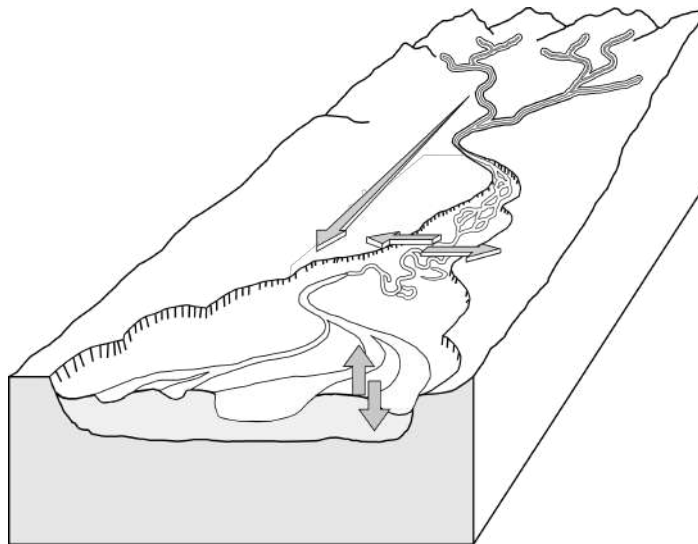


LES COURS D'EAU :

FONCTIONNEMENT MORPHOLOGIQUE, SERVICES ÉCOSYSTEMIQUES ET FACTEURS DE DÉGRADATION



Théo BULTEAU – CNRS UMR 5600 EVS
t.bulteau@protonmail.com



Projet cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional



▷ ***Principes de base du fonctionnement physique des cours d'eau***

- × Les grandes variables de contrôle
- × Structuration longitudinale, latérale et verticale des échanges au sein de l'hydrosystème
- × Facteurs de contrôle de l'évolution temporelle de l'hydrosystème

▷ ***Principes de base du fonctionnement physique des cours d'eau***

- × Les grandes variables de contrôle
- × Structuration longitudinale, latérale et verticale des échanges au sein de l'hydrosystème
- × Facteurs de contrôle de l'évolution temporelle de l'hydrosystème

▷ ***Les facteurs de dégradation de l'hydrosystème et leurs effets***

- × Description des facteurs et effets sur les flux hydro-sédimentaires
- × Réponse morphologique associée
- × Pertes de services écosystémiques

▷ ***Principes de base du fonctionnement physique des cours d'eau***

- × Les grandes variables de contrôle
- × Structuration longitudinale, latérale et verticale des échanges au sein de l'hydrosystème
- × Facteurs de contrôle de l'évolution temporelle de l'hydrosystème

▷ ***Les facteurs de dégradation de l'hydrosystème et leurs effets***

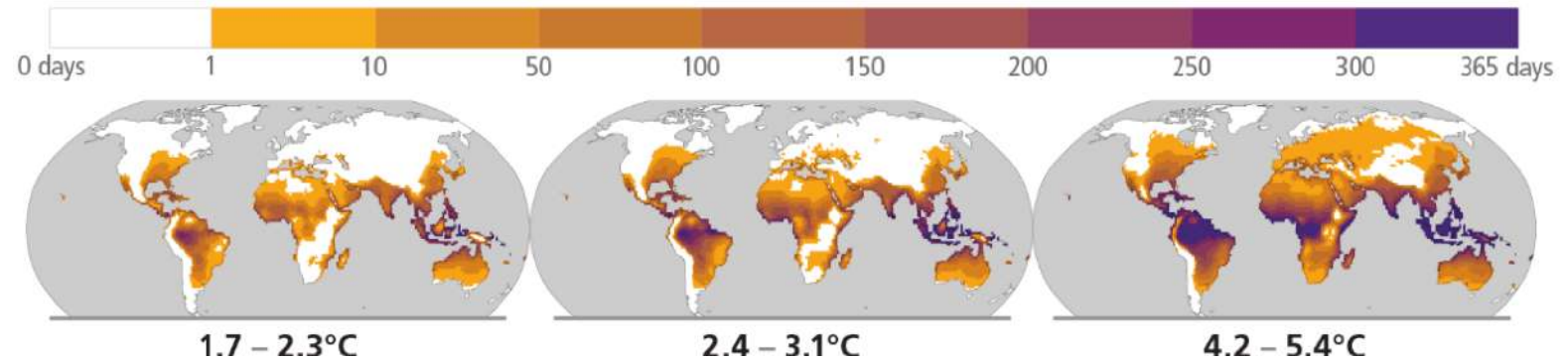
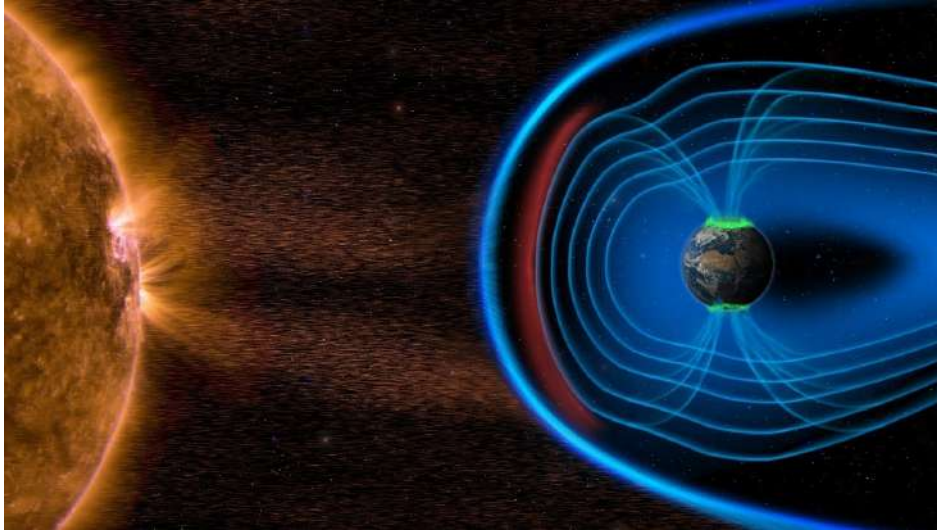
- × Description des facteurs et effets sur les flux hydro-sédimentaires
- × Réponse morphologique associée
- × Pertes de services écosystémiques

▷ ***Implications pour la restauration des cours d'eau***

- × De l'état de référence à la trajectoire d'évolution
- × La gestion adaptative
- × L'importance du diagnostic

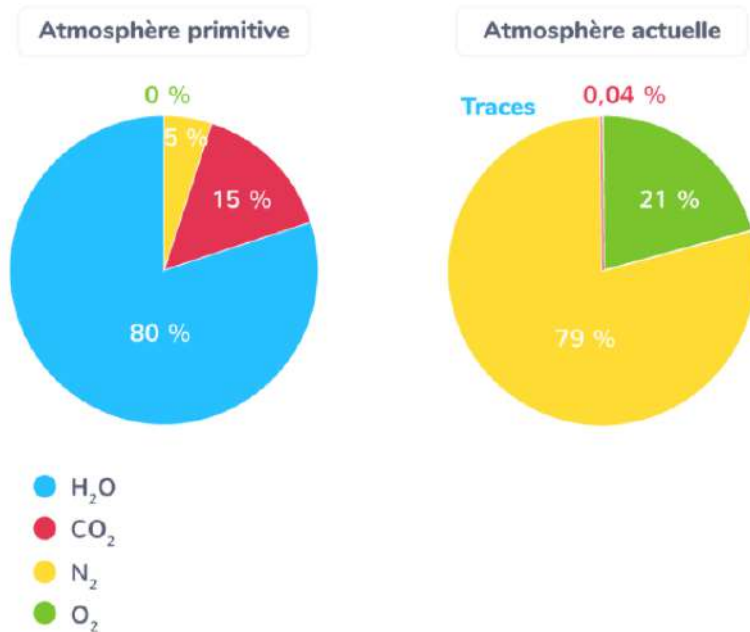
DES PROCESSUS 'PHYSIQUES' FONCTIONNELS A LA BASE DE NOMBREUX SERVICES

- ▷ L'ensemble des **processus biologiques** et des **services écosystémiques** rendus par un système 'naturel' **dépendent de processus physiques fonctionnels**



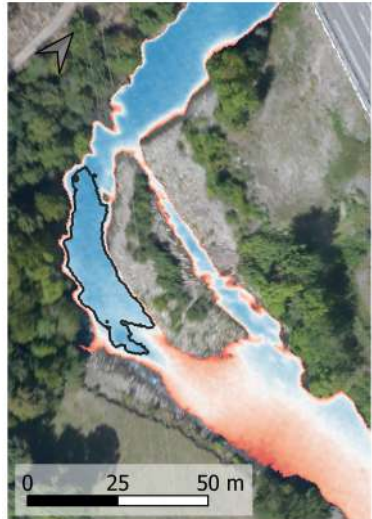
DES PROCESSUS 'PHYSIQUES' FONCTIONNELS A LA BASE DE NOMBREUX SERVICES

- ▷ L'ensemble des **processus biologiques** et des **services écosystémiques** rendus par un système 'naturel' **dépendent de processus physiques fonctionnels**
- ▷ Il existe toutefois de **nombreuses rétroactions du compartiment biologique sur les processus physiques** (e.g. notre atmosphère actuelle résulte de 3.5 Ga de photosynthèse planctonique, la forêt Amazonienne génère ses propres pluies (Wright et al., 2017), etc.)



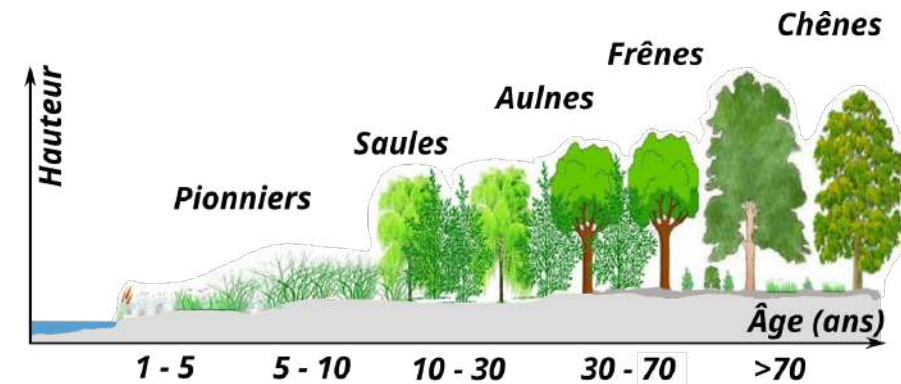
DES PROCESSUS 'PHYSIQUES' FONCTIONNELS A LA BASE DE NOMBREUX SERVICES

- ▷ L'ensemble des **processus biologiques** et des **services écosystémiques** rendus par un système 'naturel' **dépendent de processus physiques fonctionnels**
- ▷ Il existe toutefois de **nombreuses rétroactions du compartiment biologique sur les processus physiques** (e.g. notre atmosphère actuelle résulte de 3.5 Ga de photosynthèse planctonique, la forêt Amazonienne génère ses propres pluies (Wright et al., 2017), etc.)
- ▷ **Et les cours d'eau n'échappent pas à la règle !**



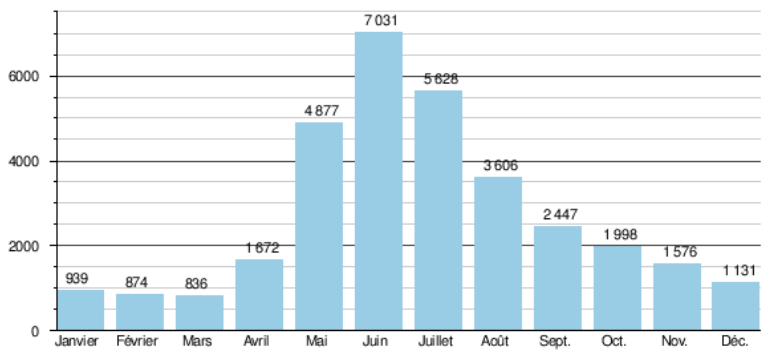
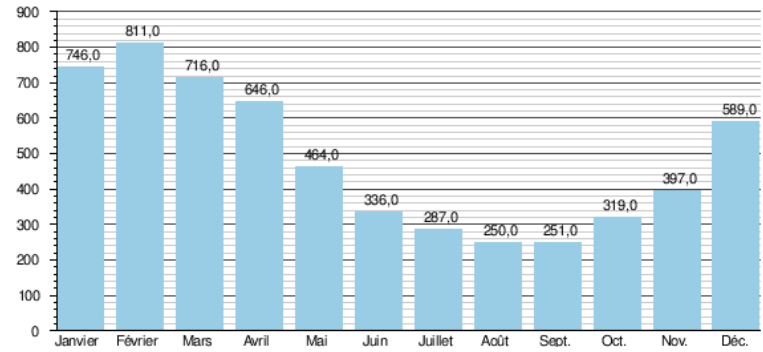
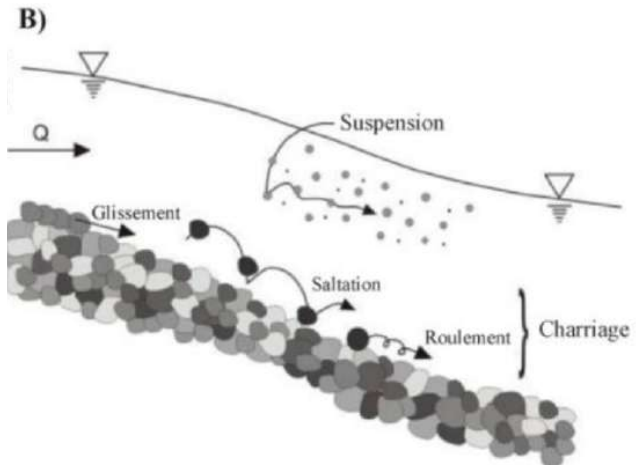
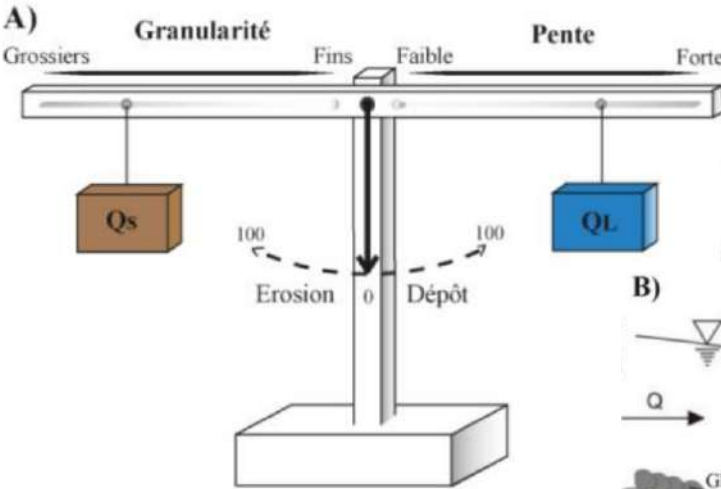
DES PROCESSUS 'PHYSIQUES' FONCTIONNELS A LA BASE DE NOMBREUX SERVICES

- ▷ L'ensemble des **processus biologiques** et des **services écosystémiques** rendus par un système 'naturel' **dépendent de processus physiques fonctionnels**
- ▷ Il existe toutefois de **nombreuses rétroactions du compartiment biologique sur les processus physiques** (e.g. notre atmosphère actuelle résulte de 3.5 Ga de photosynthèse planctonique, la forêt Amazonienne génère ses propres pluies (Wright et al., 2017), etc.)
- ▷ **Et les cours d'eau n'échappent pas à la règle !**



LES FACTEURS PHYSIQUES GOUVERNANT LE FONCTIONNEMENT DES COURS D'EAU

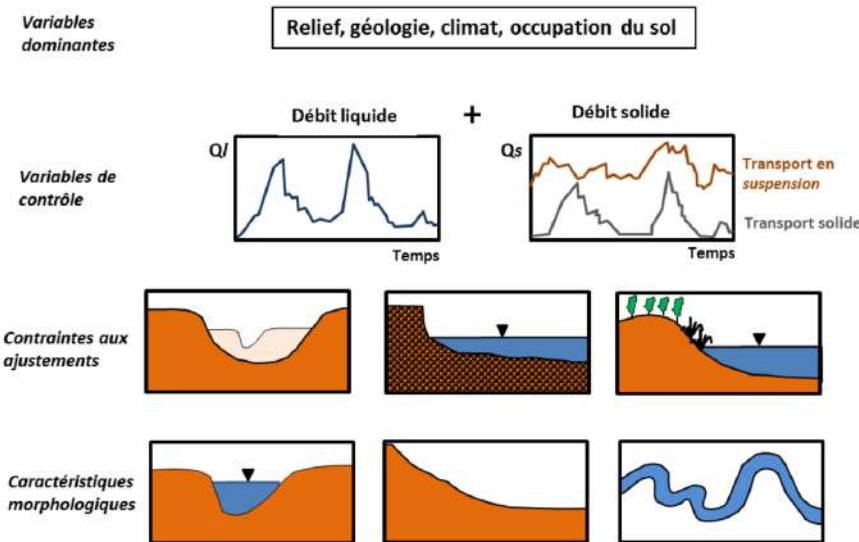
- ▷ Deux grandes variables de contrôle : **les flux liquides (Q_L) et les flux solides (Q_S)**
- ▷ De grandes caractéristiques
 - × Les flux liquides : **régime** (pluvial, nival, méditerranéen), **intensité-durée-fréquence des étiages et des crues**
 - × Les flux solides : **charge en suspension** (alimente la plaine alluviale) & **charge de fond** (structure le lit mineur)



LES FACTEURS PHYSIQUES GOUVERNANT LE FONCTIONNEMENT DES COURS D'EAU

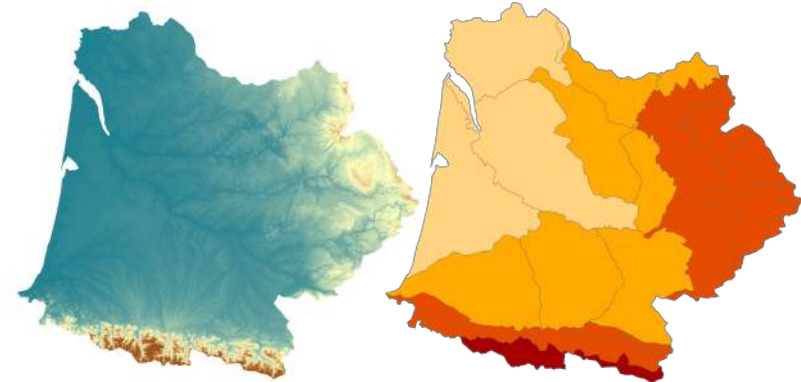
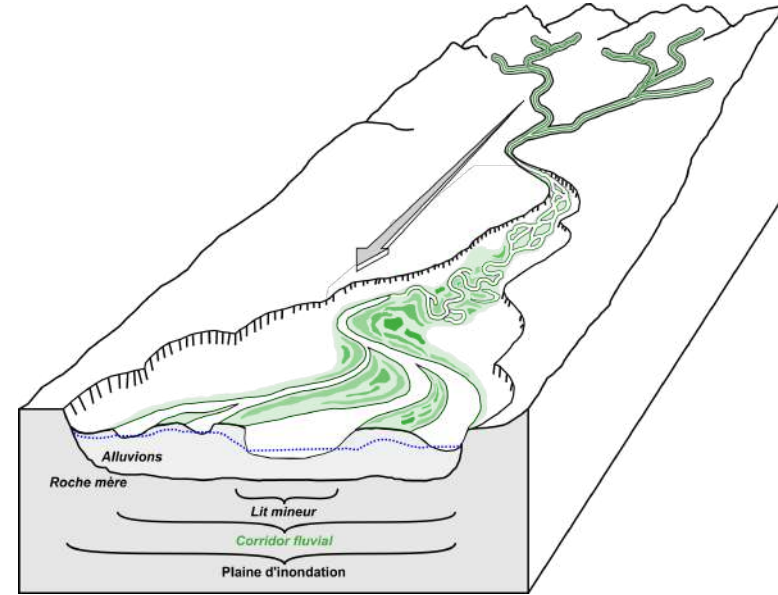
- ▷ Deux grandes variables de contrôle : **les flux liquides (Q_L) et les flux solides (Q_S)**
- ▷ De grandes caractéristiques
 - × Les flux liquides : **régime** (pluvial, nival, méditerranéen), **intensité-durée-fréquence des étiages et des crues**
 - × Les flux solides : **charge en suspension** (alimente la plaine alluviale) & **charge de fond** (structure le lit mineur)
- ▷ Ces deux *variables dites de contrôle* (dont la valeur change à des échelles de temps courtes, e.g. évènement hydrologique - décennie) se superposent à des conditions 'fixes', dites **variables dominantes** (stables à moyen- et parfois long-terme, e.g. décennie, siècle, millénaire,...)

- ▷ La **combinaison des variables** dominantes et de contrôle influence :
 - × **Les conditions 'initiales'** (e.g. style fluvial)
 - × **L'évolution du cours d'eau** (e.g. formes en plan, incision, etc.)



