



# **Sensibilité hydrogéomorphologique en contexte de changements climatiques**

**Thomas Buffin-Bélanger**  
UQAR



laboratoire de recherche en géomorphologie et dynamique fluviale

**UQAR**



**Félix Lachapelle, M.sc.**  
en géographie sur la  
connectivité HS



**Maxime Maltais, M.sc. en**  
géographie sur la dynamique du  
bois mort en rivière




**Virginie Bilé, M.sc. en géographie**  
sur les aléas fluviaux dans les  
petits cours d'eau



**Yan Boulet, M.sc. en géographie**  
sur les réponses hydrologiques  
dans les petits cours d'eau

Québec 

 **Le Conseil de l'eau du  
Nord de la Gaspésie**

 **La Fondation pour la conservation  
du saumon atlantique**

 **SAUMON  
QUÉBEC**



```
graph LR; A[Changement climatique] --> B[Changement hydrologique]; B --> C[Changement dans la dynamique des cours d'eau]; B --> D[Adaptation dans les pratiques de gestion/conception des traverses de cours d'eau et des chemins en zones riveraines]; C --> D;
```

**Changement climatique**

**Changement hydrologique**

**Changement dans la  
dynamique des cours d'eau**

**Adaptation dans les pratiques  
de gestion/conception des  
traverses de cours d'eau et des  
chemins en zones riveraines**



# Sensibilité hydrogéomorphologique en contexte de changements climatiques

A-Hydrologie

B-Hydrogéomorphologie

C-*Sensibilité* des cours d'eau

D-Outils et réflexions





# Sensibilité hydrogéomorphologique en contexte de changements climatiques

A-Hydrologie

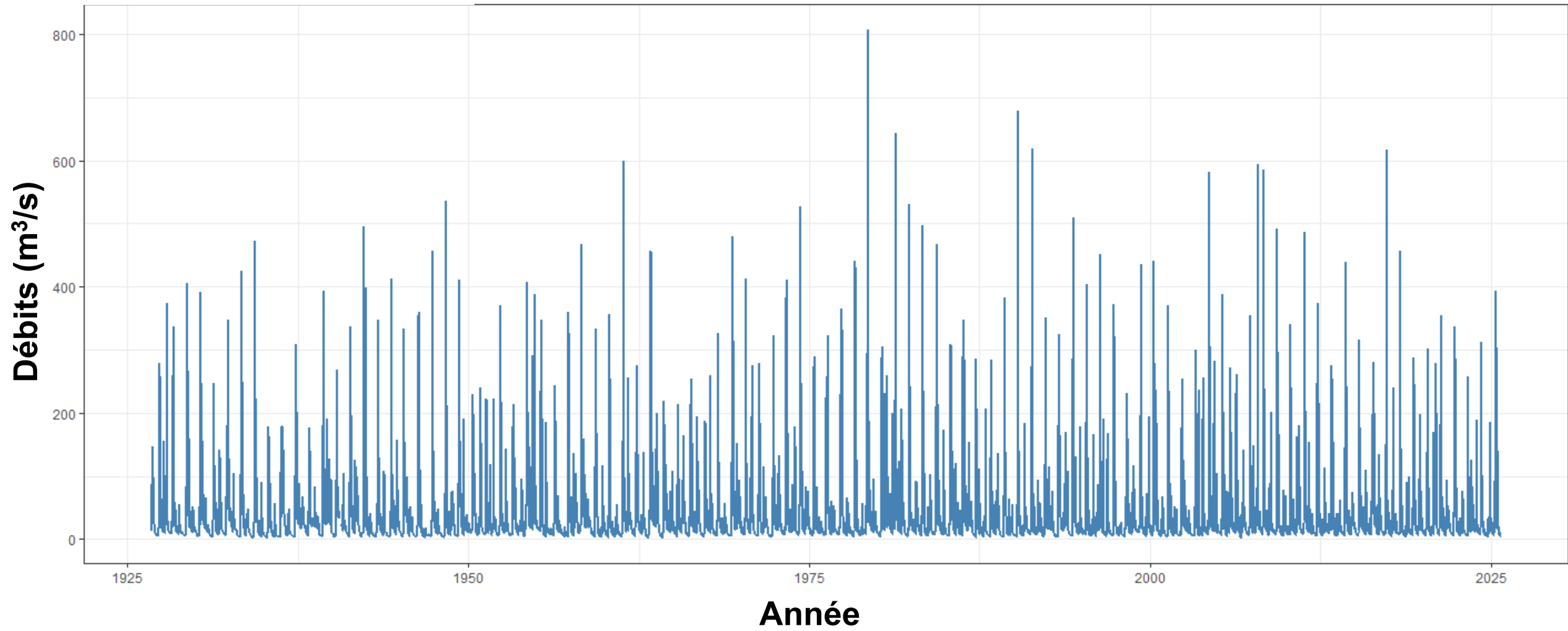
B-Hydrogéomorphologie

C-*Sensibilité* des cours d'eau

D-Outils et réflexions



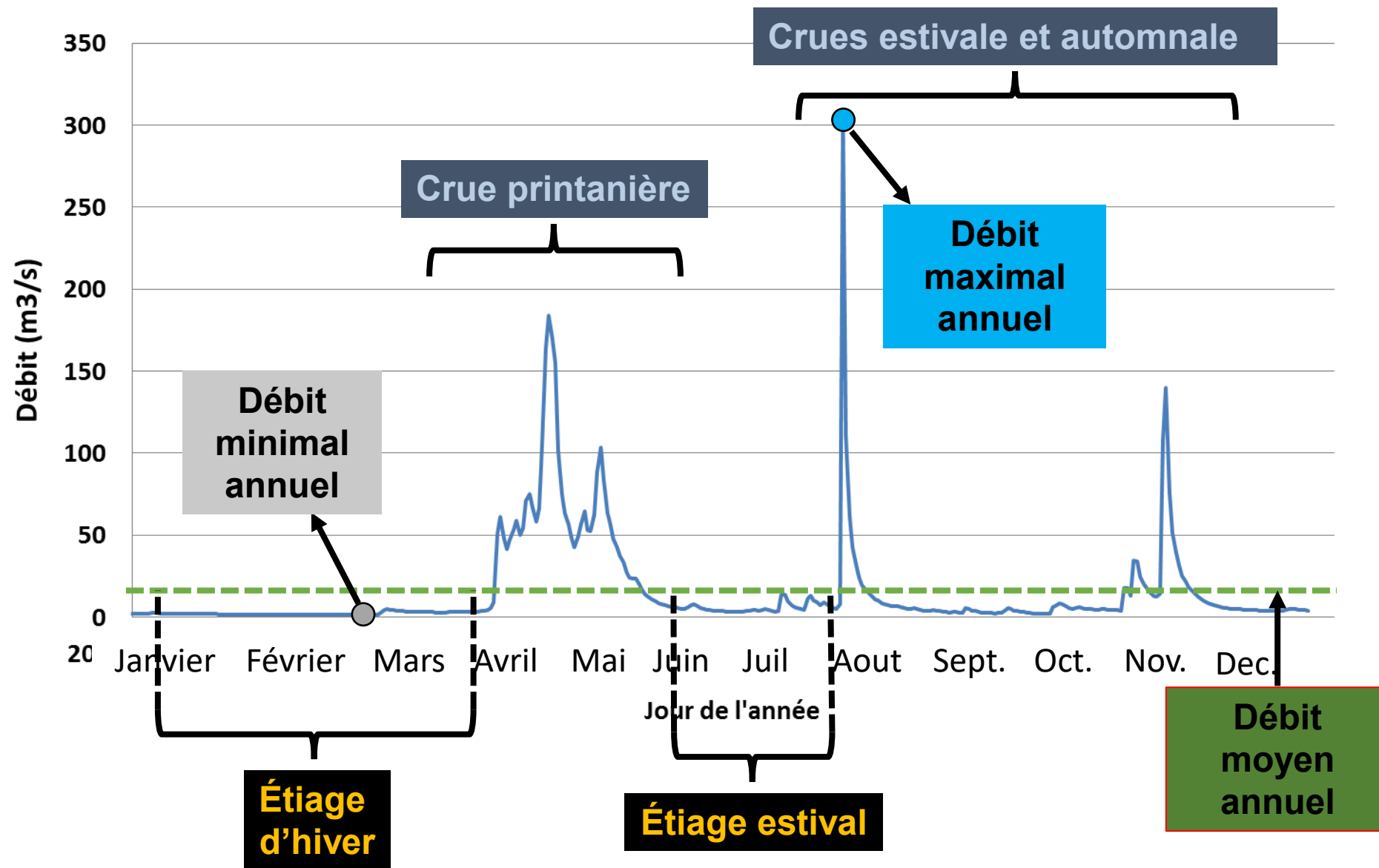
## Rivière Matane



→ Extraction d'indicateurs annuels



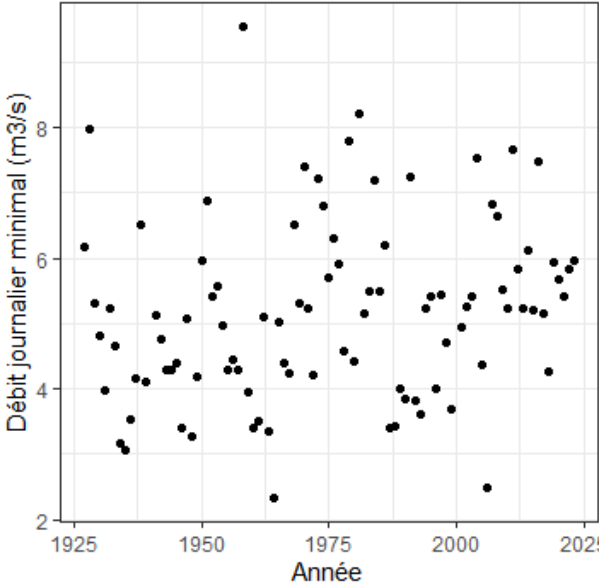
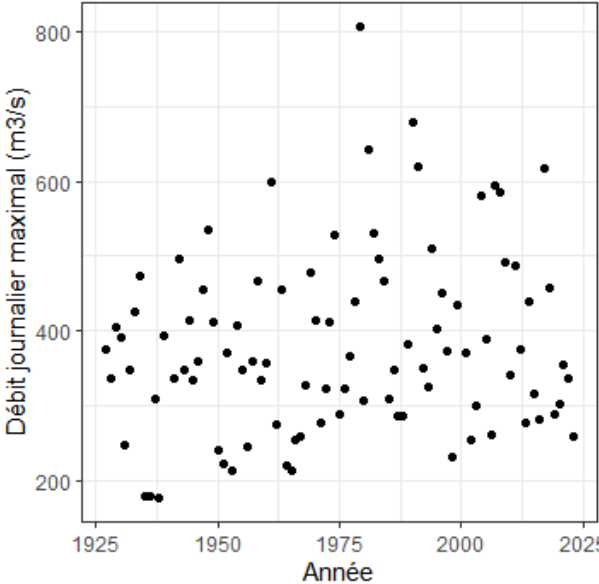
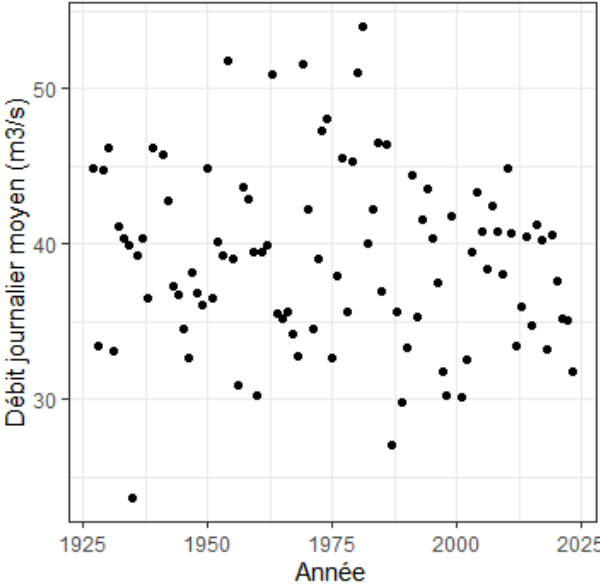
# Hydrogramme annuel de la rivière Dartmouth en 2007



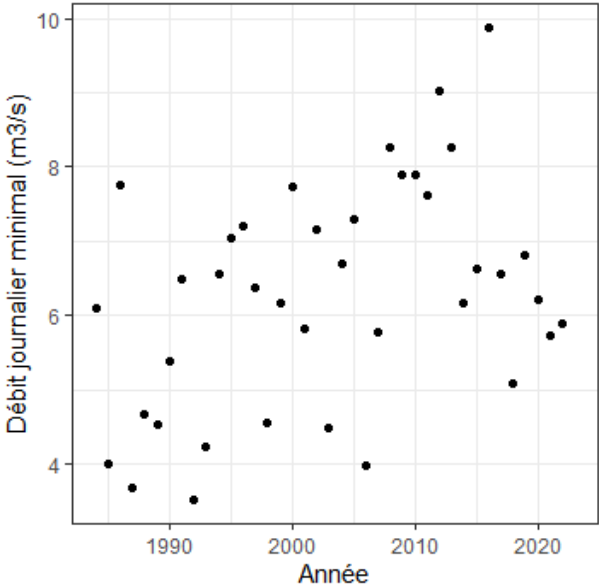
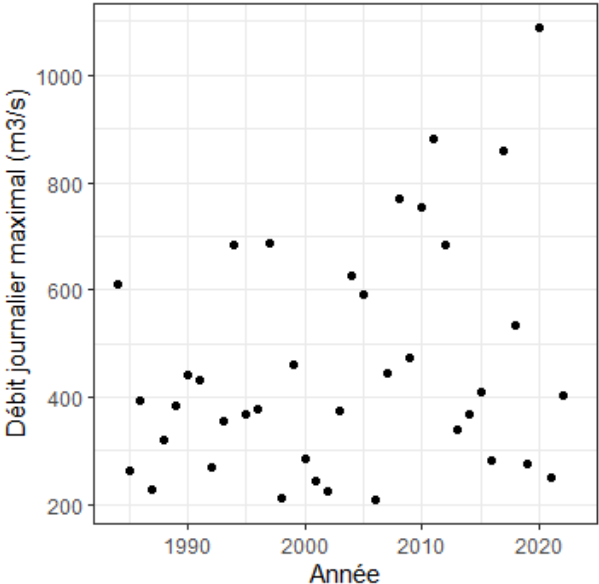
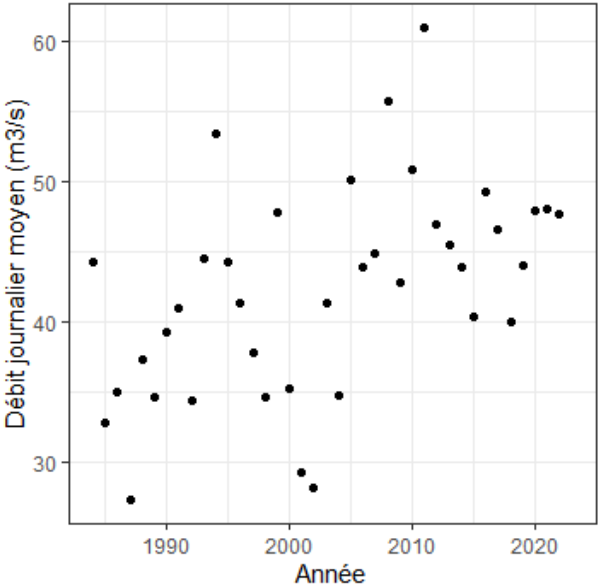


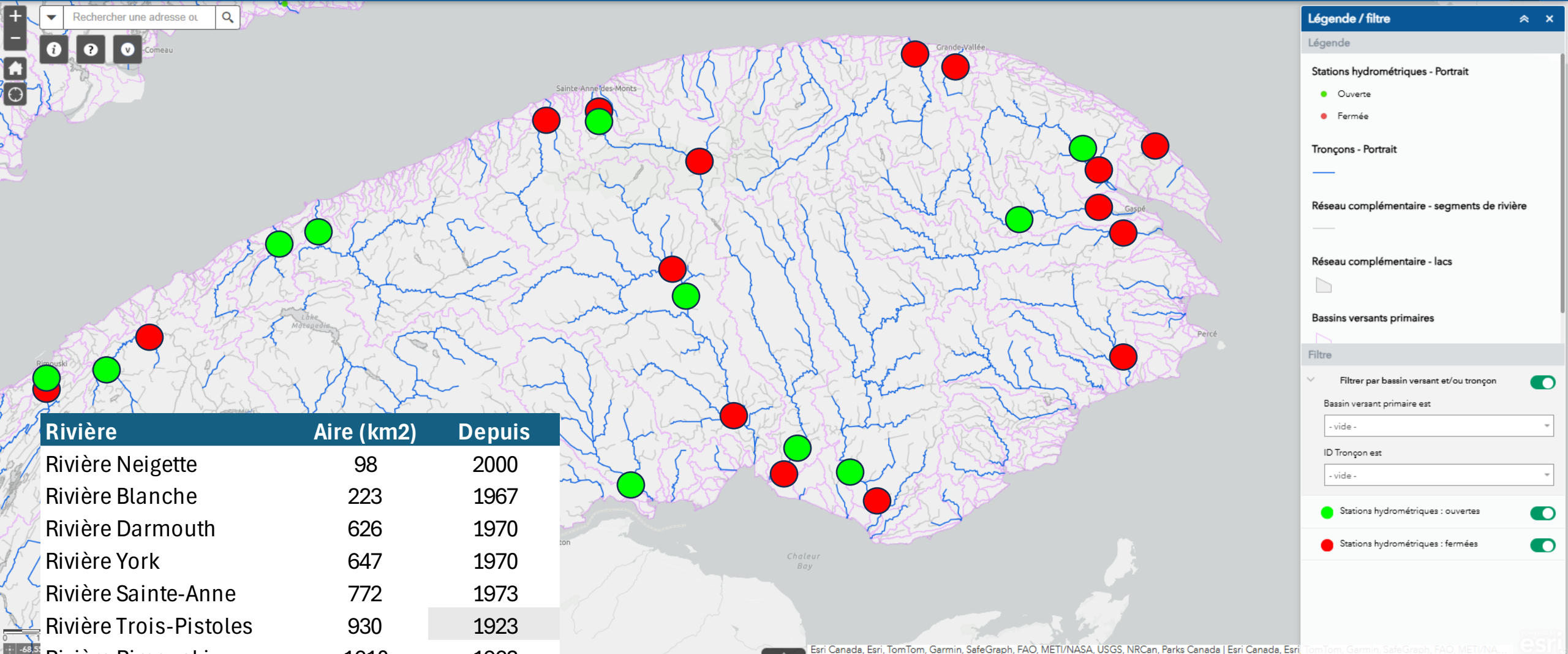
# Analyse des tendances d'indicateurs de variabilité interannuelle (trajectoire hydrologique)

**Matane  
1926-2024**



**Bonaventure  
1983-2023**



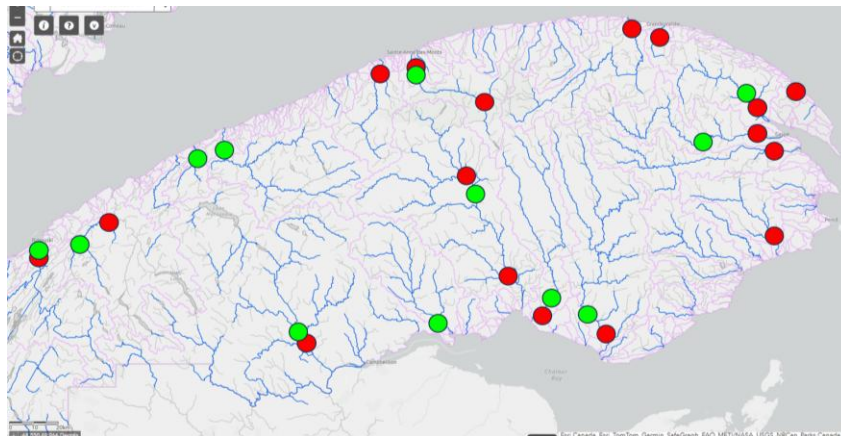


\* Stations actives

3 constats : peu nombreuses, courtes  
durées et *grands* cours d'eau ( $A > 100 \text{ km}^2$ )!



|  |
|--|
| À propos   |
| Domaine hydrique de l'État  |
| Niveau d'eau et débit  |
| Prévisions hydrologiques   |
| Lois et règlements          |
| Répertoire des barrages  |
| Sécurité des barrages  |
| Zones inondables            |
| Glossaire  |



- Stations
- Modélisation hydrologique par tronçon

## Atlas hydroclimatique du Québec méridional

L'Atlas hydroclimatique décrit le régime hydrique actuel et futur du Québec méridional dans le but de soutenir la mise en œuvre de pratiques de gestion de l'eau résilientes aux changements climatiques. L'Atlas comporte trois outils :

### Stations hydrométriques



Carte des stations hydrométriques (débit et niveau), avec les informations sur les stations et les liens vers les données.

### Portrait



Séries temporelles de débit journalier pour la période 1970-2022, pour près de 10 000 tronçons de rivières jaugés et non jaugés. Vous pouvez donc avoir accès à des valeurs de débit historique pour un tronçon de rivière sans station ou pour une période où les données d'une station n'étaient pas disponibles.

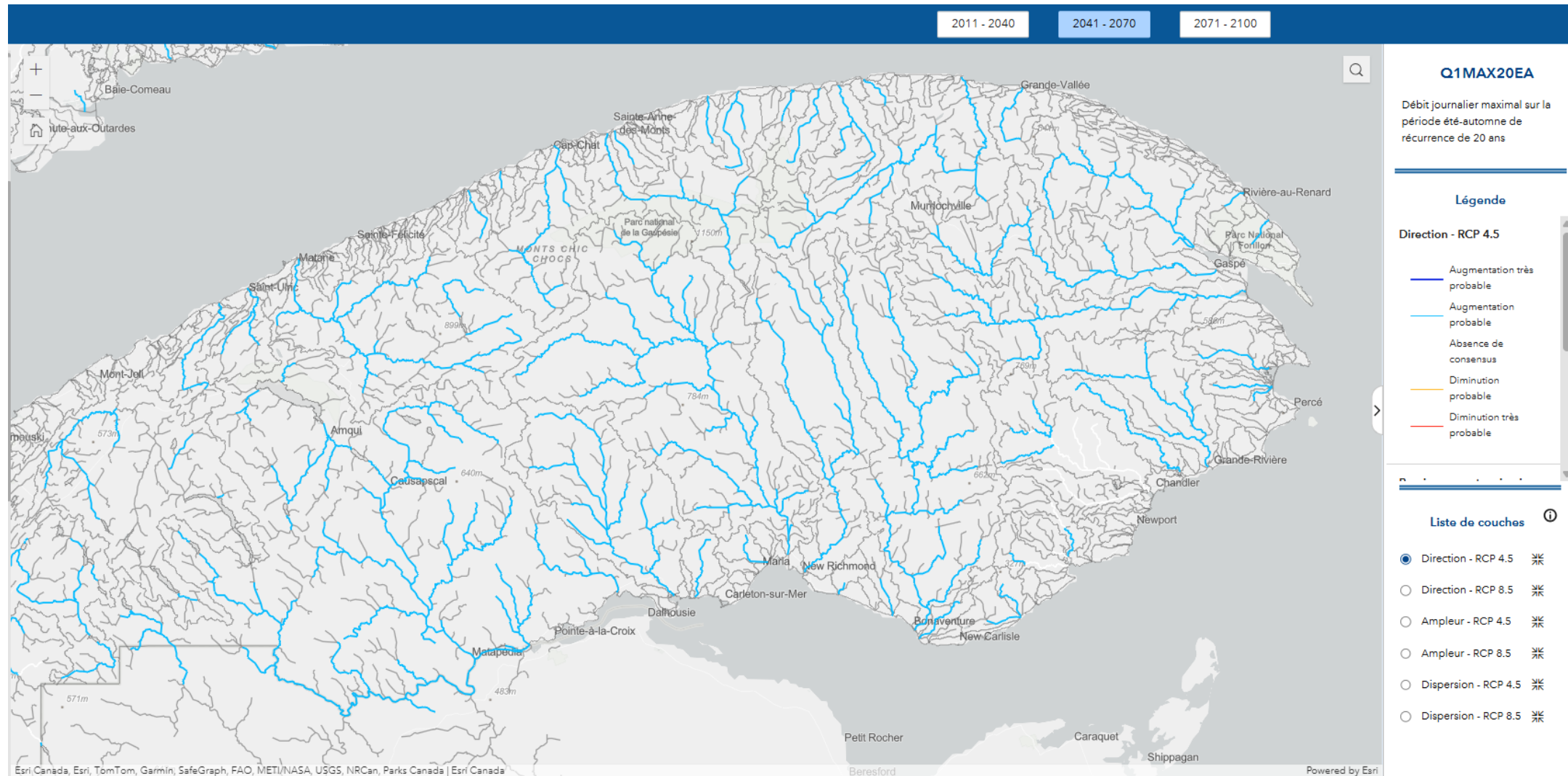
### Indicateurs



Indicateurs hydrologiques (crue, étiage, etc.) pour la période historique et estimés pour le climat futur avec l'impact des changements climatiques, pour près de 10 000 tronçons de rivières jaugés et non jaugés.

# Observations avec scénario RCP 4.5 pour 2041-2070:

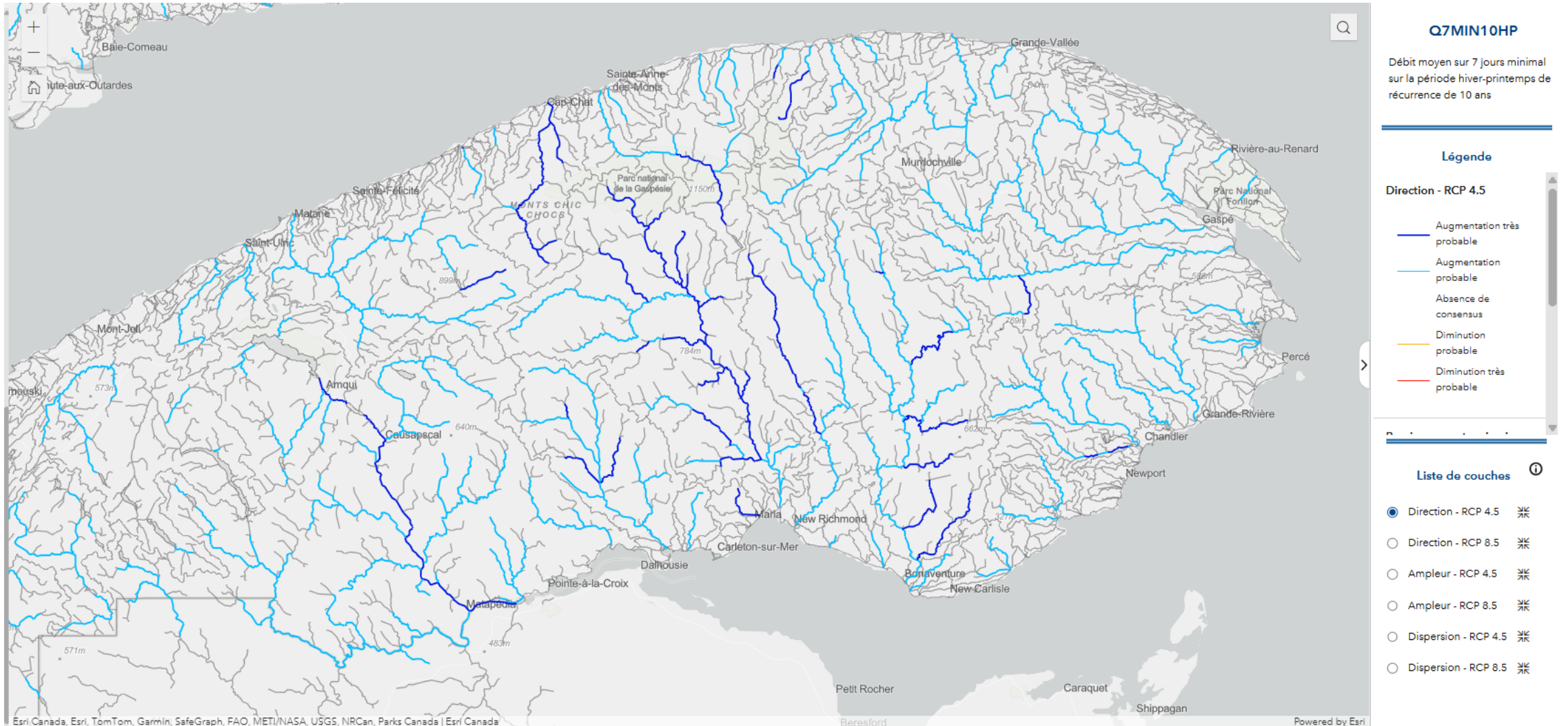
- Augmentation probable du débit des crues journalières 20 ans et 100 dans majorité des tronçons
  - Pas de consensus pour les crues journalières printanières
  - Augmentation probable pour les crues journalières été-automne



