

# Hydrologie et transfert de polluants

*Comprendre pour agir*

Les processus d'érosion et de  
transport des sédiments

**Alain CRAVE**

Géomorphologue

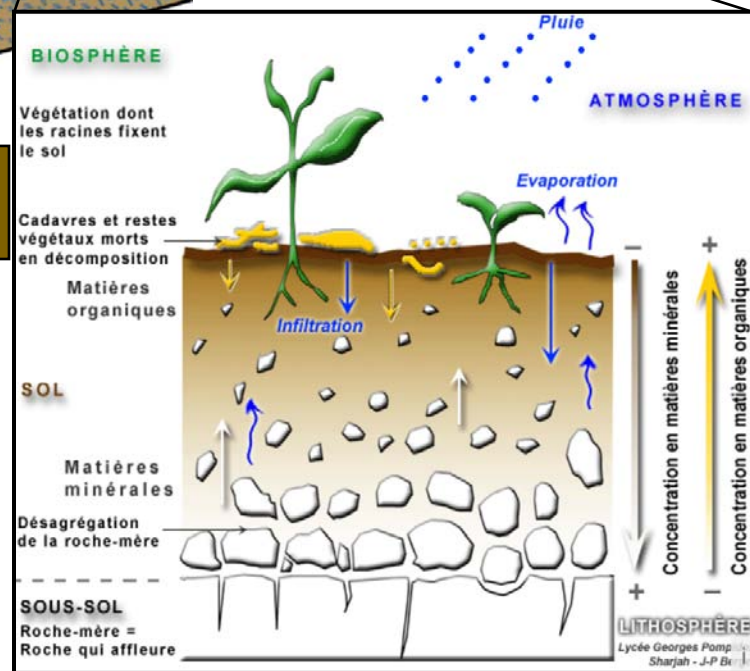
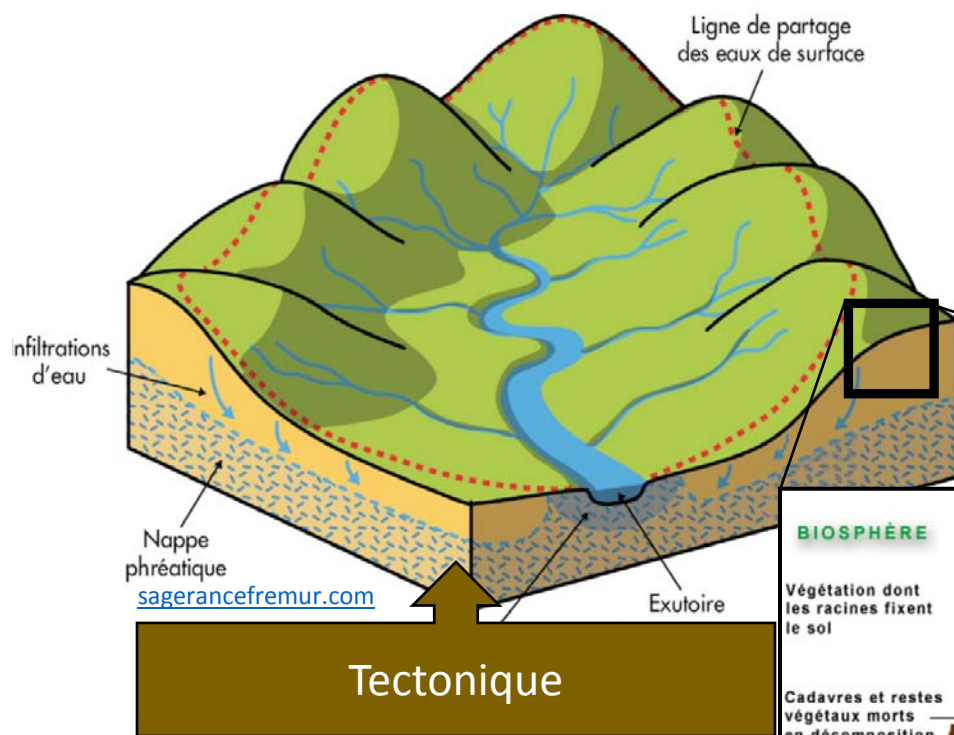
CNRS- OSUR

*Journée d'information du 7 Juillet 2016*



- Les sources de matières
- Les processus de mobilisation
- Les processus de transports
- Les facteurs de « contrôle »

# Altération des roches mères



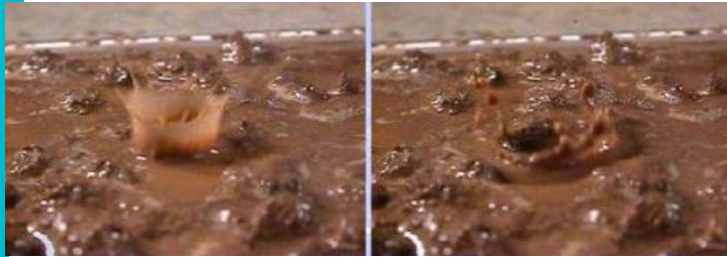
0,1 mm/an/km<sup>2</sup> (Europe)



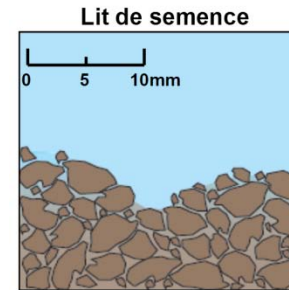
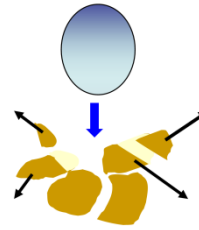
1 mm/an/km<sup>2</sup> (pays tropicaux)



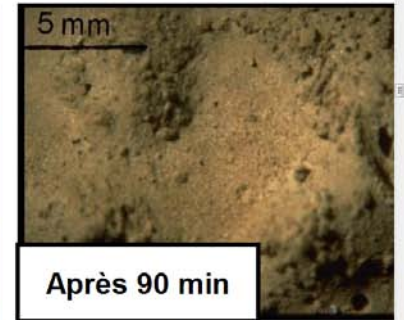
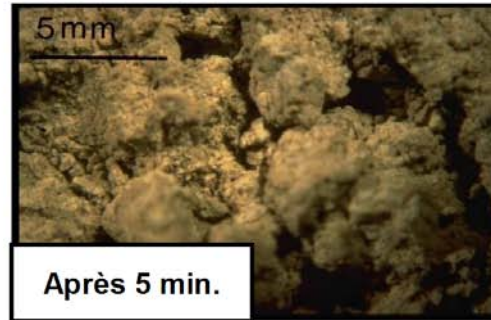
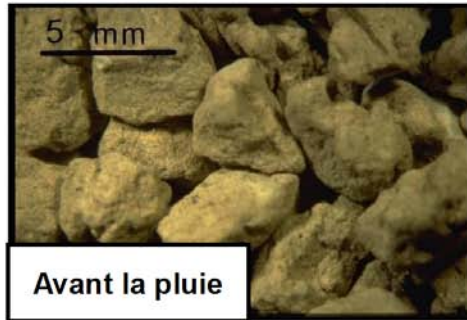
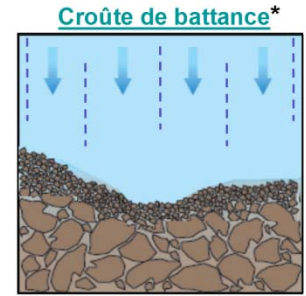
# L'effet Splash!



Fragmentation des agrégats



Formation d'une croûte de battance



Fragmentation d'agrégats sous l'action de la pluie. Source : Y. Le Bissonnais, INRA.

