

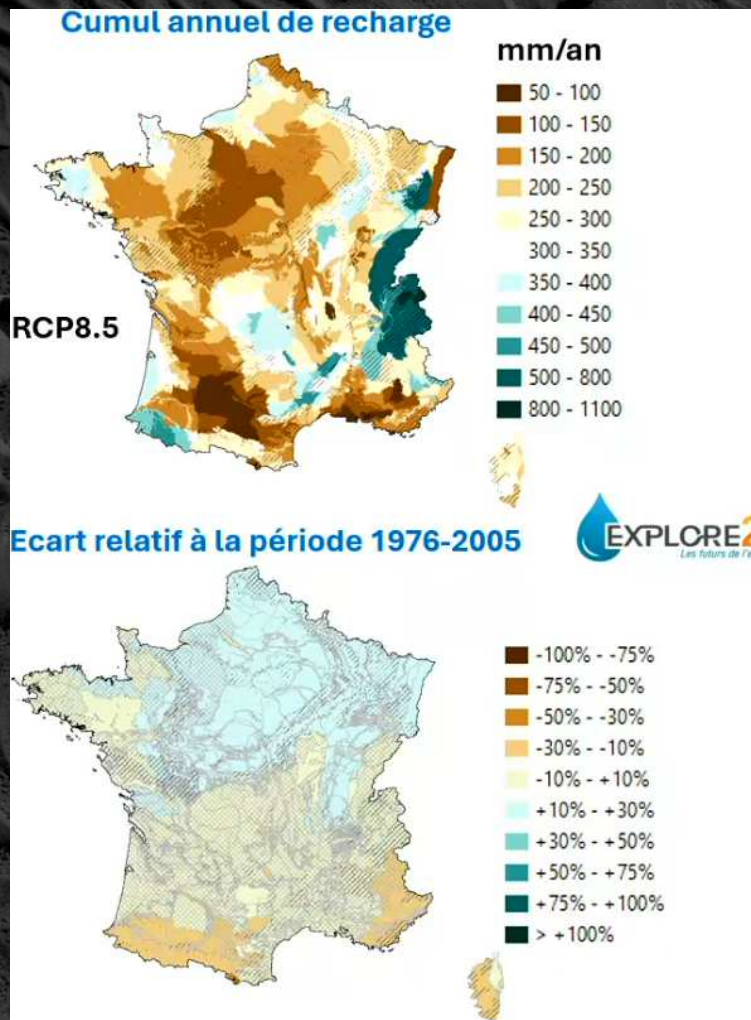
# *Effet des projections climatiques sur les flux solides de fond sur la Loire*

---

*Rodrigues S., P. Louet, H. Seyedhashemi, J. Le Guern, A. Andréault, P. Jugé, F. Moatar*



# CC & flux solides des cours d'eau



C. Poinssot, 2024.

*Flux solides ?*

- *MES vs. charge de fond*
- *Bassin Versant vs. Corridor & affluents*

*Ajustement morphodynamique ?*

- *En Z : alluvionnement vs. incision*
- *En plan : style fluvial*

*Réponses biocénoses (dont végétation) ?*

*Usages de l'eau ?*

*Nécessité de quantifier la charge de fond*



# Quantifier des flux solides de fond dans les grands cours d'eau pour les gérer

*Continuum terre - mer*

*Incision*

*Biodiversité*

*Restauration*

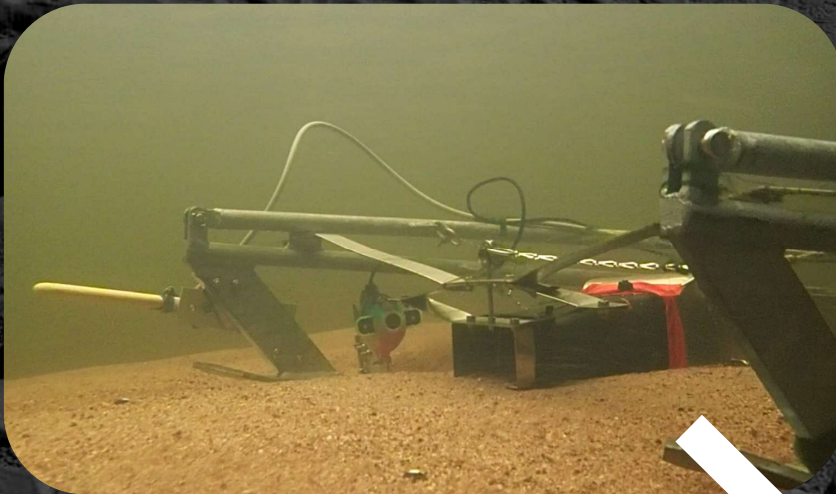


Source : Pierre Fitou, NR.



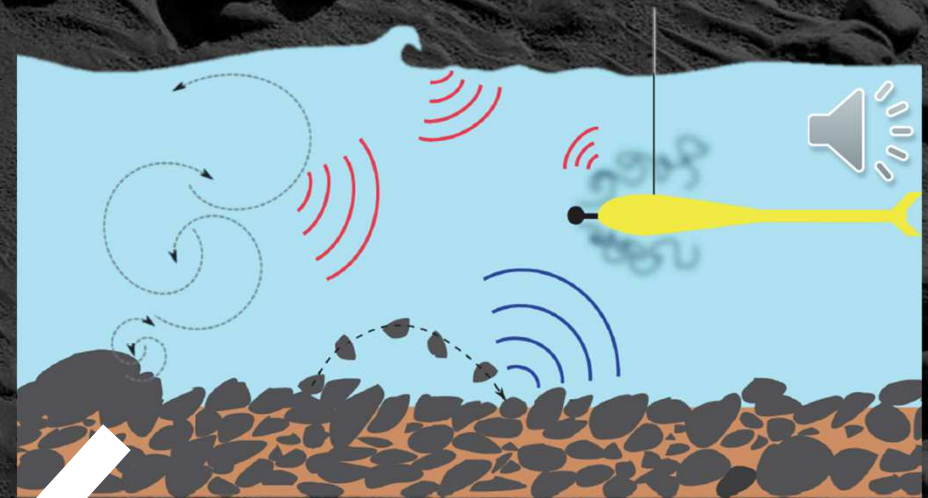
# Comment quantifier des flux solides de fond dans les grands cours d'eau ?

## Méthode de mesure directe



Rodrigues et al., 2010 ; Claude et al., 2012 ; Le Guern et al., 2021

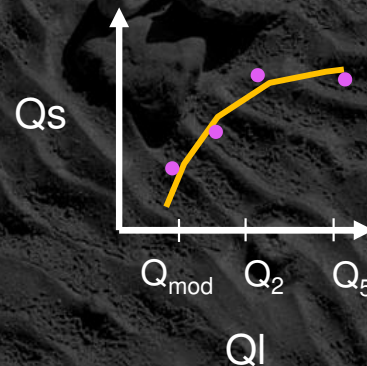
## Méthode de mesure indirecte



(Geay, 2013)

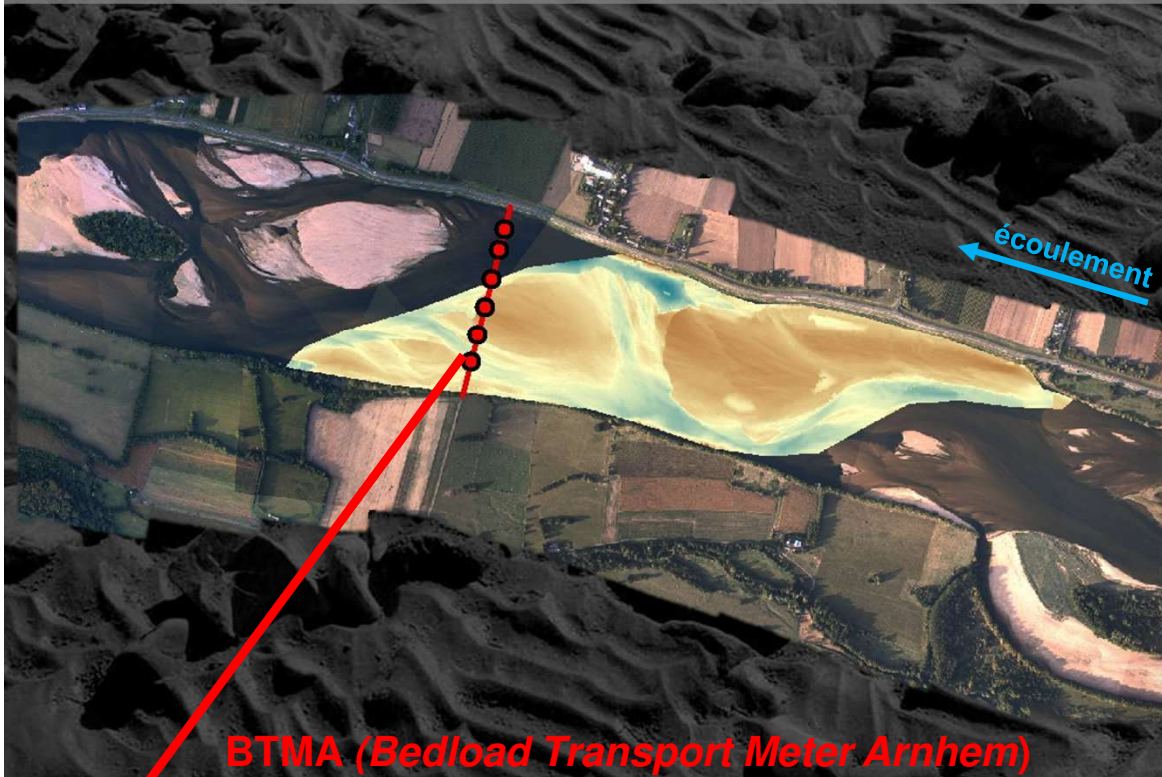
Le Guern et al., 2021 ; Le Guern et al., in review.

