

# Augmentation des sédiments en aval des barrages

Christian Mörtl (1),

Giovanni De Cesare (1)

(1)

**EPFL**

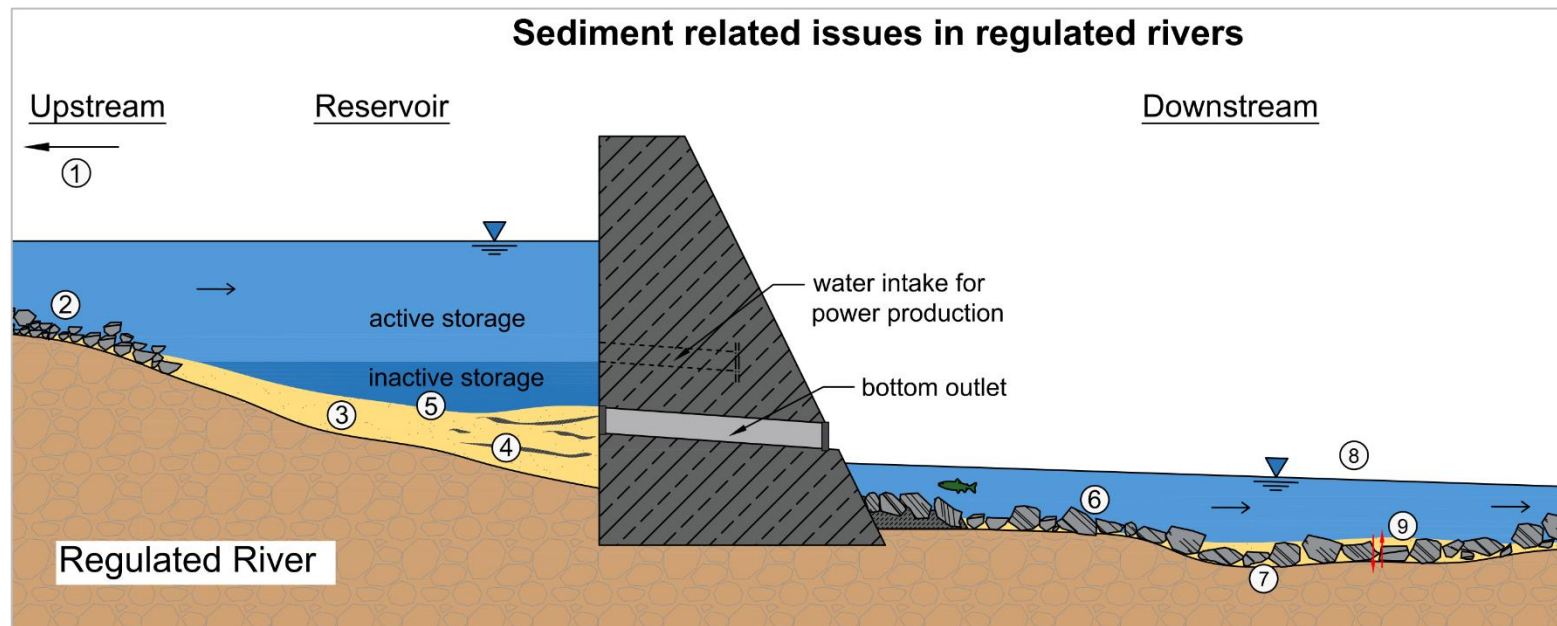


# Contenu

1. Contexte
2. Restrictions
3. Objectives
4. Critères de conceptions
5. Contrôle des effets

# Contexte

## Continuité sédimentaire interrompue



modifié de (Mörtl et al. 2020)

### Effets morphologiques

#### En amont

(1) Accumulation de sédiments

#### Réservoir

- (2) Rétention des sédiments grossiers
- (3) Rétention des sédiments fins
- (4) Rétention de matière organique
- (5) Sédimentation du réservoir

#### En aval

- (6) Développement d'une couche de pavage
- (7) Incision du lit
- (8) Perte de morpho-dynamiques
- (9) Colmatage des interstices