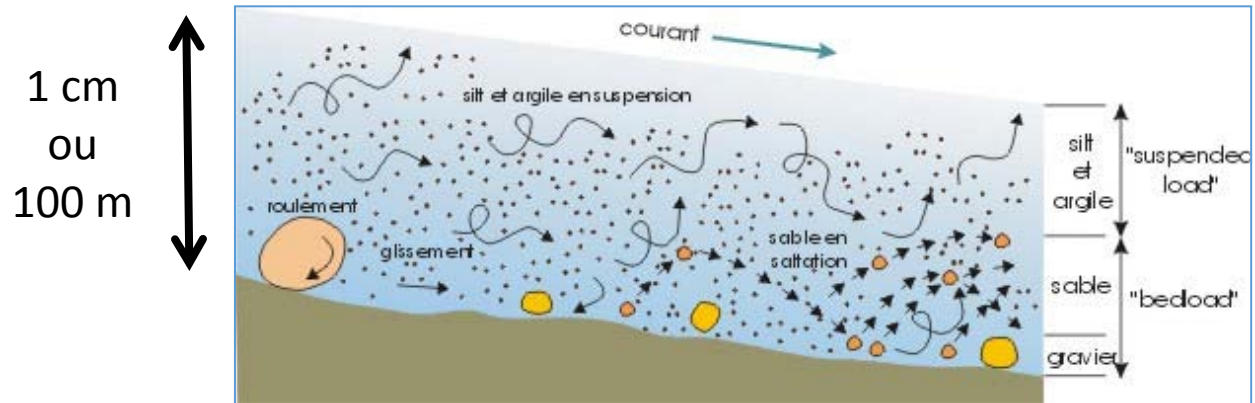
Forte diminution de la porosité de surface



Infiltration ↘ Ruissellement ↗



## Transport par une lame d'eau Ruissellement et écoulement



Cours prof F. Boulvain, Université de Liège; <http://www2.ulg.ac.be/geolsed/processus/processus.htm>

### Le détachement

Stabilité structurale du sol  
L'énergie de la pluie au sol  
Imbrication des sédiments  
Vitesse du fluide sur le fond

### Le transport

Vitesse du fluide ( $V$ )  
Turbulence ( $Re$ )  
Taille et forme des grains ( $D$ )  
La viscosité du fluide

### L'important ce sont les rapports de grandeur!

Vitesse de chute/ Vitesse de l'eau  
Hauteur d'eau/ taille de grain; hauteur d'eau /rugosité du lit

....

## Transport par une lame d'eau Ruissellement et écoulement

### Le détachement un phénomène à seuil ?

Vitesse fluide > Valeur seuil

Le seuil de détachement est plus important pour les argiles que pour les sables

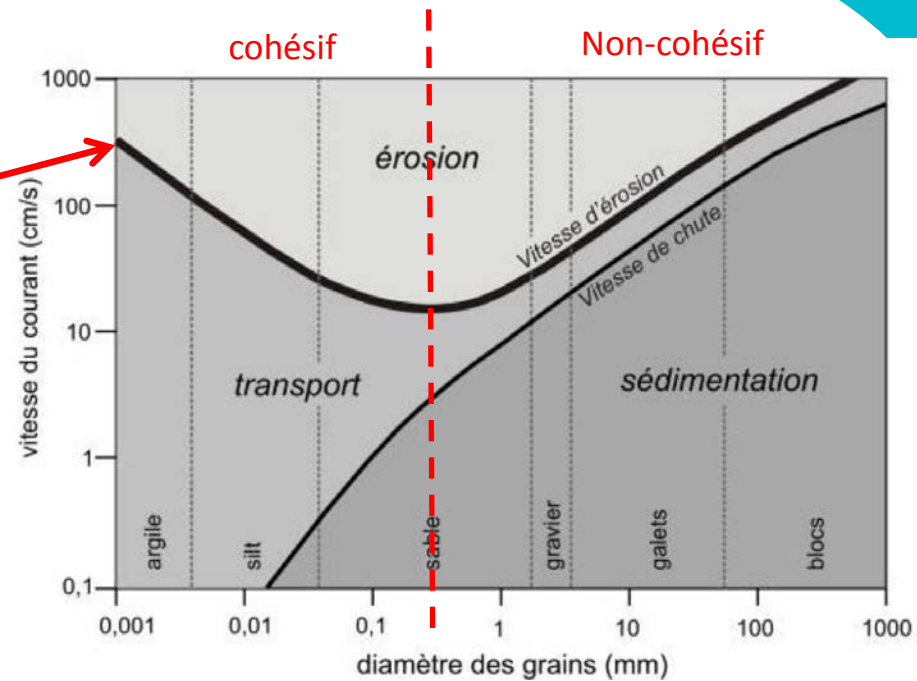
Les argiles en suspension sédimentent pour des vitesses de fluide  $\sim 0$  m/s

Ségrégation des tailles de sédiments



Les tailles des sédiments indicatrices des vitesses seuils de détachement et de transport

Processus de pavage



## Transport par une lame d'eau Ruissellement et écoulement

Les dépôts d'alluvions traduisent une  
histoire des vitesses seuils

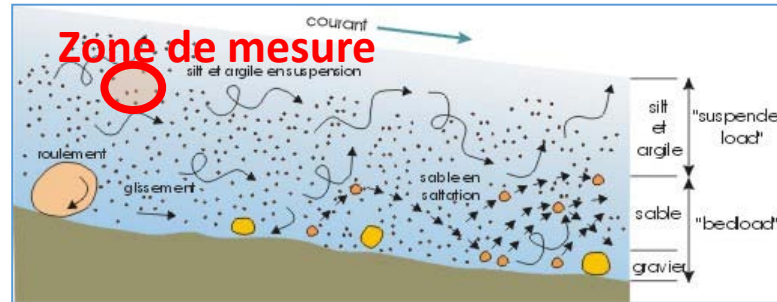
Sources potentielles hétérogènes  
de sédiments