## Courbe de tarage solide

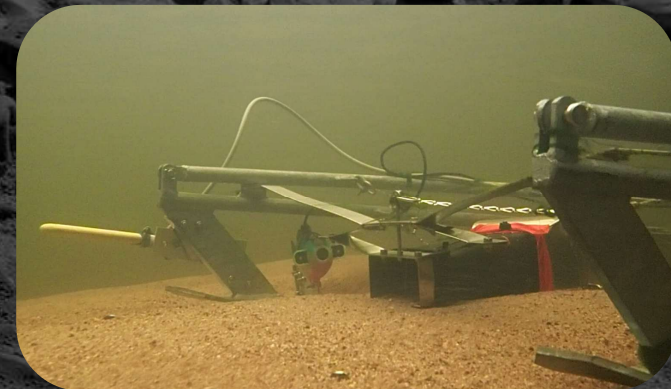




# Méthode directe



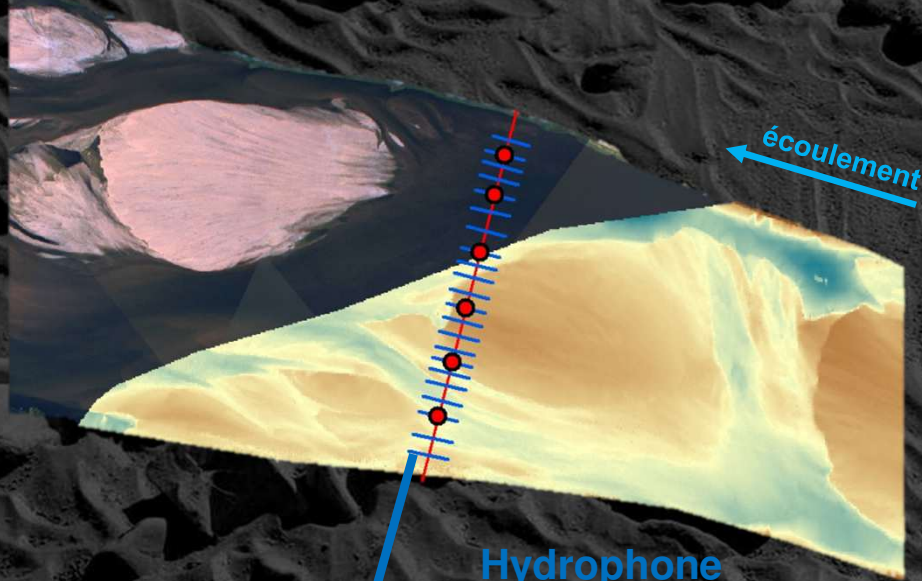
**BTMA (Bedload Transport Meter Arnhem)**





# Méthode indirecte

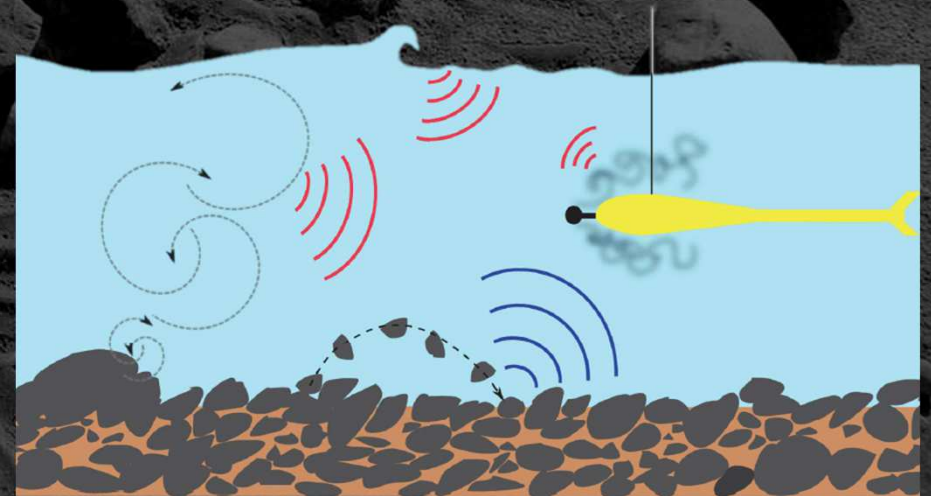
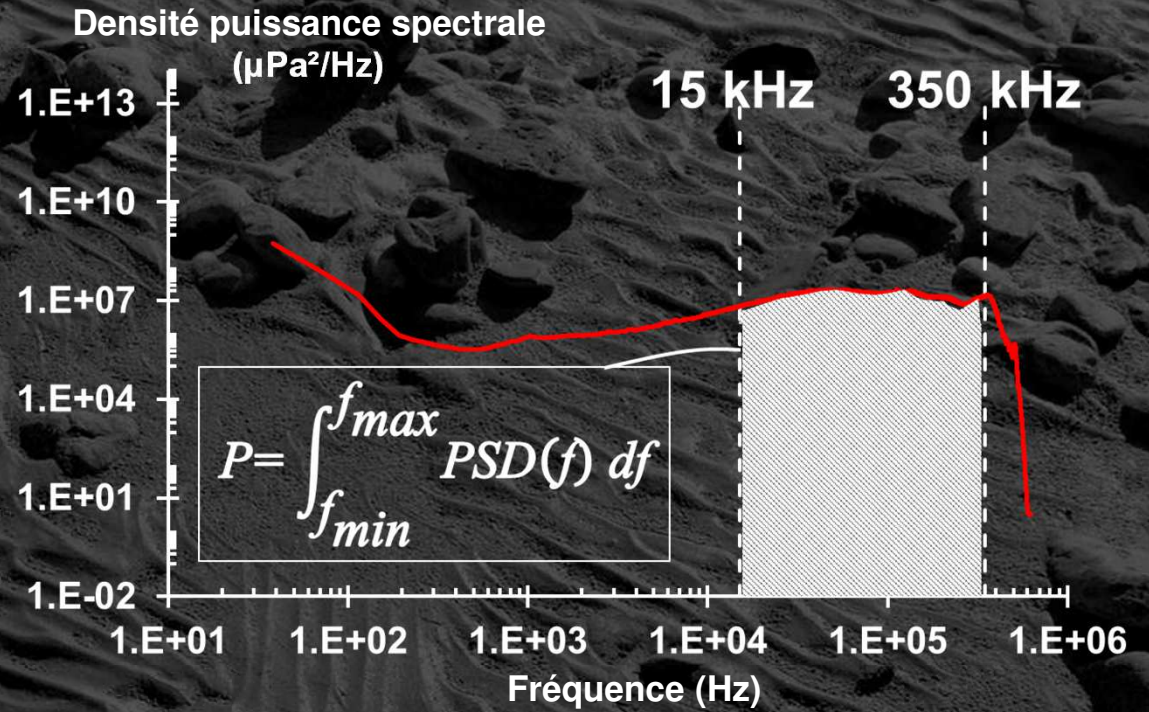
Mesure indirecte charriage = calibration



Hydrophone  
(acoustique passive)



Teledyne Reson

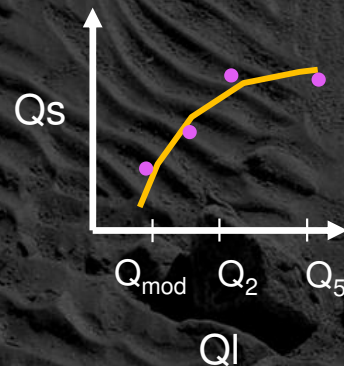


(Geay, 2013)



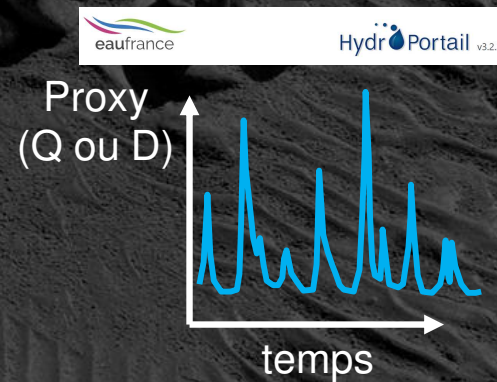
# Comment établir des chroniques de flux solides de fond dans les grands cours d'eau ?

**Courbe de tarage solide**

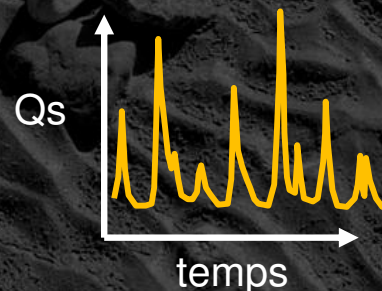


**X**

**Chronique débits**



**Chronique débit solide**

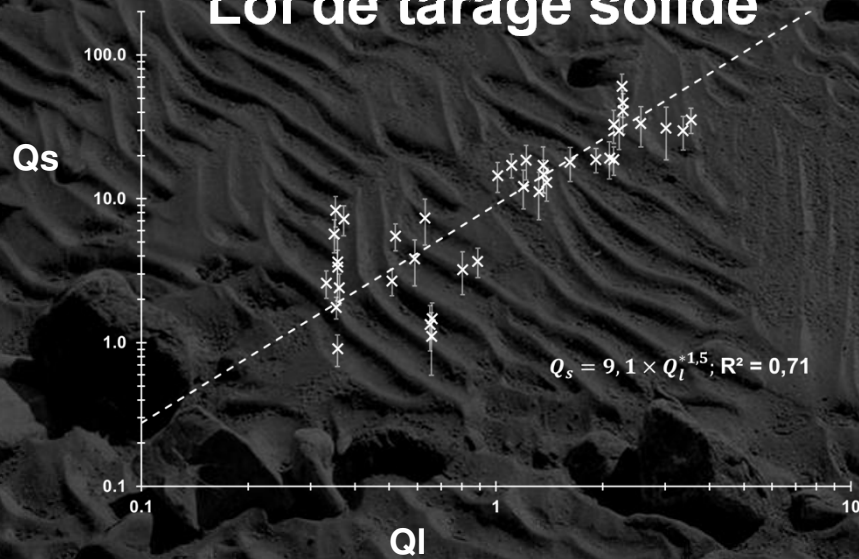


**Flux moyens annuels de  
charriage [2000-2024]**



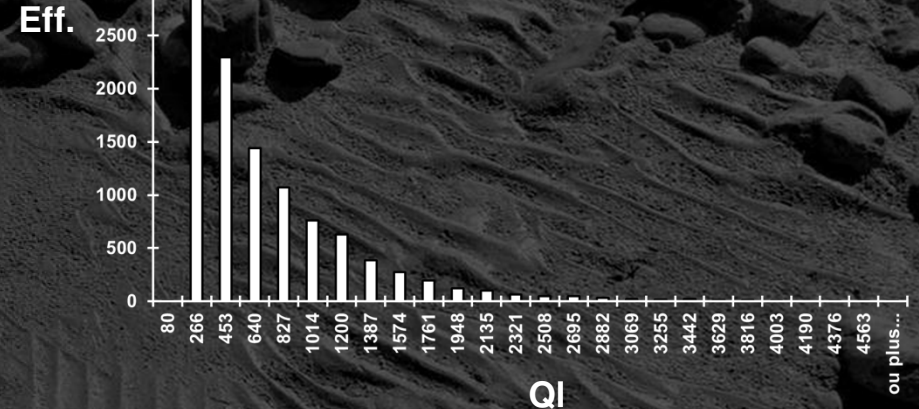
# Un exemple : courbe tarage solide - St Mathurin sur Loire [49]

