



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

LES  
AGENCES  
DE L'EAU



Réseau de  
Sites de démonstration pour la  
Restauration hydromorphologique des  
Cours d'eau

INRAE



# Érosion maîtrisée et injections sédimentaires : quels enjeux et effets dans les milieux semi-naturels ? Cas du Vieux Rhin, France

Valentin Chardon, post-doctorant, UMR 7362 CNRS Laboratoire Image Ville Environnement (LIVE)  
& Faculté de géographie et d'aménagement

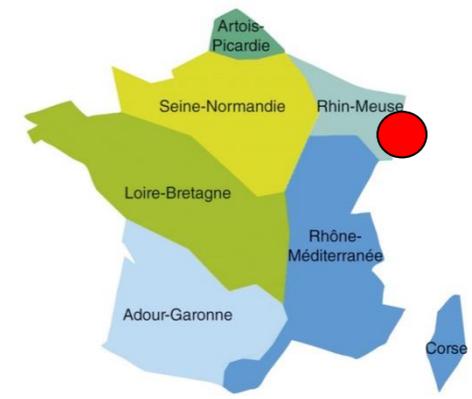
Cybill Staentzel, Enseignante-chercheure en écologie des milieux aquatiques, ENGEES & UMR7362 CNRS Laboratoire Image Ville Environnement (LIVE)

**Journée d'échanges techniques  
« Evaluation de la restauration »  
16 Novembre 2021**

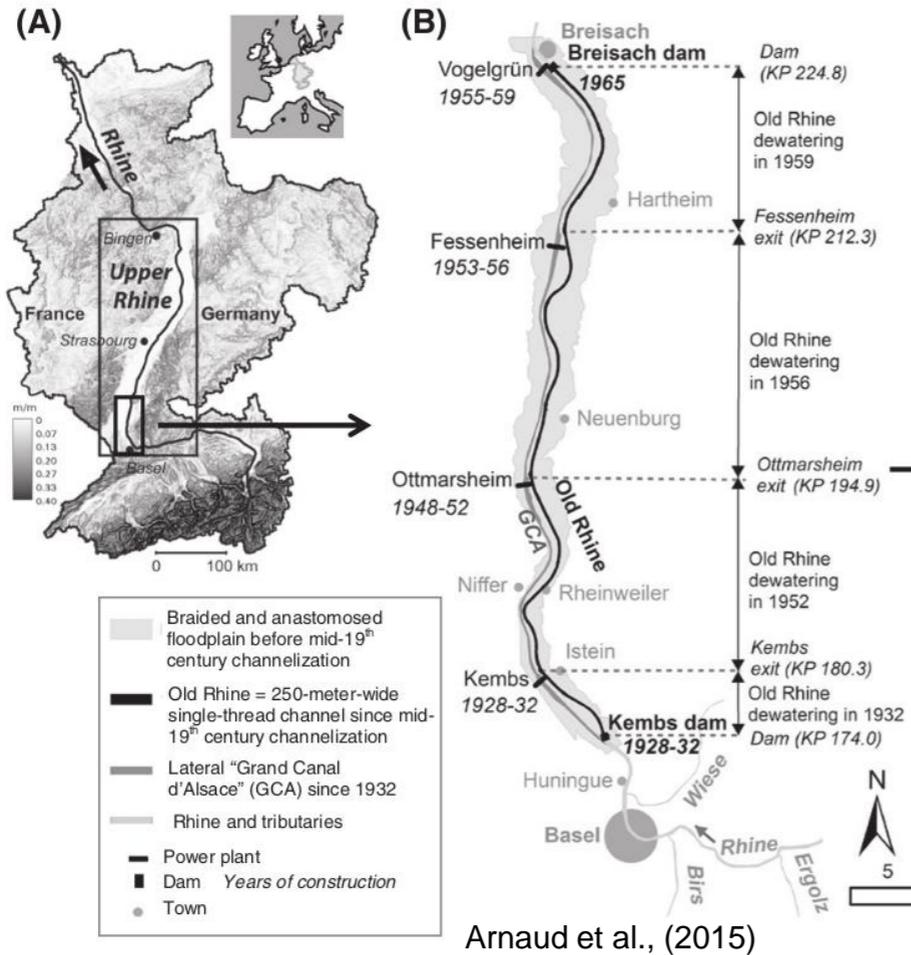
Photo :Serge Dumont



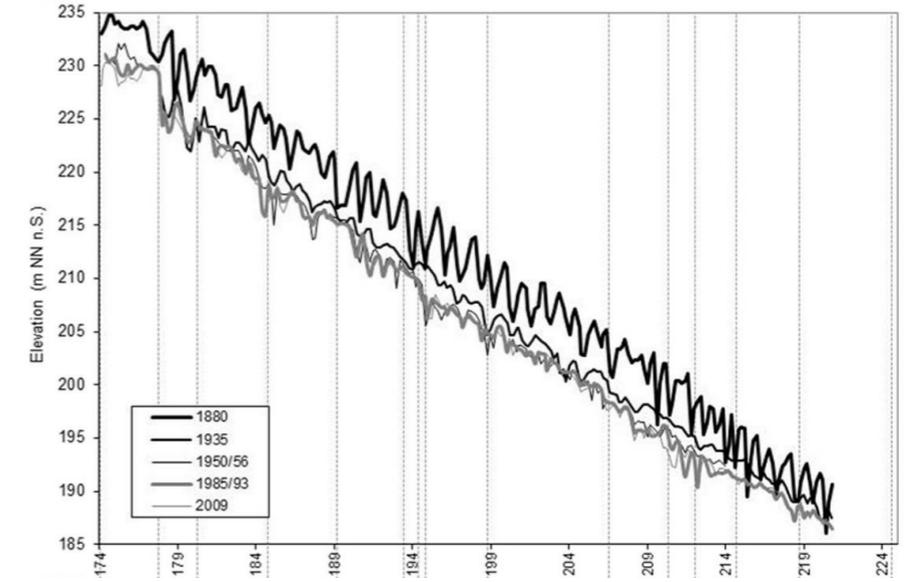
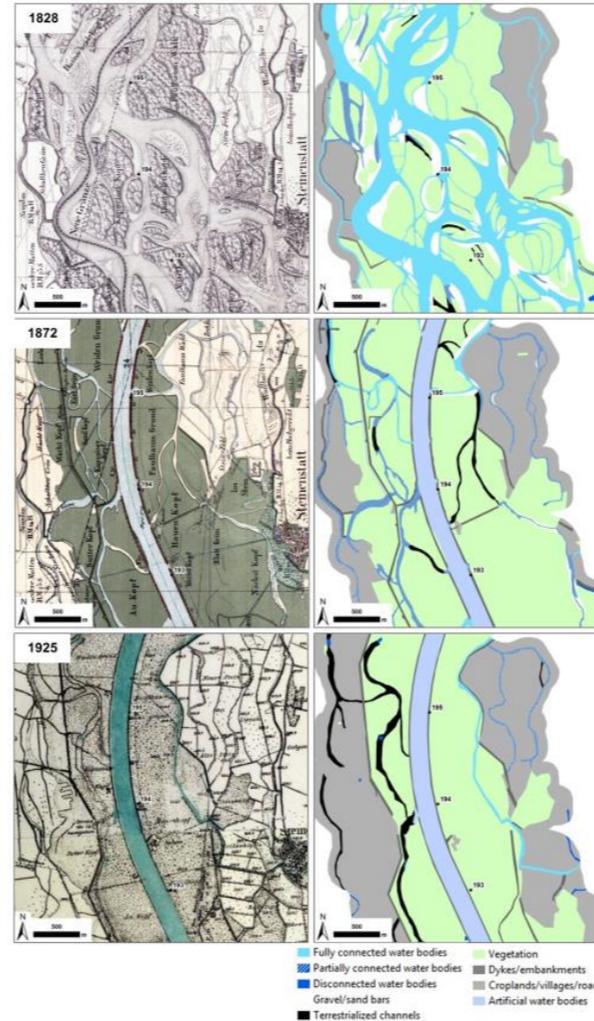
# Comment redynamiser les processus hydro-sédimentaires pour améliorer les habitats aquatiques et riverains de rivières fortement régulées ?