Seuils variables de détachement  
et de transport

**Pour mobiliser:**  
Quid de la variabilité des  
conditions hydrodynamiques ?

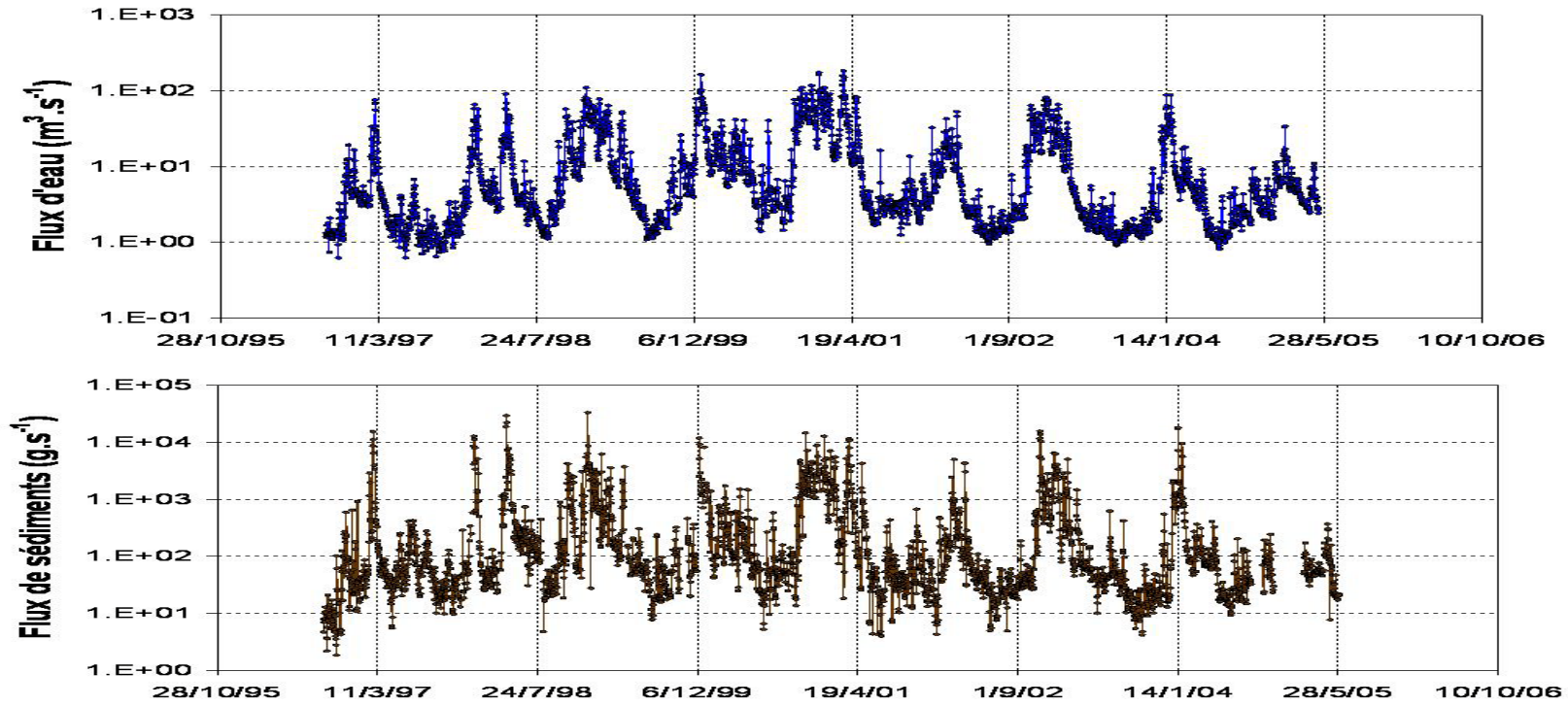


# Flux d'eau vs flux de sédiments ?



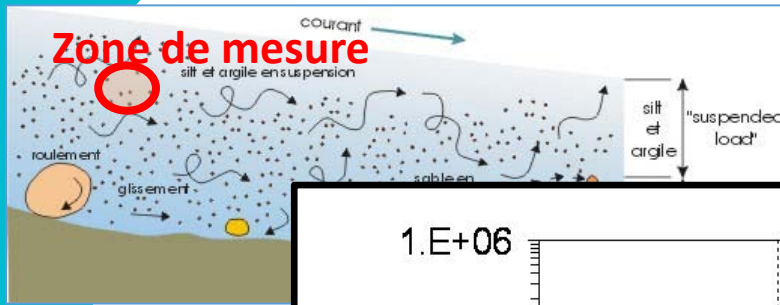
Sédiments  
Taille < 100 µm !

### Exemple du BV Vilaine à Rennes (A = 1 380 km<sup>2</sup>)

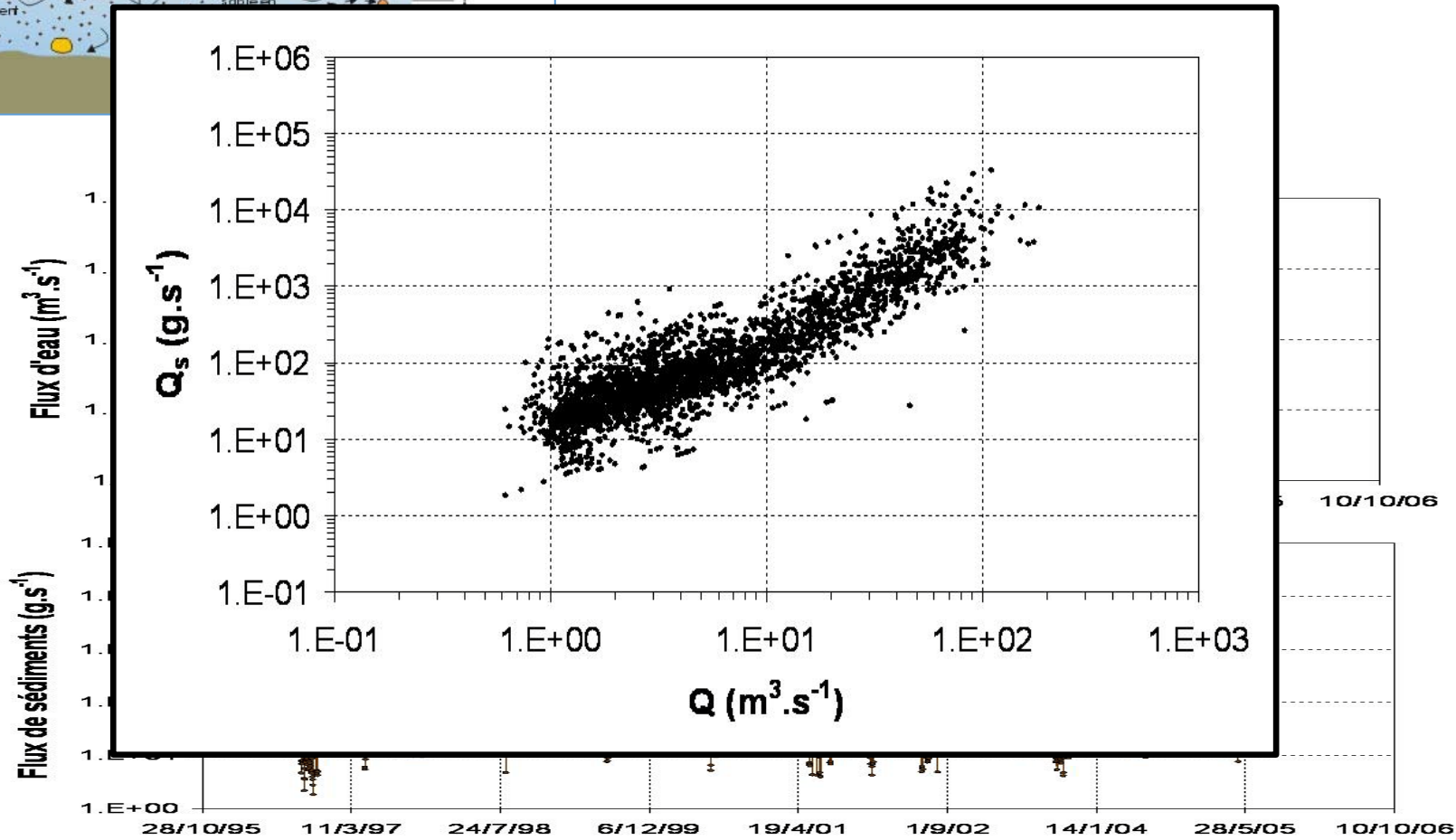




# Flux d'eau vs flux de sédiments ?



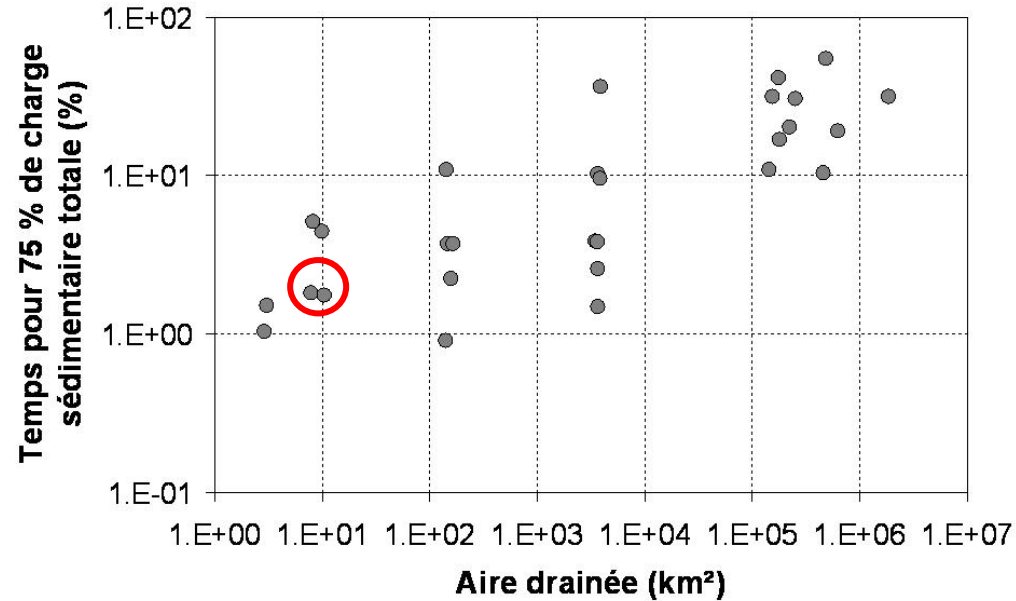
Relation statistique entre le débit d'eau et le flux de sédiment en suspension !



