

# Dynamique naturelle des rivières, intérêts écologiques et anthropiques des zones inondables

H. Jantzi\*, J. Blanpied, P. Valette



# **Dynamique naturelle des cours d'eau**

# Systeme fluvial et hydrosysteme fluvial

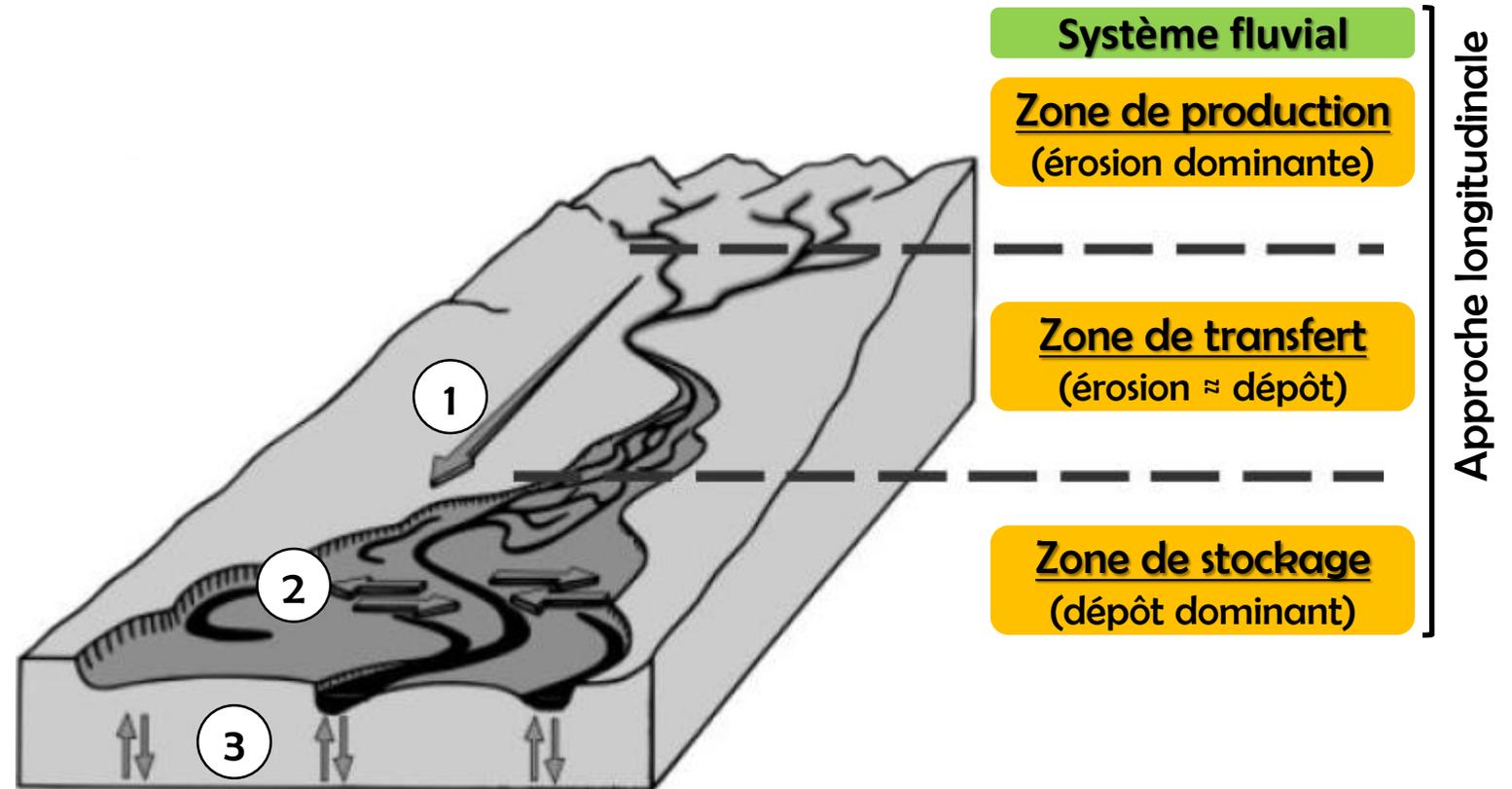
L'approche systemique des cours d'eau repose sur **deux concepts emboites** :

- Systeme fluvial : formalise les **interrelations entre bassin versant et cours d'eau** (Schumm, 1977)
- Hydrosysteme fluvial : formalise les **flux (matiere, energie) entre cours d'eau et plaine alluviale** (Amoros et Petts, 1993)

# Système fluvial et hydrosystème fluvial

L'approche systémique des cours d'eau repose sur **deux concepts emboîtés** :

- Système fluvial : formalise les **interrelations entre bassin versant et cours d'eau** (Schumm, 1977)
- Hydrosystème fluvial : formalise les **flux (matière, énergie) entre cours d'eau et plaine alluviale** (Amoros et Petts, 1993)

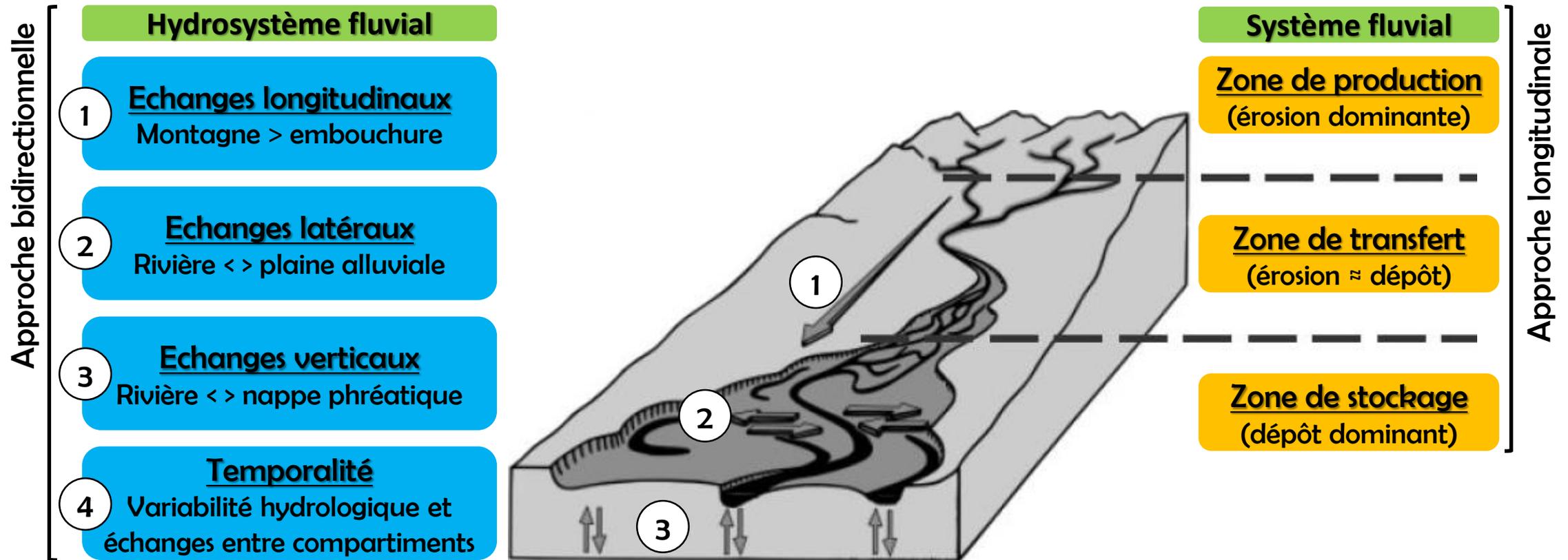


(d'après Amoros et Petts, 1993)

# Système fluvial et hydrosystème fluvial

L'approche systémique des cours d'eau repose sur **deux concepts emboîtés** :

- Système fluvial : formalise les **interrelations entre bassin versant et cours d'eau** (Schumm, 1977)
- Hydrosystème fluvial : formalise les **flux (matière, énergie) entre cours d'eau et plaine alluviale** (Amoros et Petts, 1993)



(d'après Amoros et Petts, 1993)

# Systeme fluvial et hydrosysteme fluvial

Les **processus physiques** à l'origine de **la dynamique fluviale**, c'est à dire la morphologie des cours d'eau et leur évolution spatio-temporelle, régissent également de manière directe ou indirecte, **la dynamique des écosystèmes** qui leur sont associés.

## Hydrosystème fluvial

Ensemble d'écosystèmes et sous-systèmes (mosaïque)