Arnaud et al., (2019)



Arnaud et al., (2015)



Arnaud et al., (2019)

## Deux types d'opération de restauration

- Injections sédimentaires (x3)



Photo : Laurent SCHMITT

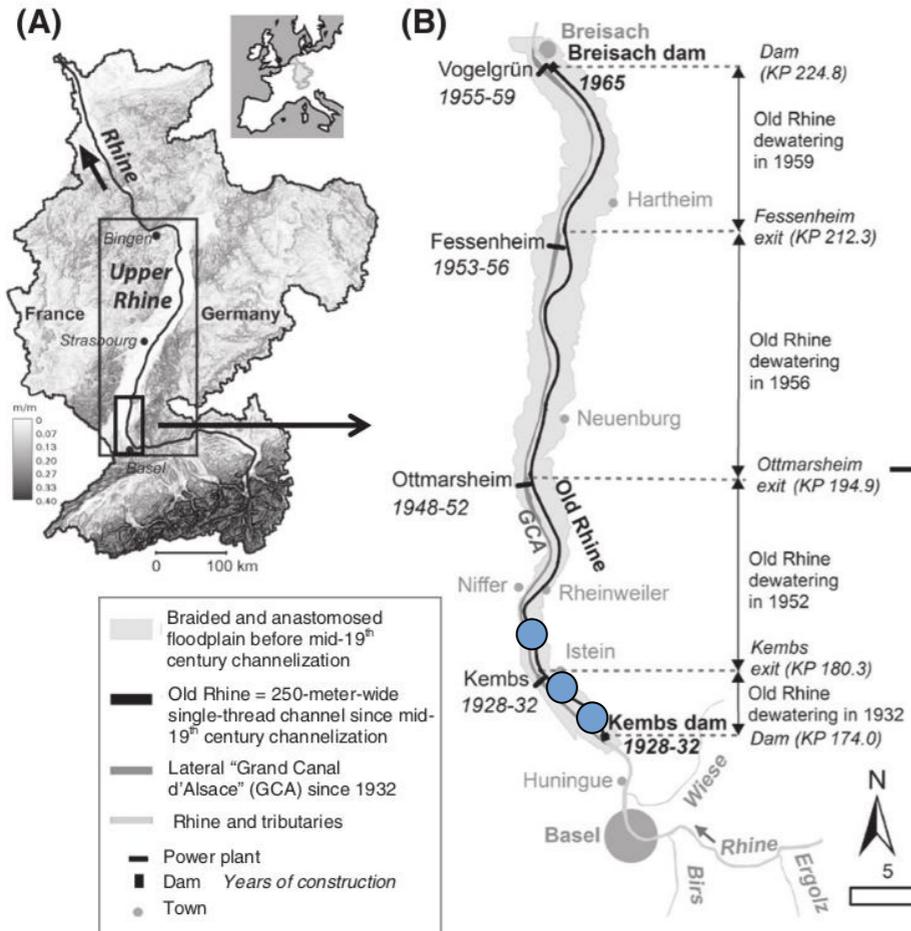


Photo : Laurent SCHMITT



SD	Implementation	KP (km)	Volume (m <sup>3</sup> )	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Mean D <sub>50</sub>
Interreg	October 2010	182.4-183.1	23,000	620	11.00-15.00	2.00-3.50	35.00
Kembs I1	March-April 2015	174.10-174.525	13,000	425	10.00-40.00	2.00-3.50	28.00
Kembs I2	March-April 2016	176.20-176.66	30,000	460	15.00-40.00	2.00-4.50	18.50

## Deux types d'opération de restauration

- Injections sédimentaires (x3)
- Ré-érosion maîtrisée de berge & implantation d'épis transversaux artificiels

Photo : Serge Dumont

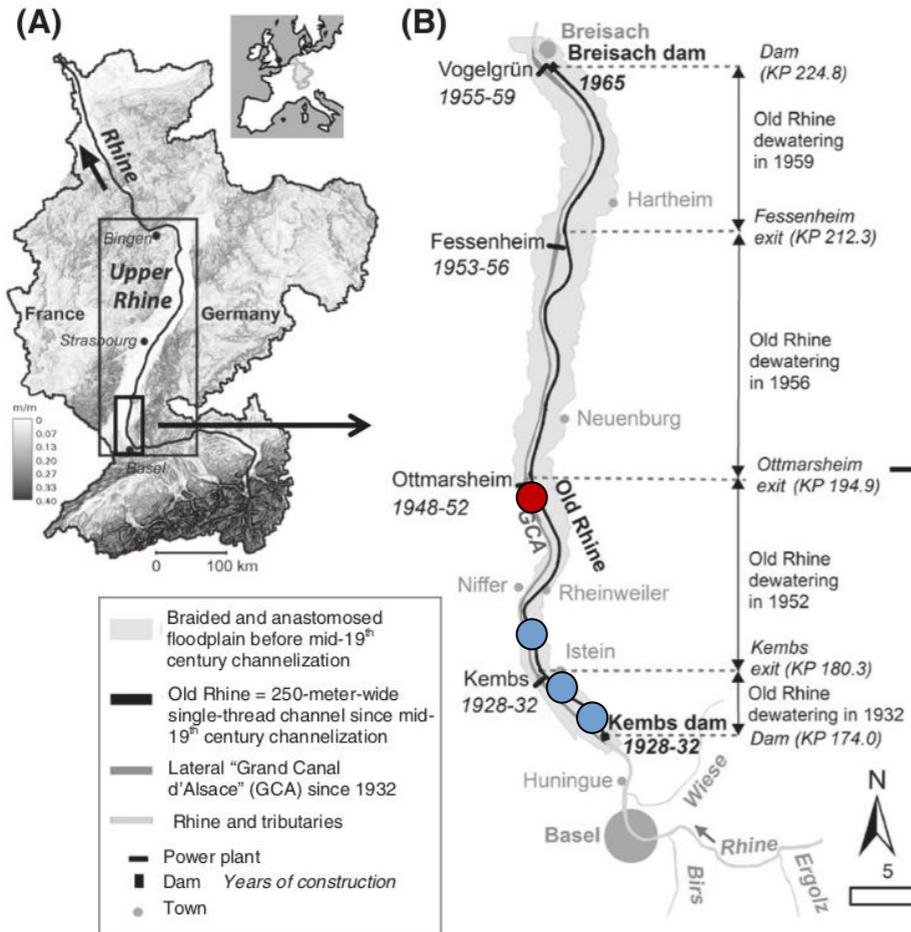
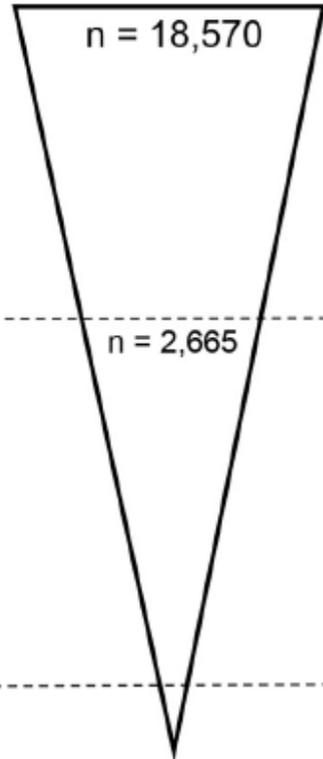