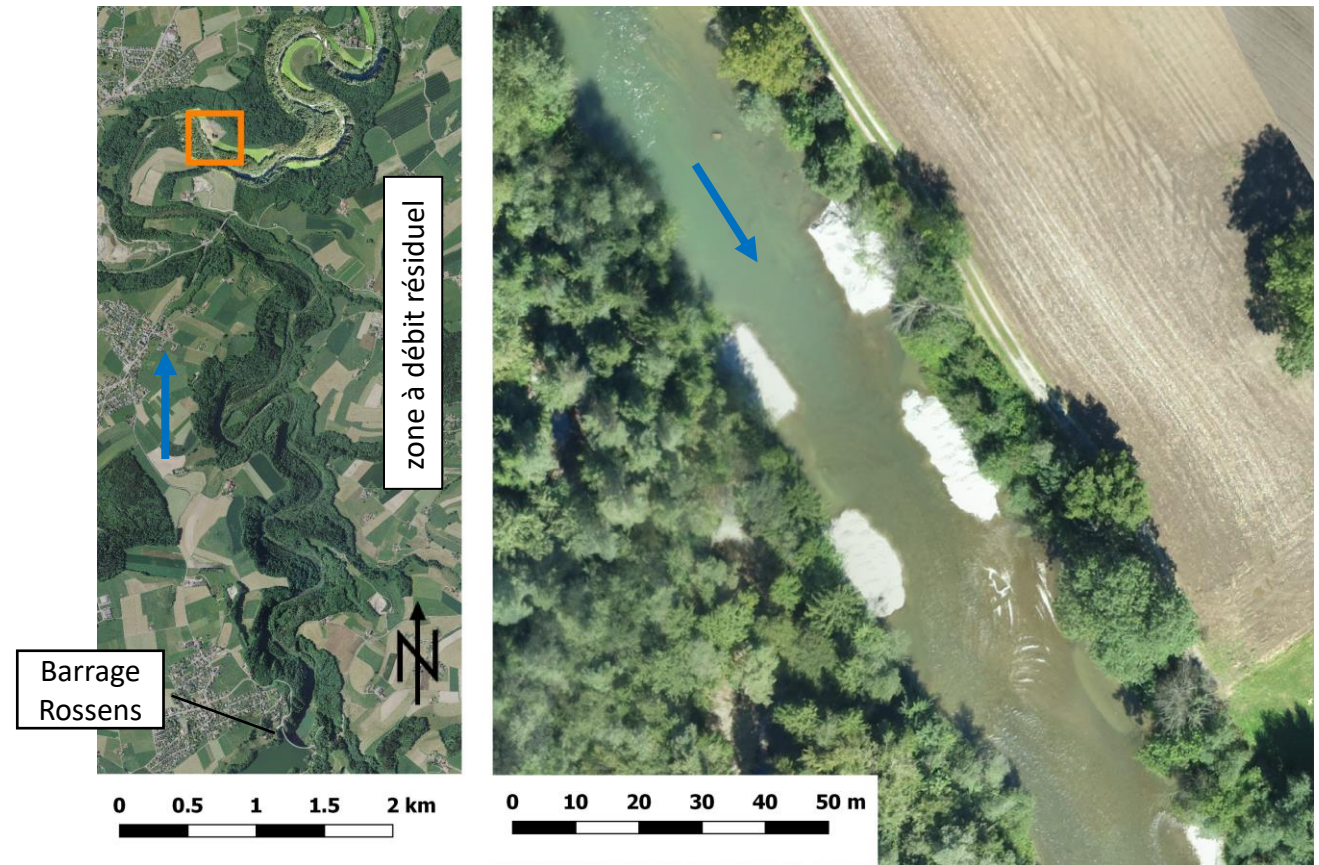


# Contexte

## Petite Sarine

|                              |                                                                      |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Barrage</b>               | Rossens<br>construction 1944-48                                      |
| <b>Réservoir</b>             | Lac de Gruyère<br>170 mio. m <sup>3</sup>                            |
| <b>Zone à débit résiduel</b> | Petite Sarine<br>13 km<br>débit résiduel 2.5 - 3.5 m <sup>3</sup> /s |

- dégradations importantes des caractéristiques écologiques et morphologiques des habitats et de la composition des communautés de vie
- colmatage du lit de la rivière
- forte croissance des algues

