

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

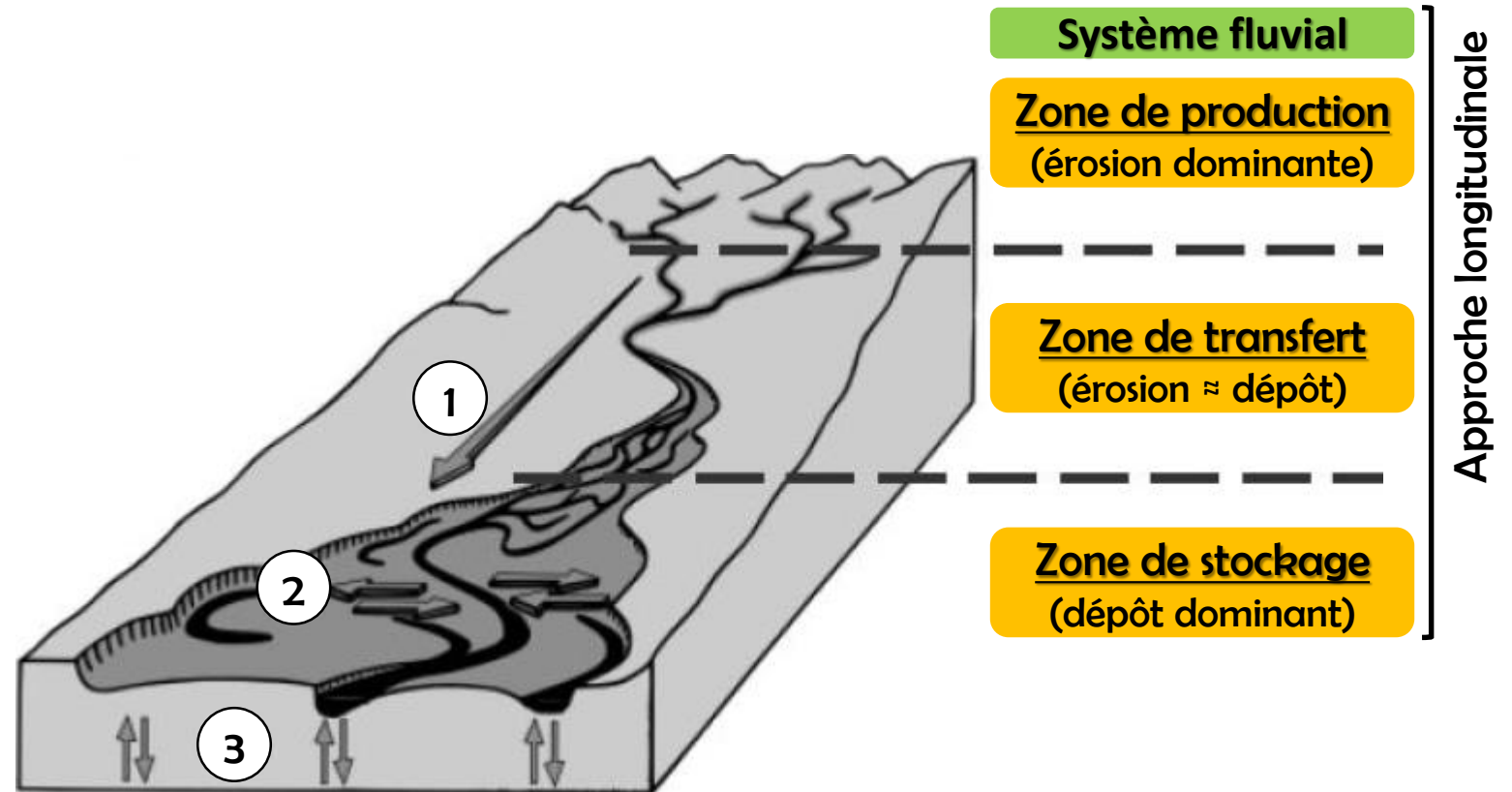
L'approche systemique des cours d'eau repose sur **deux concepts emboites** :

- 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)

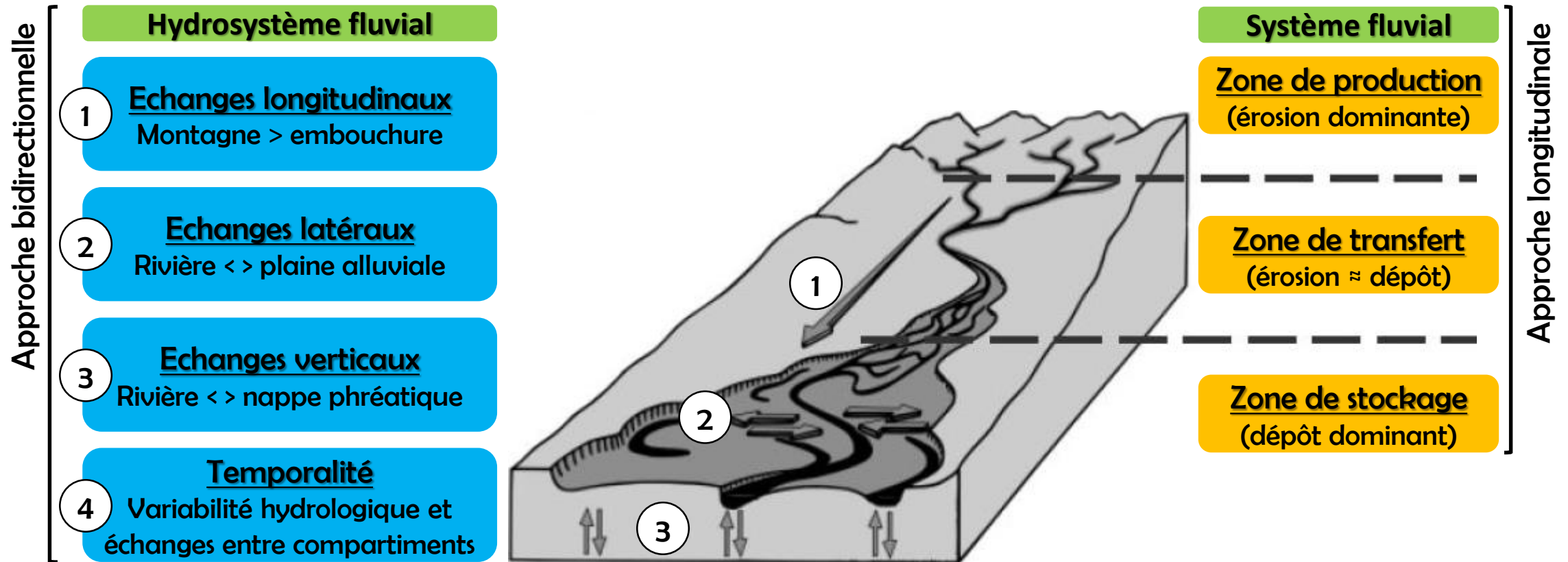


(d'après Amoros et Petts, 1993)