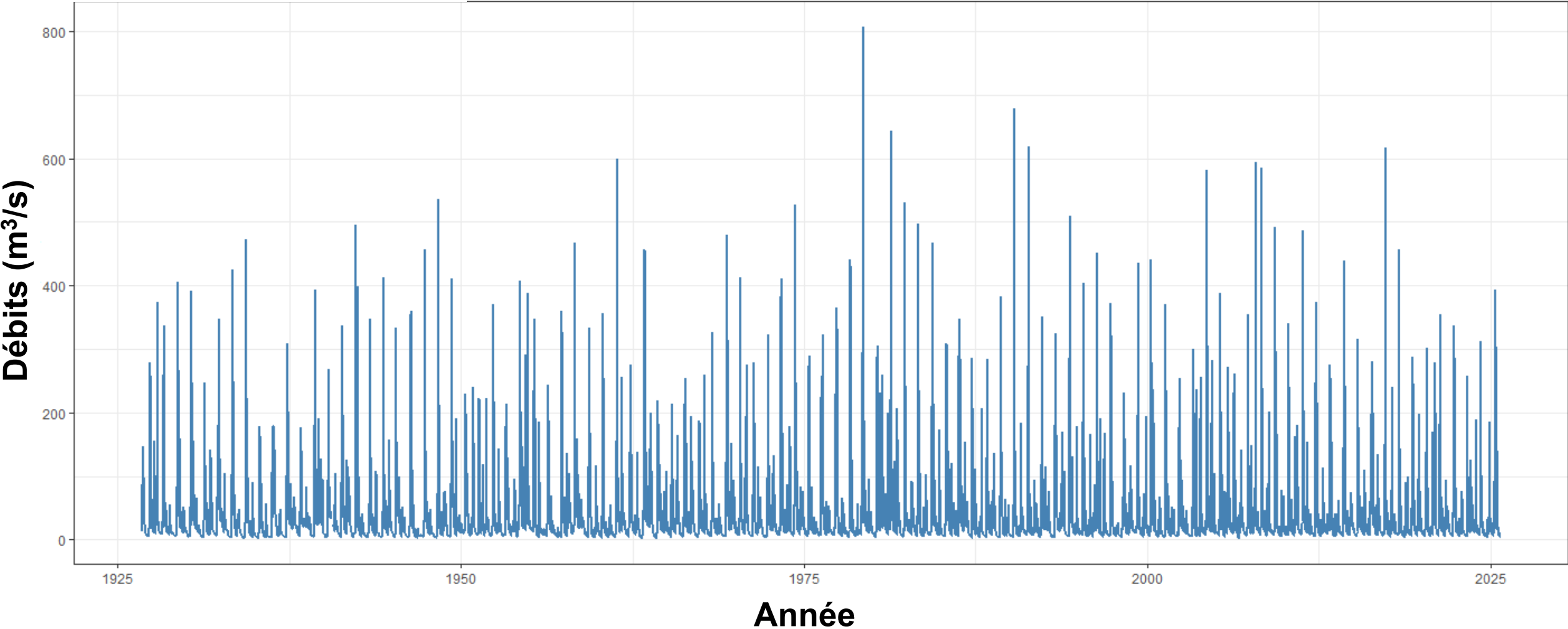


## Observations avec scénario RCP 4.5 pour 2041-2070:

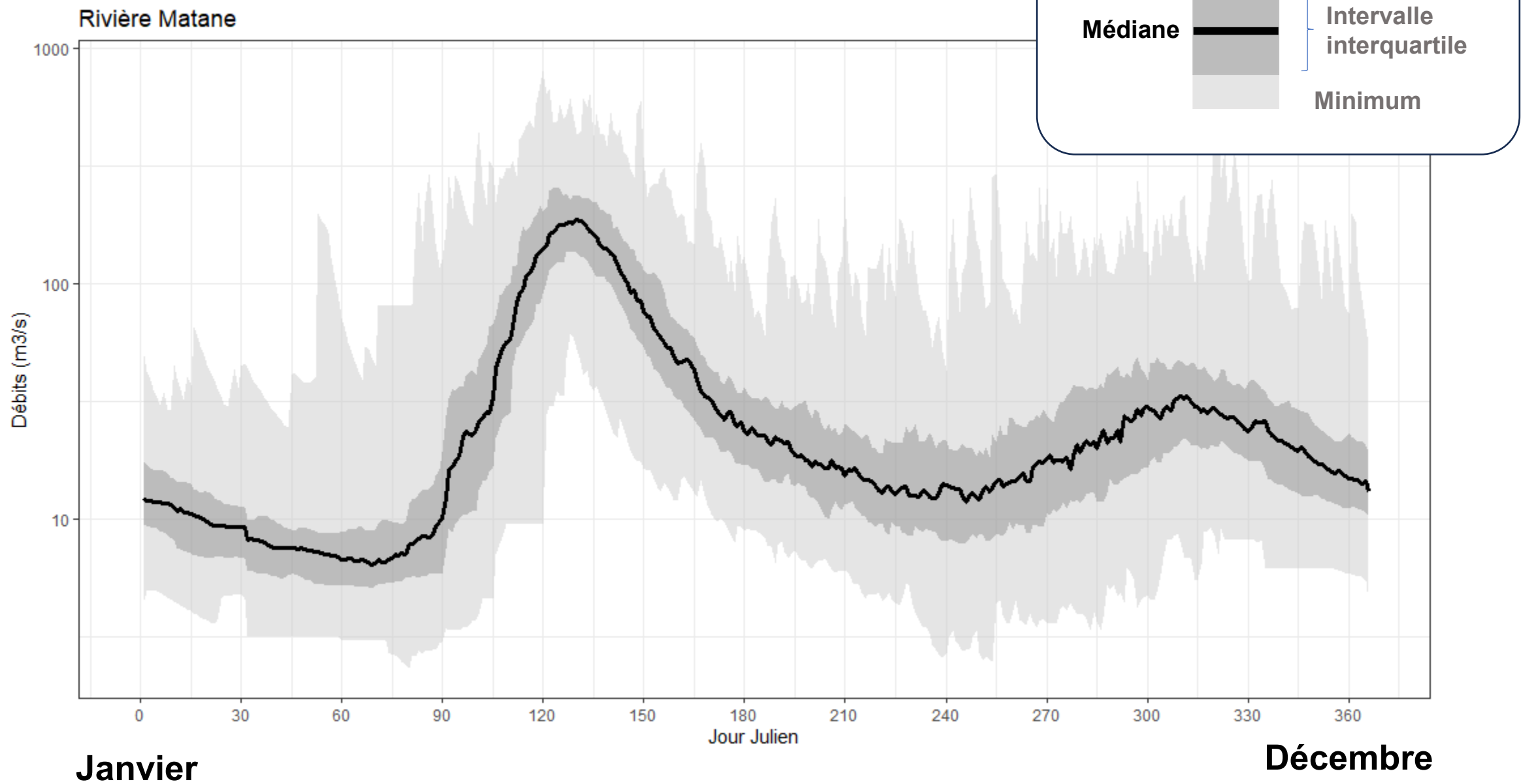
- Diminution probable du débit d'étiage 7 jours de récurrence 5 et 10 ans dans plus de la moitié des tronçons
  - Diminution probable pour les étiages estivaux
  - Augmentation probable à très probable pour les étiages hivernaux



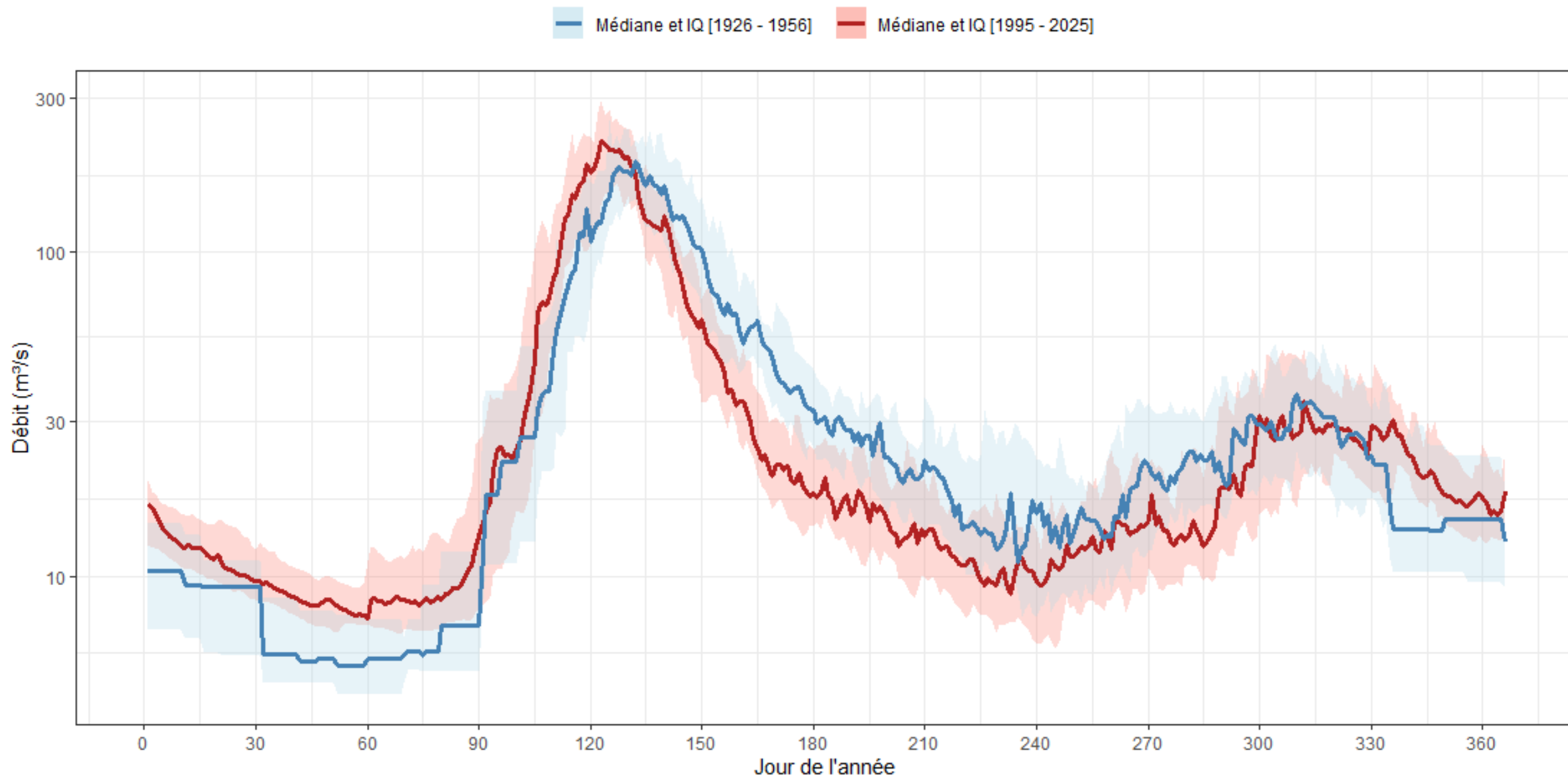
# Rivière Matane







## Rivière Matane





```
graph LR; A[Changement climatique] --> B[Changement hydrologique]; B --> C[Changement dans la dynamique des cours d'eau]; B --> D[Adaptation dans les pratiques de gestion/conception des traverses de cours d'eau];
```

**Changement climatique**

**Changement hydrologique**

**Changement dans la  
dynamique des cours d'eau**

**Adaptation dans les pratiques  
de gestion/conception des  
traverses de cours d'eau**



# Sensibilité hydrogéomorphologique en contexte de changements climatiques

A-Hydrologie

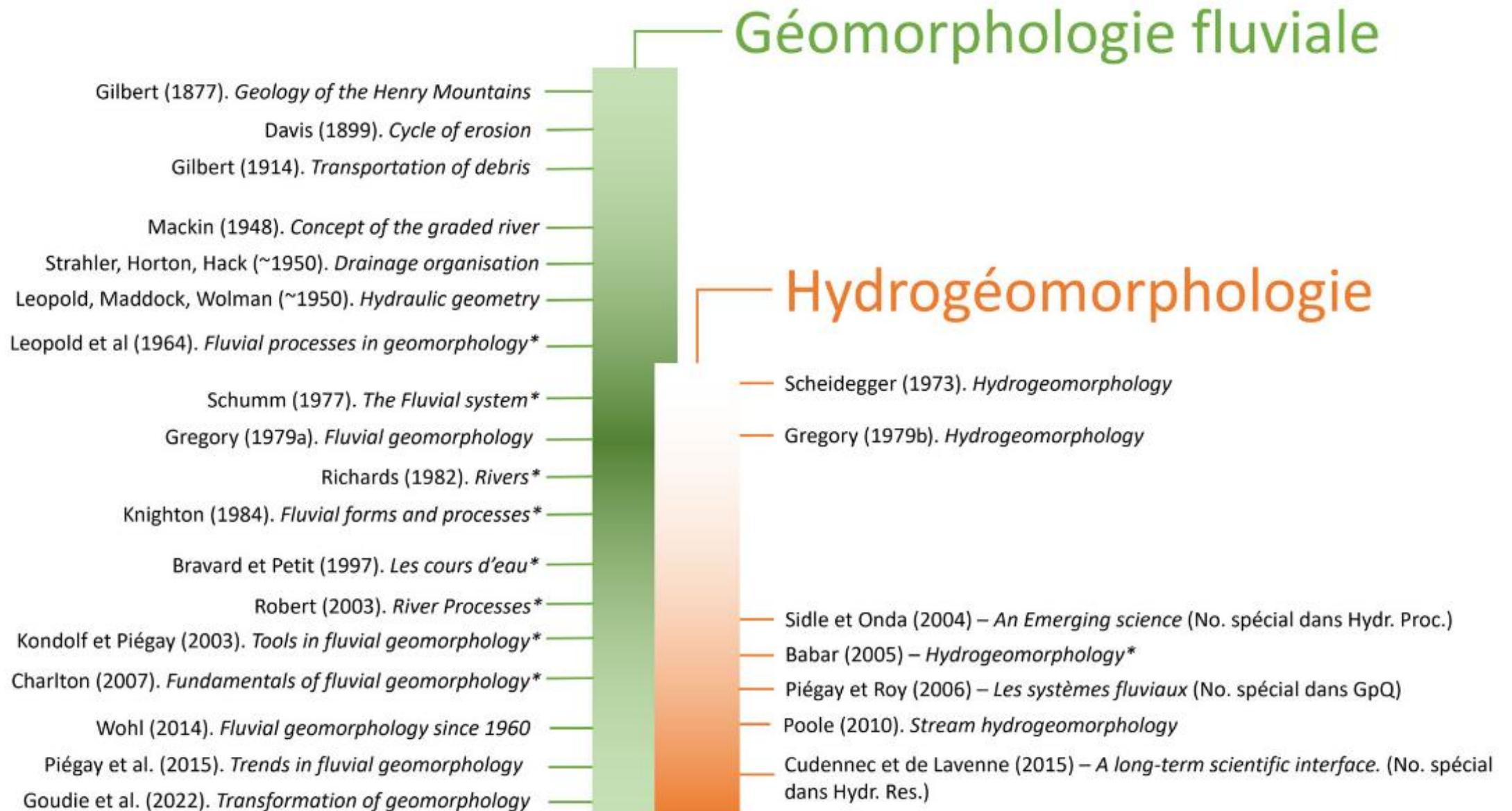
B-Hydrogéomorphologie

C-*Sensibilité* des cours d'eau

D-Outils et réflexions



# Origines de l'hydrogéomorphologie

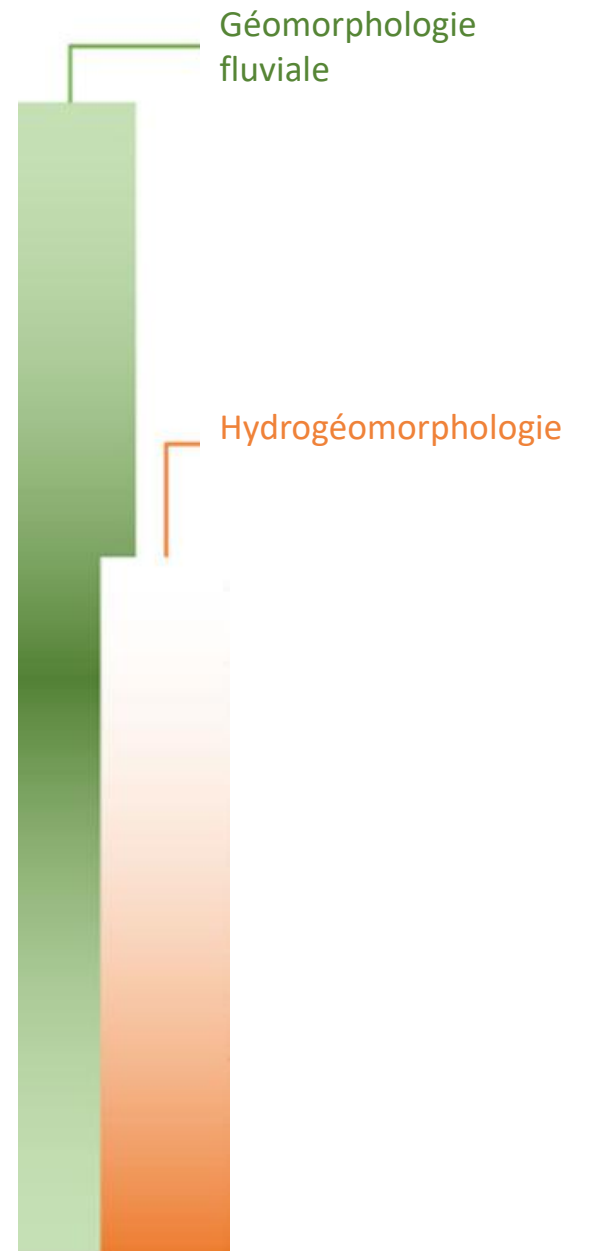
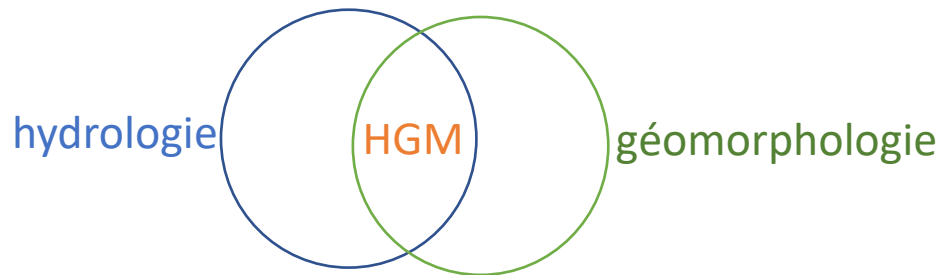




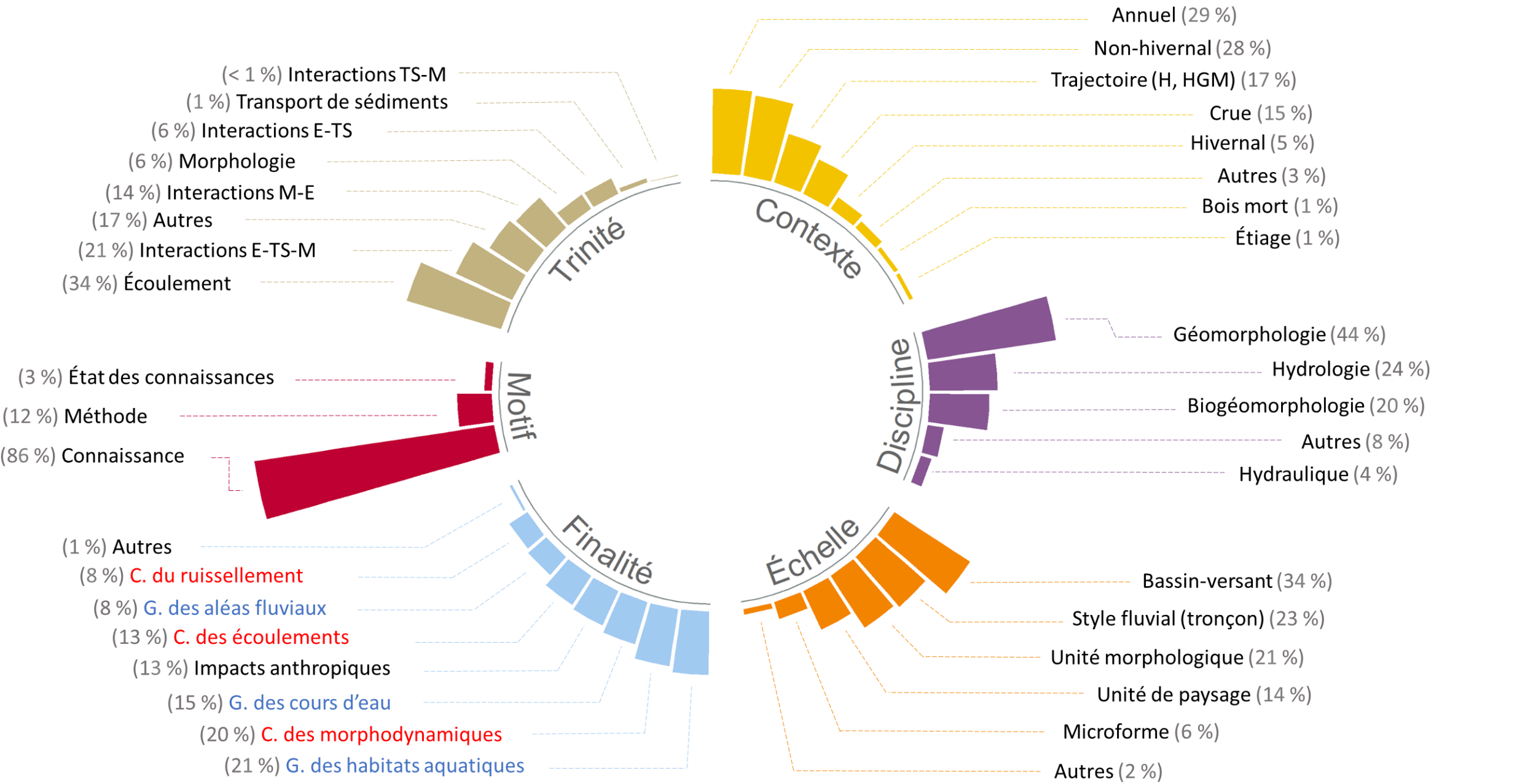
« Science qui étudie les formes façonnées par l'activité de l'eau. »  
Scheidegger (1972)

« Science qui étudie les processus fluviaux, les formes associées et leurs interactions. »  
Gregory (1979)

« Science qui cherche à comprendre *comment les processus hydrologiques contribuent à la formation et à l'évolution du paysage* et *comment les reliefs contrôlent les processus hydrologiques à différentes échelles temporelles et spatiales* »  
Sidle et Onda (2004) et Goerl et al. (2012)



# 50 ans, 475 articles en hydrogéomorphologie



# Éclairages disciplinaires sur les cours d'eau

## Hydrogéomorphologie

Biologie

Foresterie

Économie

Génie

Géochimie

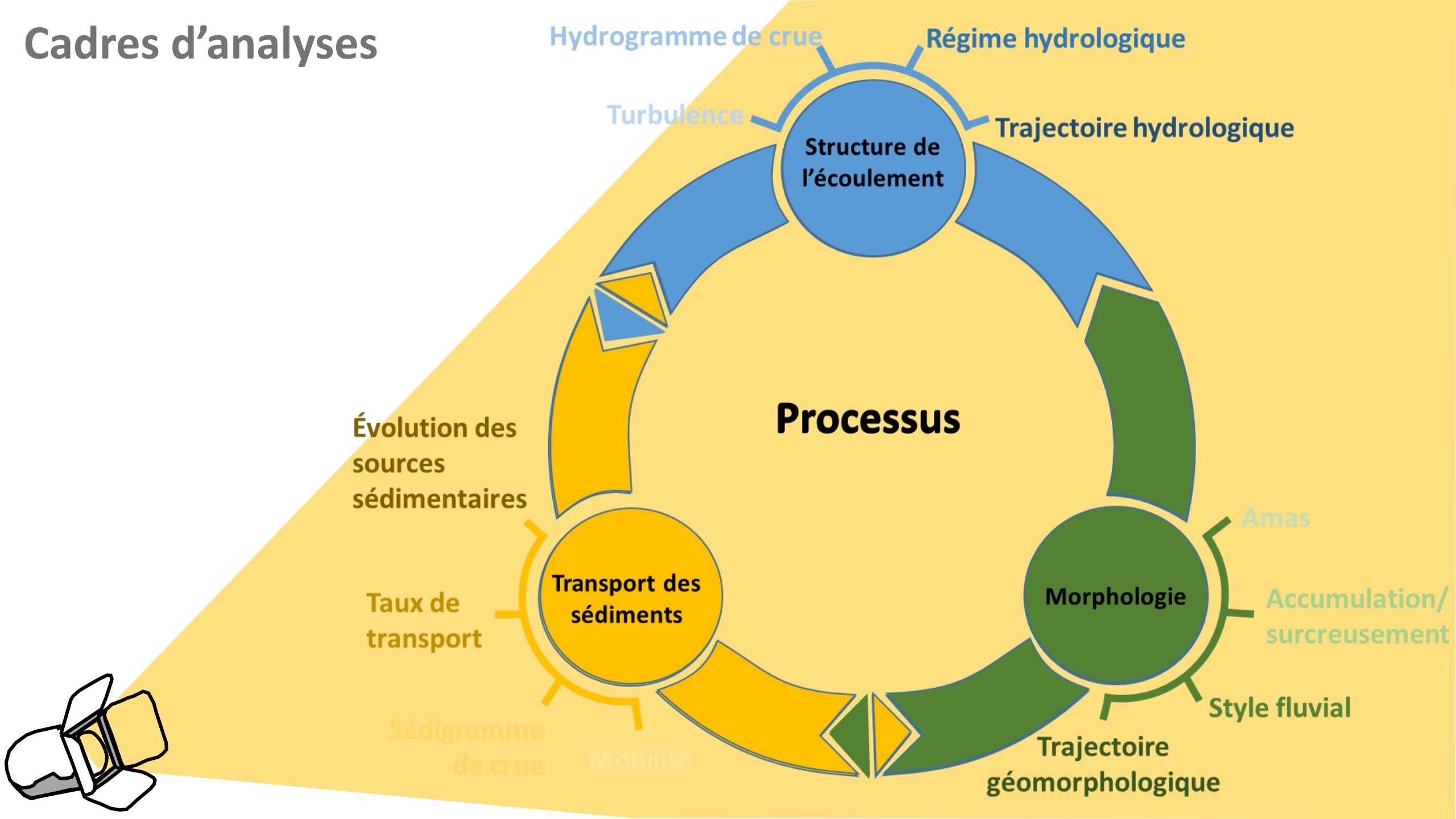
Hydrogéologie

Aménagement du territoire





# Cadres d'analyses



# Hydrogéomorphologie et gestion des cours d'eau

Seuils et frayère Avant-Après



Nettoyage Avant-Après





## Restauration par les formes

Création d'habitats avec caractéristiques spécifiques rencontrant les conditions perçues/connues de ce qui est un "bon" habitat

- Structures artificielles
- Substrat ciblé pour la fonction
- Contrôle des processus

Succès = stabilité et maintenance de l'aménagement et du chenal!

Un maximum de coût de réalisation dans un minimum de temps de réalisation.



## Restauration par les processus

Promotion des processus permettant le rétablissement des fonctions écosystémiques des rivières/plaines

- Retrait des structures limitant l'expression des processus
- Délimitation de l'espace où peuvent opérer les processus
- Ajout de sédiments/bois pour activer les processus

Succès = diversité des formes et évolution du chenal!

Des coûts de réalisation minimisés et un temps de réalisation fonction des processus opérant.





# Cadres d'analyses

## Approche HGM pour l'analyse des dynamiques fluviales

Interprétation qualitative

Styles et formes fluviales  
Cartographie HGM  
Zones sources et d'accumulation sédimentaires

Appréciation des variabilités morphométrique  
et sédimentaire  
Évaluation des facteurs de contrôle

Scénarios d'ajustements probables en lien avec  
l'évolution/changements des facteurs de  
contrôle

①  
Reconnaissance

②  
Trajectoire

③  
Anticipation

Classification des styles fluviaux  
Analyse de la puissance spécifique  
Analyse de la connectivité sédimentaire

Quantification des variabilités  
morphométrique et hydrosédimentaire (taux  
d'érosion, bilan sédimentaire, ...)

Modélisation hydrodynamique intégrant  
l'évolution/changement des facteurs de  
contrôle

Analyses quantitatives

Gestion des risques, des habitats et des services écosystémiques des cours d'eau



Guide de caractérisation hydrogéomorphologique

Mars 2025, v5.

## Étude HGM

### Caractérisation HGM

1

Contextualisation dans le système fluvial

2

Segmentation en tronçons homogènes

3

Caractérisation du tronçon homogène

4

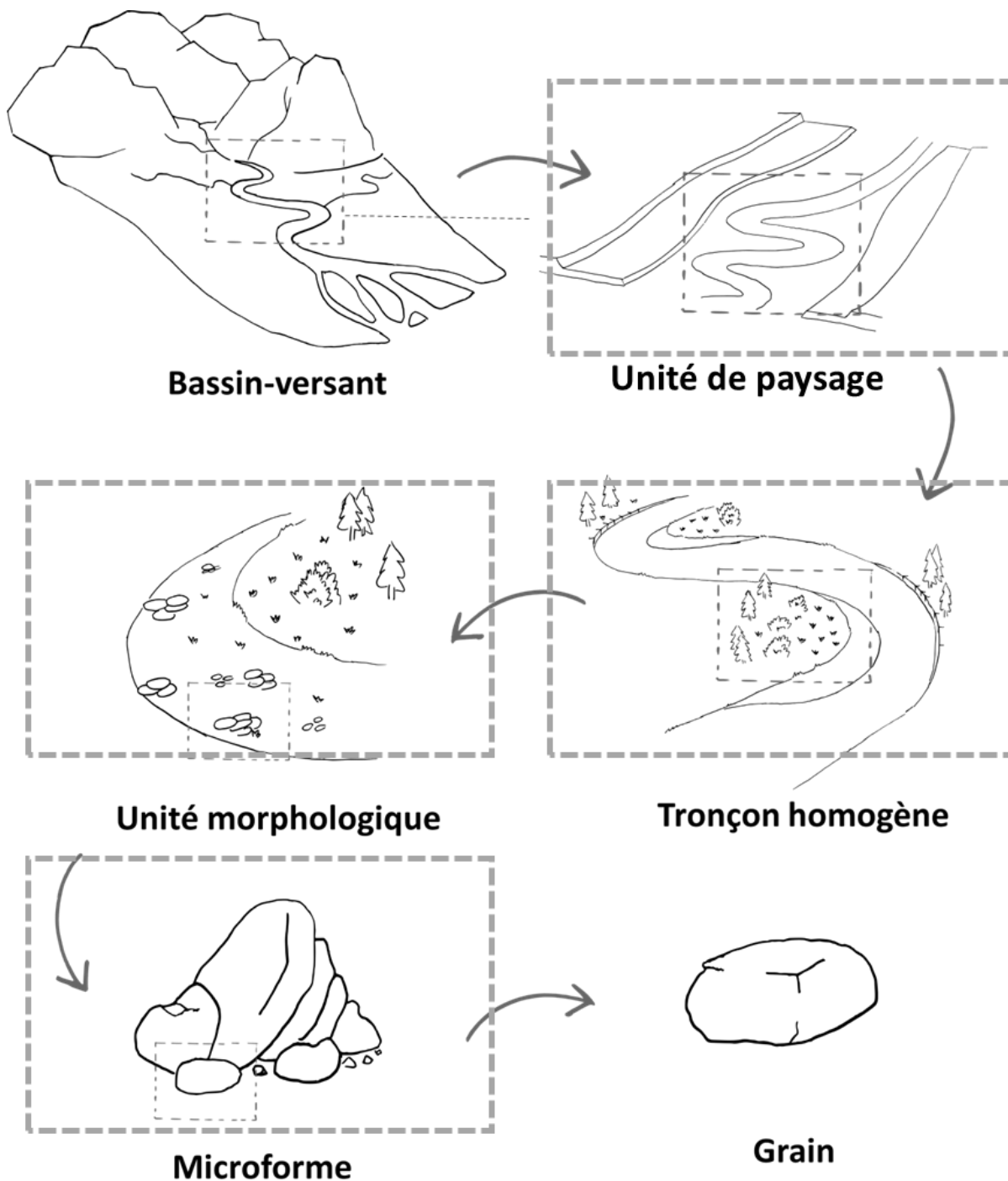
Caractérisation du site

5

Diagnostic et anticipation hydrogéomorphologique

Reconnaissance et trajectoire

Reconnaissance, trajectoire et anticipation



A. Système fluvial (bv)

B. Unités de paysages

C. Tronçons homogènes

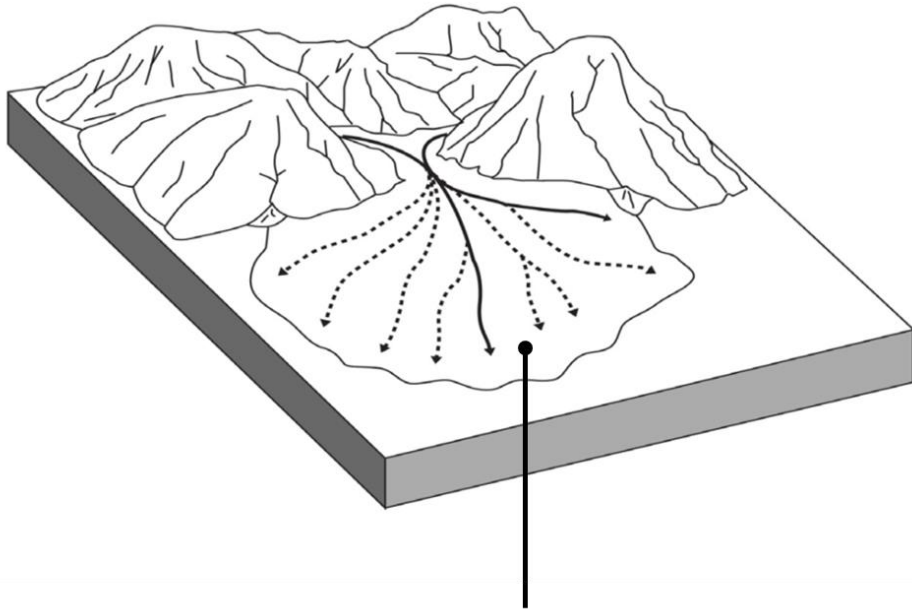
D. Unités morphologiques

E. Microformes

F. Granulométrie

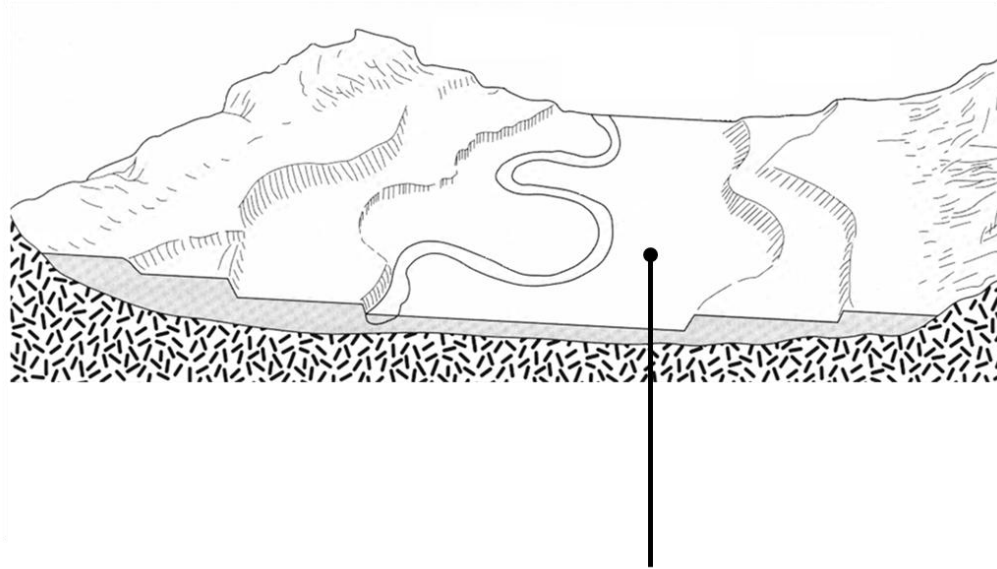


## Des unités de paysage dominantes



Les cônes alluviaux (cônes de déjection) sont des formes d'accumulation liées à une rupture de pente lorsqu'un cours d'eau émerge d'une région montagneuse et se déverse dans une plaine alluviale.