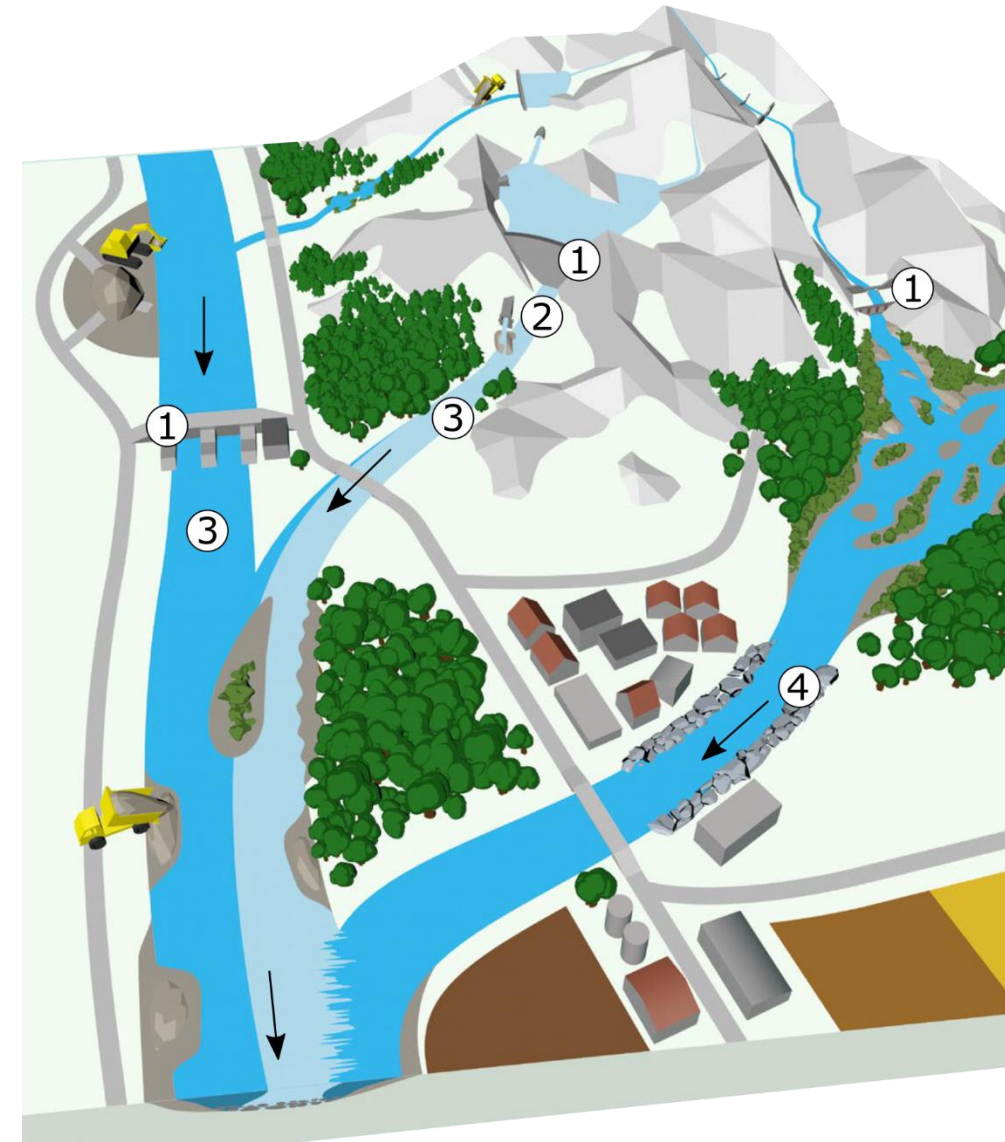


(Stähly et al. 2019)

# Restrictions

## Section de revitalisation

- (1) Discontinuités sédimentaires
- (2) Débit résiduel faible et constant
- (3) Pas de débit morphologiques majeures récurrentes
- (4) Limitations latérales pour les élargissements de cours d'eau



modifié de BAFU (Hrsg.). (2017); Illustration: Marcel Schneeberger, Manuela Di Giulio



# Restrictions

## Petite Sarine

- (1) Discontinuités sédimentaires
- (2) Débit résiduel faible et constant
- (3) Pas de débit morphologiques majeures récurrentes
- (4) Limitations latérales pour les élargissements de cours d'eau

➤ Section de revitalisation: 100m – 1km



modifié de BAFU (Hrsg.). (2017); Illustration: Marcel Schneeberger, Manuela Di Giulio

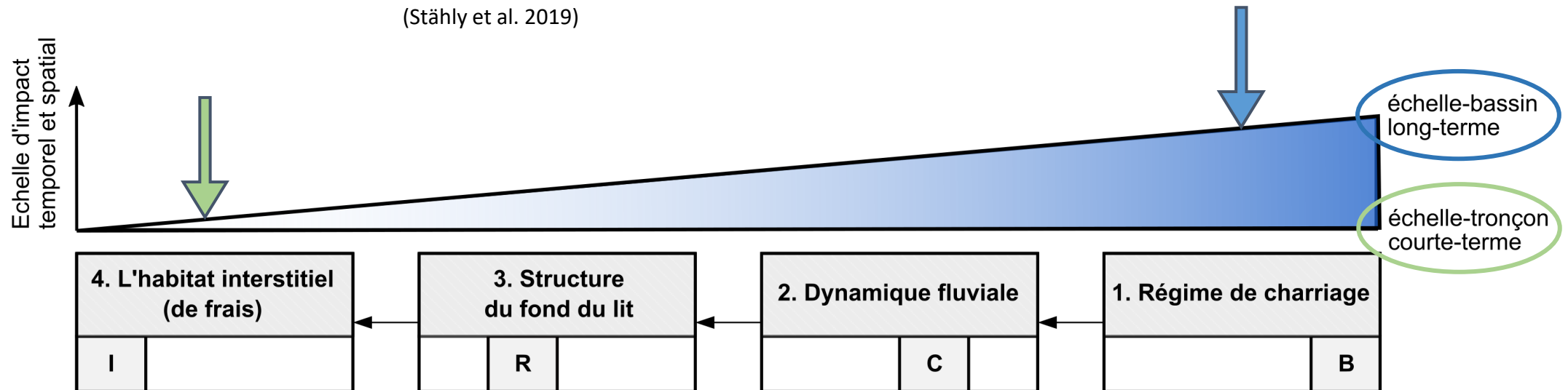
# Objectives

## Générale



(Stähly et al. 2019)