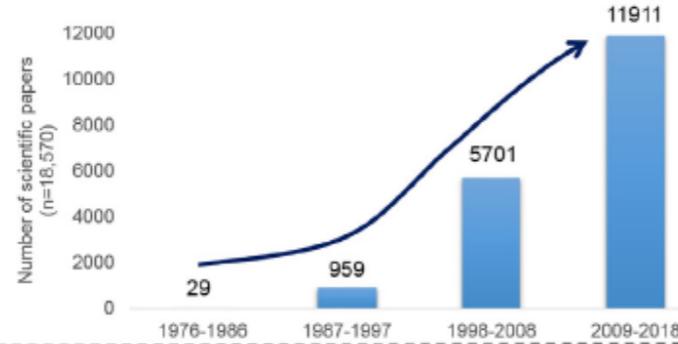
Photo : Laurent SCHMITT



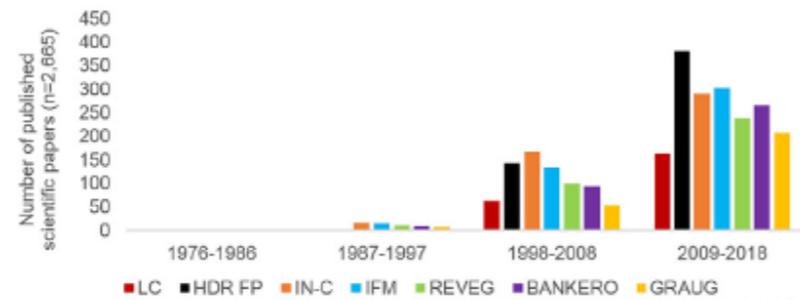
# Des actions inédites



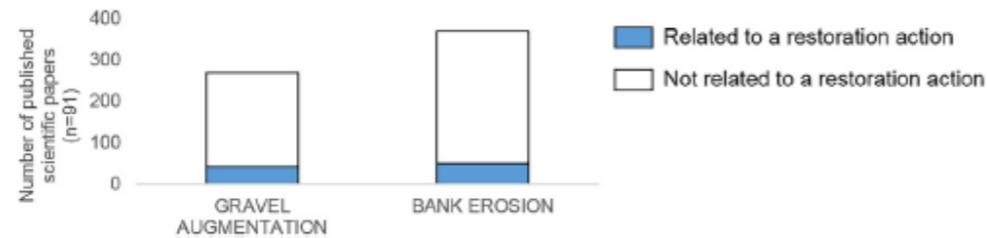
A. Overview on 40 years



B. Number of papers concerning each main group of words by decade (Table 1)



C. Part of the papers relating to restoration action by sediment supply using gravel augmentation or bank erosion

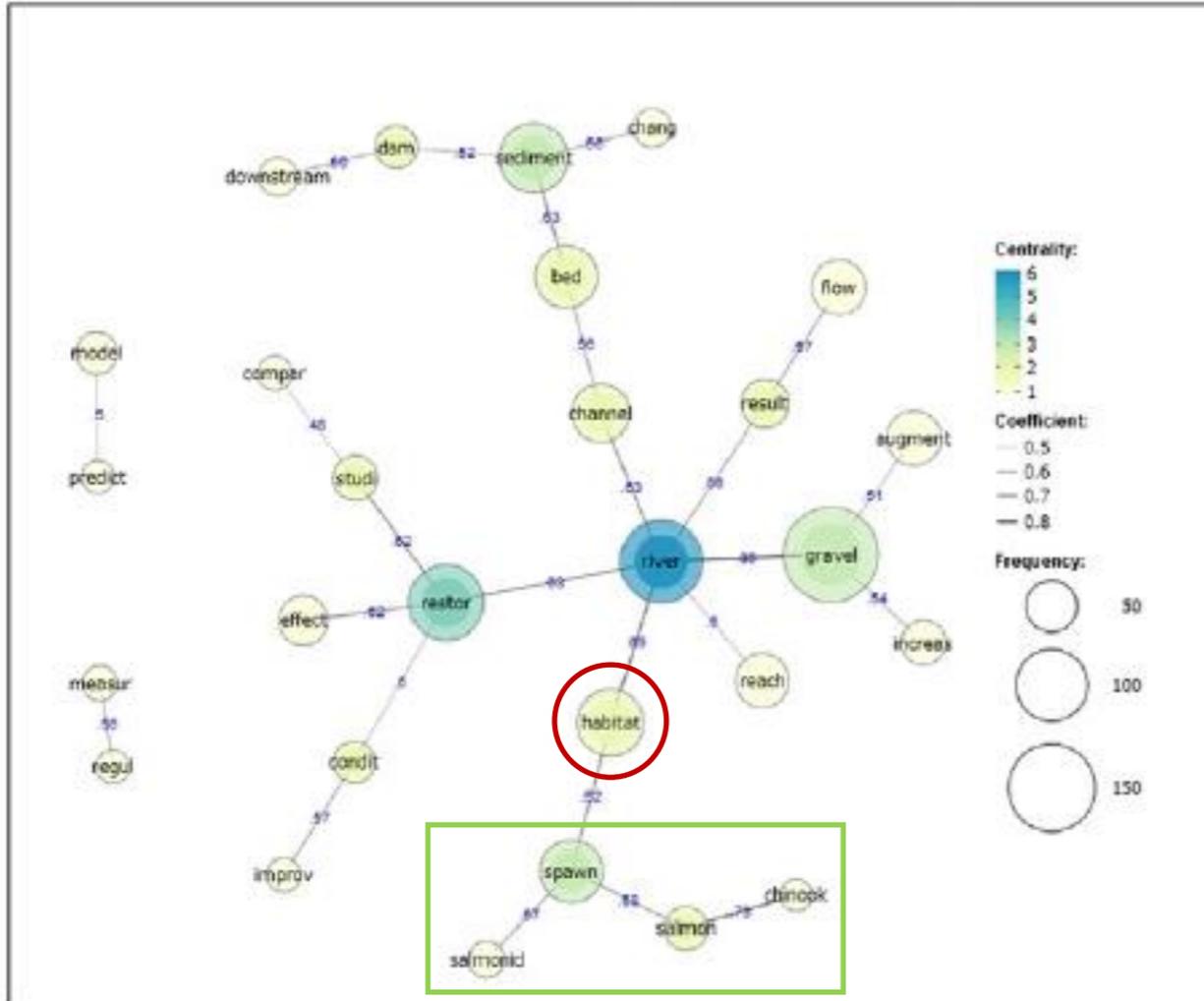


Published restoration projects until 2018 (issued from WOS research)

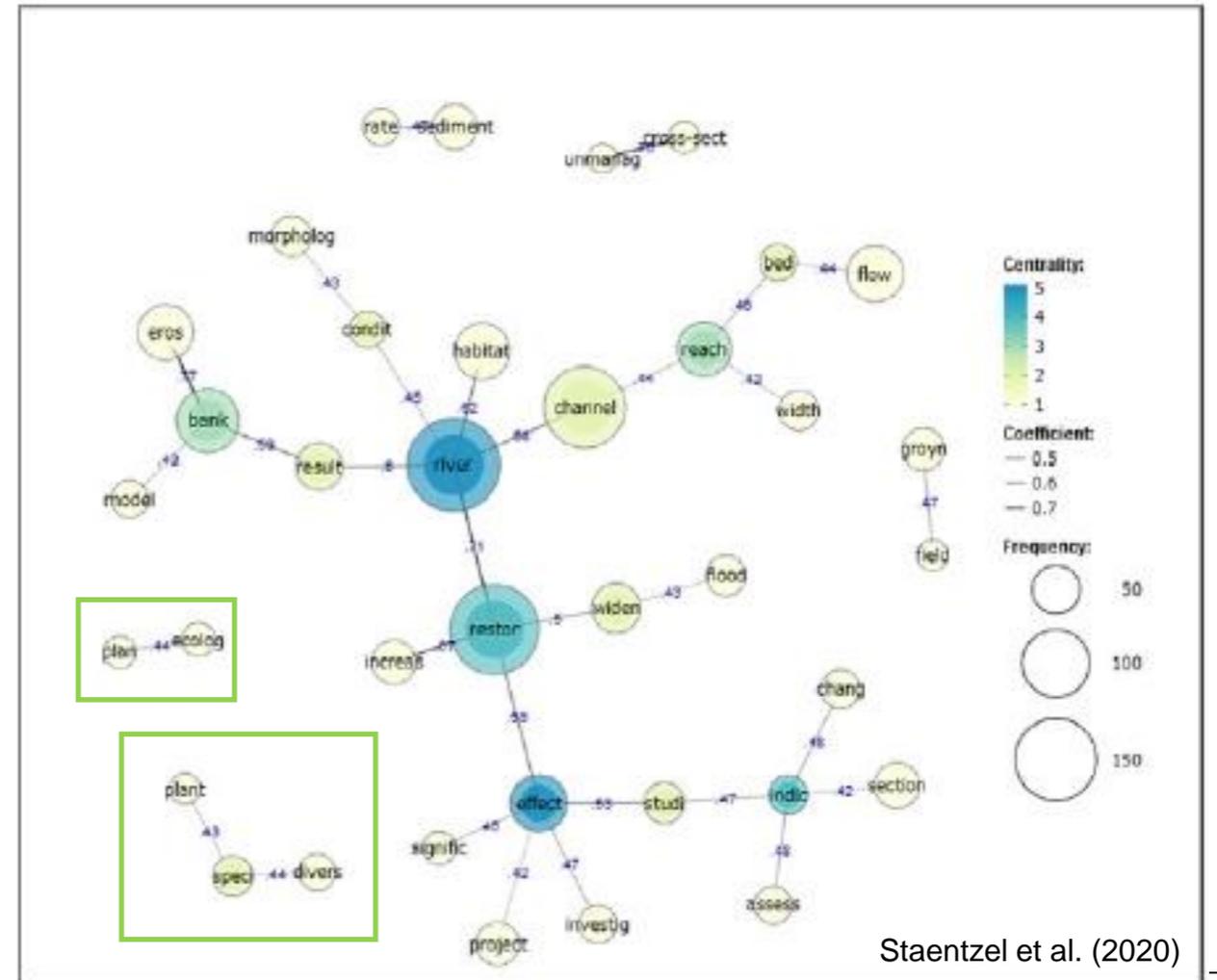
- Initiating gravel augmentation
- Favoring bank erosion