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

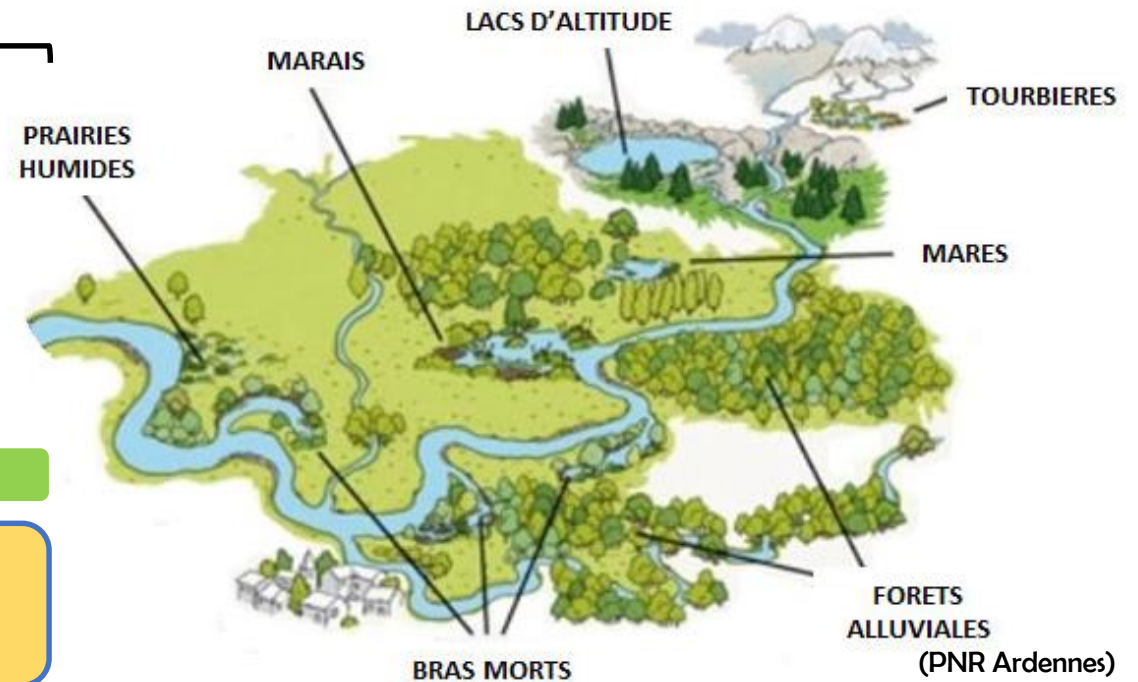
Lit majeur ou d'inondation

Partie comprenant la plaine alluviale

Sous-systèmes

Formes relictuelles

Bras morts, marais, mares, prairies humides

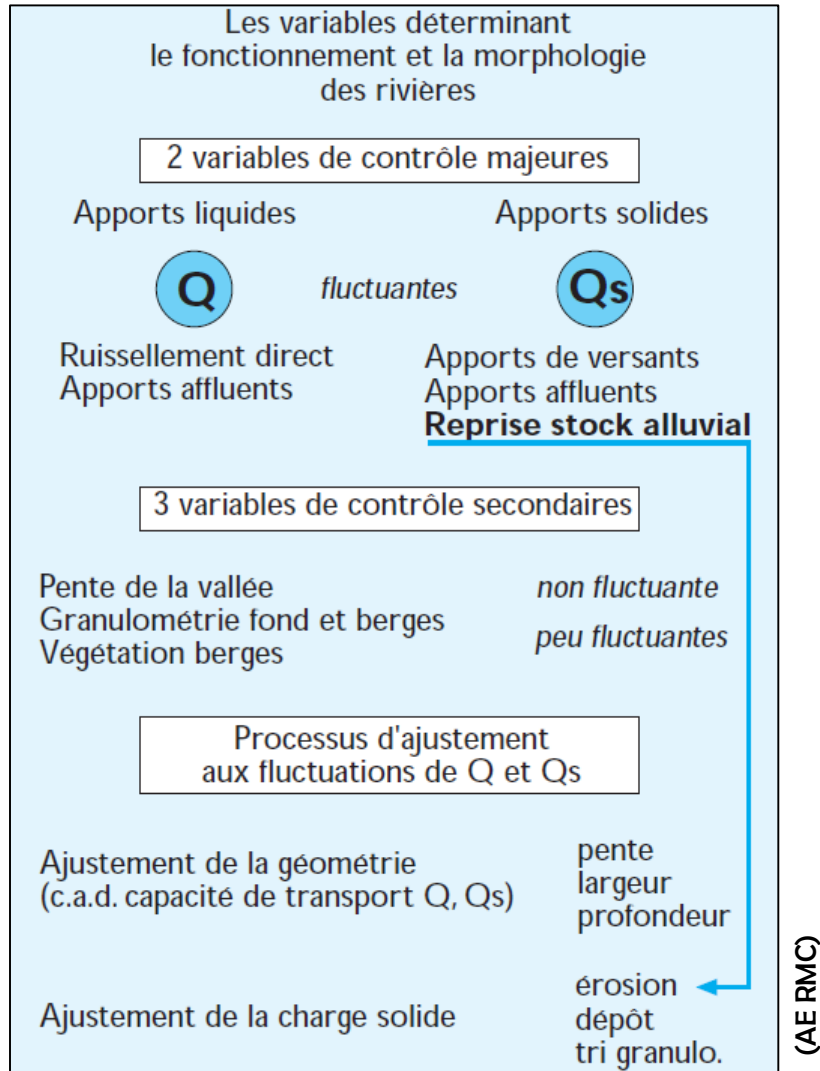


La notion d'équilibre

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

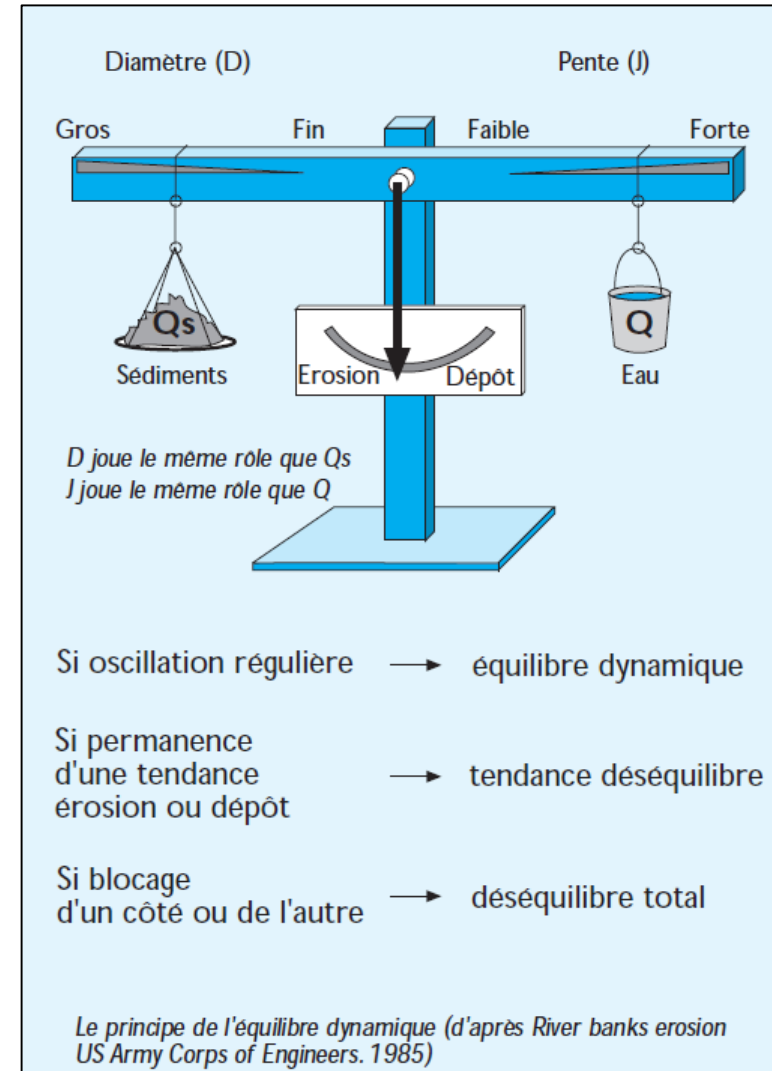
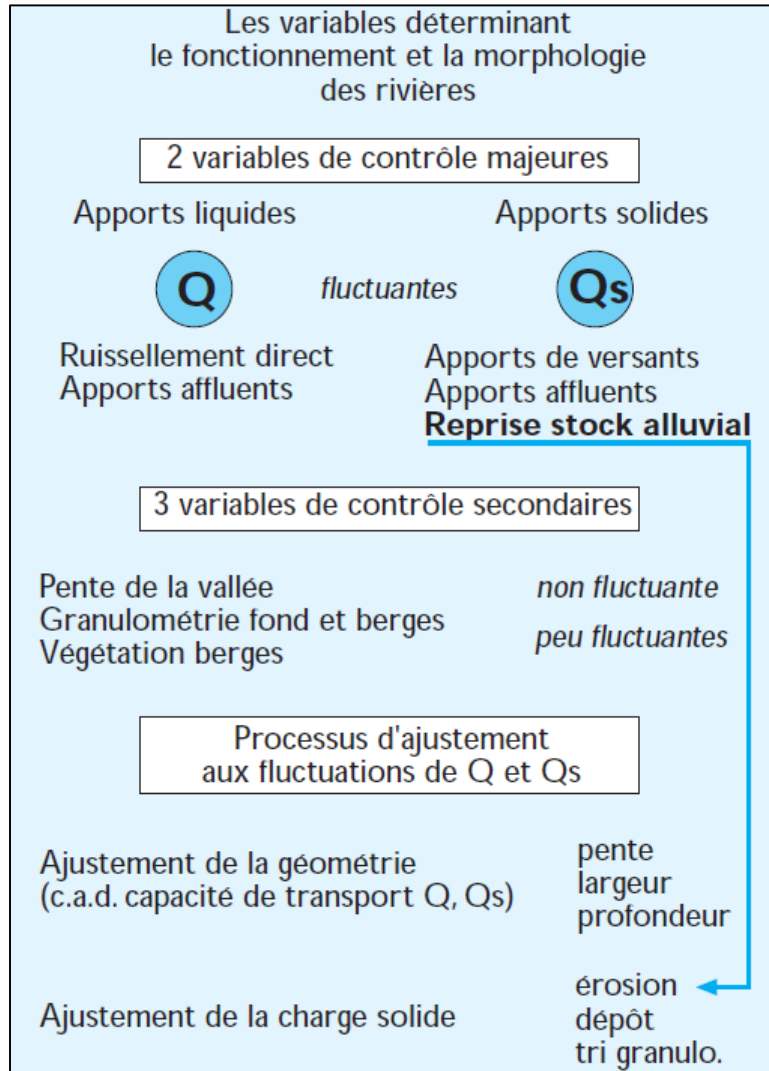
La notion d'équilibre