Des mesures d'augmentation des sédiments (MAS) visent à promouvoir les processus morphologiques et écologiques dans un cours d'eau à des échelles temporelles et spatiales variables.



modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

# Objectives

## Exemples globales

### Japon

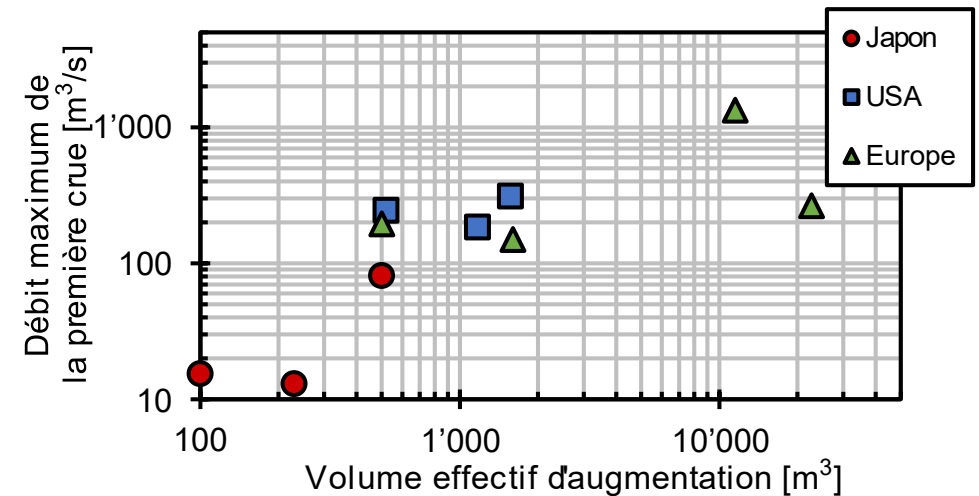
Réduire la sédimentation et rétablir la continuité des sédiments à travers des réservoirs

### Etats-Unis

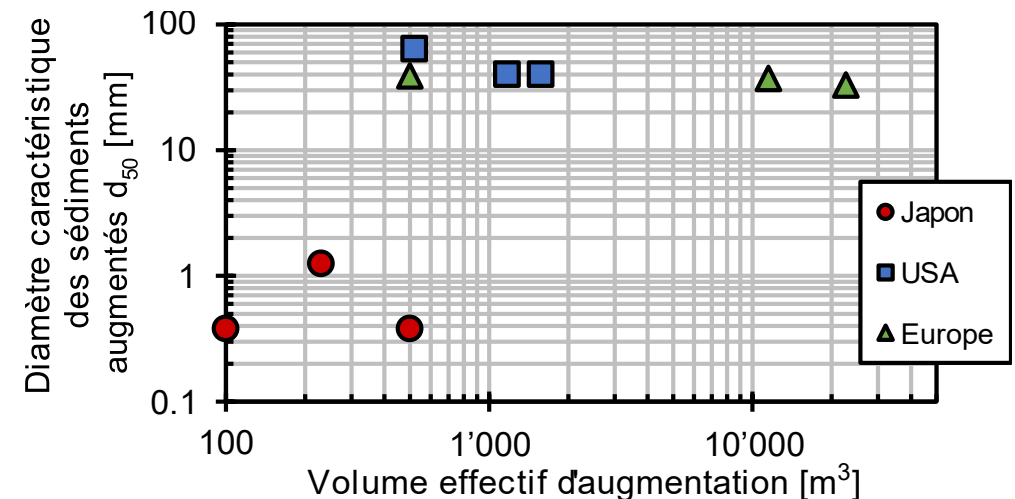
Réhabilitation de l'habitat de frai pour les salmonidés

### Europe

Modifier les processus morphologiques et stimuler une amélioration des conditions écologiques



(Mörtl and De Cesare 2021)



(Mörtl and De Cesare 2021)