### Ecosystèmes

#### Lit mineur

Partie comprise entre le débit d'étiage et le module

#### Lit moyen ou bande active

Partie comprise entre le module et le débit à plein bord

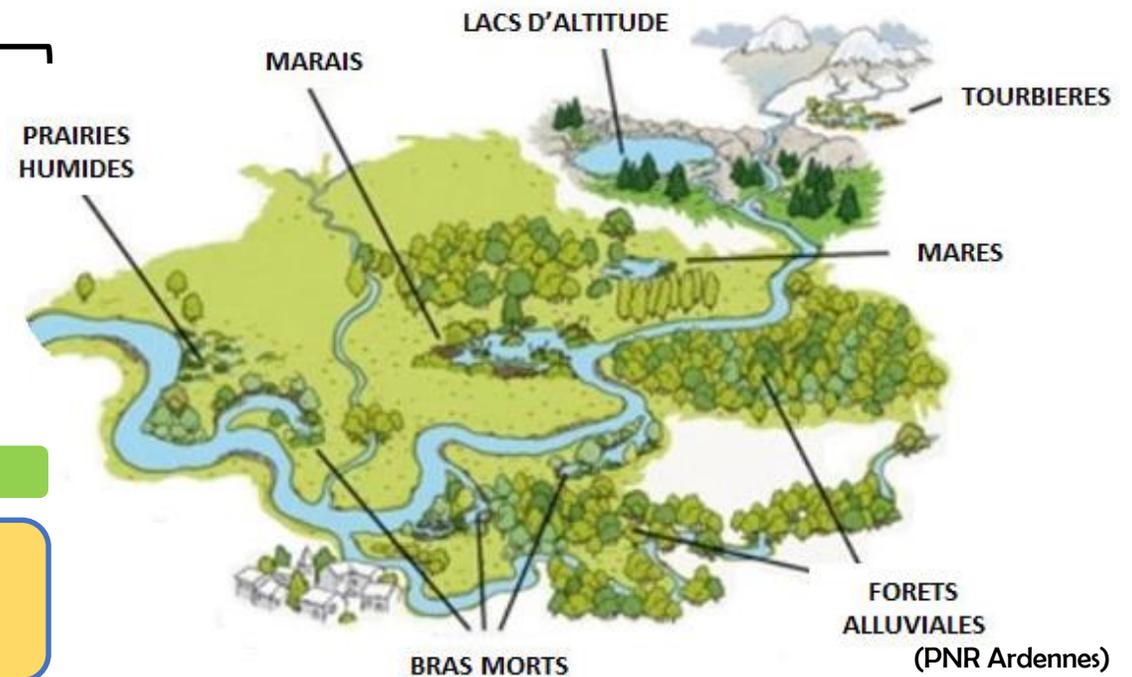
#### Lit majeur ou d'inondation

Partie comprenant la plaine alluviale

### Sous-systèmes

#### Formes relictuelles

Bras morts, marais, mares, prairies humides

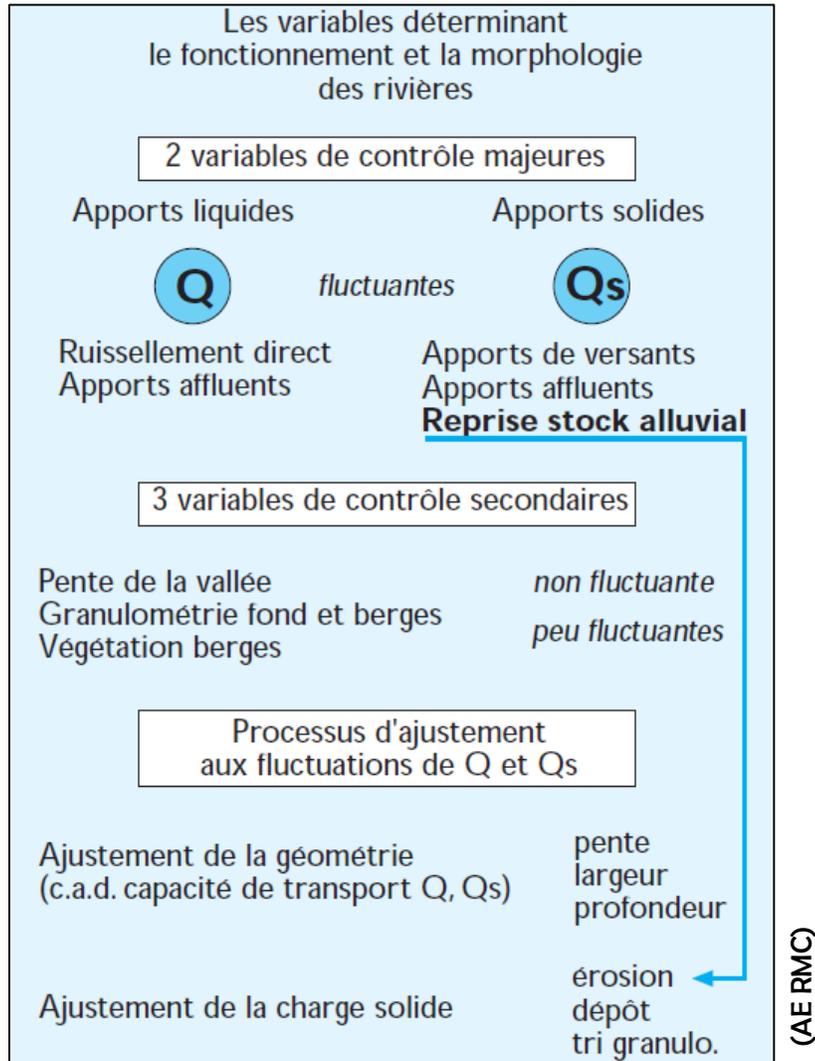


# La notion d'équilibre

En **condition naturelle**, les cours d'eau tendent à établir une **combinaison stable** (« **équilibre dynamique** ») entre leurs différentes variables constitutives (Schumm, 1977).

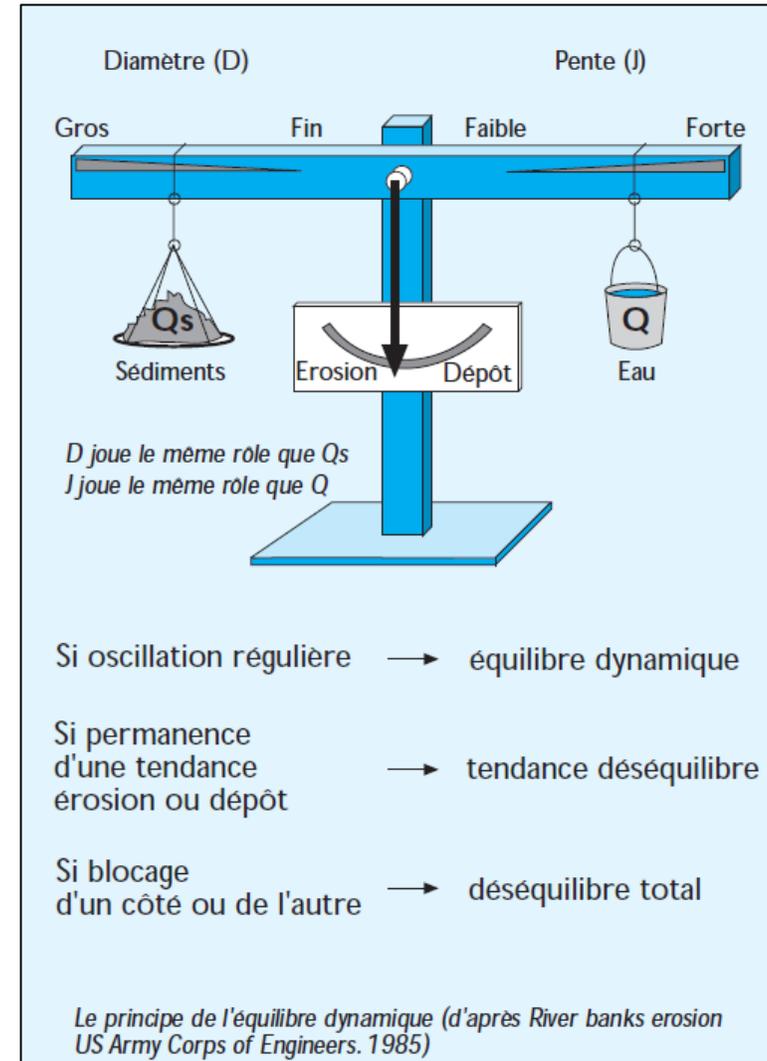
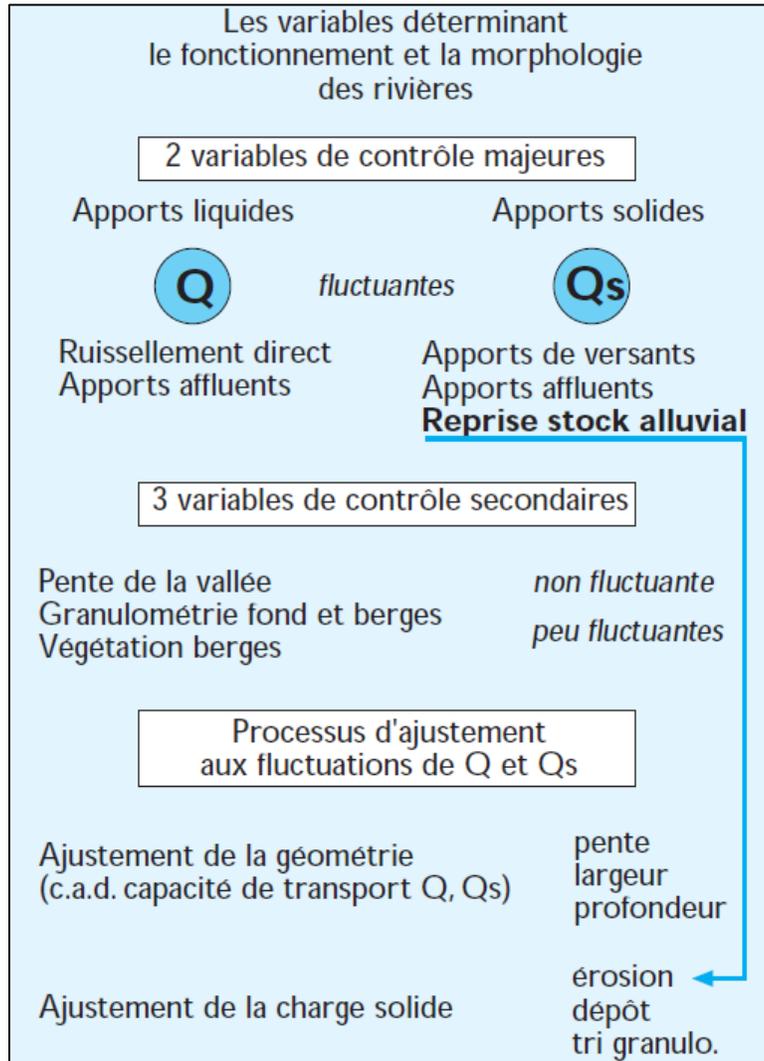
# La notion d'équilibre

En **condition naturelle**, les cours d'eau tendent à établir une **combinaison stable** (« **équilibre dynamique** ») entre leurs différentes variables constitutives (Schumm, 1977).



# La notion d'équilibre

En **condition naturelle**, les cours d'eau tendent à établir une **combinaison stable** (« **équilibre dynamique** ») entre leurs différentes variables constitutives (Schumm, 1977).



# La notion d'équilibre

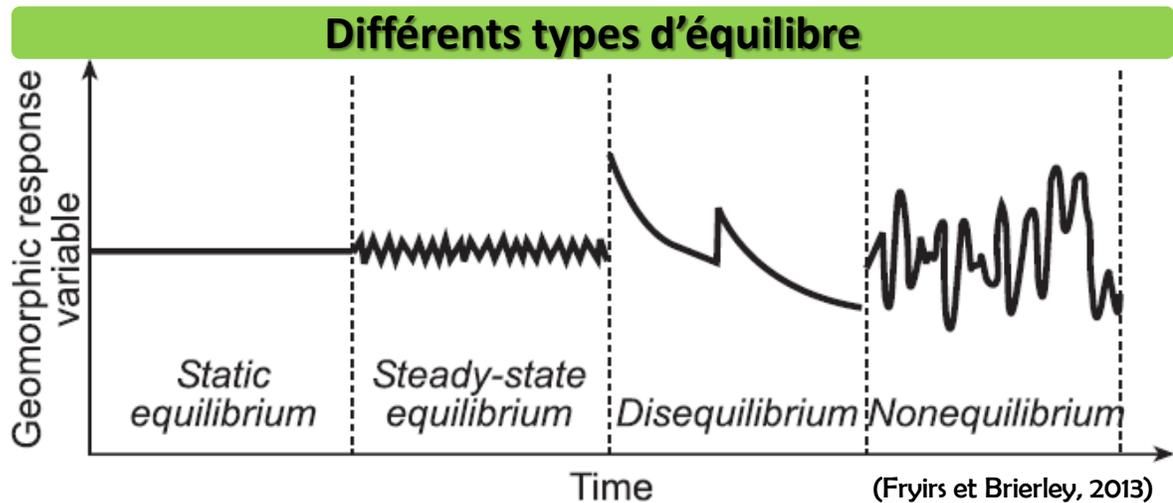
**L'équilibre** est défini comme un **état de stabilité** c'est-à-dire de **constance** (formes fluviales) ou de **continuité** (transport sédimentaire) sur une période de temps donnée.

