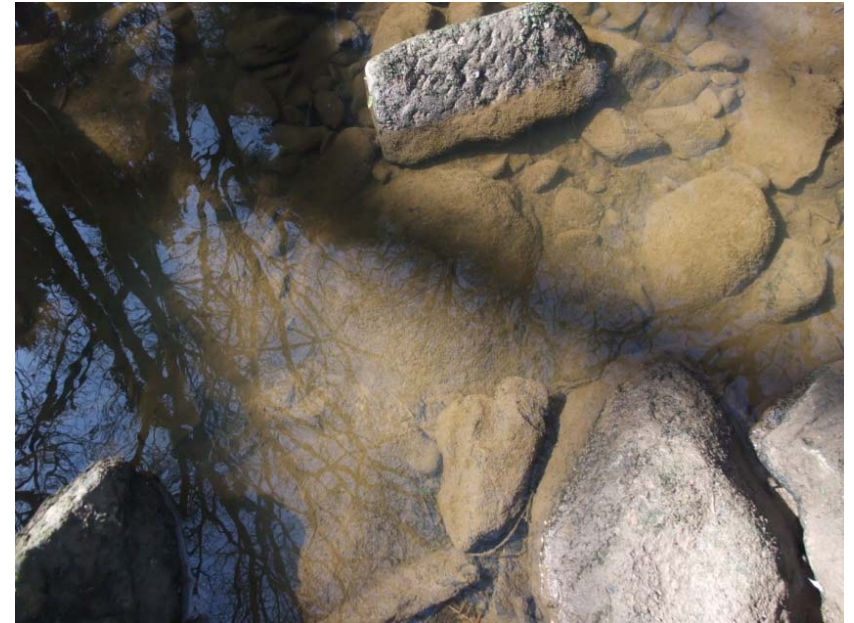


D'après Descloux, 2010

Diagnostic : méthode basée sur la conductivité hydraulique



Relation entre la conductivité hydraulique (k) et le pourcentage de sédiments fins



D'après Descloux, 2010

Protocole de mesure

Méthode :