## Loi de tarage solide

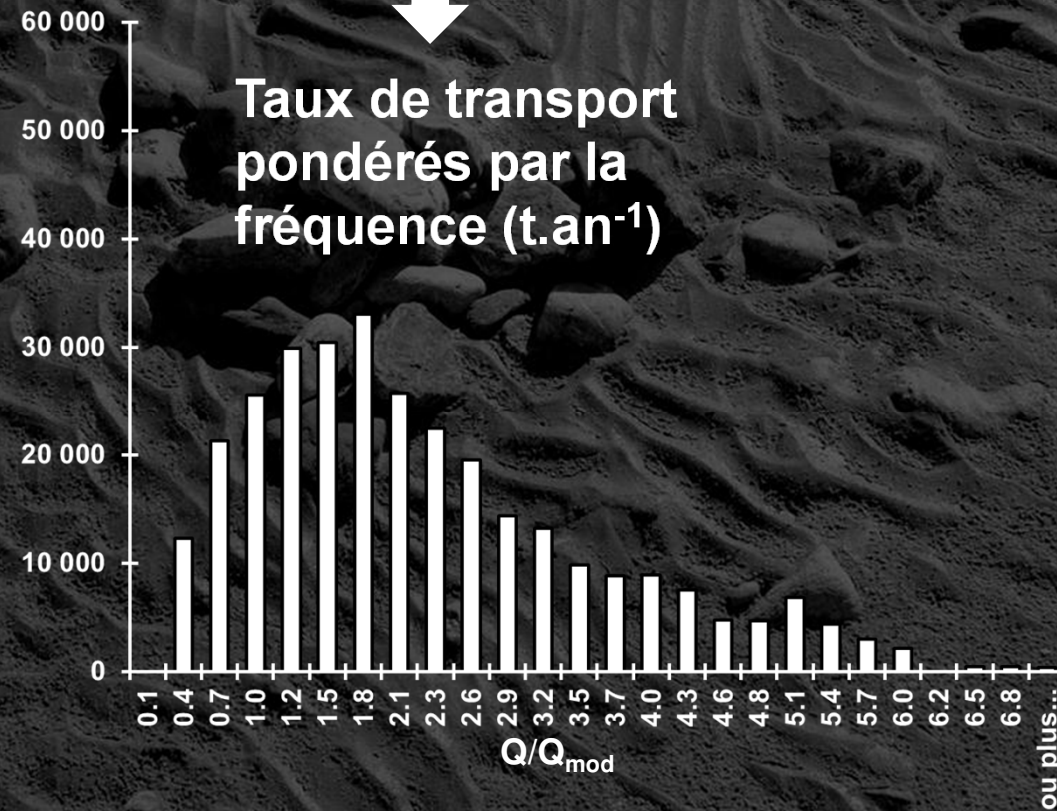


×

## Fréquence des débits Période 30 ans



↓  
Taux de transport  
pondérés par la  
fréquence (t.an<sup>-1</sup>)

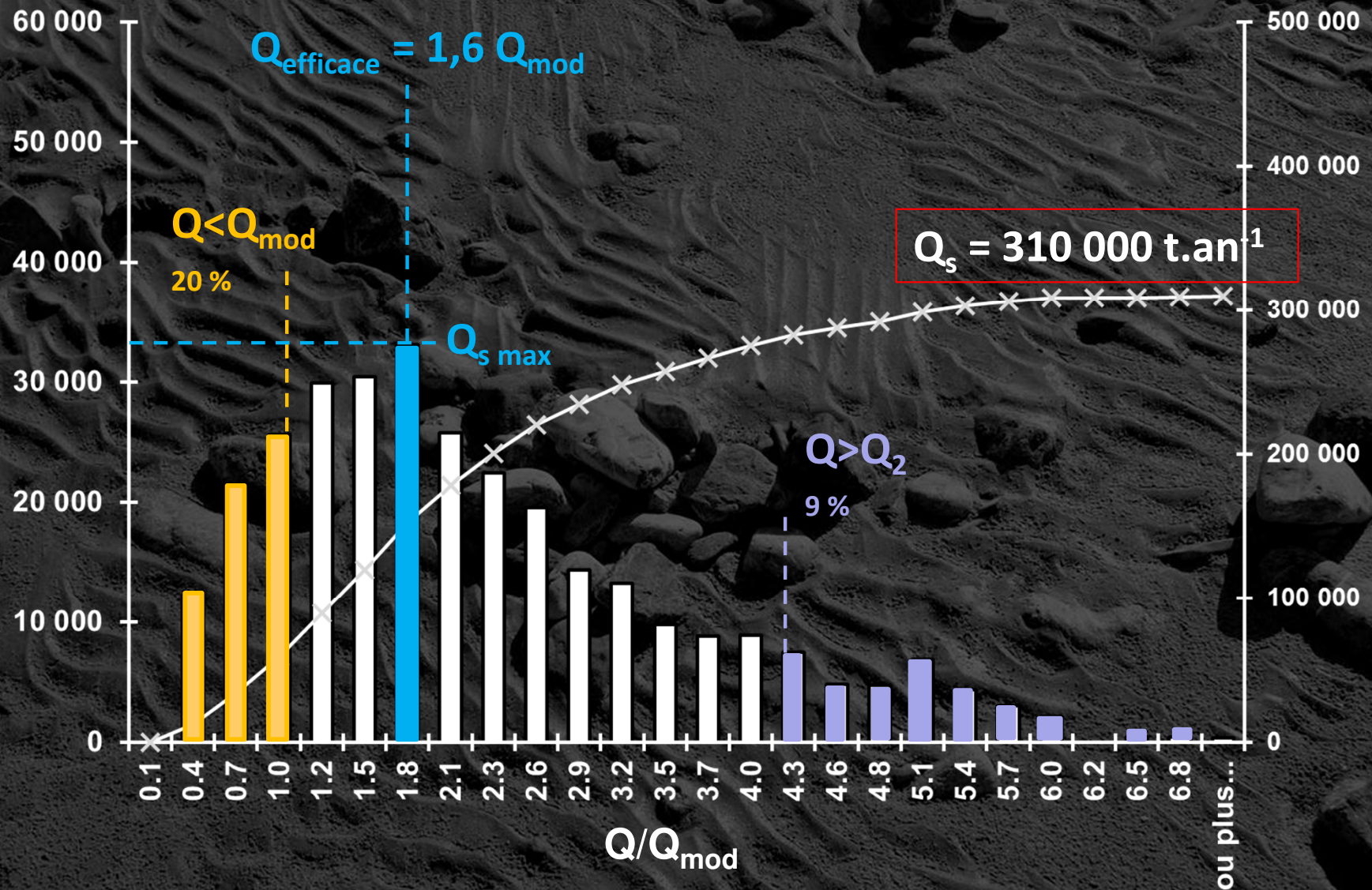




# Un exemple : courbe tarage solide - St Mathurin sur Loire [49]

Taux de transport pondérés  
par la fréquence (t.an<sup>-1</sup>)

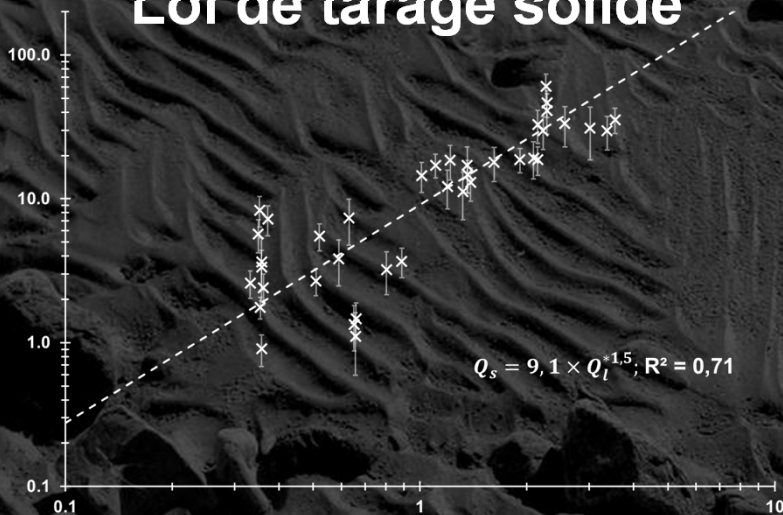
Taux de transport cumulés  
(t.an<sup>-1</sup>)