Les sédiments charriés dans la portion à forte pente se déposent et s'accumulent du fait de la perte d'énergie liée à la diminution de la pente.

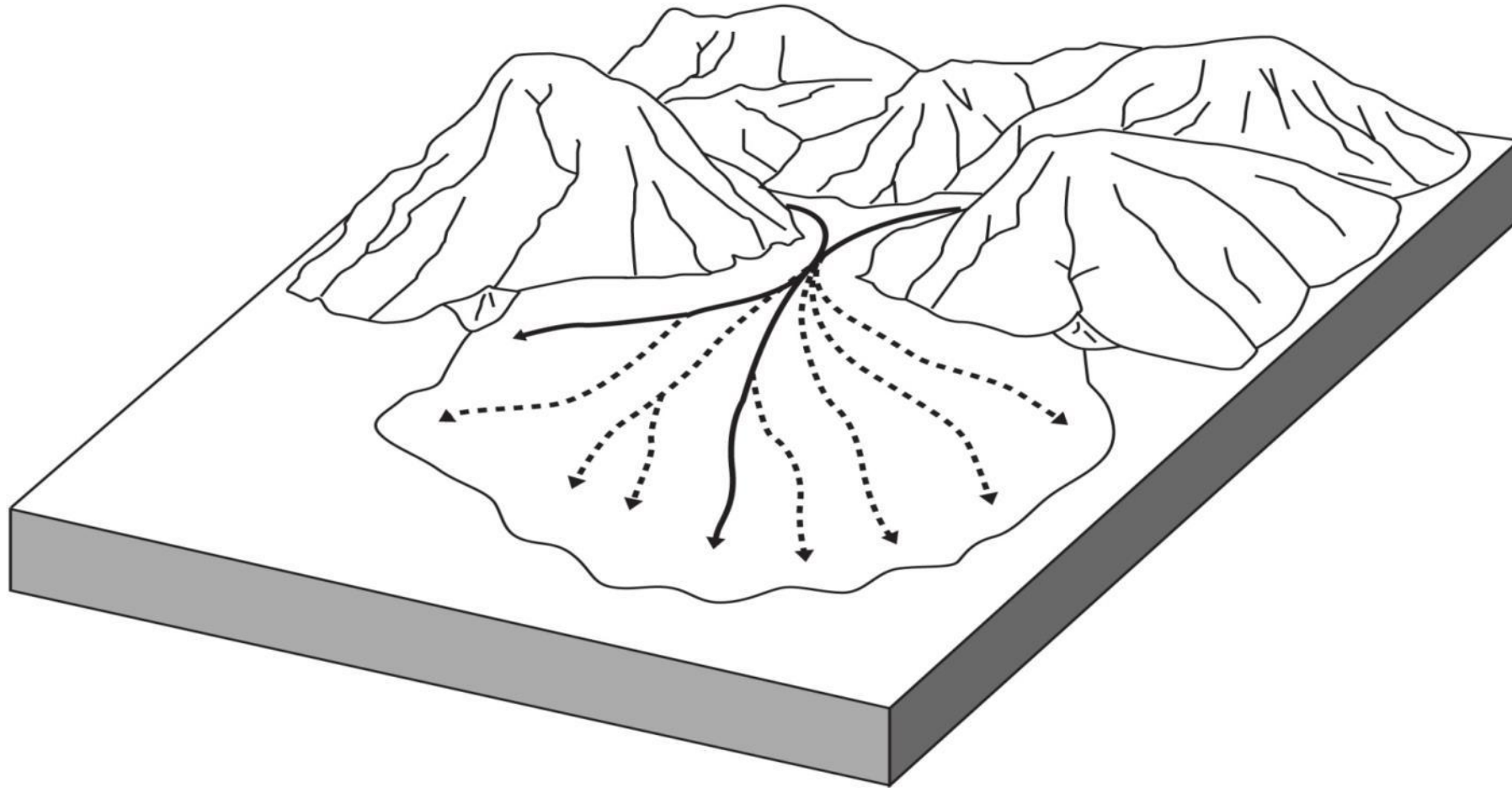


Les plaines sont aussi des formes d'accumulation construites par la combinaison des processus de migration latérale et de débordement des cours d'eau. Ces deux processus laissent en place les alluvions qui construisent la plaine.

La morphologie et la stratigraphie de la plaine alluviale reflètent les processus qui la construisent: levées alluviales, vastes complexes de milieux humides, méandres abandonnées, chenaux secondaires et chenaux de débordements occupés lors des inondations.

## Cônes alluviaux

**: accumulation d'allure conique localisée à l'endroit où *un torrent* quitte les pentes fortes et rejoint des surfaces moins abruptes**











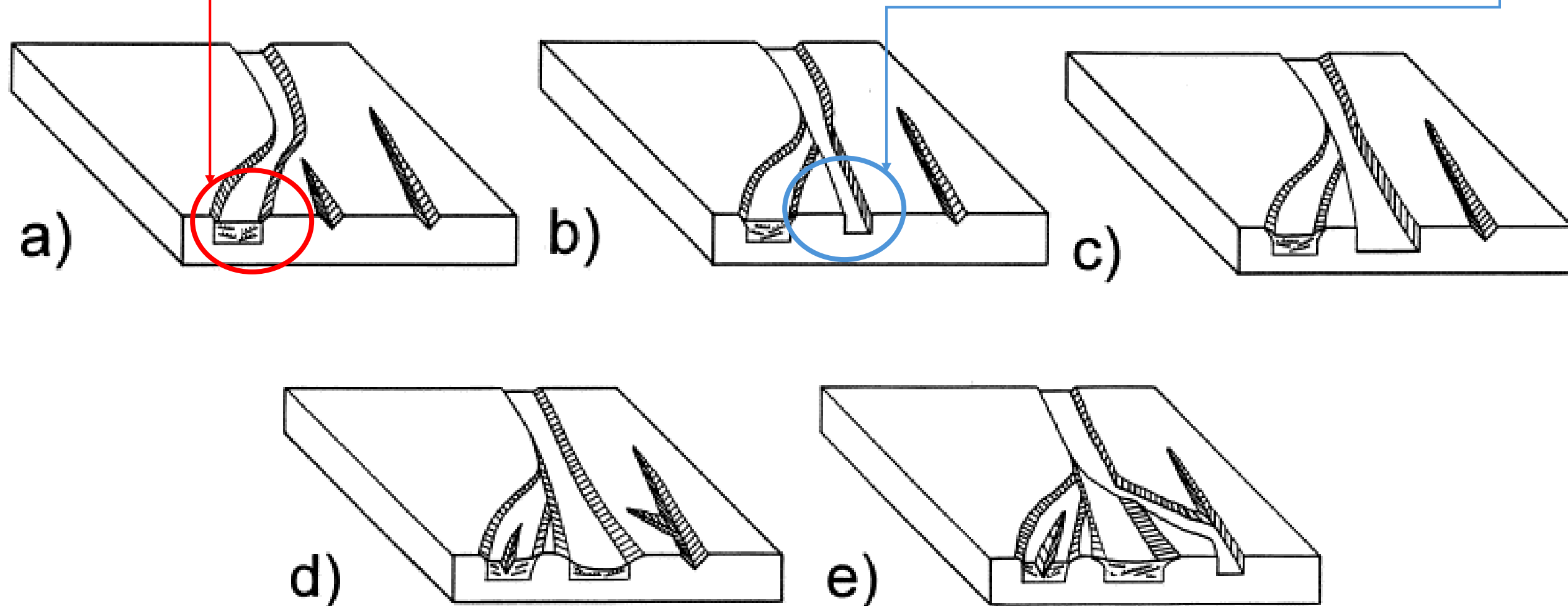
**Vallée de la rivière Gros-Morne**



# L'évolution des cônes alluviaux

❑ aggradation: accumulation généralisée dans le cours d'eau

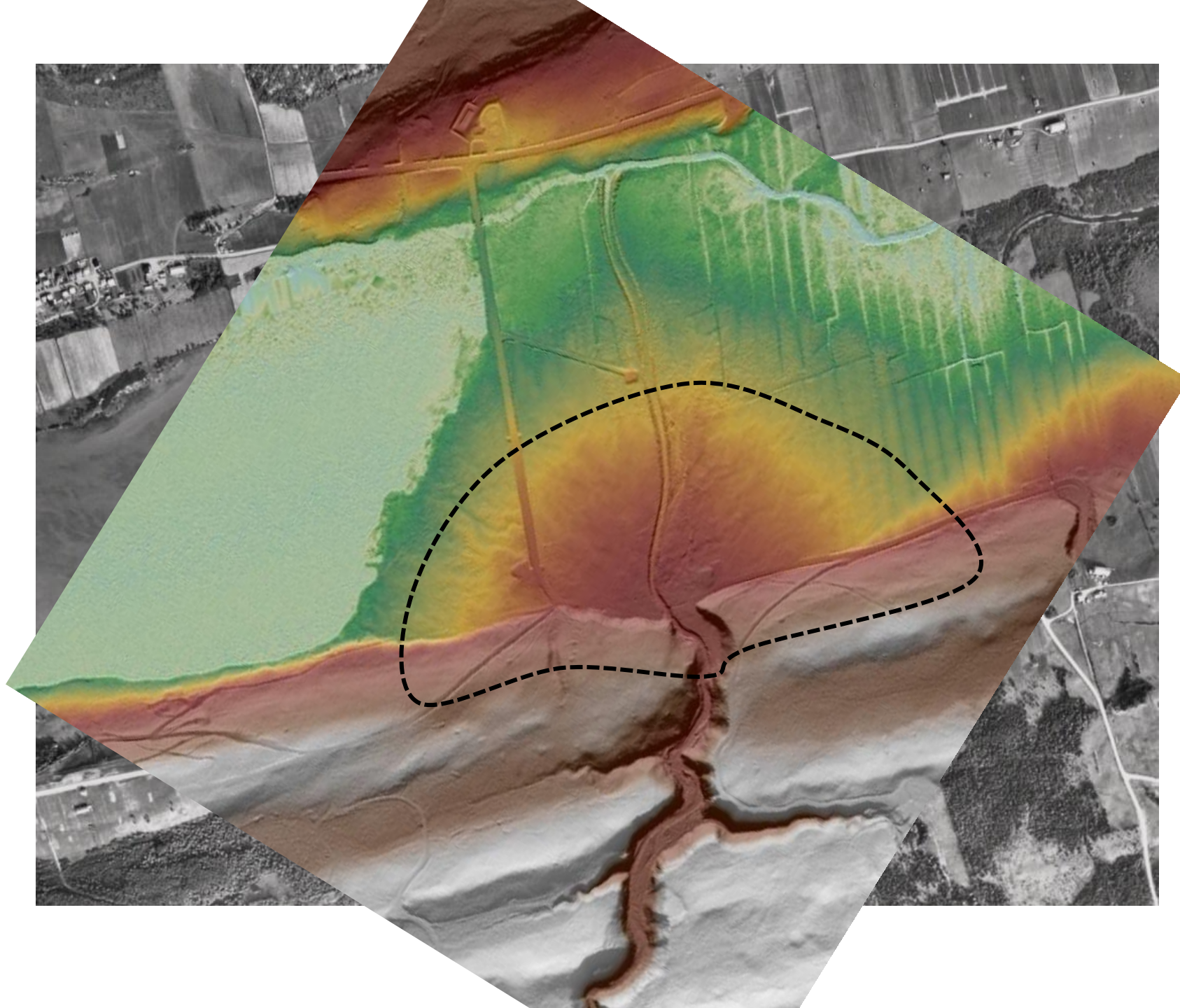
❑ avulsion: changement dans la position du tracé du cours d'eau



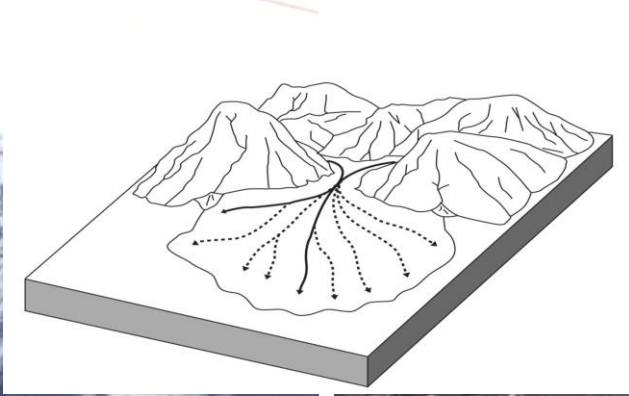
St-Mathieu













**Plaines alluviales** : forme constituée de sédiments abandonnés par les écoulements fluviaux dans les conditions hydroclimatiques actuelles...

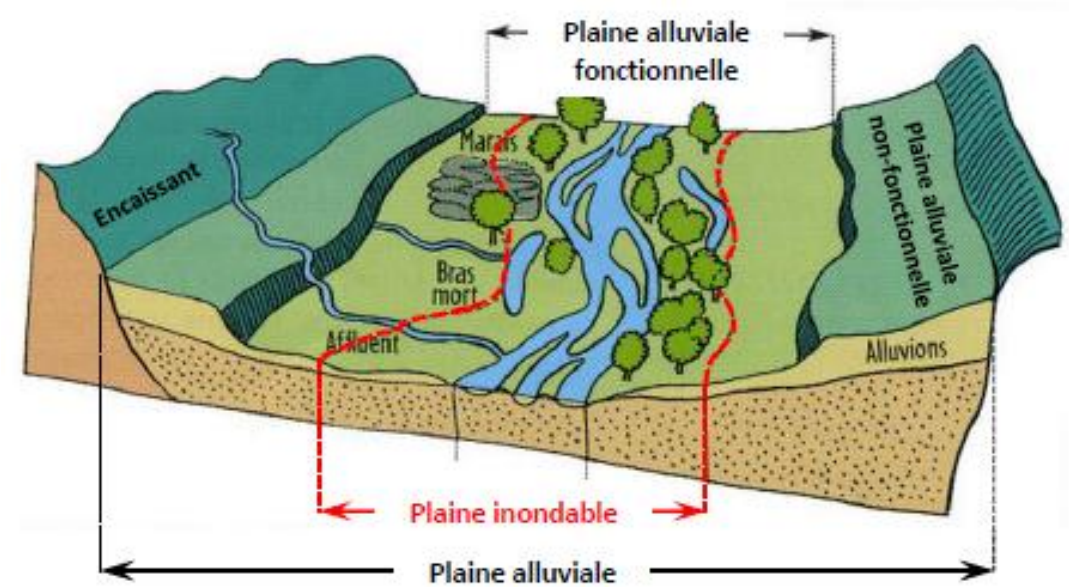
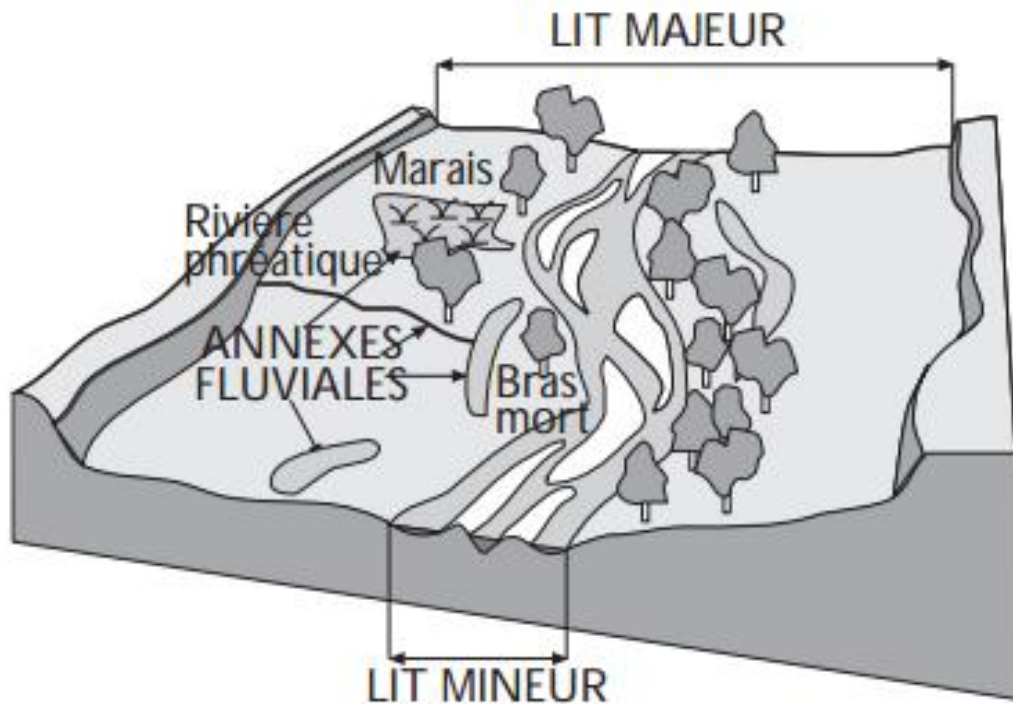
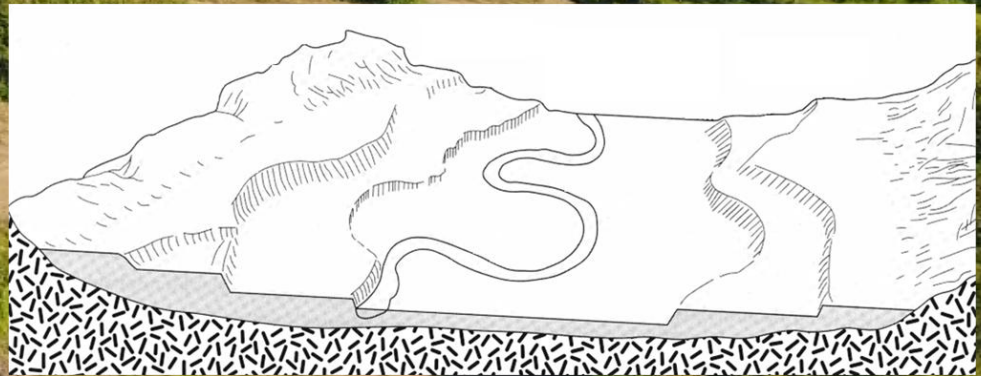


Figure 1 - Schéma conceptuel intégrant les limites de la plaine alluviale et de la plaine inondable. Modifié de Freinet, 2013.











## L'évolution des plaines alluviales :

- ☐ Mobilité latérale (migration, élargissement, avulsion)
- ☐ Mobilité verticale (incision et aggradation du lit)
- ☐ Inondations (dépôts de débordement, chenaux de débordements)

The image shows an aerial photograph of a river delta system, specifically the Ruisseau d'argent and Rivière York in Gaspé. A color-coded elevation map is overlaid on the photograph, with colors ranging from dark blue (low elevation) to red (high elevation). The map highlights the river channels and the surrounding floodplains. The river channels are shown as dark blue lines, while the floodplains are colored in shades of green, yellow, and red. The map also shows the intricate patterns of the river's branching and the surrounding landscape features.

Ruisseau d'argent et Rivière York, Gaspé



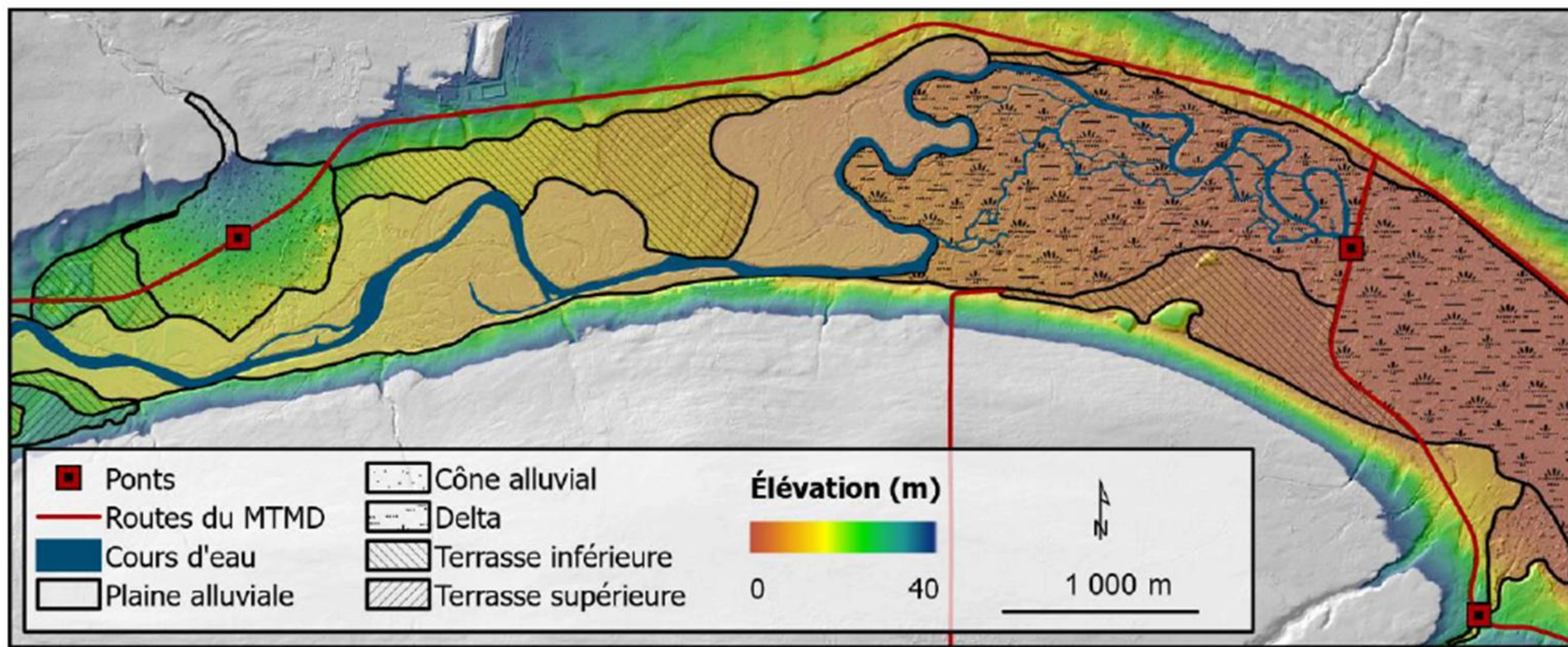
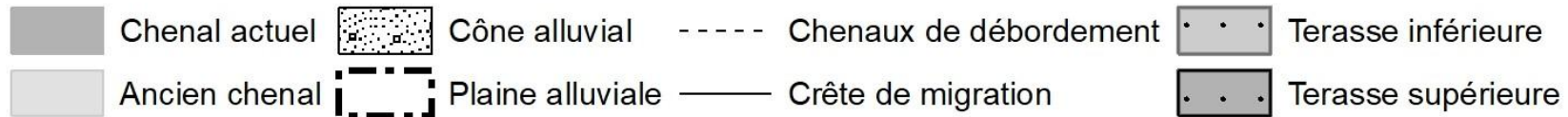
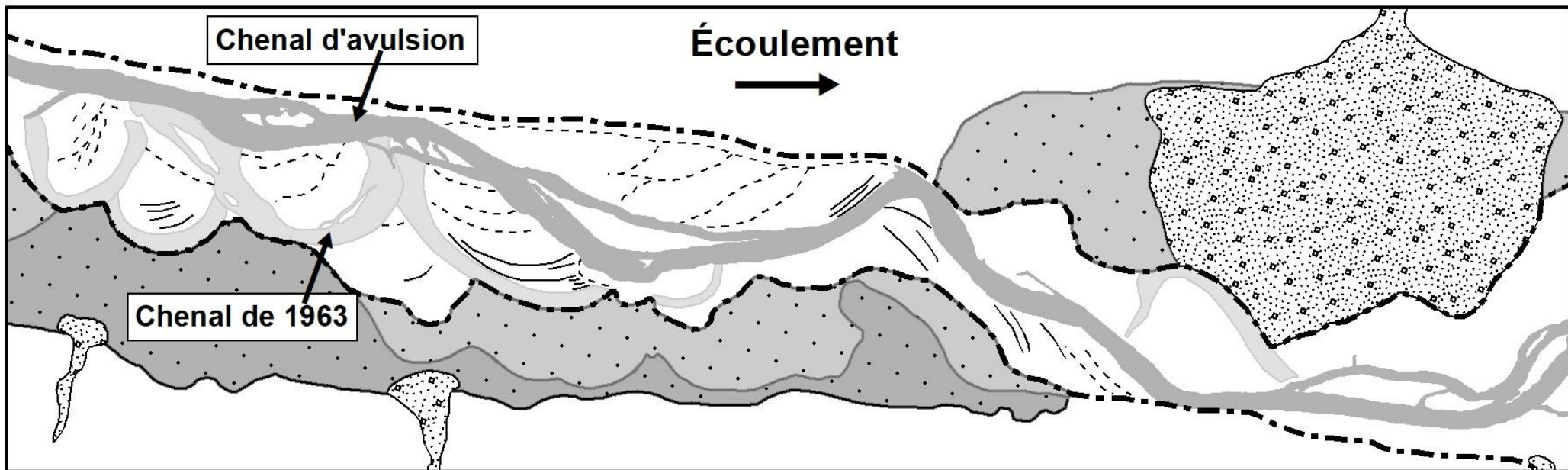
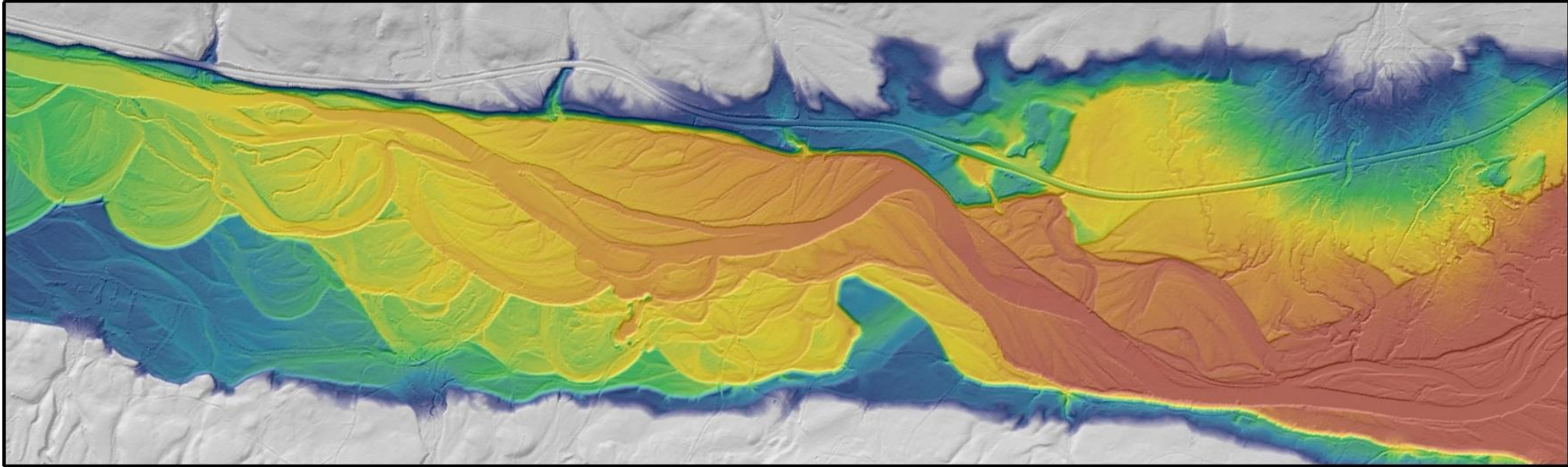


Figure 2. Cartographie des unités de paysages de la rivière York, Gaspésie.