Cependant, en **conditions naturelles une rivière présente rarement une véritable stabilité** car elle s'adapte en permanence à des éléments perturbateurs et à la variabilité des flux.

# La notion d'équilibre

L'**équilibre** est défini comme un **état de stabilité** c'est-à-dire de **constance** (formes fluviales) ou de **continuité** (transport sédimentaire) sur période de temps donnée.

Cependant, en **conditions naturelles** une rivière présente rarement une véritable stabilité car elle s'adapte en permanence à des éléments perturbateurs et à la variabilité des flux.



## Equilibre statique

Absence de processus ou d'ajustements géomorphologiques (aucune perturbation)

## Equilibre dynamique

Constance autour de caractéristiques moyennes (retour après perturbation)

## Déséquilibre

Réponse continue aux perturbations sans maintien d'un état d'équilibre

## Non équilibre

Absence de caractéristiques moyennes / tendance à l'équilibre (perturbation grave)

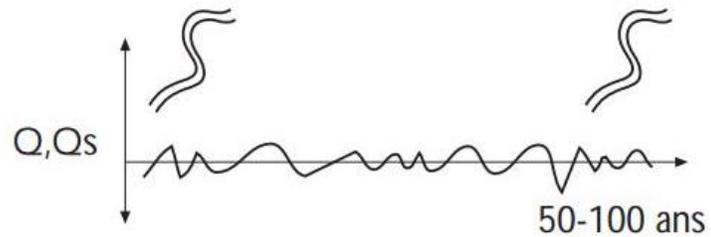
# Echelle de temps et équilibre des styles fluviaux

La **morphologie d'un cours d'eau**, ou son « style fluvial » **varie dans l'espace et le temps** en fonction des **modifications des flux de matière** ( $Q$  et  $Q_s$ )

# Echelle de temps et équilibre des styles fluviaux

La **morphologie d'un cours d'eau**, ou son « style fluvial » **varie dans l'espace et le temps** en fonction des **modifications des flux de matière** ( $Q$  et  $Q_s$ )

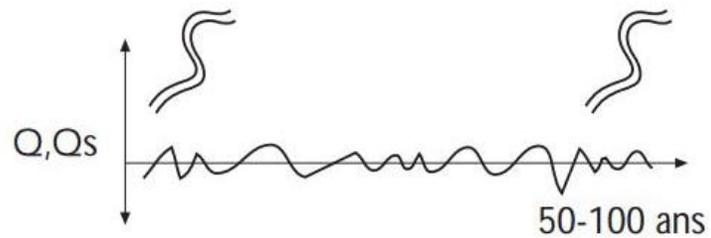
## Modifications de faibles ampleur



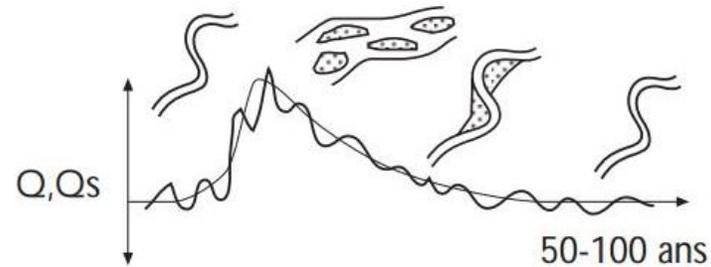
# Echelle de temps et équilibre des styles fluviaux

La **morphologie d'un cours d'eau**, ou son « style fluvial » **varie dans l'espace et le temps** en fonction des **modifications des flux de matière (Q et Qs)**

## Modifications de faibles ampleur



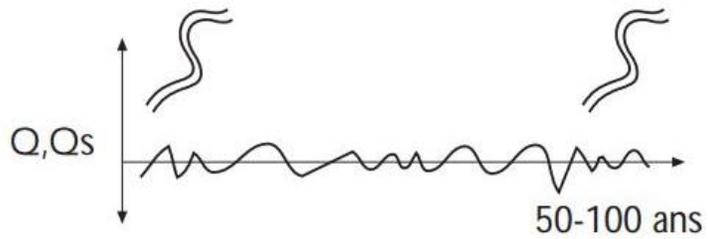
## Modifications fortes / peu durables



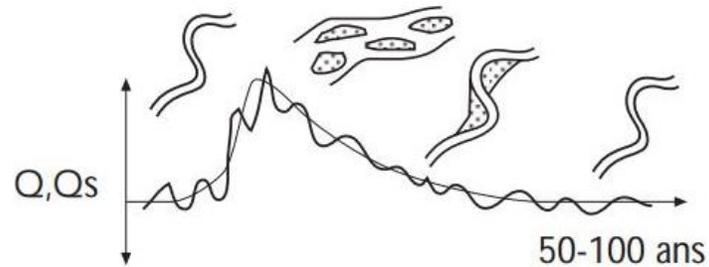
# Echelle de temps et équilibre des styles fluviaux

La **morphologie d'un cours d'eau**, ou son « style fluvial » **varie dans l'espace et le temps** en fonction des **modifications des flux de matière (Q et Qs)**

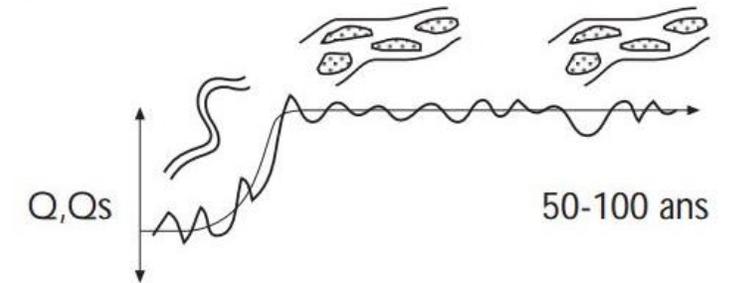
## Modifications de faibles ampleur



## Modifications fortes / peu durables



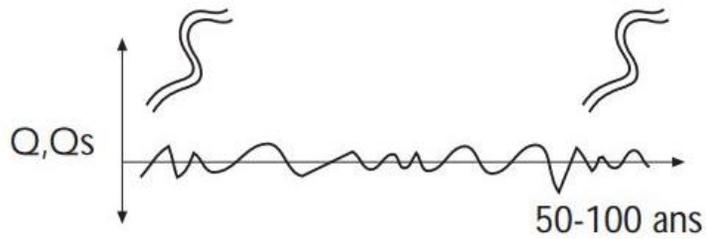
## Modifications fortes / durables



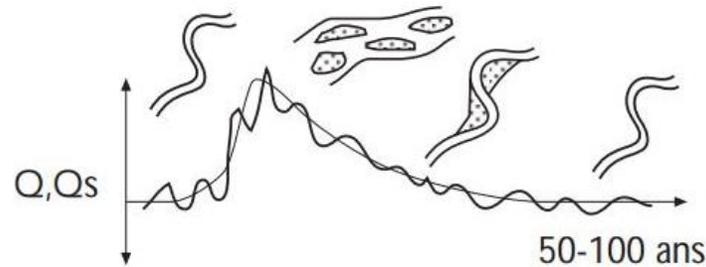
# Echelle de temps et équilibre des styles fluviaux

La **morphologie d'un cours d'eau**, ou son « style fluvial » **varie dans l'espace et le temps** en fonction des **modifications des flux de matière (Q et Qs)**