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

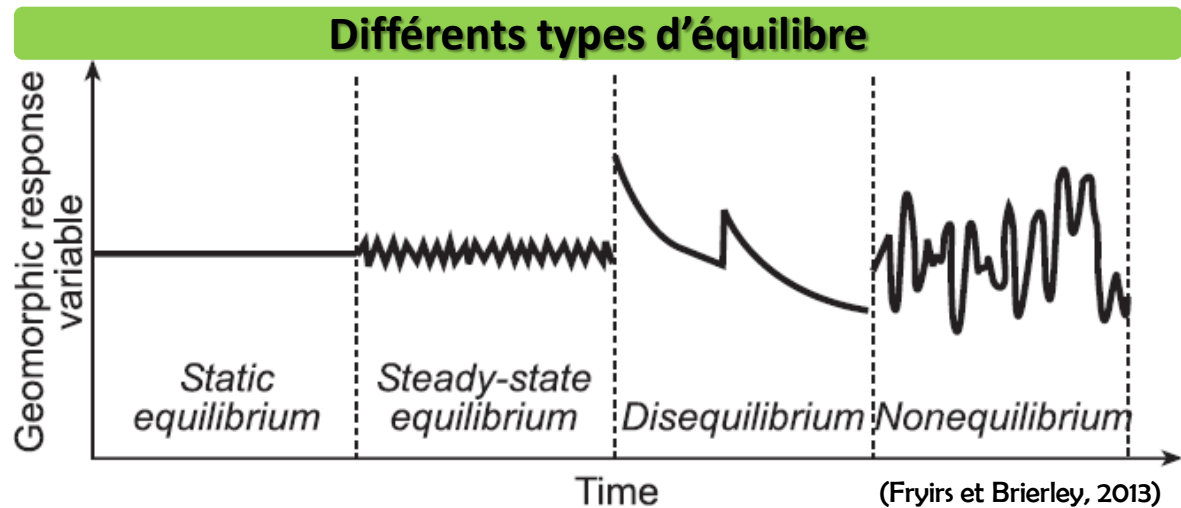
L'équilibre est défini comme un **état de stabilité** c'est-à-dire de **constance** (formes fluviales) ou de **continuité** (transport sédimentaire) sur une période de temps donnée.

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)

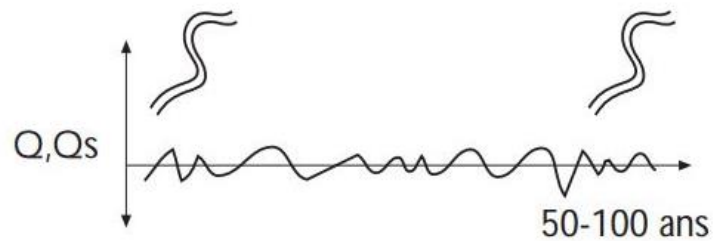
Echelle de temps et équilibre des styles fluviaux

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)

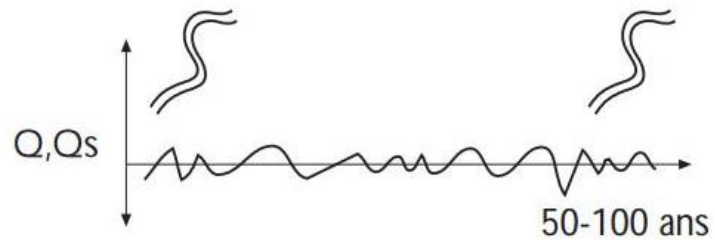
Modifications de faibles ampleur



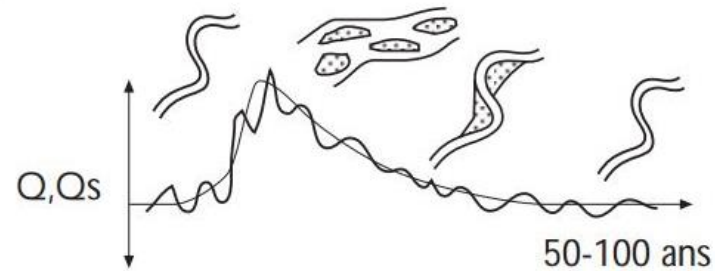
Echelle de temps et équilibre des styles fluviaux

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



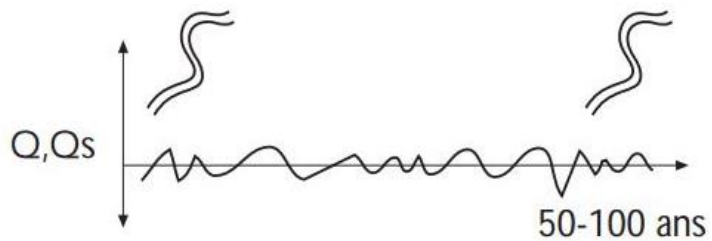
Modifications fortes / peu durables



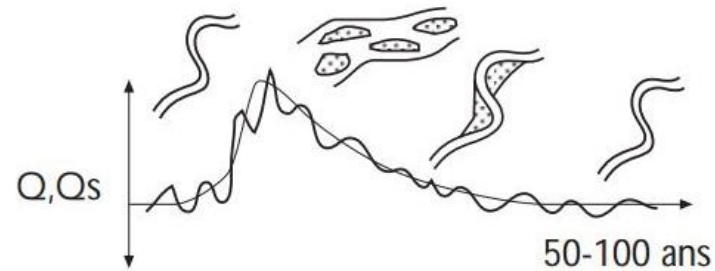
Echelle de temps et équilibre des styles fluviaux

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)**

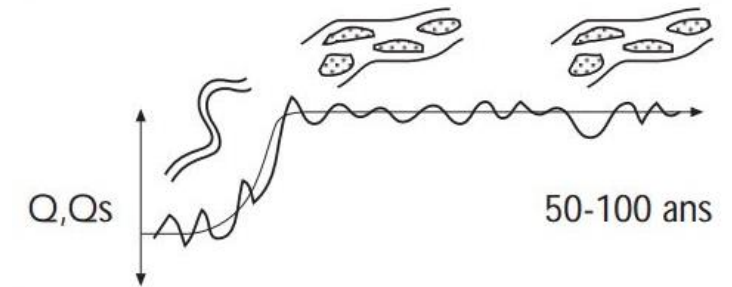
Modifications de faibles ampleur



Modifications fortes / peu durables



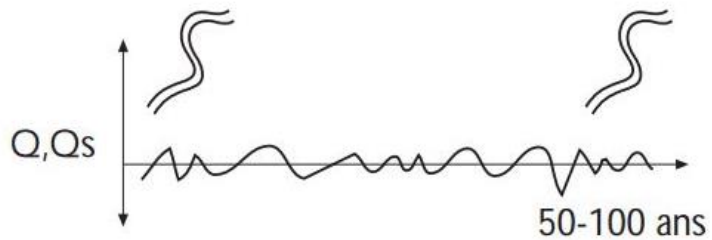
Modifications fortes / durables



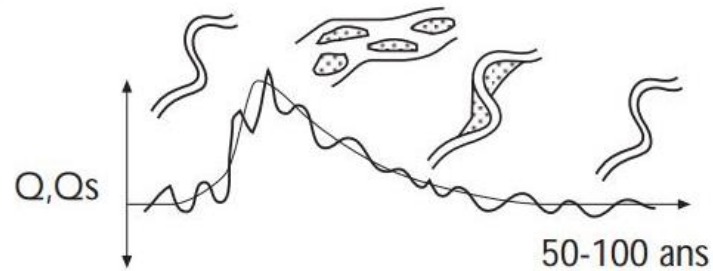
Echelle de temps et équilibre des styles fluviaux