L'ORGANISATION SPATIALE DE L'HYDROSYSTÈME

▷ **Longitudinalement**, les variables dominantes et de contrôle définissent **trois grandes zones d'un hydrosystème**

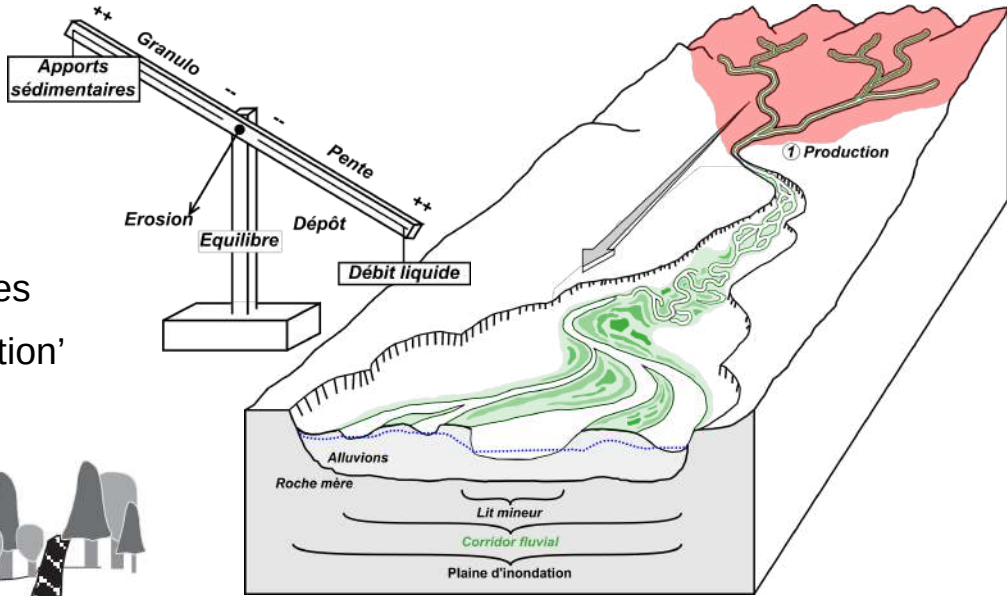


L'ORGANISATION SPATIALE DE L'HYDROSYSTÈME

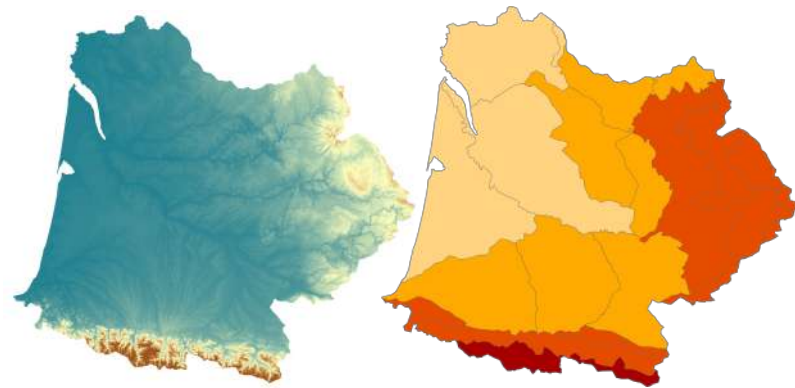
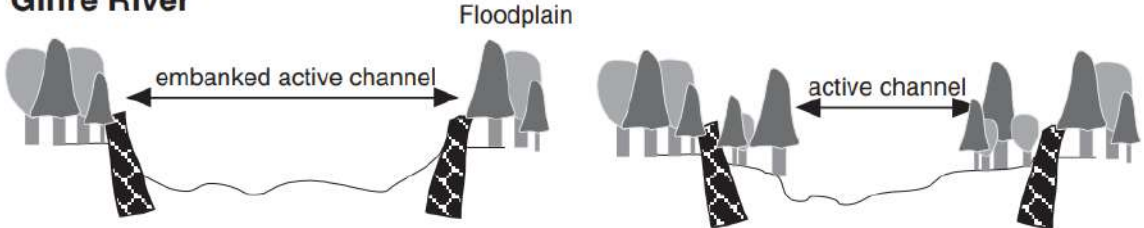
▷ **Longitudinalement**, les variables dominantes et de contrôle définissent **trois grandes zones d'un hydrosystème**

× **Zone de production**

- × Forte densité du réseau de drainage
- × Source de la plupart des apports hydro-sédimentaire
- × Érosion > dépôt
- × Secteur sur lequel sont implantés la plupart des barrages
- × Structures de contrôle des risques 'torrentiel' et 'inondation'



Giffre River



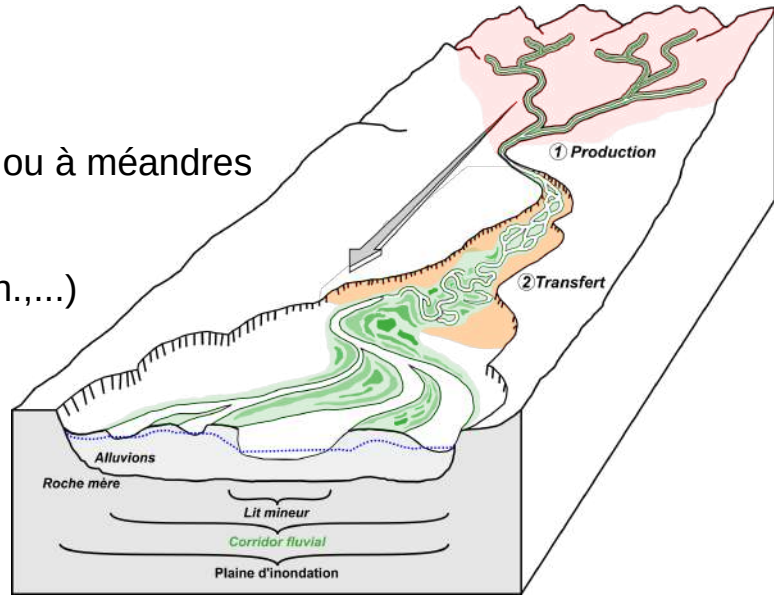
L'ORGANISATION SPATIALE DE L'HYDROSYSTÈME

▷ **Longitudinalement**, les variables dominantes et de contrôle définissent **trois grandes zones d'un hydrosystème**

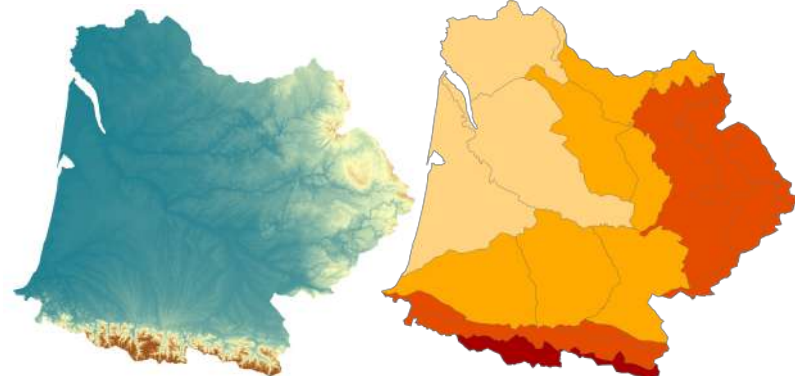
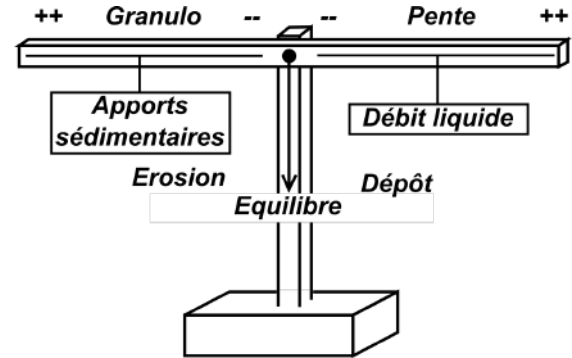
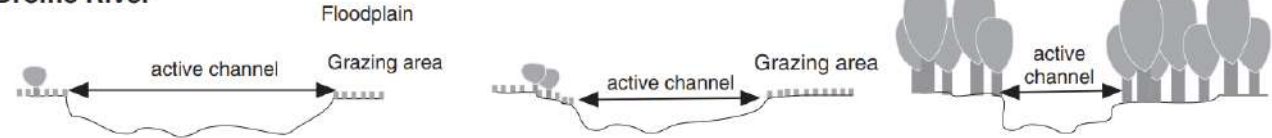
- × **Zone de production**

- × **Zone de transfert**

- × Faible densité de drainage, morphologie **naturelle** souvent en tresse ou à méandres
- × 'Routage' des apports amont → très forte dépendance !
- × Secteur à fort intérêts (i.e. services) et enjeux (e.g. agri., indus., urban.,...)
- × Secteur souvent canalisé, et impacté par les extractions de granulat
- × Érosion ~ dépôt



Drôme River



L'ORGANISATION SPATIALE DE L'HYDROSYSTÈME

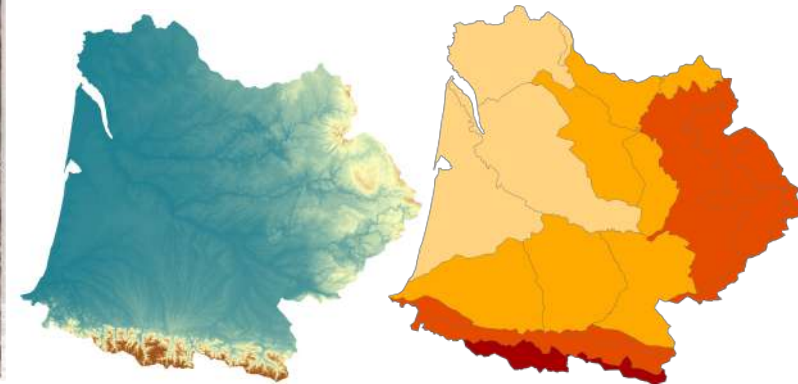
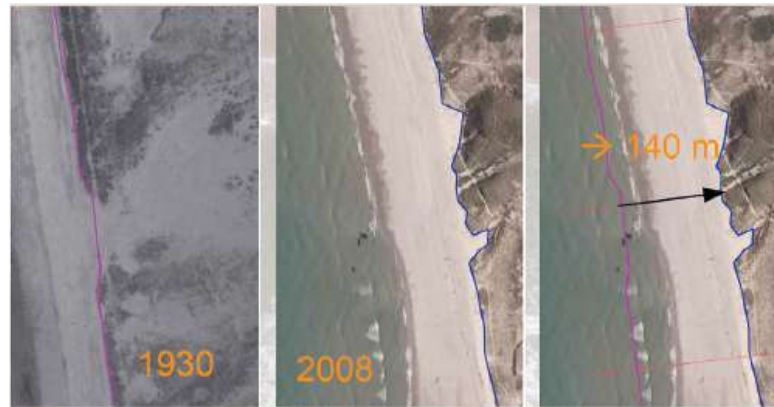
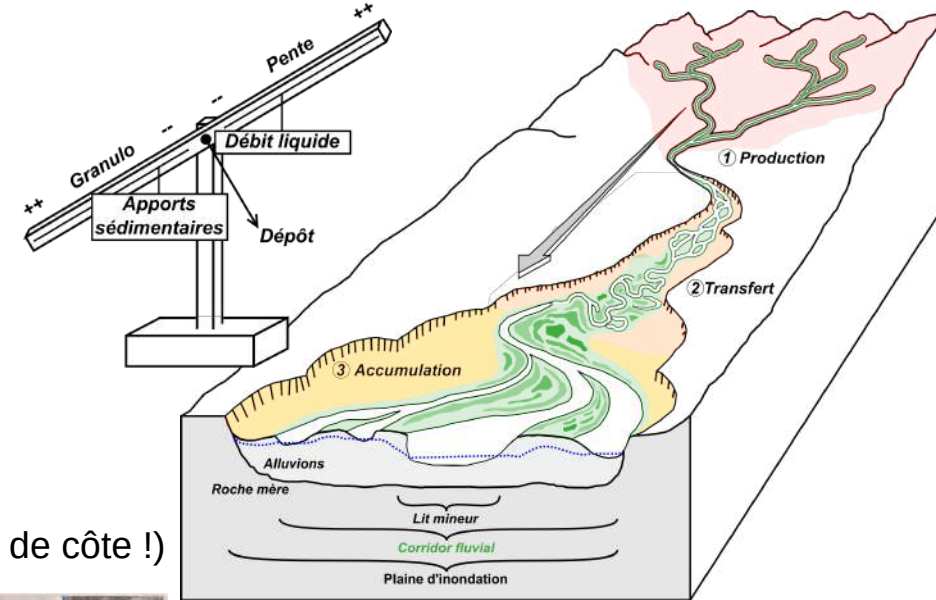
▷ **Longitudinalement**, les variables dominantes et de contrôle définissent **trois grandes zones d'un hydrosystème**

× **Zone de production**

× **Zone de transfert**

× **Zone d'accumulation**

- × Plus forte densité de drainage
- × Forte réduction de la capacité de transport car pente faible
- × Sédiments fins très dominants
- × Érosion < dépôt
- × Enjeux inondations importants (e.g. influence des marées)
- × Également très tributaire des apports amont (e.g. recul trait de côte !)

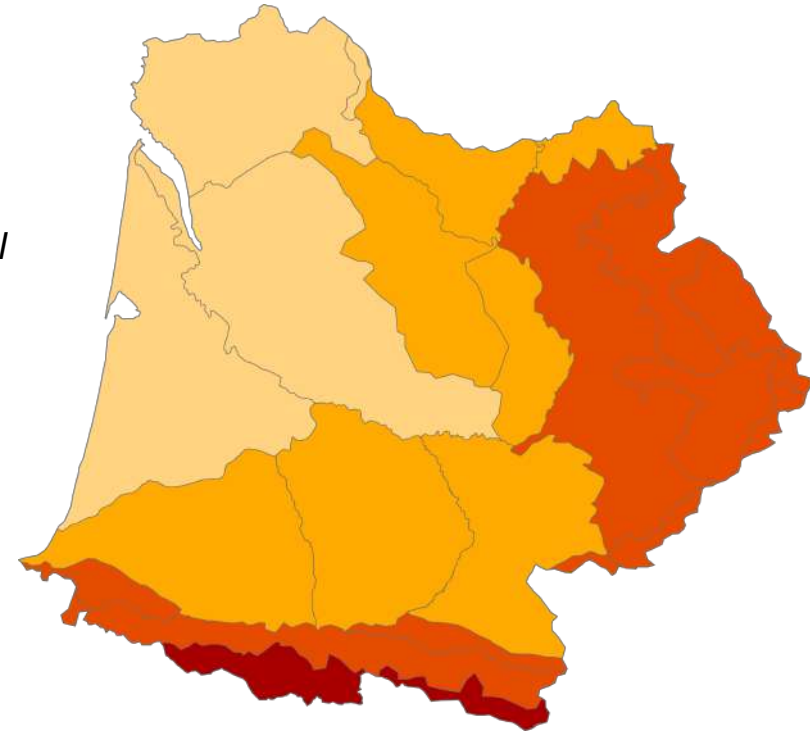
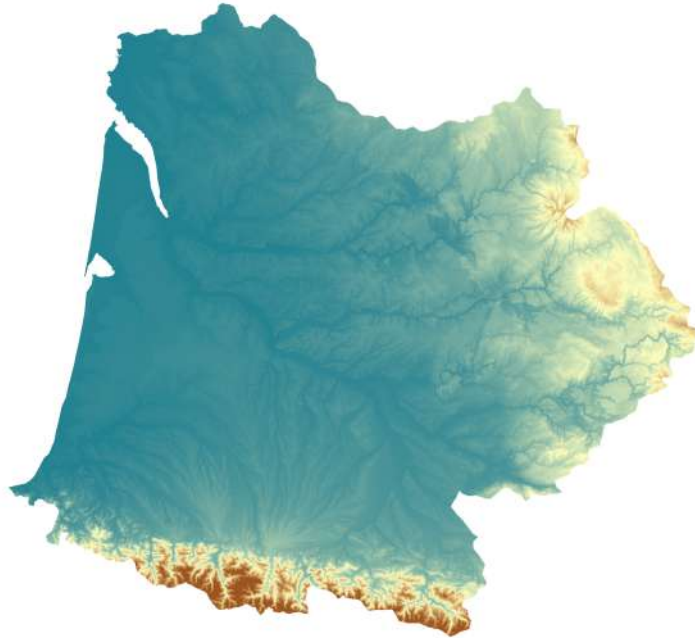


L'ORGANISATION SPATIALE DE L'HYDROSYSTÈME

!! SECTORISATION APPLICABLE A TOUTES LES ÉCHELLES !!

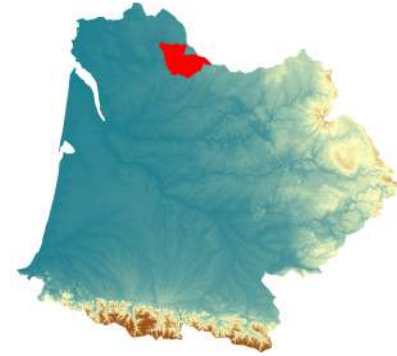
▷ **Bassin Adour-Garonne**

- × **Zone de production** : Hauts reliefs des Pyrénées et du Massif Central
- × **Zone de transfert** : Piedmont
- × **Zone accumulation** : Estuaire de la Gironde, Plaine des Landes



L'ORGANISATION SPATIALE DE L'HYDROSYSTÈME

!!/ SECTORISATION APPLICABLE A TOUTES LES ÉCHELLES !!/

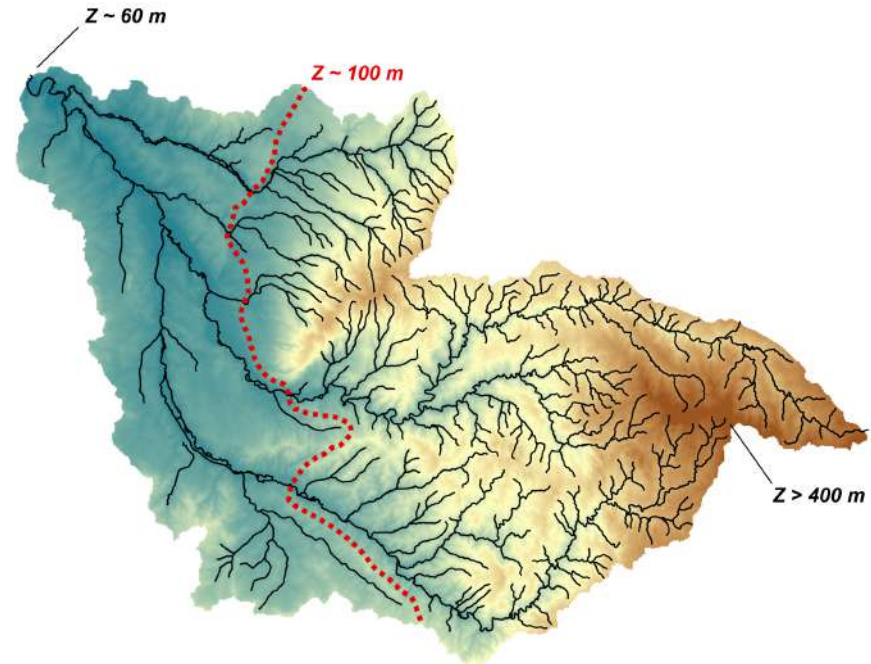


▷ **Bassin Adour-Garonne**

- × Zone de production : Hauts reliefs des Pyrénées et du Massif Central
- × Zone de transfert : Piedmont
- × Zone accumulation : Estuaire de la Gironde, Plaine des Landes

▷ **Bassin de la Bonnieure**

- × Zone de production à $Z > 100$ m
- × Zone de transfert en aval

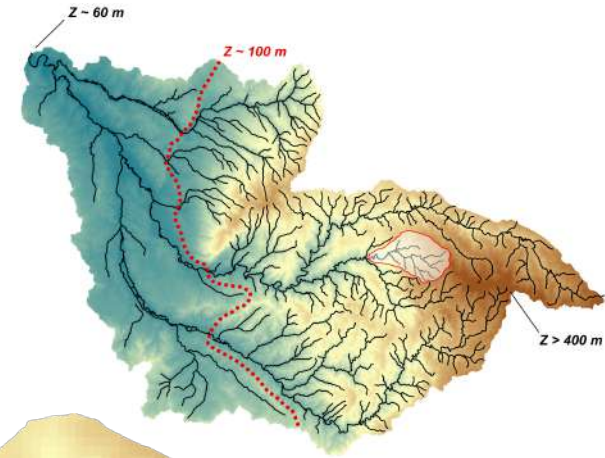


L'ORGANISATION SPATIALE DE L'HYDROSYSTÈME

!!/ SECTORISATION APPLICABLE A TOUTES LES ÉCHELLES !!/

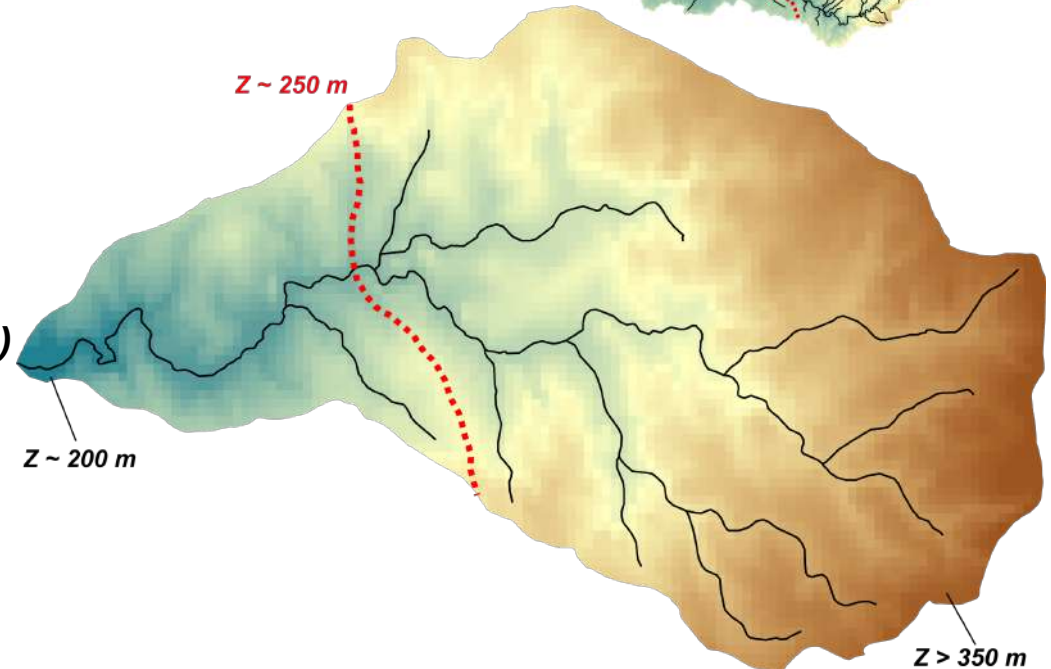
▷ **Bassin Adour-Garonne**

- × Zone de production : Hauts reliefs des Pyrénées et du Massif Central
- × Zone de transfert : Piedmont
- × Zone accumulation : Estuaire de la Gironde, Plaine des Landes