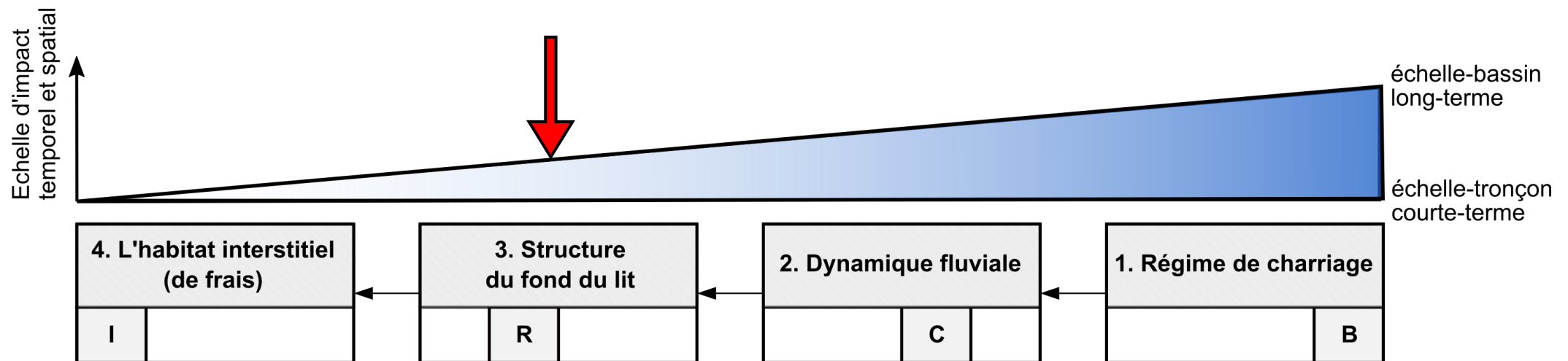


# Objectives

## Petite Sarine

### Objective:

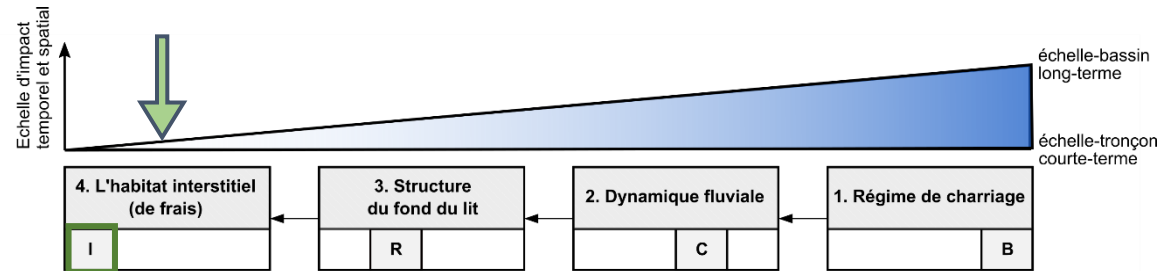
Augmenter la diversité hydro-morphologique dans la zone du lit existant  
pour améliorer la qualité des habitats fluviaux dans la section de revitalisation



modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

# Critères de conception

## Approche conceptuelle



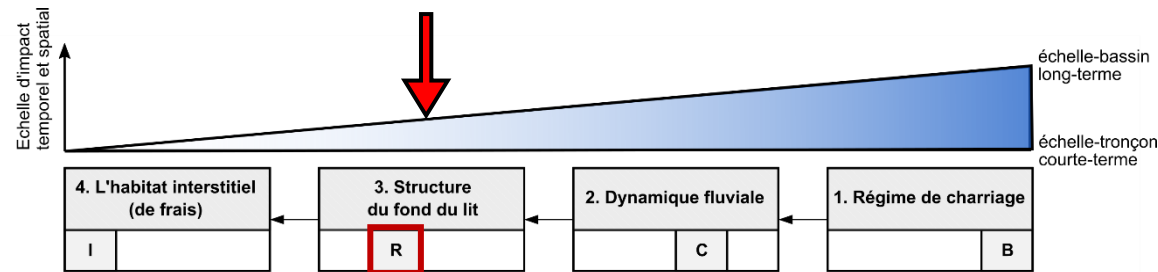
modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

|                            |                                               | I | R | C | B |
|----------------------------|-----------------------------------------------|---|---|---|---|
| <b>Design Approaches</b>   |                                               |   |   |   |   |
| <b>Sediment Properties</b> | Spawning substrate                            | ✓ |   |   |   |
|                            | Sediment mix                                  |   | ✓ | ✓ |   |
|                            | Bedload material                              |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| <b>Volume</b>              | Missing spawning substrate                    | ✓ |   |   |   |
|                            | Morpho-dynamically required volume            |   | ✓ | ✓ |   |
|                            | Bedload deficit                               |   |   | ✓ | ✓ |
| <b>Injection Method</b>    | In-channel injection                          | ✓ | ✓ |   |   |
|                            | Stockpile                                     | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | High-flow constant injection                  | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Induced riverbank erosion                     |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Reactivation of old side channels             |   |   |   | ✓ |
| <b>Mobilization Event</b>  | None                                          | ✓ | ✓ |   |   |
|                            | Natural flood                                 |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Environmental flow release                    | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Reservoir flushing                            |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| <b>Period</b>              | Before spawning period of target fish species | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Before peak annual discharge                  |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| <b>Frequency</b>           | One / two years                               | ✓ |   |   | ✓ |
|                            | Based on constant assessment                  | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