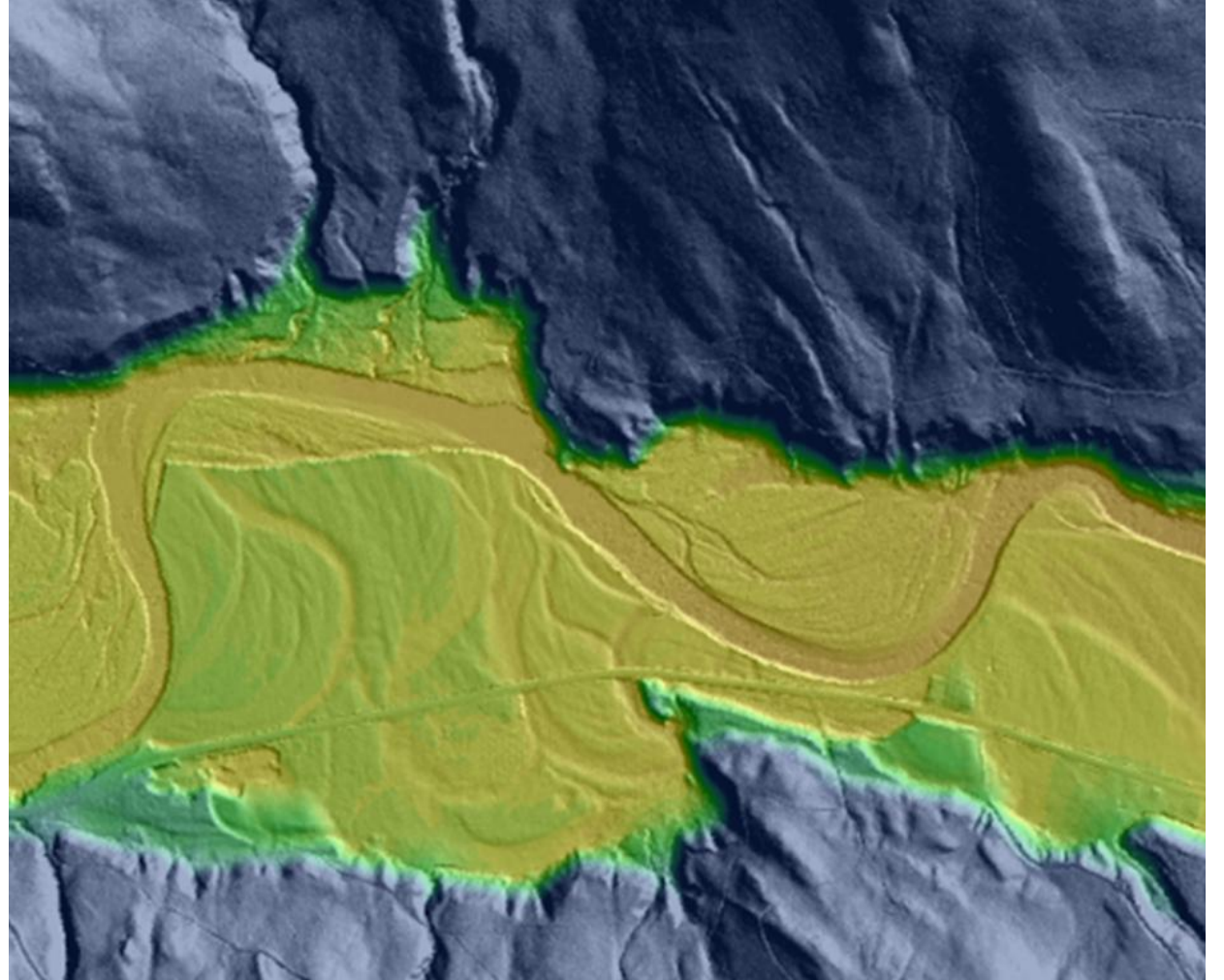
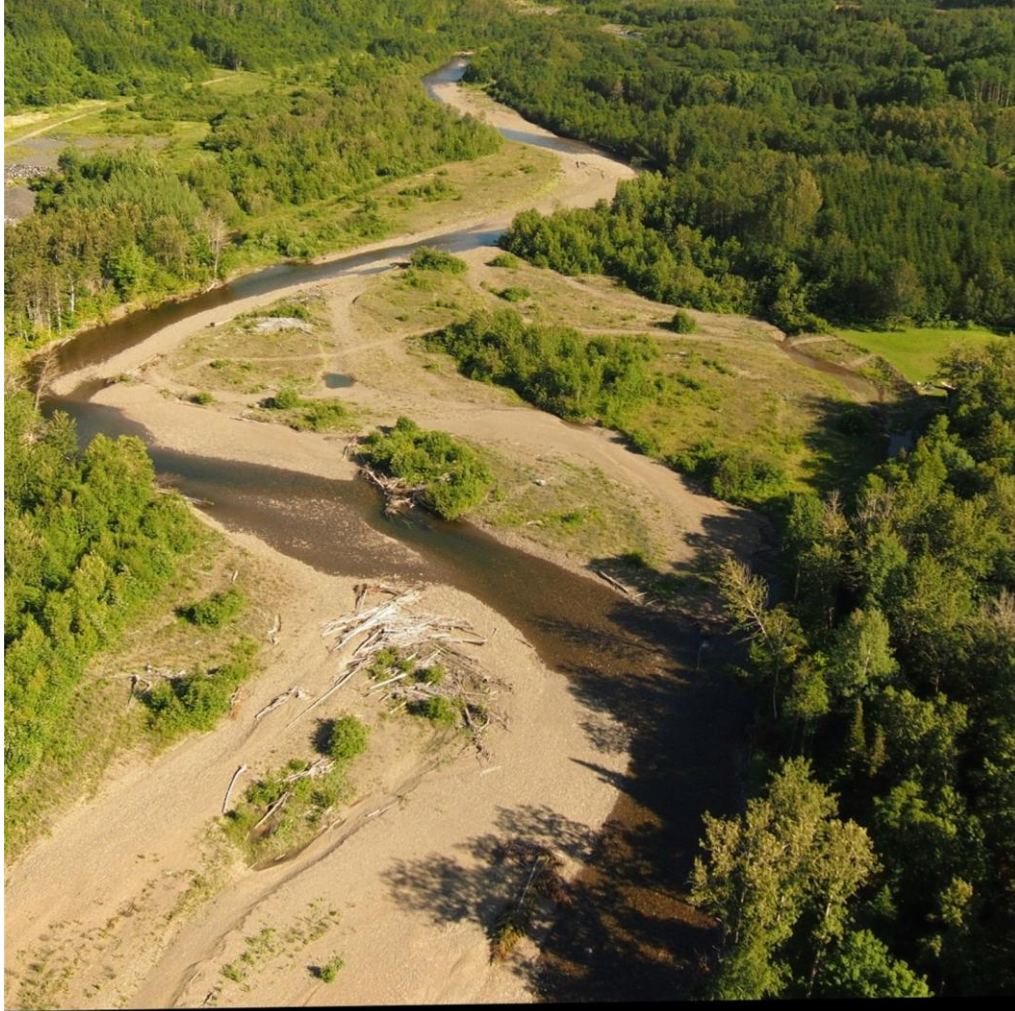
500 m





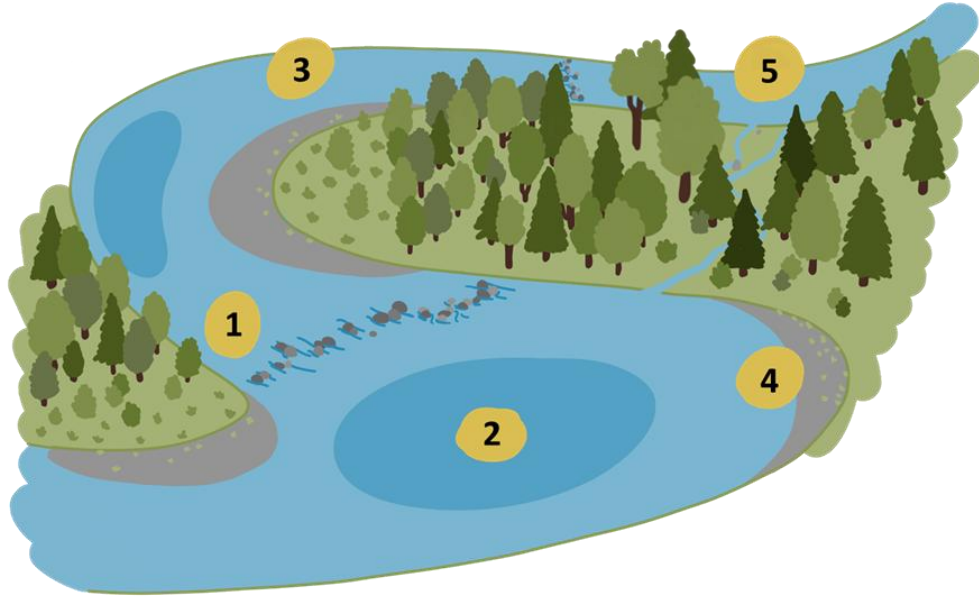
# Les unités géomorphologiques

**Les unités géomorphologiques sont les éléments constitutifs fondamentaux des cours d'eau (Brierley & Fryirs, 2005 ; Fryirs & Brierley, 2013 ; Wheaton et al., 2015)**

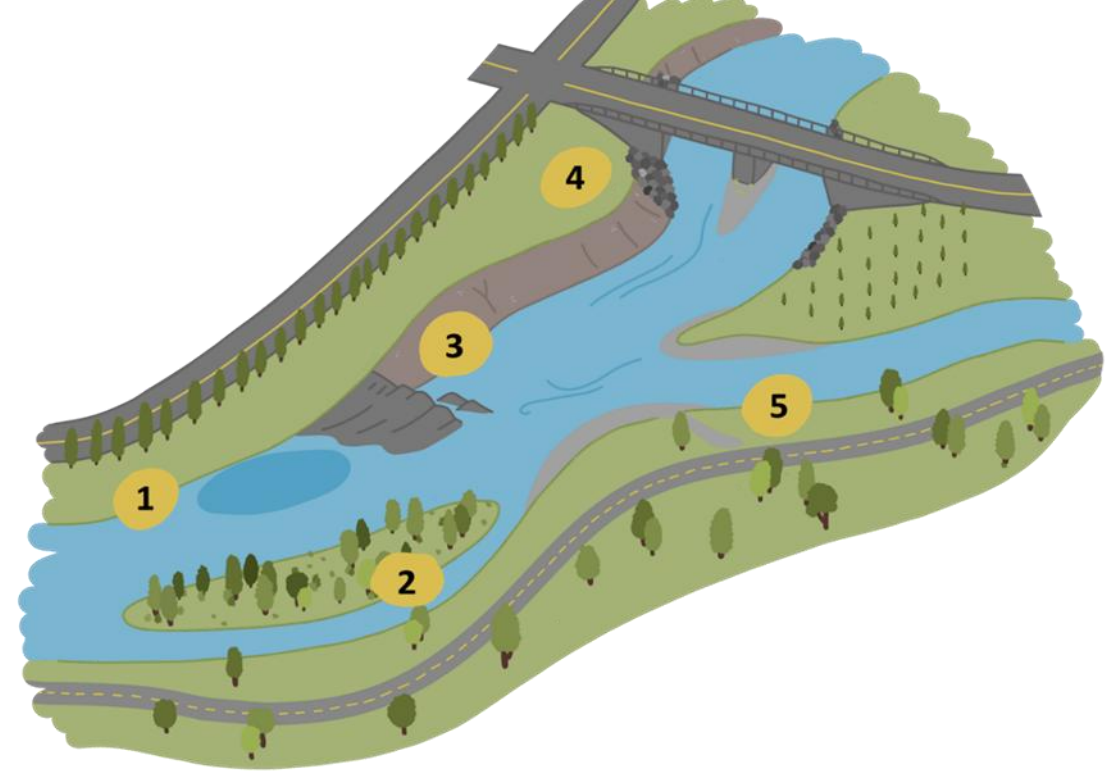




## Unités géomorphologiques : dans le cours d'eau

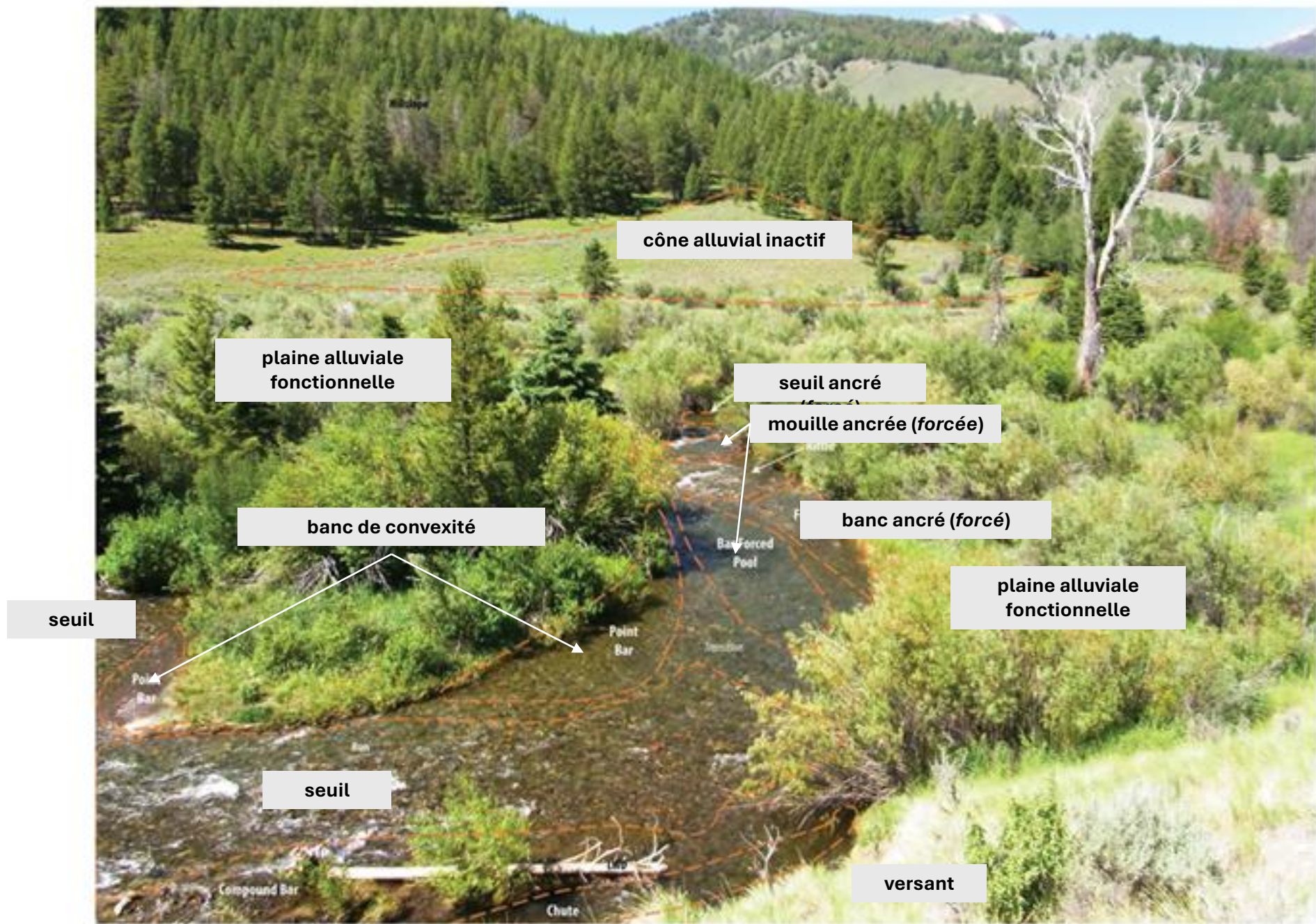


|   |                     |   |
|---|---------------------|---|
| 1 | Seuil               | Unité à granulométrie relativement uniforme dont l'écoulement est rapide et peu profond.  |
| 2 | Mouille             | Surcreusement du lit, la mouille est associée aux seuils et ensemble elles forment des alternances 'seuils-mouilles'.   |
| 3 | Banc de convexité   | Banc arqué situé dans la portion convexe d'une boucle de méandre, forme caractéristique de rivières à méandres.   |
| 4 | Banc en contrepoint | Banc situé dans la portion concave d'un méandre à fort rayon de courbure, les sédiments formant les bancs concaves sont plus fins que ceux de bancs convexes à proximité. |
| 5 | Chenal secondaire   | Un chenal est dit secondaire lorsqu'il est utilisé en débit inférieur ou égal au plein bord.  |

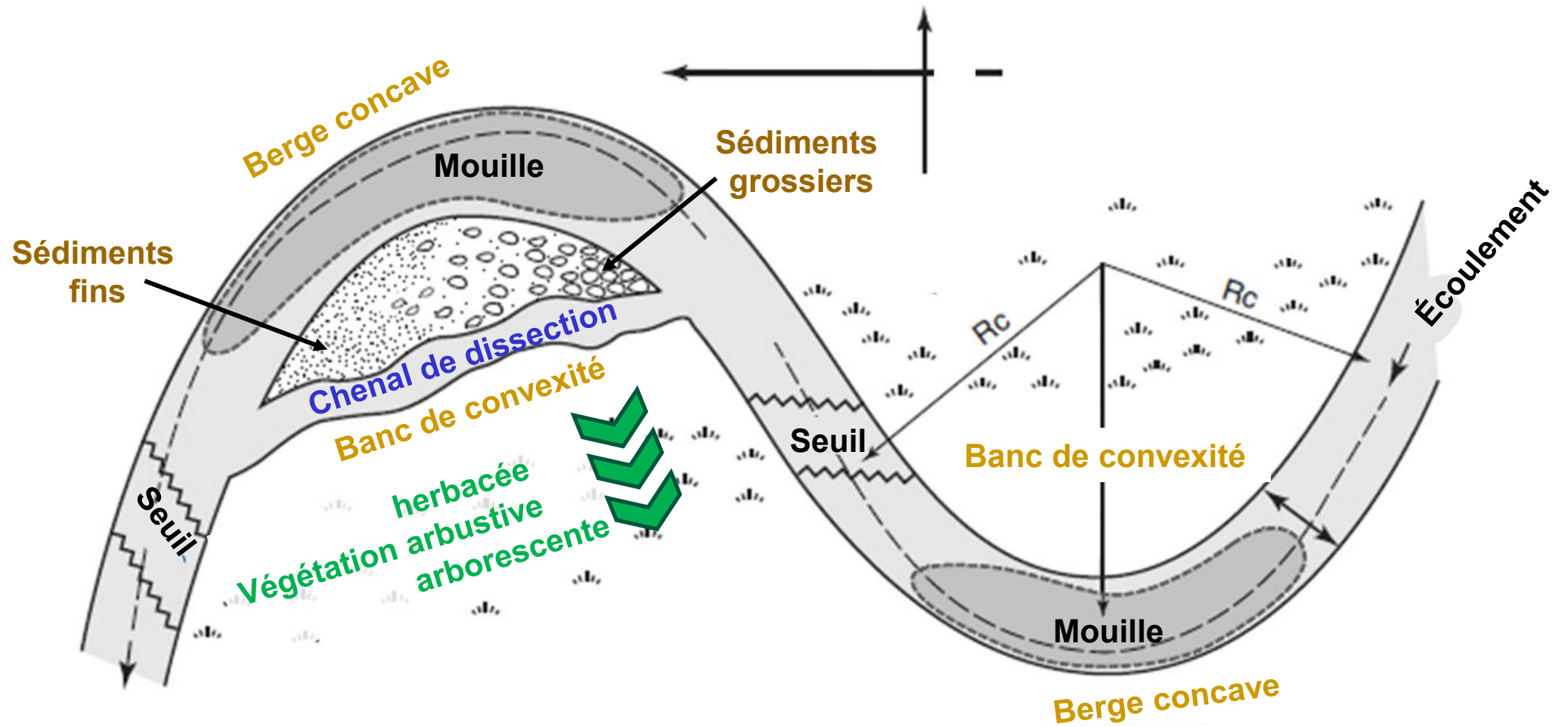


|   |                      |   |
|---|----------------------|---|
| 1 | Mouille forcée       | Portion du lit érodée par la turbulence associée à une autre unité géomorphologique telle qu'un embâcle de bois ou un affleurement rocheux.   |
| 2 | Île                  | Unité stable par rapport aux bancs sédimentaires, l'île peut résulter de la colonisation progressive d'un banc par la végétation ou être une partie de plaine séparée par un chenal secondaire. |
| 3 | Affleurement rocheux | Roche-mère en contact avec l'écoulement, l'affleurement peut être situé dans une berge ou sur le lit.   |
| 4 | Terrasse             | Surface surélevée par rapport à la plaine alluviale et nécessitant un débit élevé pour l'inonder.   |
| 5 | Bancs de confluence  | Banc sédimentaire associé à un apport sédimentaire d'un tributaire et de la rupture hydraulique à la confluence.  |



















# Geomorphologic mapping and taxonomy of fluvial landforms

Joseph M. Wheaton <sup>a,\*</sup>, Kirstie A. Fryirs <sup>b</sup>, Gary Brierley <sup>c</sup>, Sara G. Bangen <sup>a</sup>, Nicolaas Bouwes <sup>a,d</sup>, Gary O'Brien <sup>a</sup>

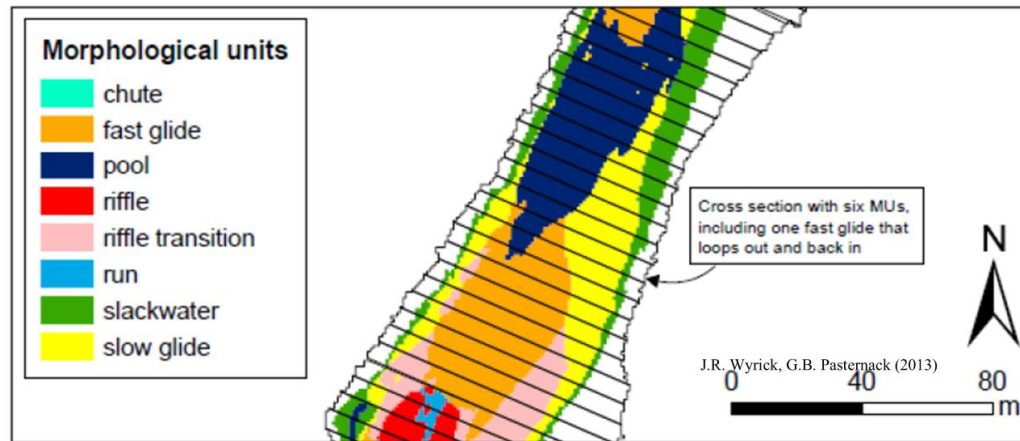
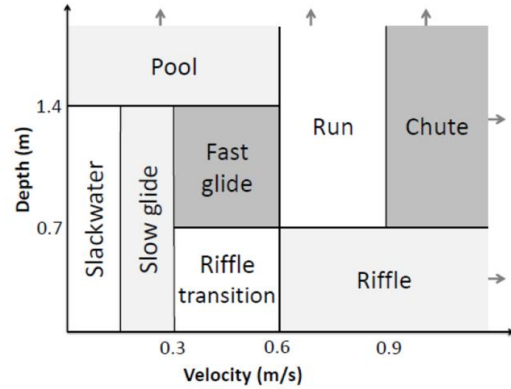


Figure 4

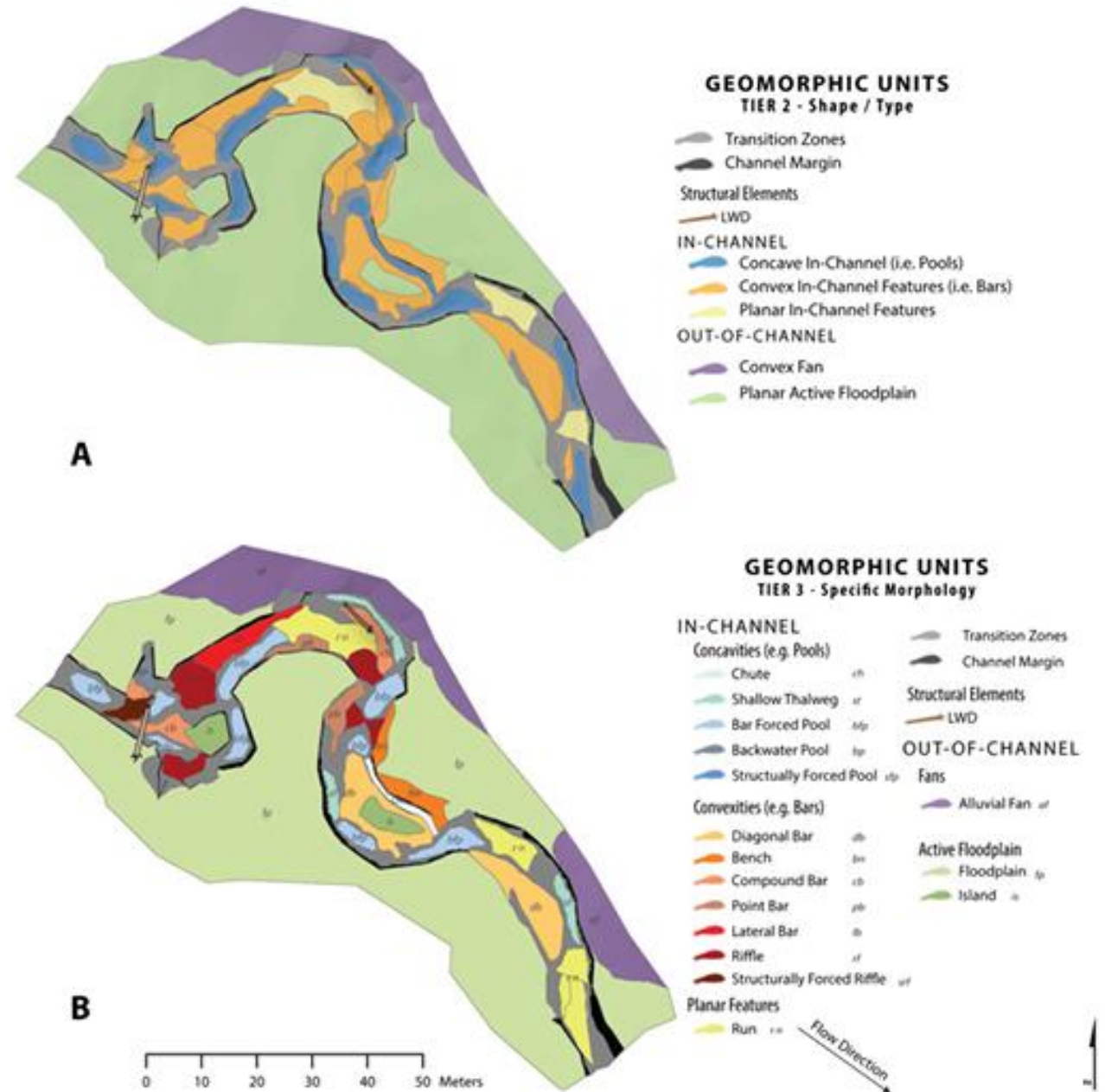
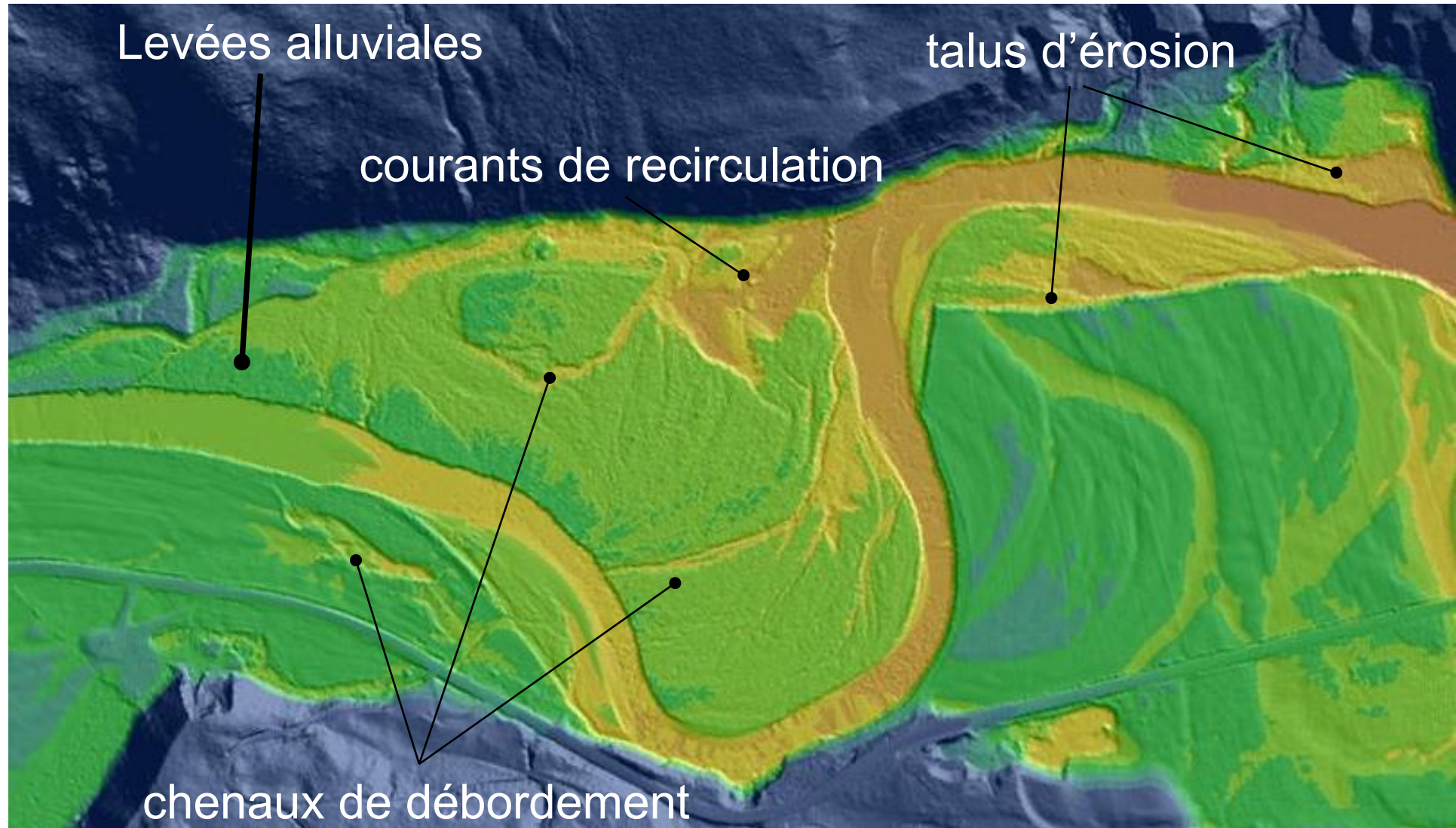


Fig. 12. Tier 2 (A) and tier 3 (B) geomorphic unit maps for partly confined example on Bear Valley Creek.



*Unités géomorphologiques : en périphérie du cours d'eau (plaine, cône, delta)*



St-René-de-Matane

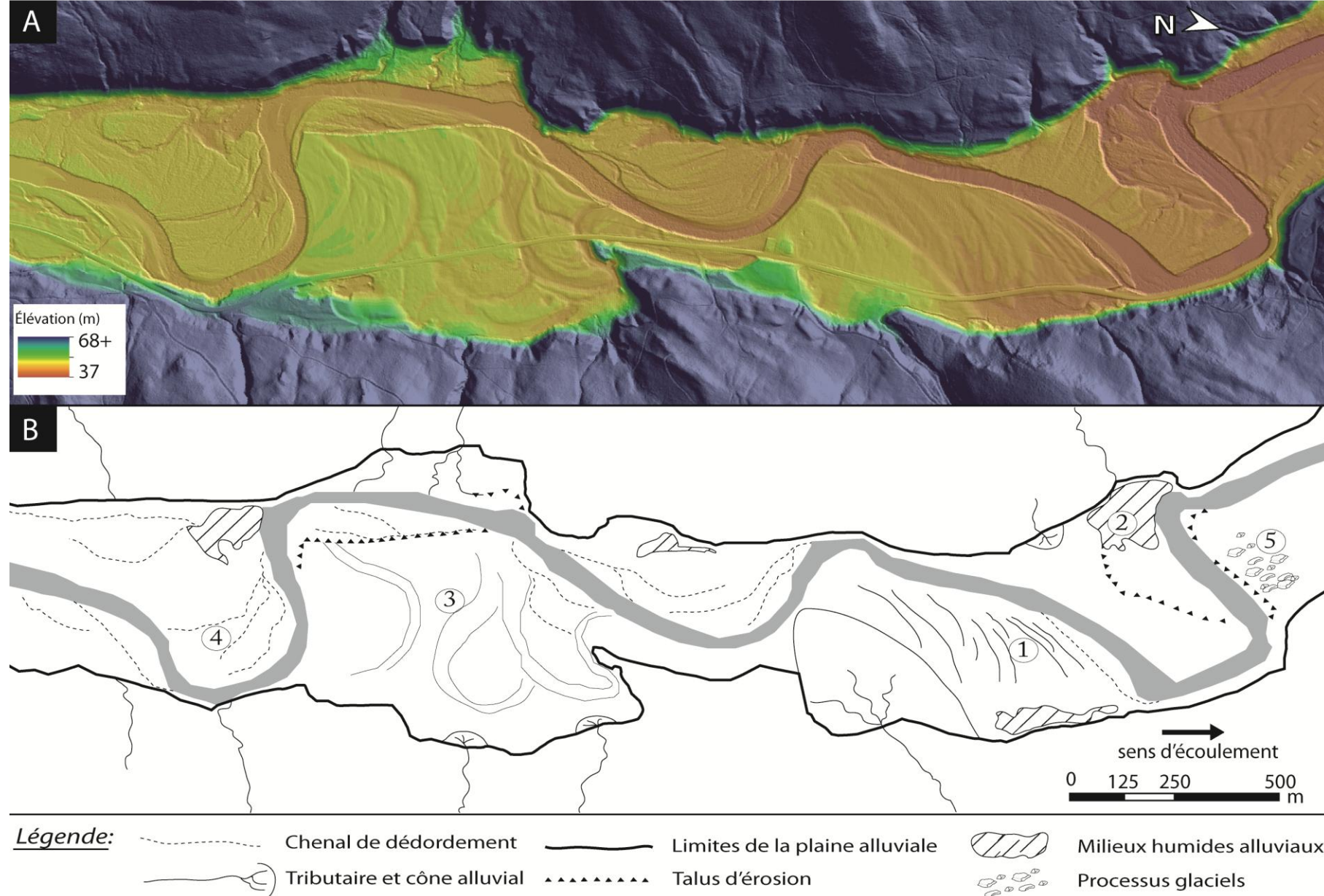


Figure 3 : La plaine alluviale de la rivière Matane : a) Modèle numérique de terrain (LiDAR aéroporté) d'un tronçon situé dans la partie aval du bassin versant; et b) Interprétation géomorphologique de ce tronçon : (1) : rides et sillons; (2) : milieux humides alluviaux; (3) : paléochenaux (méandres abandonnés); (4) : chenaux de débordements; (5) : encoche d'érosion provoquée par le passage des glaces.