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)**

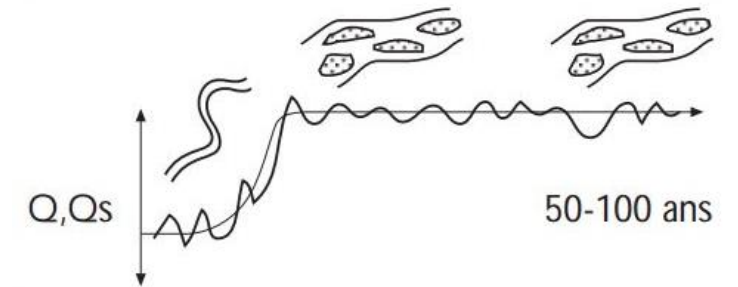
Modifications de faibles ampleur



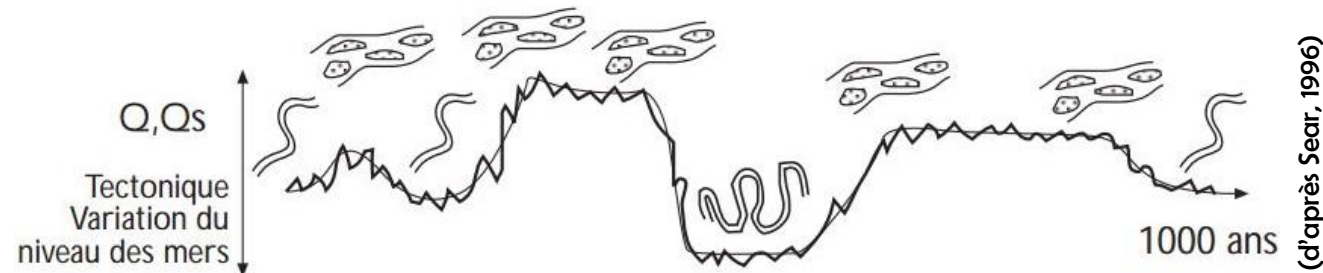
Modifications fortes / peu durables



Modifications fortes / durables

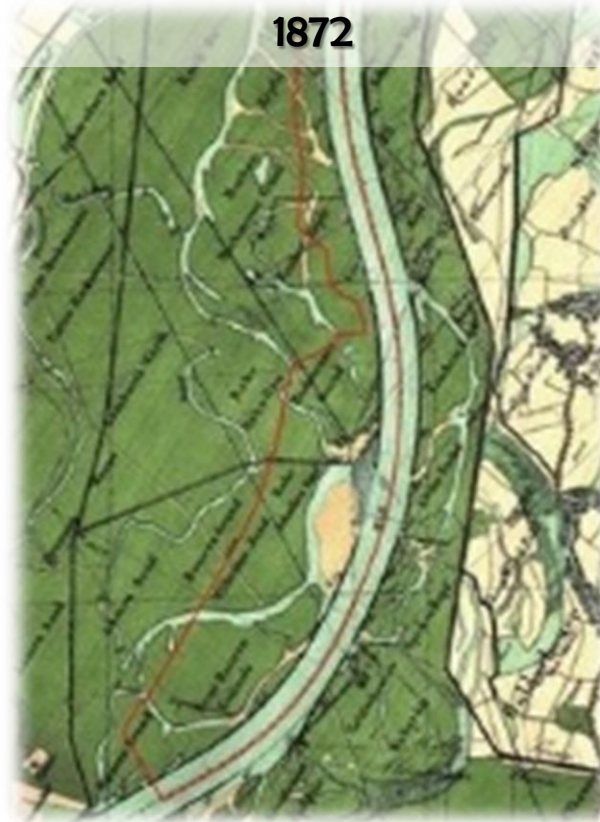
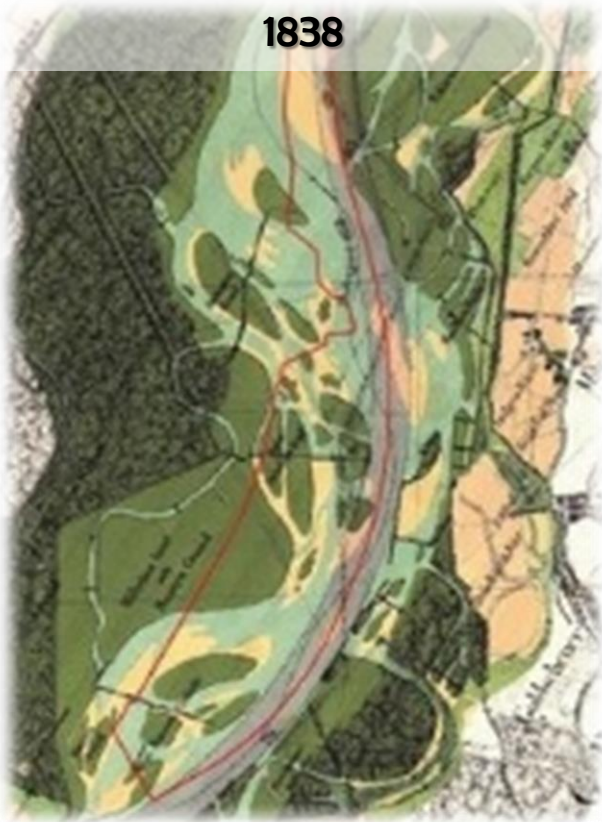


Modifications et styles fluviaux fluctuants



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**.

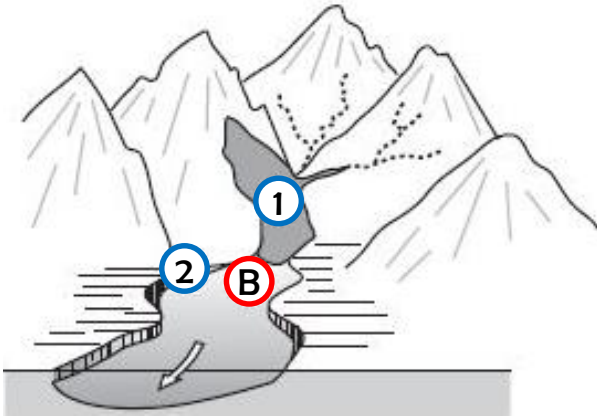
La notion de (dé)connectivité

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

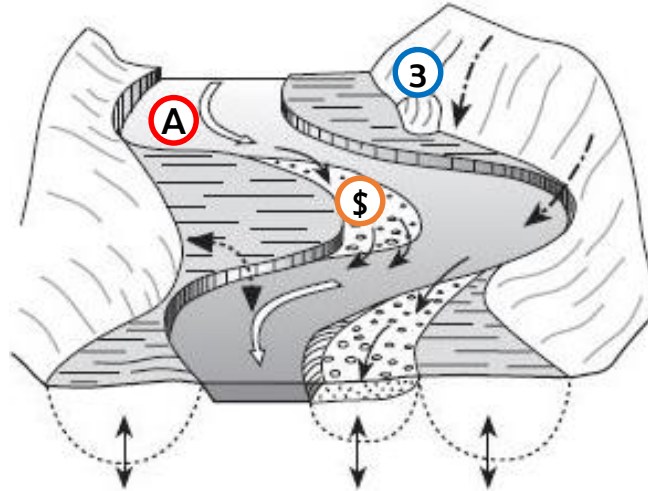
Nature et continuité des liaisons (i.e. longitudinales, latérales et verticales) sont **contrôlées par différents processus** en différents endroits.

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

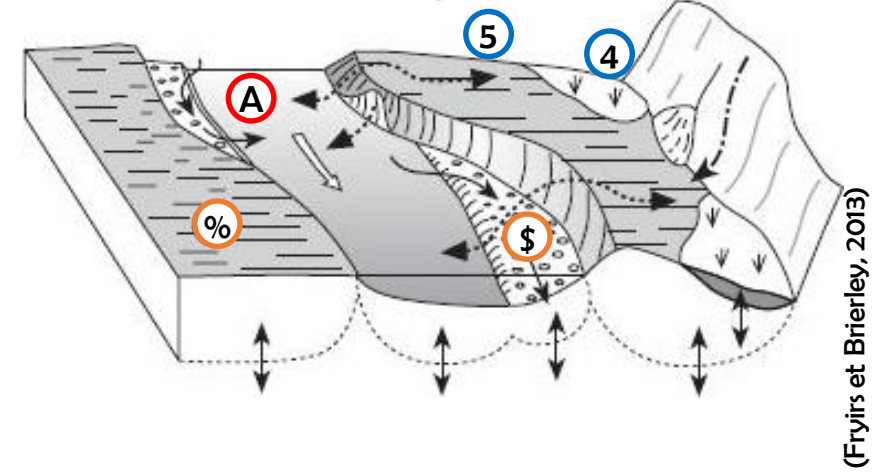
Têtes de bassin versant



Milieu de bassin versant



Basse plaine



(Fryirs et Brierley, 2013)