# Question scientifique & hypothèses

## Loi de tarage solide



×

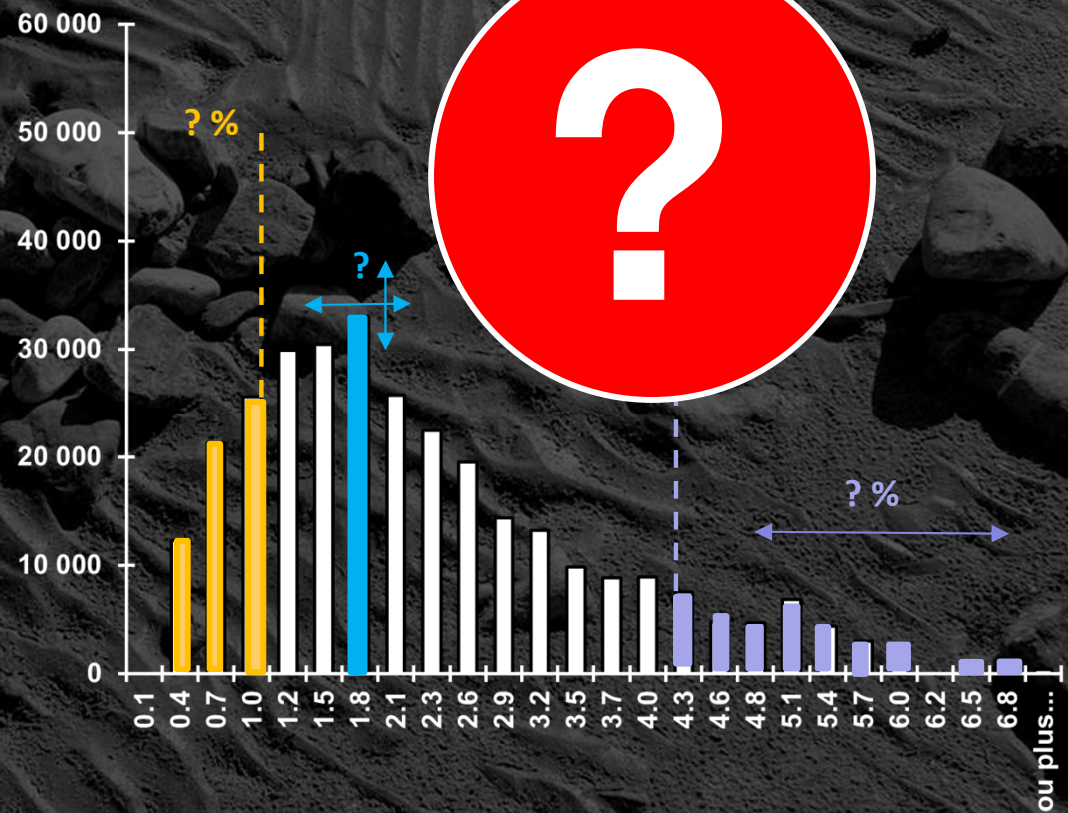


## Fréquence des débits

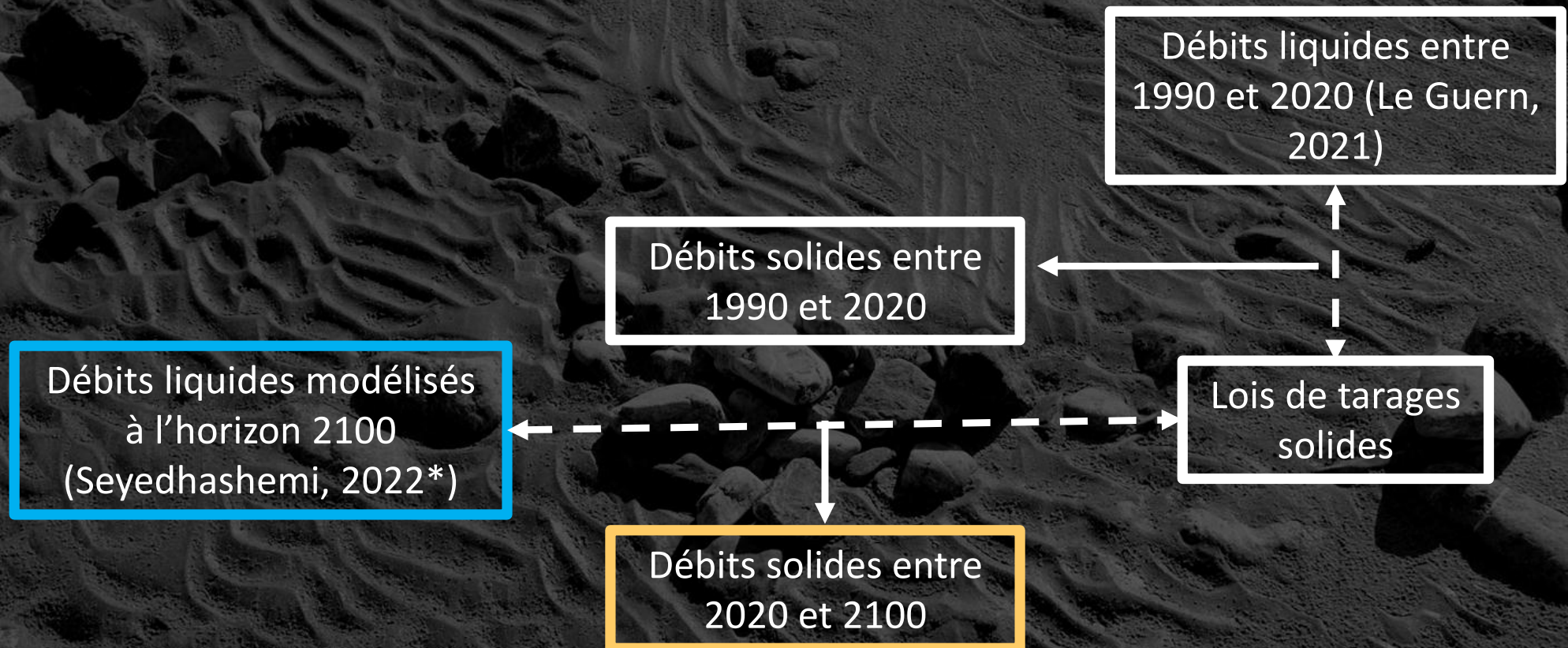


## Changement climatique :

- H1 : Modifiera le régime des crues
- H2 : Modifiera le débit efficace
- H3 : Modifiera le % de transport pour des classes de débits inférieures au module