Exemple du BV Vilaine à Rennes (A = 1 380 km<sup>2</sup>)

# Flux d'eau vs flux de sédiments ?

Base de données USGS



Aire drainée = 10 km<sup>2</sup>

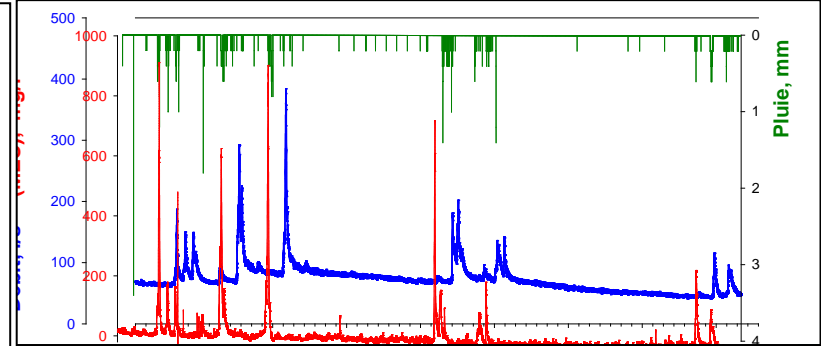
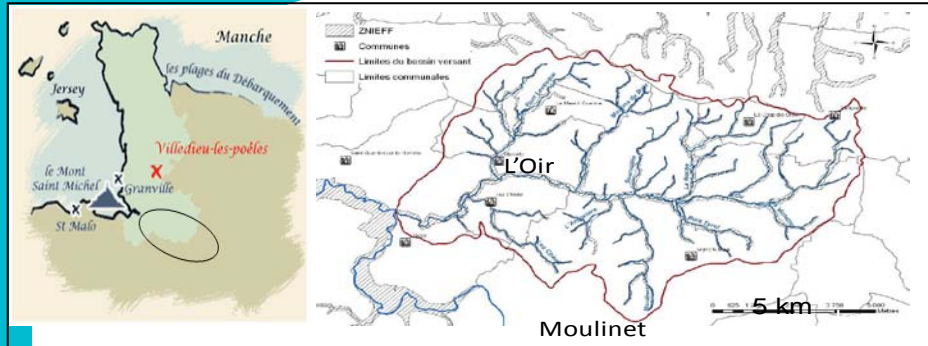
2 % du temps d'écoulement transporte 75 % des MES

Aire drainée = 1 000 000 km<sup>2</sup>

60 % du temps d'écoulement transporte 75 % des MES

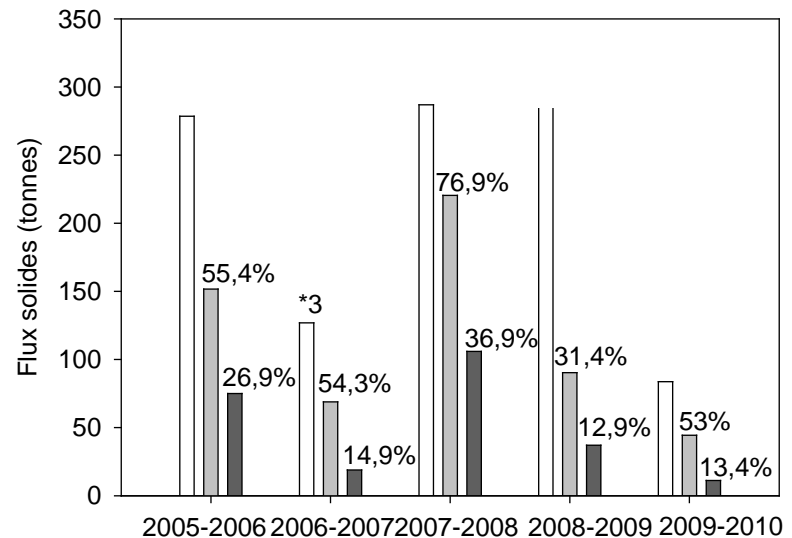
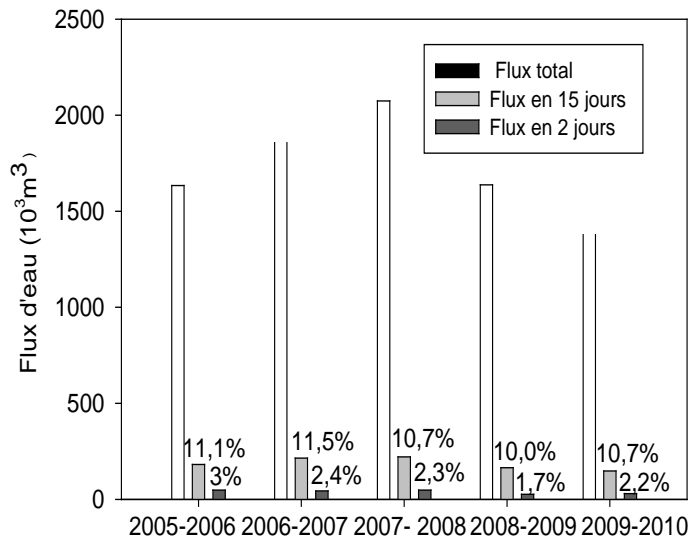


# Flux d'eau vs flux de sédiments ?



Suivis de la turbidité et du débit (10 mn) sur le Moulinet (4,5 km<sup>2</sup>) depuis 2002

Données INRA SAS : Catherine Grimaldi

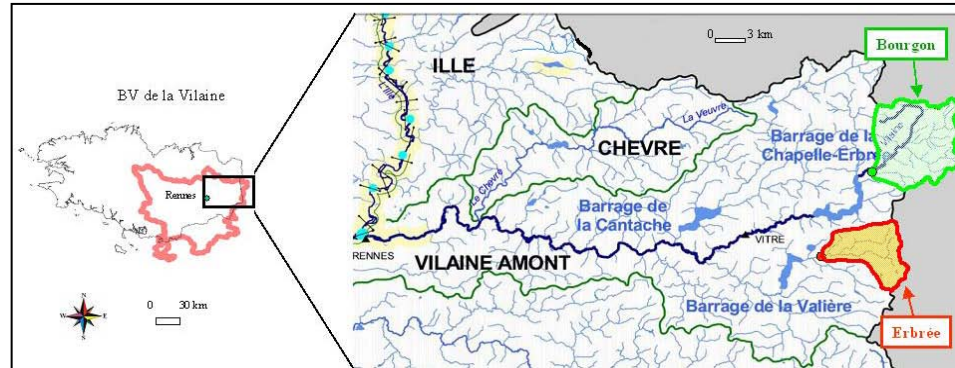


Les **flux hydriques** sont répartis de manière assez régulière tout au long de l'année, avec une faible variabilité inter-annuelle