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**

Tampons

- ① Glissement de terrain
- ② Confluence
- ③ Cône de déjection
- ④ Tourbière
- ⑤ Plaine d'inondation

Barrières

- A Bouchon sédimentaire
- B Barrage
- Couvertures
- % Dépôt alluvionnaire
- \$ Colmatage des bancs

Relations

- ⇔ Longitudinale
- Verticale
- ⋯→ Latérale (chenal – plaine inondation)
- - -> Latérale (versant – chenal)

La notion de (dé)connectivité

Tampon

Rhône à Gletsch, CH



(Lods-Crozet)

Plaine alluviale large

Bonne à Valjoufrey, 38



(Jacquemin)

Tablier d'éboulis avec barrière végétale

Barrières

Garonne à Fos, 31



(Taillefer - Smeag)

Barrage

Bruche à Molsheim, 67



(BSP Molsheim)

Embâcle

Couverture

Garonne à Grenade, 31



(Iantzi - Geode)

Colmatage de galets

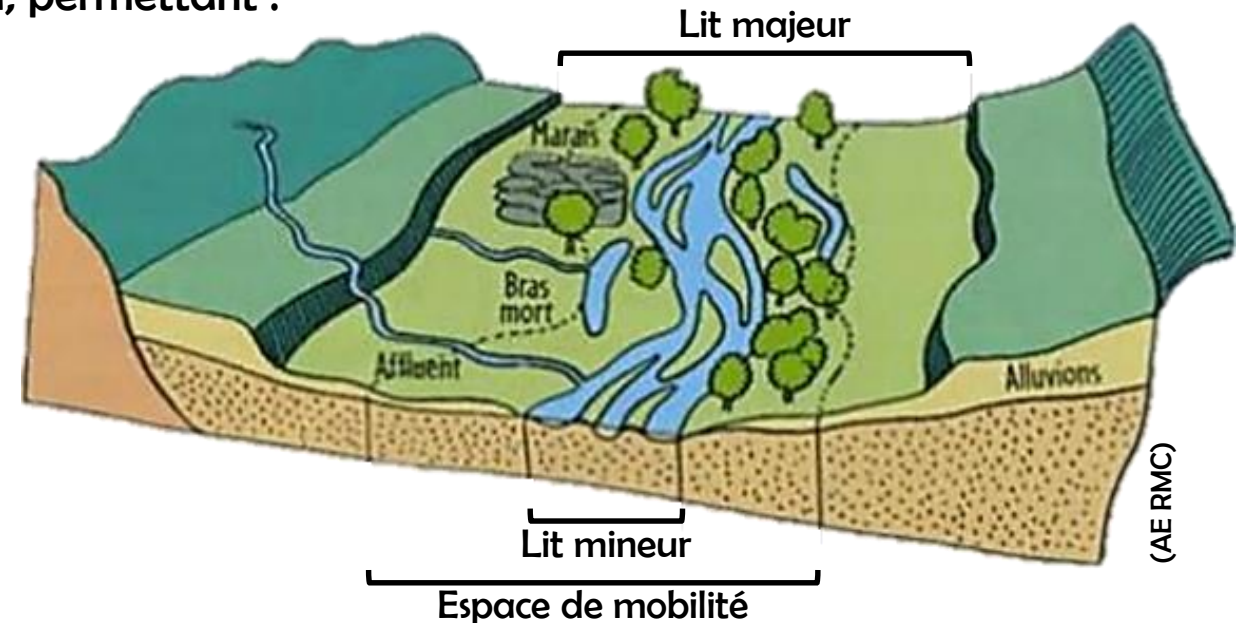
La notion d'espace de mobilité

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...).

La notion d'espace de mobilité

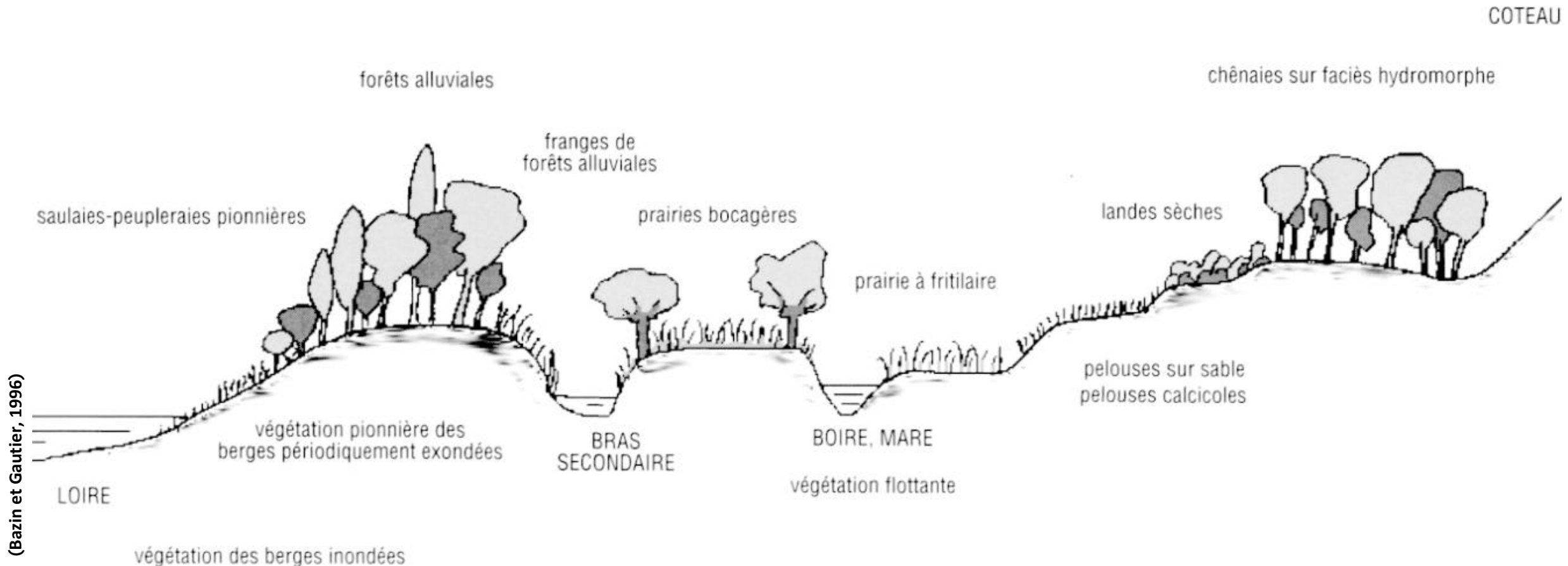
Exemple de la **mobilité du Mississippi** au file des siècles.



(United States Army Corps of Engineers, 1944)

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



(Taillefer - Smeag)

Blocage de la charge sédimentaire



(Jantzi - Geode)

Colmatage du substrat



(Jantzi - Geode)

Apparition de la roche mère

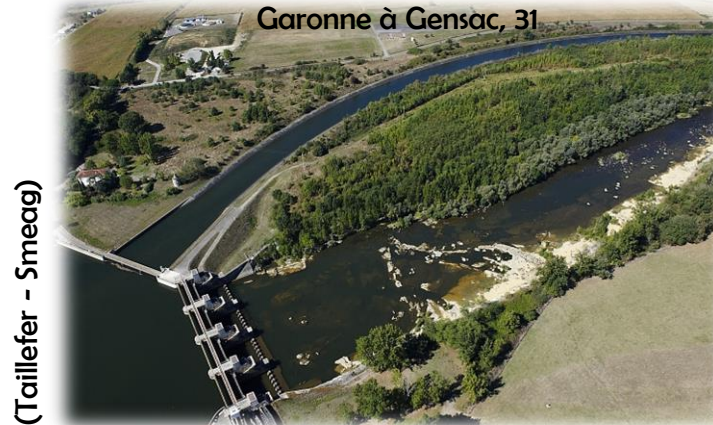
Altération de l'hydromorphologie

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)