▷ **Bassin de la Bonnieure**

- × Zone de production à $Z > 100$ m
- × Zone de transfert en aval



▷ **Bassin du Nauzon (Trioux → Tardoire → Bonnieure)**

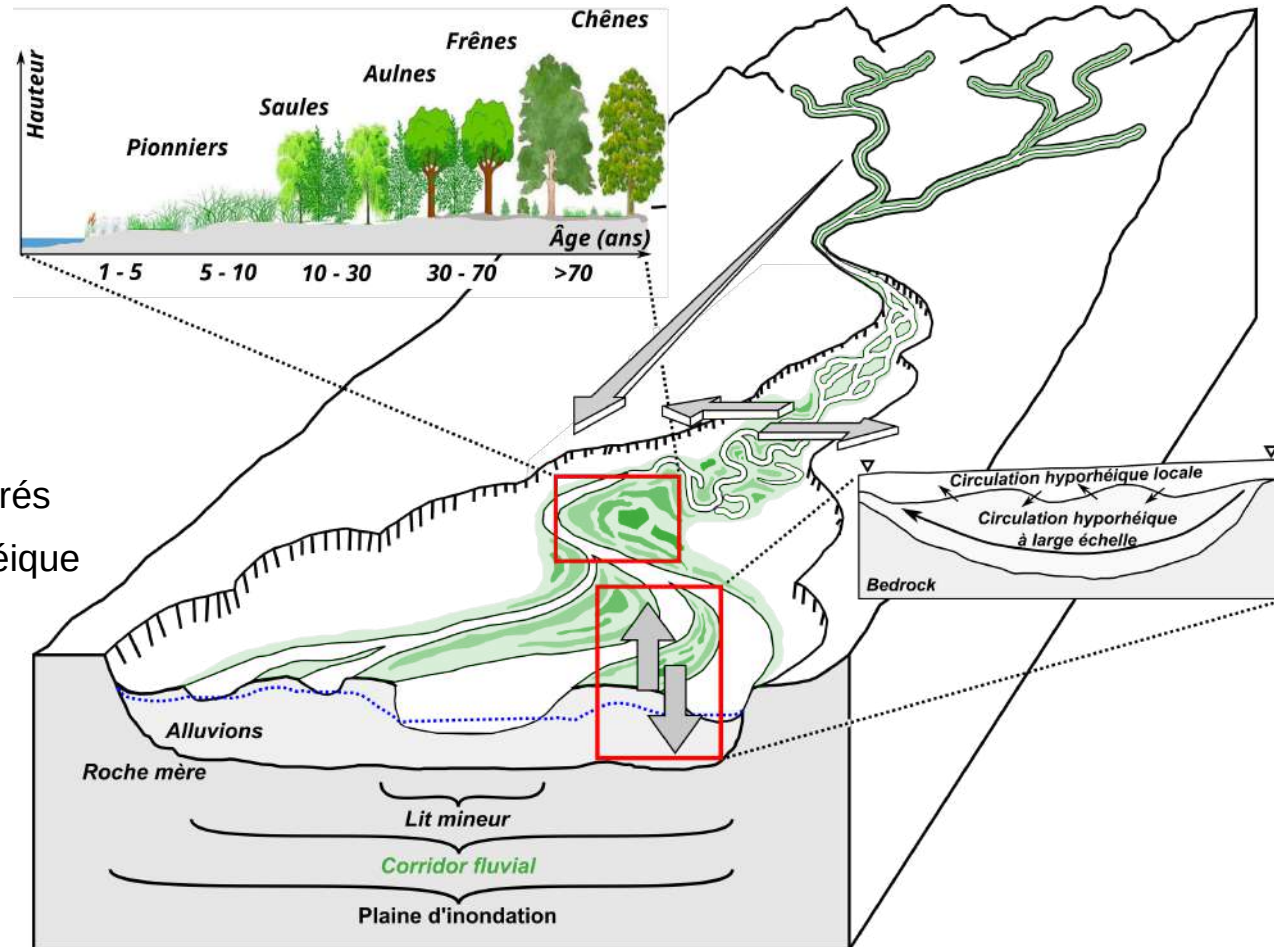
- × Zone de production à $Z > 250$ m
- × Zone de transfert en aval

L'ORGANISATION SPATIALE DE L'HYDROSYSTÈME

▷ L'hydrosystème est également *un lieu d'échanges latéraux et verticaux*

▷ **Latéralement**

- × Gradient latéraux de végétation
- × Apports sédimentaires par érosion berges
- × Stockage de fines dans la plaine alluviale
- × Échanges nappe-rivière



▷ **Verticalement**

- × Structuration des communautés d'invertébrés
- × Échanges eaux de surface – zone hyporhéique

L'ORGANISATION SPATIALE DE L'HYDROSYSTÈME

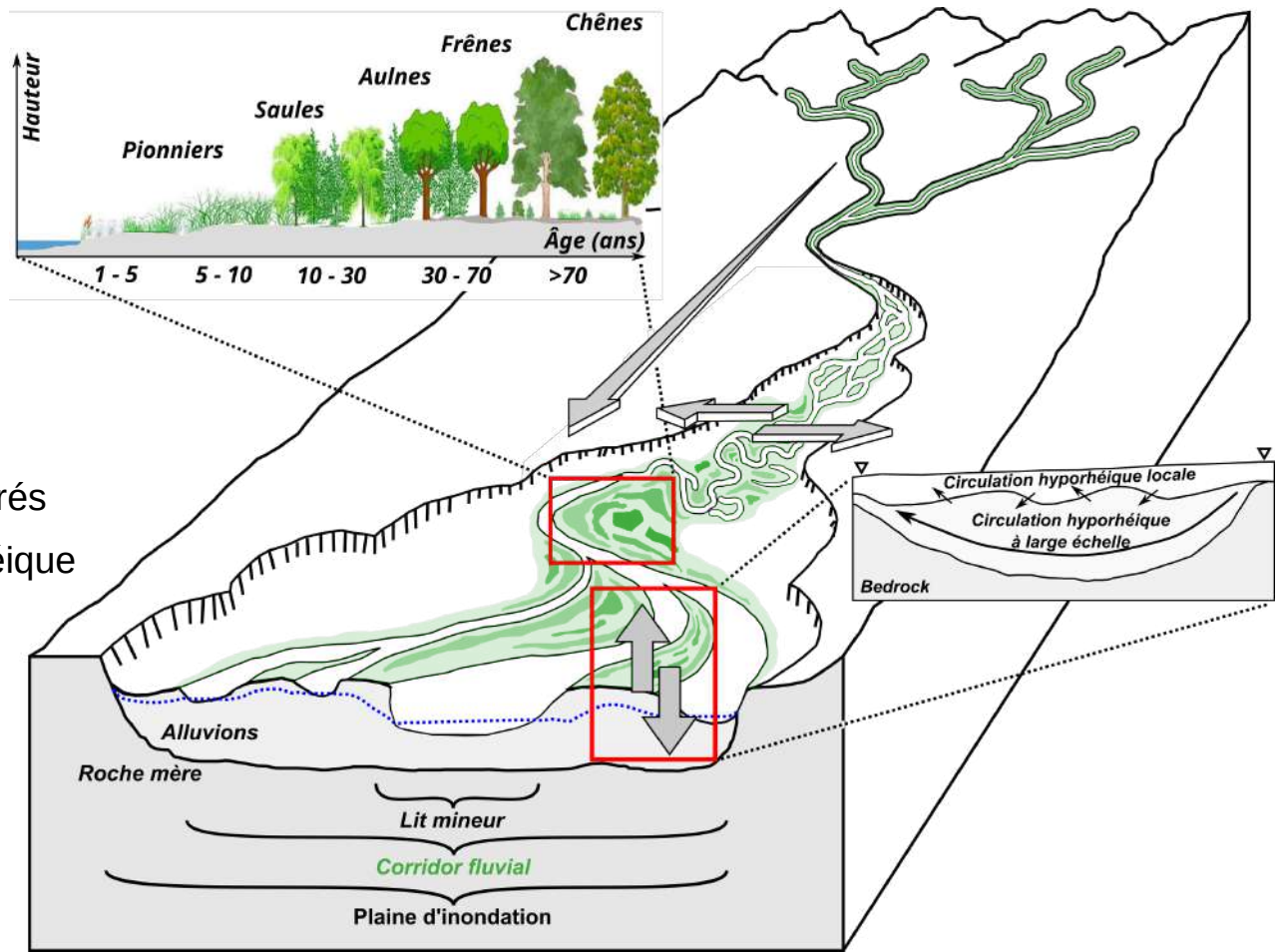
▷ L'hydrosystème est également *un lieu d'échanges latéraux et verticaux*

▷ Latéralement

- × Gradient latéraux de végétation
- × Apports sédimentaires par érosion berges
- × Stockage de fines dans la plaine alluviale
- × Échanges nappe-rivière

▷ Verticalement

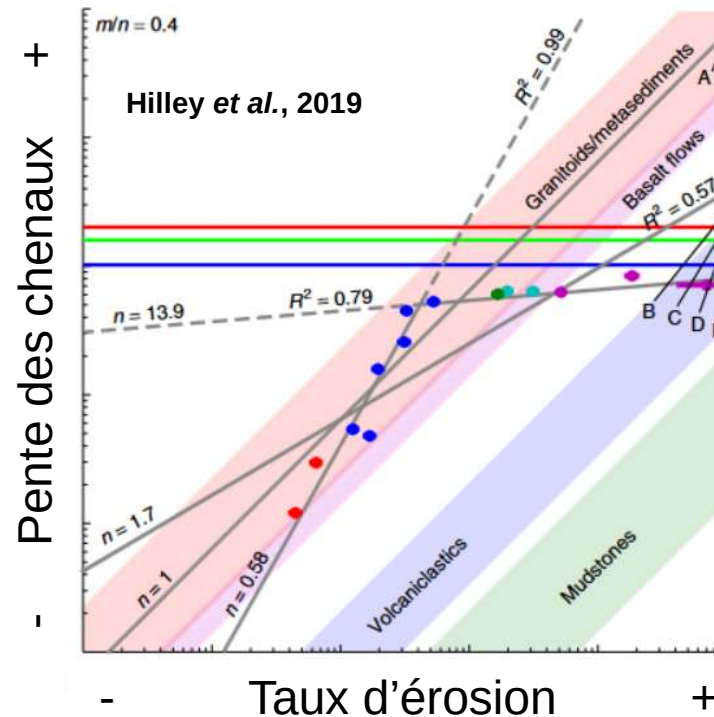
- × Structuration des communautés d'invertébrés
- × Échanges eaux de surface – zone hyporhéique



LA DIMENSION TEMPORELLE

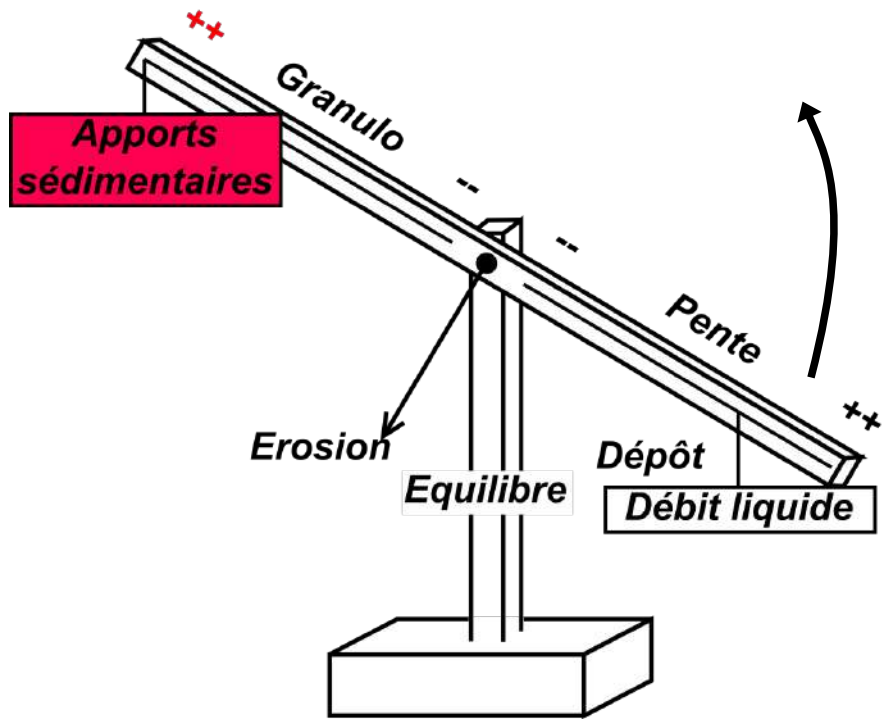
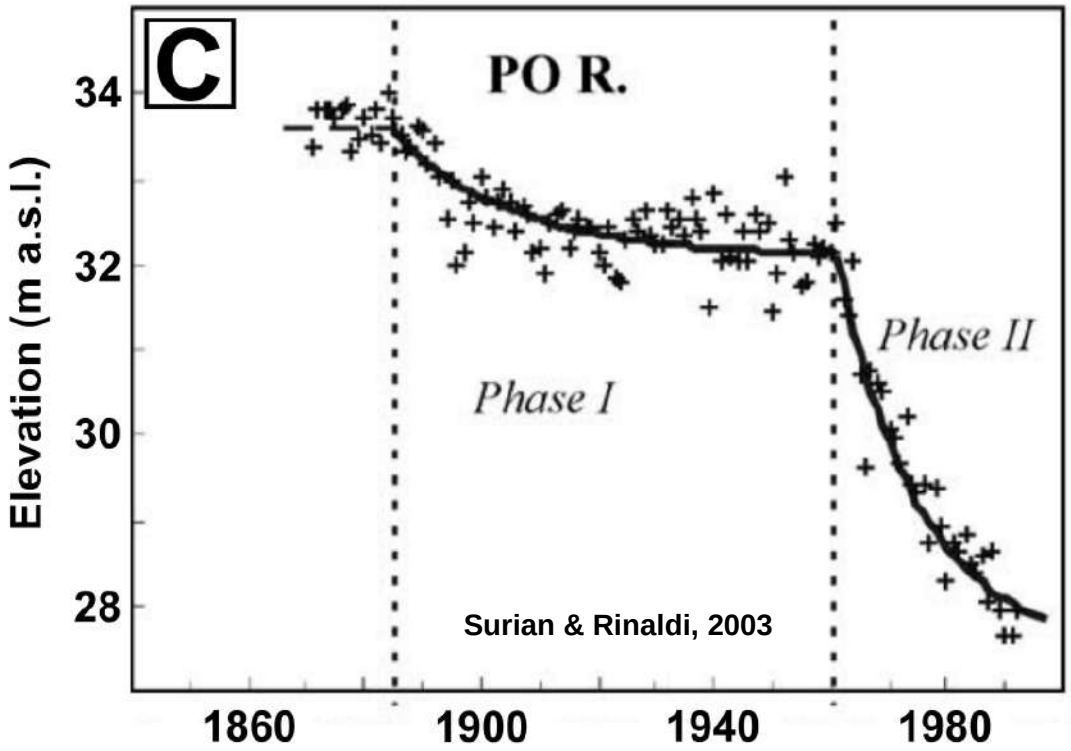
DES COURS D'EAU EN PERPÉTUEL AJUSTEMENT : LA NOTION D'ÉQUILIBRE DYNAMIQUE

- ▷ La notion **d'équilibre dynamique** : jeu de rétroactions entre différentes variables qui limitent les ajustements
 - × Exemple : sur Terre, une montagne ne peut pas grandir au-delà de 9000 m environ
 - × Plus le taux de surrection (i.e. 'croissance de la montagne') augmente, plus la pente augmente, plus le pouvoir érosif de l'eau augmente, limitant ainsi la croissance
 - × Au contraire, plus le taux de surrection est bas, moins la pente est importante, moins le pouvoir érosif est important



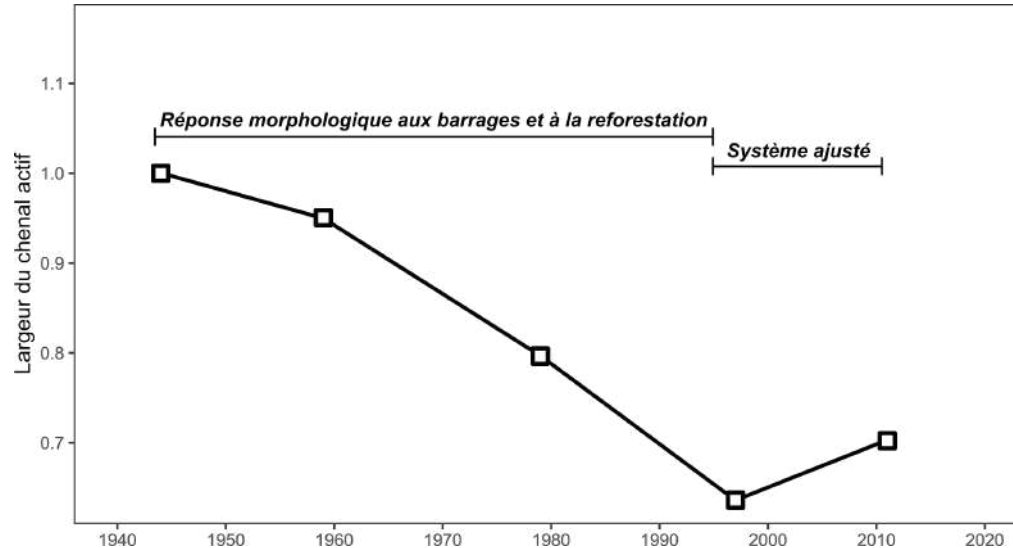
DES COURS D'EAU EN PERPÉTUEL AJUSTEMENT : LA NOTION D'ÉQUILIBRE DYNAMIQUE

- ▷ La notion **d'équilibre dynamique** : jeu de rétroactions entre différentes variables qui limitent les ajustements
- ▷ Là encore, **les cours d'eau n'échappent à la règle ! Exemples...**
 - × A mesure qu'un cours d'eau **s'incise**, la **granulométrie** du fond du lit **augmente**, et **limite l'incision**



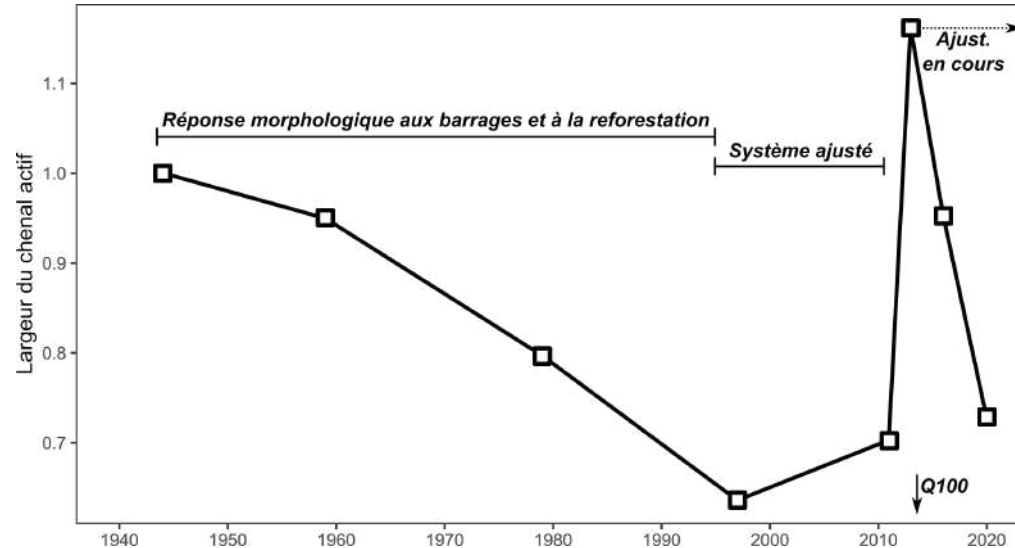
DES COURS D'EAU EN PERPÉTUEL AJUSTEMENT : LA NOTION D'ÉQUILIBRE DYNAMIQUE

- ▷ La notion **d'équilibre dynamique** : jeu de rétroactions entre différentes variables qui limitent les ajustements
- ▷ Là encore, **les cours d'eau n'échappent à la règle ! Exemples...**
 - × A mesure qu'un cours d'eau **s'incise**, la **granulométrie** du fond du lit **augmente**, et **limite l'incision**
 - × **Si l'intensité des crues et/ou les apports sédimentaires diminuent**, le cours d'eau devient **moins large**, jusqu'à atteindre une **largeur d'équilibre** ajustée aux nouvelles conditions



DES COURS D'EAU EN PERPÉTUEL AJUSTEMENT : LA NOTION D'ÉQUILIBRE DYNAMIQUE

- ▷ La notion **d'équilibre dynamique** : jeu de rétroactions entre différentes variables qui limitent les ajustements
- ▷ Là encore, **les cours d'eau n'échappent à la règle ! Exemples...**
 - × A mesure qu'un cours d'eau **s'incise**, la **granulométrie** du fond du lit **augmente**, et **limite l'incision**
 - × **Si l'intensité des crues et/ou les apports sédimentaires diminuent**, le cours d'eau devient **moins large**, jusqu'à atteindre une **largeur d'équilibre** ajustée aux nouvelles conditions
 - × Au contraire, si l'intensité des **crues augmente**, le cours d'eau **s'élargit** (s'il le peut...) jusqu'à atteindre une largeur **permettant d'évacuer des apports plus importants**

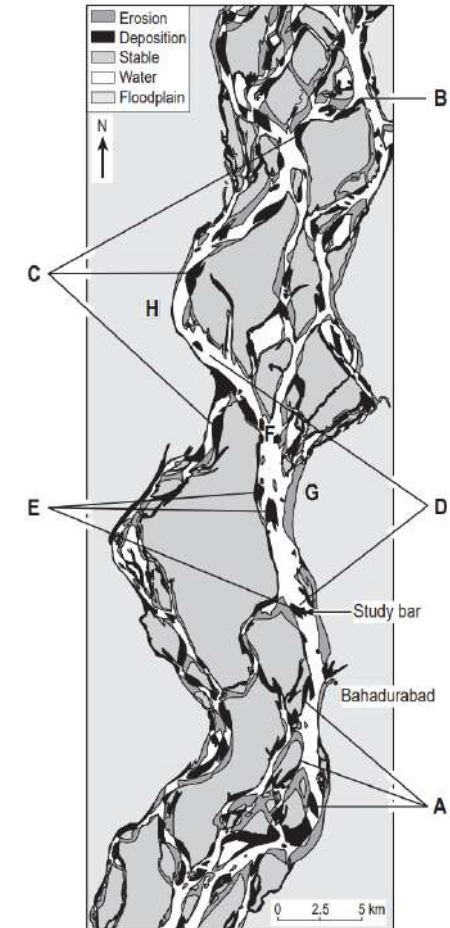


LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : CHÊNE OU ROSEAU ?