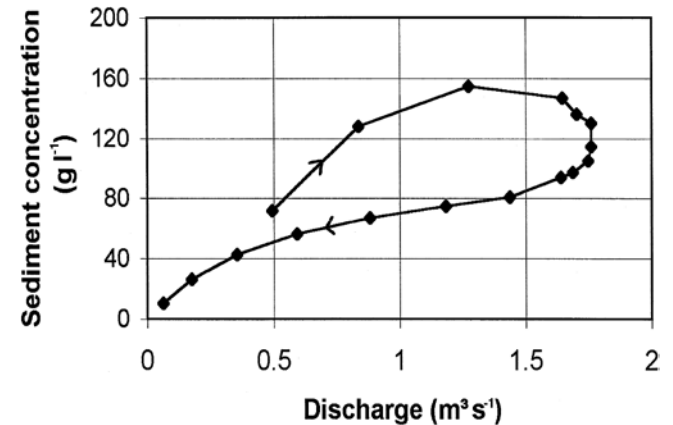
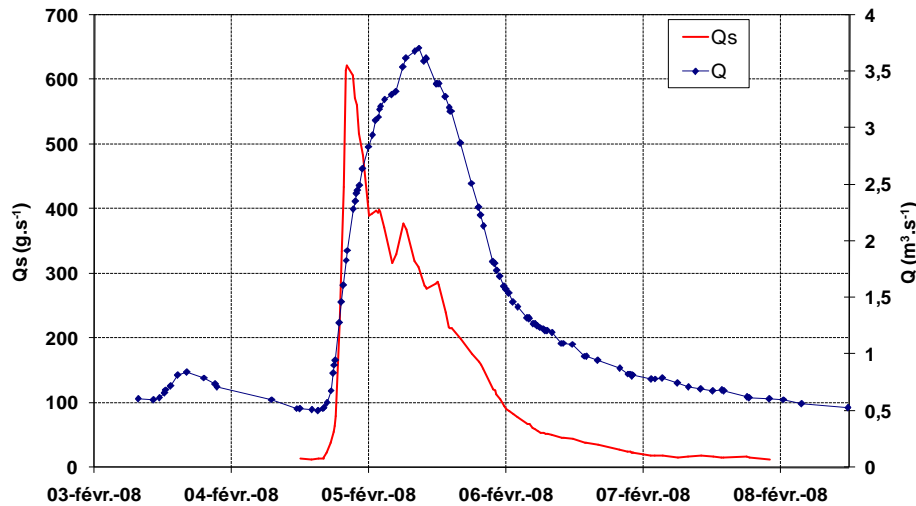
Les **flux solides** sont mobilisés en très peu de jours, avec une forte variabilité inter-annuelle

# Flux de sédiments vs stock sédiment disponible?

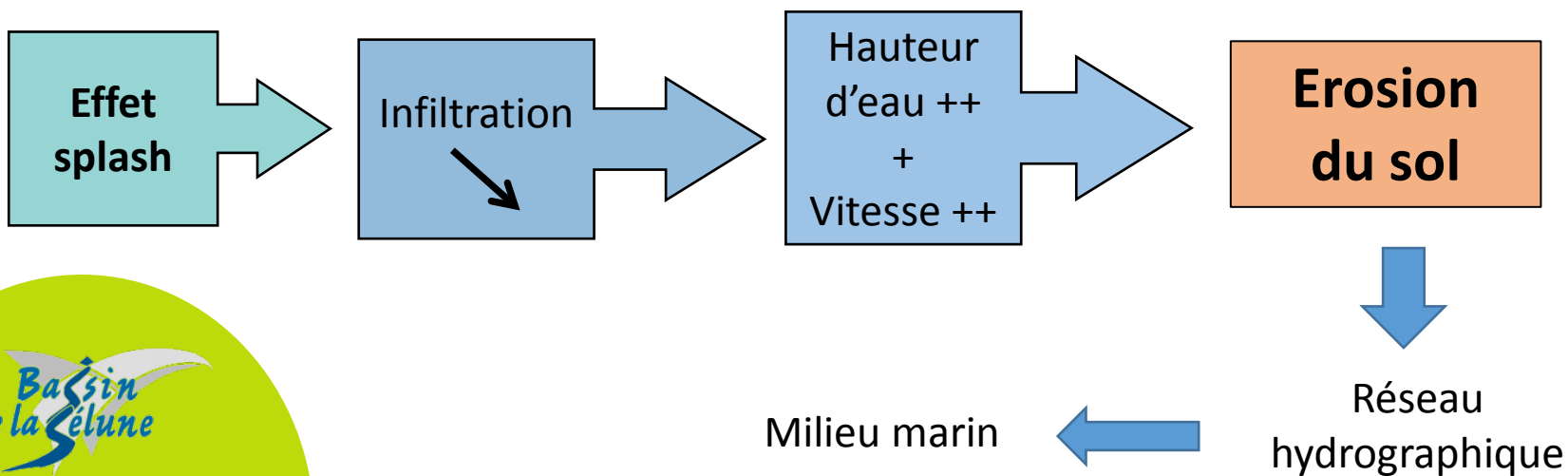
Vilaine amont: Erbrée : 31 km<sup>2</sup>



## Analyse à l'échelle d'une crue



Versant → Stock de sédiment (taille < 100 μm)



## Erosion hydrique des sols en France

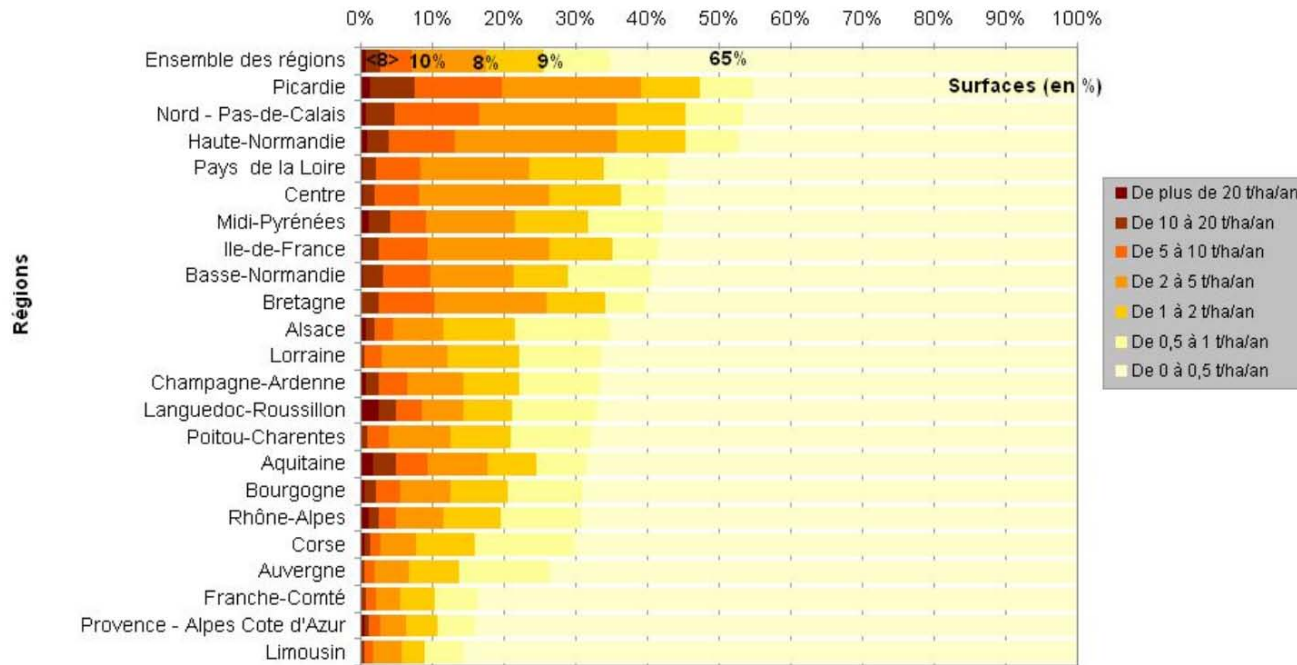
Valeur repère:  
10 t/ha/an  $\sim$  1mm d'érosion

Taux de genèse d'un sol:  
0,1 mm/an



## Erosion hydrique des sols en France

Surfaces concernées par les pertes en terre par érosion hydrique des sols en France métropolitaine  
En % par région



Source : BRGM, 2010. D'après Cerdan et al., 2010. Traitements : SoeS, 2013.