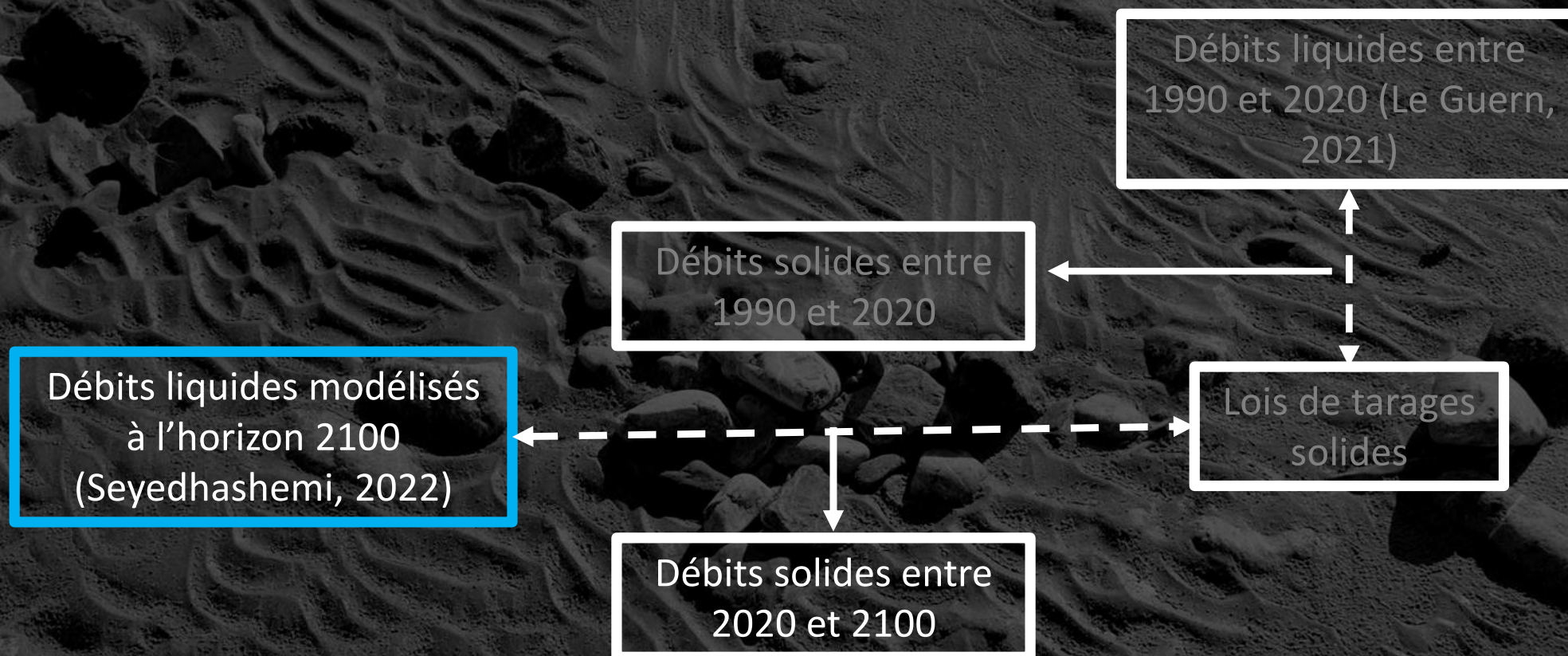






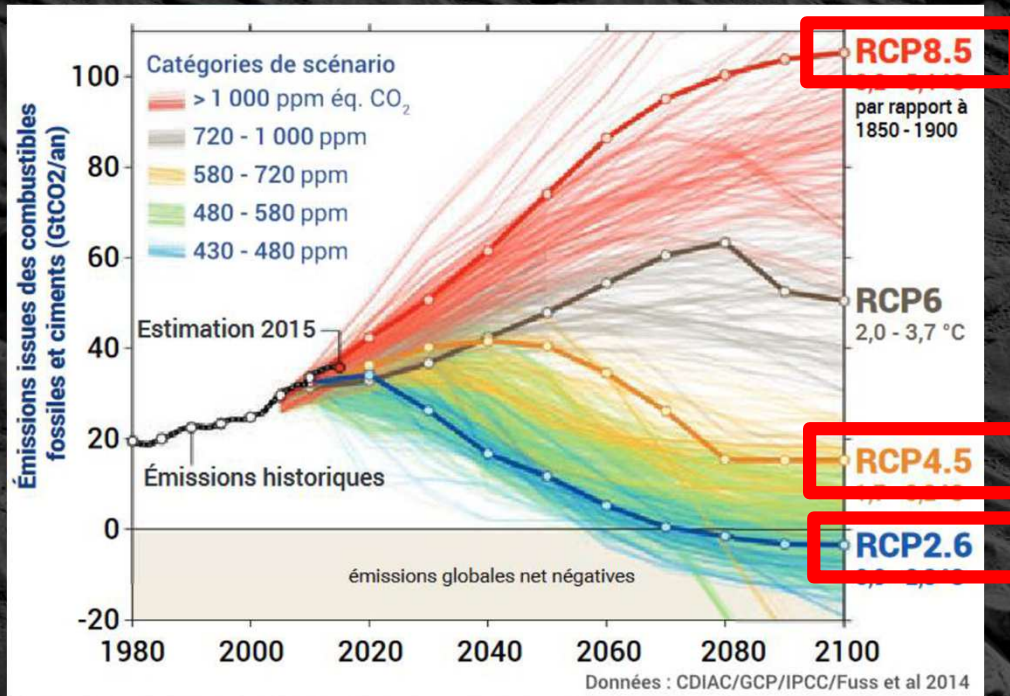
\* : « Influence des retenues d'eau et du changement climatique sur la température des cours d'eau : modélisation à haute résolution et application au bassin de la Loire »



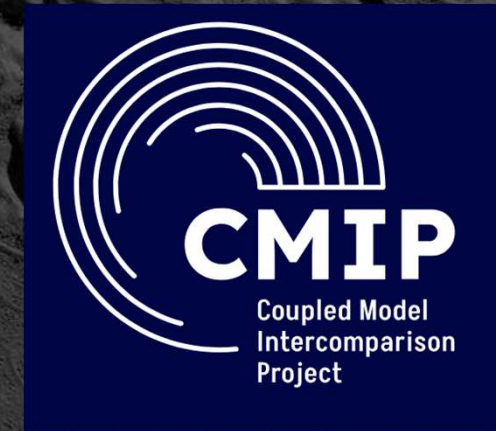




## Modèles climatiques



5<sup>ème</sup> rapport GIEC



Scénarios GCM / RCM

IPSL : chaud et humide

CNRM : intermédiaire

Had : chaud et sec

Coupled Model Intercomparison Project, 5<sup>ème</sup> phase

**Modèle hydrologique**  
EROS (Thiéry et Moutzopoulos, 1992)

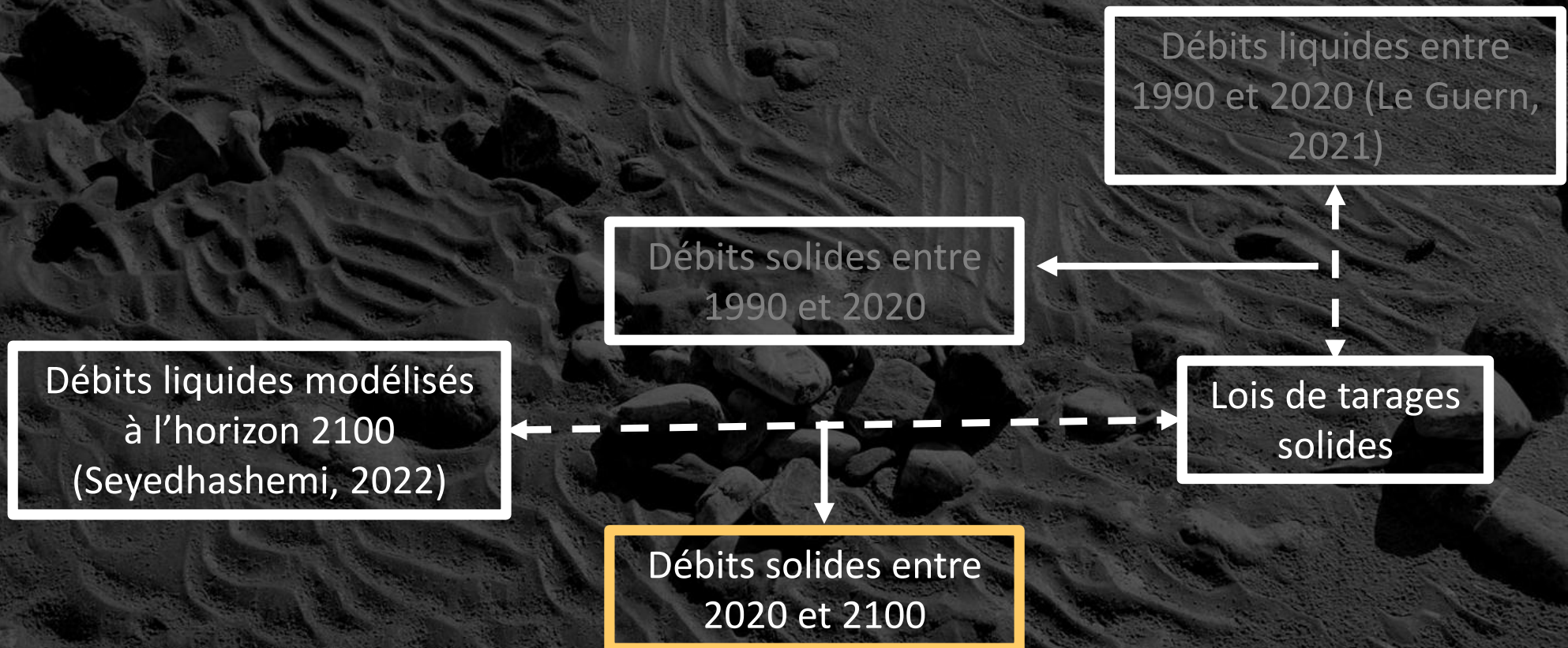


## Débits liquides journaliers modélisés à l'horizon 2100 sur l'ensemble de la Loire

	CODE_STAT	nom	Date	year	month	Model	rcp26	rcp45	rcp85
1	K4180001	La Loire [avant Villerest] à Gien	2020-01-01	2020	1	HadGEM2/CCLM4-8-17	NA	1407.3685	331.7324
2	K4180001	La Loire [avant Villerest] à Gien	2020-01-01	2020	1	CNRM-CM5/ALADIN63	615.4223	258.8097	156.9584
3	K4180001	La Loire [avant Villerest] à Gien	2020-01-01	2020	1	IPSL-CM5A/WRF381P	NA	1237.4163	479.0337
4	K4180001	La Loire [avant Villerest] à Gien	2020-01-02	2020	1	HadGEM2/CCLM4-8-17	NA	1471.2958	316.3979
5	K4180001	La Loire [avant Villerest] à Gien	2020-01-02	2020	1	CNRM-CM5/ALADIN63	649.3197	243.3684	153.9007
6	K4180001	La Loire [avant Villerest] à Gien	2020-01-02	2020	1	IPSL-CM5A/WRF381P	NA	1313.9475	488.9293

Seyedhashemi, 2022







Sites	Modalité de mise au point de la loi de tarage solide	Loi de tarage (kg/s)	Localisation des stations pour la prise de QI (chroniques effectuées entre 1990 et 2021)
Belleville-sur-Loire (18)	Modèle physique EDF (Sugny, 1979)	$Q_s = 6,3 \times 10^{-5} Q l^{2,06}$	Givry (71)
Bréhémont (37)	Issu de mesures in-situ de Claude (2012) mise à jour par la méthode de régression RMA	$Q_s = 4 \cdot 10^{-2} Q l^{0,96}$	Langeais (37)
Saint-Maturin-sur-Loire (49)	Mesures réalisées par Le Guern (2021)	$Q_s = 4,5 \cdot 10^{-4} Q l^{1,5}$	Saumur (49)



Obtenir un débit solide en t/an par classe de débit liquide entre 2020 et 2100.

Loi de tarage  
solide

Débits liquides modélisés  
(Seyedhashemi, 2022)