**Demers et al. (2014)**



## Table des matières

|  |    |
|--|----|
| Guide de caractérisation hydrogéomorphologique.....              | 2  |
| Étape 1 : Contextualisation dans l'hydrosystème fluvial .....    | 4  |
| Étape 2 : Segmentation d'un tronçon homogène.....                | 6  |
| Étape 3 : Caractérisation du tronçon homogène.....               | 9  |
| 3.1 Confinement .....  | 11 |
| 3.2 Morphométrie en plan des chenaux.....                        | 13 |
| 3.2.1 Nombre de chenaux .....                                    | 13 |
| 3.2.2 Sinuosité .....  | 15 |
| 3.3 Inondabilité .....   | 16 |
| 3.4 Mobilité du chenal .....                                     | 19 |
| 3.5 Bois mort et embâcles de bois.....                           | 21 |
| 3.6 Dynamique glacielle et embâcles de glace .....               | 22 |
| 3.7 Connectivité hydrosédimentaire .....                         | 23 |
| Étape 4 : Caractérisation du site .....                          | 25 |
| 4.1 Unités géomorphologiques.....                                | 26 |
| 4.2 Composition et morphologie des berges.....                   | 29 |
| 4.3 Granulométrie du substrat et structure du lit .....          | 31 |
| 4.4 Végétation riveraine .....                                   | 32 |
| 4.5 Utilisation du sol et usages .....                           | 32 |
| Étape 5 : Diagnostic et anticipation hydrogéomorphologique ..... | 33 |
| Références .....   | 36 |
| Annexes.....   | 38 |



**Guide de caractérisation hydrogéomorphologique**

Mars 2025, v5.



# Sensibilité hydrogéomorphologique en contexte de changements climatiques

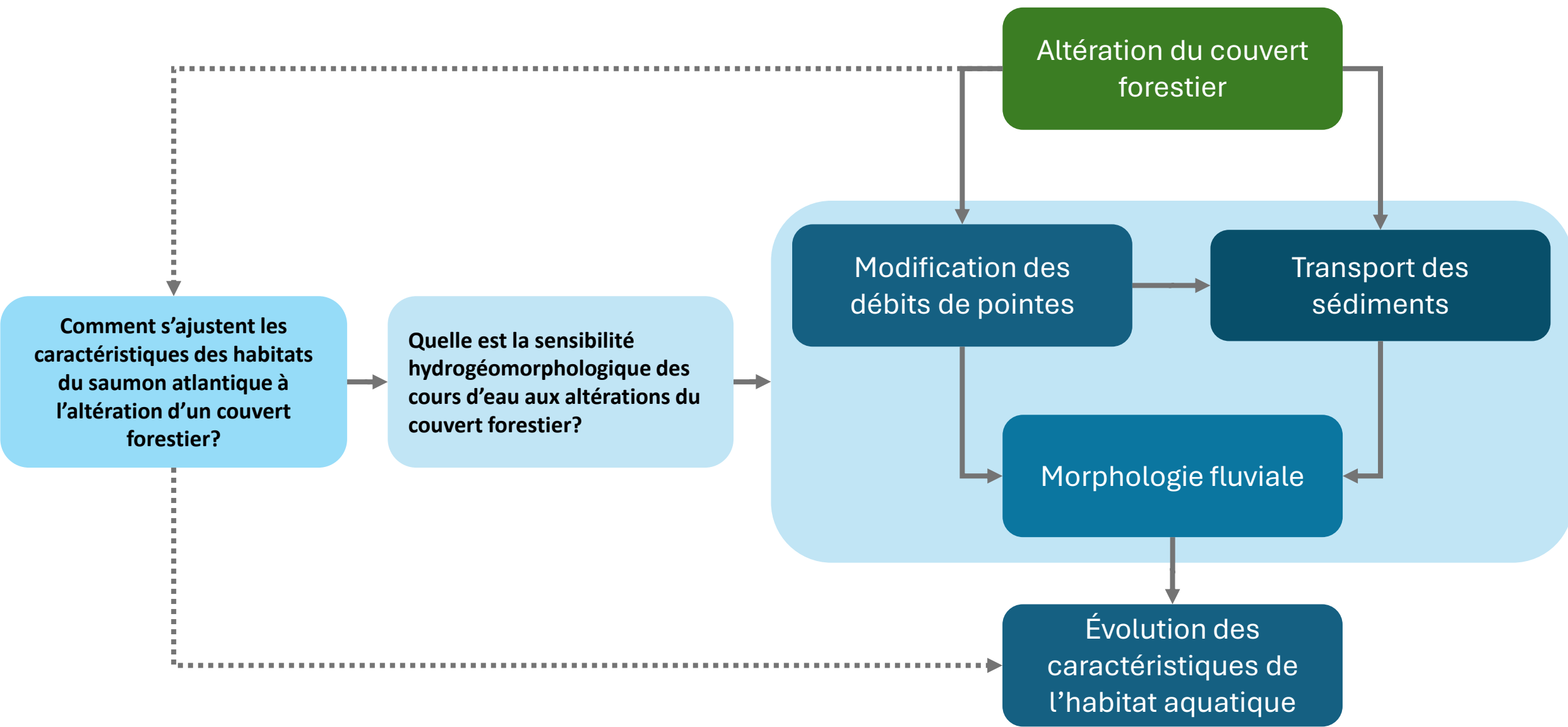
A-Hydrologie

B-Hydrogéomorphologie

**C-Sensibilité des cours d'eau**

D-Outils et réflexions





*« La sensibilité est une caractéristique d'un système qui décrit la **gravité de sa réponse** à une perturbation, par rapport à **l'ampleur de la force de la perturbation**. »*

Schumm (1991)

*« La sensibilité d'un paysage au changement est exprimée comme étant la probabilité **qu'une modification** dans les variables de contrôle d'un système **produise une réponse sensible, reconnaissable et persistante** »*

Brunsden and Thornes (1979) (la plus utilisée)



## Fryirs (2017) River sensitivity: a lost foundation concept in fluvial geomorphology

*« le principal défi pour les géomorphologues est l'application du concept et la production de données empiriques qui mesurent de manière adéquate la sensibilité des rivières à travers les échelles spatiales et temporelles. »*

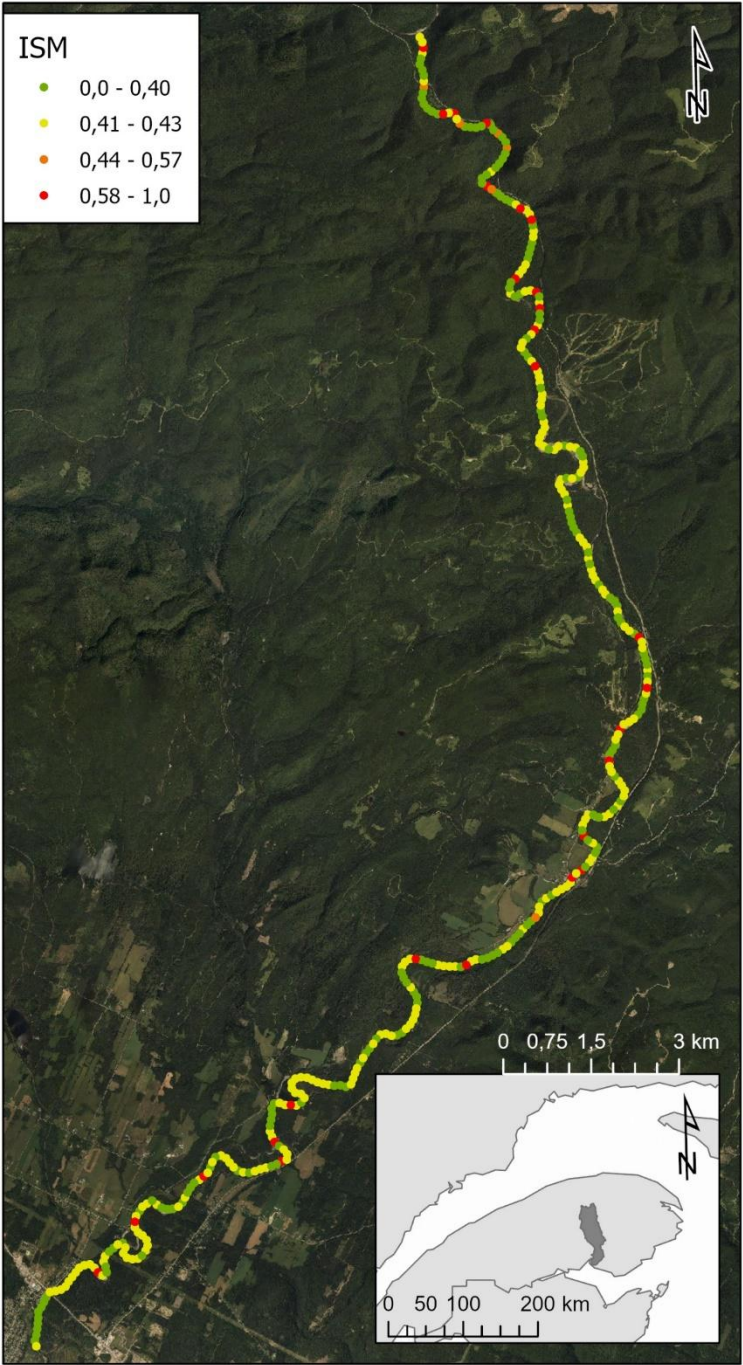
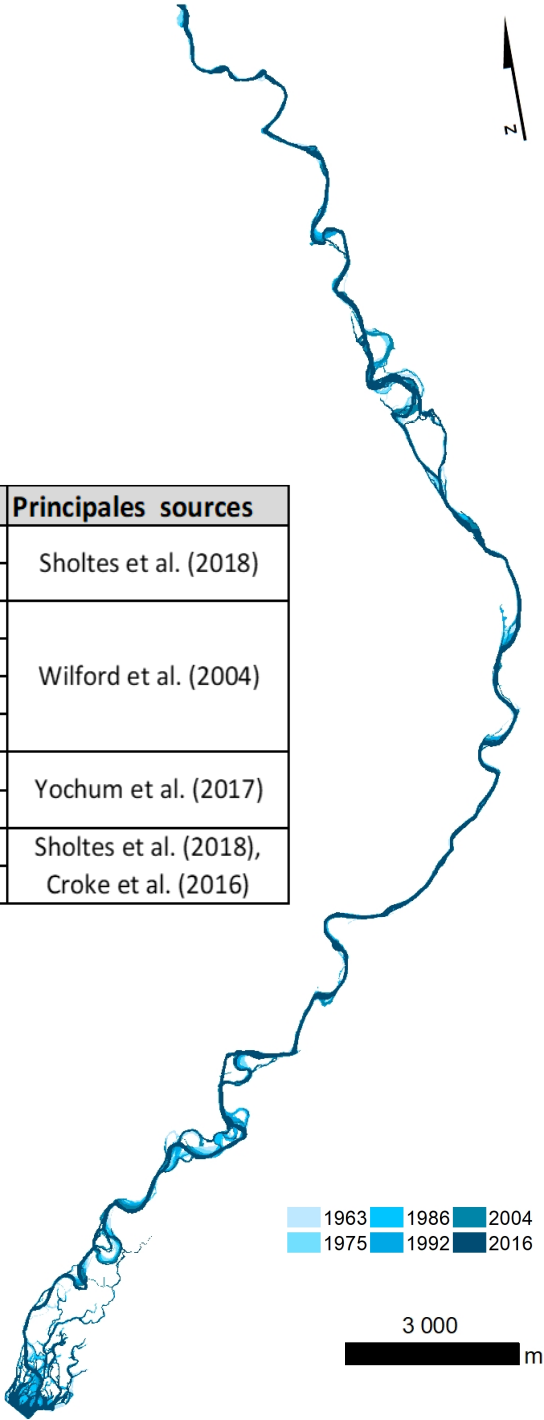
$$ISM = \frac{C * (\omega + \Delta\omega + \Delta C)}{35}$$

| Indicateurs |                                  | Classification et seuils    | pointage | Principales sources                           |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------|----------|---|
| C           | Confinement                      | Confiné                     | 1        | Sholtes et al. (2018)                         |
|             |                                  | Patiellement ou non-confiné | 1,5      |   |
| ω           | Puissance spécifique             | < 230                       | 0        | Wilford et al. (2004)                         |
|             |                                  | ≥ 230                       | 4        |   |
|             |                                  | ≥ 480                       | 7        |   |
|             |                                  | ≥ 700                       | 10       |   |
| Δω          | Gradient de puissance spécifique | <2,3 et > 0,59              | 0        | Yochum et al. (2017)                          |
|             |                                  | ≥2,3 ou ≤0,59               | 10       |   |
| ΔC          | Variations dans le confinement   | Pas de changement           | 0        | Sholtes et al. (2018),<br>Croke et al. (2016) |
|             |                                  | Changement                  | 10       |   |

Tableau 1: Les indicateurs de l'Indice de Sensibilité Morphologique (ISM)

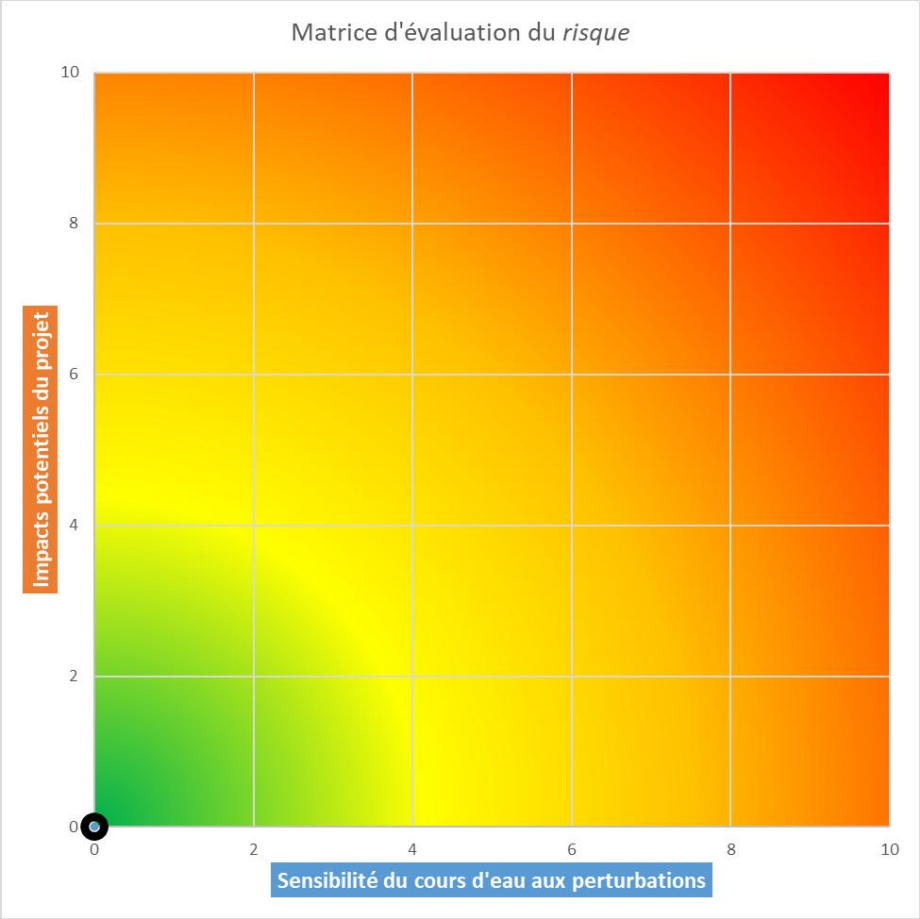
Scoazec (2019)

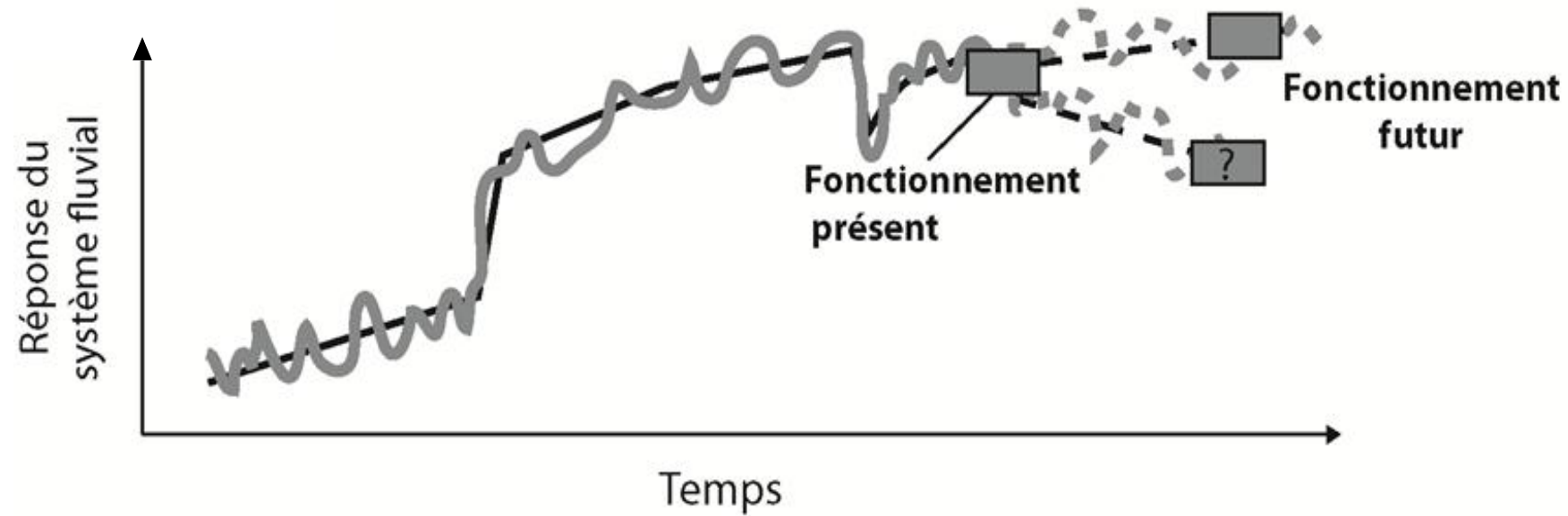
Rivière  
Petite Cascapédia





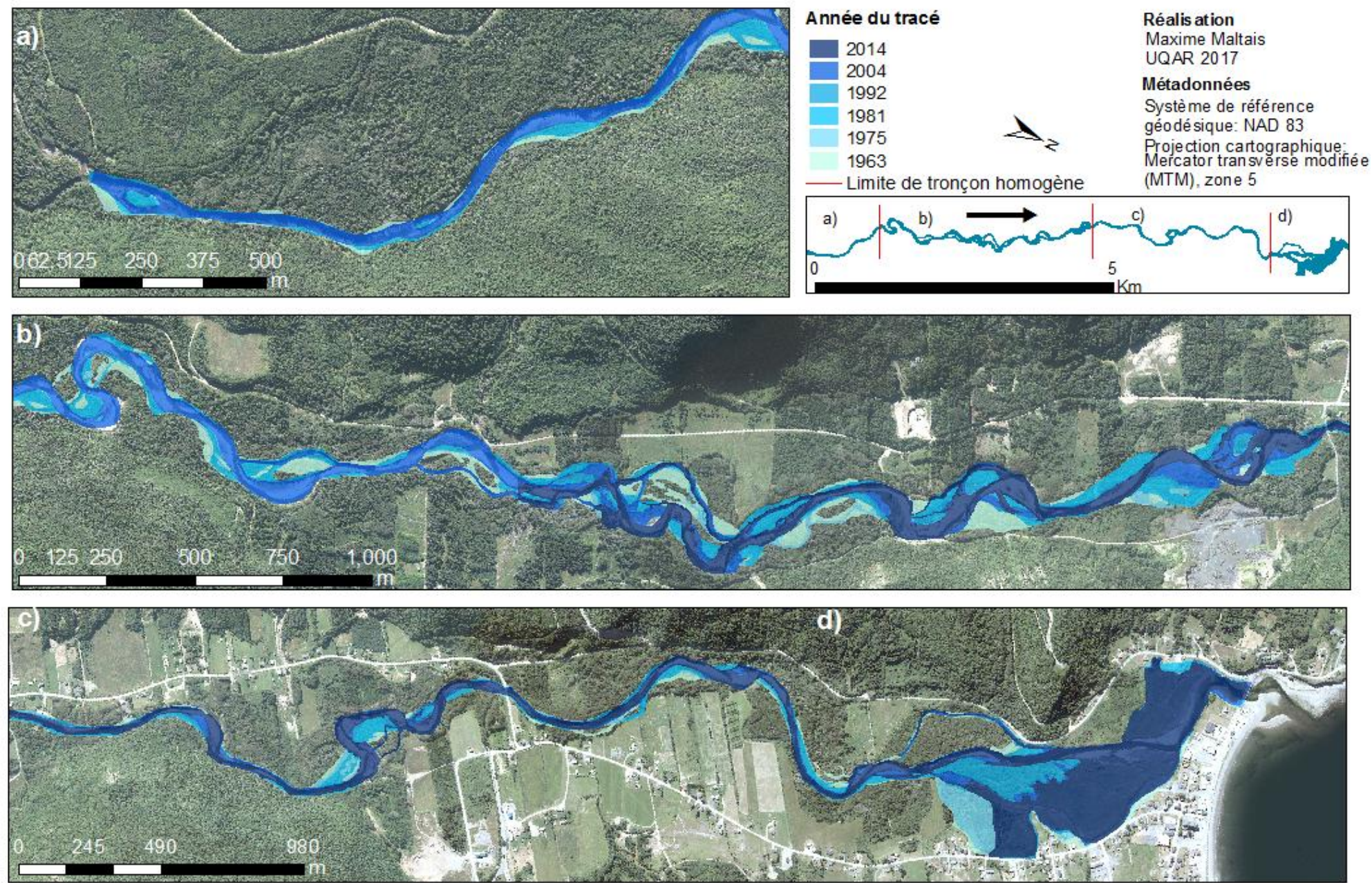
| Matrice d'évaluation d'une réponse potentielle du cours d'eau                                    |       |
|--|-------|
| 1. Unités de paysage (tronçon)   | Poids |
| Cours d'eau confiné  | 0     |
| Cours d'eau partiellement confiné  | 5     |
| Cours d'eau dans plaine alluviale  | 5     |
| Cours d'eau sur cône alluvial ou delta   | 10    |
| 2. Indicateurs de mobilité des données historiques (photos aériennes, archives) (tronçon)        |       |
| Changement <i>marqué</i> dans la position du tracé (linéarisation, mobilité latérale, avulsions) | 5     |
| Changement <i>marqué</i> dans la largeur du cours d'eau  | 10    |
| 3. Composition dominante du lit (tronçon)  |       |
| affleurement rocheux / béton   | 0     |
| blocs  | 2     |
| galets   | 5     |
| graviers   | 10    |
| sable  | 5     |
| limons / argiles (sédiments fins)  | 2     |
| revêtement artificiel (lit enrochés)   | 2     |
| 4. Connectivité sédimentaire (tronçon homogène et amont immédiat du site)                        |       |
| Sources actives de sédiments grossiers (berges, confluence)                                      | 5     |
| Sources actives de bois morts (berges en érosion)  | 5     |
| Sources active de sédiments fins (glissement de terrain)   | 3     |
| 5. Indicateurs d'inondabilité identifiés sur le terrain (site)                                   |       |
| Marqueurs de crues présents au-delà du niveau plein bord   | 3     |
| Marqueurs de dynamique fluvio-glacielle (cicatrices, morphologie)                                | 5     |
| Présence de chenaux de débordements  | 3     |
| 6. Indicateurs de mobilité identifiés sur le terrain berge immédiate et chenal (site)            |       |
| Une berge avec décrochements / affouillement   | 1     |
| Berge concave en érosion + banc de convexité avec gradient de végétation                         | 5     |
| Berge des deux cotés avec décrochements / affouillement  | 5     |
| Présence de bancs centraux   | 3     |
| Présence de chenaux secondaires  | 5     |





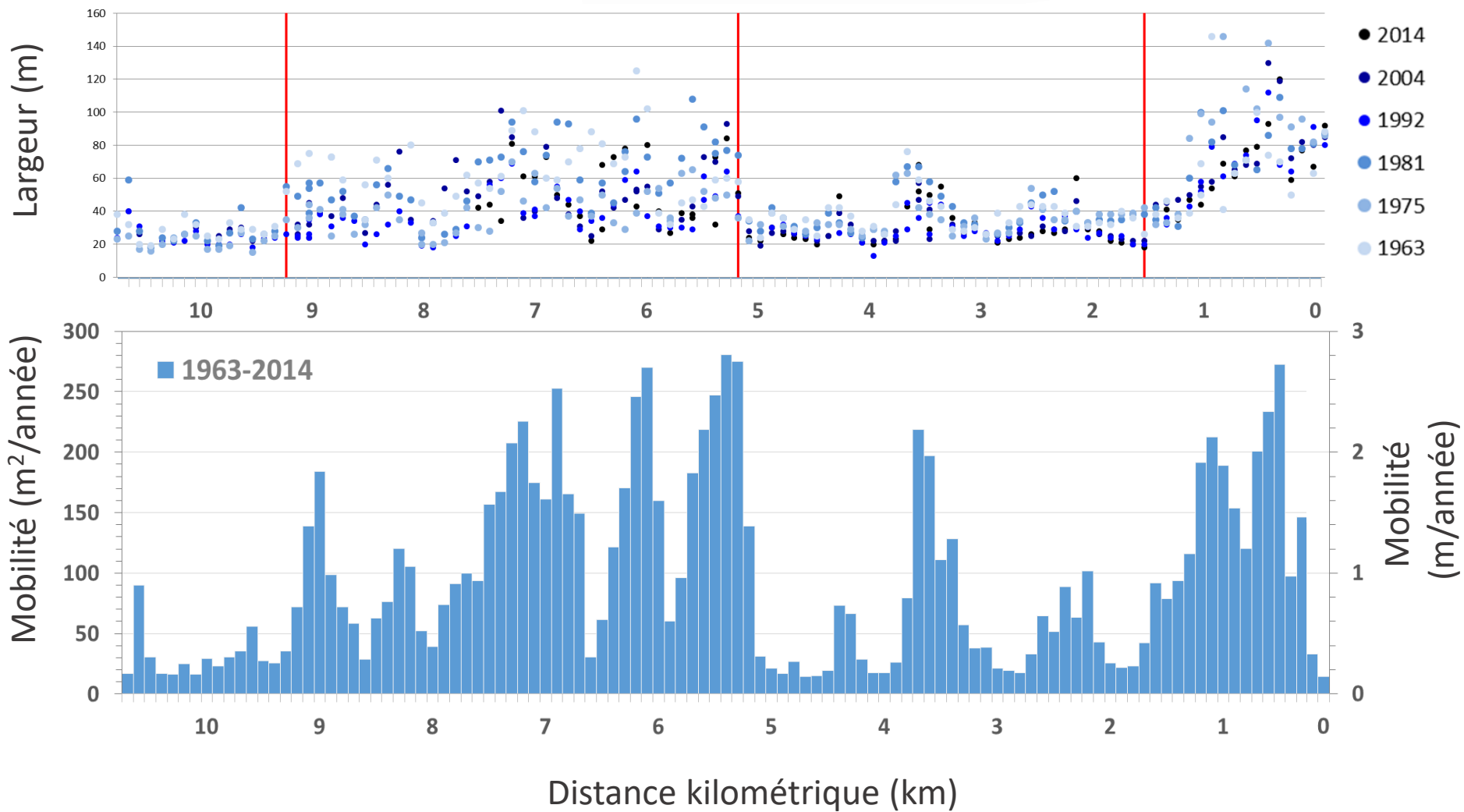
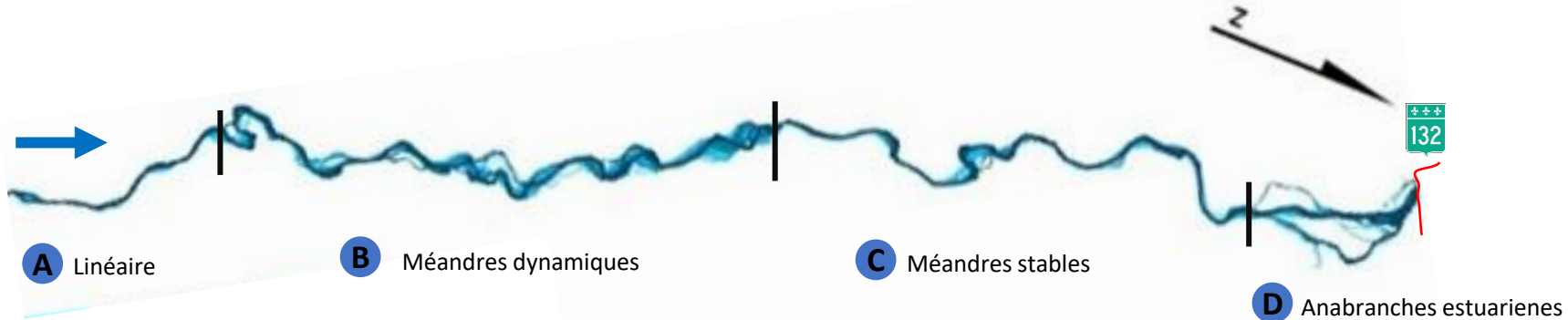
- *Pour mieux cerner où se situe le cours d'eau, la trajectoire géomorphologique permet*
  - *observer l'évolution passée des caractéristiques du cours d'eau*
  - *déterminer les variables clefs qui jouent sur son évolution*
  - *évaluer sa sensibilité et sa résilience*
  - *anticiper son évolution*