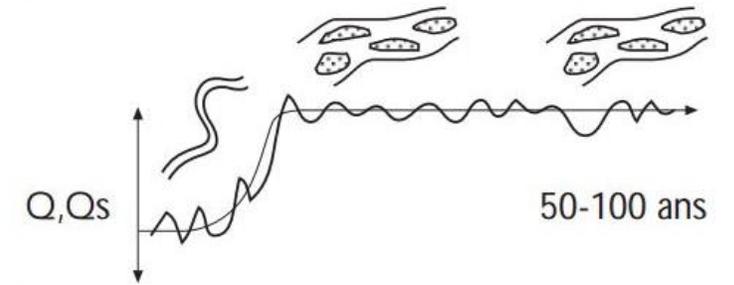
## Modifications de faibles ampleur



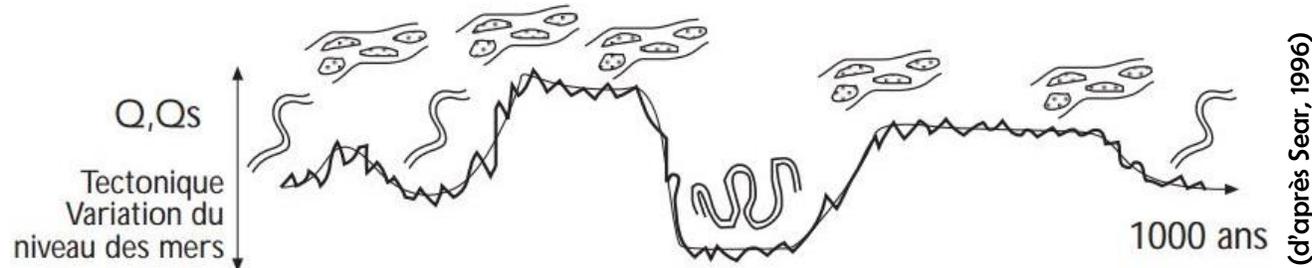
## Modifications fortes / peu durables



## Modifications fortes / durables

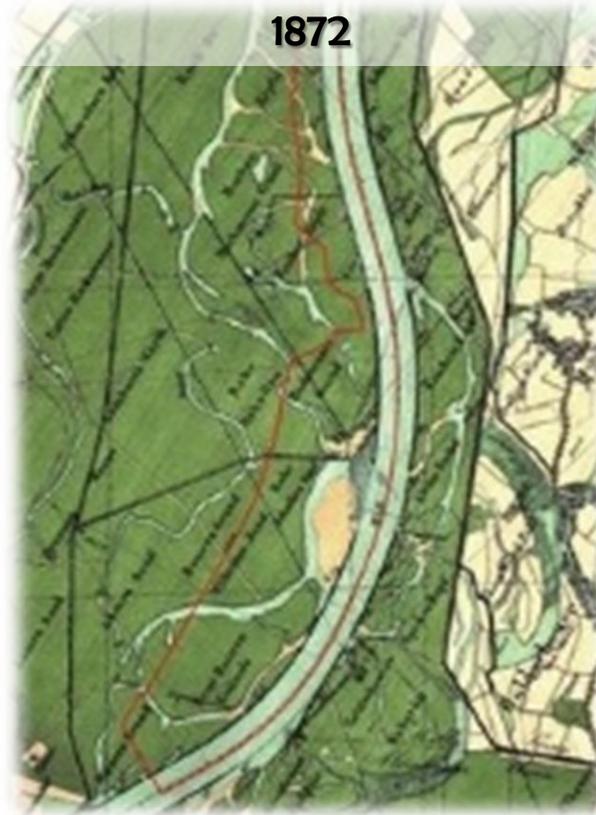
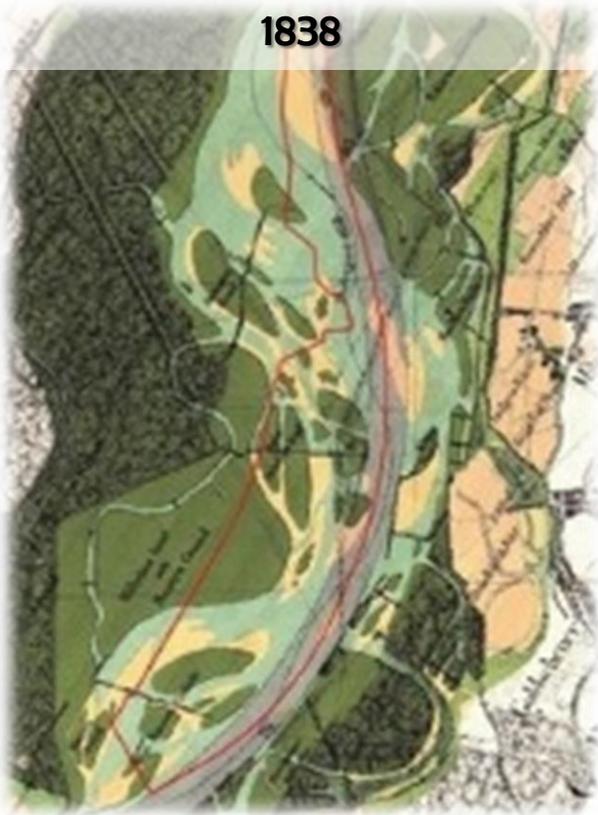


## Modifications et styles fluviaux fluctuants



# Echelle de temps et équilibre des styles fluviaux

Exemple de **changement de style fluvial sur le Rhin à hauteur de l'île du Rohrschollen près de Strasbourg**, suite à des travaux de régularisation du cours d'eau entre 1840s et 1870s.



(Réserve Naturelle Ile du Rohrschollen)



# La notion de (dé)connectivité

La **connectivité** des unités paysagères est un **contrôle essentiel des flux de matière** à l'échelle du bassin versant.

**Nature et continuité des liaisons** (longitudinales, latérales et verticales) sont **contrôlées par différents processus** en différents endroits.

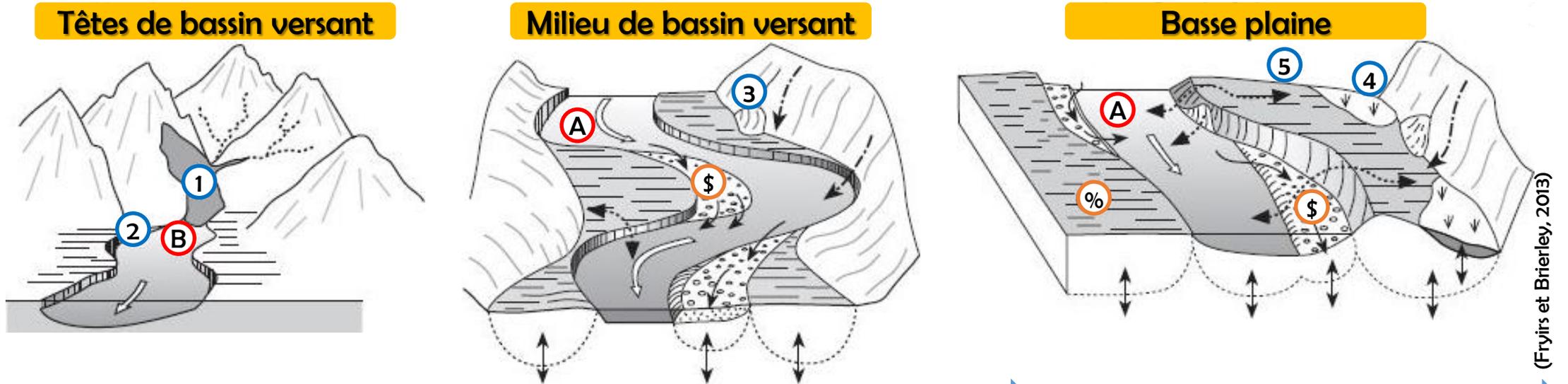
Les **flux** peuvent être **couplés ou découplés** avec des **phases variant dans le temps et l'espace**.

# La notion de (dé)connectivité

La **connectivité** des unités paysagères est un **contrôle essentiel des flux de matière** à l'échelle du bassin versant.

**Nature et continuité des liaisons** (i.e. longitudinales, latérales et verticales) sont **contrôlées par différents processus** en différents endroits.

Les **flux** peuvent être **couplés ou découplés** avec des **phases variant dans le temps et l'espace**.



(Fryirs et Brierley, 2013)

Tampons	Barrières	Relations
① Glissement de terrain	A Bouchon sédimentaire	⇔ Longitudinale
② Confluence	B Barrage	→ Verticale
③ Cône de déjection	Couvertures	⋯⋯→ Latérale (chenal – plaine inondation)
④ Tourbière	% Dépôt alluvionnaire	- - -> Latérale (versant – chenal)
⑤ Plaine d'inondation	\$ Colmatage des bancs	

## Evolution amont-aval des liens

- ↗ capacité de stockage des sédiments
- ↗ temps de séjours des sédiments
- ↘ fourniture sédimentaire
- ↘ connectivité versant / chenal
- ↗ connectivité chenal / plaine d'inondation

# La notion de (dé)connectivité

## Tampon

Rhône à Gletsch, CH



(Lods-Crozet)

Plaine alluviale large

## Barrières

Garonne à Fos, 31



(Taillefer - Smeag)

Barrage

## Couverture

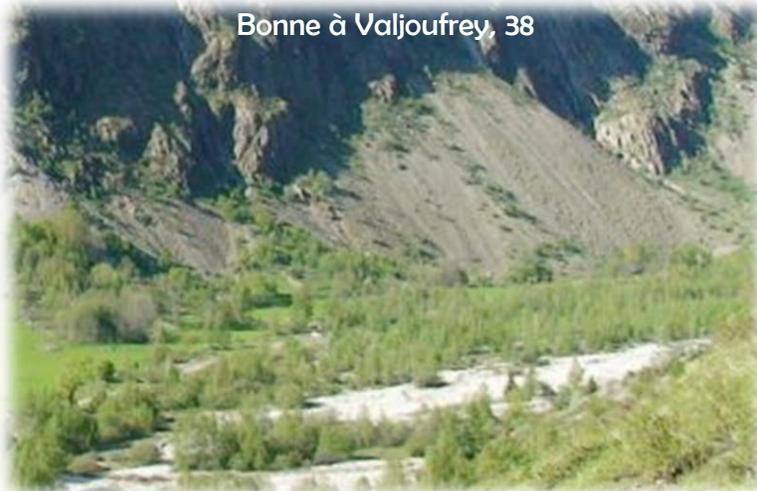
Garonne à Grenade, 31



(Iantzi - Geode)

Colmatage de galets

Bonne à Valjoufrey, 38



(Jacquemin)

Tablier d'éboulis avec barrière végétale

Bruche à Molsheim, 67



(BSP Molsheim)

Embâcle

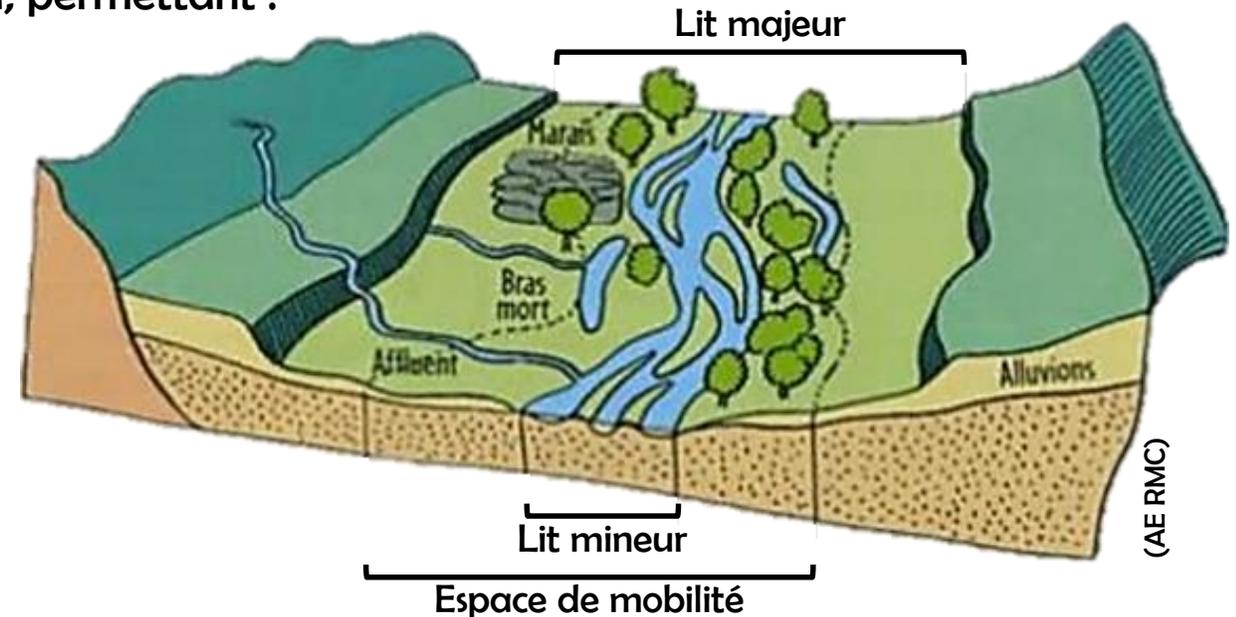
# La notion d'espace de mobilité

Les **cours d'eau** sont des systèmes **mobiles dans le temps et l'espace** et qui de part leur **ajustement continuels aux variations de flux** se traduit par une **mobilité latérale et verticale** permettant d'**éviter des dysfonctionnements** hydrauliques et sédimentologiques.