# Des actions inédites Des enjeux similaires en géomorphologie – différents en écologie/biologie

A. GRAVEL AUGMENTATION: degree of centrality



C. BANK EROSION (+ groynes): degree of centrality

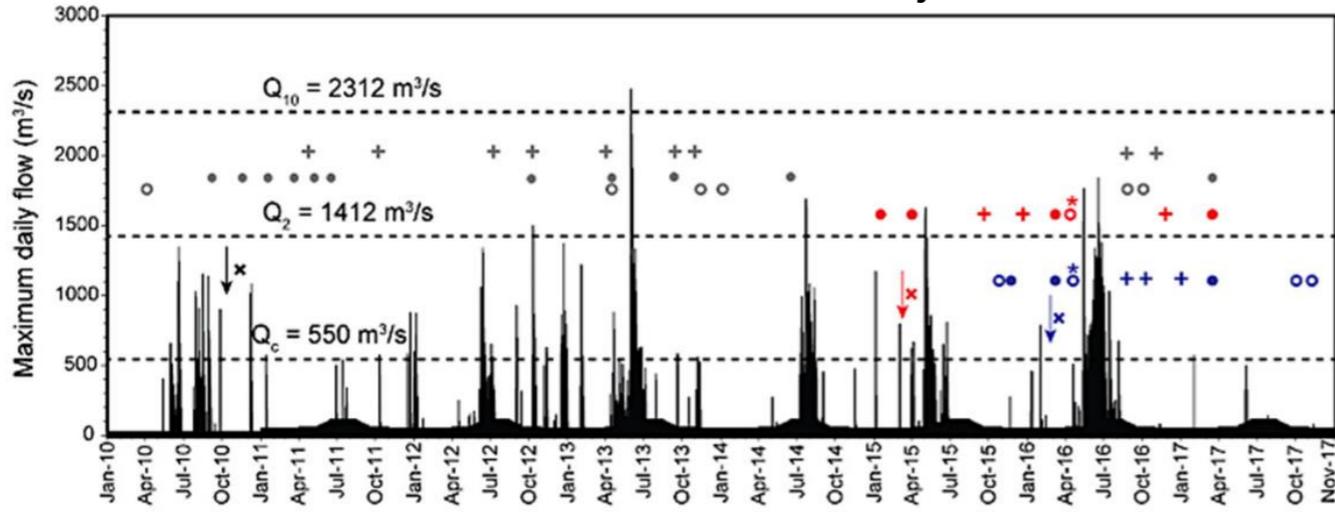


Staentzel et al. (2020)

**Nœud de liaison** - Termes liés à des notions d'évaluation/suivi biologique-écologique

# Cadre du suivi géomorphologique

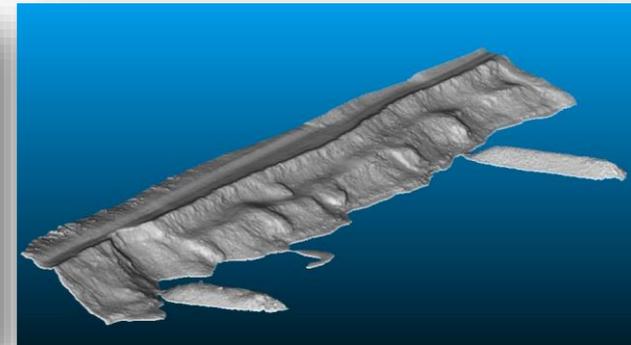
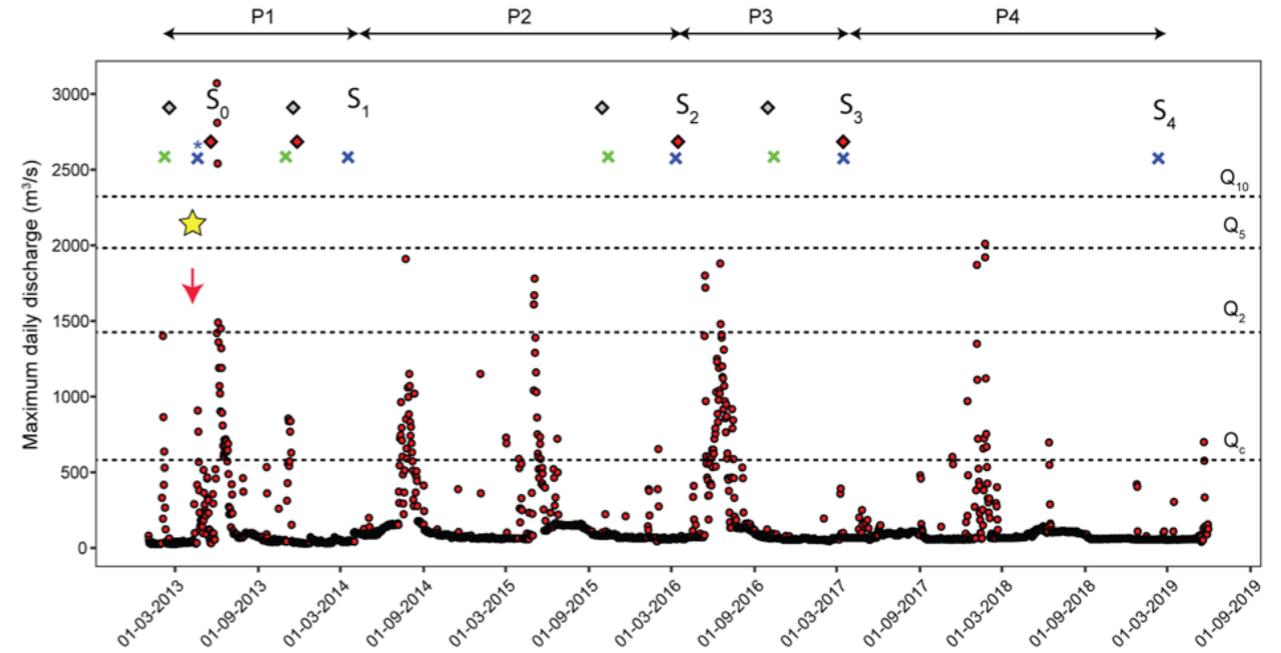
## Injections sédimentaires



- × PIT-Tag injection
- + PIT-Tag tracking
- Grain size survey
- ↓ SDs Work completed
- Topo-bathymetric survey

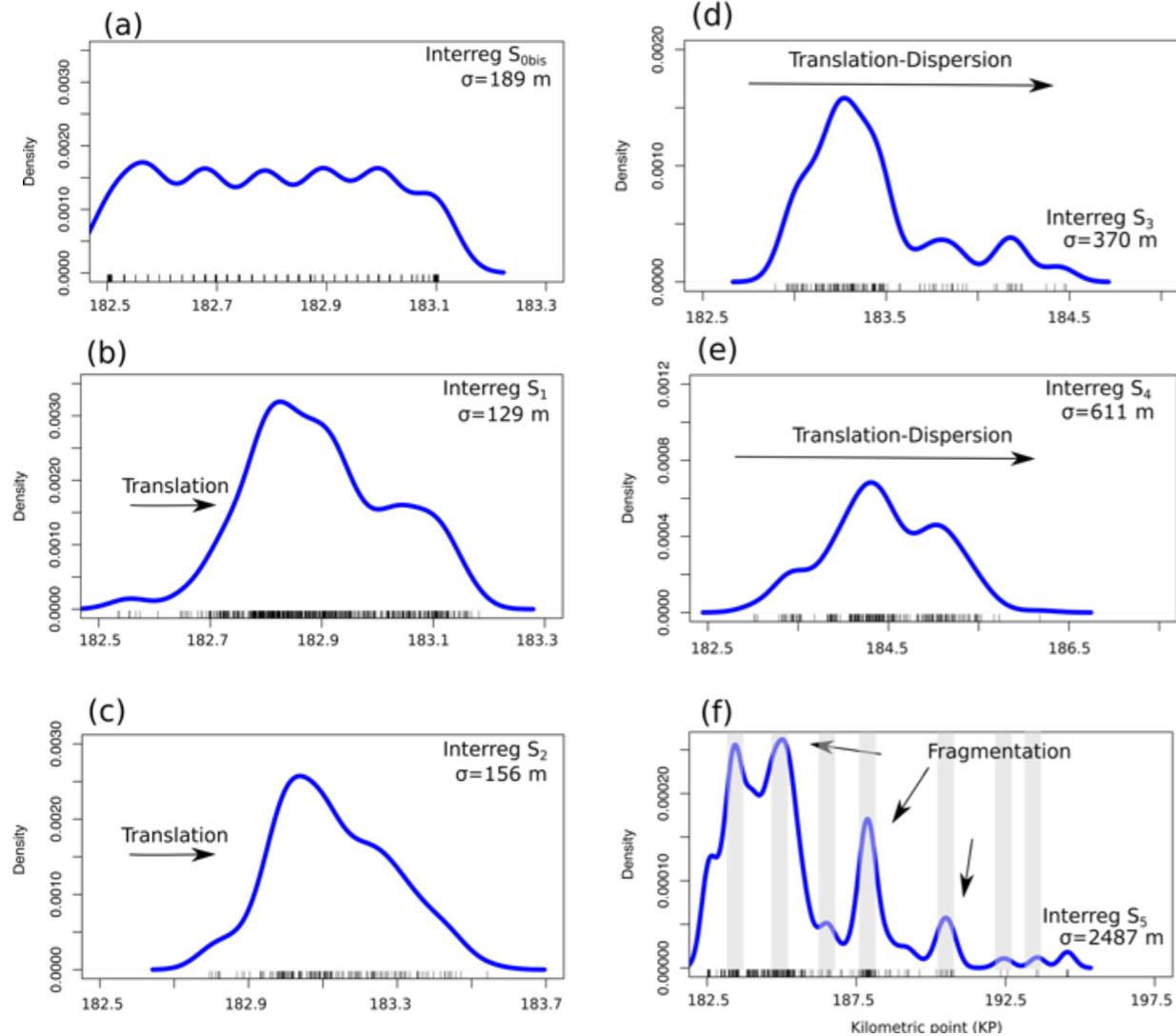


## Ré-érosion maîtrisée



Schmitt (2016)