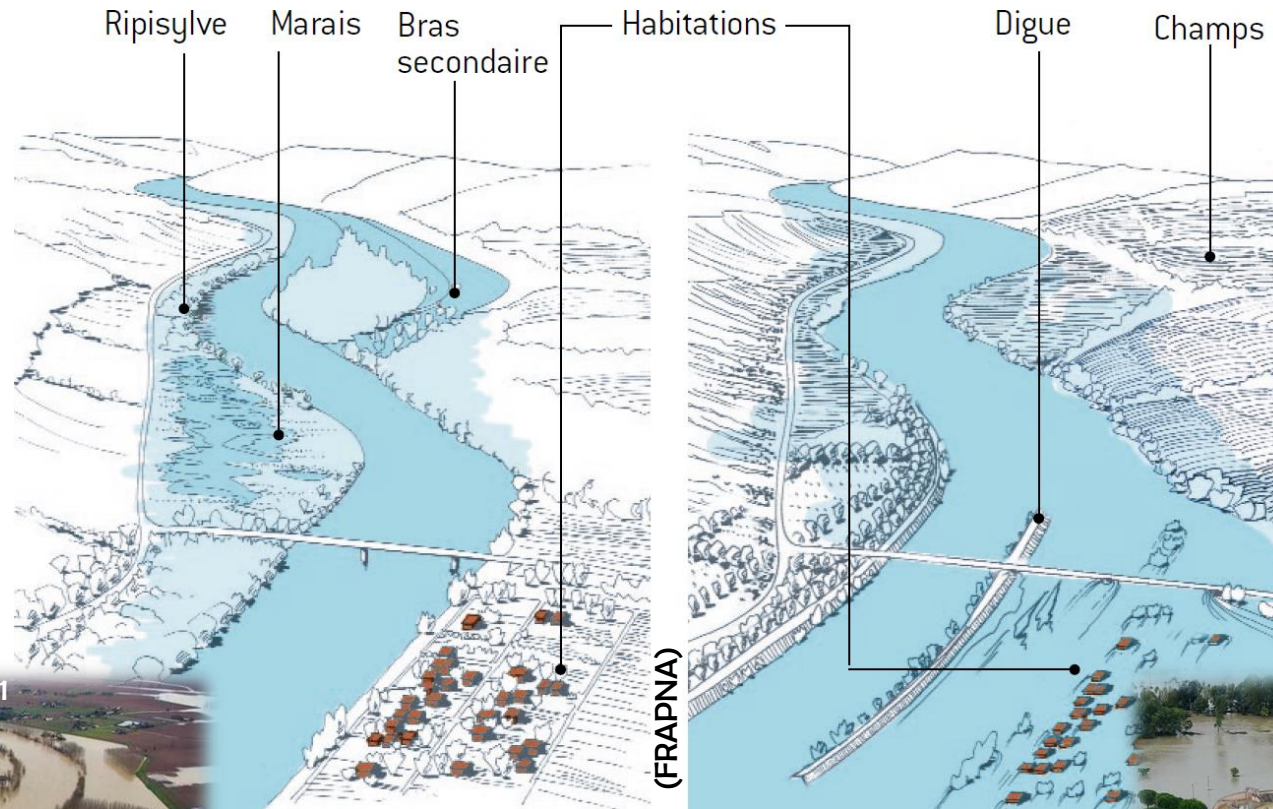
Modification Q crue morphogène

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.

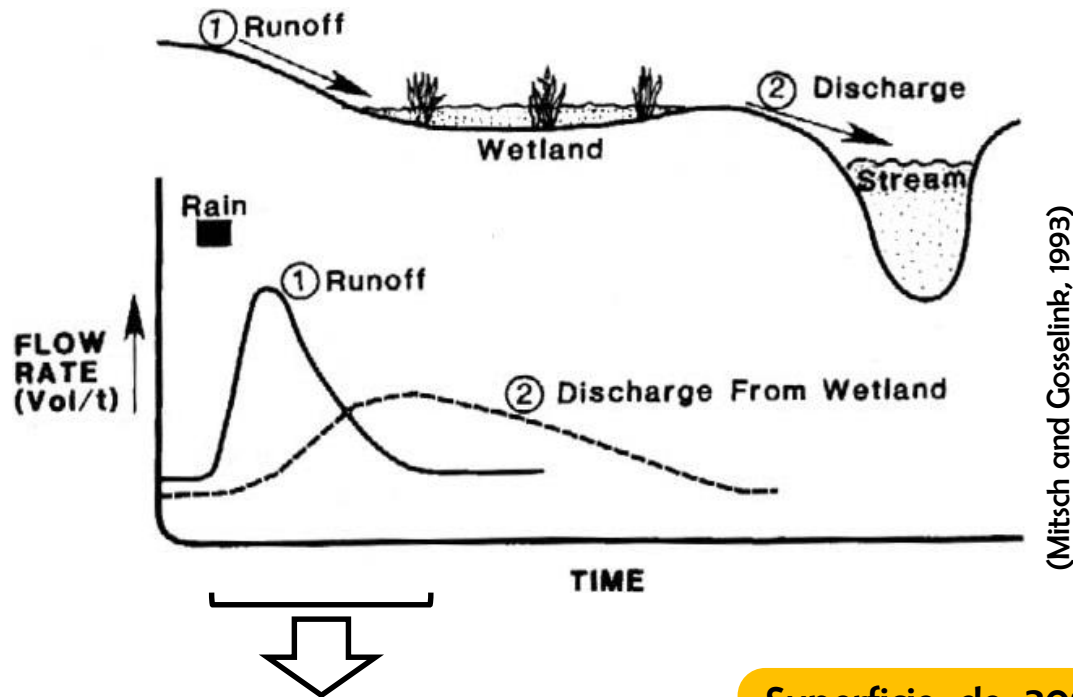


Intérêt des zones inondables sur la régulation des crues

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

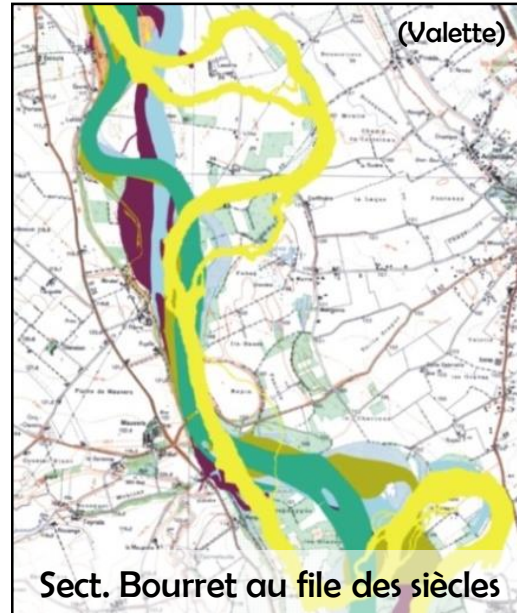
Superficie de 30% d'un BV en zones humide peut réduire de 60-80% un pics de crue par rapport à un BV sans zones humides

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**

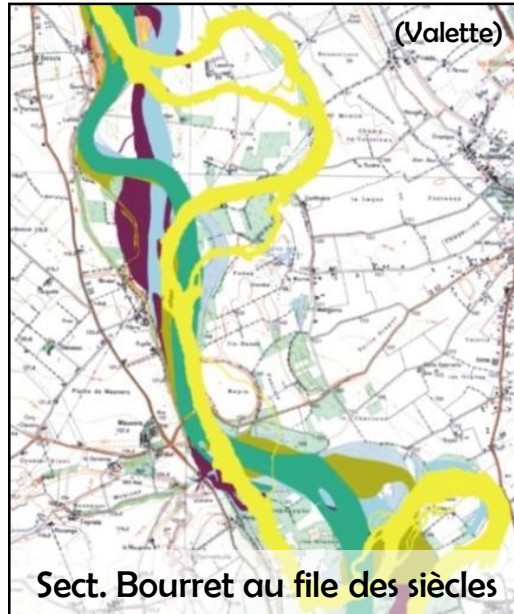
La société et son rapport à la Garonne

Un cours d'eau excessif
(inondation - instabilité)