⇒ **Espace de mobilité** correspond à la **divagation du cours d'eau** dans le lit majeur

Cet **espace garantit un bon fonctionnement** du cours d'eau, permettant :

- Dissipation de l'énergie du cours d'eau (pente)
- Recharge sédimentaire (érosion des berges)
- Création / régénération des annexes
- Echange nappe-rivière
- Stabilité du fond du lit

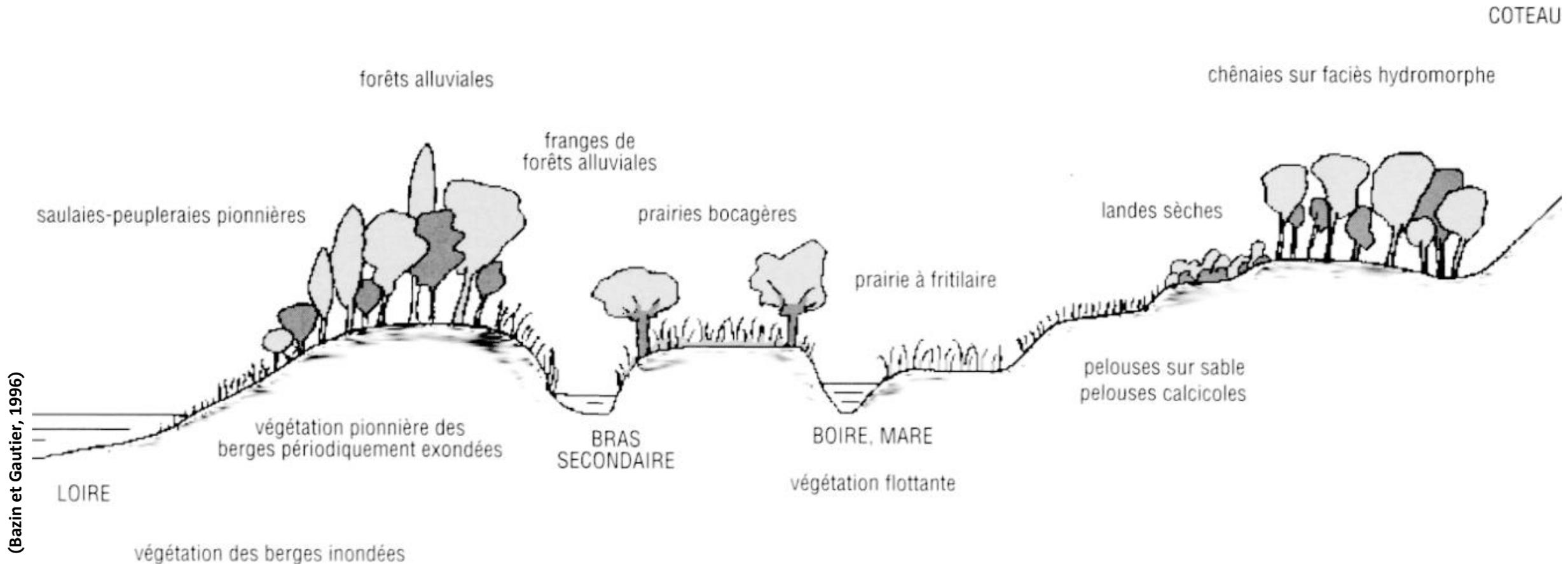


**Processus d'érosion, dépôt, recoupement de méandre**, ont pour effet de créer, détruire, recréer une **diversité de milieux** qui s'accompagne d'une **richesse écologique** (succession végétales...).



# Dynamique écologique

Dans les **cours d'eau naturel à dynamique active**, le **remaniement fréquent des sédiments** dans les lits mineur et majeur, le **renouvellement régulier des végétaux pionniers** et la **variabilité saisonnière de submersion**, **rajeunissent en permanence** les **formes fluviales** et les **successions végétales** qui s'y développent et les biocénoses inféodées.



An aerial photograph showing a river winding through a lush green landscape. The river has a large, irregular meadow area with several small islands of water and reeds. The surrounding area is a mix of dense green trees and open grassy fields. The overall scene is vibrant and natural.

## **Rôles et intérêts écologiques et anthropiques des zones inondables**

# La diversité des zones inondables



# Fonctions et services rendus par l'hydrosystème

## Fonctions écologiques



### Fonction biogéochimique

- Rôle auto-épurateur
- Filtration / décantation eau
- Dégradation nutriments / substances toxiques

### Fonction hydrologique

- Écrêtement crues
- Stockage eaux
- Soutien étiage
- Recharge nappe phréatique

### Réservoir biodiversité

- Ecosystème riche faune / flore
- Rôle de corridor écologique

# Fonctions et services rendus par l'hydrosystème

## Fonctions écologiques



### Fonction biogéochimique

- Rôle auto-épurateur
- Filtration / décantation eau
- Dégradation nutriments / substances toxiques

### Fonction hydrologique

- Écrêtement crues
- Stockage eaux
- Soutien étiage
- Recharge nappe phréatique

### Réservoir biodiversité

- Ecosystème riche faune / flore
- Rôle de corridor écologique

## Services anthropiques



### Service approvisionnement

- Alimentation eau
- Production biomasse

### Service culturel

- Patrimoine paysager
- Activités récréatives...

### Service régulation

- Régulation des débits
- Amélioration qualité eau physico-chimique

# Menaces sur l'espace de mobilité

## Aménagement hydraulique

- Construction de barrages
- Aménagement du lit

## Aménagement du territoire

- Urbanisation
- Infrastructures de transport



## Pratique agricole

- Drainage, pompage
- Utilisation excessive pesticides

## Autres activités

- Intensification pisciculture
- Extraction (tourbe, granulats)

La **dégradation / disparition des zones humides** est la conséquence des **pressions urbaines et agricoles**, mais aussi d'un **manque de (re)connaissance** du rôle important (fonctions et services) qu'elles jouent dans le cycle de l'eau et dans l'environnement.

# Menaces sur l'espace de mobilité

## Aménagement hydraulique

- Construction de barrages
- Aménagement du lit

## Aménagement du territoire

- Urbanisation
- Infrastructures de transport



## Pratique agricole

- Drainage, pompage
- Utilisation excessive pesticides

## Autres activités

- Intensification pisciculture
- Extraction (tourbe, granulats)

## Conséquence de l'entrave à l'écoulement

- Dégradation fonctionnement écologique et hydro-géomorphologique
- Réduction du renouvellement des habitats aquatiques
- Limitation de la recharge sédimentaire
- Enfouissement du lit
- Dégradation des ouvrages hydrauliques
- Réduction de l'accès à la ressource en eau

La **dégradation / disparition des zones humides** est la conséquence des **pressions urbaines et agricoles**, mais aussi d'un **manque de (re)connaissance** du rôle important (fonctions et services) qu'elles jouent dans le cycle de l'eau et dans l'environnement.

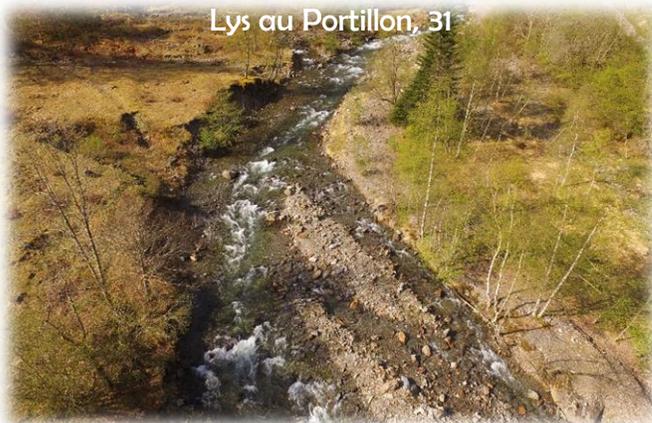
# Conditions d'une bonne hydromorphologie

Un **fonctionnement hydromorphologique** non perturbée peut être caractérisé par la **combinaison de paramètres** qui traduisent la dynamique fluviale.



## Morphologie diversifiée

Lys au Portillon, 31



(Blanpied - Geode)

Diversité des faciès

Garonne à St-Béat, 31



(Jantzi - Geode)

Berges naturelles

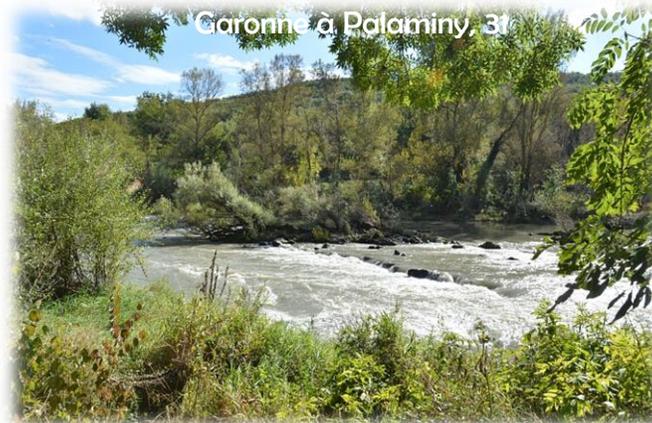
Garonne à Mauzac, 31



(Taillefer - Smeag)

Bancs alluviaux mobiles

Garonne à Palaminy, 31



(Taillefer - Smeag)

Ripisylve fournie et variée

# Conditions d'une bonne hydromorphologie

La **continuité écologique** permet la **libre circulation des espèces et des sédiments** dans le cours d'eau, tout en contribuant au **bon fonctionnement du milieu aquatique** et à la **réalisation du cycle biologique des espèces**.



## Continuité écologique assurée



(Google Earth)

Corridor rivulaire non fragmenté



(Google Earth)

Espace de mobilité respecté



(Séléstat - Ht Koenigsbourg)

Annexes hydrauliques fonctionnelles

# Conditions d'une bonne hydromorphologie

Le régime hydrologique d'un cours d'eau se caractérise par l'**alternance de hautes et basses eaux**, indispensable à la **recharge des nappes d'accompagnement**, au **renouvellement des habitats** du cours d'eau et de la plaine alluviale et à leur **richesse écologique**.



## Régime hydrologique fluctuant

Garonne à Grenade, 31



(Jantzi - Geode)

Cours d'eau en étiage

Garonne à Grenade, 31



(Jantzi - Geode)

Cours d'eau niveau moyen

Garonne à Grenade, 31



(Jantzi - Geode)

Cours d'eau en crue

# Altération de l'hydromorphologie

Les **aménagements des rivières et des bassins versants altèrent et perturbent** le bon fonctionnement hydromorphologique conduisant à des **dysfonctionnements du cours d'eau**.



L'altération de la structure physique se traduit par différentes modifications.

## Altération morphologique

Garonne à Toulouse, 31



(Taillefer - Smeag)

Modification profil en long

Garonne à Portet, 31



(Jantzi - Geode)

Stabilisation berge et endiguement

(Bramard - Onema)



Dénaturation - suppression ripisylve

# Altération de l'hydromorphologie

Les **aménagements des rivières et des bassins versants altèrent et perturbent** le bon fonctionnement hydromorphologique conduisant à des **dysfonctionnements du cours d'eau**.



L'altération des flux solides se traduit par un excès ou déficit en charge solide.