## Erosion des berges

### Glissement



#### Facteurs de contrôle

Masse vs cohésion de la berge  
Humidité  
Surcharge (engins, bétail)  
Cohésion (ripisylve)

### Érosion latérale du cours d'eau



#### Facteurs de contrôle

Vitesse latérale  
Cohésion des berges  
→ Migration latérale (naturelle), méandres



# Erosion des berges

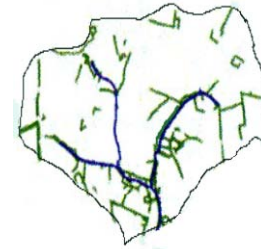
s sédiments



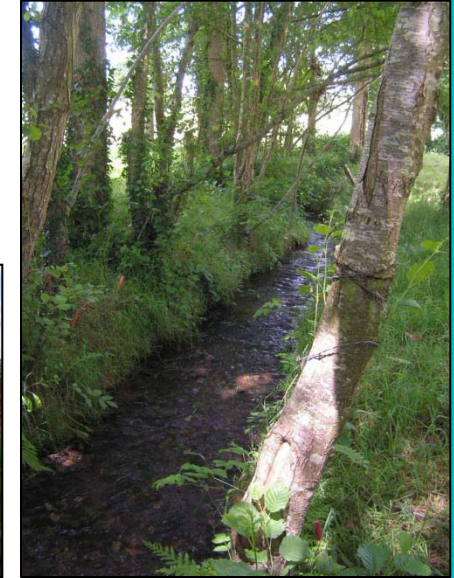
## Moulinet (4,5 km<sup>2</sup>)

ORE Petits Fleuves Côtiers

- Elevage semi-intensif, prairies
- Berges dégradées
- Bocage important (47 m/ha)



1 km



## Kervidy-Naizin (5,0 km<sup>2</sup>)

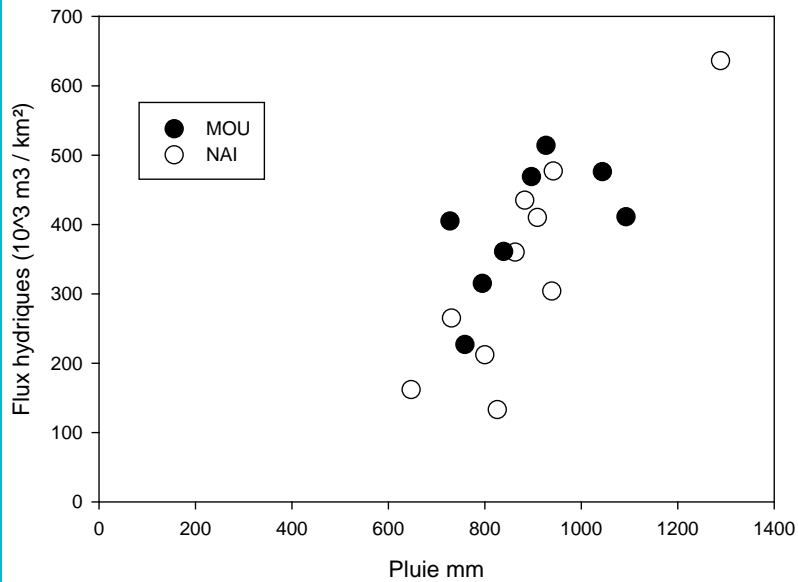
ORE Agrhys

- Elevage intensif, maïs, blé
- Ripisylves
- Peu de bocage (27 m/ha)