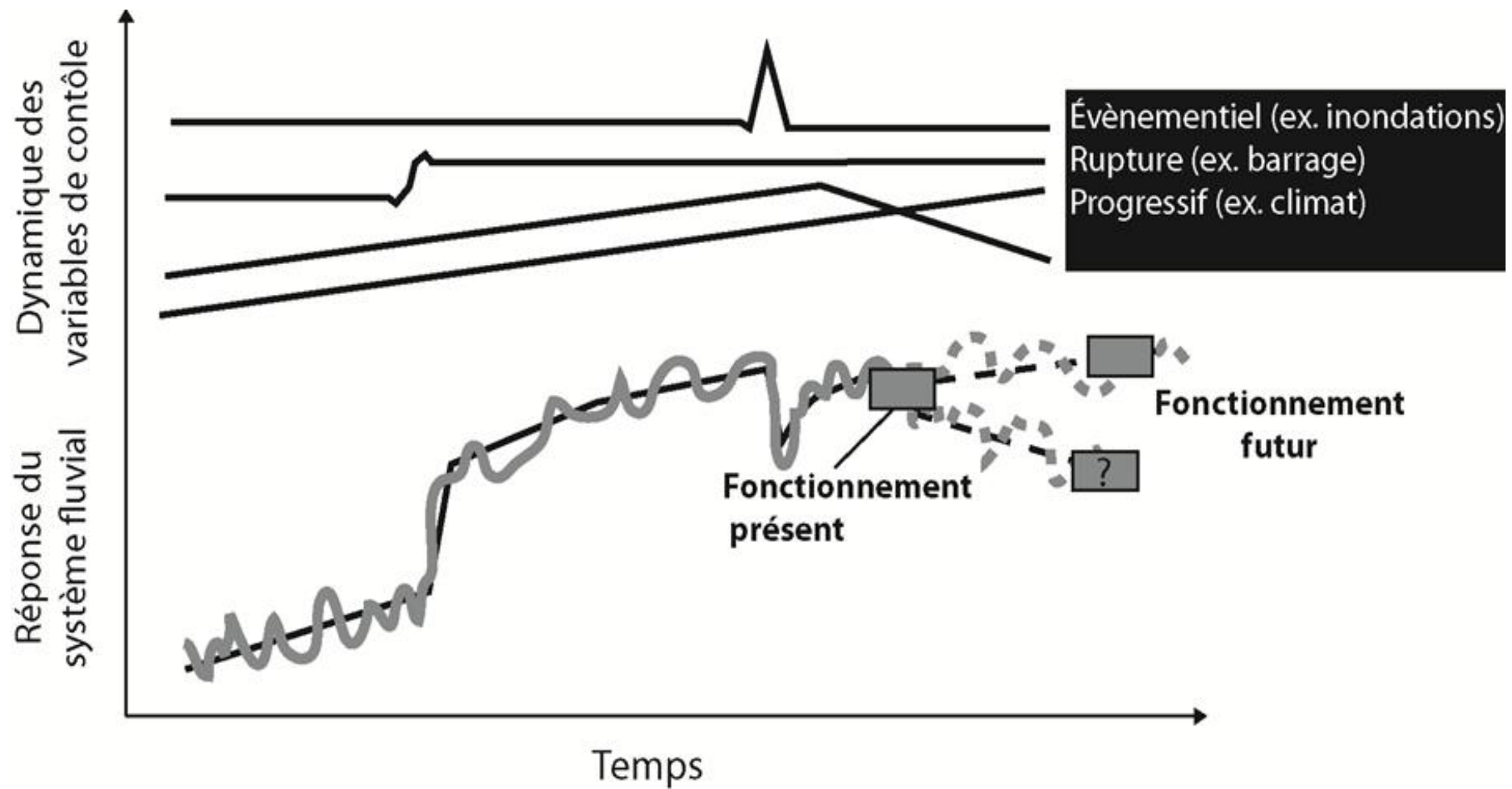




Rivière  
Mont Louis







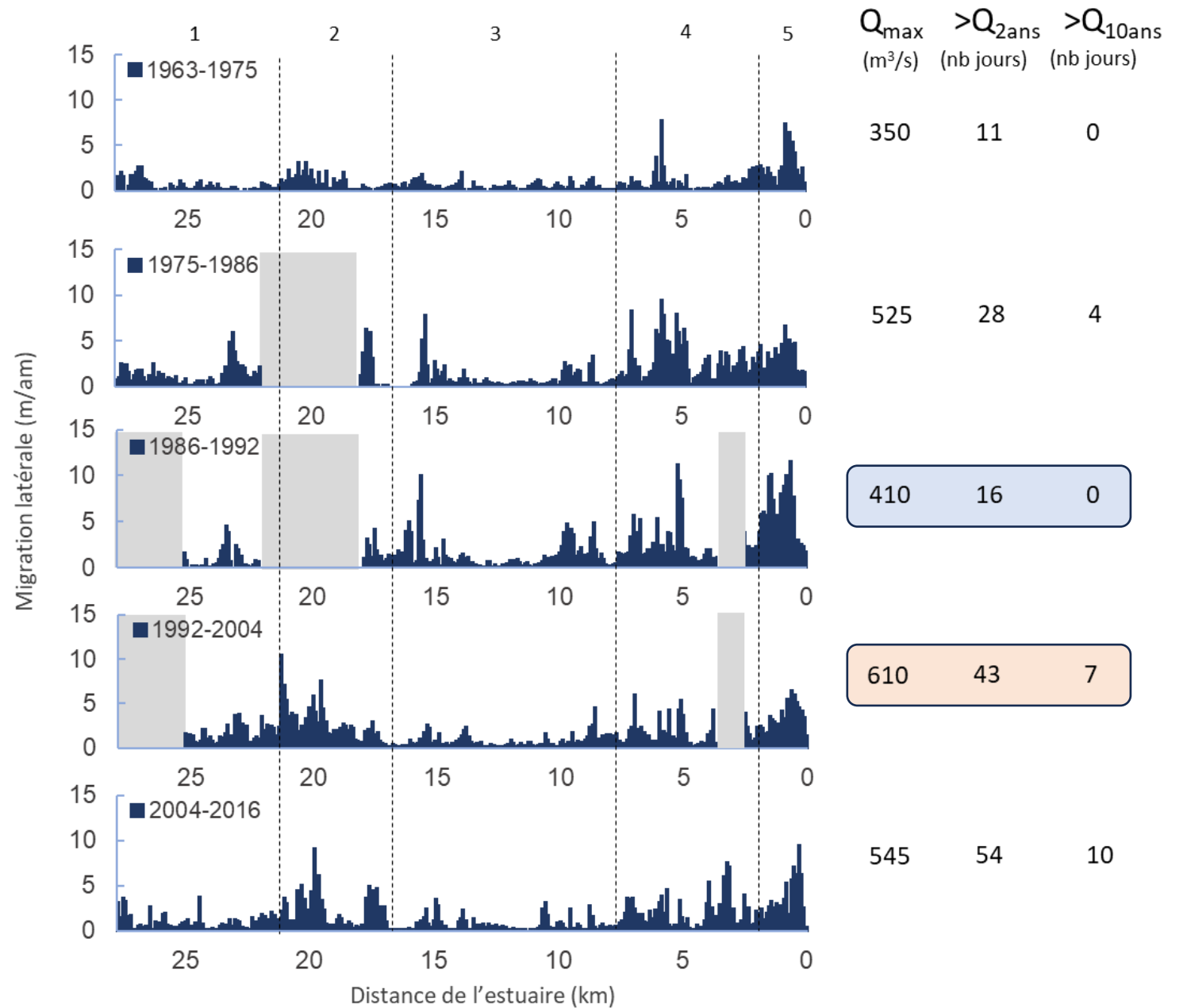
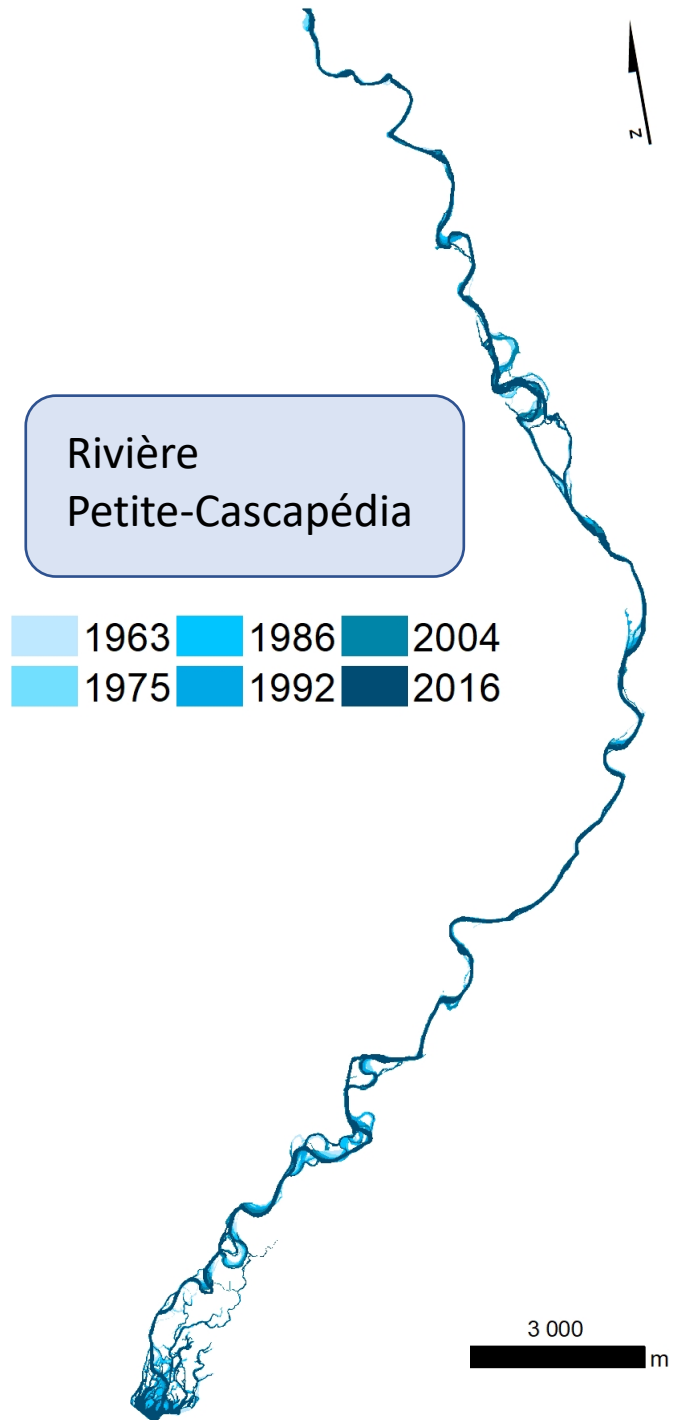
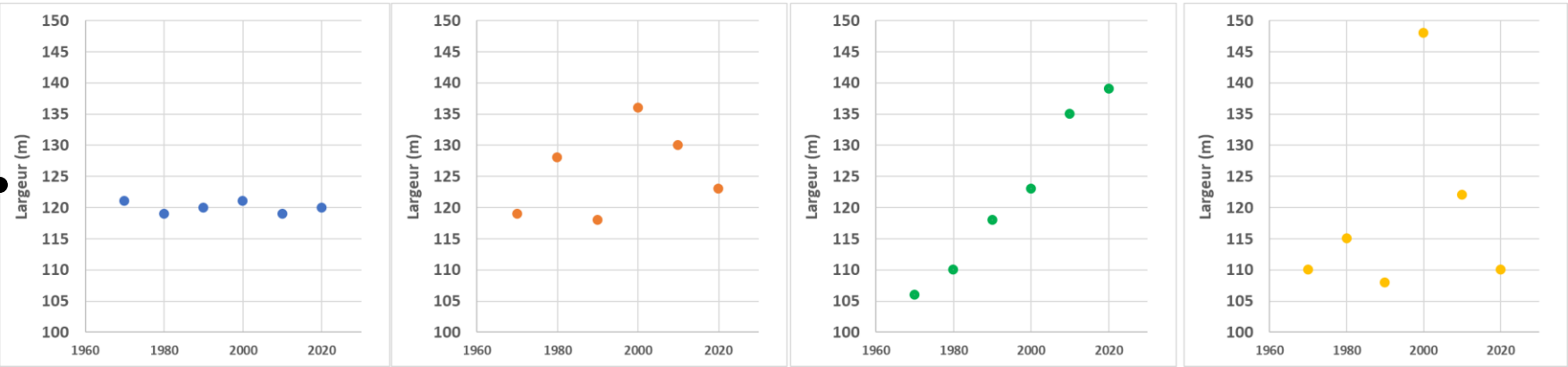


Figure 3. Migration du chenal par période;  $Q_{\max}$ = débit quotidien max durant la période;  $>2\text{ans}$  = Nombre de fois par année où le débit quotidien annuel est plus grand que le débit de récurrence 2 ans;  $>10\text{ans}$  = Nombre de fois par année où le débit quotidien annuel est plus grand que le débit de récurrence 10 ans; les zones grises indiquent des secteurs où les tracés ne sont pas disponibles





Largeur (m)



Stable

Mobile

Transition

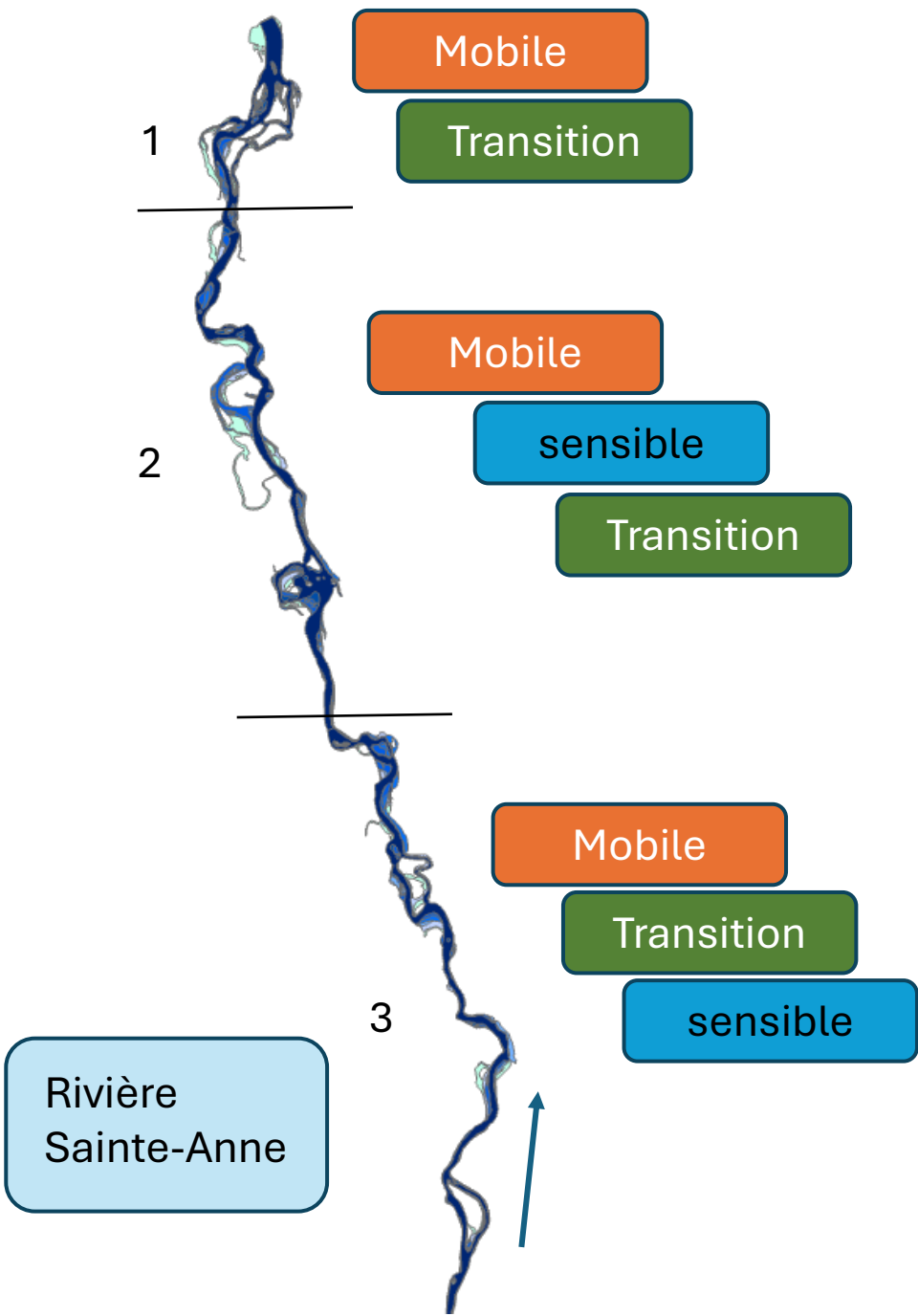
Sensible

Interprétation des valeurs élevées de statistiques descriptives de la trajectoire :

| Indicateur | Tronçon | Moyenne    | Écart-Type             | Asymétrie  | Pente      |
|------------|---------|------------|------------------------|------------|------------|
| Largeur    | A       |            | Mobile<br>Transition   | Sensible   | Transition |
| Mobilité   | A       | Mobile (M) | Sensible<br>Transition | Sensible   | Transition |
| Sinuosité  | A       |            | Mobile<br>Transition   | Mobile (A) | Mobile     |

Mobilité (m/a)

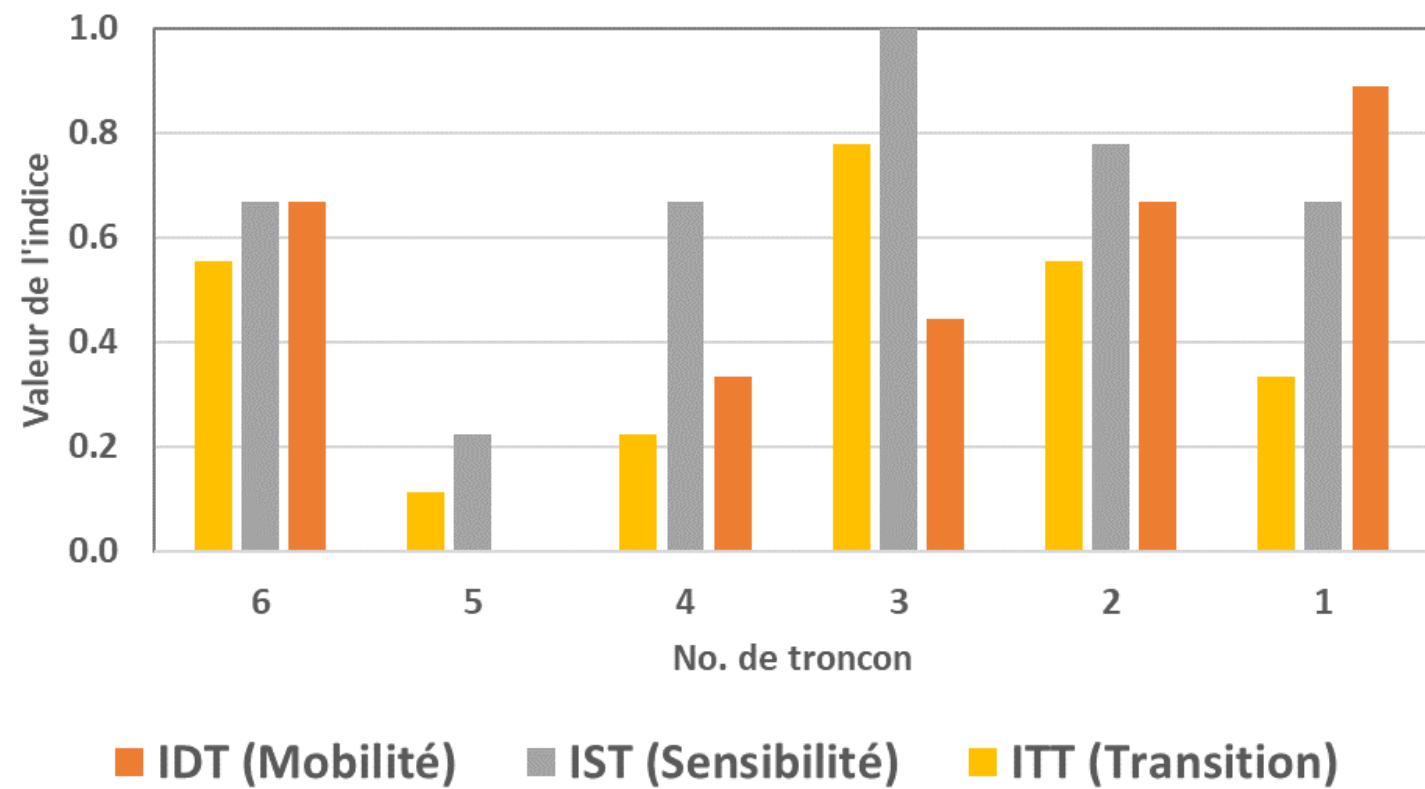
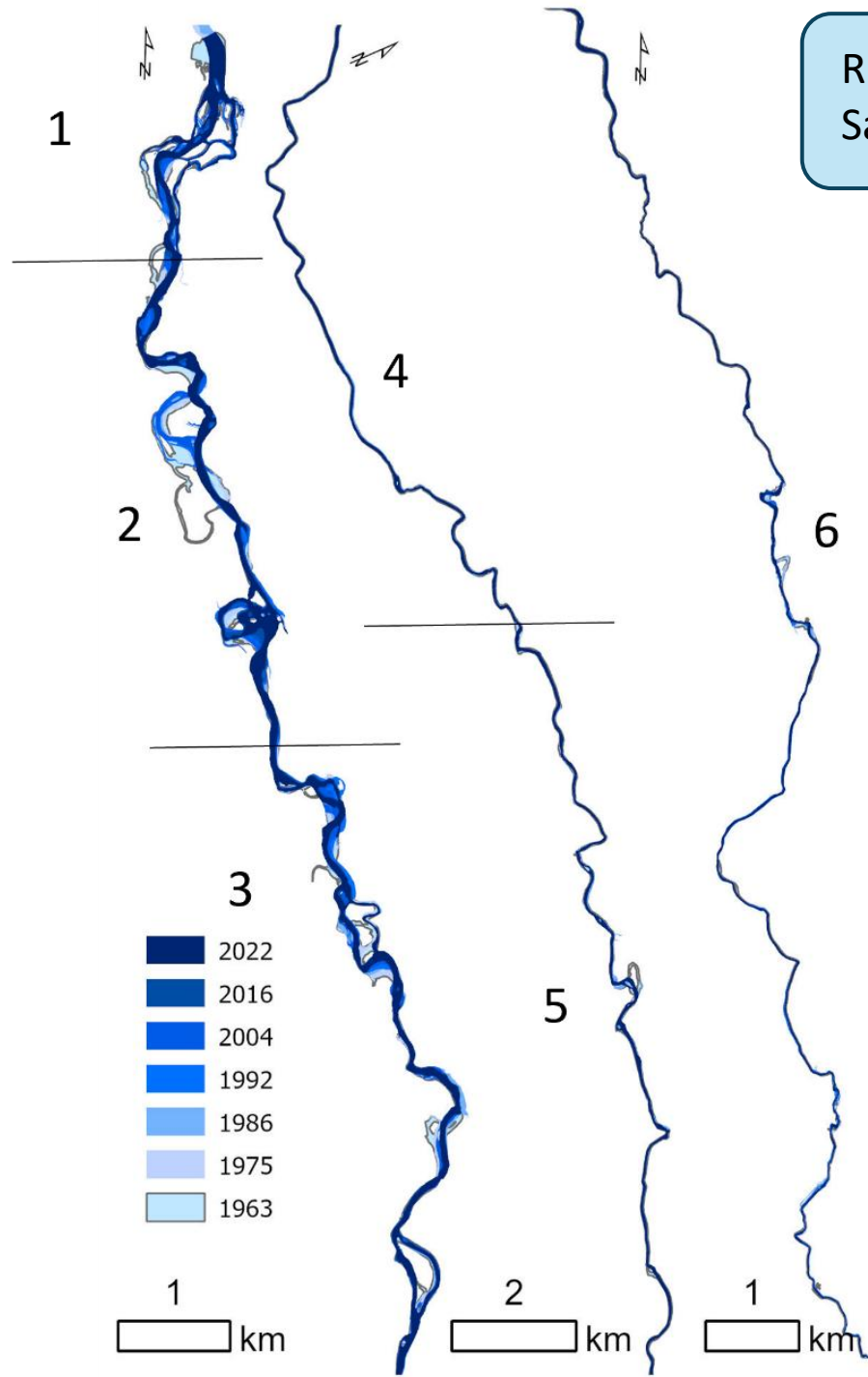
Sinuosité



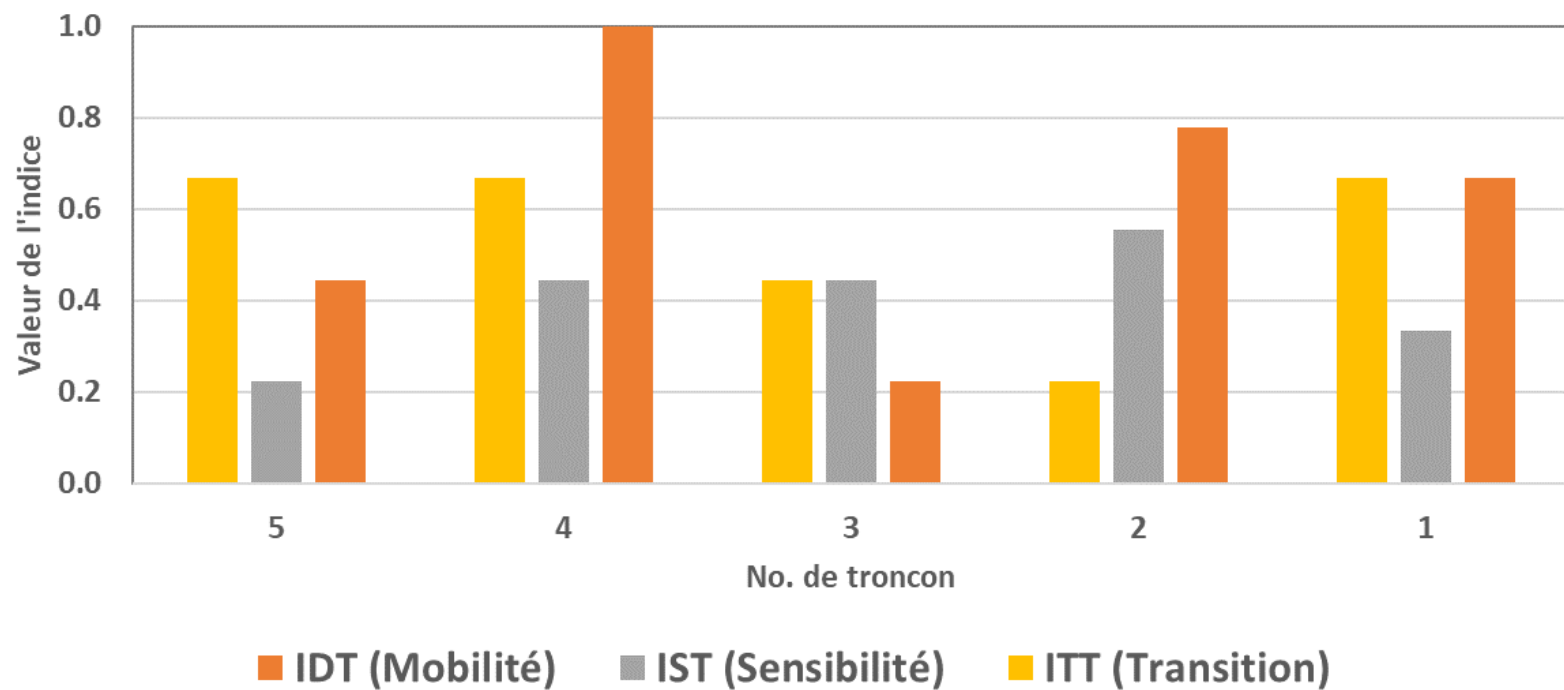
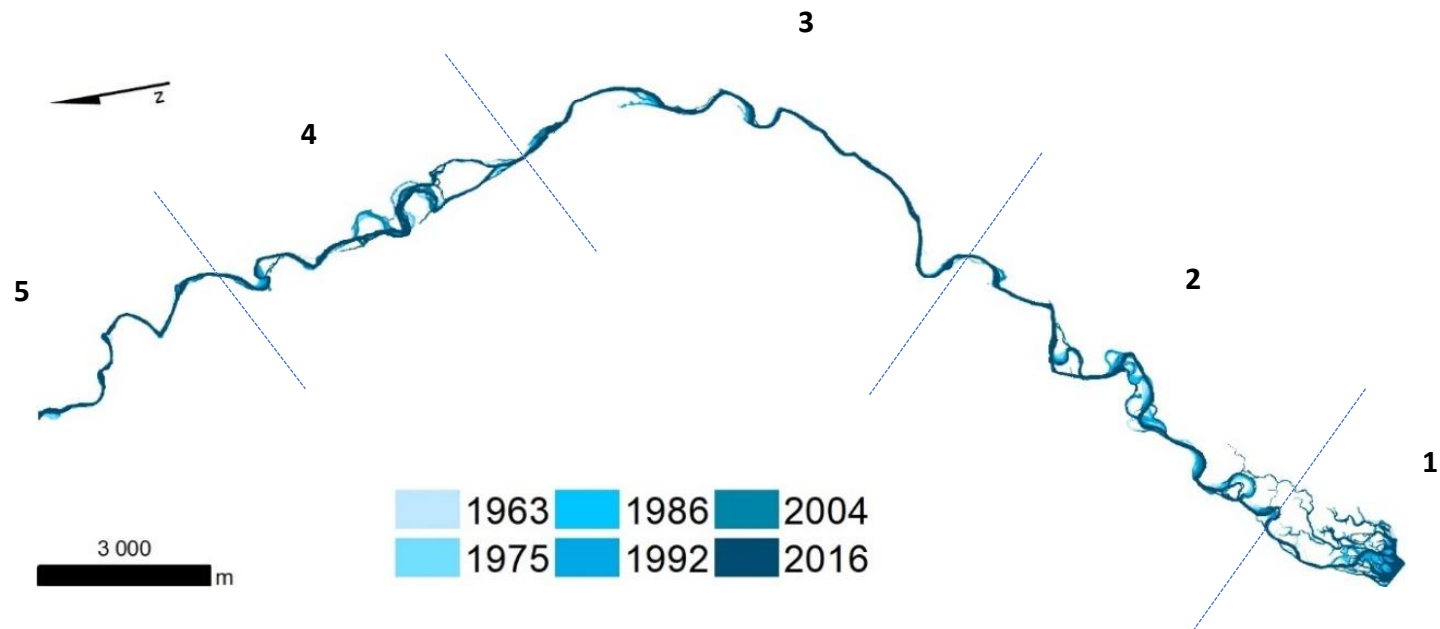
|           | Tronçon | Moyenne    | Écart-Type             | Asymétrie  | Pente      |
|-----------|---------|------------|------------------------|------------|------------|
| Largeur   | A       |            | Mobile<br>Transition   | Sensible   | Transition |
| Mobilité  | A       | Mobile (M) | Sensible<br>Transition | Sensible   | Transition |
| Sinuosité | A       |            | Mobile<br>Transition   | Mobile (A) | Mobile     |

|           |   | Tronçon | Moyenne | Ecart-Type | Asymétrie | Pente |
|-----------|---|---------|---------|------------|-----------|-------|
| Largeur   | 1 |         | 124     | 16.00      | 0.48      | -0.46 |
|           | 2 |         | 76      | 6.22       | 0.72      | -0.02 |
|           | 3 |         | 68      | 3.78       | 1.27      | -0.68 |
|           | 4 |         | 41      | 3.49       | 0.31      | 0.39  |
|           | 5 |         | 46      | 1.34       | 0.17      | -0.04 |
|           | 6 |         | 20      | 2.58       | 0.24      | 0.34  |
| Mobilité  | 1 |         | 2.21    | 1.28       | 1.03      | 0.20  |
|           | 2 |         | 1.80    | 0.69       | 1.92      | 0.57  |
|           | 3 |         | 1.36    | 0.77       | 1.99      | -0.31 |
|           | 4 |         | 0.66    | 0.59       | 1.53      | -0.14 |
|           | 5 |         | 0.46    | 0.14       | 1.48      | -0.12 |
|           | 6 |         | 0.57    | 0.26       | 1.65      | -0.70 |
| Sinuosité | 1 |         | 1.13    | 0.05       | 0.74      | 0.15  |
|           | 2 |         | 1.30    | 0.06       | -0.27     | -0.52 |
|           | 3 |         | 1.18    | 0.02       | 0.97      | 0.87  |
|           | 4 |         | 1.13    | 0.02       | 0.27      | 0.00  |
|           | 5 |         | 1.18    | 0.01       | 0.51      | -0.20 |
|           | 6 |         | 1.13    | 0.03       | 0.93      | 0.24  |





# Rivière Petite-Cascapédia







# Sensibilité hydrogéomorphologique en contexte de changements climatiques

A-Hydrologie

B-Hydrogéomorphologie

C-*Sensibilité* des cours d'eau

D-Outils et réflexions

```
graph LR; A[Changement climatique] --> B[Changement hydrologique]; B --> C[Changement dans la dynamique des cours d'eau]; B --> D[Adaptation dans les pratiques de gestion/conception des traverses de cours d'eau et de zones riveraines]; C --> D;
```