## Altération des flux solides



Blocage de la charge sédimentaire



Colmatage du substrat



Apparition de la roche mère

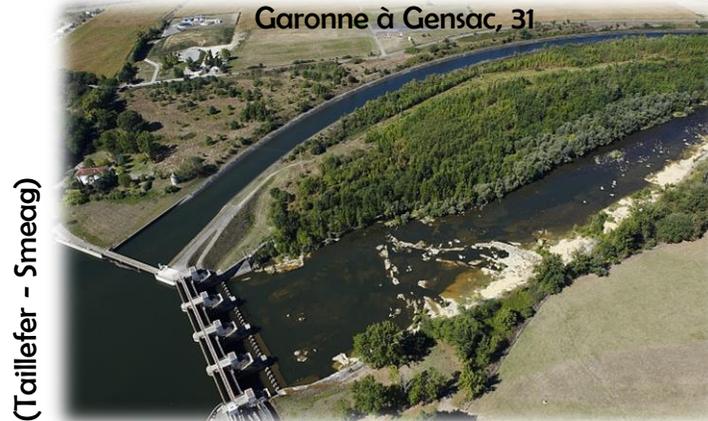
# Altération de l'hydromorphologie

Les **aménagements des rivières et des bassins versants altèrent et perturbent** le bon fonctionnement hydromorphologique conduisant à des **dysfonctionnements du cours d'eau**.



L'altération des flux liquides se traduit par une augmentation ou diminution du régime des eaux

## Altération des flux liquides



Garonne à Gensac, 31

(Taillefer - Smeag)

Diminution Q (réservé)



Garonne à Gensac, 31

(Taillefer - Smeag)

Diminution Q crue fréquente



Bastan à Luz-St-Sauveur, 65

(Blanpied - Geode)

Augmentation Q crue (chenalisation)



(Chanseau - Onema)

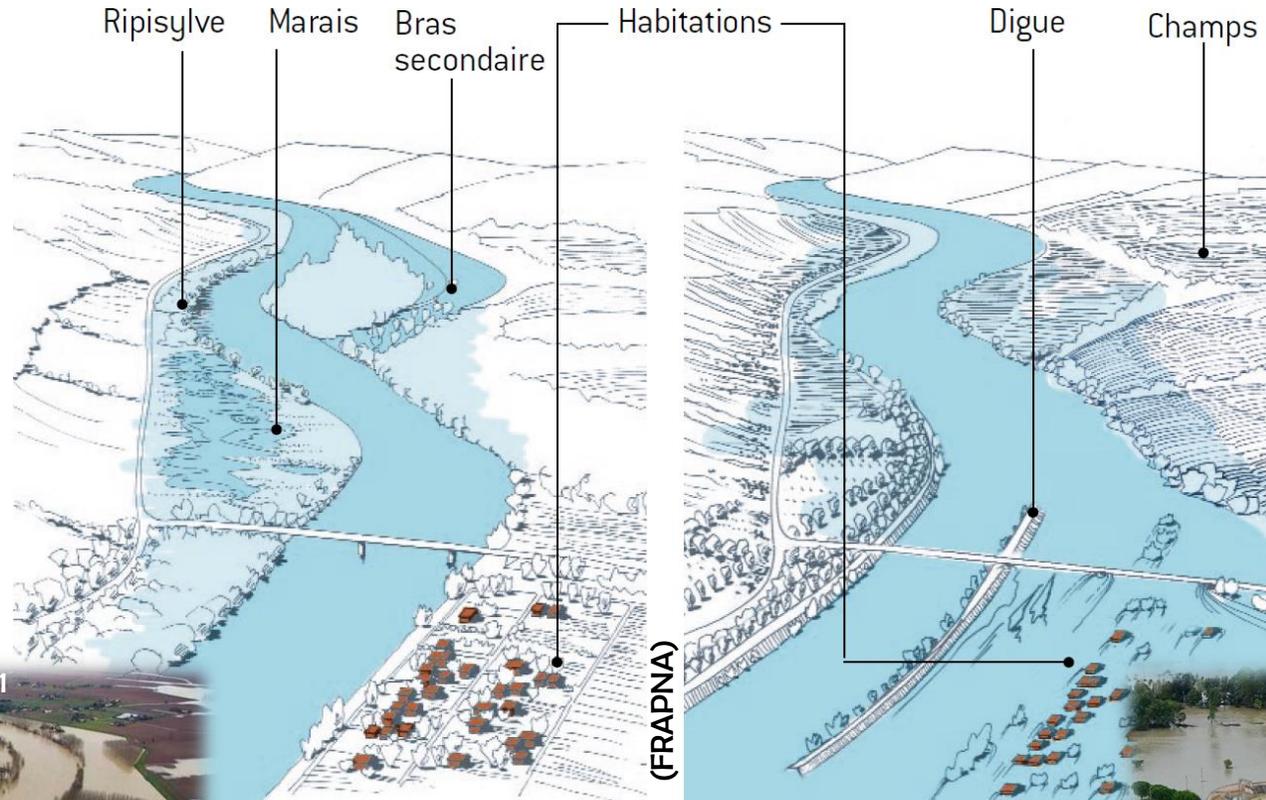
Modification Q crue morphogène

# Intérêt des zones inondables sur la régulation des crues

Les **zones humides** contribuent au **stockage / déstockage** d'importantes quantités d'eau en surface et dans le sol, permettant une **régulation des phénomènes hydrologiques** dans le bassin versant.

## Avant aménagement

Etalement de la crue en lit majeur possible sur les zones humides annexes.



## Après aménagement

Etalement de la crue limité dans le lit majeur.  
Aggravation du risque inondation à l'aval.



(G. Lot)

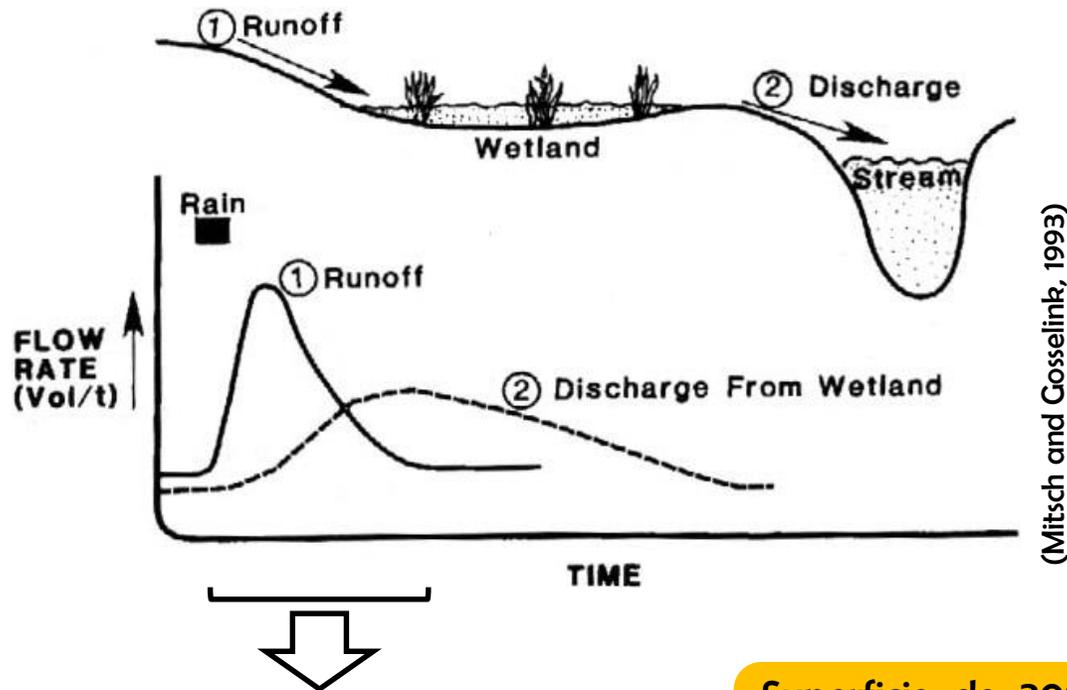
(Thomas - AFP)

# Intérêt des zones inondables sur la régulation des crues

Les zones humides contribuent au stockage d'importantes quantités d'eau en surface et dans le sol, permettant une **régulation des phénomènes hydrologiques** dans le bassin versant.

Elles **interceptent les eaux de ruissellement** réduisant ainsi les pics de ruissellement en des **débits plus lents et plus faibles** sur des périodes plus longues (étalement de crue).

Les zones humides sont **particulièrement performantes** dans la **réduction des inondations**.



## Exemple du Mississippi

(Mitsch and Gosselink, 1993)

Avant 1700 : stockage équivalent à 60 jours de débit

Aujourd'hui : stockage de environ 12 jours de débit



En cause la réduction des zones humides et l'assèchement de la plaine d'inondation.

**Atténuation - décalage du pic de crue**  
**Stockage puis déstockage progressif**

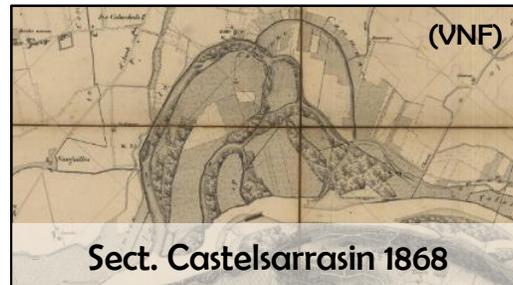
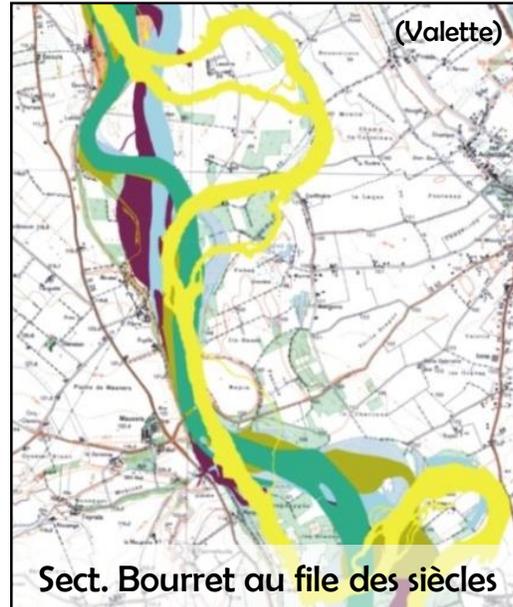
Superficie de 30% d'un BV en zones humide peut réduire de 60-80% un pics de crue par rapport à un BV sans zones humides

An aerial photograph of a river channel that has become degraded. The river is characterized by a wide, shallow, and highly irregular bed composed of numerous rocks and gravel. The water is confined to a narrow, fast-flowing section in the center, creating white water rapids. The surrounding landscape is lush with green trees and vegetation, with some agricultural fields visible in the distance. A semi-transparent white box with rounded corners is overlaid on the center of the image, containing the title text.