## Résultats du suivi géomorphologique – injections sédimentaires



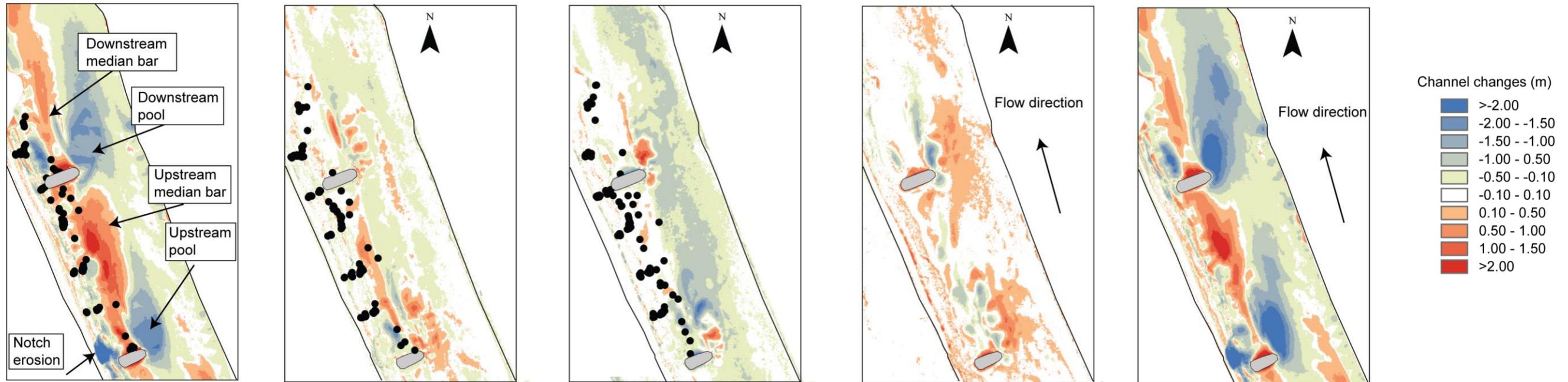
✓ À court-terme : translation et/ou dispersion de la vague sédimentaire

✓ À moyen-terme : fragmentation de la vague sédimentaire...

✓ ...réhabilitation potentielle de zones de frai pour les salmonidés

✓ **Effets non durables** lié à l'absence d'une fourniture sédimentaire provenant des tronçons amonts

## Résultats du suivi géomorphologique – ré-érosion maîtrisée



✓ Fourniture sédimentaire très faible par érosion latérale de la berge déroctée

✓ Forte augmentation de la diversité morphologique du chenal mais...

✓ ...réhabilitation des formes et non des processus...

✓ ...effets non durables !

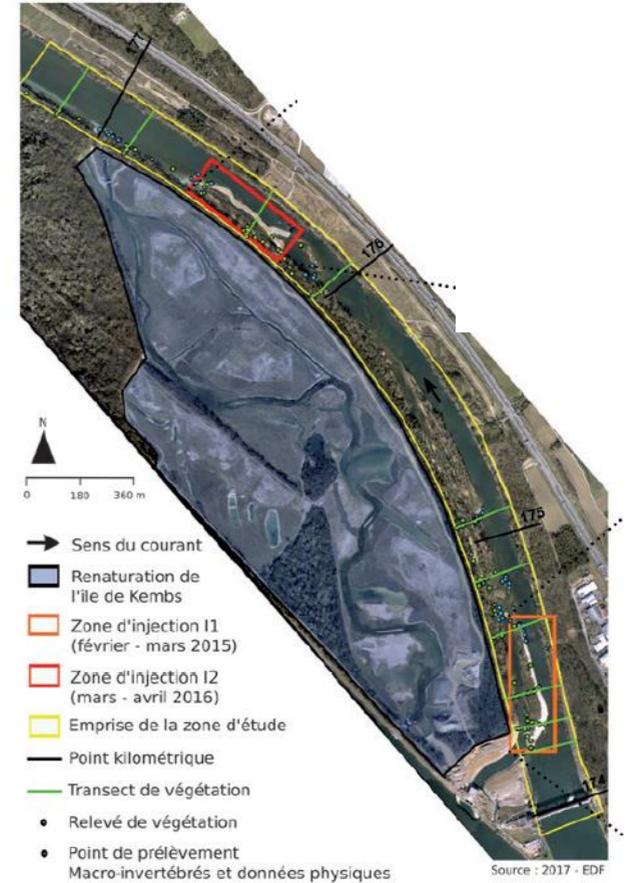
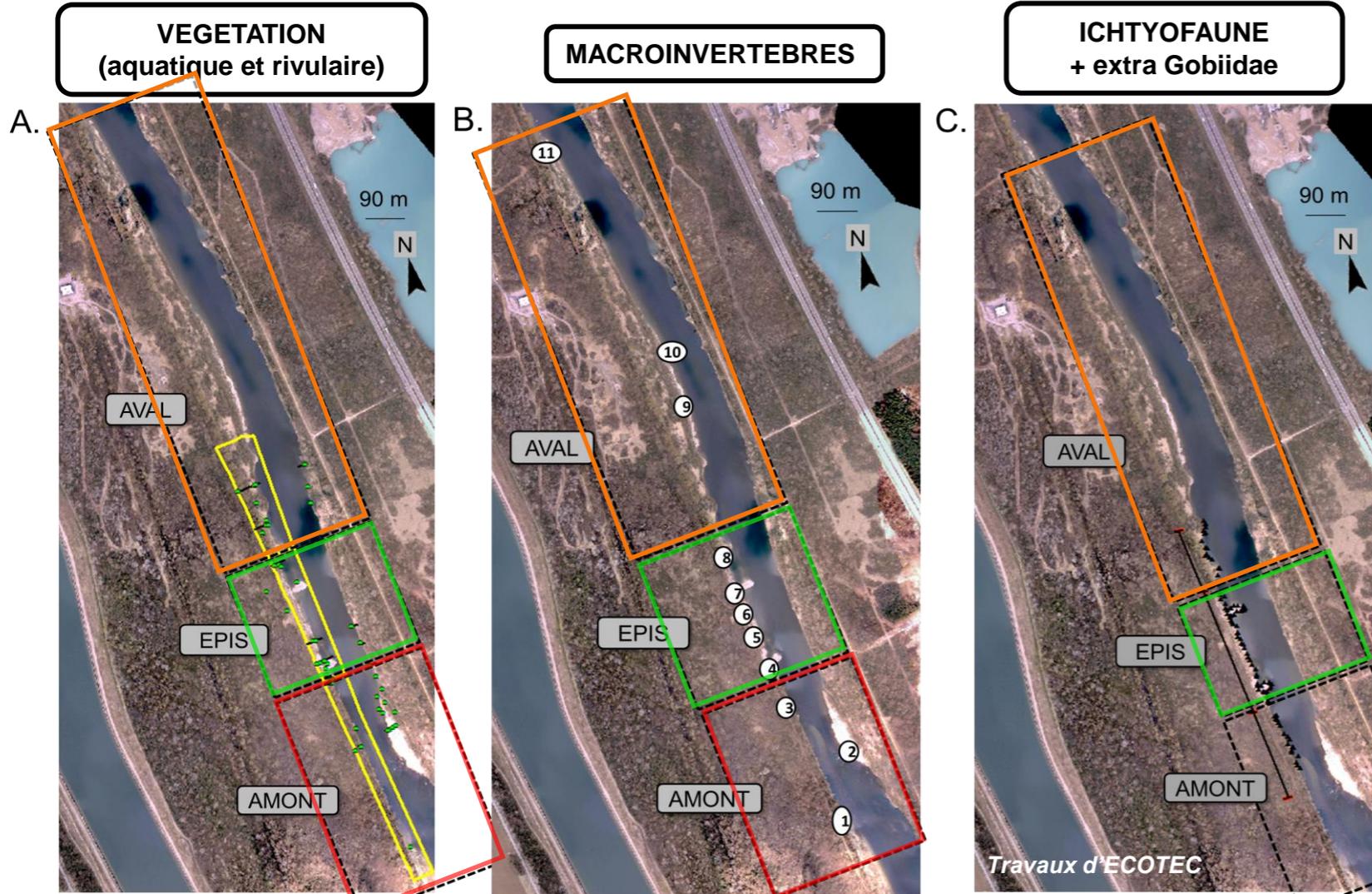
# Cadre du suivi écologique

✓ Approche **interdisciplinaire**

✓ Multi-échelles (du paysage à l'individu)