**Changement climatique**

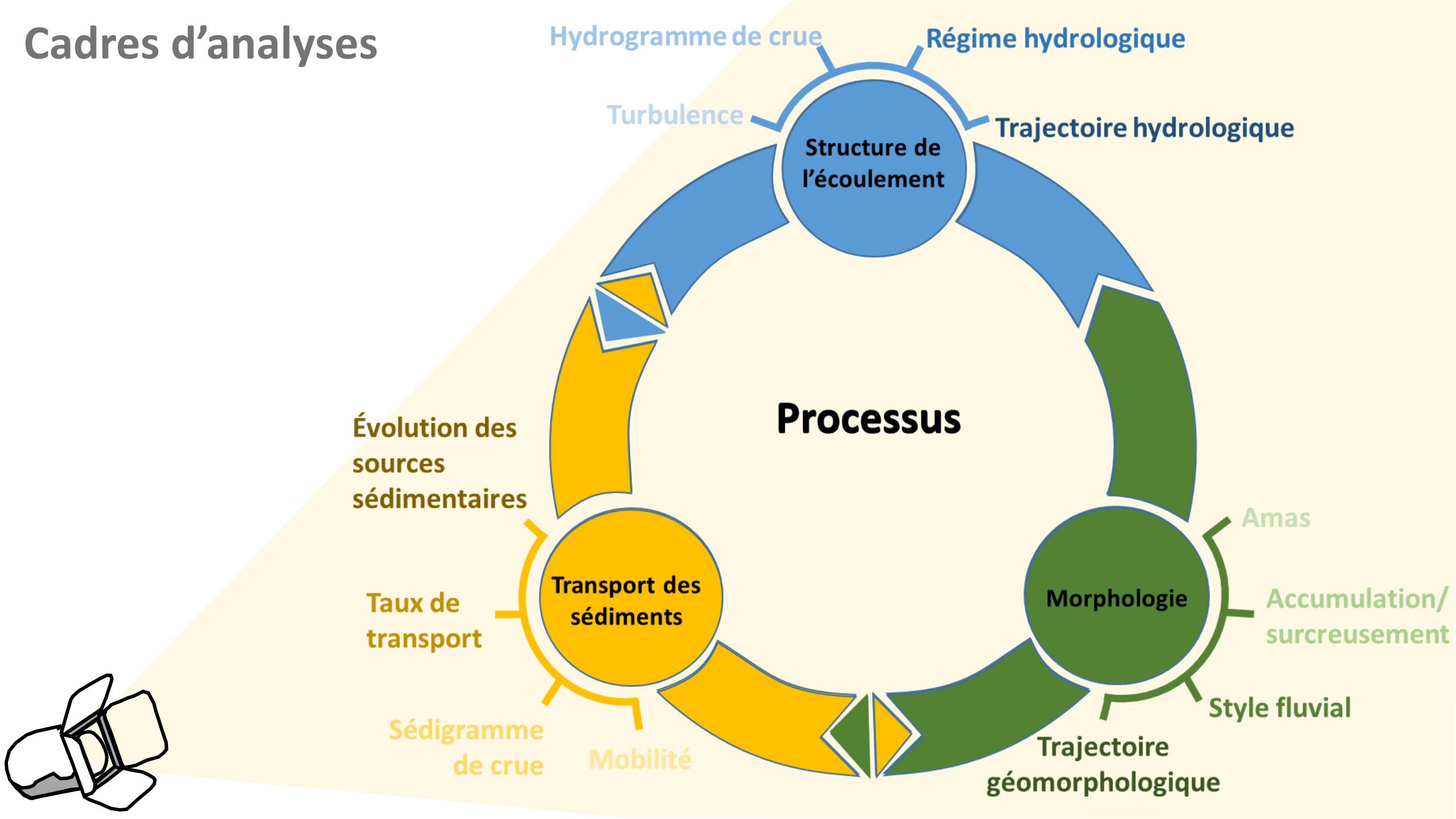
**Changement hydrologique**

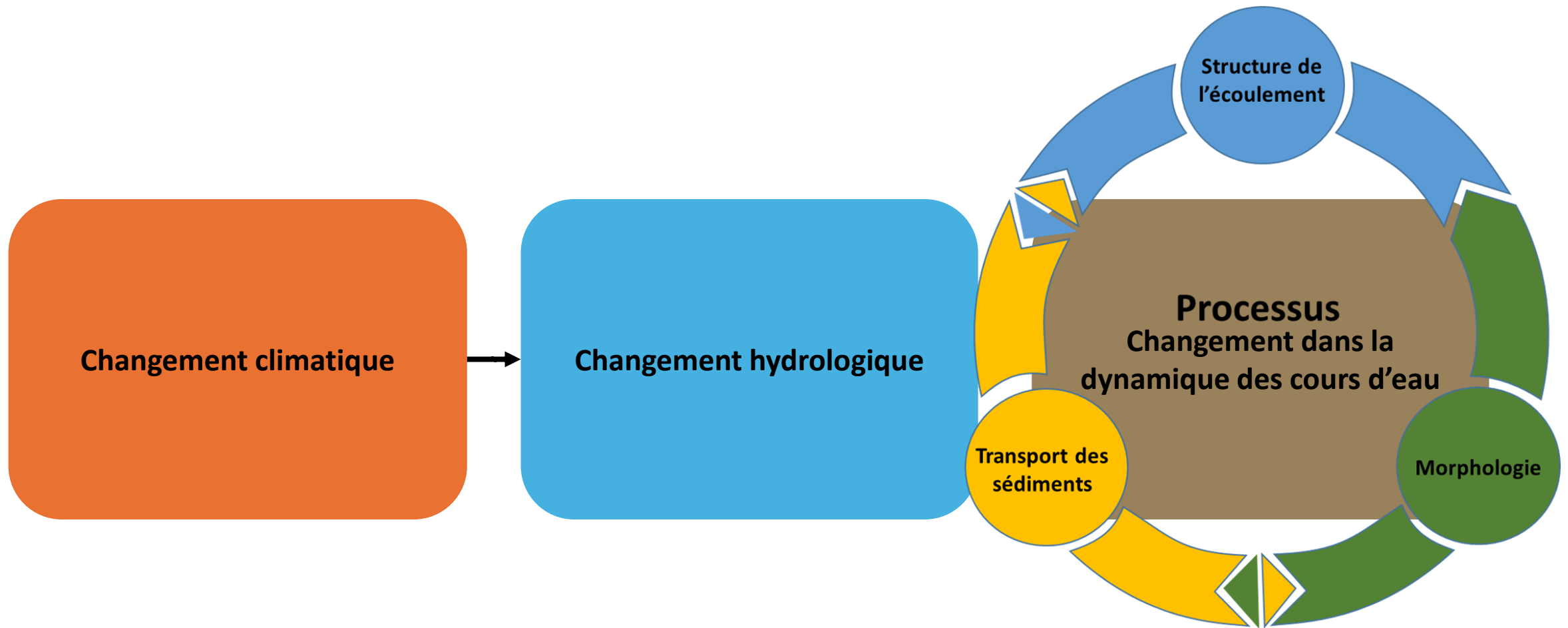
**Changement dans la  
dynamique des cours d'eau**

**Adaptation dans les pratiques  
de gestion/conception des  
traverses de cours d'eau et de  
zones riveraines**



# Cadres d'analyses









# Plan de gestion de la voirie forestière sur les terres publiques de la Gaspésie

Table de gestion intégrée des ressources et du territoire (TGIRT) de la Gaspésie



Comité de travail sur la voirie forestière  
OCTOBRE 2018

Achille Oettli

## La dimension des futurs ponceaux sera-t-elle

L'entrée en vigueur du RADF mènera à l'installation de plus gros ponceaux capables de recevoir des débits de pointe plus importants. En effet, le RADF prévoit un ajout systématique de 5 % au débit maximum instantané calculé. De plus, l'enfouissement des ponceaux circulaires se trouvant dans l'habitat du poisson sera augmenté jusqu'à 20 % ou 30 % du diamètre du conduit, tout en assurant que la dimension du conduit soit suffisante pour que la hauteur d'eau y soit toujours inférieure ou égale à 85 % de sa hauteur libre après l'enfouissement.

Néanmoins, ces nouvelles modalités seront-elles suffisantes ? Les quatre questions suivantes ont été soulevées par le comité sur la voirie forestière, qui y apporte les réponses suivantes.

### (1) Utilisons-nous la meilleure méthode de calcul pour déterminer la taille de nos ponceaux ?

Selon les normes du RADF, le calcul de la dimension d'un ponceau repose notamment sur le débit de pointe ou débit maximum instantané. Étant donné que les données hydrométriques sont rarement disponibles, les débits de pointe sont le plus souvent inférés à partir d'un calcul d'estimation, la méthode rationnelle. Cette méthode, bien qu'elle ait été validée dans certains bassins versants, n'a pas été revue depuis les années 1970. Bien que des suivis permettent de constater que cette méthode tend à surestimer les débits de pointe estivaux (S. Jutras, comm. pers., mai 2017), sa capacité à prendre en compte adéquatement les crues printanières n'a pas été vérifiée.

D'autres méthodes que celle utilisée au Québec existent pour calculer la dimension d'un ponceau. En Colombie-Britannique, par exemple, une période de récurrence de 100 ans est utilisée, mais le niveau d'eau peut atteindre 100 % de la hauteur libre du ponceau (Talland et coll., 1998). La méthode utilisée en Colombie-Britannique ne mène donc pas nécessairement à l'installation de plus grands ponceaux que la méthode québécoise.

### (2) Les dépôts de surface et la topographie de la Gaspésie sont-ils pris en compte ?

Les estimations du calcul du débit de pointe intègrent un coefficient de ruissellement pondéré déterminé notamment à partir de la nature des dépôts de surface, du type d'utilisation du sol et la pente moyenne du bassin versant et la pente du cours d'eau. Bien que les méthodes de calcul n'aient pas été développées à partir de sites propres à la Gaspésie, il semble que les particularités du territoire soient prises en compte.

### (3) La période de référence pour le calcul du débit de pointe, généralement 10 ans, est-elle adéquate ?

La durée de vie théorique des ponceaux en acier galvanisé est d'environ 25 ans, alors que les débits de pointe sont généralement calculés sur une période de 10 ans (bassins versants de 60 km<sup>2</sup> et moins). Toutefois, l'augmentation de l'enfouissement, la surestimation systématique du débit de pointe de 5 % et le maintien d'un niveau d'eau inférieure à 85 % de la hauteur libre après l'enfouissement en situation de débit maximum permettent de présumer que les ponceaux sont en mesure d'accepter des débits plus importants que le débit maximum instantané d'une période de 10 ans.

### (4) Le dimensionnement tient-il compte des changements climatiques à venir ?

L'augmentation du diamètre des ponceaux qui découle du RADF vise à se doter d'une marge de précaution face aux changements climatiques. Il demeure toutefois difficile d'avoir la certitude que cette mesure aura les résultats escomptés. Par ailleurs, l'augmentation croissante de la dimension des ponceaux ne constitue pas nécessairement la stratégie la plus appropriée à mettre en œuvre pour faire face aux changements climatiques. Des travaux de recherche menés actuellement visent plutôt à développer des techniques qui permettront d'augmenter la résilience des infrastructures, notamment en prévoyant le passage de l'eau sur la surface de roulement lors d'épisodes extrêmes, engendrant ainsi moins de pression sur les traverses (Sylvain Jutras, comm. pers., mai 2017).

#### En somme

Un suivi de la performance des nouveaux ponceaux s'avère essentiel. Ce suivi pourrait permettre de réviser la méthode de calcul du dimensionnement des ponceaux au besoin. La méthode actuelle reste un outil pertinent en l'absence de méthode plus fiable.

→ Taille = f(Débit de pointe =  $Q_p$ )

→  $Q_p$  = f(dépôt de surface)

→  $Q_p$  = f(10 ans)

→ Débit en CC = f( $Q_p$  \* 10%)

En effet, le RADF (article 97) exige que toute personne réalisant une activité d'aménagement forestier ou gestionnaire de pourvoirie, de ZEC ou de réserve faunique qui utilise régulièrement un chemin traversant un cours d'eau **s'assure que le lit du cours d'eau est stabilisé à l'entrée et à la sortie du ponceau et que l'eau peut y circuler librement**. Ce règlement a pour objectif d'assurer la durabilité du chemin.

Enfin, lorsqu'une traverse est remplacée sur un chemin que l'on souhaite durable, le type de traverse, sa dimension et le type de matériaux devraient être choisis afin **d'assurer la plus longue durée de vie possible** de la traverse.

## 7.8 SOLUTION 8 : INNOVATIONS EN MATIÈRE DE TRAVERSES DE COURS D'EAU

Enjeux liés : Qualité de l'habitat aquatique

Buts : Diminuer l'apport de sédiments dans les cours d'eau, assurer la libre circulation du poisson et réduire la fragmentation de l'habitat aquatique.

Traverses de cours d'eau ciblées :

- Traverse de cours d'eau située sur des chemins à faible fréquentation
- Traverse de cours d'eau enjambant des cours d'eau stratégiques pour l'habitat du saumon atlantique
- Traverse de cours d'eau localisée **là où les conditions du site font en sorte qu'une traverse conventionnelle aurait une durée de vie limitée** ou présenterait des problématiques récurrentes (substrat instable, abondance de castors, etc.), autant sur un nouveau chemin que pour remplacer une infrastructure existante.

- Les crues sont importantes pour le transport de sédiments, mais les formes nous renseignent sur les cours d'eau les plus susceptibles de transporter des sédiments et donc d'évoluer!



## Optimisation de la planification du réseau routier

Description : consiste à intégrer la finalité des chemins au moment de leur planification de façon à ce qu'ils répondent aux besoins d'accès dans un horizon de 60 ans tout en visant une diminution de la densité du réseau.

Enjeux liés : Fragmentation du couvert forestier et qualité de l'habitat aquatique

Buts : Augmenter la superficie de forêt d'intérieur, réduire les perturbations de l'habitat du caribou, réduire la perte de superficie productive, réduire les risques d'apport de sédiments dans les cours d'eau, réduire les risques d'entraver la libre circulation du poisson

| Objectifs spécifiques |  | Actions  | Livrables   |
|-----------------------|--|--|---|
| 1                     | Effectuer une planification optimisée sur un bassin versant et déterminer comment cette optimisation peut se déployer sur l'ensemble du réseau | Déterminer les caractéristiques d'une planification optimisée  | Bonification du processus d'une planification optimisée |
|                       |  | Effectuer une planification optimisée à travers un exercice de planification collaboratif  |   |
|                       |  | Documenter le processus mis à l'essai : rôles et responsabilités des parties prenantes, informations à prendre en considérations et à mettre à disposition   |   |
|                       |  | Déployer les modalités de la planification optimisée auprès des responsables de la planification   |   |
| 2                     | Déterminer les critères permettant d'identifier en amont de la planification des sites où les travaux sylvicoles ne seront pas réalisés        | Établir des convergences entre le maintien d'habitat de qualité pour l'orignal, la réduction des écarts avec la structure interne de la forêt naturelle et des gains en matière de fragmentation du couvert forestier et de qualité de l'habitat aquatique qui permettraient de déterminer des secteurs où le maintien d'accès permanents peut être évité. | Grille d'analyse  |
| 3                     | Mettre à jour la cartographie du réseau routier, particulièrement dans l'aire de répartition du caribou et les aires protégées.                | Documenter l'état des chemins faiblement fréquentés  | Cartographie à jour                                     |
| 4                     | Bonifier la cartographie du réseau hydrographique  | Faire pression pour obtenir les données LIDAR le plus rapidement possible.   | Cartographie plus fine du réseau hydrographique         |

→ Améliorer la connaissance du réseau hydrographique?

## Approche HGM pour l'analyse des dynamiques fluviales

Interprétation qualitative

Styles et formes fluviales  
Cartographie HGM  
Zones sources et d'accumulation sédimentaires

Appréciation des variabilités morphométrique  
et sédimentaire  
Évaluation des facteurs de contrôle

Scénarios d'ajustements probables en lien avec  
l'évolution/changements des facteurs de  
contrôle

①  
Reconnaissance

②  
Trajectoire

③  
Anticipation

Classification des styles fluviaux  
Analyse de la puissance spécifique  
Analyse de la connectivité sédimentaire

Quantification des variabilités  
morphométrique et hydrosédimentaire (taux  
d'érosion, bilan sédimentaire, ...)

Modélisation hydrodynamique intégrant  
l'évolution/changement des facteurs de  
contrôle

Analyses quantitatives

Gestion des risques, des habitats et des services écosystémiques des cours d'eau

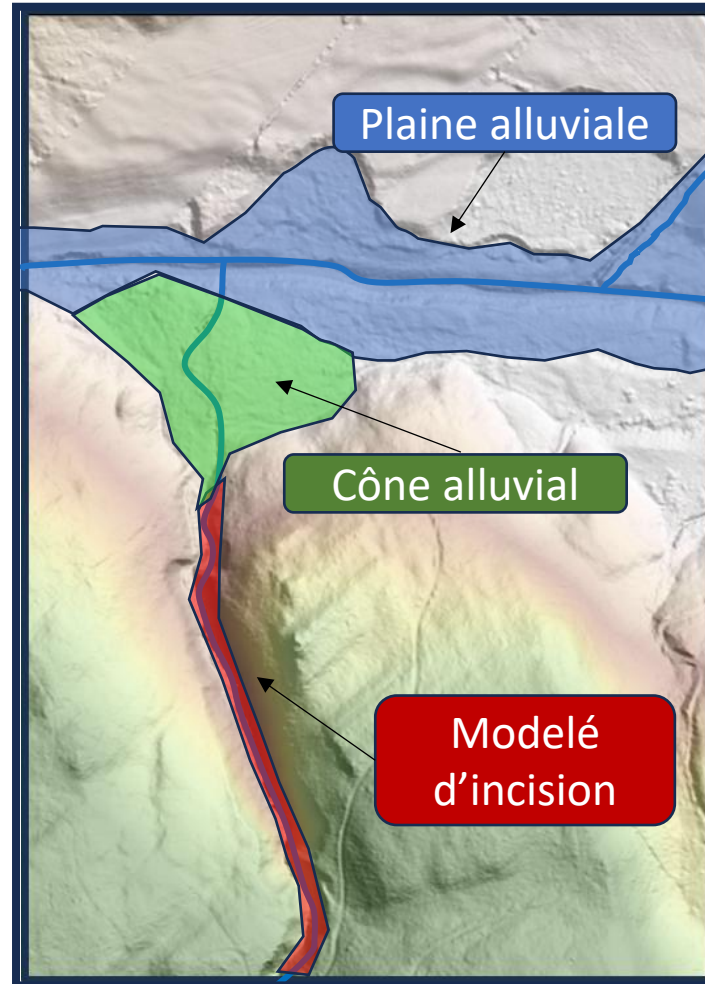
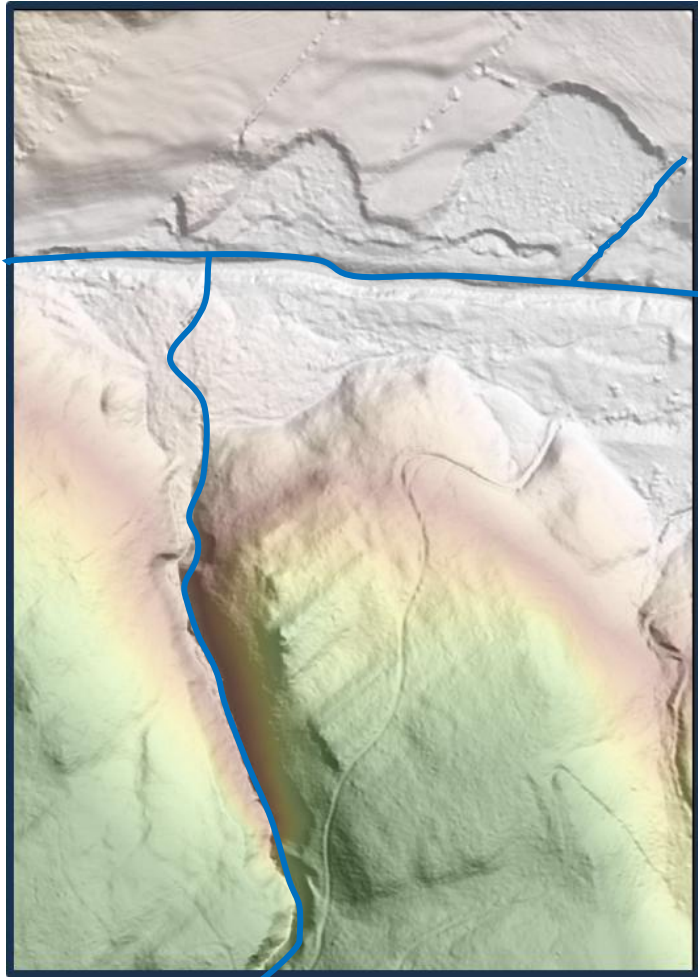


→ Améliorer la connaissance du réseau hydrographique?

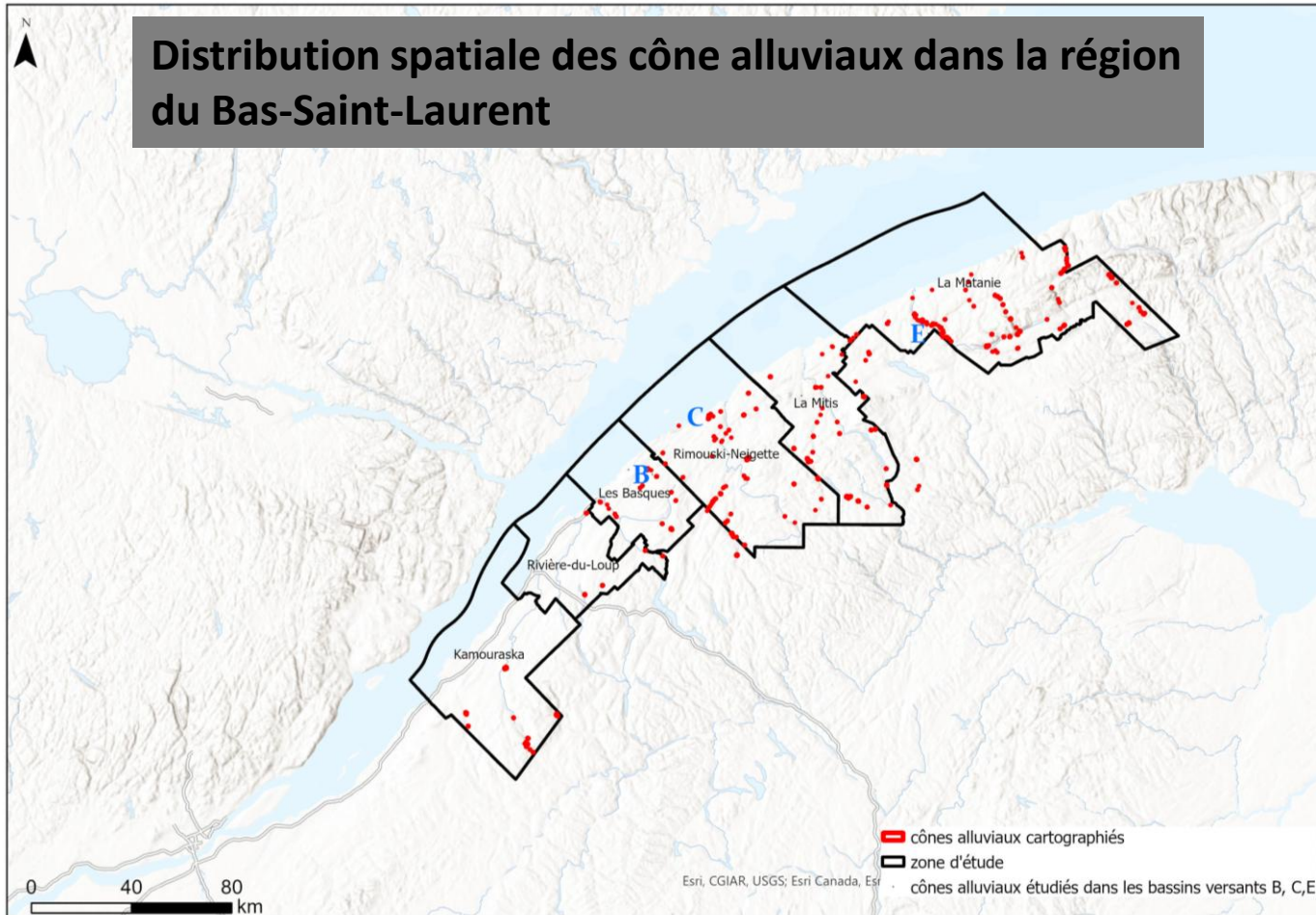
Données :  
réseau hydrographique,  
LiDAR et réseau hydrocohérent



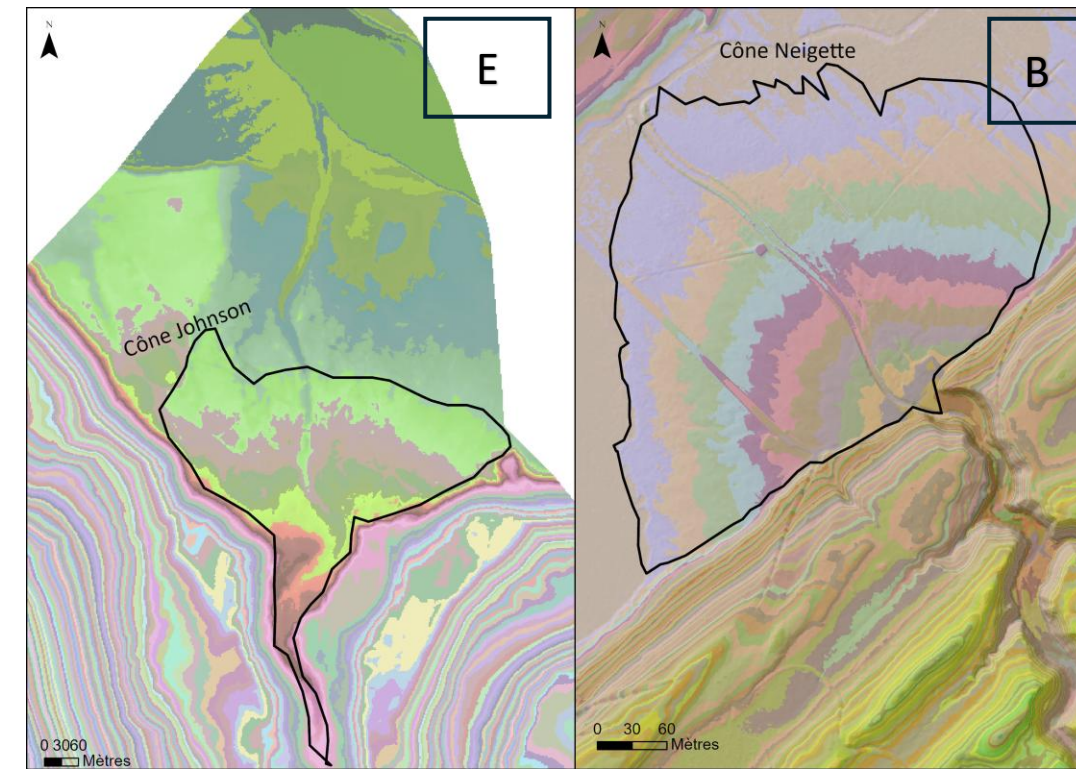
Unités de paysage



# Cas des cônes alluviaux : projet constrictor (MSP, UQAR)

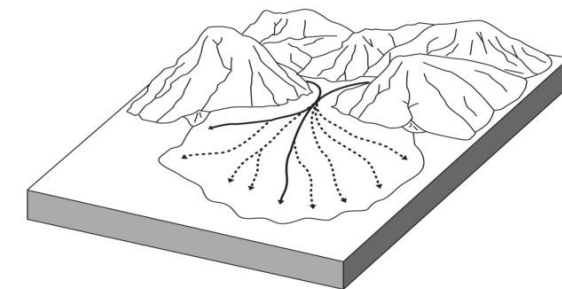


197 cônes alluviaux cartographiés dans la région du Bas-Saint-Laurent dont 28% présentent des enjeux

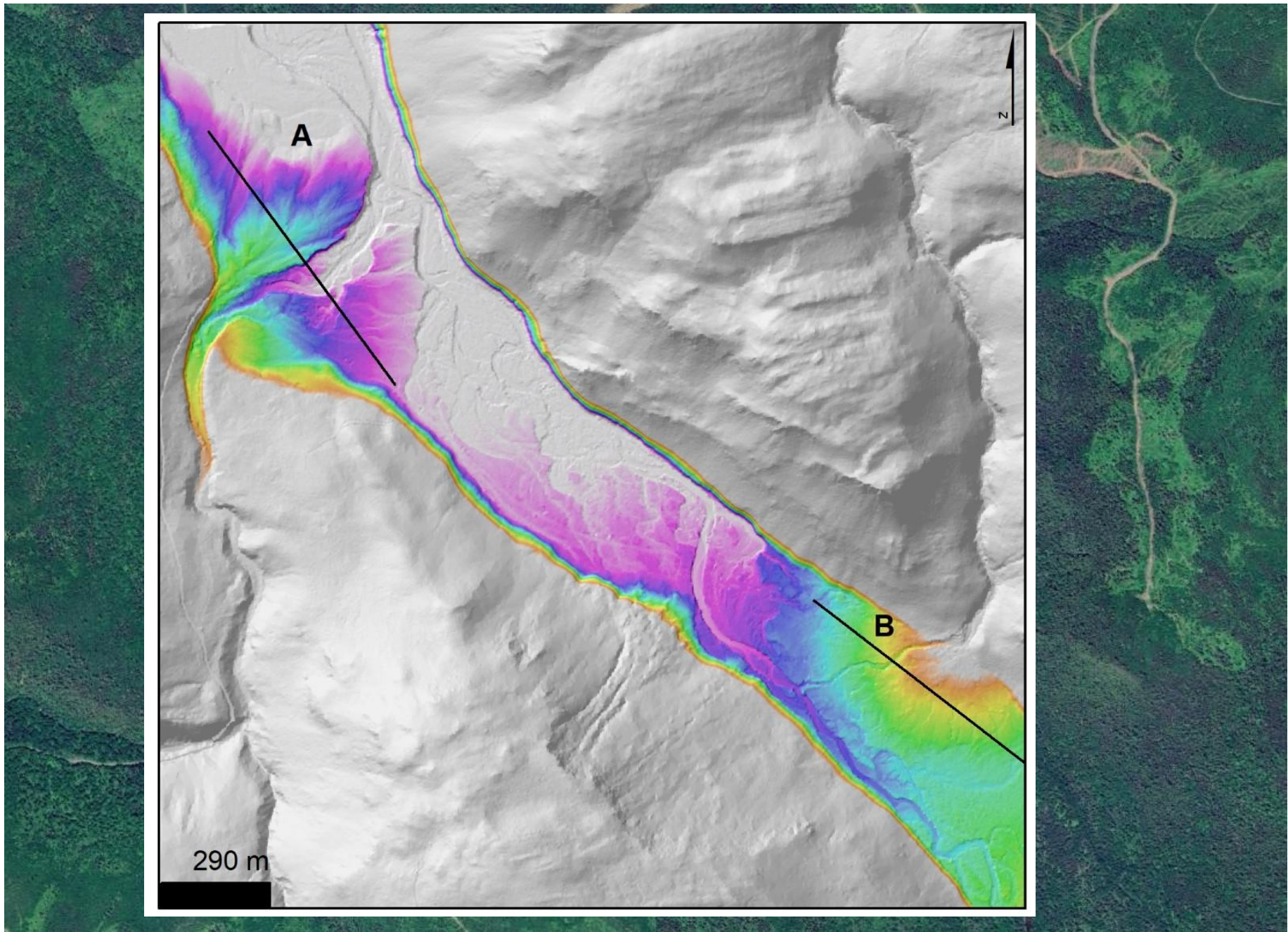


Exemple de cône alluvial cartographié  
par ajustement symbolique

Cône du site E: Bassin versant du ruisseau Johnson  
Cône du site B: Bassin versant de la Neigette