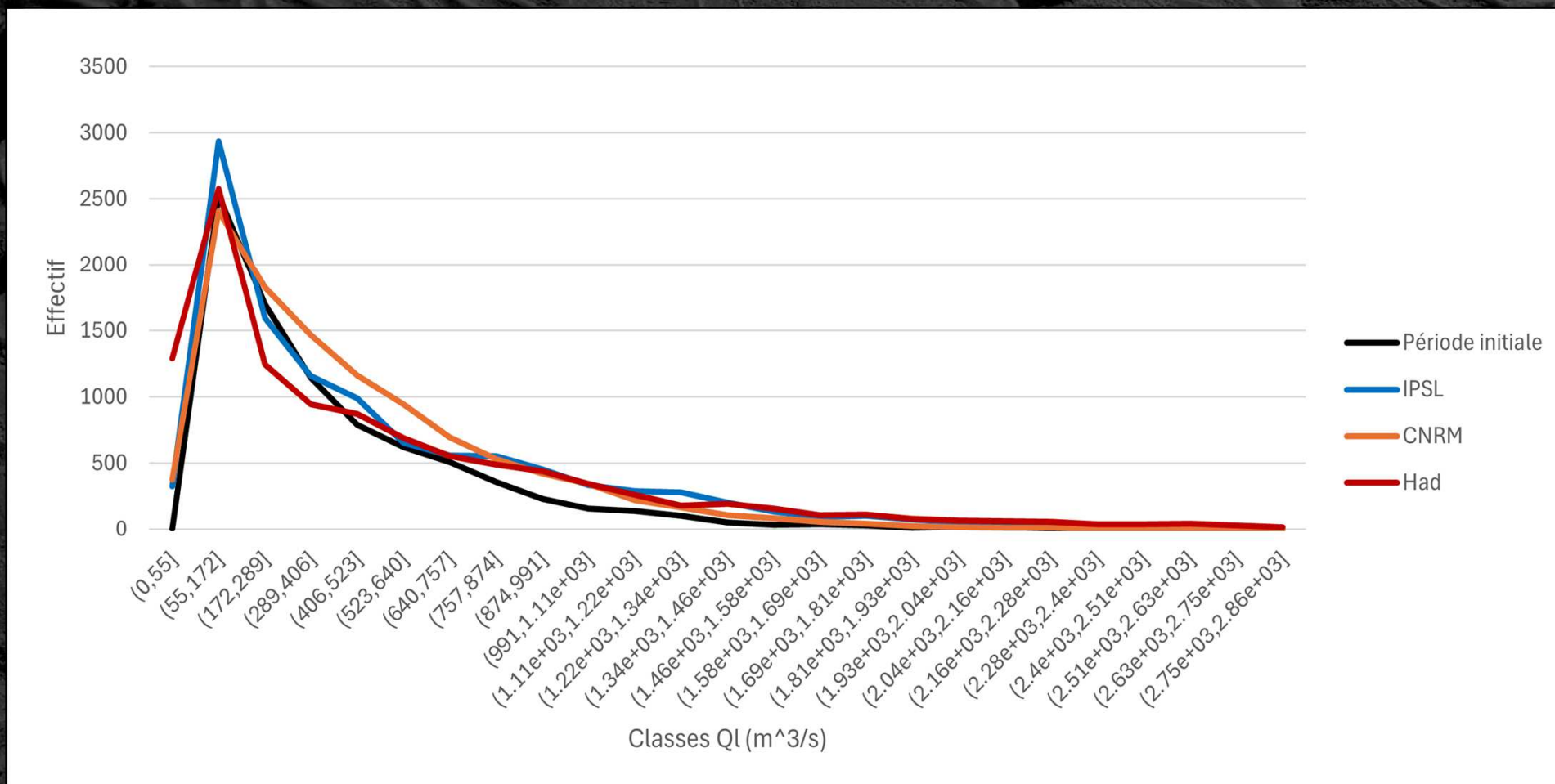
$$Qs_i = \frac{a * MedQl_i^B * EffQl_i * 24 * 3600}{1000 * N_{année}}$$

Débit solide  
fond par  
classe de Ql

- 2020 - 2039 = 20 ans
- 2040 - 2069 = 30 ans
- 2070 - 2099 = 30 ans



## Baisse module, étiages sévères & crues plus nombreuses

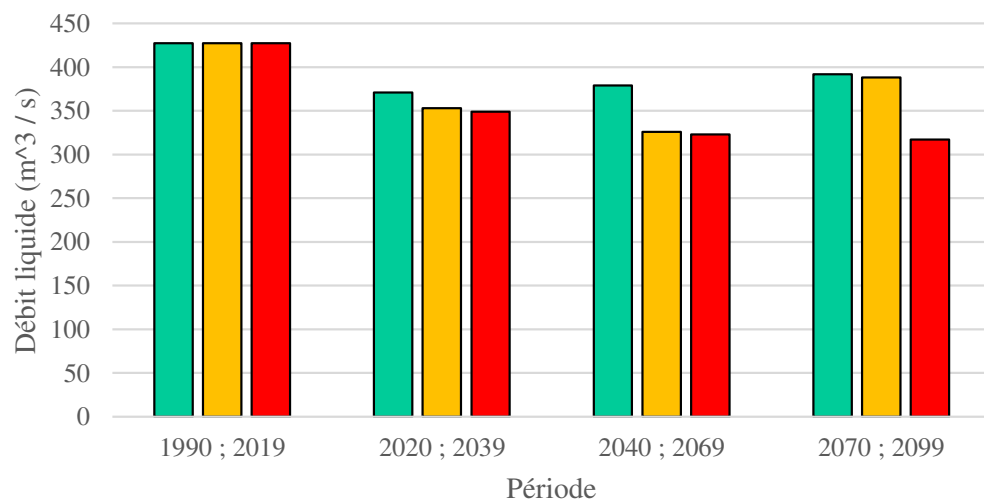


Effectif des classes de débit liquide sur le site de Langeais en fonction de scénarios GCM sous un RCP 8.5 sur la période 2040 ; 2069. Source : P.Louet

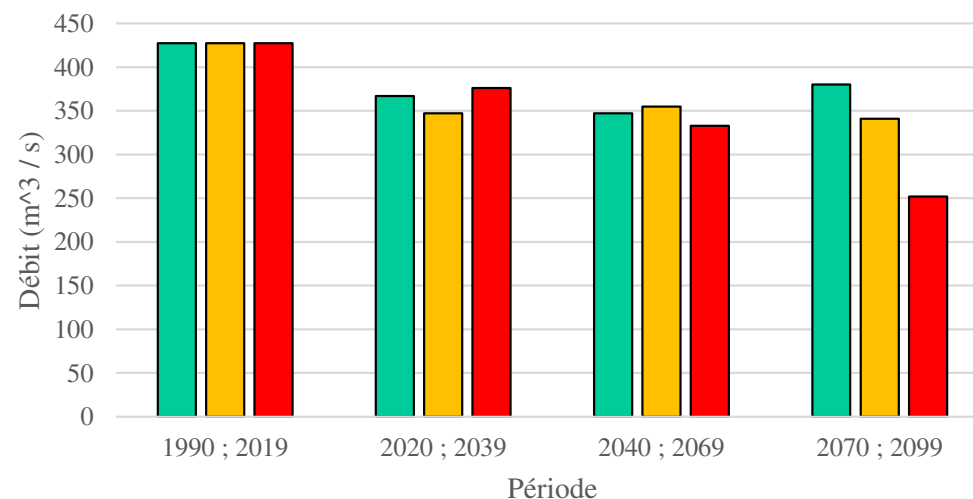


## Baisse module (forte pour Had), disparité en fin de siècle, étiages sévères

Evolution du Q\_mod sur la station de Langeais à l'horizon 2100 en fonction des scénarios GCM sous un RCP 4.5



Evolution du Q\_mod sur la station de Langeais à l'horizon 2100 en fonction des scénarios GCM sous un RCP 8.5