- tube crépiné dans le sol
- 1 L d'eau
- mesure du temps d'infiltration

Mise en place du
protocole sur le terrain



Mesure de la conductivité hydraulique

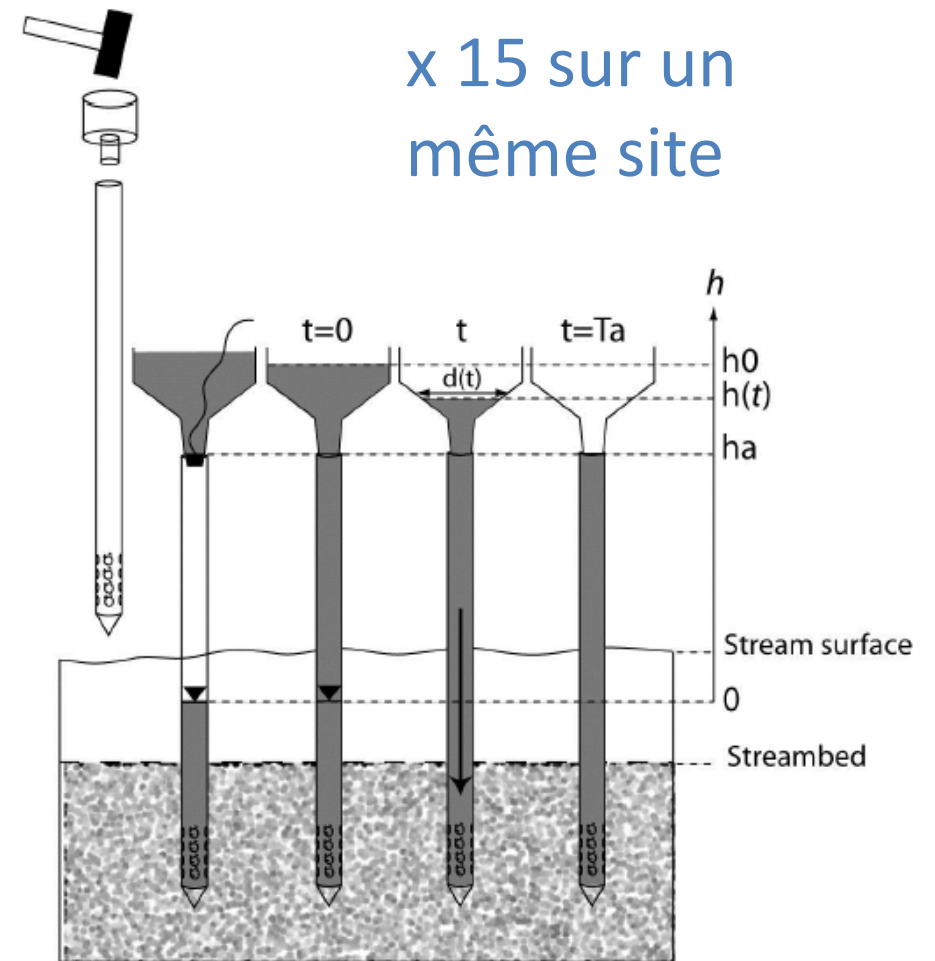
Loi de Darcy

$$q = C.K.h \text{ donc } K = q/(C.h)$$

avec

- K : conductivité hydraulique à saturation (m/s)
- q : débit d'infiltration (m^3/s)
- h : niveau d'eau au-dessus de l'équilibre (m)
- C : coefficient de forme du piézomètre (m)

Source : Datry, T., Lamouroux, N., Thivin, G.,
Descloux, S. and Baudoin, J. M. (2014)



Le transport des sédiments grossiers

Deux variables à estimer sur le terrain :

- le débit critique Q_c , ou seuil de charriage [m^3/s]
- le débit solide charrié Q_s [kg/s]

Pourquoi ?

- compréhension du fonctionnement hydro-sédimentaire
- validation des formules de transport solide théoriques

Oldrich NAVRATIL
Université Lyon 2

Les sédiments
charriés en rivière

1. Surface
2. Sub-surface
3. Colmatage
4. Transport solide
5. Conclusion

Le transport des sédiments grossiers

Des mesures
très délicates

... notamment
en crue

Crue de la Bléone,
France



L'estimation du seuil de mise en mouvement

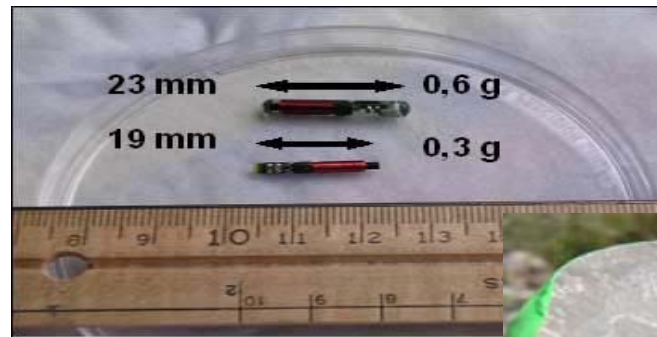
- marquage par peinture



Marquage de particules avec de la peinture pour l'estimation du débit critique de mise en mouvement

L'estimation du seuil de mise en mouvement

- marquage par peinture
- PIT-Tag : Passive Integrated Transponder



Mise en place et
recherche de PIT tag

L'estimation du seuil de mise en mouvement

- marquage par peinture
- PIT-Tag : Passive Integrated Transponder



Recherche de PIT tag avec antenne RFID
sur la Chaudanne

La mesure du débit solide avec un Helley-Smith



Helley-Smith « portable »

La mesure du débit solide avec un Helley-Smith



Mesure à l'aide d'un Helley-Smith « portable » sur un torrent des Alpes

La mesure du débit solide avec un Helley-Smith



Sédiments charriés prélevés à l'aide d'un Helley-Smith sur l'Arc en Isère

La mesure du débit solide avec un Helley-Smith



Préleveur Helley-Smith nécessitant un treuil, mis en place sur l'Arc en Isère par Irstea Lyon

Un exemple de mesures du débit solide

Mesures du débit solide en crue
par Whitaker et Potts (2007)

Earth Surface Processes and Landforms
Earth Surf. Process. Landforms 32, 1984–2004 (2007)
Published online 12 April 2007 in Wiley InterScience
(www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/esp.1512

**Coarse bed load transport in an alluvial gravel bed
stream, Dupuyer Creek, Montana**

Andrew C. Whitaker* and Donald F. Potts
Department of Forestry and Conservation, University of Montana, Missoula, MT, USA