✓ **Multi-compartiments**

✓ **BACI** – Before-After-Control-Impact  
(Smith et al., 1993)



A. {   
 Délimitation des cartographies végétales  
● Relevés de végétation (2015)  
 Transects de végétation

B. {   
 Station de prélèvement de macroinvertébrés

C. {   
▲ Points de pêches par électricité (ECOTEC, 2016)

Source : 2017 - EDF  
Stentzel et al. (2020)

# Résultats du suivi écologique – Végétation rivulaire & aquatique

Usage et transposition d'outils issus de la géographie ou des mathématiques pour l'évaluation des bénéfices post-restauration

## Configuration, composition et interfaces

- ✓ Développement d'indicateurs d'évaluation et de suivi (Staentzel et al., 2018)
- ✓ Création de ressources pour l'usage opérationnel (en cours)
- ✓ Réflexions méthodologiques (Chardon et al., 2021)

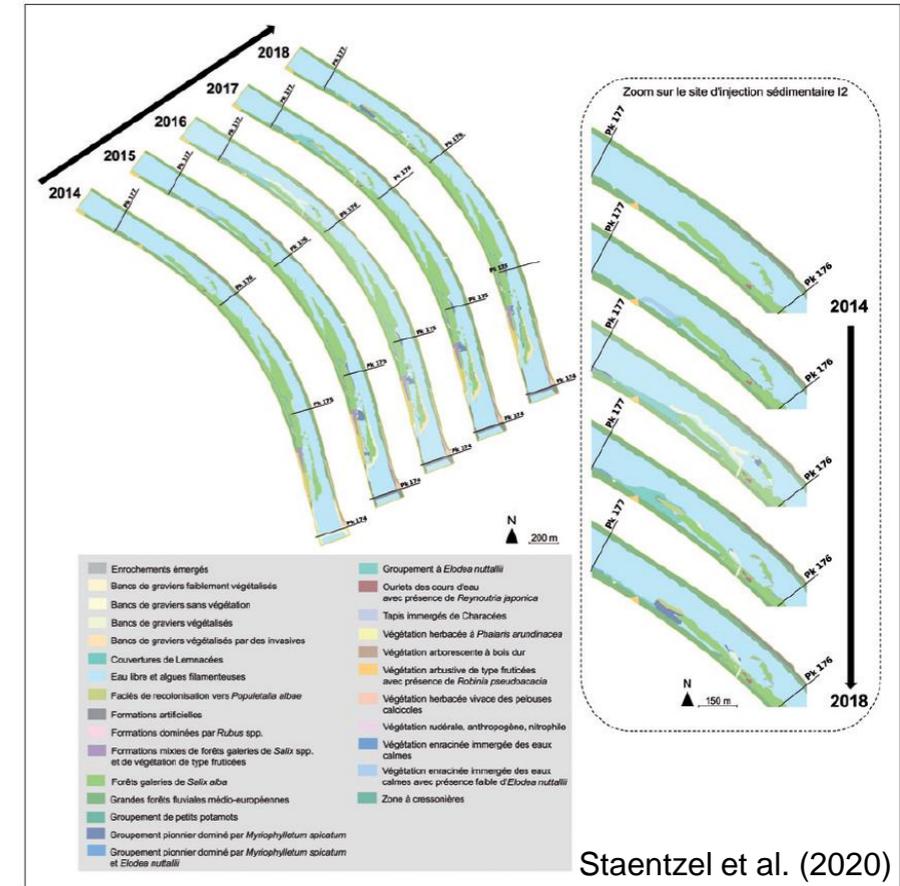
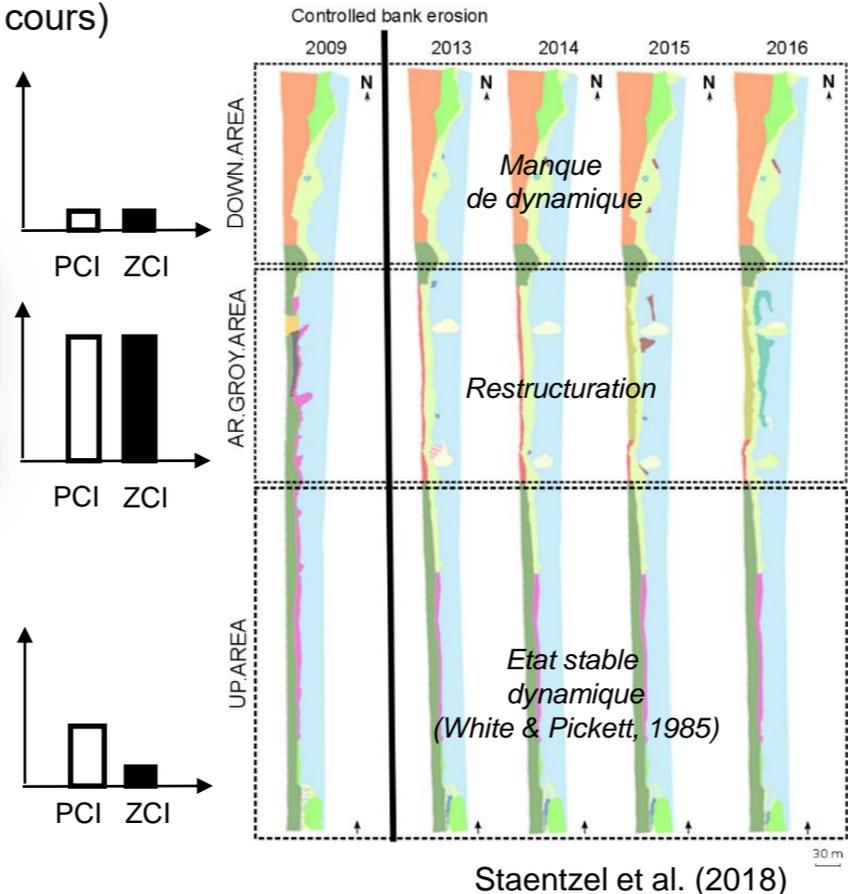
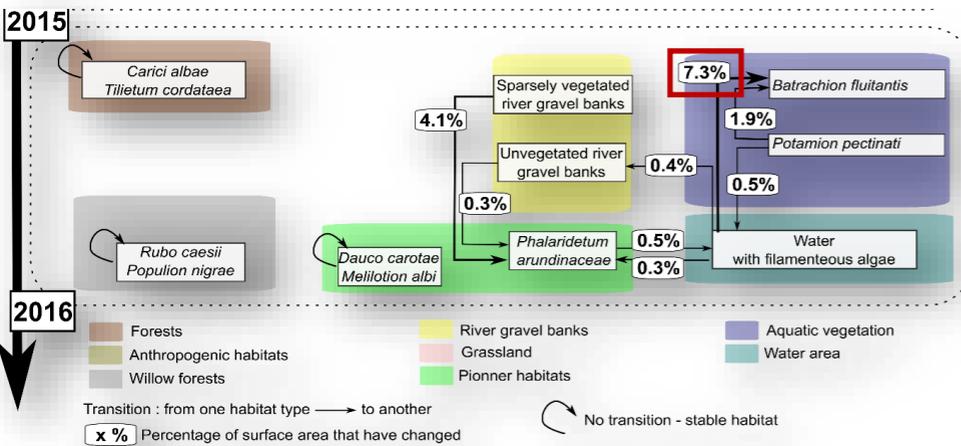
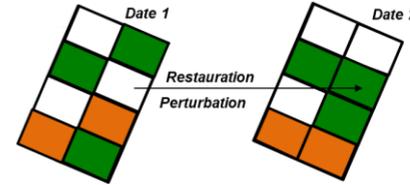
Développement de métriques –  
Staentzel et al., 2018, 2020

$$EHMID = V(v)^2 \cdot V(d)^2 \cdot V(D50)^2$$

$$EHMID = (1 + (\sigma_v/\mu_v))^2 \cdot (1 + (\sigma_d/\mu_d))^2 \cdot (1 + (\sigma_{D50}/\mu_{D50}))^2$$

$$\text{Zonal Change Index, ZCI (\%)} = \frac{\sum_{i=1}^N PCh_i}{2} = \frac{\sum_{i=1}^N |P_{i(d1)} - P_{i(d2)}|}{2}$$

$$\text{Pixel Change Index, PCI (\%)} = \frac{\sum_{i=1}^N PN(\text{changed})}{\sum_{i=1}^N \text{Total PN}}$$