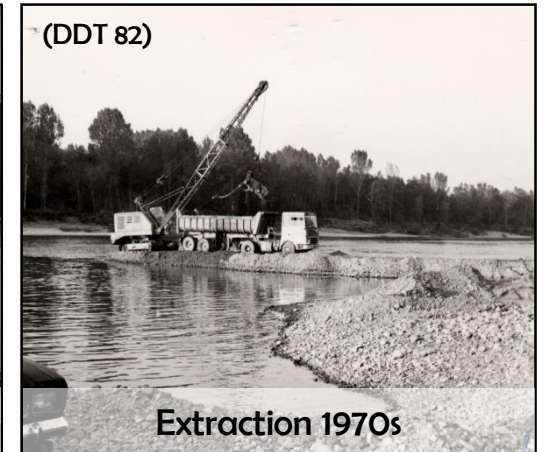
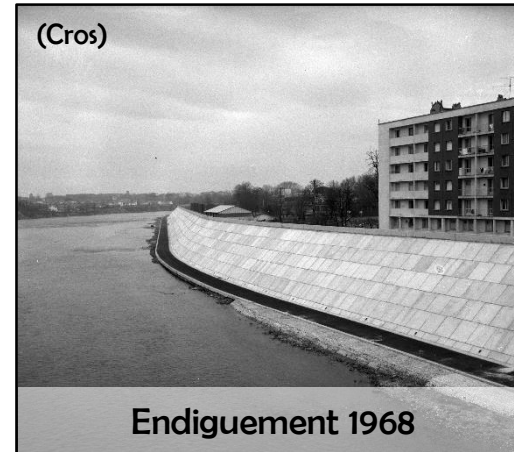
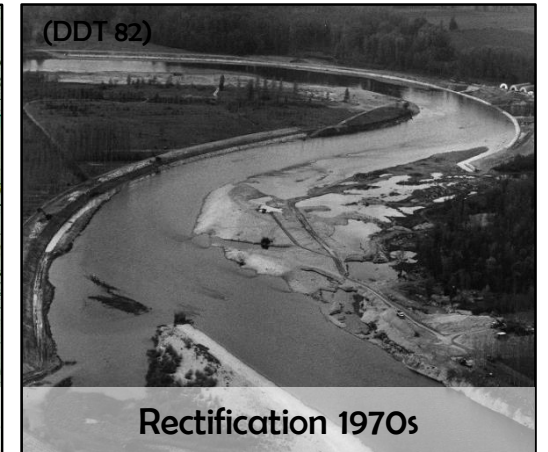
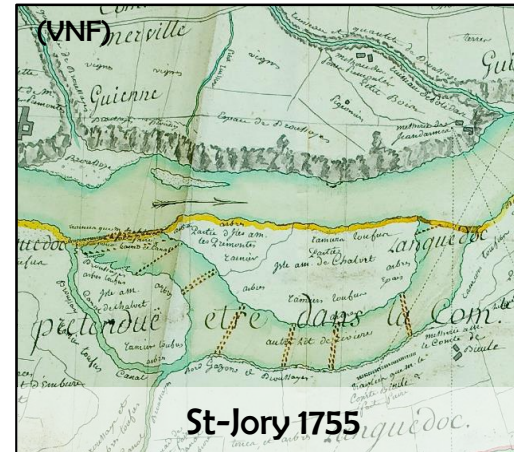


La société et son rapport à la Garonne

Un cours d'eau excessif
(inondation - instabilité)



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

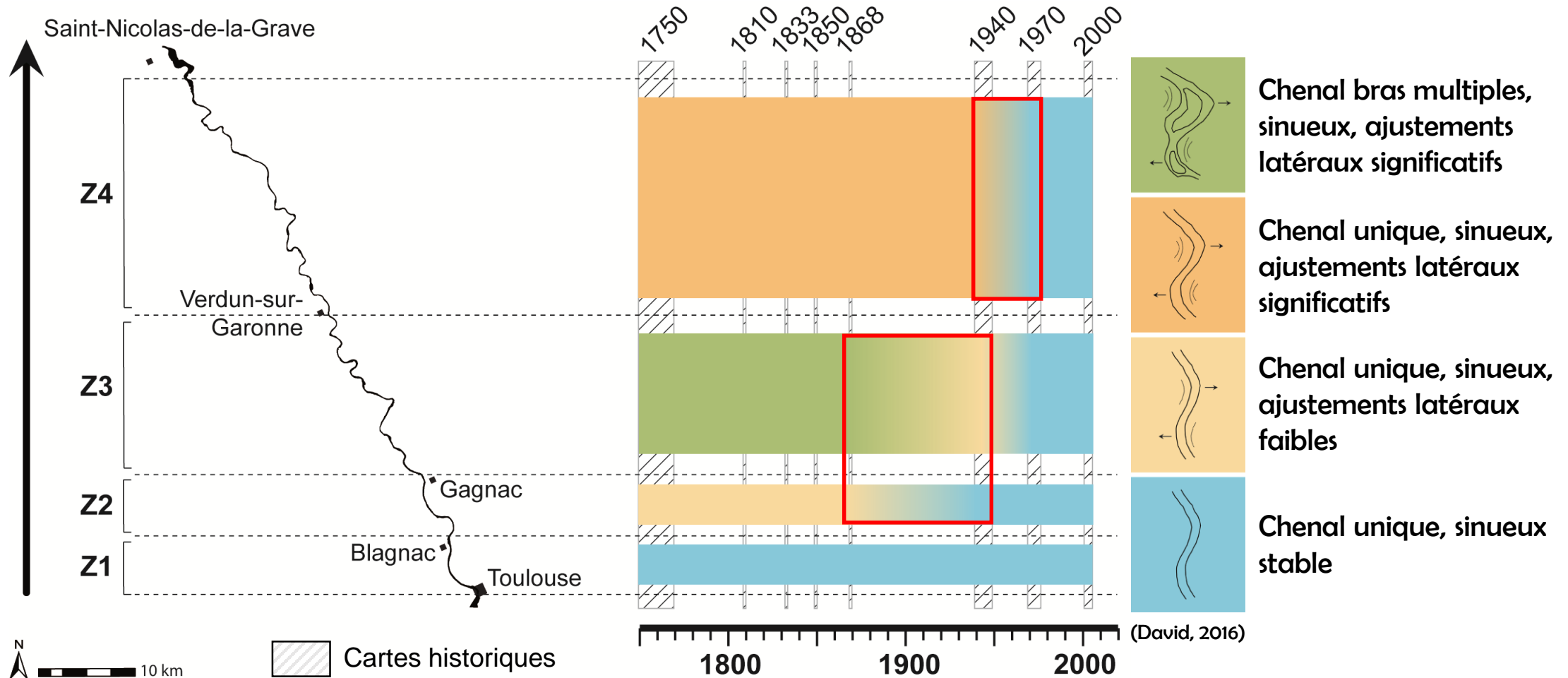


Evolution des modèles fluviaux

- 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)



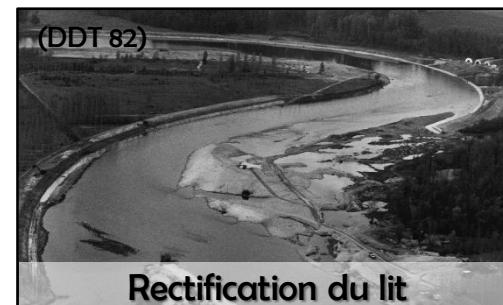
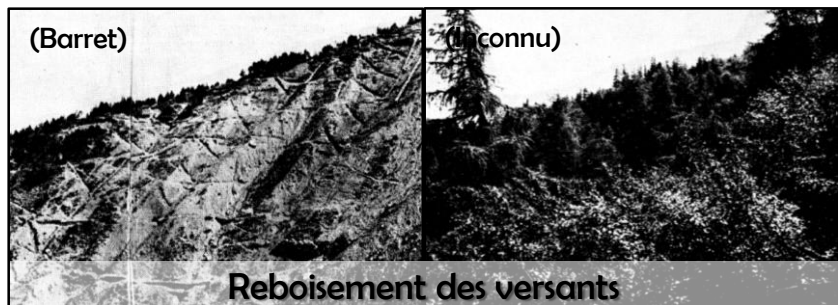
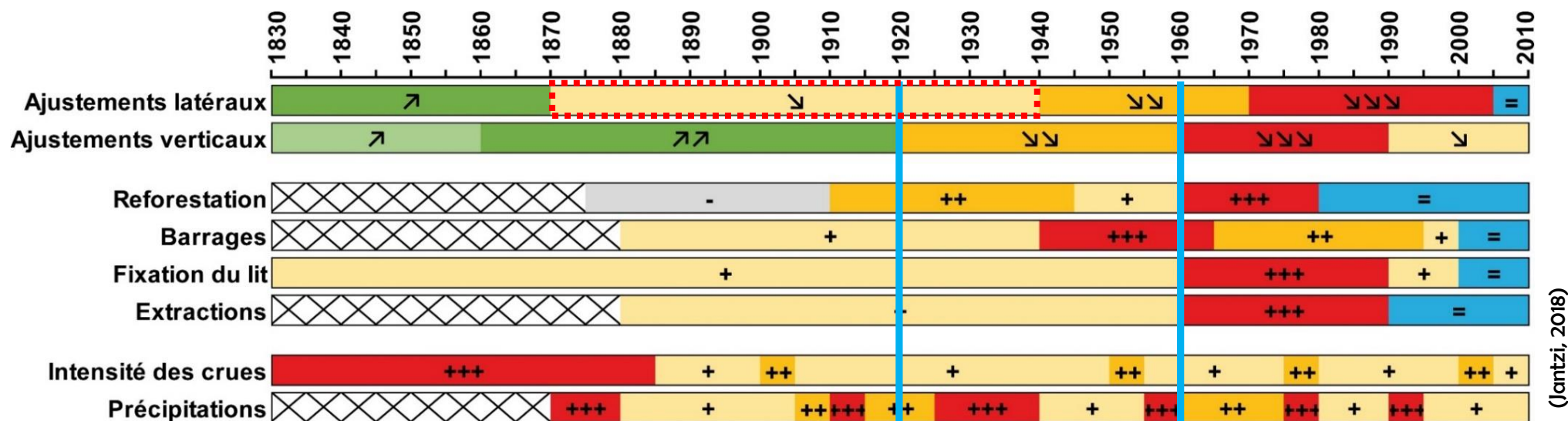
Evolution des ajustements morphologiques