- ▷ La plupart des processus morphologiques et sédimentaires en rivière sont soumis à des **effets de seuil** (Wasson *et al.* 1988)

LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : CHÊNE OU ROSEAU ?

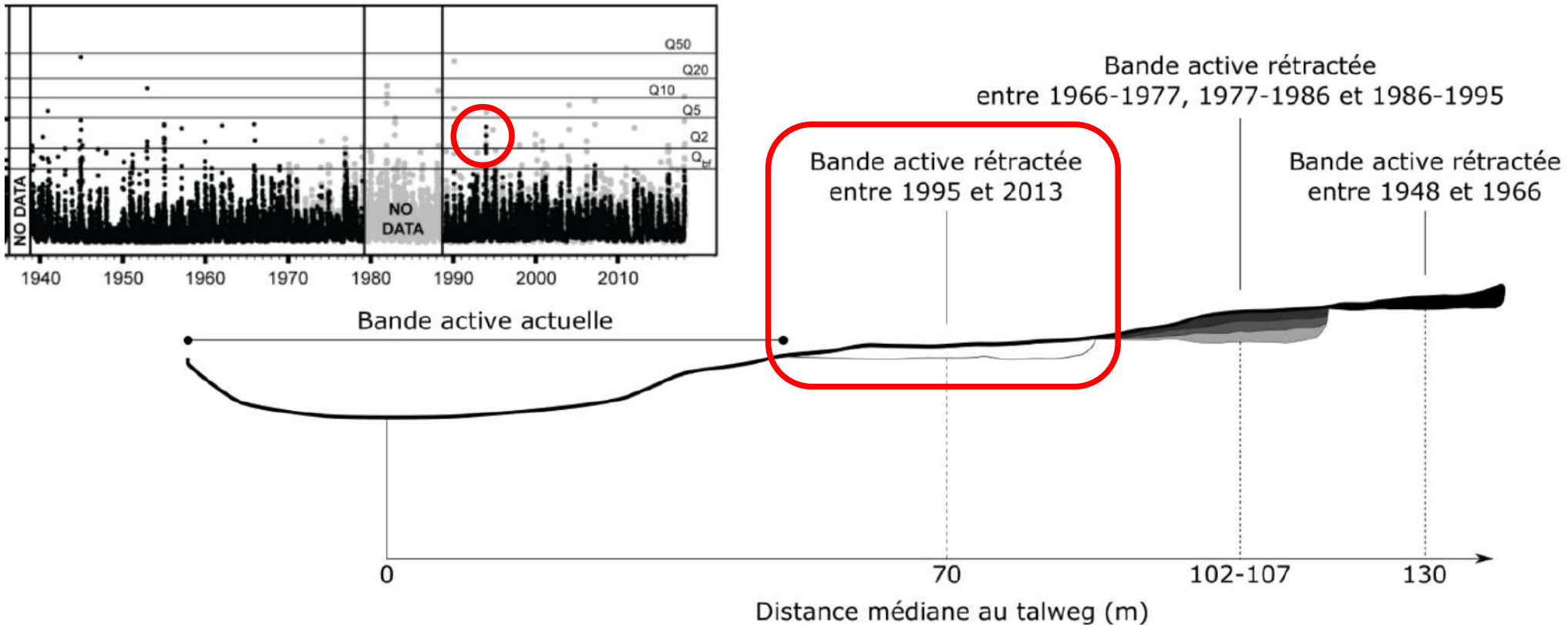
- ▷ La plupart des processus morphologiques et sédimentaires en rivière sont soumis à des **effets de seuil** (Wasson *et al.* 1988)
- ▷ Tronçon **résilient** : élastique, dynamique, facilement modifiable, capable de s'auto-restaurer



Ashworth, 2000

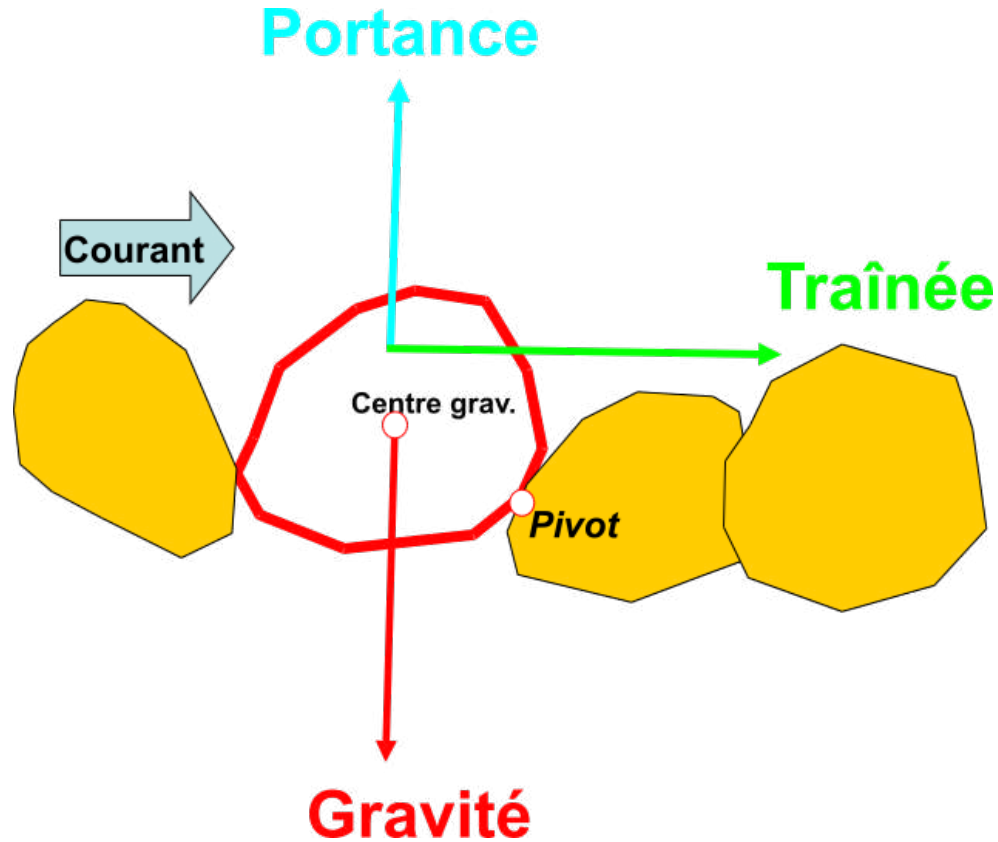
LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : CHÊNE OU ROSEAU ?

- ▷ La plupart des processus morphologiques et sédimentaires en rivière sont soumis à des **effets de seuil** (Wasson et al. 1988)
- ▷ Tronçon **résilient** vs. tronçon **résistant** : peu modifié jusqu'à un certain niveau de perturbations, **transformations importantes et durables** → cas de la plupart des cours d'eau anthropisés



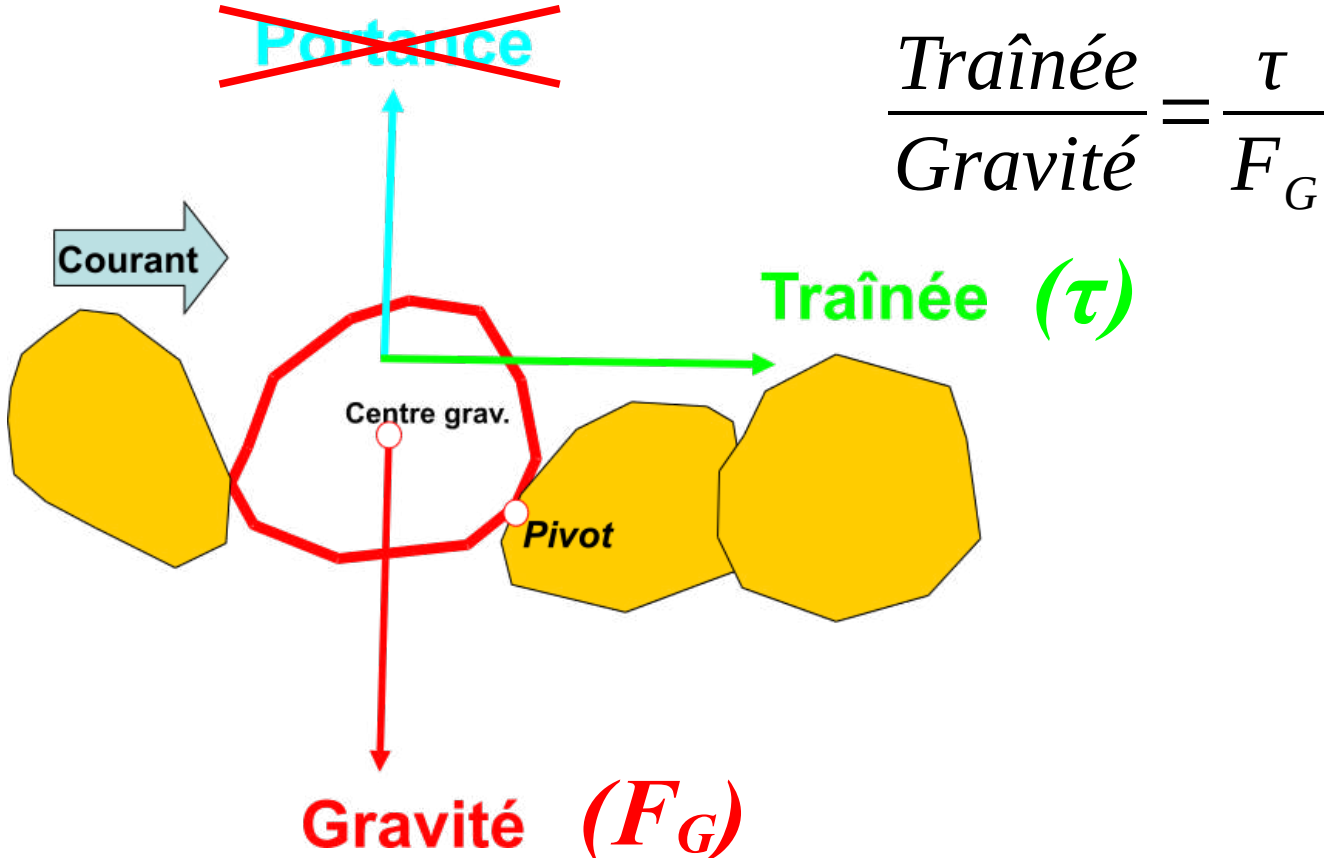
LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : LE TRANSPORT SOLIDE

- ▷ Le transport des sédiments est également soumis à des effets de seuils, qui **conditionnent la résistance** du tronçon
- ▷ Mobilité fonction du ratio entre **forces stabilisatrices (i.e. gravité)** et **forces mobilisatrices (i.e. portance + traînée)**



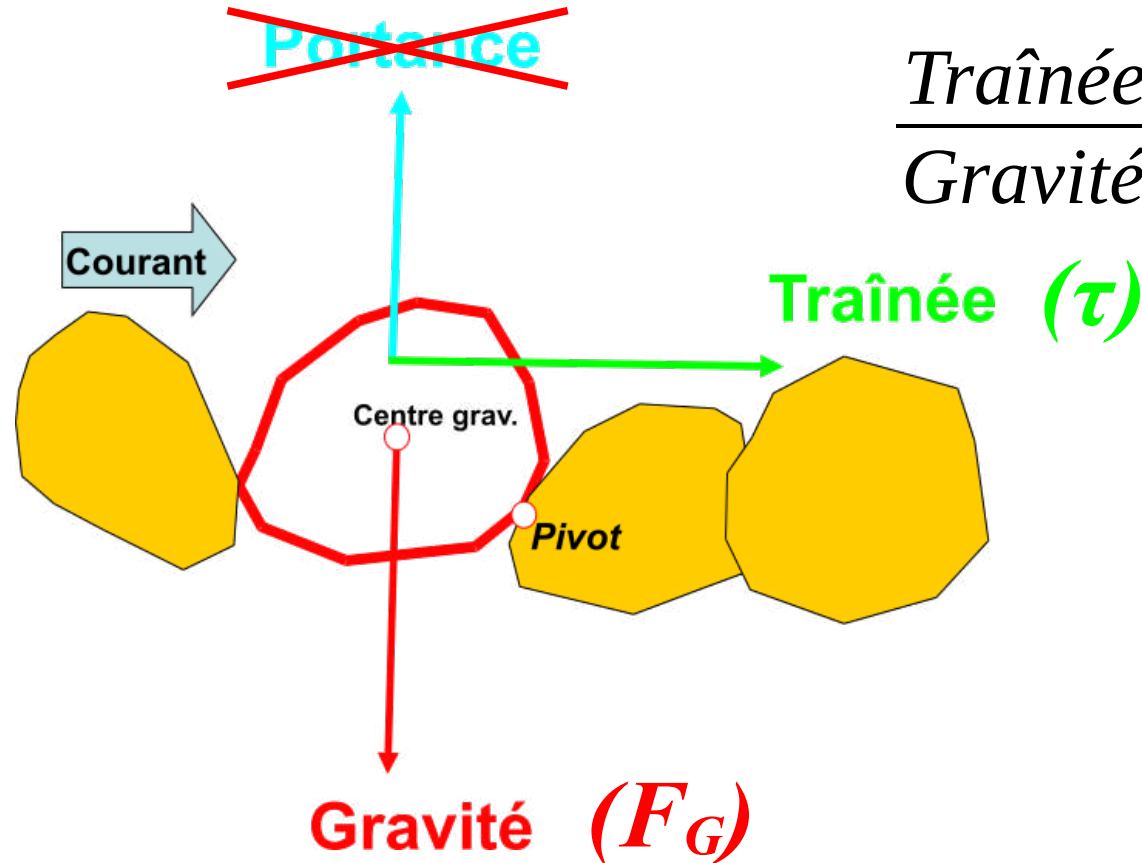
LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : LE TRANSPORT SOLIDE

- ▷ Le transport des sédiments est également soumis à des effets de seuils
- ▷ Mobilité fonction du ratio entre **forces stabilisatrices** (i.e. gravité) et **forces mobilisatrices** (i.e. portance + traînée)



LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : LE TRANSPORT SOLIDE

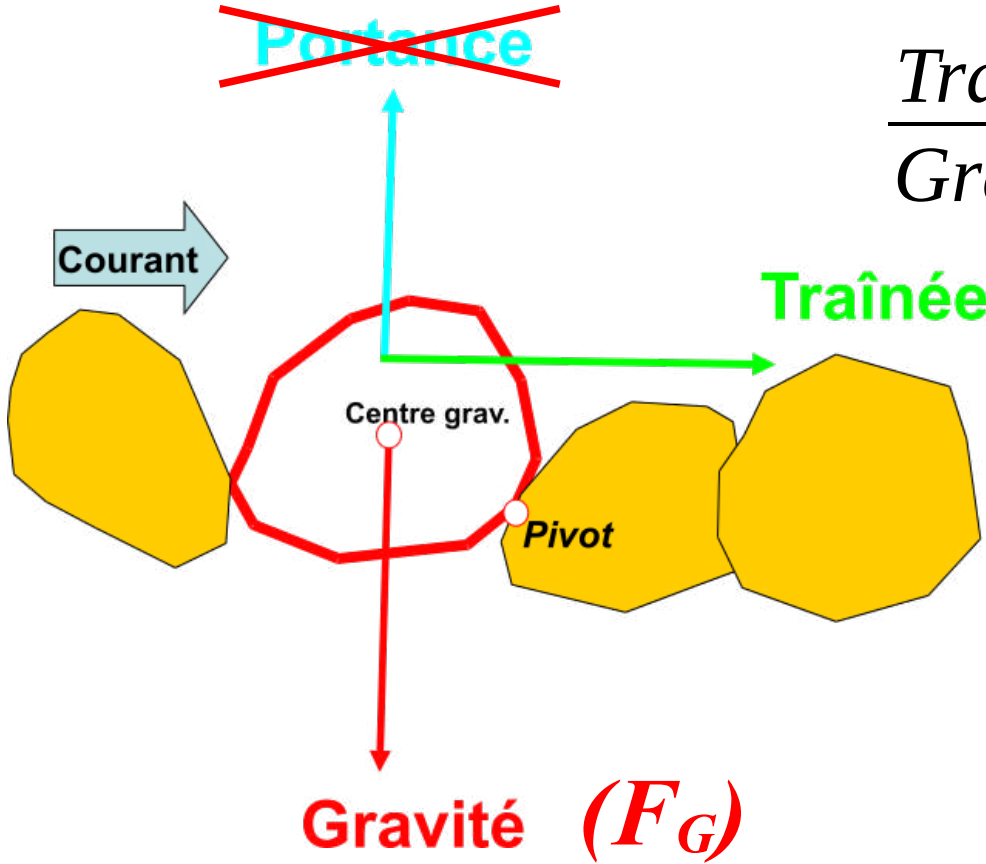
- ▷ Le transport des sédiments est également soumis à des effets de seuils
- ▷ Mobilité fonction du ratio entre **forces stabilisatrices** (i.e. gravité) et **forces mobilisatrices** (i.e. portance + traînée)



$$\frac{\text{Traînée}}{\text{Gravité}} = \frac{\tau}{F_G} = \frac{\rho_{eau} \cdot g \cdot R \cdot S}{(\rho_{sed} - \rho_{eau}) \cdot g \cdot D}$$

LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : LE TRANSPORT SOLIDE

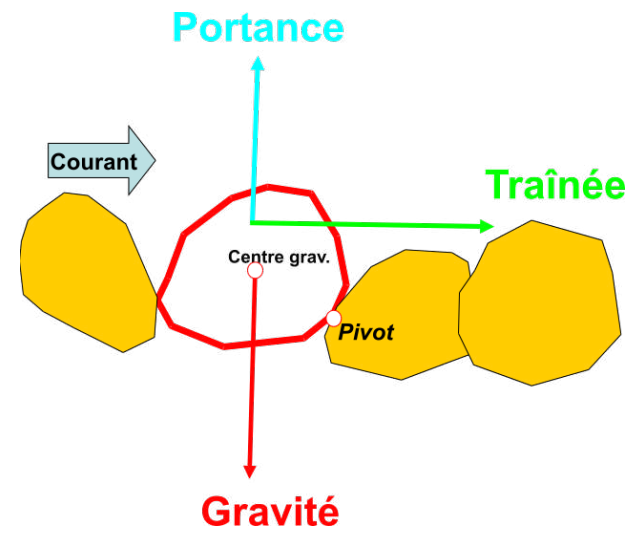
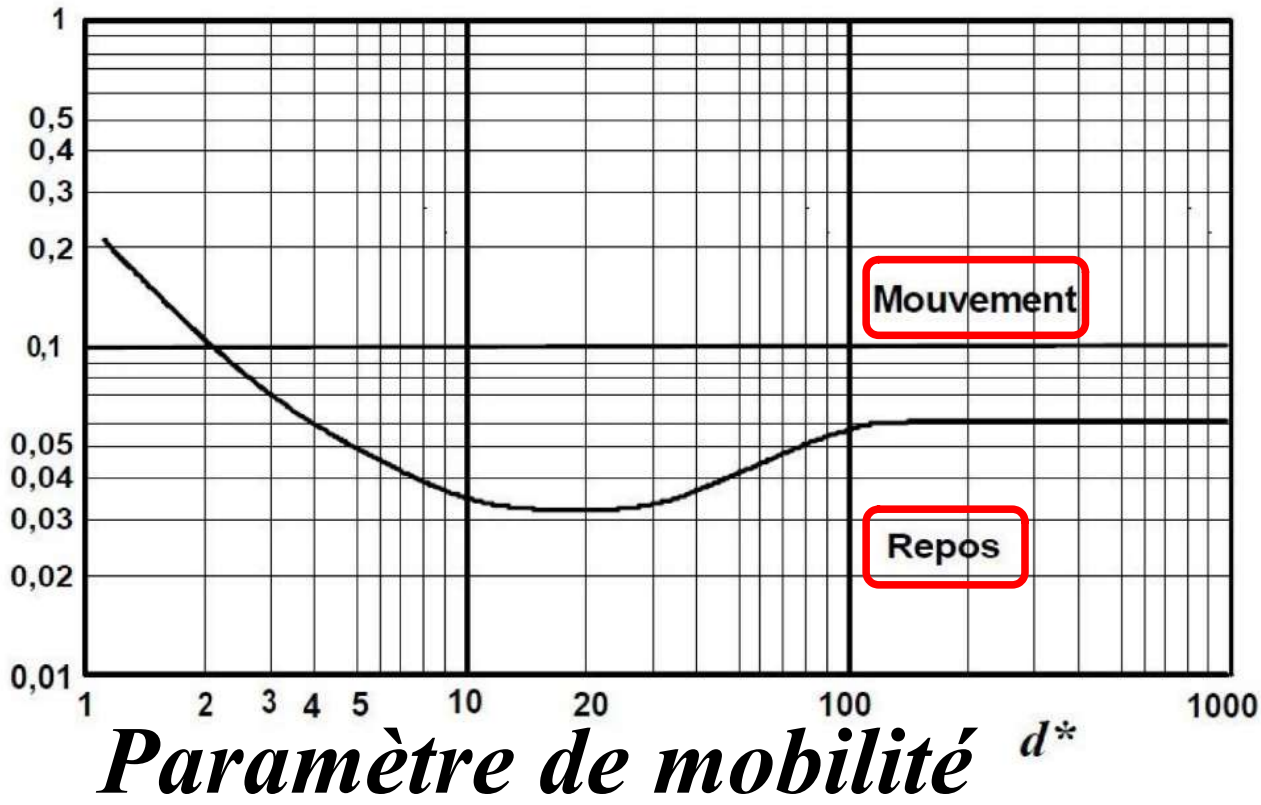
- ▷ Le transport des sédiments est également soumis à des effets de seuils
- ▷ Mobilité fonction du ratio entre **forces stabilisatrices** (i.e. gravité) et **forces mobilisatrices** (i.e. portance + traînée)



$$\frac{\text{Traînée}}{\text{Gravité}} = \frac{\tau}{F_G} = \frac{\rho_{eau} \cdot g \cdot R \cdot S}{(\rho_{sed} - \rho_{eau}) \cdot g \cdot D} = \theta$$

$$\frac{\text{Traînée}}{\text{Gravité}} = \frac{\tau}{F_G} = \frac{\rho_{eau} \cdot g \cdot R \cdot S}{(\rho_{sed} - \rho_{eau}) \cdot g \cdot D} = \theta$$

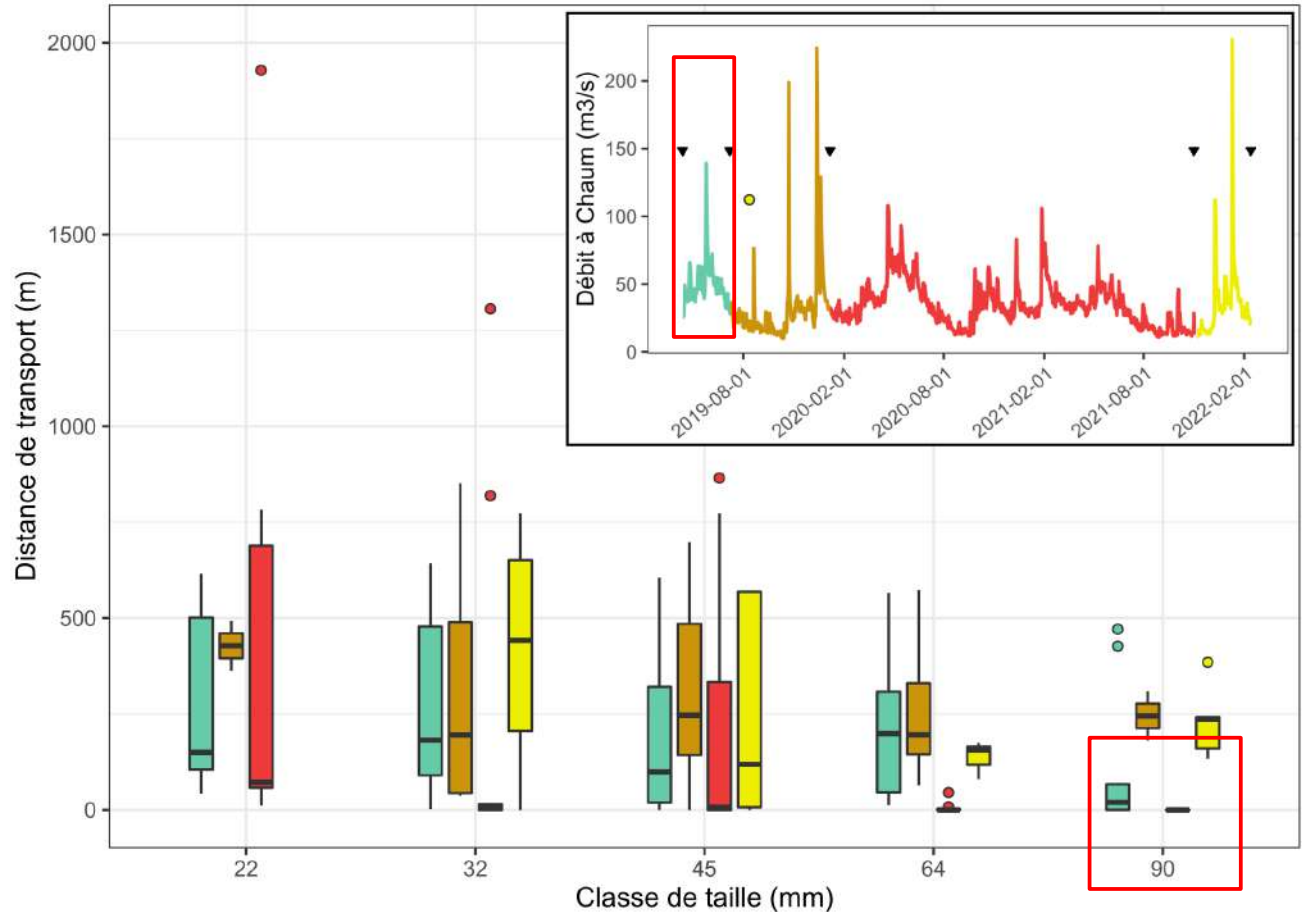
Début de mouvement



Seuil ?
 $0.03 < \theta_c < 0.06$
 $\rightarrow \theta_c = 0.045$

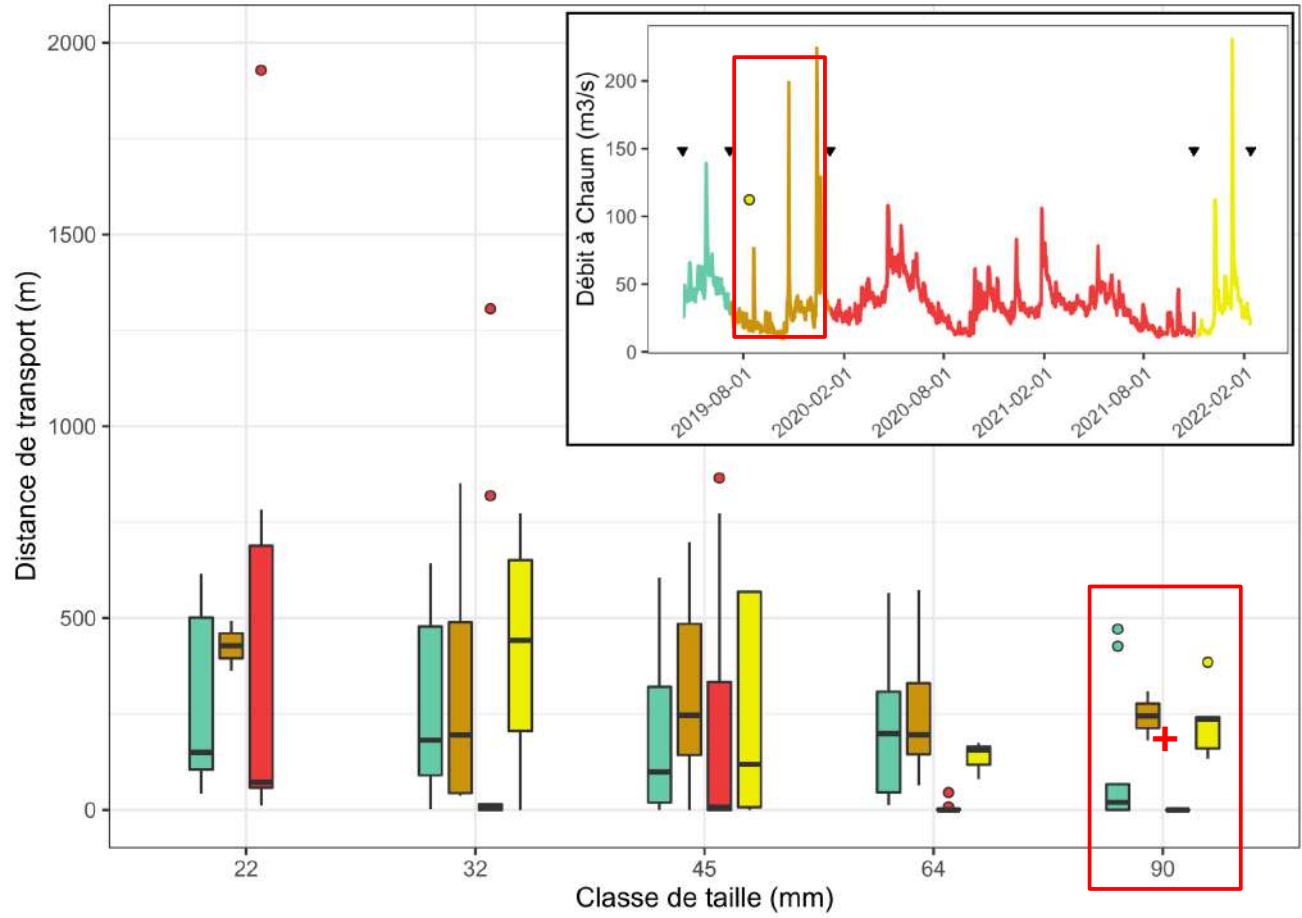
LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : LE TRANSPORT SOLIDE

▷ Un cas concret de **seuil de mise en mouvement** sur la Garonne amont



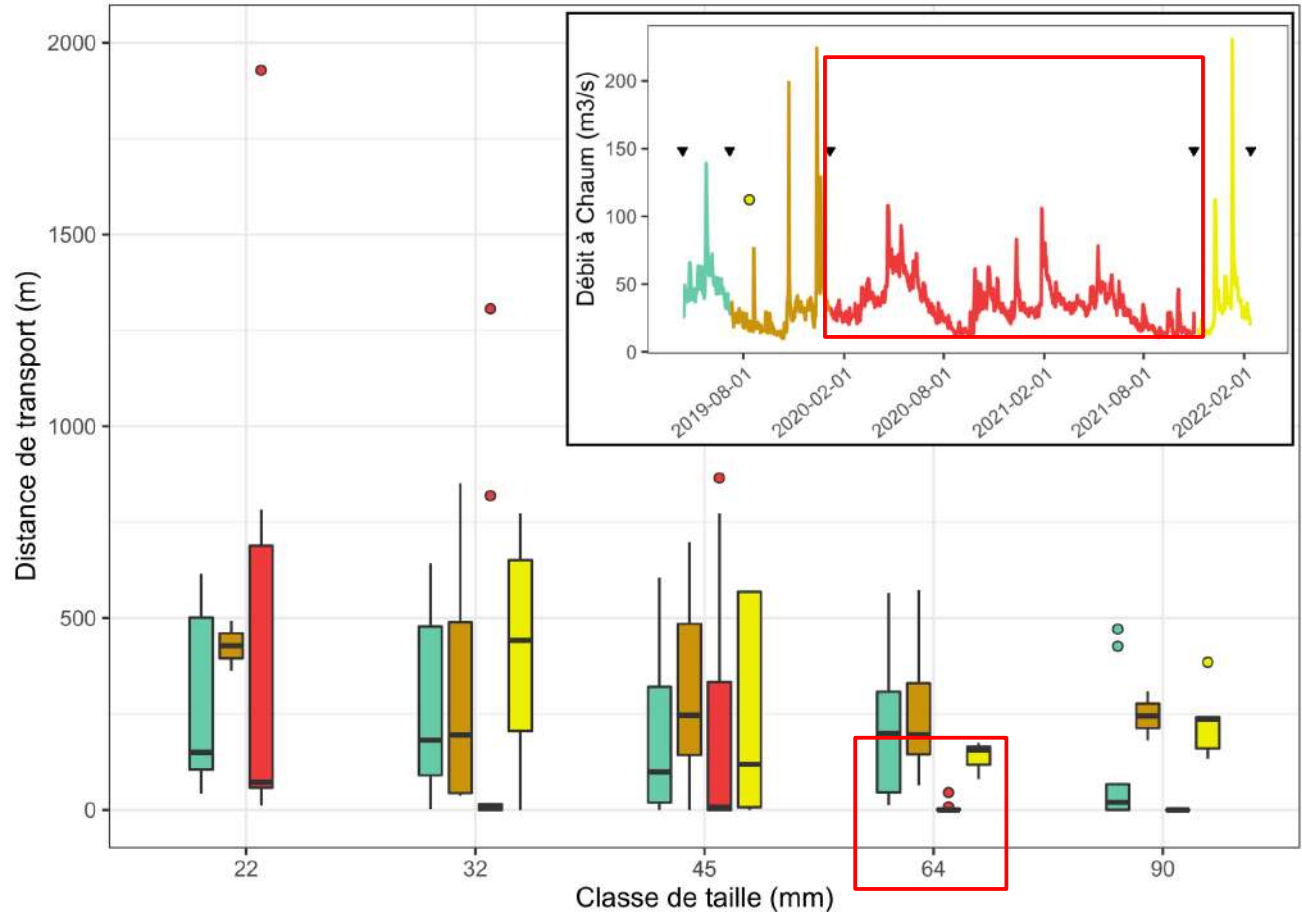
LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : LE TRANSPORT SOLIDE

▷ Un cas concret de **seuil de mise en mouvement** sur la Garonne amont



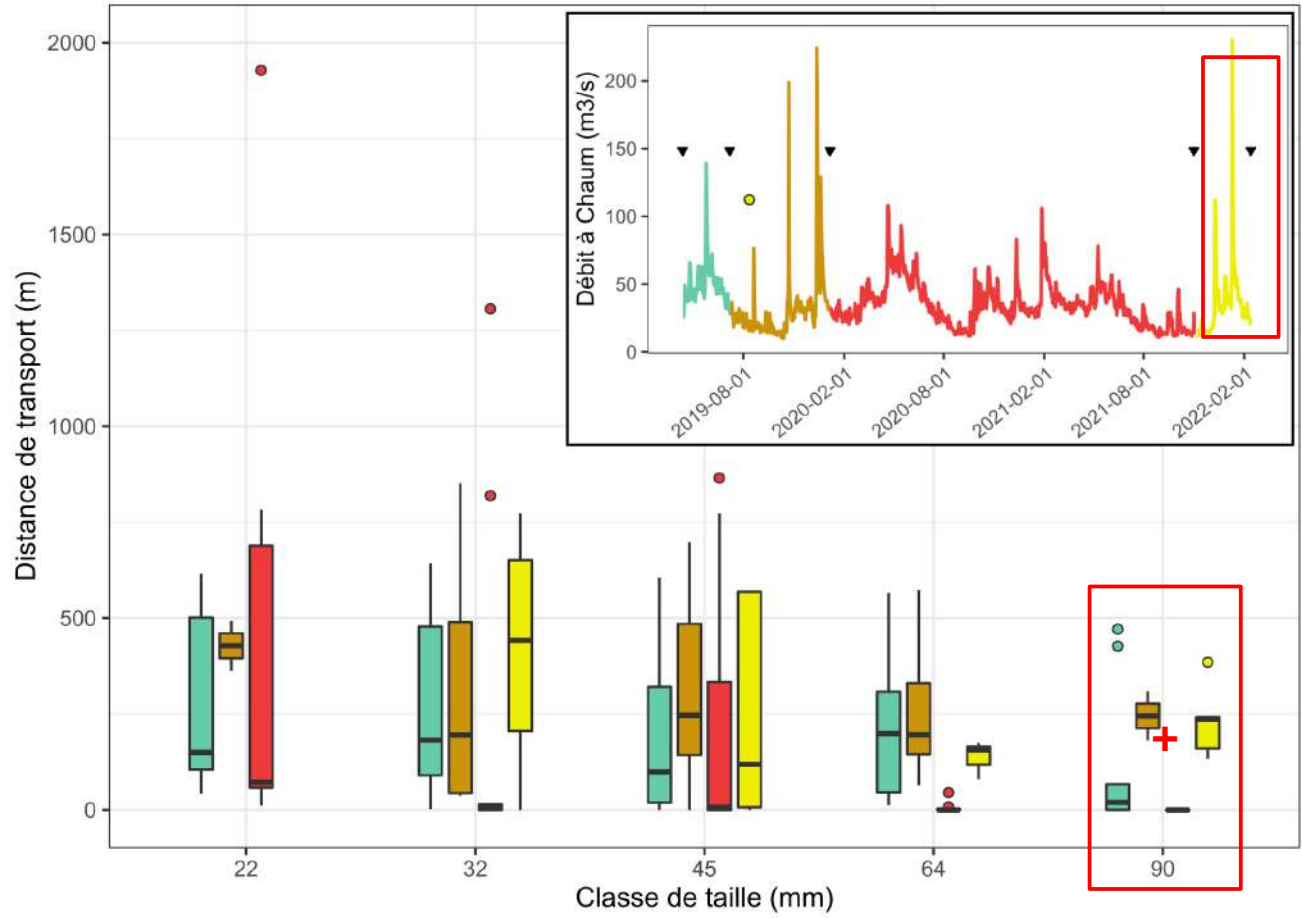
LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : LE TRANSPORT SOLIDE

▷ Un cas concret de **seuil de mise en mouvement** sur la Garonne amont



LES EFFETS DE SEUIL EN RIVIÈRE : LE TRANSPORT SOLIDE

▷ Un cas concret de **seuil de mise en mouvement** sur la Garonne amont



BILAN SUR LES CONCEPTS

- ▷ Un hydrosystème fluvial...
 - * ...est **structuré** selon les **3 dimensions de l'espace**
 - * ...est un **lieu d'échanges de matière et d'énergie**, là encore en **3D**
 - * ...est donc le **lieu de multiples connectivités** !

BILAN SUR LES CONCEPTS

- ▷ Un hydrosystème fluvial...
 - * ...est **structuré** selon les **3 dimensions de l'espace**
 - * ...est un **lieu d'échanges de matière et d'énergie**, là encore en **3D**
 - * ...est donc le **lieu de multiples connectivités** !

- ▷ De ces connectivités dépendent de très nombreuses **fonctions et services**, tant sur le plan **biologique** que pour les **activités humaines**

BILAN SUR LES CONCEPTS

- ▷ Un hydrosystème fluvial...
 - * ...est **structuré** selon les **3 dimensions de l'espace**
 - * ...est un **lieu d'échanges de matière et d'énergie**, là encore en **3D**
 - * ...est donc le **lieu de multiples connectivités** !

- ▷ De ces connectivités dépendent de très nombreuses **fonctions et services**, tant sur le plan **biologique** que pour les **activités humaines**

- ▷ Deux grandes variables contrôlent les conditions 'initiales' ainsi que l'évolution du système : **les flux liquides et solides**



BILAN SUR LES CONCEPTS

- ▷ Un hydrosystème fluvial...
 - * ...est **structuré** selon les **3 dimensions de l'espace**
 - * ...est un **lieu d'échanges de matière et d'énergie**, là encore en **3D**
 - * ...est donc le **lieu de multiples connectivités** !

- ▷ De ces connectivités dépendent de très nombreuses **fonctions et services**, tant sur le plan **biologique** que pour les **activités humaines**

- ▷ Deux grandes variables contrôlent les conditions 'initiales' ainsi que l'évolution du système : **les flux liquides et solides**

- ▷ Les processus morpho-sédimentaires sont soumis à des effets de seuils → **diagnostiquer le fonctionnement physique d'un cours d'eau, c'est en fait comprendre/étudier/quantifier les valeurs seuils !**

BILAN SUR LES CONCEPTS

- ▷ Un hydrosystème fluvial...
 - * ...est **structuré** selon les **3 dimensions de l'espace**
 - * ...est un **lieu d'échanges de matière et d'énergie**, là encore en **3D**
 - * ...est donc le **lieu de multiples connectivités** !