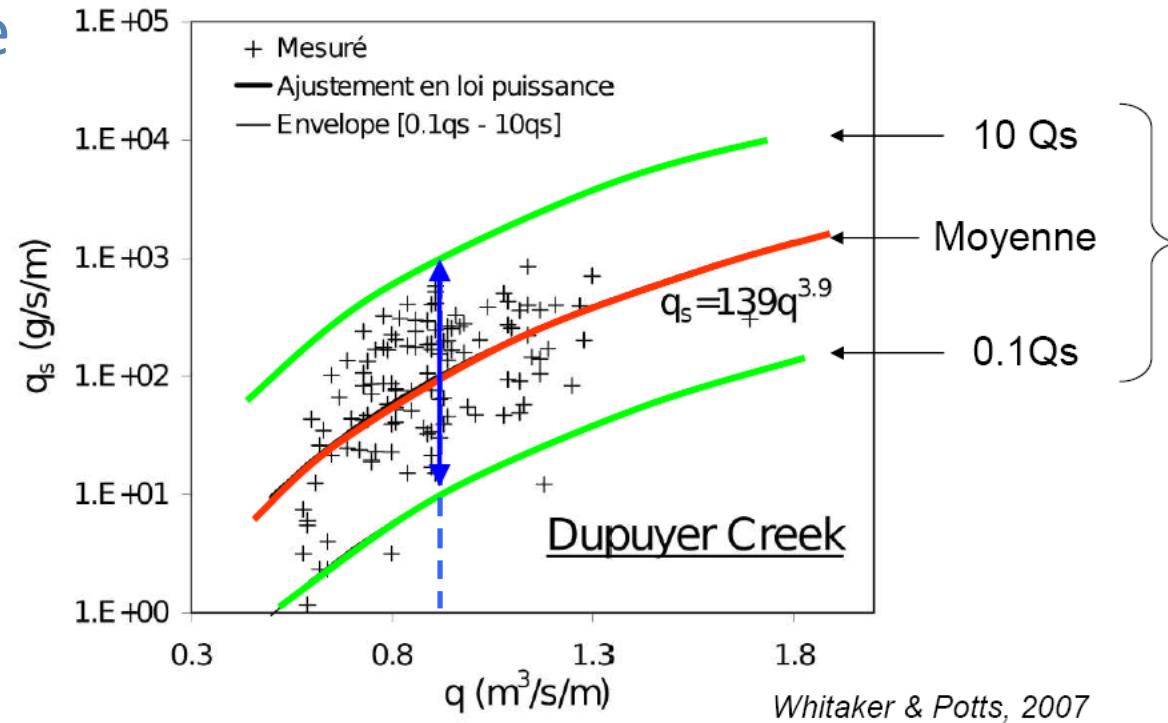


Relation entre débit solide et débit liquide par unité
de largeur pour un cours d'eau du Montana (US)

Un exemple de mesures du débit solide

Mesures du débit solide en crue par Whitaker et Potts (2007)

- relation entre q et Q_s
- mais grande variabilité du débit solide pour une même condition de débit

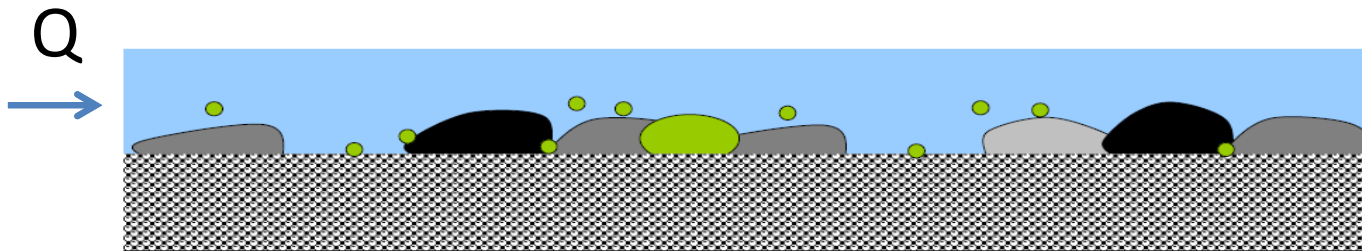


Relation entre débit solide et débit liquide par unité de largeur pour un cours d'eau du Montana (US)

Le charriage, un phénomène très fluctuant

Les raisons :