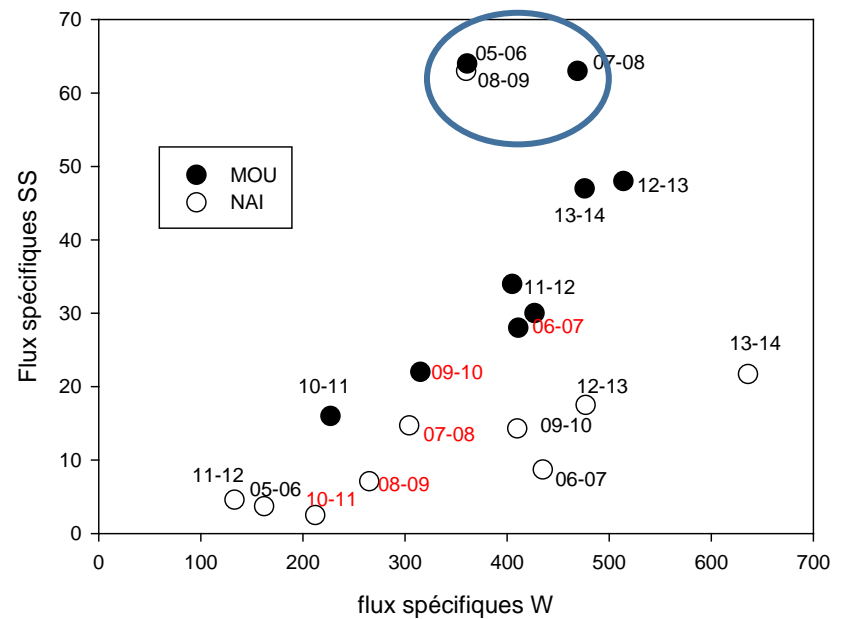
Bassin  
de la Sélune

## Erosion des berges

Influence de l'accès du bétail au cours d'eau:  
dégradation des berges

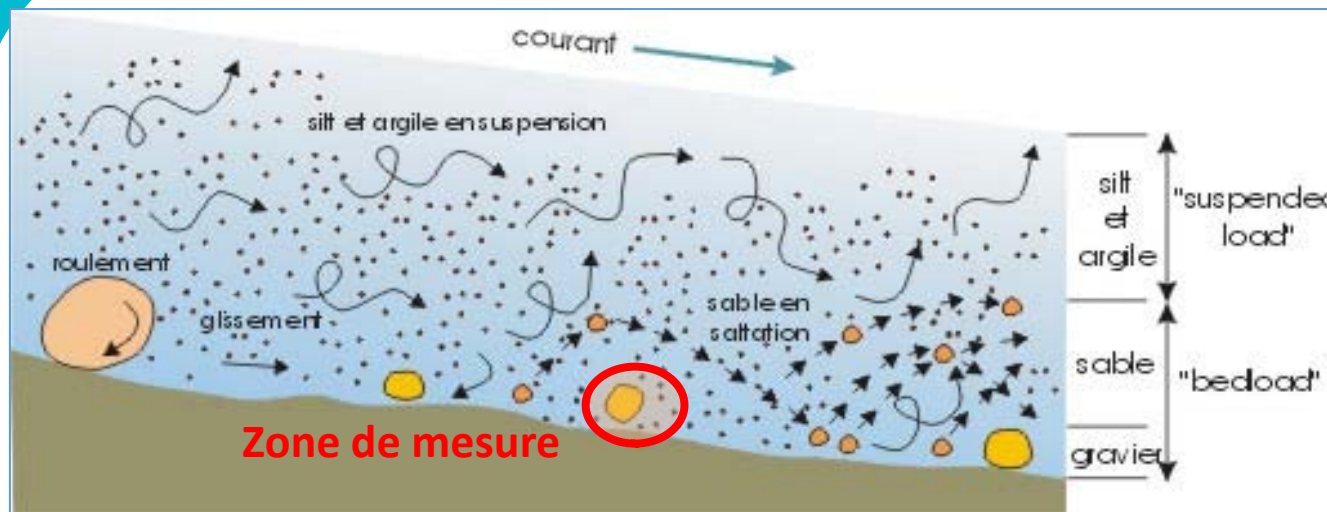


Hydrologie comparable sur les deux bassins

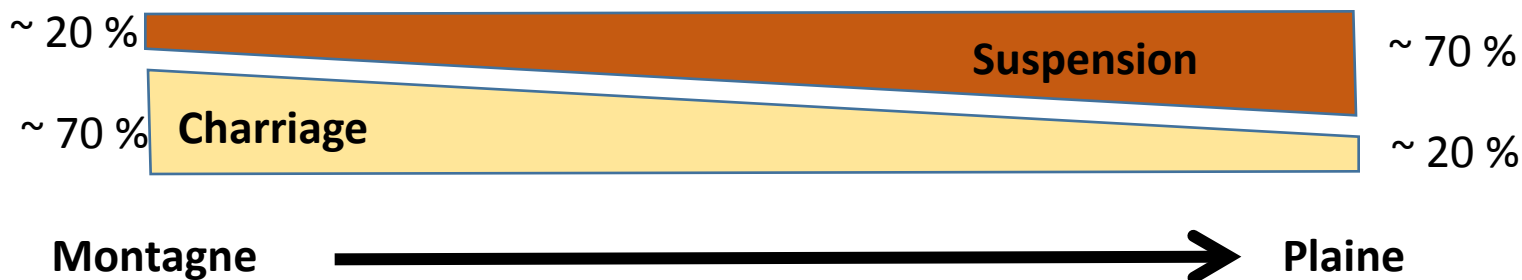


A Naizin flux de MES plus faibles car présence de ripisylve et moins de pâturage  
Sur le Moulinet : Construction d'abreuvoirs entre 08-09 et 09-10 (été 2009)

# Erosion par charriage

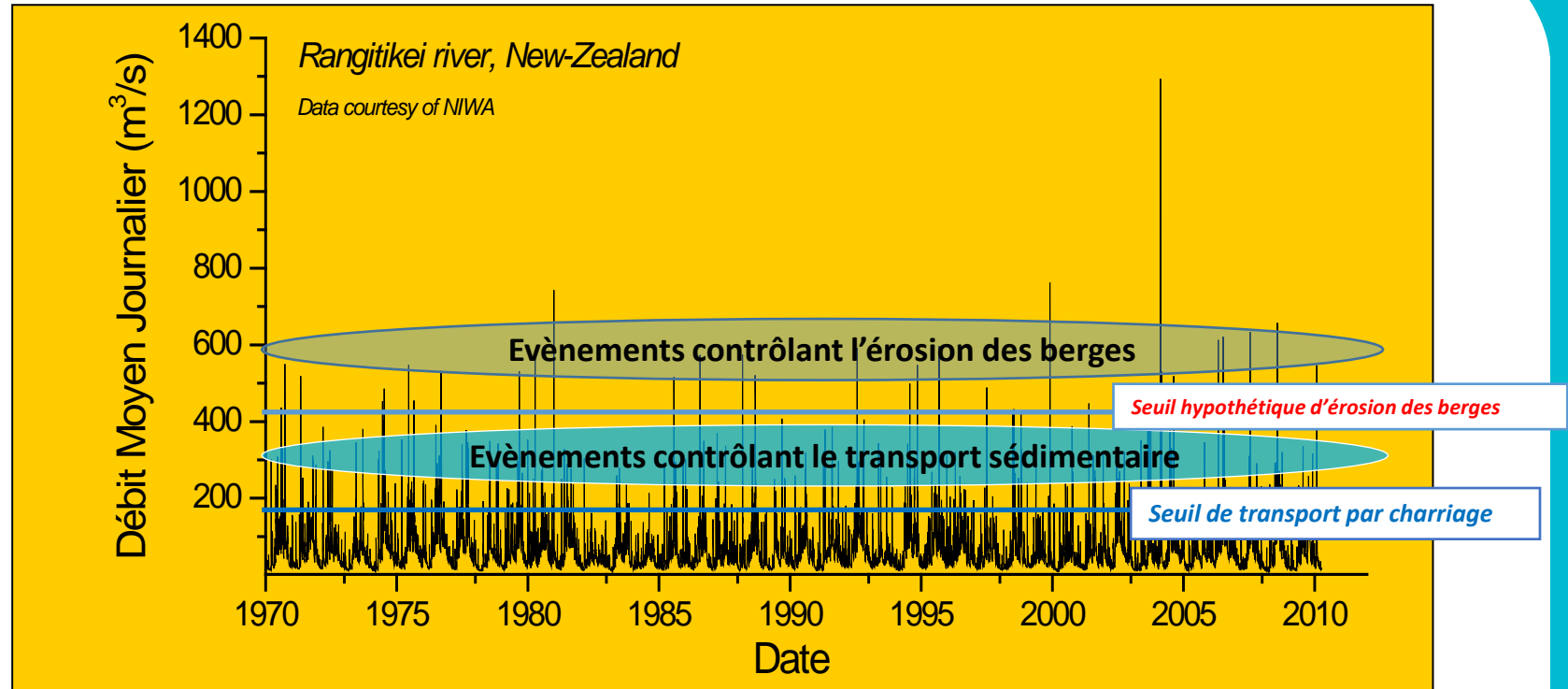


Sédiments  
Taille > 100 µm !



Charriage estimé à partir des dépôts dans les retenues

## Erosion par charriage



Largeur de rivière apparemment stable pendant 99,95 % du temps, même après des crues annuelles

Un événement rare (e.g., 10 yr) va entrainer une très forte érosion des berges

**Ne pas négliger les variations spatiales et temporelles des granulométries, concentrations et vitesses!**

Adapter la fréquence des mesures en fonction de l'hydrologie: crues



Identifier les sources de sédiments pour améliorer la stratégie de mesure



Si possible faire un suivi long terme pour construire un jeu statistique fiable sur l'impact des événements extrêmes