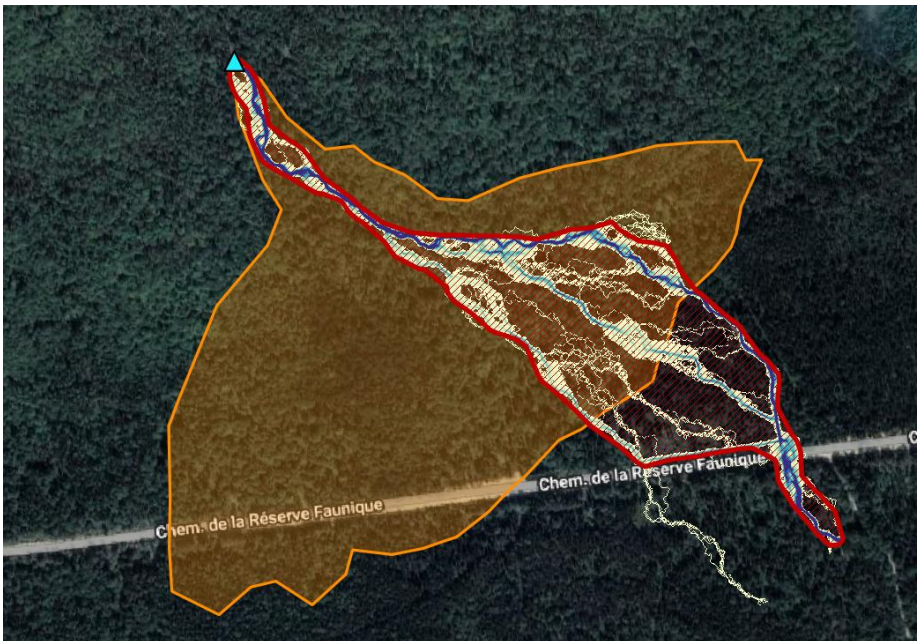
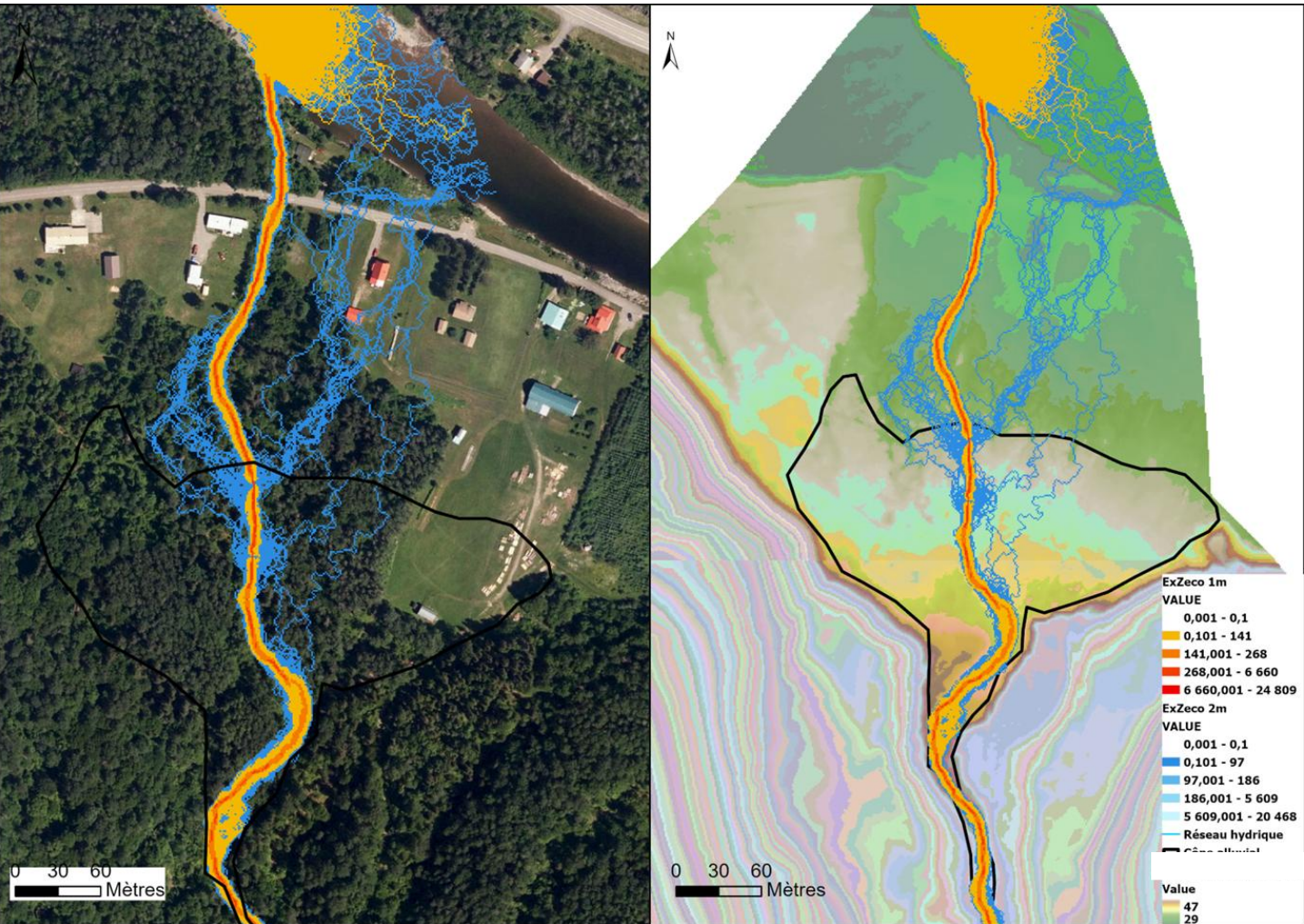




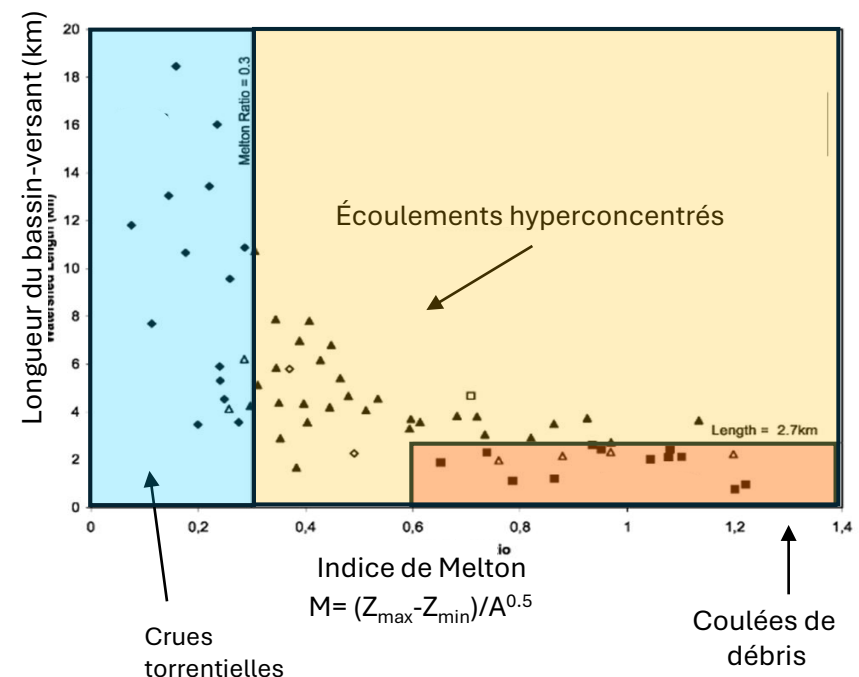


# Intensité des processus sur les cônes

exZEco : corridor d'avulsion



Morphométrie → type d'écoulement





→ Améliorer la connaissance du réseau hydrographique?

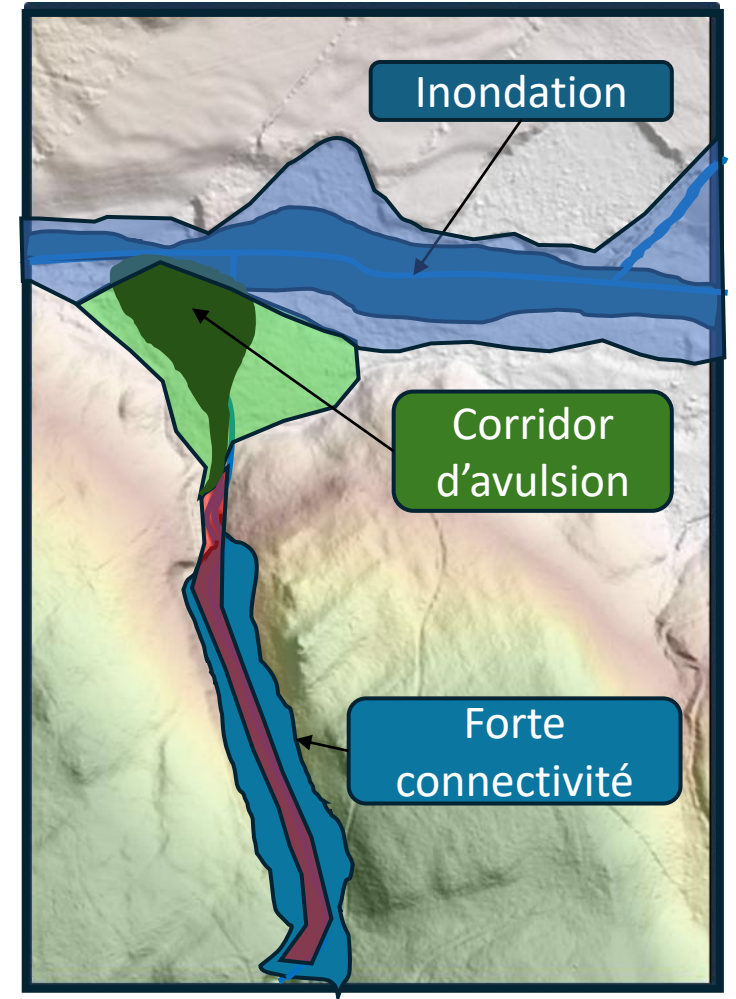
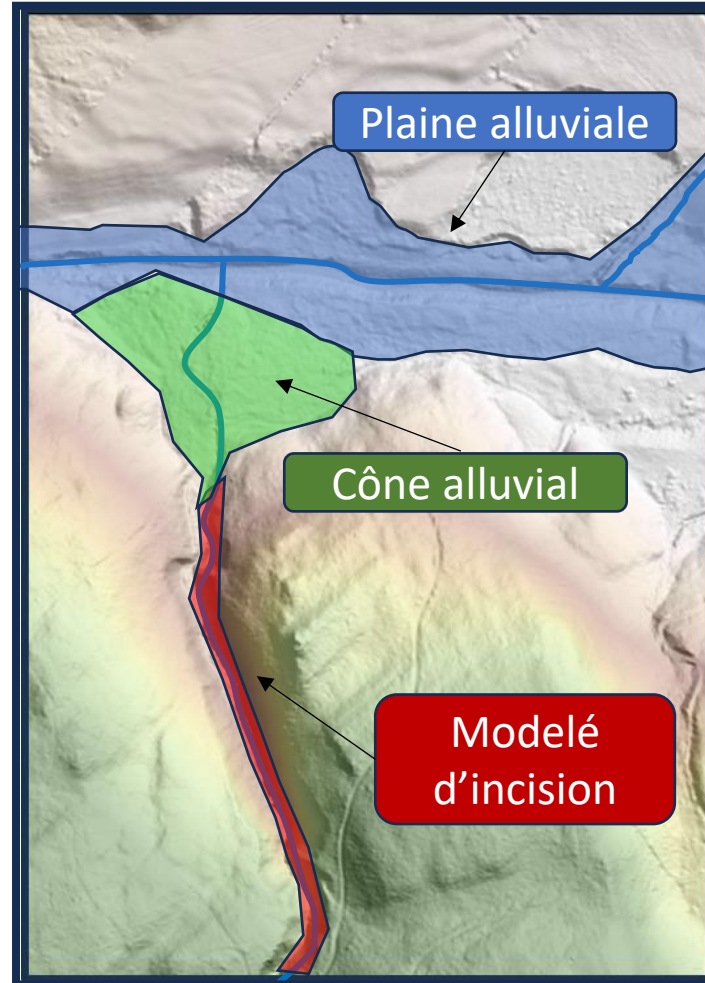
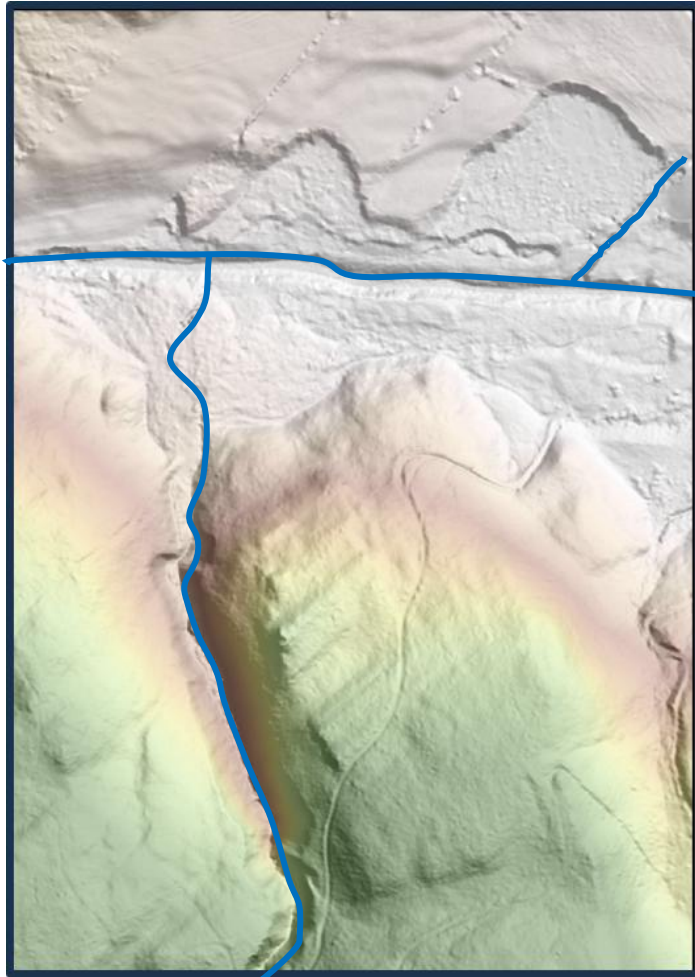
Données :  
réseau hydrographique,  
LiDAR et réseau hydrocohérent



Unités de paysage

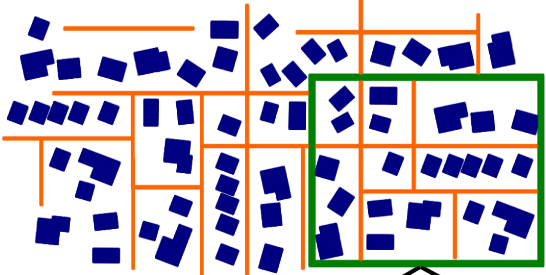


Intensité des processus



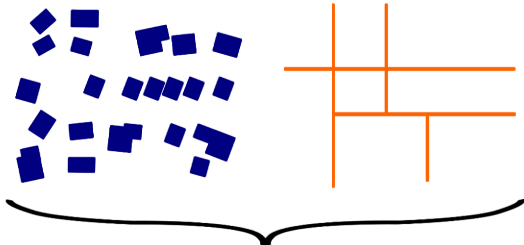
# Évaluation préliminaire du risque

Bases de données :  
- Bâtiments  
- Routes  
Zone d'étude



Cartographie des éléments vulnérables

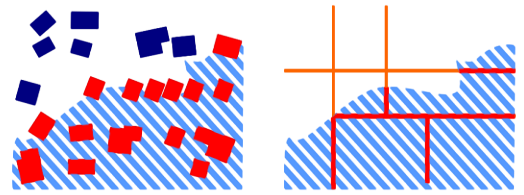
Extraction des éléments de la zone d'étude



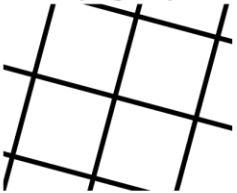
Croisement de l'aléa et de la vulnérabilité



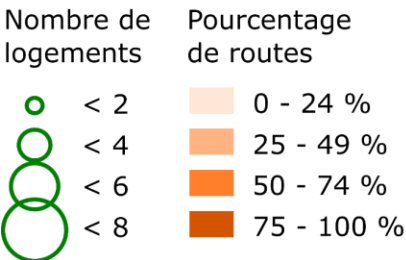
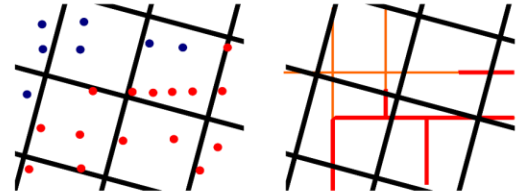
Eléments inondés



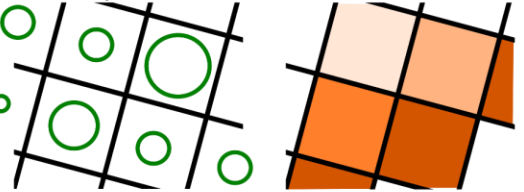
Découpage spatial



Calcul des indicateurs

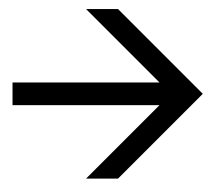
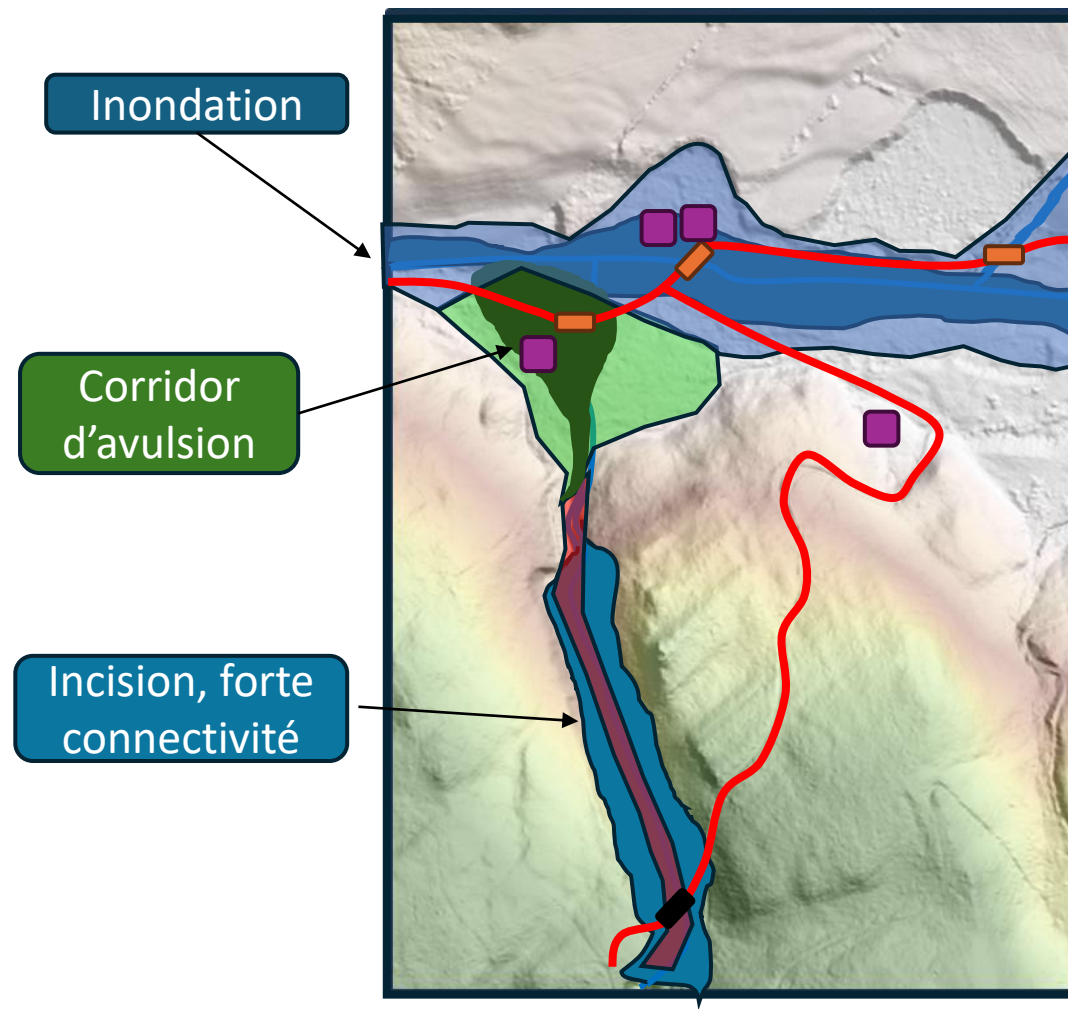


Représentation des résultats



Représentation cartographique et graphique  
Enjeux : diffusion, transparence et traçabilité des données





| Enjeux         | Inondation | Corridor d'avulsion |
|----------------|------------|---------------------|
| Bâtiments (nb) | 2          | 1                   |
| ponceaux (nb)  | 3          | 1                   |
| Routes (km)    | 5          | 1                   |

# Délimitation des espaces de liberté des rivières à saumon

Objectif: découper les « espaces de libertés » pour les rivières à saumon afin d'être en mesure de les compartimenter au CPF

- Les rivières à saumon ont été retenues car ce sont les rivières qui représentent le plus d'enjeux
- Le découpage est fait indépendamment des accès (chemin, pente). Le seul intrant considéré était la donnée LIDAR
- Les secteurs sont identifiés comme Contrainte Rivière



# Espace de liberté défini par les dynamiques naturelles des cours d'eau

Les cours d'eau sont mobiles

*Espace de mobilité*

+

Les cours d'eau débordent de leur lit régulièrement

+

*Espace d'inondabilité*

Les cours d'eau sont connectés aux milieux humides

*Espace d'intégrité*





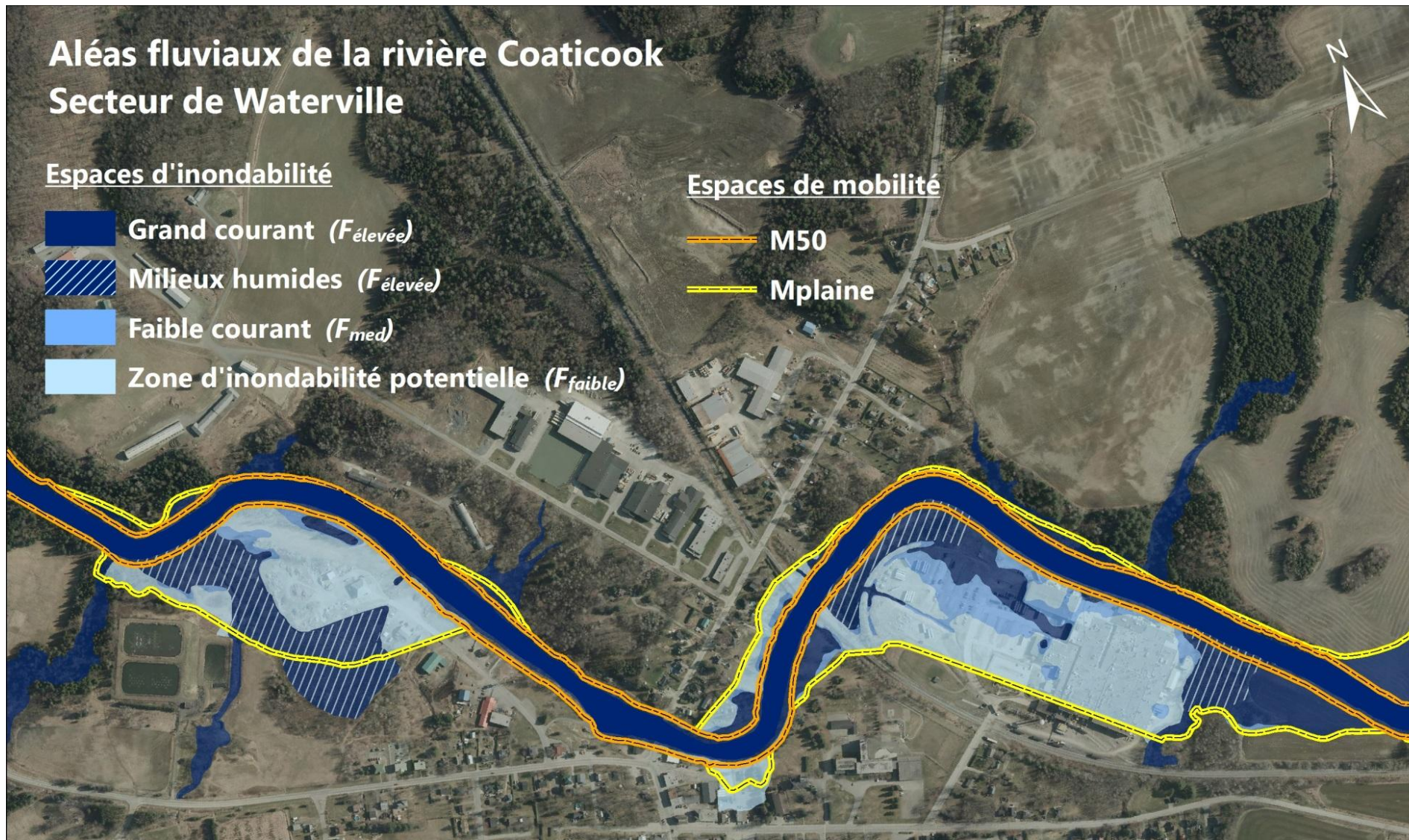
# Aléas fluviaux de la rivière Coaticook Secteur de Waterville

## Espaces d'inondabilité

- Grand courant ( $F_{\text{élevée}}$ )
- Milieux humides ( $F_{\text{élevée}}$ )
- Faible courant ( $F_{\text{med}}$ )
- Zone d'inondabilité potentielle ( $F_{\text{faible}}$ )

## Espaces de mobilité

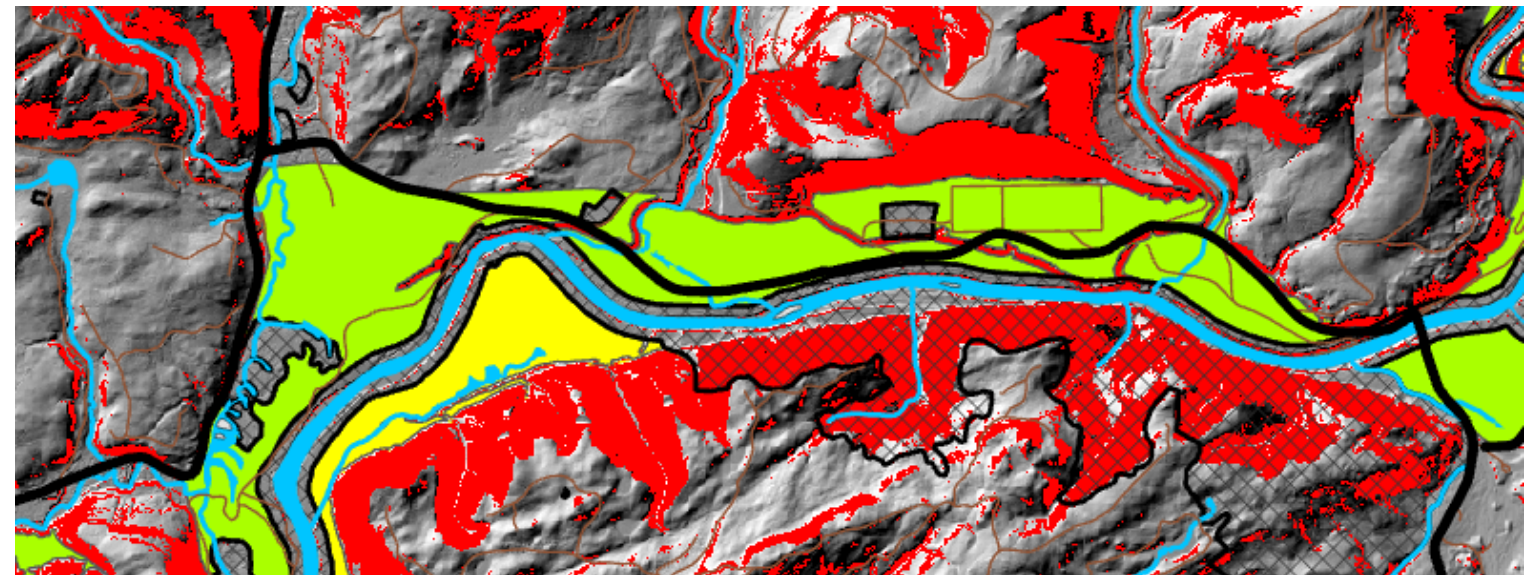
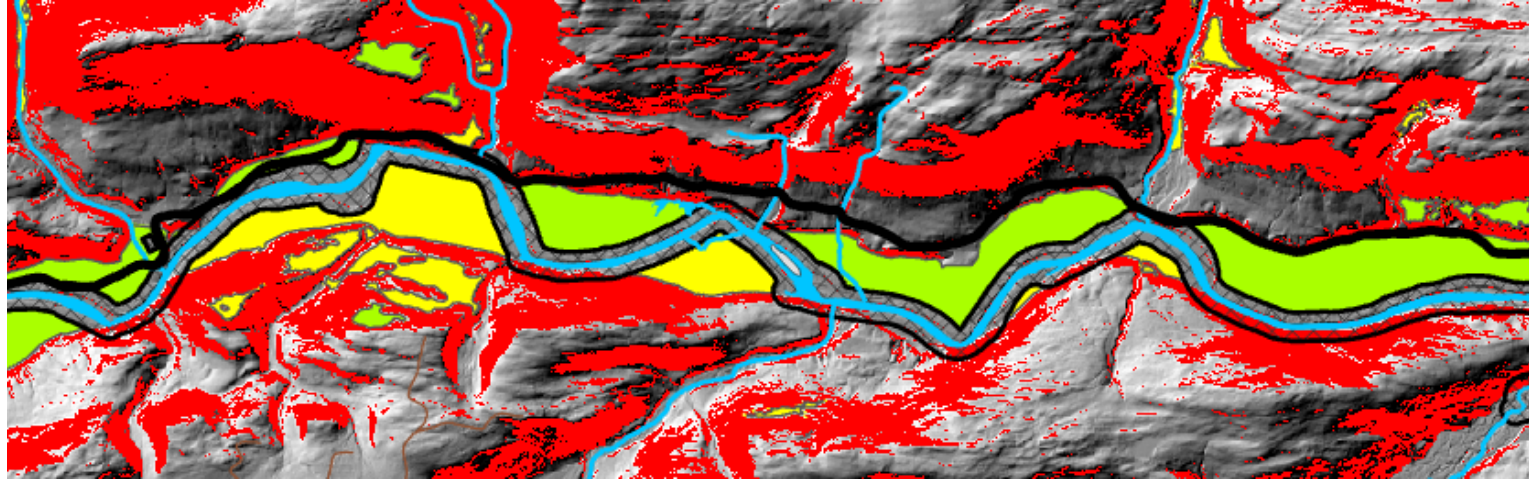
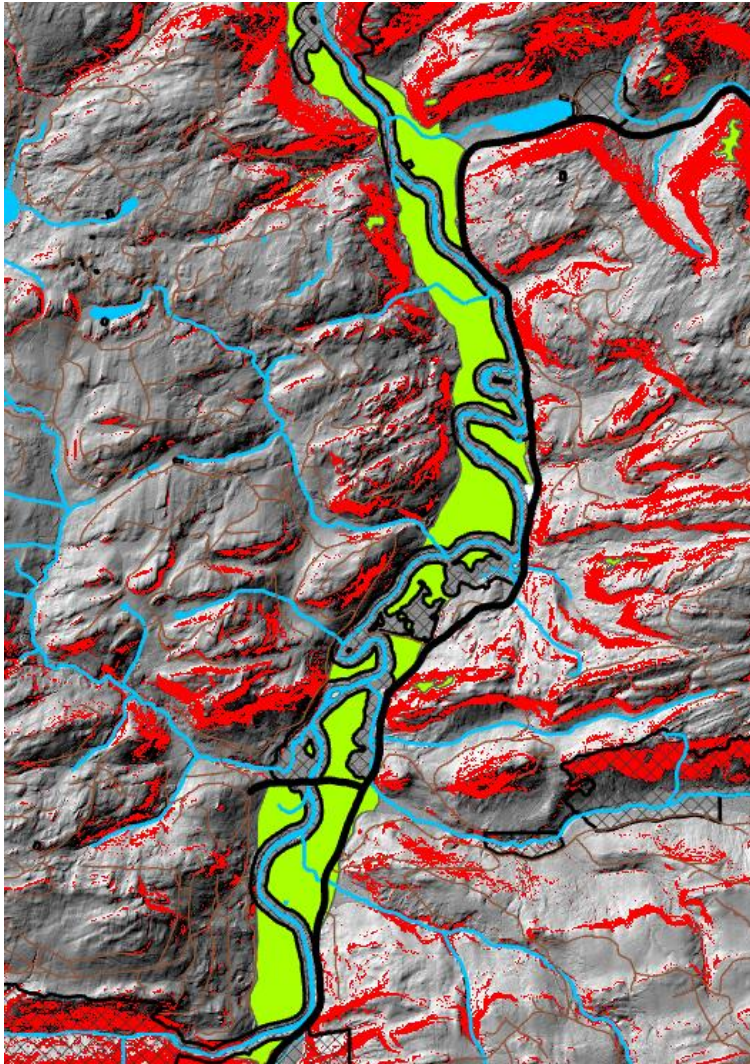
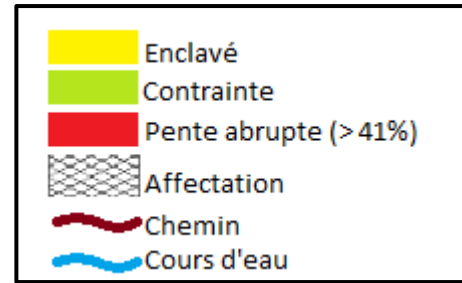
- M50
- Mplaine





# Secteurs à contraintes : Rivières

8 302 ha







# Sensibilité hydrogéomorphologique en contexte de changements climatiques

A-Hydrologie

B-Hydrogéomorphologie

C-*Sensibilité* des cours d'eau

D-Outils et réflexions