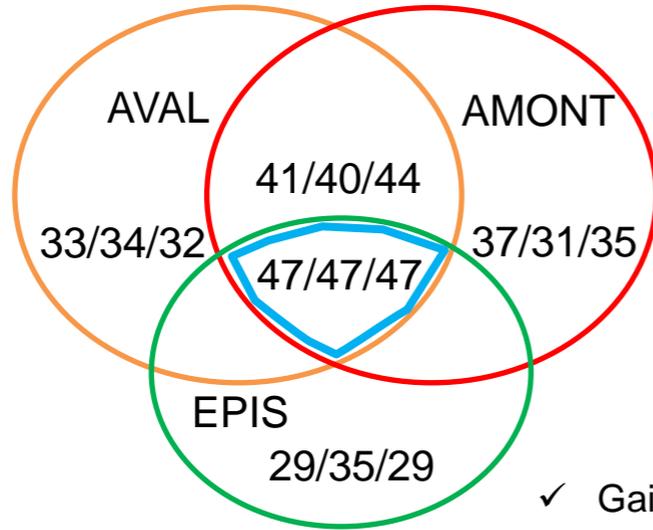


# Résultats du suivi écologique – faune benthique (ré-érosion maîtrisée)

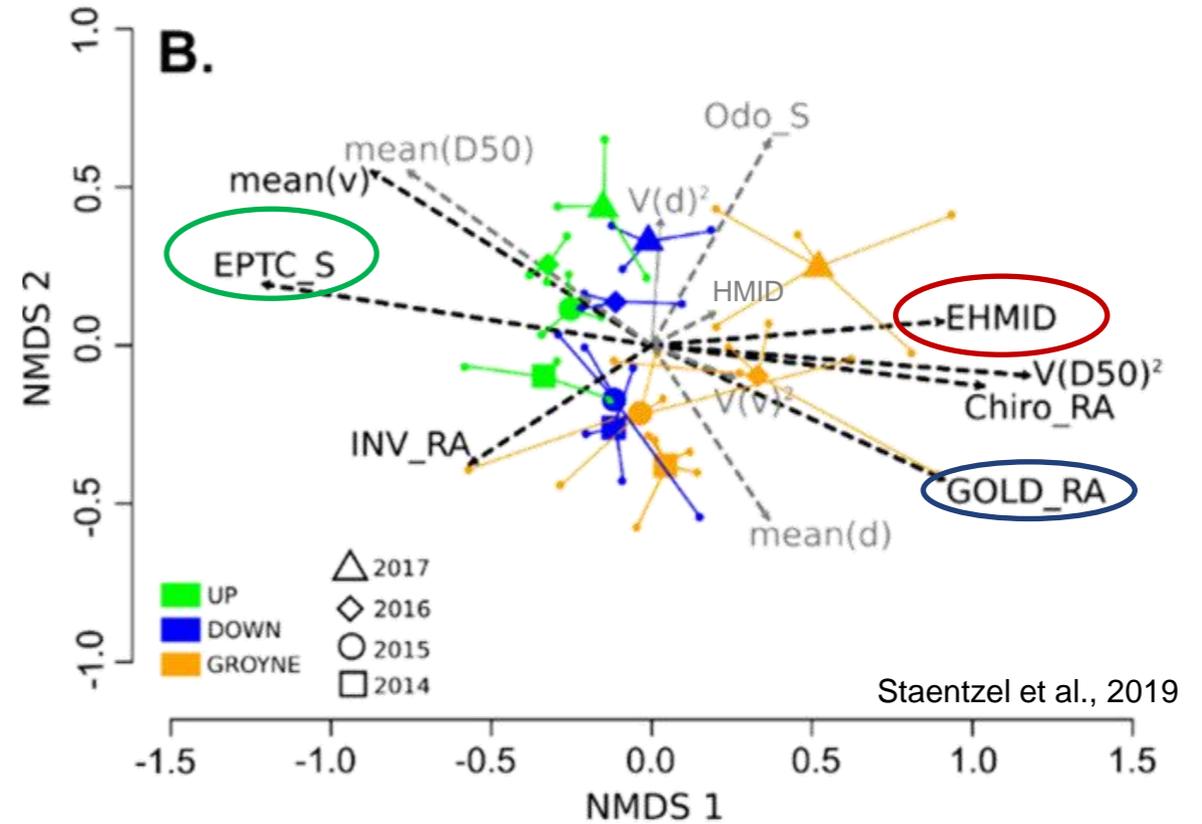


## Approches structurelle et fonctionnelle

Richesse taxonomique  
2014/2015/2016



- ✓ Gain en **hétérogénéité** d'habitats : lentiques vs lotiques
- ✓ Augmentation des **sables** et de espèces inféodées à ce type de substrat
- ✓ Contribution des épis à l'**augmentation** de la richesse globale
- ✓ Apparition d'un **groupe fonctionnel supplémentaire** : espèces fouisseuses, adaptées aux zones de sédimentation