Réactivité, automatisation, mesure en continue

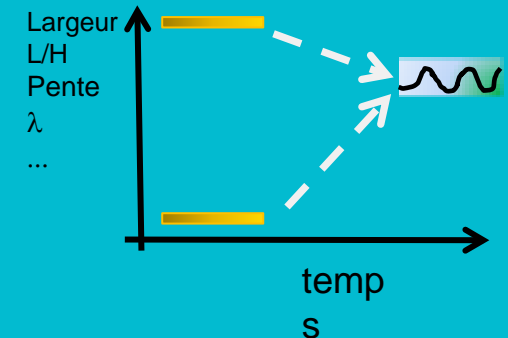
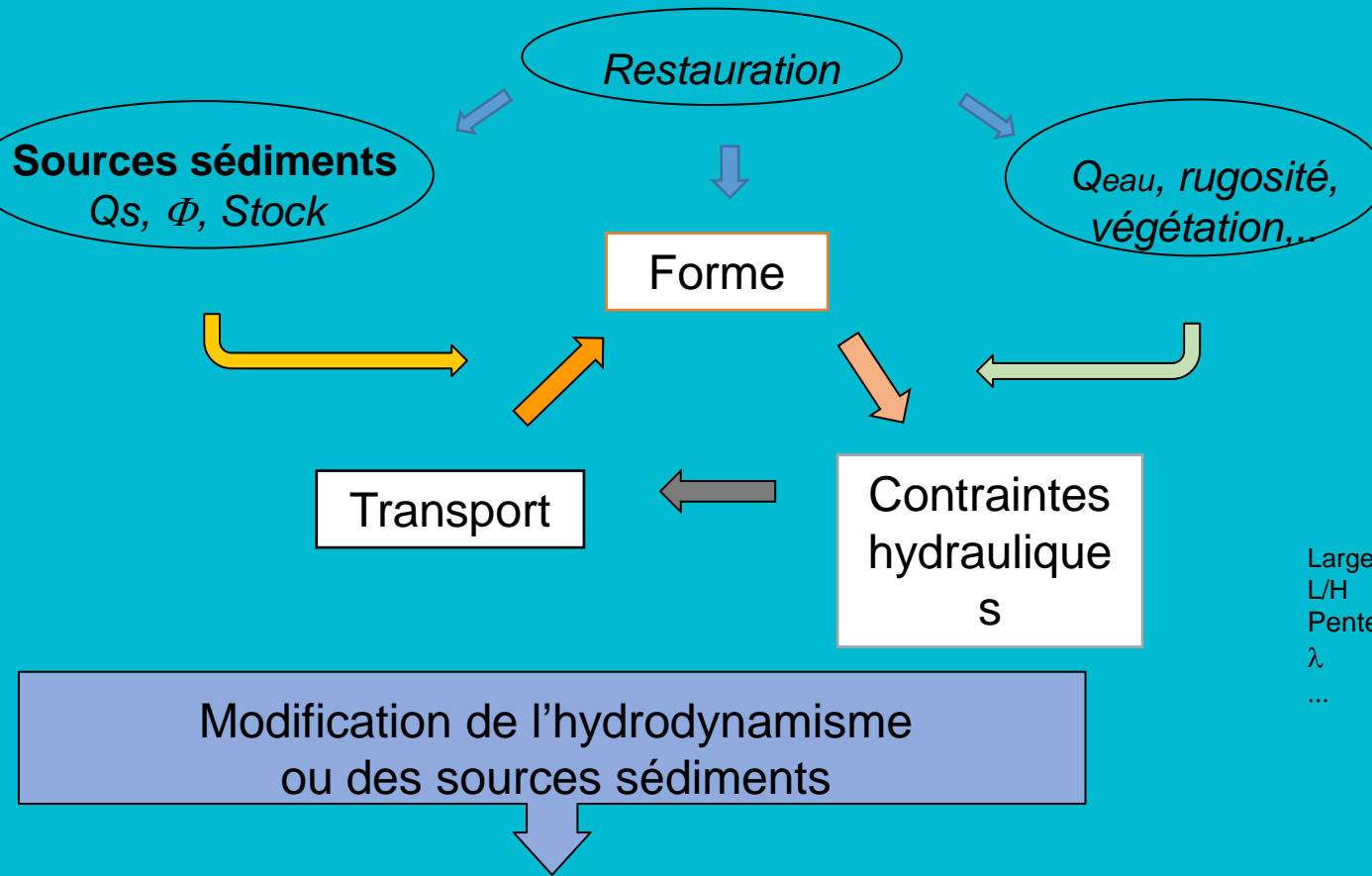
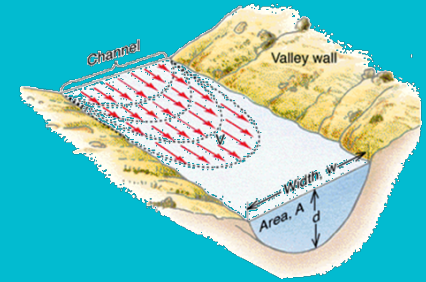


Plusieurs types de mesures



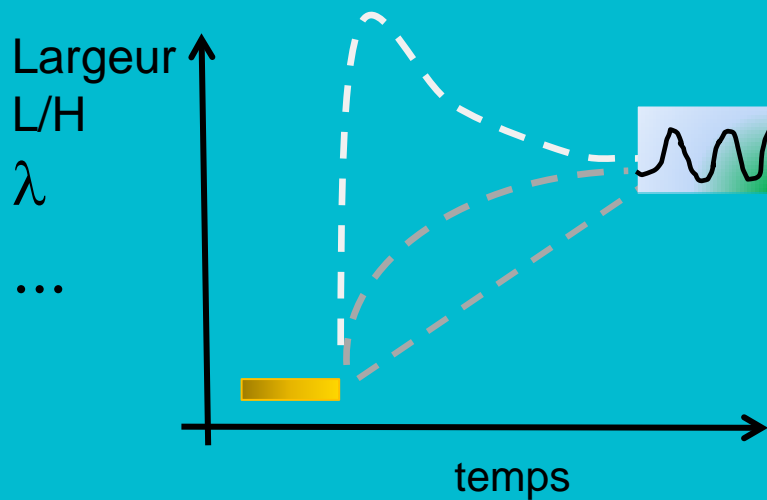
Gestion des installations et des dérives des signaux

# Perturbation et évolution des rivières



- Convergence vers un autre état (géométrie)? Connue?
- Géométrie stable ou variable (temps et espace)?
- Dépendance aux forçages externes vs variabilité intrinsèque à la rivière?

# Perturbation et évolution des rivières



$\tau_c \ll \tau$  variabilité des forçages  
→ état d'équilibre

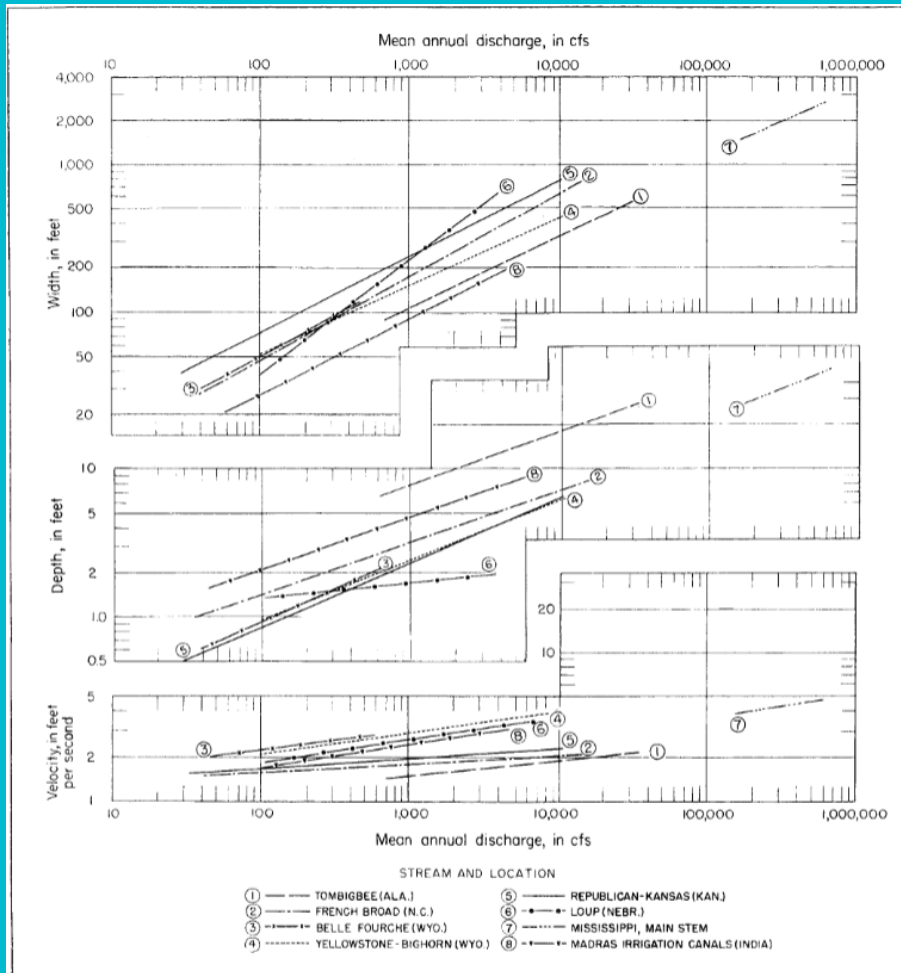
$\tau_c > \tau$  variabilité des forçages  
→ état transitoire permanent

$\tau_c$  temps caractéristique pour atteindre le nouvel état ?

- dépendant de l'état initial ?
- dépendant du forçage (nature, amplitude, seuils) ?
- dépendant des lois physiques d'érosion et de transport ?

# Notion d'état de référence

## Géométrie empirique



Observations:

**La morphologie des rivières suit des relations « types ».**

$$\text{largeur} = a Q^b \quad H = c Q^d \quad \dots$$

Pour:  $\langle Q \rangle$ ,  $Q_{\text{plein bord}}$ ,  $Q_{Ti}$  ?

Relations statistiques !

Certaines Indépendantes de la dynamique → # état d'équilibre