# Critères de conception

## Petite Sarine



modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

### Propriété de Sédiment

Sédiment à granulométrie hétérogène, provenant de la plaine d'inondation adjacente ( $d_{90} = 11.3\text{cm}$ )

### Volume

Volume de test basé sur des essais de modèles physiques ( $1000\text{ m}^3$ )

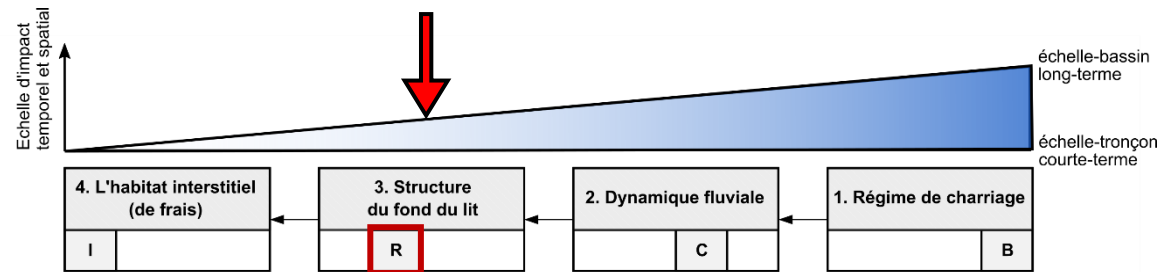
|                     |                                               | I | R | C | B |
|---------------------|-----------------------------------------------|---|---|---|---|
| Sediment Properties | Design Approaches                             |   |   |   |   |
|                     | Spawning substrate                            | ✓ |   |   |   |
|                     | Sediment mix                                  |   | ✓ | ✓ |   |
| Volume              | Bedload material                              |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                     | Missing spawning substrate                    | ✓ |   |   |   |
|                     | Morpho-dynamically required volume            |   | ✓ | ✓ |   |
| Injection Method    | Bedload deficit                               |   |   | ✓ | ✓ |
|                     | In-channel injection                          | ✓ | ✓ |   |   |
|                     | Stockpile                                     | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                     | High-flow constant injection                  | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                     | Induced riverbank erosion                     |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| Mobilization Event  | Reactivation of old side channels             |   |   |   | ✓ |
|                     | None                                          | ✓ | ✓ |   |   |
|                     | Natural flood                                 |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                     | Environmental flow release                    | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Period              | Reservoir flushing                            |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                     | Before spawning period of target fish species | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                     | Before peak annual discharge                  |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| Frequency           | One / two years                               | ✓ |   |   | ✓ |
|                     | Based on constant assessment                  | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)



# Critères de conception

## Petite Sarine



modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

### Méthode d'injection

Quatre dépôts, placés en configuration alternée à l'intérieur du canal le long des berges

### Evènement de mobilisation

Lâché d'eau artificiel 2016, 2020

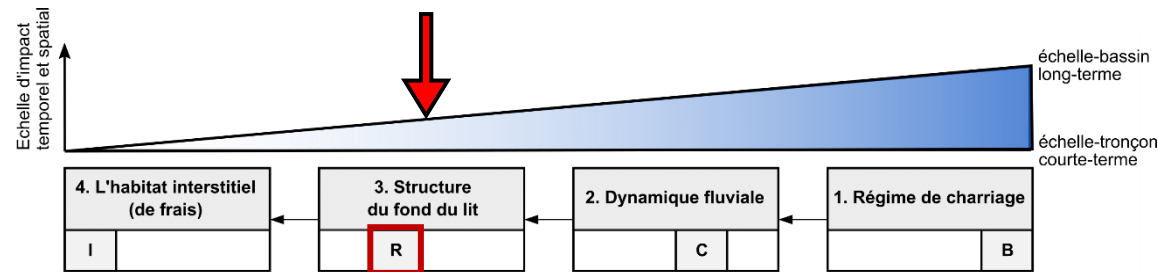
( $T \approx 24h$ ;  $Q_{\max} \approx 190m^3/s$ )