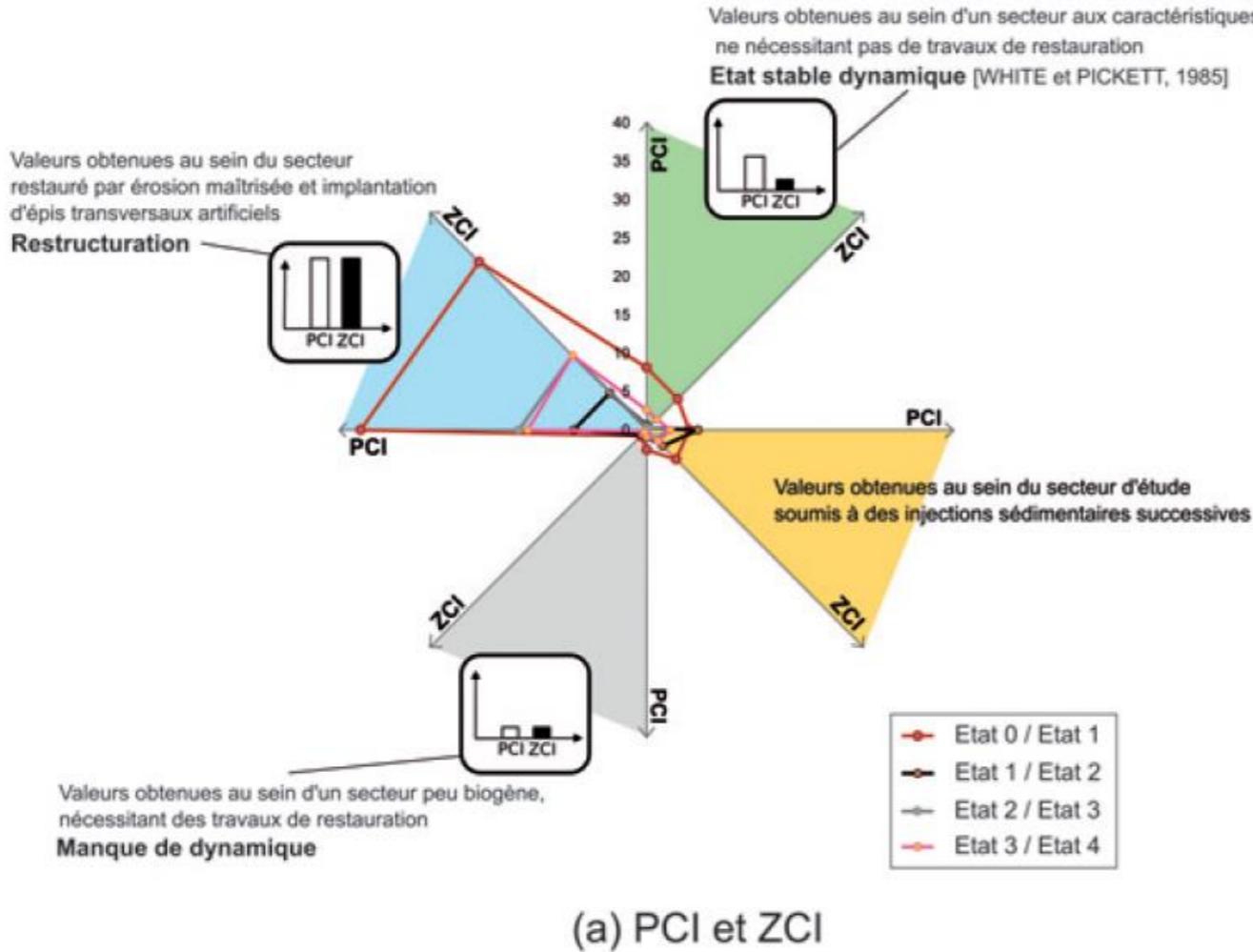


Développement de métriques –  
Staentzel et al., 2018, 2020

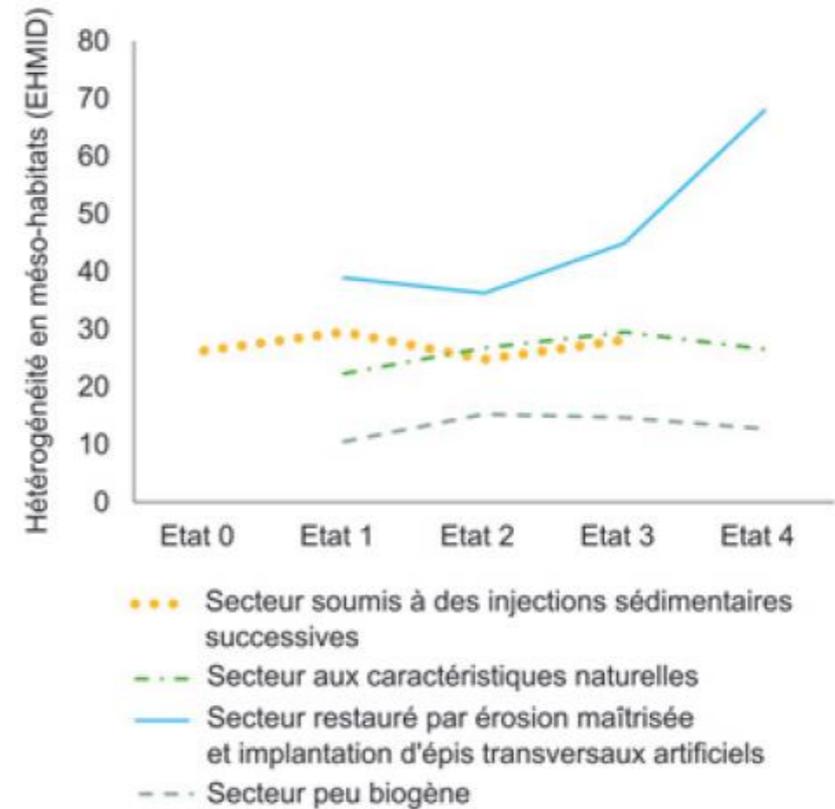
$$EHMID = V(v)^2 \cdot V(d)^2 \cdot V(D50)^2$$

$$EHMID = (1 + (\sigma_v/\mu_v))^2 \cdot (1 + (\sigma_d/\mu_d))^2 \cdot (1 + (\sigma_{D50}/\mu_{D50}))^2$$

# Efficacité et durabilité des actions ? Facteurs se confondant aux bénéfices des actions ?



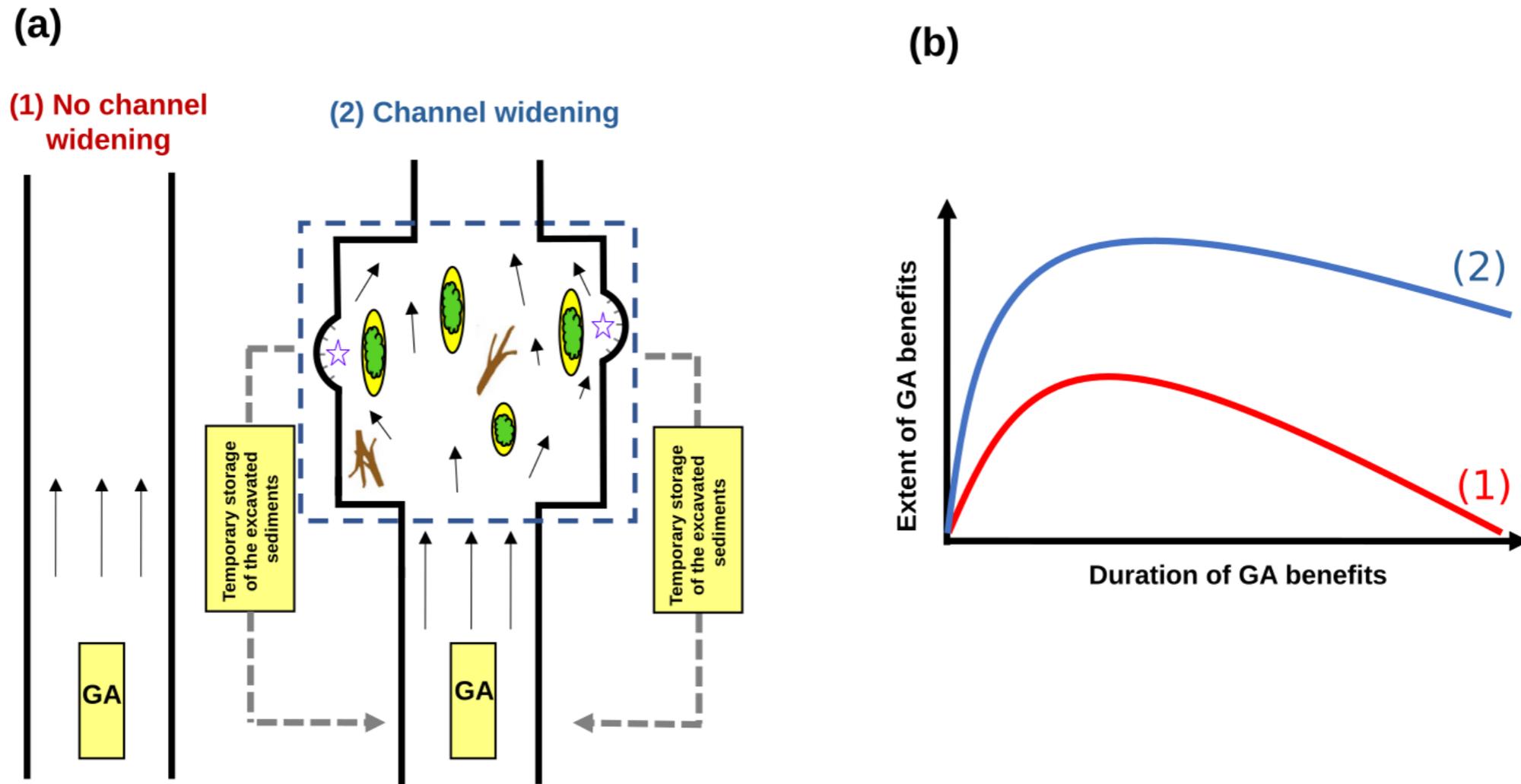
**A. Indicateurs de changements dans le paysage**



(b) EHMID

**B. Indice d'hétérogénéité en habitats**

## Proposition d'un scénario d'une gestion plus durable des rivières fortement régulées



# Références

- ✓ Chardon V., Schmitt L., Clutier A. Groynes implementation to promote bank re-erosion, channel diversification and sediment supply: feedback from a restoration test on the Rhine. *River Research and Applications* (soumis)
  - ✓ Chardon V., Schmitt L., Arnaud F., Piégay H., Clutier A. (2021). Efficiency and sustainability of gravel augmentation to restore large regulated rivers: insights from three experiments on the Rhine River (France/Germany). *Geomorphology*, Vol. 380, 107639. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107639>.
  - ✓ Staentzel, C., Kondolf, G. M., Schmitt, L., Combroux, I., Barillier, A., & Beisel, J. N. (2020). Restoring fluvial forms and processes by gravel augmentation or bank erosion below dams: A systematic review of ecological responses. *Science of The Total Environment*, 706, 135743.
  - ✓ Chardon, V., Schmitt, L., Piégay, H., Beisel, J. N., Staentzel, C., Barillier, A., & Clutier, A. (2020). Effects of Transverse Groynes on Meso-Habitat Suitability for Native Fish Species on a Regulated By-Passed Large River: A Case Study along the Rhine River. *Water*, 12(4), 987.
  - ✓ Staentzel C., Combroux I., Barillier A., Beisel J.N., 2020, "L'étude temporelle des transitions paysagères et de l'hétérogénéité dans la mosaïque d'habitats comme outil d'évaluation des opérations de restauration écologique ? Retours d'expériences et analyse comparative", *Techniques Sciences Méthodes*, 15-29.
  - ✓ Staentzel, C., Combroux, I., Barillier, A., Grac, C., Chanez, E., & Beisel, J. N. (2019). Effects of a river restoration project along the Old Rhine River (France-Germany): Response of macroinvertebrate communities. *Ecological Engineering*, 127, 114-124.
  - ✓ Staentzel, C., Beisel, J. N., Gallet, S., Hardion, L., Barillier, A., & Combroux, I. (2018). A multiscale assessment protocol to quantify effects of restoration works on alluvial vegetation communities. *Ecological Indicators*, 90, 643-652.
  - ✓ Staentzel, C., Combroux, I., Barillier, A., Schmitt, L., Chardon, V., Garnier, A., & Beisel, J. N. (2018). Réponses des communautés biologiques à des actions de restauration de grands fleuves (Vieux Rhin, France). *La Houille Blanche*, (2), 99-106.
  - ✓ David, G. M., Staentzel, C., Schlumberger, O., Perrot-Minnot, M. J., Beisel, J. N., & Hardion, L. (2018). A minimalist macroparasite diversity in the round goby of the Upper Rhine reduced to an exotic acanthocephalan lineage. *Parasitology*, 145(8), 1020-1026.
  - ✓ Staentzel, C., Arnaud, F., Combroux, I., Schmitt, L., Trémolières, M., Grac, C., ... & Beisel, J. N. (2018). How do instream flow increase and gravel augmentation impact biological communities in large rivers: A case study on the Upper Rhine River. *River Research and Applications*, 34(2), 153-164.
-

**Merci pour votre attention**

Peinture : P. Birmann, 1758-1844