- ▷ De ces connectivités dépendent de très nombreuses **fonctions et services**, tant sur le plan **biologique** que pour les **activités humaines**

- ▷ Deux grandes variables contrôlent les conditions 'initiales' ainsi que l'évolution du système : **les flux liquides et solides**

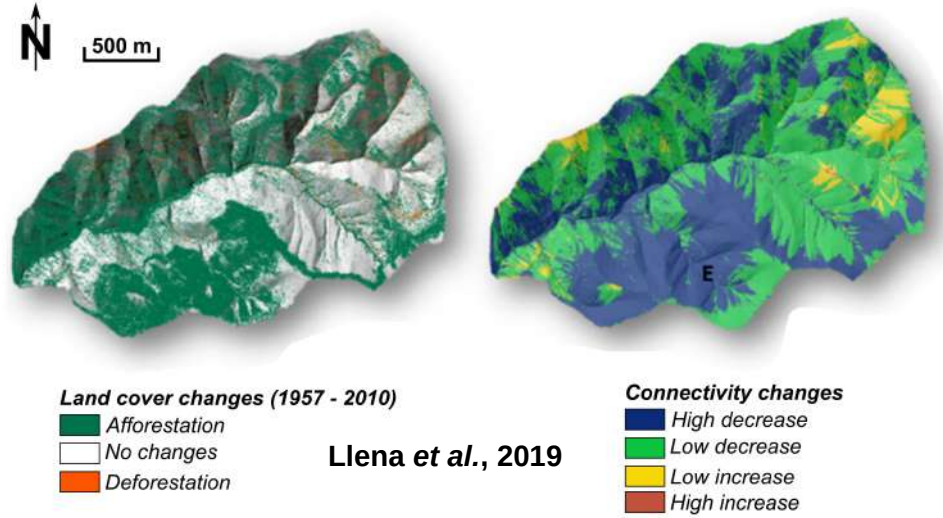
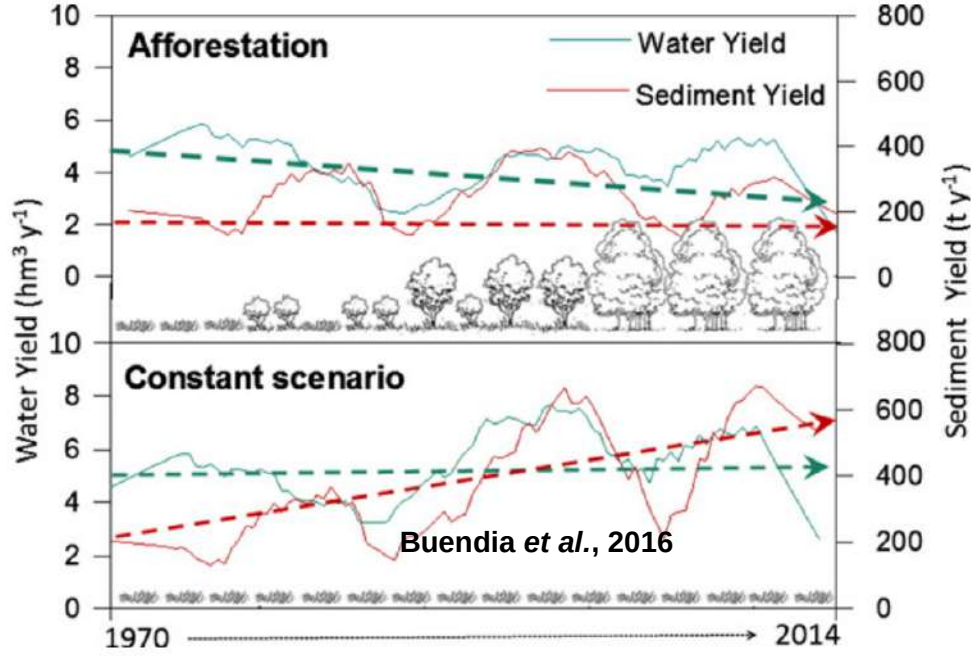
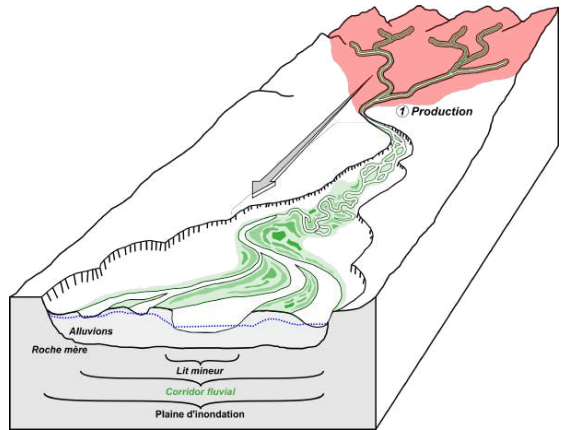
- ▷ Les processus morpho-sédimentaires sont soumis à des effets de seuils → **diagnostiquer le fonctionnement physique d'un cours d'eau, c'est en fait comprendre/étudier/quantifier les valeurs seuils !**

Comment les différentes pressions humaines affectent ces variables, et induisent des pertes de services ?

LES FACTEURS DE LA DÉGRADATION DES HYDROSYSTÈMES ET LEURS EFFETS

▷ Zone de production

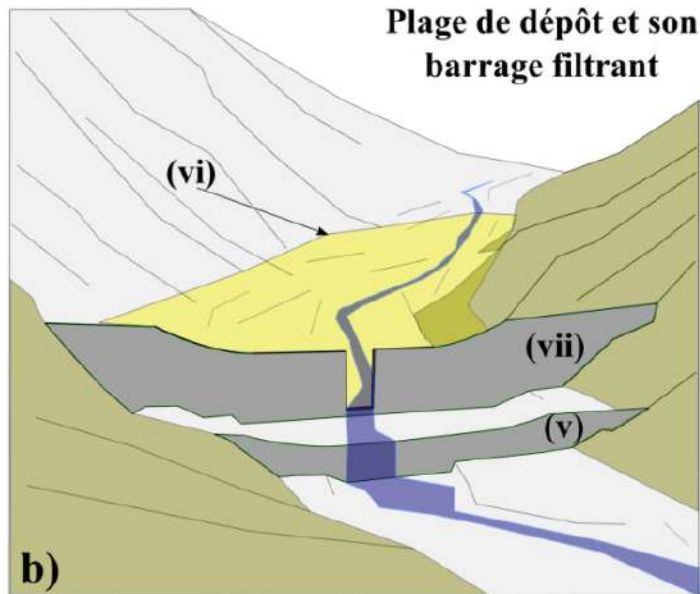
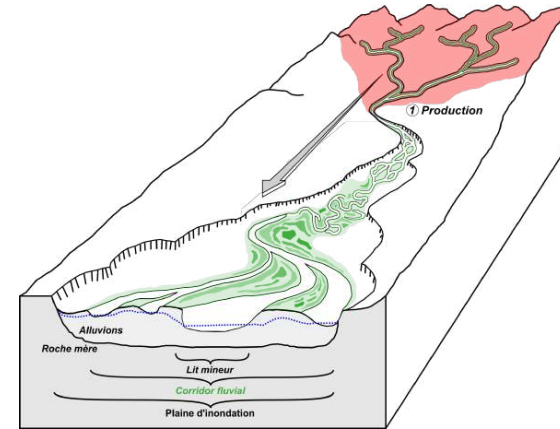
- × **Changement dans l'occupation du sol** → reforestation des versants
- × Flux solides ↓
- × Flux liquides ↓
- × Connectivité ↓
- × Effets diffus, généralisés à l'ensemble du bassin



LES FACTEURS DE LA DÉGRADATION DES HYDROSYSTÈMES ET LEURS EFFETS

▷ Zone de production

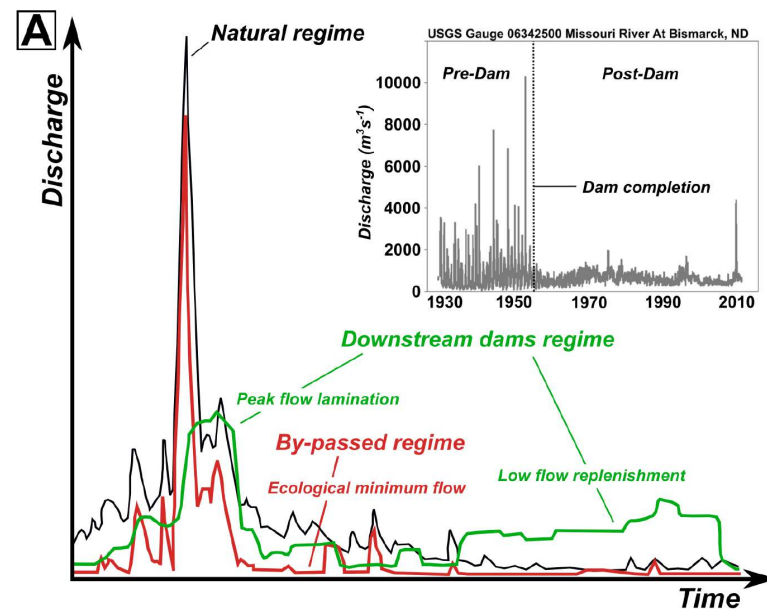
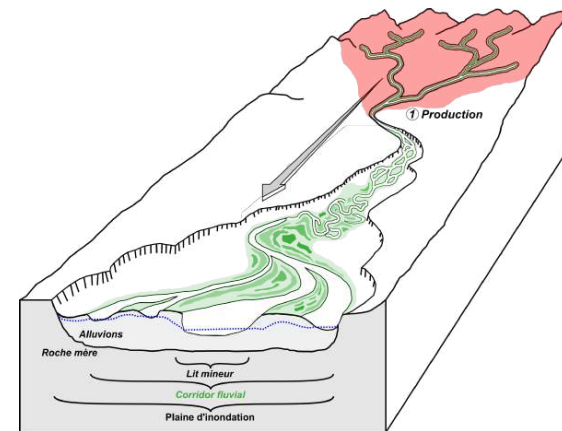
- × **Changement dans l'occupation du sol** → reforestation des versants
- × **Ouvrages de correction torrentielle**
 - × Flux solides ↓
 - × Peu/pas d'effets sur l'hydrologie
 - × Connectivité ↓ jusqu'à l'atterrissement
 - × Pression directe, propagation des effets de l'amont vers l'aval



LES FACTEURS DE LA DÉGRADATION DES HYDROSYSTÈMES ET LEURS EFFETS

▷ Zone de production

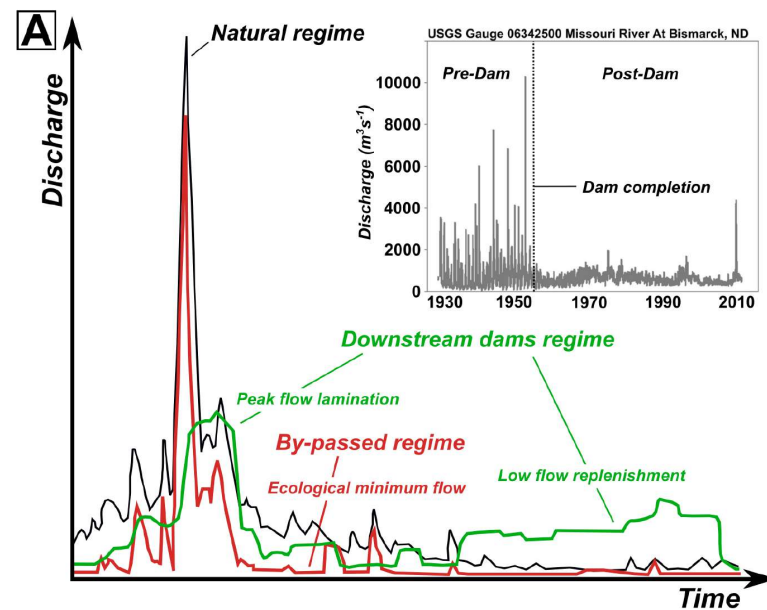
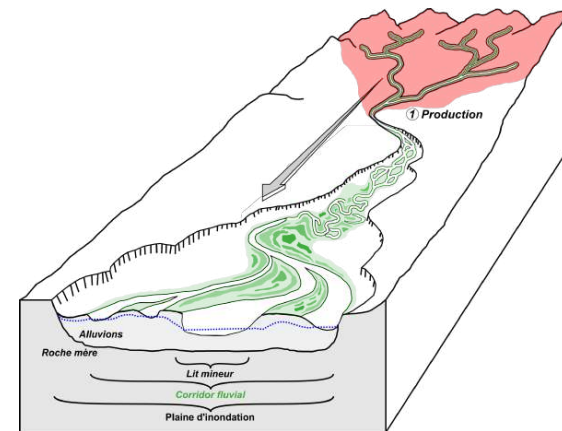
- × **Changement dans l'occupation du sol** → reforestation des versants
- × **Ouvrages de correction torrentielle**
- × **Grands barrages réservoirs**
 - × Flux solides : quelques fines et aucun grossiers
 - × Hydrologie de crue ↓
 - × Débit d'étiage ↑
 - × Effets directs, propagation vers l'aval
 - × Les affluents tamponnent ces effets (si pas de barrages...)



LES FACTEURS DE LA DÉGRADATION DES HYDROSYSTÈMES ET LEURS EFFETS

▷ Zone de production

- × **Changement dans l'occupation du sol** → reforestation des versants
- × **Ouvrages de correction torrentielle**
- × **Grands barrages réservoirs**
 - × Flux solides : quelques fines et aucun grossiers
 - × Hydrologie de crue ↓
 - × Débit d'étiage ↑
 - × Effets directs, propagation vers l'aval
 - × Les affluents tamponnent ces effets (si pas de barrages...)
- × **Barrages 'au-fil-de-l'eau'**
 - × Flux solides ↓ - fonction de la possibilité de mise en transparences
 - × Hydrologie de crue affectée localement
 - × Débit réservé
 - × Effets directs, propagation vers l'aval
 - × Les affluents tamponnent ces effets (si pas de barrages...)

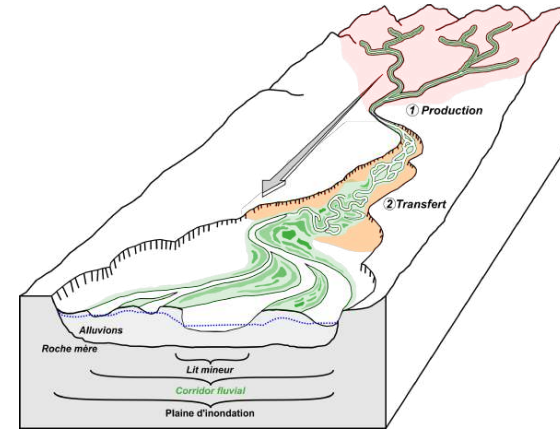


LES FACTEURS DE LA DÉGRADATION DES HYDROSYSTÈMES ET LEURS EFFETS

▷ Zone de transfert

× Extractions de granulats en lit mineur

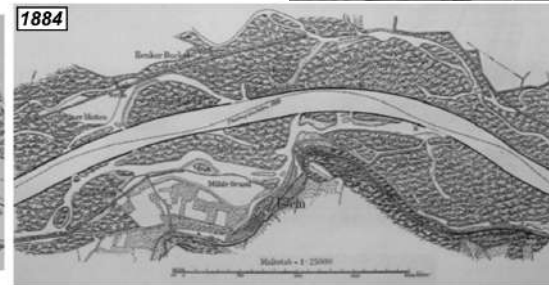
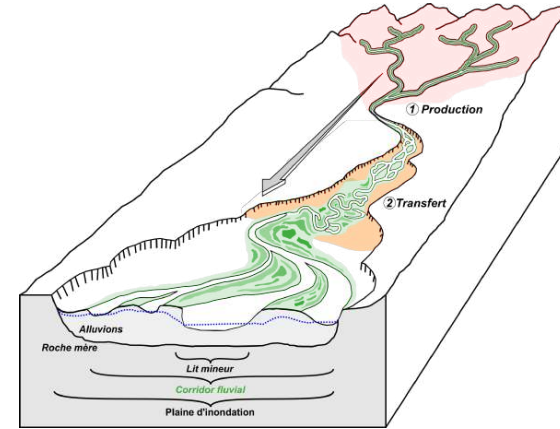
- × Flux solides ↓
- × Peu/pas d'effets sur l'hydrologie
- × Connectivité ↓ jusqu'à nouvel ajustement



LES FACTEURS DE LA DÉGRADATION DES HYDROSYSTÈMES ET LEURS EFFETS

▷ Zone de transfert

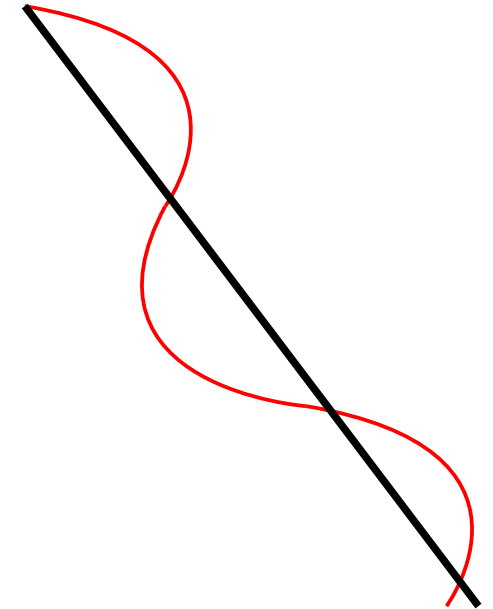
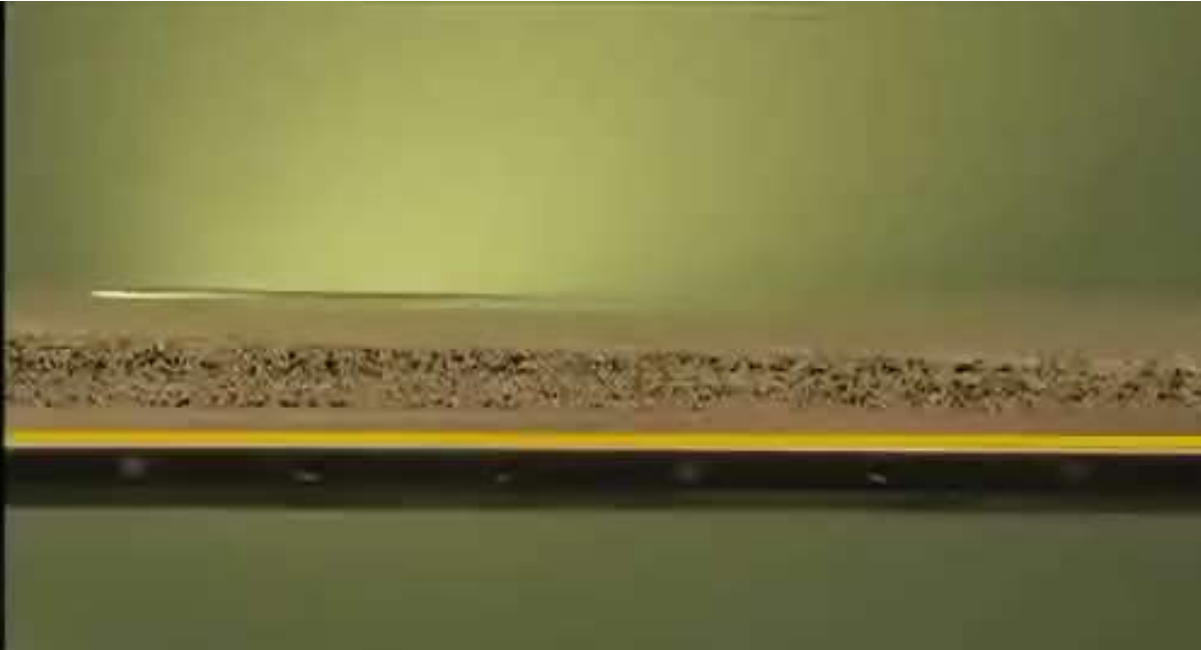
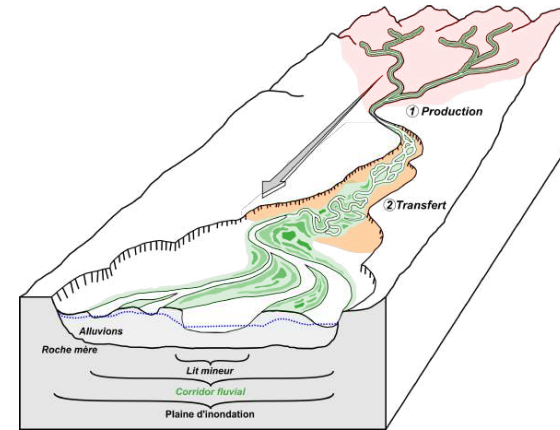
- × **Extractions de granulats en lit mineur**
- × **Chenalisation & rectification**
 - × Pas d'effets directs sur les flux hydro-sédimentaires
 - × Mais action directe sur la géométrie du chenal → augmentation de la pente