- 3 phases de transport



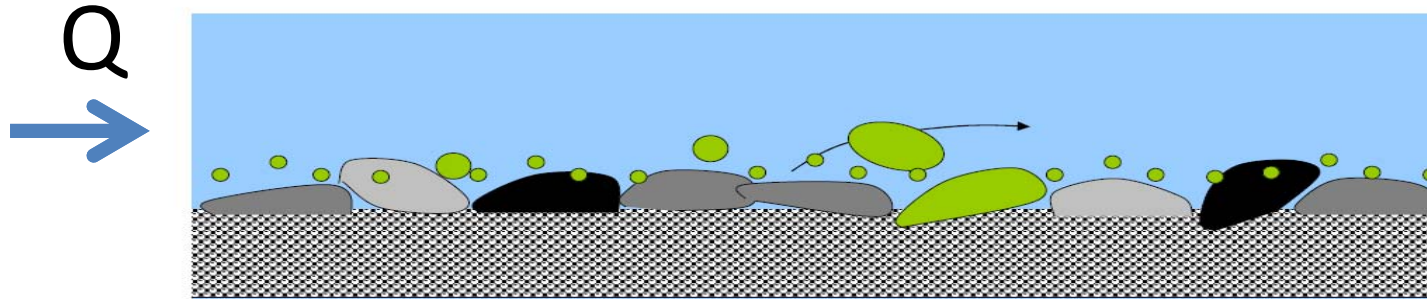
Phase 1

- transport des sables sur un lit immobile
- petites crues très fréquentes

Le charriage, un phénomène très fluctuant

Les raisons :

- 3 phases de transport



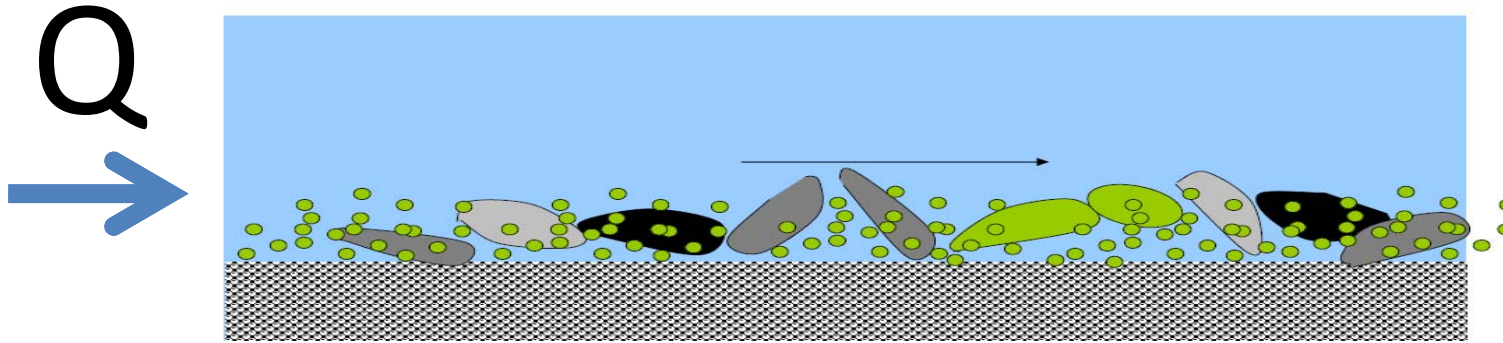
Phase 2

- transport intermittent des sables, graviers sur un lit stable
- crues fréquentes proches du débit de pleins bords

Le charriage, un phénomène très fluctuant

Les raisons :

- 3 phases de transport



Phase 3

- mobilité complète du fond du lit
- crues rares

Le charriage, un phénomène très fluctuant

Les raisons :

- 3 phases de transport
- forte variabilité des conditions hydrauliques
- hétérogénéité et tri granulométrique



Le charriage, un phénomène très fluctuant

Les raisons :

- 3 phases de transport
- forte variabilité des conditions hydrauliques
- hétérogénéité et tri granulométrique
- pavage/armurage, colmatage et masquage



Masquage des plus petites particules par des blocs
(torrent près de Chamonix)

Quels enseignements tirer de ces observations de terrain ?