**Exemple d'un cours d'eau dégradé :  
la moyenne Garonne toulousaine**

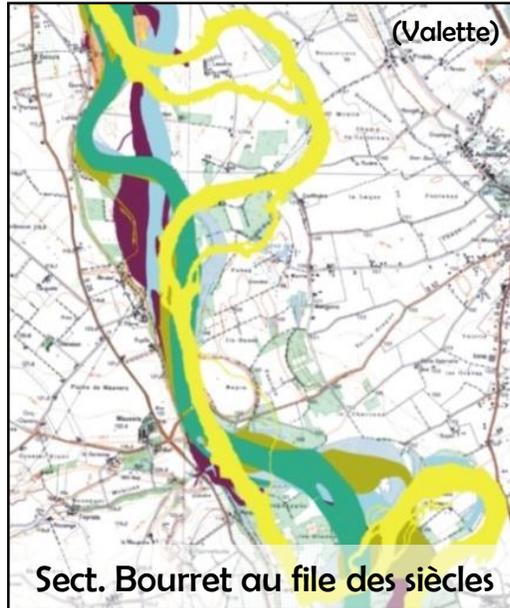
# La société et son rapport à la Garonne

Un cours d'eau excessif  
(inondation - instabilité)

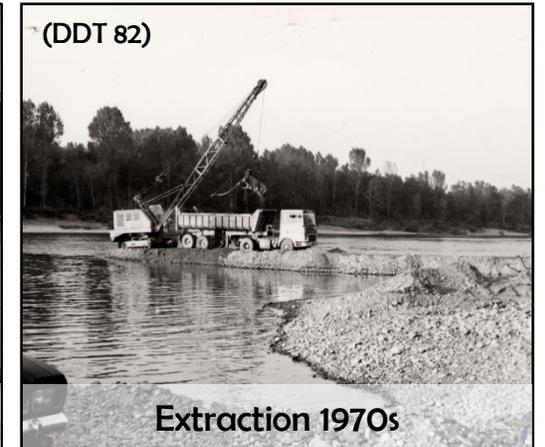
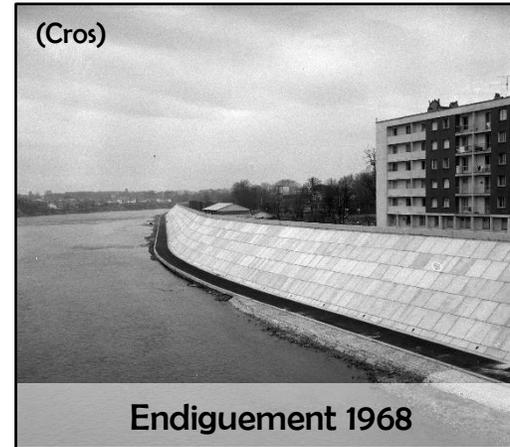
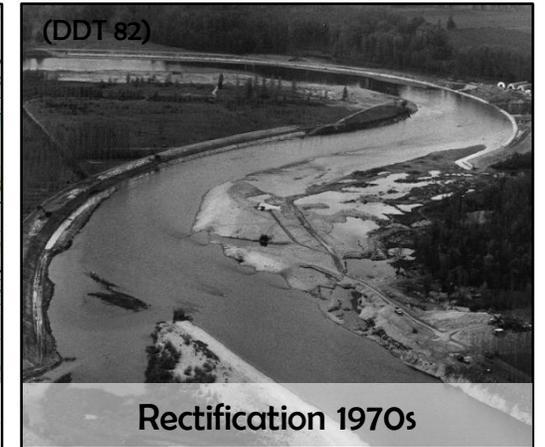
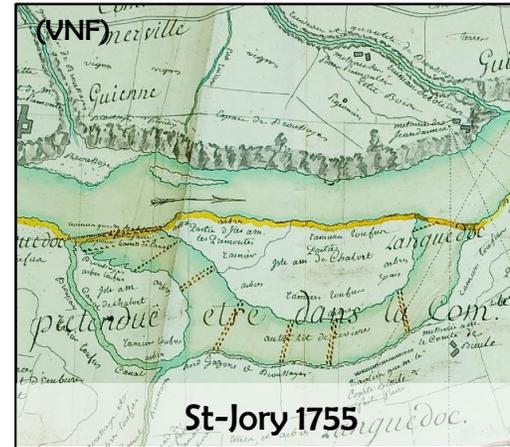


# La société et son rapport à la Garonne

## Un cours d'eau excessif (inondation - instabilité)



## Adaptation anthropique (débit réguler - fixer - protéger - exploiter)

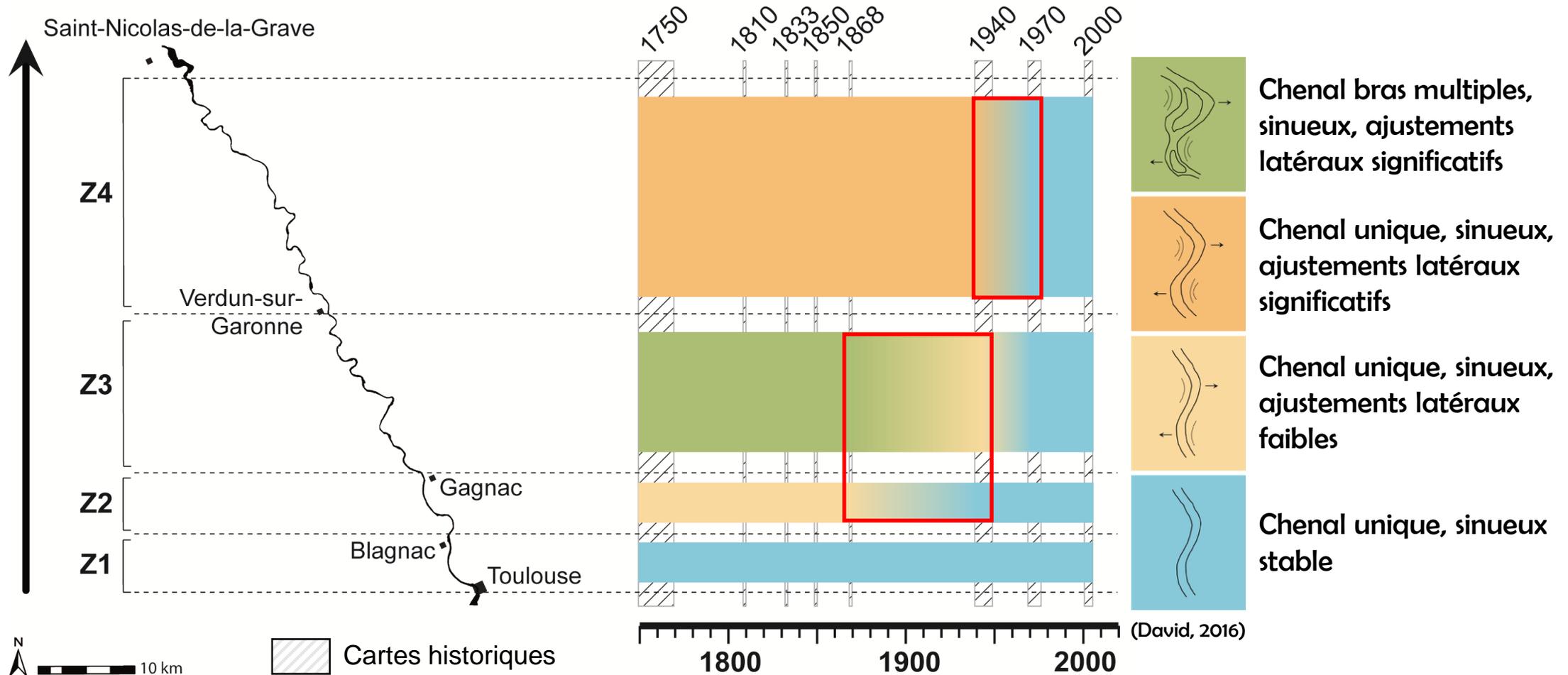


# Evolution des modèles fluviaux

- Linéaire fragmenté et dominance au méandrage
- Gradient amont-aval de sensibilité à l'ajustement
- Phénomène de contraction-stabilisation progressif

- Deux périodes de transitions :

- 1868-1940 → changement précoce (amont/médiane)
- 1940-1970 → changement tardif (aval)



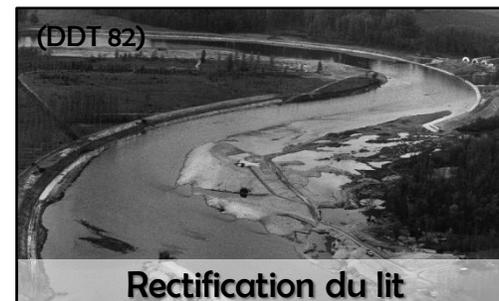
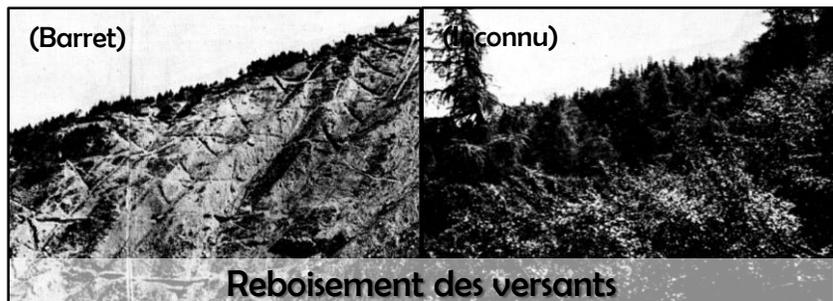
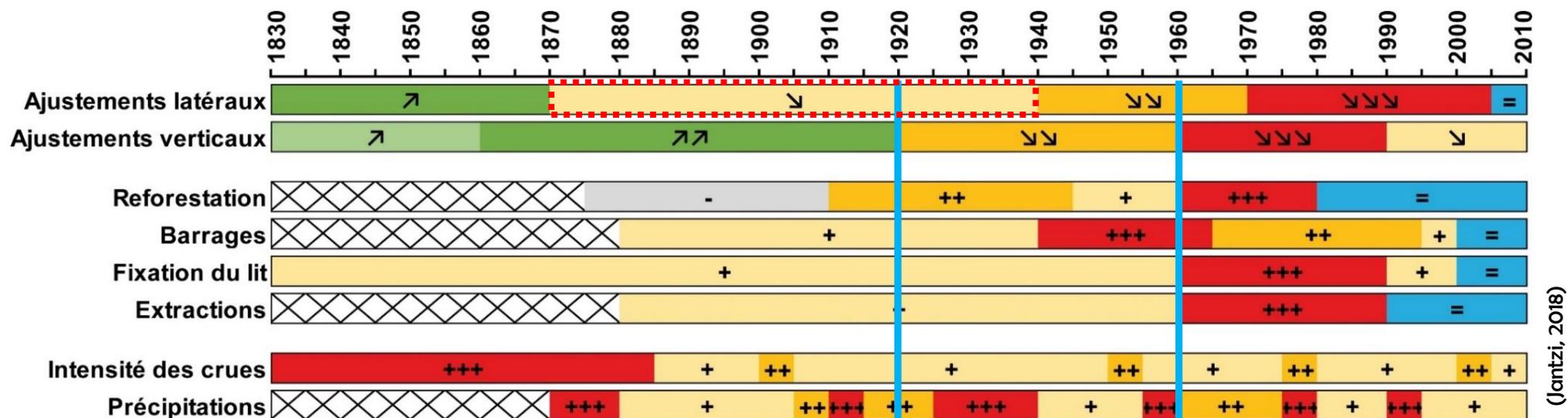
# Evolution des ajustements morphologiques