LES FACTEURS DE LA DÉGRADATION DES HYDROSYSTÈMES ET LEURS EFFETS

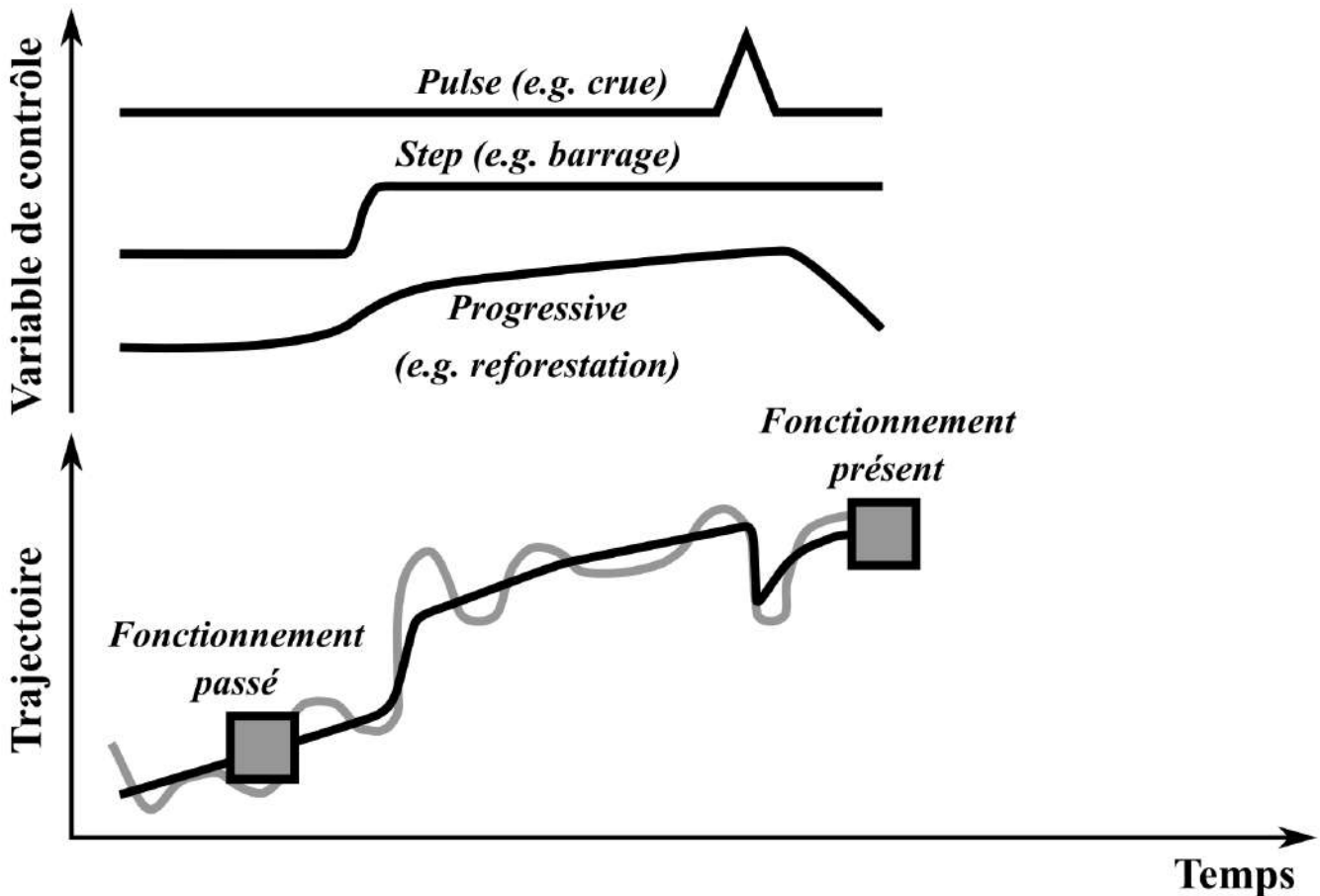
▷ Zone de transfert

- × **Extractions de granulats en lit mineur**
- × **Chenalisation & rectification**
 - × Pas d'effets directs sur les flux hydro-sédimentaires
 - × Mais action directe sur la géométrie du chenal → augmentation de la pente



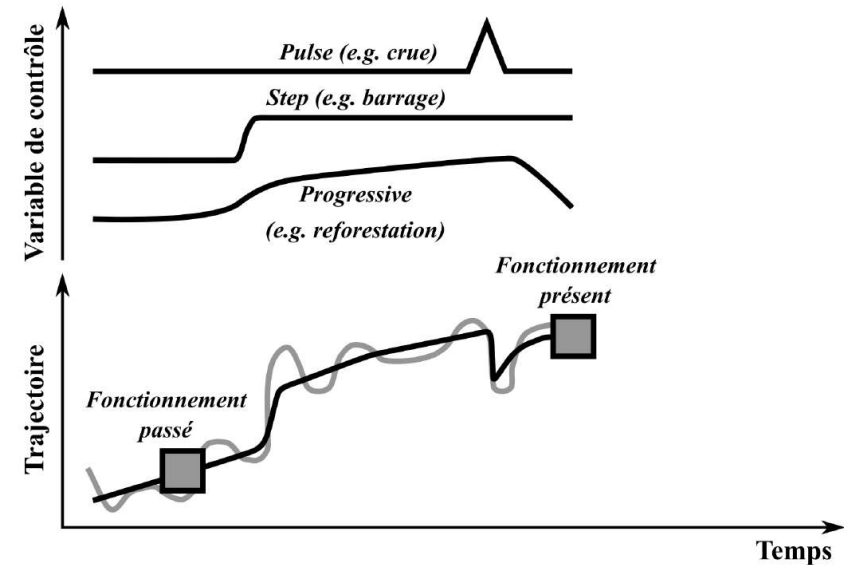
LES RÉPONSES MORPHOLOGIQUES AUX PRESSIONS ANTHROPIQUES

▷ L'évolution morphologique d'un cours d'eau suit une trajectoire **complexe car non-linéaire et multi-factorielle**



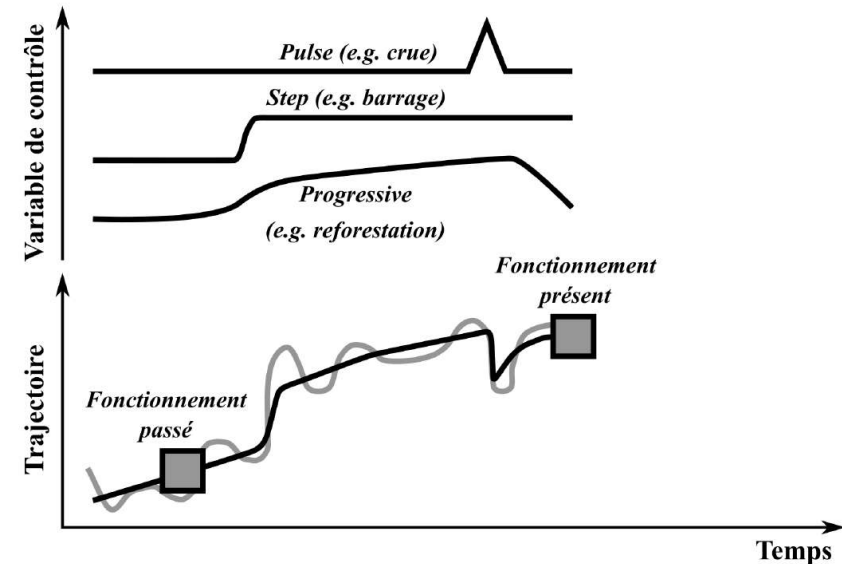
LES RÉPONSES MORPHOLOGIQUES AUX PRESSIONS ANTHROPIQUES

- ▷ L'évolution morphologique d'un cours d'eau suit une trajectoire **complexe car non-linéaire et multi-factorielle**
- ▷ Toutefois, l'ensemble des pressions humaines **jouent dans le même sens** sur les flux hydro-sédimentaires



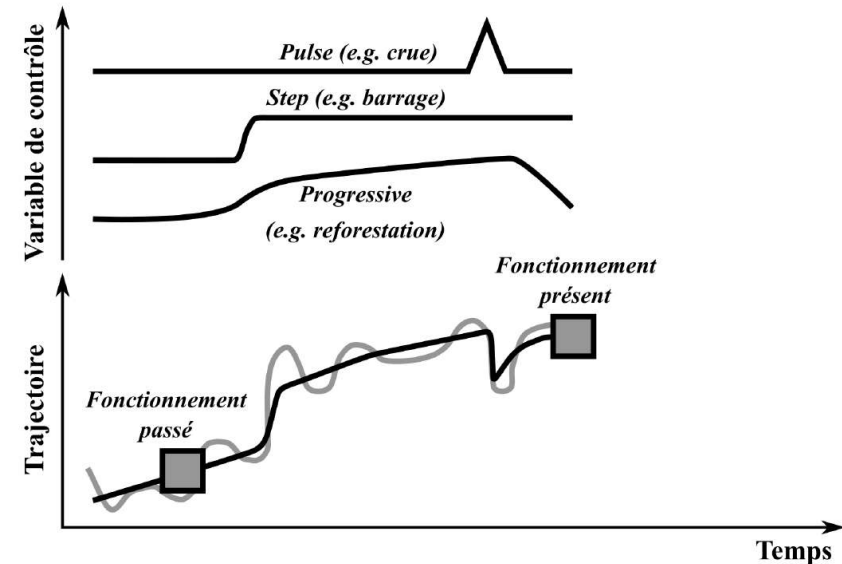
LES RÉPONSES MORPHOLOGIQUES AUX PRESSIONS ANTHROPIQUES

- ▷ L'évolution morphologique d'un cours d'eau suit une trajectoire **complexe car non-linéaire et multi-factorielle**
- ▷ Toutefois, l'ensemble des pressions humaines **jouent dans le même sens** sur les flux hydro-sédimentaires
 - * **Changement climatique + reforestation** → **réduction des crues et des apports sédimentaires**



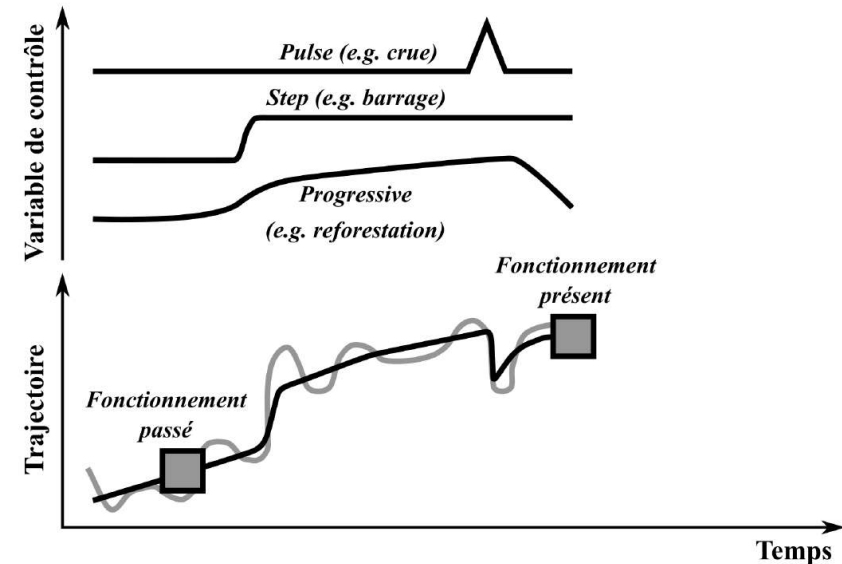
LES RÉPONSES MORPHOLOGIQUES AUX PRESSIONS ANTHROPIQUES

- ▷ L'évolution morphologique d'un cours d'eau suit une trajectoire **complexe car non-linéaire et multi-factorielle**
- ▷ Toutefois, l'ensemble des pressions humaines ***jouent dans le même sens*** sur les flux hydro-sédimentaires
 - × Changement climatique + reforestation → réduction des crues et des apports sédimentaires
 - × **Barrages** → **seconde réduction, fonction de la nature des ouvrages**



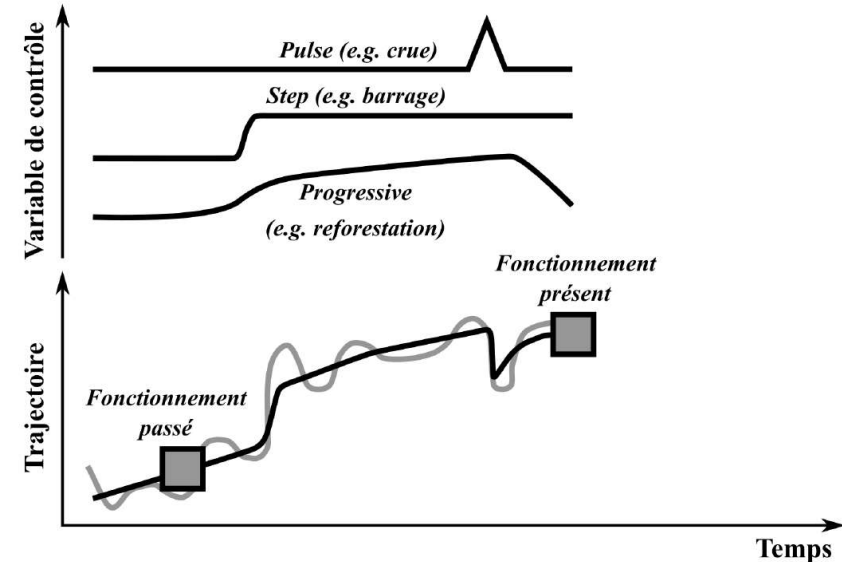
LES RÉPONSES MORPHOLOGIQUES AUX PRESSIONS ANTHROPIQUES

- ▷ L'évolution morphologique d'un cours d'eau suit une trajectoire **complexe car non-linéaire et multi-factorielle**
- ▷ Toutefois, l'ensemble des pressions humaines ***jouent dans le même sens*** sur les flux hydro-sédimentaires
 - × Changement climatique + reforestation → réduction des crues et des apports sédimentaires
 - × Barrages → seconde réduction, fonction de la nature des ouvrages
 - × **Extraction** → **export du matelas alluvial en place, piégeage des matériaux entrants, déficit sédimentaire en aval**



LES RÉPONSES MORPHOLOGIQUES AUX PRESSIONS ANTHROPIQUES

- ▷ L'évolution morphologique d'un cours d'eau suit une trajectoire **complexe car non-linéaire et multi-factorielle**
- ▷ Toutefois, l'ensemble des pressions humaines ***jouent dans le même sens*** sur les flux hydro-sédimentaires
 - × Changement climatique + reforestation → réduction des crues et des apports sédimentaires
 - × Barrages → seconde réduction, fonction de la nature des ouvrages
 - × Extraction → export du matelas alluvial en place, piégeage des matériaux entrants, déficit sédimentaire en aval
 - × ***Chenalisation/rectification/protection de berge***
 - × ***Impossibilité pour le cours d'eau de se recharger par érosion latérale***
 - × ***Accentue l'incision***

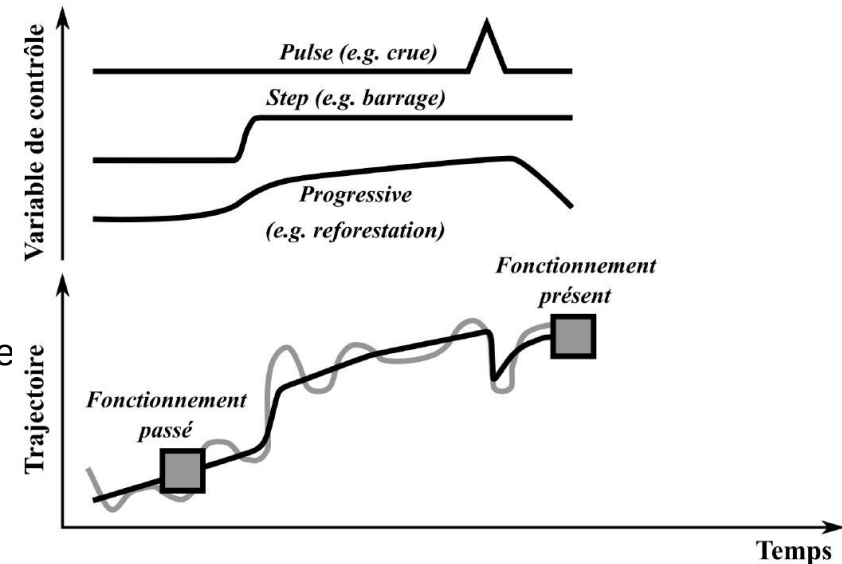


LES RÉPONSES MORPHOLOGIQUES AUX PRESSIONS ANTHROPIQUES

- ▷ L'évolution morphologique d'un cours d'eau suit une trajectoire **complexe car non-linéaire et multi-factorielle**
- ▷ Toutefois, l'ensemble des pressions humaines ***jouent dans le même sens*** sur les flux hydro-sédimentaires
 - × Changement climatique + reforestation → réduction des crues et des apports sédimentaires
 - × Barrages → seconde réduction, fonction de la nature des ouvrages
 - × Extraction → export du matelas alluvial en place, piégeage des matériaux entrants, déficit sédimentaire en aval
 - × Chenalisation/rectification/protection de berge
 - × Impossibilité pour le cours d'eau de se recharger par érosion latérale
 - × Accentue l'incision

- ▷ Et donne lieu à une réponse morphologique **'typique'**

- × **Simplification** du tracé en plan
 - × **Rétraction** du chenal actif
 - × **Abandon des annexes** fluviales → développement forêt alluviale

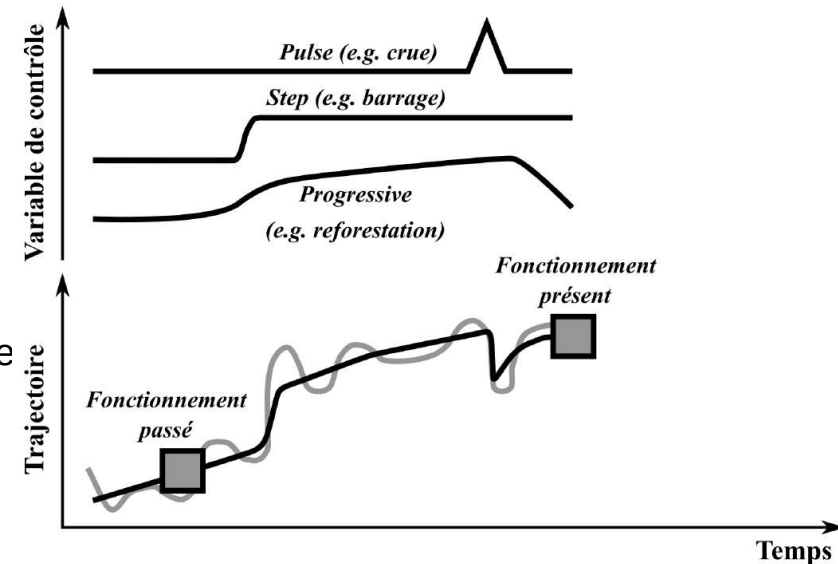


LES RÉPONSES MORPHOLOGIQUES AUX PRESSIONS ANTHROPIQUES

- ▷ L'évolution morphologique d'un cours d'eau suit une trajectoire **complexe car non-linéaire et multi-factorielle**
- ▷ Toutefois, l'ensemble des pressions humaines ***jouent dans le même sens*** sur les flux hydro-sédimentaires
 - × Changement climatique + reforestation → réduction des crues et des apports sédimentaires
 - × Barrages → seconde réduction, fonction de la nature des ouvrages
 - × Extraction → export du matelas alluvial en place, piégeage des matériaux entrants, déficit sédimentaire en aval
 - × Chenalisation/rectification/protection de berge
 - × Impossibilité pour le cours d'eau de se recharger par érosion latérale
 - × Accentue l'incision

- ▷ Et donne lieu à une réponse morphologique **'typique'**

- × **Simplification** du tracé en plan
 - × **Rétraction** du chenal actif
 - × **Abandon des annexes** fluviales → développement forêt alluviale
- × **Incision** du chenal

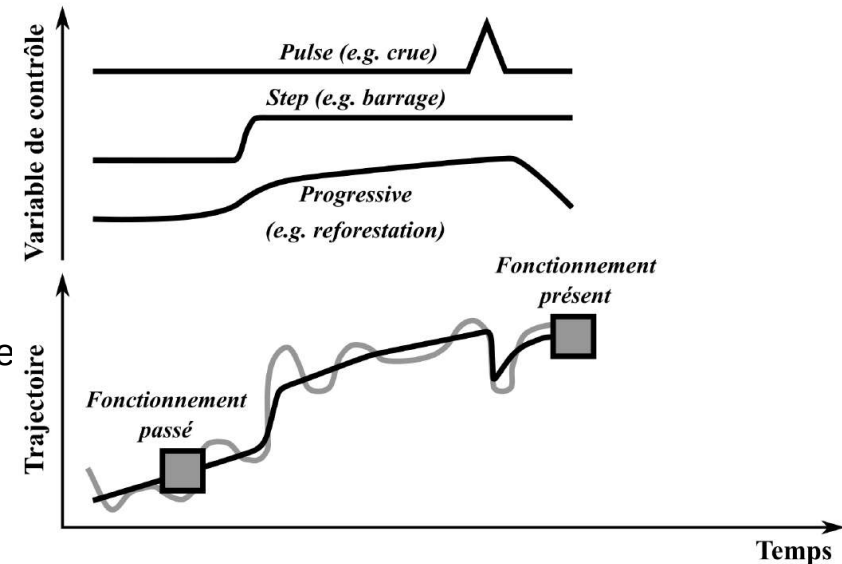


LES RÉPONSES MORPHOLOGIQUES AUX PRESSIONS ANTHROPIQUES

- ▷ L'évolution morphologique d'un cours d'eau suit une trajectoire **complexe car non-linéaire et multi-factorielle**
- ▷ Toutefois, l'ensemble des pressions humaines ***jouent dans le même sens*** sur les flux hydro-sédimentaires
 - × Changement climatique + reforestation → réduction des crues et des apports sédimentaires
 - × Barrages → seconde réduction, fonction de la nature des ouvrages
 - × Extraction → export du matelas alluvial en place, piégeage des matériaux entrants, déficit sédimentaire en aval
 - × Chenalisation/rectification/protection de berge
 - × Impossibilité pour le cours d'eau de se recharger par érosion latérale
 - × Accentue l'incision