|                            |                                               | I | R | C | B |
|----------------------------|-----------------------------------------------|---|---|---|---|
|                            | <b>Design Approaches</b>                      |   |   |   |   |
| <b>Sediment Properties</b> | Spawning substrate                            | ✓ |   |   |   |
|                            | Sediment mix                                  |   | ✓ | ✓ |   |
|                            | Bedload material                              |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| <b>Volume</b>              | Missing spawning substrate                    | ✓ |   |   |   |
|                            | Morpho-dynamically required volume            |   | ✓ | ✓ |   |
|                            | Bedload deficit                               |   |   | ✓ | ✓ |
| <b>Injection Method</b>    | In-channel injection                          | ✓ | ✓ |   |   |
|                            | Stockpile                                     | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | High-flow constant injection                  | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Induced riverbank erosion                     |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Reactivation of old side channels             |   |   |   | ✓ |
| <b>Mobilization Event</b>  | None                                          | ✓ | ✓ |   |   |
|                            | Natural flood                                 |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Environmental flow release                    | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <b>Period</b>              | Reservoir flushing                            |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Before spawning period of target fish species | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Before peak annual discharge                  |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| <b>Frequency</b>           | One / two years                               | ✓ |   |   | ✓ |
|                            | Based on constant assessment                  | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

# Critères de conception

## Petite Sarine



modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

### Période

Lâché d'eau artificiel à la fin de l'été, pour détacher les algues nuisibles et avant la saison de frai

### Fréquence

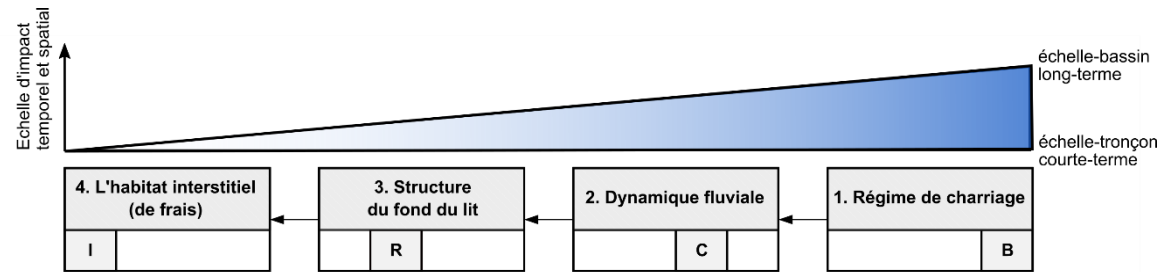
Basé sur une évaluation constante de l'état écologique

|                            |                                               | I | R | C | B |
|----------------------------|-----------------------------------------------|---|---|---|---|
|                            | <b>Design Approaches</b>                      |   |   |   |   |
| <b>Sediment Properties</b> | Spawning substrate                            | ✓ |   |   |   |
|                            | Sediment mix                                  |   | ✓ | ✓ |   |
|                            | Bedload material                              |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| <b>Volume</b>              | Missing spawning substrate                    | ✓ |   |   |   |
|                            | Morpho-dynamically required volume            |   | ✓ | ✓ |   |
|                            | Bedload deficit                               |   |   | ✓ | ✓ |
| <b>Injection Method</b>    | In-channel injection                          | ✓ | ✓ |   |   |
|                            | Stockpile                                     | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | High-flow constant injection                  | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Induced riverbank erosion                     |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Reactivation of old side channels             |   |   |   | ✓ |
| <b>Mobilization Event</b>  | None                                          | ✓ | ✓ |   |   |
|                            | Natural flood                                 |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Environmental flow release                    | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <b>Period</b>              | Reservoir flushing                            |   | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Before spawning period of target fish species | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|                            | Before peak annual discharge                  |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| <b>Frequency</b>           | One / two years                               | ✓ |   |   | ✓ |
|                            | Based on constant assessment                  | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

# Contrôle des effets

## Méthodes



modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

|                    | I | R | C | B |
|--------------------|---|---|---|---|
| Assessment Methods |   |   |   |   |
| Biotic indicators  | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Abiotic indicators |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| Topographic survey |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| Bedload tracing    |   |   |   | ✓ |

modifié de (Mörtl and De Cesare 2021)

### Indicateurs biotiques

- communautés de poissons
- macro invertébrés benthiques
- végétation riveraine
- matière organique en suspension

### Indicateurs abiotiques

- paramètres hydro-morphologiques (HMID)
- degré de colmatage

### Relevé topographique

- imagerie satellitaire, aérienne
- LIDAR
- profil en travers
- Bathymétrie

### Suivi du charriage

- Mesure directe (pièges à sédiments, RFID)
- Mesure indirecte (instruments acoustiques, sismiques)