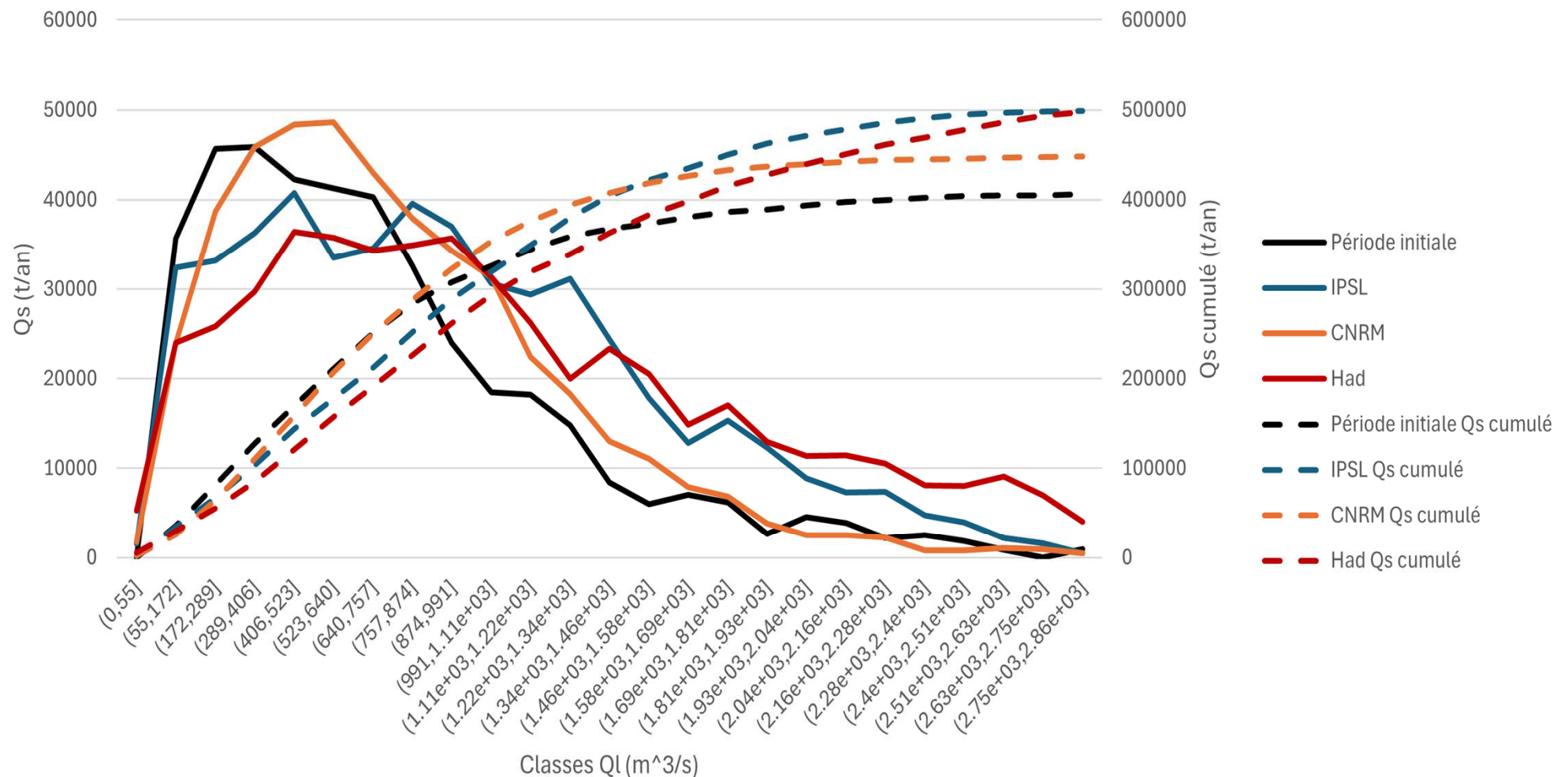
IPSL : chaud et humide

CNRM : intermédiaire

Had : chaud et sec



## Augmentation contribution crues ; augmentation totale $Q_{sf}$





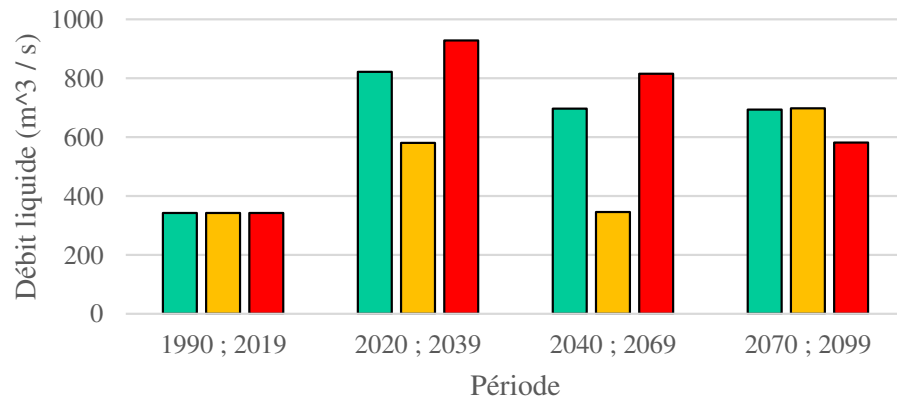
### Augmentation $Q_{eff}$ ; Diminution contribution $Q < Q_{mod}$

IPSL : chaud et humide

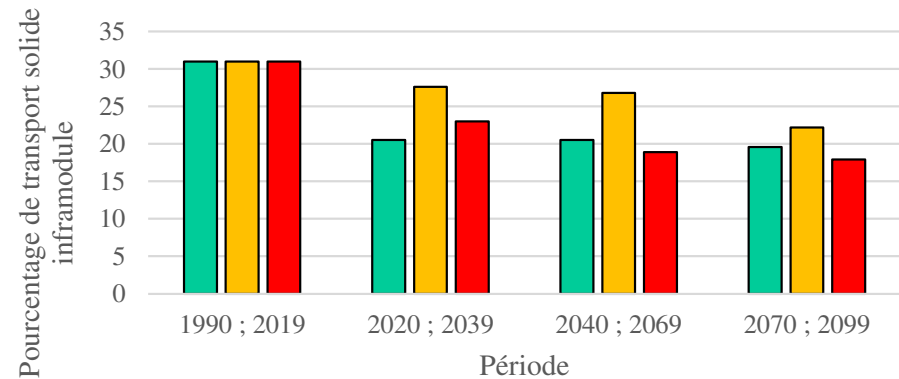
CNRM : intermédiaire

Had : chaud et sec

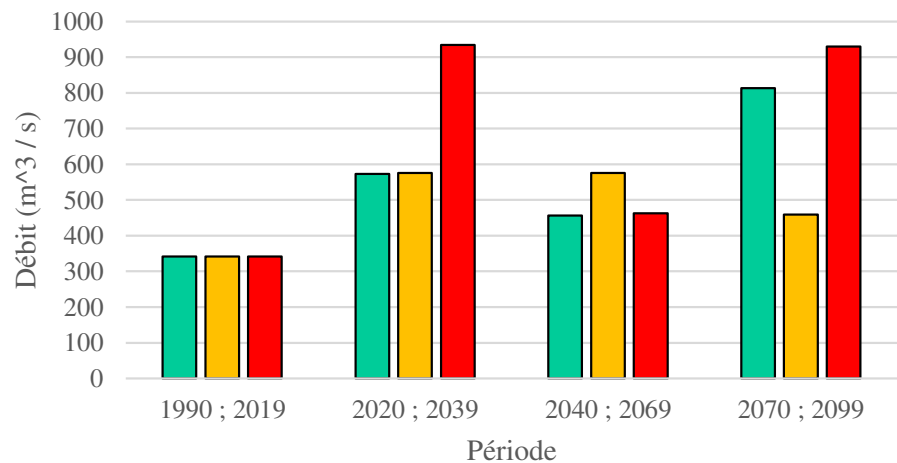
Evolution du  $Q_{eff}$  sur la station de Langeais à l'horizon 2100 en fonction des scénarios GCM sous un RCP 4.5



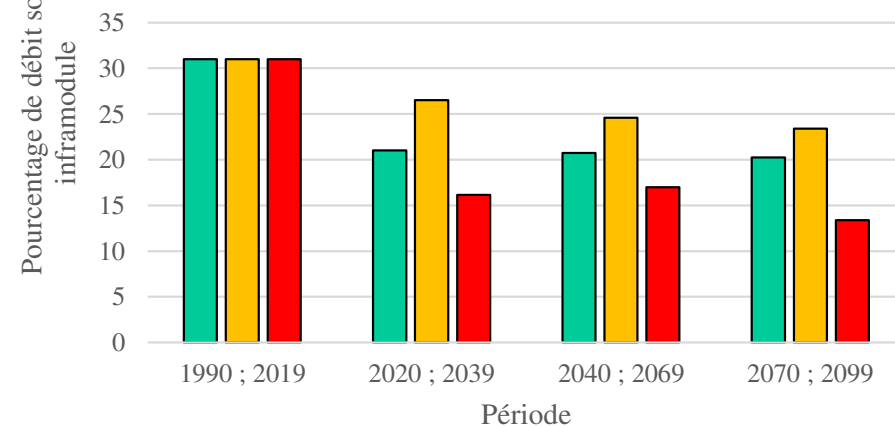
Evolution du pourcentage de transport solide inframodule sur la station de Langeais à l'horizon 2100 en fonction des scénarios GCM sous un RCP 4.5



Evolution du  $Q_{eff}$  sur la station de Langeais à l'horizon 2100 en fonction des scénarios GCM sous un RCP 8.5



Evolution du pourcentage de transport solide inframodule sur la station de Langeais à l'horizon 2100 en fonction des scénarios GCM sous un RCP 8.5





# Discussion

Evolution morphologique : renforcement tendance à chenalisation ? → nécessité d'assurer apports amont.

Moins de flux de fond estivaux → impact sur dynamique des barres sédimentaires, perturbation végétalisation chenal principal ? Impact sur microtopographie et implantation?

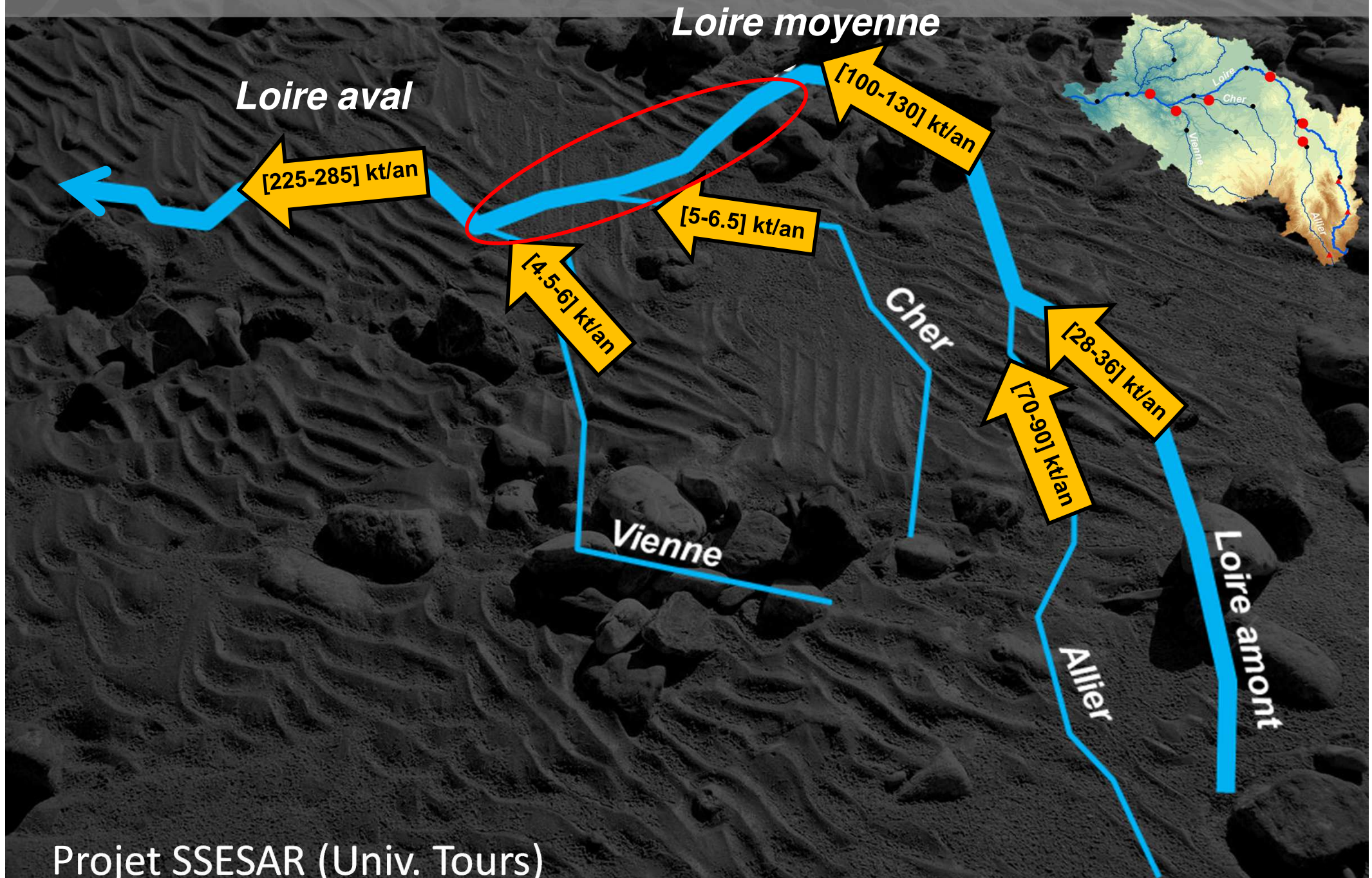
Plus de flux en crue → Apports solides aux annexes hydrauliques (eau + sédiments) ? sollicitation ouvrages ?