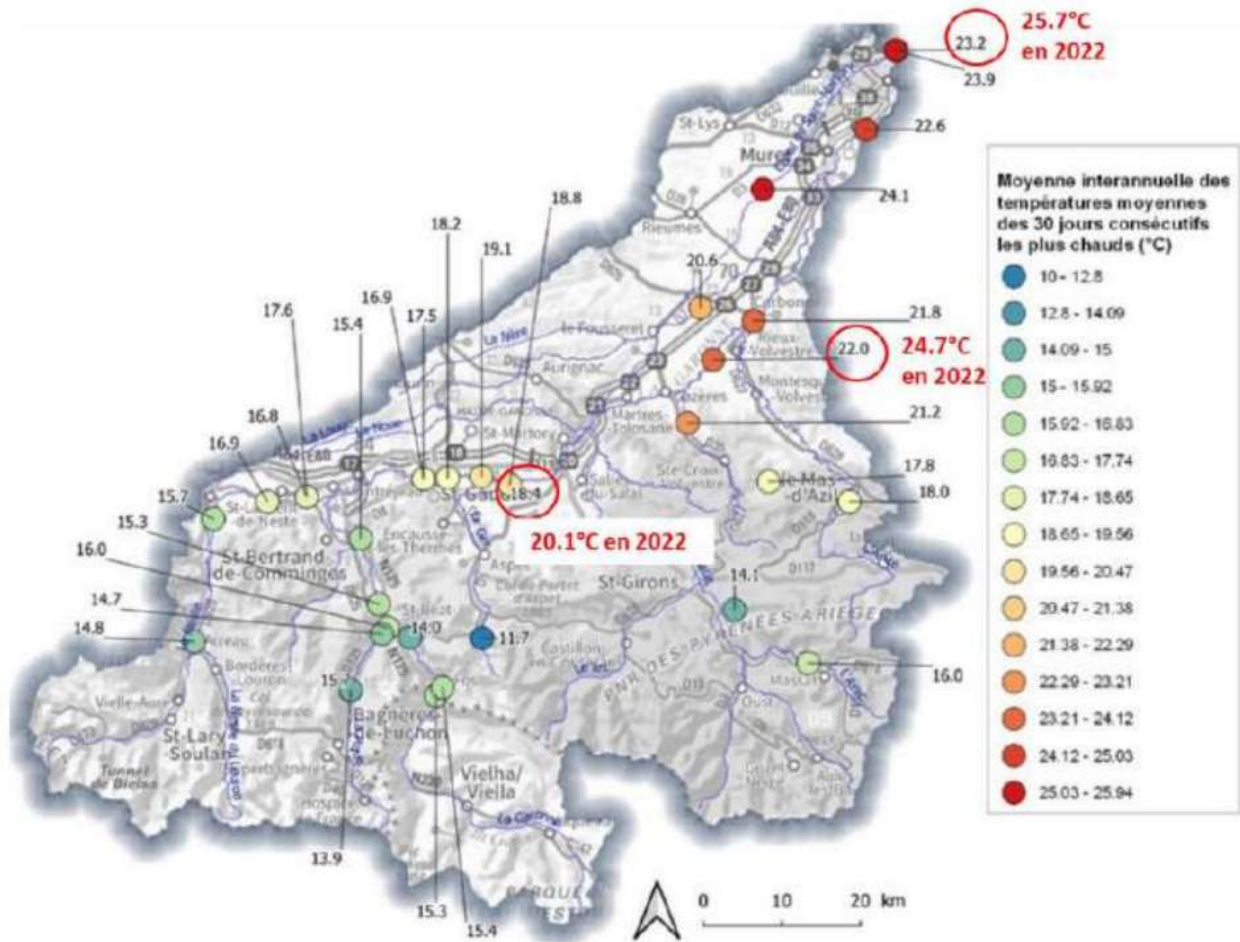
- ▷ Et donne lieu à une réponse morphologique **'typique'**

- × **Simplification** du tracé en plan
 - × **Rétraction** du chenal actif
 - × **Abandon des annexes** fluviales → développement forêt alluviale
- × **Incision** du chenal
- × Développement d'un **pavage** de surface



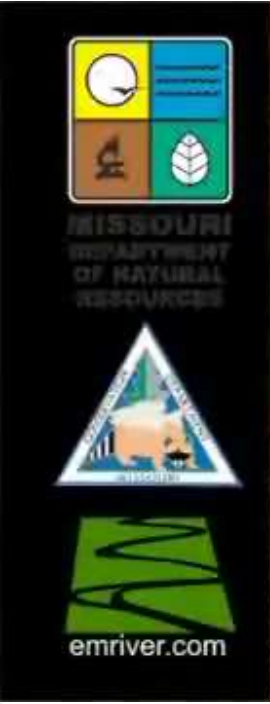
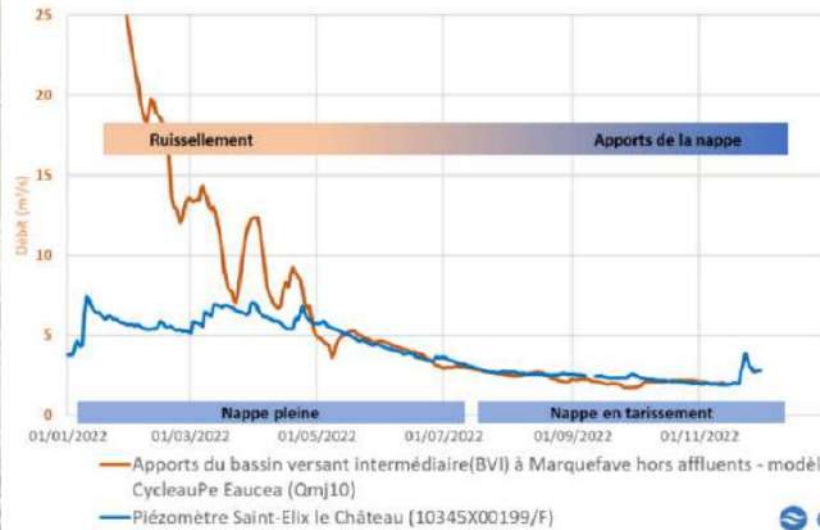
DE NOMBREUSES PERTES DE SERVICES

▷ *Régulation thermique moins efficace* (e.g. eau potable > 25°C à Toulouse à l'été 2022...)



DE NOMBREUSES PERTES DE SERVICES

- ▷ **Régulation thermique moins efficace** (e.g. eau potable > 25°C à Toulouse à l'été 2022...)
- ▷ **Tarissement des puits de captage** d'eau potable ou d'eau d'irrigation
- ▷ Perte du pouvoir d'**auto-épuration**
- ▷ Perte de pouvoir **tampon vis-à-vis des crues**



DE NOMBREUSES PERTES DE SERVICES

- ▷ **Régulation thermique moins efficiente** (e.g. eau potable > 25°C à Toulouse à l'été 2022...)
- ▷ **Tarissement des puits de captage** d'eau potable ou d'eau d'irrigation
- ▷ Perte du pouvoir d'**auto-épuration**
- ▷ Perte de pouvoir **tampon vis-à-vis des crues**
- ▷ Forts enjeux autour de la **production d'énergie** (e.g. refroidissement des centrales, hydroélectricité,...)

DE NOMBREUSES PERTES DE SERVICES

- ▷ **Régulation thermique moins efficace** (e.g. eau potable > 25°C à Toulouse à l'été 2022...)
- ▷ **Tarissement des puits de captage** d'eau potable ou d'eau d'irrigation
- ▷ Perte du pouvoir d'**auto-épuration**
- ▷ Perte de pouvoir **tampon vis-à-vis des crues**
- ▷ Forts enjeux autour de la **production d'énergie** (e.g. refroidissement des centrales, hydroélectricité,...)
- ▷ **Sécurité des biens et des personnes** (e.g. effondrement de berge, forte sensibilité aux événements extrêmes,...)



DE NOMBREUSES PERTES DE SERVICES

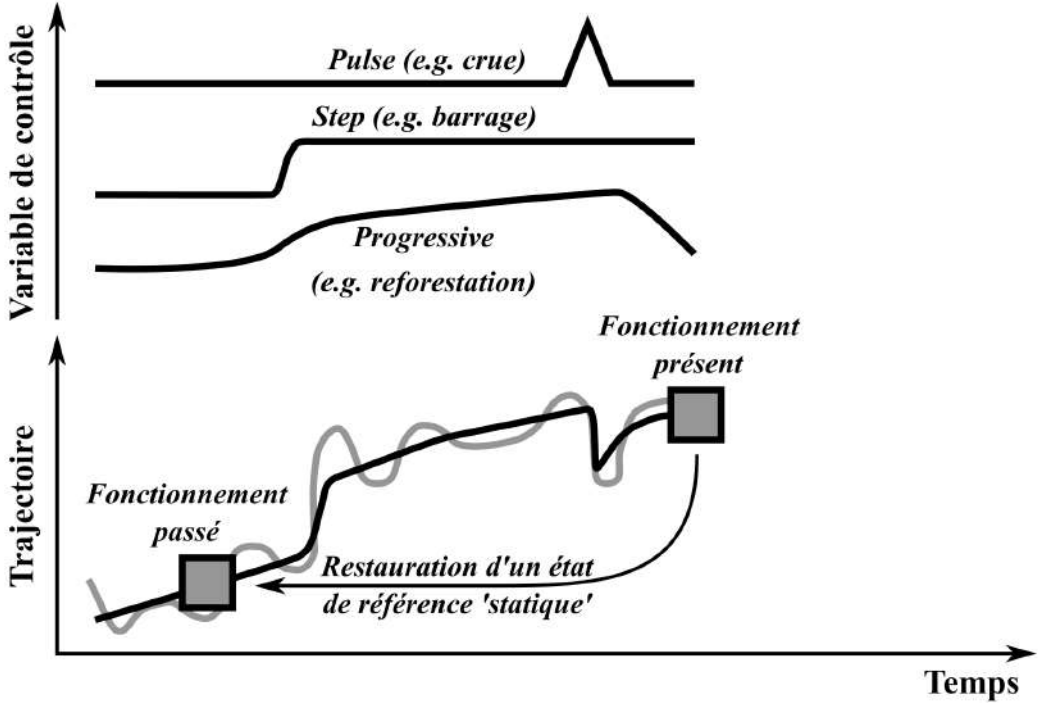
- ▷ **Régulation thermique moins efficace** (e.g. eau potable > 25°C à Toulouse à l'été 2022...)
- ▷ **Tarissement des puits de captage** d'eau potable ou d'eau d'irrigation
- ▷ Perte du pouvoir d'**auto-épuration**
- ▷ Perte de pouvoir **tampon vis-à-vis des crues**
- ▷ Forts enjeux autour de la **production d'énergie** (e.g. refroidissement des centrales, hydroélectricité,...)
- ▷ **Sécurité des biens et des personnes** (e.g. effondrement de berge, forte sensibilité aux événements extrêmes,...)
- ▷ **Perte de biodiversité**

DE NOMBREUSES PERTES DE SERVICES

- ▷ **Régulation thermique moins efficace** (e.g. eau potable > 25°C à Toulouse à l'été 2022...)
- ▷ **Tarissement des puits de captage** d'eau potable ou d'eau d'irrigation
 - ▷ Perte du pouvoir d'**auto-épuration**
 - ▷ Perte de pouvoir **tampon vis-à-vis des crues**
- ▷ Forts enjeux autour de la **production d'énergie** (e.g. refroidissement des centrales, hydroélectricité,...)
- ▷ **Sécurité des biens et des personnes** (e.g. effondrement de berge, forte sensibilité aux événements extrêmes,...)
- ▷ **Perte de biodiversité**
- ▷ **Enfin, une résilience très amoindrie vis-à-vis de tous les enjeux bio-socio-économiques actuels et à venir !**

QUELLES IMPLICATIONS EN MATIÈRE DE RESTAURATION ?

▷ La restauration est souvent envisagée comme **un retour vers un état 'de référence' antérieur aux dégradations**

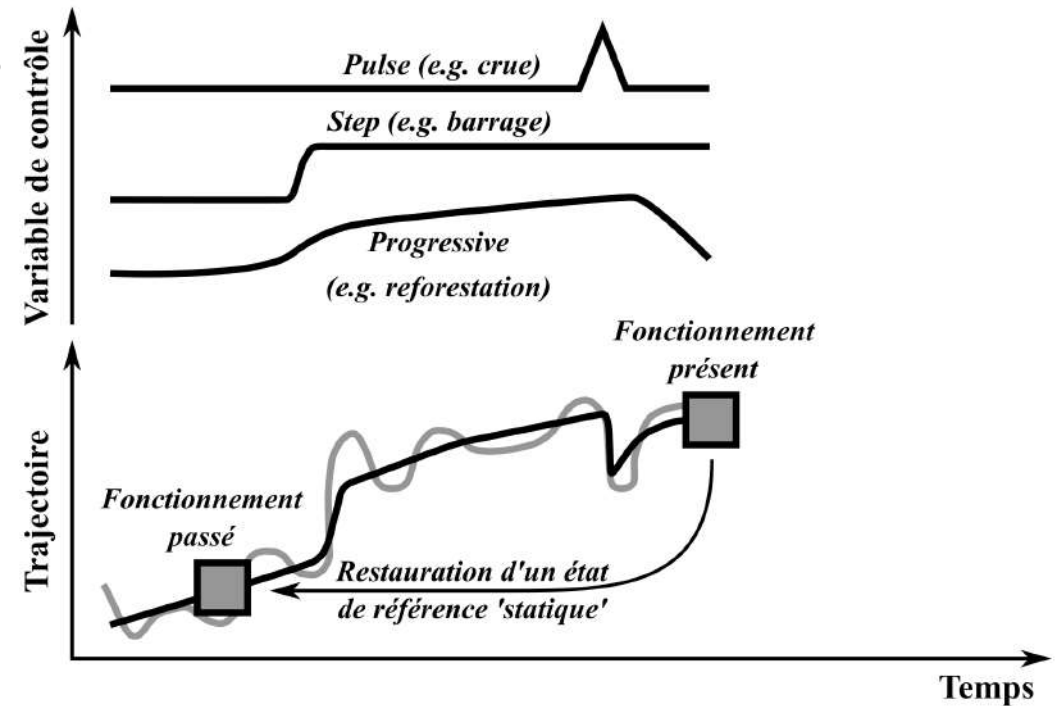


QUELLES IMPLICATIONS EN MATIÈRE DE RESTAURATION ?

▷ La restauration est souvent envisagée comme **un retour vers un état 'de référence' antérieur aux dégradations**

▷ **Sauf que...**

- × Quelles 'références' choisir ? Comment les caractériser ?
- × Hydrosystèmes = complexes et dynamiques
- × Comment s'adapter aux nouveaux enjeux et usages ?
- × Est-il possible/souhaitable de retourner vers l'avant ?



QUELLES IMPLICATIONS EN MATIÈRE DE RESTAURATION ?

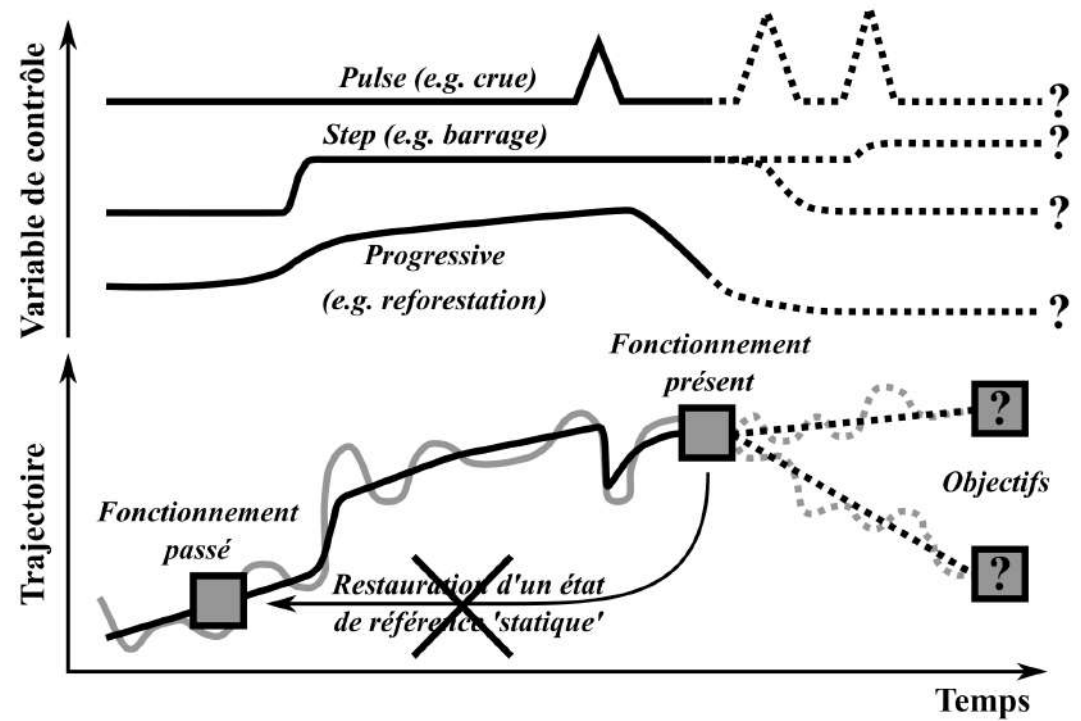
▷ La restauration est souvent envisagée comme **un retour vers un état 'de référence' antérieur aux dégradations**

▷ **Sauf que...**

- × Quelles 'références' choisir ? Comment les caractériser ?
- × Hydrosystèmes = complexes et dynamiques
- × Comment s'adapter aux nouveaux enjeux et usages ?
- × Est-il possible/souhaitable de retourner vers l'avant ?

▷ Le concept de **trajectoire temporelle d'évolution**

- × Où le cours d'eau se situe dans sa trajectoire ?
- × Quels facteurs influencent cette trajectoire ?
- × Comment tendre vers un fonctionnement optimal ?



QUELLES IMPLICATIONS EN MATIÈRE DE RESTAURATION ?

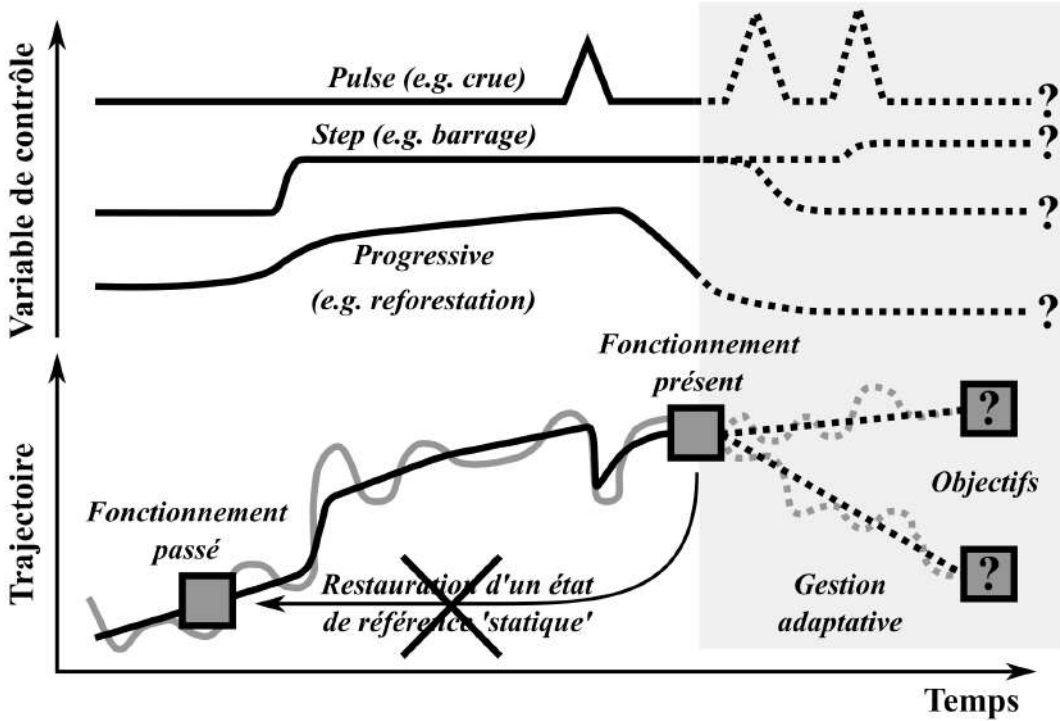
▷ La restauration est souvent envisagée comme **un retour vers un état 'de référence' antérieur aux dégradations**

▷ **Sauf que...**

- × Quelles 'références' choisir ? Comment les caractériser ?
- × Hydrosystèmes = complexes et dynamiques
- × Comment s'adapter aux nouveaux enjeux et usages ?
- × Est-il possible/souhaitable de retourner vers l'avant ?

▷ Le concept de **trajectoire temporelle d'évolution**

- × Où le cours d'eau se situe dans sa trajectoire ?
- × Quels facteurs influencent cette trajectoire ?
- × Comment tendre vers un fonctionnement optimal ?



QUELLES IMPLICATIONS EN MATIÈRE DE RESTAURATION ?

▷ La restauration est souvent envisagée comme **un retour vers un état 'de référence' antérieur aux dégradations**

▷ **Sauf que...**

- × Quelles 'références' choisir ? Comment les caractériser ?
- × Hydrosystèmes = complexes et dynamiques
- × Comment s'adapter aux nouveaux enjeux et usages ?
- × Est-il possible/souhaitable de retourner vers l'avant ?

▷ Le concept de **trajectoire temporelle d'évolution**

- × Où le cours d'eau se situe dans sa trajectoire ?
- × Quels facteurs influencent cette trajectoire ?
- × Comment tendre vers un fonctionnement optimal ?

▷ **Le diagnostic bio-géomorphologique**