# Contrôle des effets

## Petite Sarine

### Indicateurs abiotiques

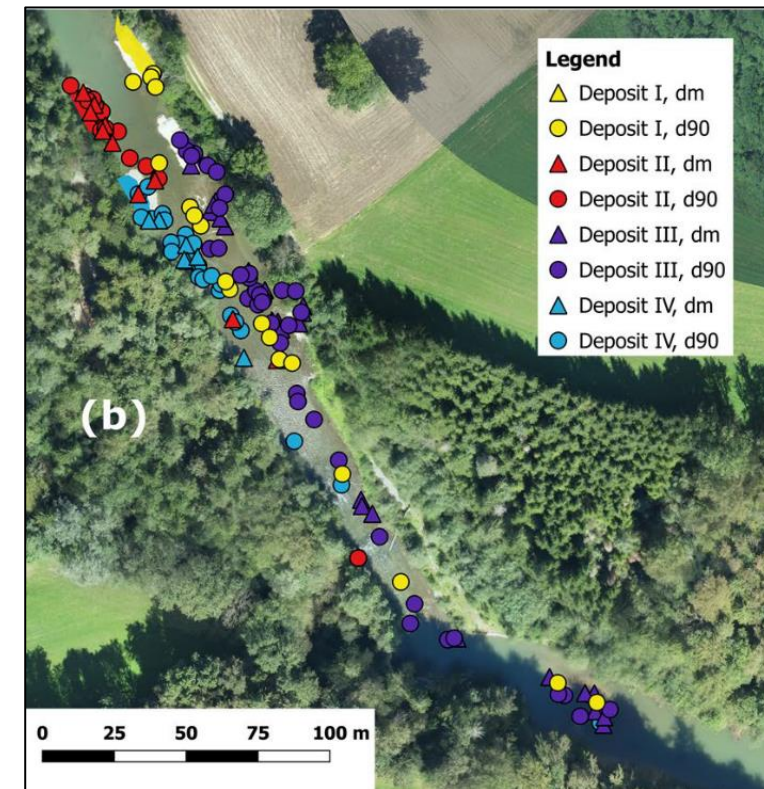
- paramètres hydro-morphologiques (HMID)
- degré de colmatage

### Relevé topographique

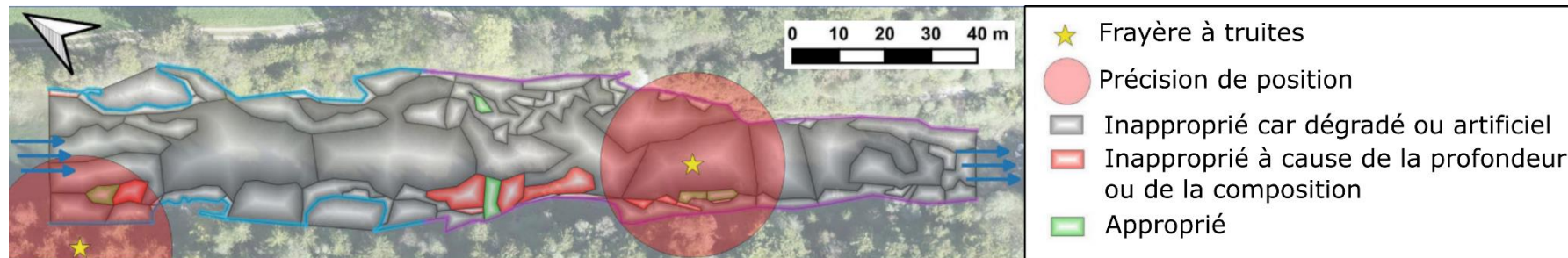
- imagerie aérienne
- profil en travers

### Suivi du charriage

- Mesure directe (RFID)



(Stähly et al. 2019)



modifié de (Schroff et al. 2021)



# Sources

- BAFU (Hrsg.). (2017). *Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie [Bedload and habitat dynamics. Fact Sheet Collection Hydraulic Engineering and Ecology]*. Bern.
- Mörtl, C., Vorlet, S. L., Manso, P. A., and De Cesare, G. (2020). “The sediment challenge of Swiss river corridors interrupted by man-made reservoirs.” *Riverflow 2020*, W. Uijttewaal, M. J. Franca, D. Valero, V. Chavarrias, C. Y. Arbós, R. Schielen, and A. Crosato, eds., Taylor & Francis Group, London, 1764–1773.
- Mörtl, C., and De Cesare, G. (2021). “Sediment Augmentation for River Rehabilitation and Management—A Review.” *Land*, 10(12).
- Schroff, R., Mörtl, C., and De Cesare, G. (2021). “Wirkungskontrolle einer Sedimentzugabe: Habitatvielfalt und Kolmation [Eco-morphological evaluation of a sediment augmentation measure].” *WasserWirtschaft*, 111(9–10), 68–76.
- Stähly, S., Franca, M. J., Robinson, C. T., and Schleiss, A. J. (2019). “Sediment replenishment combined with an artificial flood improves river habitats downstream of a dam.” *Scientific Reports*, 9(1), 5176.

Merci pour votre attention