Pour la mesure sur le terrain :

- ne pas extrapoler des mesures à de fortes crues
- privilégier un nombre important de mesures sur un site

Pour l'application des formules de transport solide :

- donne une information moyenne dans le temps
- ne prend pas en compte les mécanismes d'armurage, pavage, colmatage ou masquage du substrat

Conclusion

- mesures sur le terrain
= investissement en temps important
- incontournables pour établir un bon diagnostic géomorphologique
- données essentielles pour améliorer nos connaissances et construire/valider les formules de transport solide

Oldrich NAVRATIL
Université Lyon 2

Les sédiments
charriés en rivière

1. Surface

2. Sub-surface

3. Colmatage

4. Transport solide

5. Conclusion

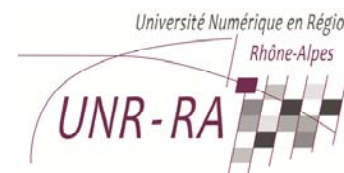
Des rivières et des hommes



Réalisation



Avec le soutien de



Crédits photo (1)

Hétérogénéité de la granulométrie sédimentaire dans un petit torrent en Corse ;

Rivière en tresses des Duyes : **O. Navratil**

Vue du Bec d'Allier. Confluence de l'Allier et la Loire : **Skymatt**

M. Gordon "Reds" Wolman :

<http://engineering.jhu.edu/news/2014/03/05/reds-wolman-the-meanderer/#.U3sKlyjmeTI>

Courbe d'effectifs cumulés (en %) des tailles de sédiments : **O. Navratil**

Armure de surface : **Alain Recking**

Vue d'une coupe d'un banc de gravier : **Jean-René Malavoi**

Mise en place du pavage/armurage : **Tim Catinat**

Épaisseur d'échantillonnage de la couche d'armure et de subsurface en fonction de la taille de la plus grosse particule : **K. Bunte, S.R. Abt, 2001. Sampling Surface and Subsurface Particle-Size**

Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring. USDA 450p.

Remerciements : Alain Recking, Irstea Grenoble

Crédits photo (2)

Tamisage du volume prélevé : **O. Navratil**

Mesure granulométrique, exemple de résultat :
d'après **L. Reid and T. Dunne, Grain size distributions of channel sediment at river mile 22 of Snoqualmie River WA; p75, in rapide evaluation of sediment budgets**

Colmatage du substrat avec désoxygénation du benthos :
<http://northyorkmoorsnationalpark.wordpress.com/>

Sédiment bien oxygéné d'un torrent : **O. Navratil**

Relation entre la conductivité hydraulique (k) et le pourcentage de sédiments fins :
d'après Décloux, 2010

Mise en place du protocole sur le terrain : **Géraldine THIVIN**

Mesure de la conductivité hydraulique : **Datry, T., Lamouroux, N., Thivin, G., Descloux, S. and Baudoin, J. M. (2014), ESTIMATION OF SEDIMENT HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN RIVER REACHES AND ITS POTENTIAL USE TO EVALUATE STREAMBED CLOGGING. River Res. Applic.. doi: 10.1002/rra.2784**

Crue de la Bléone, France : **SCPC**

Remerciements : Alain Recking, Irstea Grenoble

Crédits photo (3)

Marquage de particules avec de la peinture pour l'estimation du débit critique de mise en mouvement :

Laurent Schmitt, Loic Groprêtre, rapport final, projet AVUPUR, 2011

Mise en place et recherche de PIT tag : **Frédéric Liébault**

Recherche de PIT tag avec antenne RFID sur la Chaudanne : **Bertrand Moulin**

Helley-Smith « portable » :

<https://physio.univie.ac.at/einrichtungen/feldgeraete/hydrologie/sediment-sammler/>

Mesure à l'aide d'un Helley-Smith « portable » sur un torrent des Alpes - Sédiments charriés prélevés à

l'aide d'un Helley-Smith sur l'Arc en Isère - Préleveur Helley-Smith nécessitant un treuil, mis en place

sur l'Arc en Isère par Irstea Lyon : **Philippe Belleudy**

Relation entre débit solide et débit liquide par unité de largeur pour un cours d'eau du Montana (US) :

Alain Recking, d'après Whitaker, A. C. and Potts, D. F. (2007), Coarse bed load transport in an alluvial gravel bed stream, Dupuyer Creek, Montana.

Earth Surf. Process. Landforms, 32: 1984–2004. doi: 10.1002/esp.1512

Masquage des plus petites particules par des blocs (torrent près de Chamonix) : **Didier HEROUX**

Remerciements : Alain Recking, Irstea Grenoble

Réalisation multimédia



PerForm - Grenoble INP

UNIVERSITÉ
LUMIÈRE
LYON 2
UNIVERSITÉ DE LYON

Service Usages et Innovations Pédagogiques
Université Lumière Lyon 2 - DSI