- Deux phases de rupture :

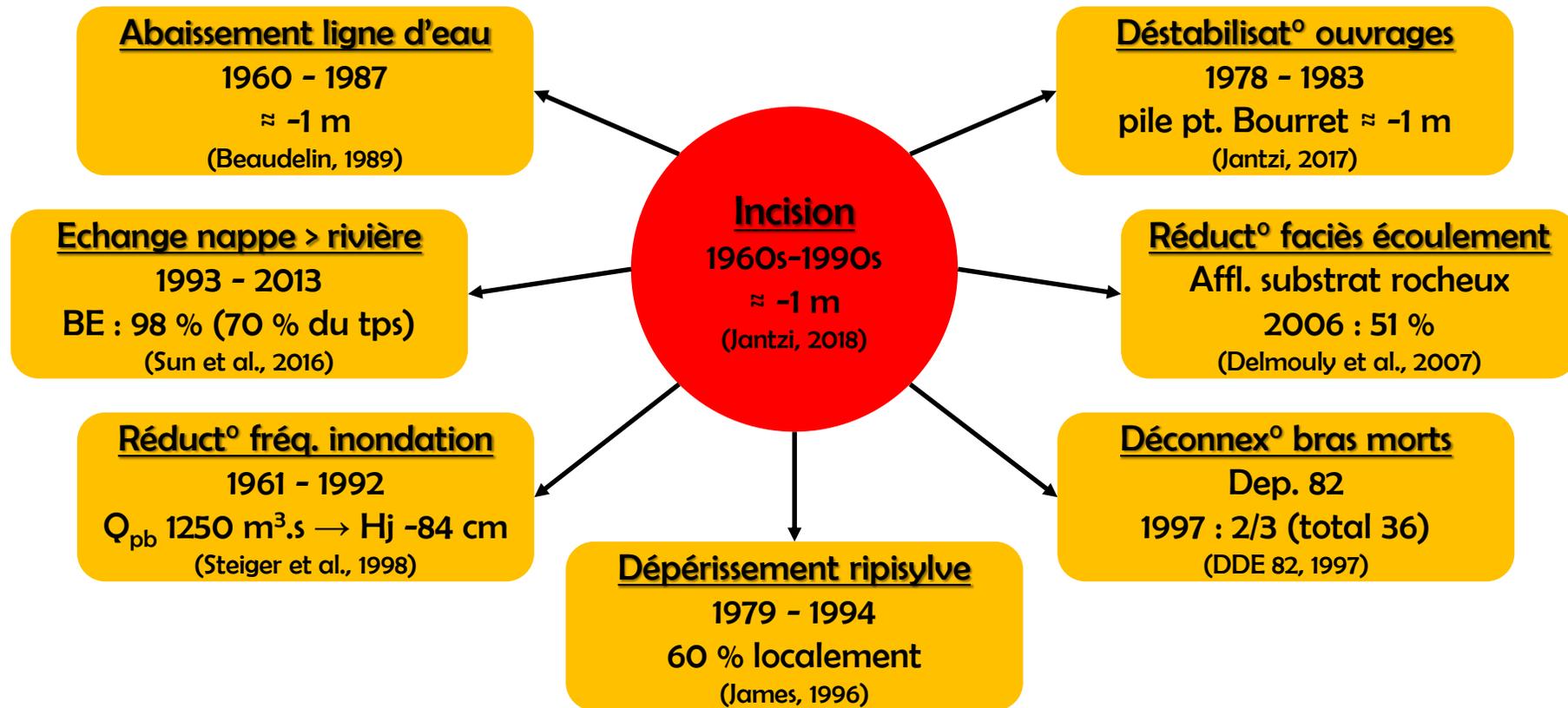
- ~1920 → conditions hydro-climatiques
  - ~1960 → rectification chenal et extraction

- Extraction 1<sup>er</sup> facteur d'incision 1960s - 1980s :

- ~20 Mt extrait / ~830 000 t.an
  - ~0,8 m épaisseur décapée / 80% de l'incision



# Les conséquences de l'incision



Déstabilisation enrochement (Jantzi)



Affouillement pile de pont (Beaudelin)



Affleurement rocheux (Taillefer/SMEAG)



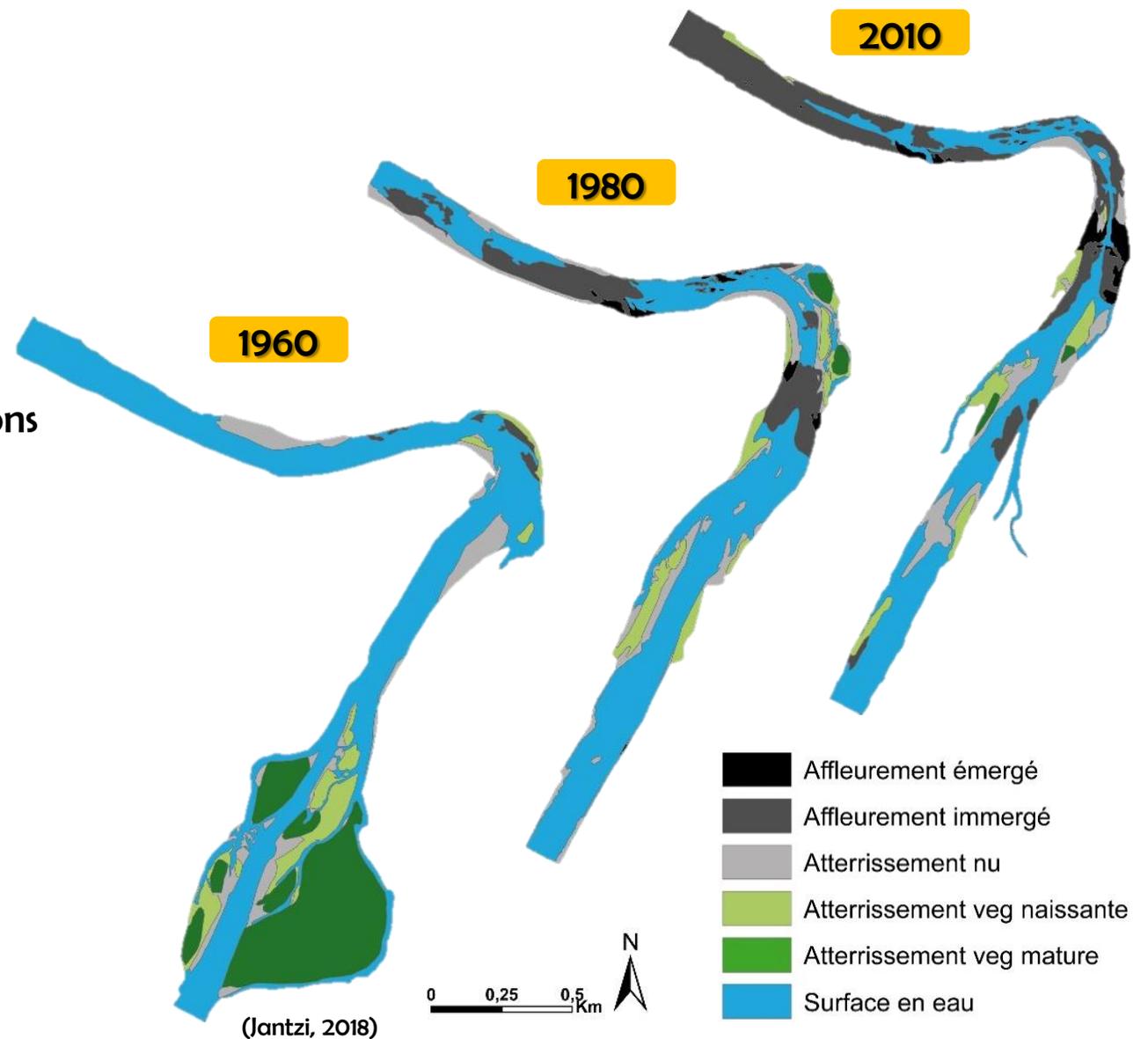
Dégradation ripisylve (CATeZH Garonne)

# Exemple du secteur du Grenade

Ajustements à l'échelle du tronçon 1960-2010

Trois périodes distinctes :

- 1960s : état pseudo-naturel
  - Faible pression anthropique
- 1970s-1980s : contraction-incision fortes
  - Période de rupture contemporaine des extractions
- 1990s-2000s : contraction-incision faibles
  - Période de stabilisation
  - Fin des extractions
  - Substratum rocheux (facteur limitant)



# Exemple du secteur du Grenade



Seuil rocheux de Grenade (Jantzi)

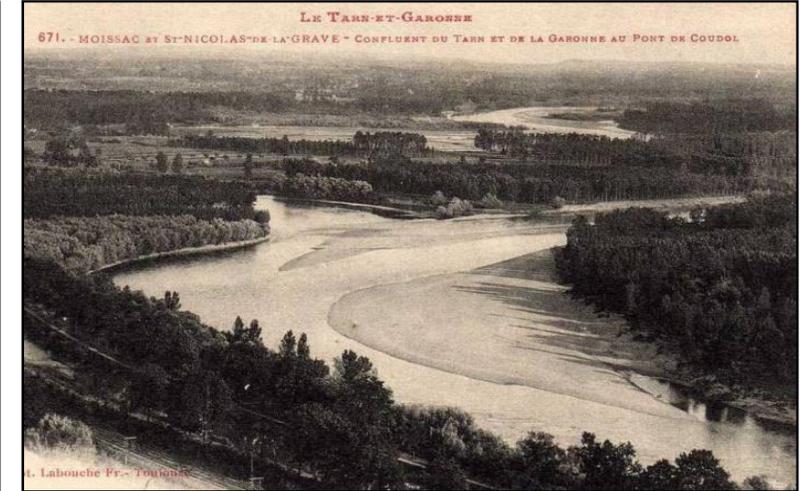
# Evolution du paysage garonnais



Confluence Ariège - Garonne  
1910 (Labouche) – 2013 (Ducos)



Moulin Beuzelle  
1910 (Pinaud) – 2014 (Causel & Bosque)



Confluence Tarn - Garonne  
1910 (Labouche) – 2013 (Valette)



An aerial photograph showing a wide river meandering through a diverse landscape. On the left, there are lush green fields and dense forests. On the right, a residential town with numerous houses and buildings is visible. The river flows from the upper center towards the bottom right. A semi-transparent white banner with rounded corners is overlaid in the center of the image, containing the text 'Merci pour votre attention' in a bold, black, sans-serif font.

**Merci pour votre attention**