Limites approche (stabilité courbes de tarages solides, MES, prise en compte totalité bassin, incertitudes sur fréquence et intensité des crues, invariabilité des cours de tarages solides ?...)

T. Handfus, programme R-TEMUS2, UMR CNRS CITERES - Université de Tours



# Conclusions / perspectives





## Etude « Milieu », démarche HMUC (AELB)

### Réseau de mesure du charriage acoustique passif

Visualisation et analyse des données de charriage dans les rivières françaises

**SEDIPORTAIL**  
French River Bedload Monitoring Network

**SEDIPORTAIL** Carte Statistiques Analyse À propos Administrateur

1. Sélectionner un bassin versant :

Loire-Bretagne

2. Sélectionner une station acoustique :

Sélectionnez une station

3. Sélectionner une période d'analyse :

2020-11-13 à 2025-11-12

ACTUALISER

LEXIQUE

OpenStreetMap

- ☒ Bassins versants
- ☒ Réseau hydrographique
- ☒ Loire
- ☒ Vienne
- ☒ Cher
- ☒ Allier

Astuce : Utilisez Ctrl + molette pour zoomer sur la carte, ou double-cliquez pour zoomer.

**Sound of SEDiments in SANDy Rivers (SSESAR)**

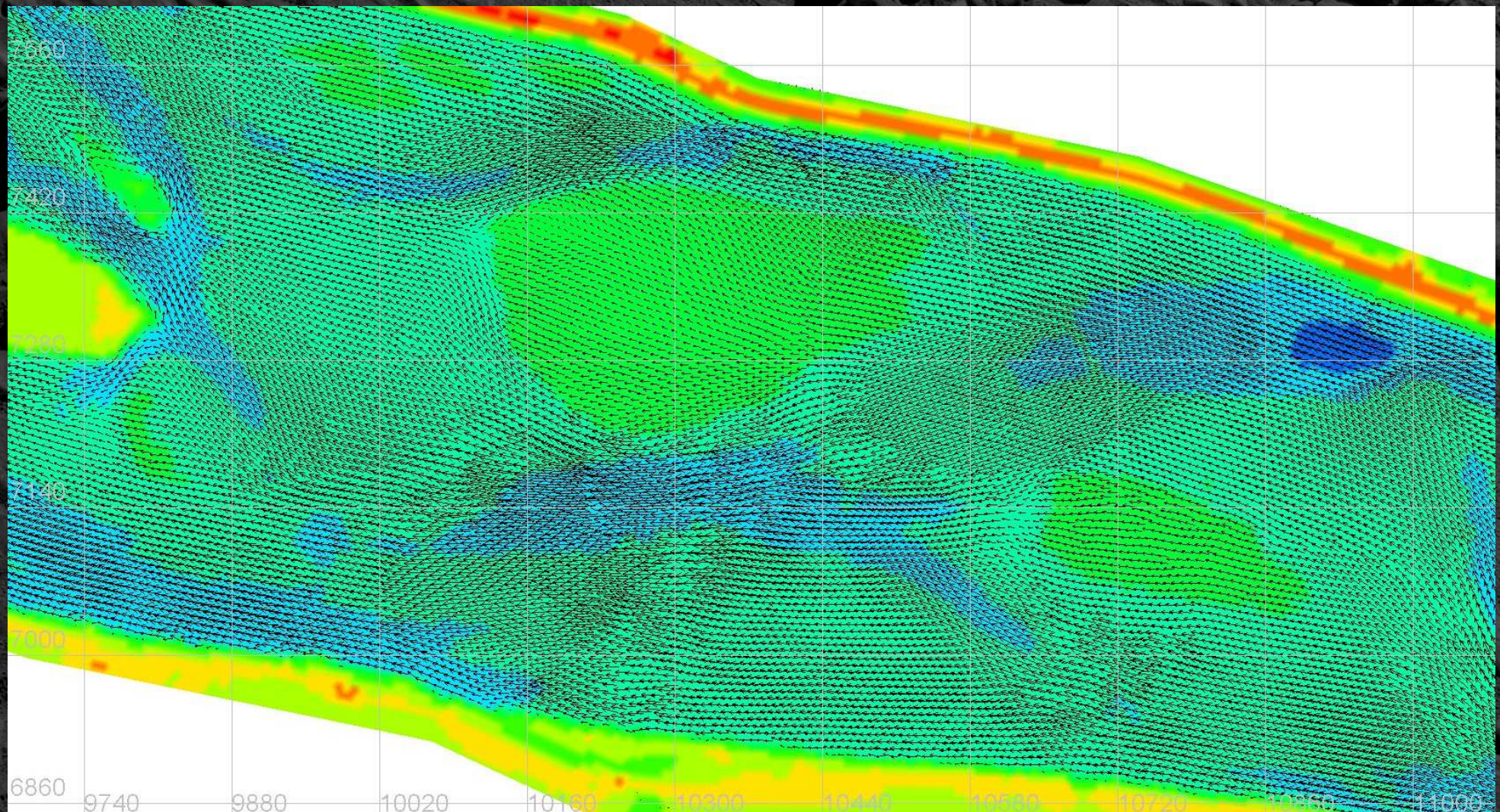
Projet APR-IR porté par UMR CNRS 7324 CITERES & Université de Tours et financé par la Région CVL © 2023-2025

Application développée par J. Le Guern



# Conclusions / perspectives

*Hydraulique : 2D SWE (de Saint Venant, 1871)*  
*Sédiment : Equation d'Exner*

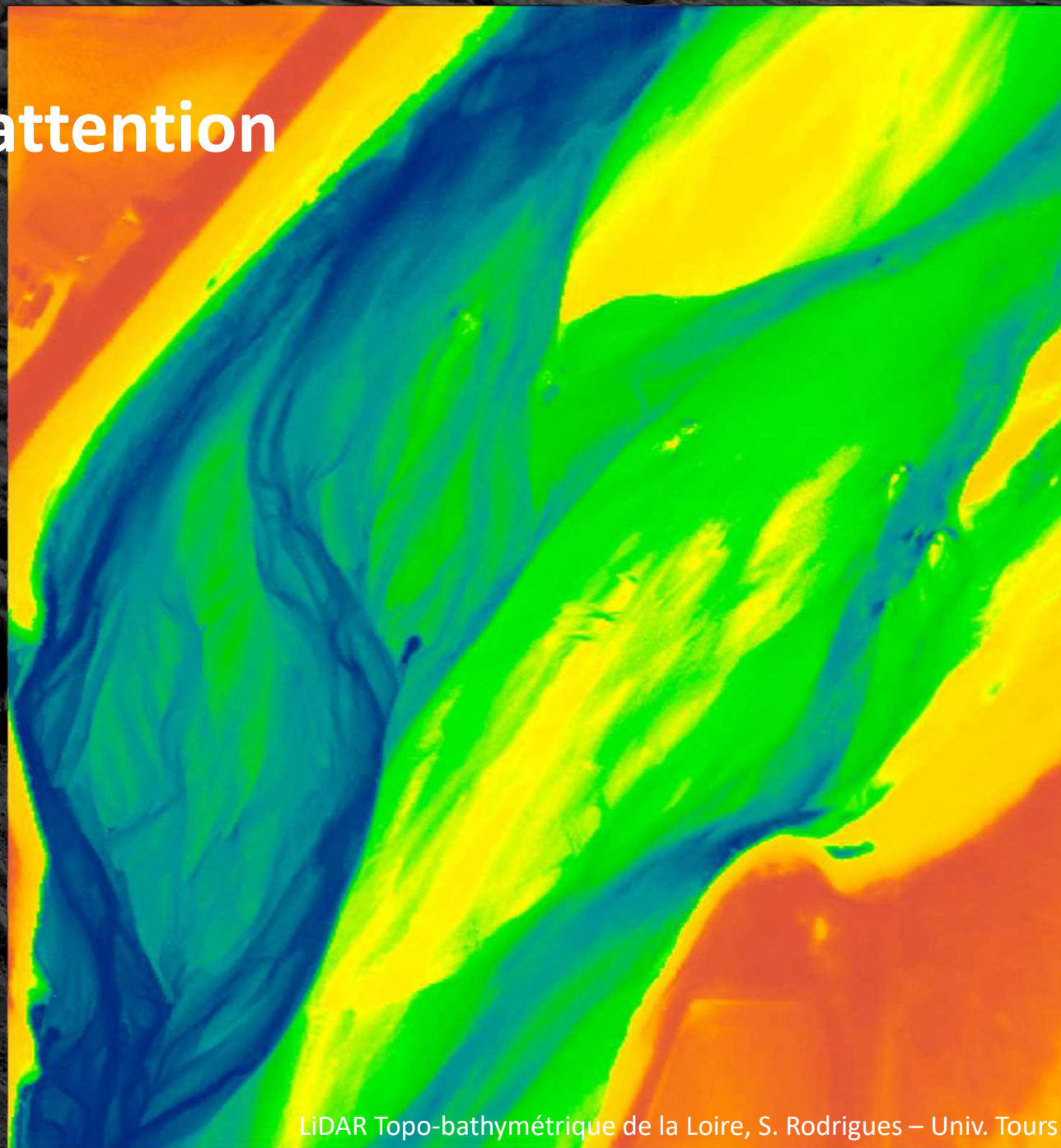


*Telemac 2D – Champ de vitesses*

*R. Pizzaro, Univ Tours – Labo. St Venant*



**Merci pour votre attention**



LiDAR Topo-bathymétrie de la Loire, S. Rodrigues – Univ. Tours