- Deux phases de rupture :

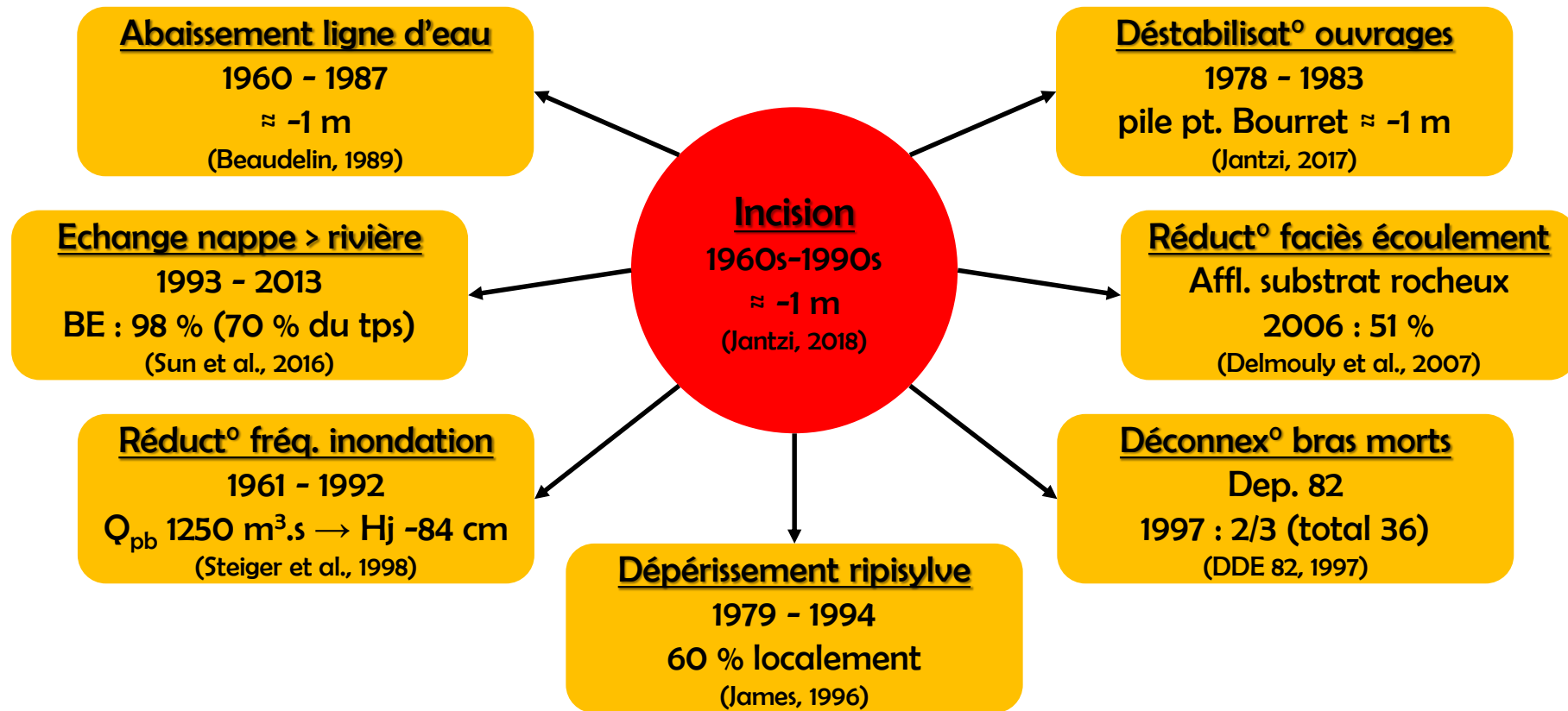
- ~1920 → conditions hydro-climatiques
 - ~1960 → rectification chenal et extraction

- Extraction 1^{er} 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)



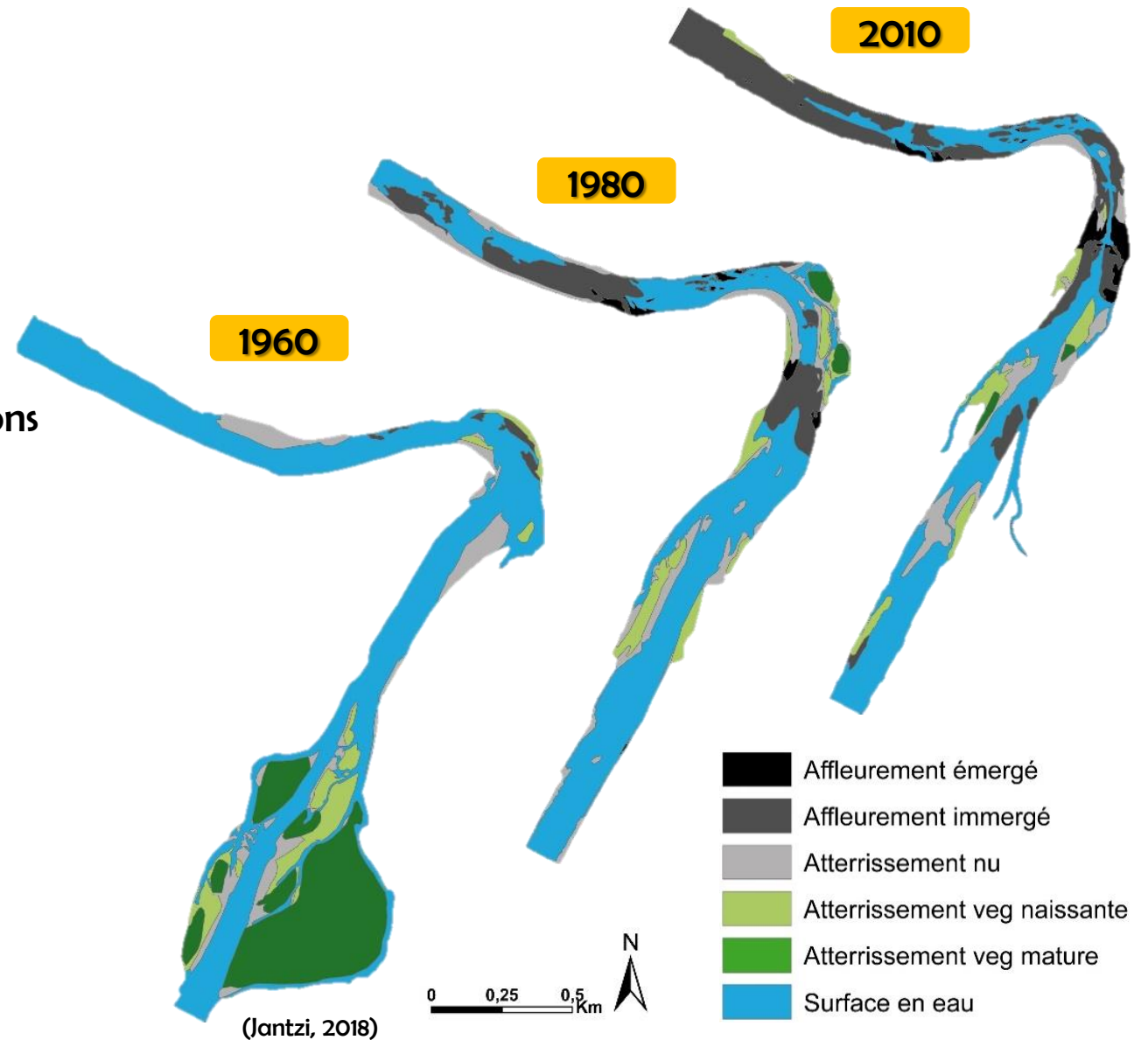
Dégradation ripisylve (CATeZH Garonne)

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)

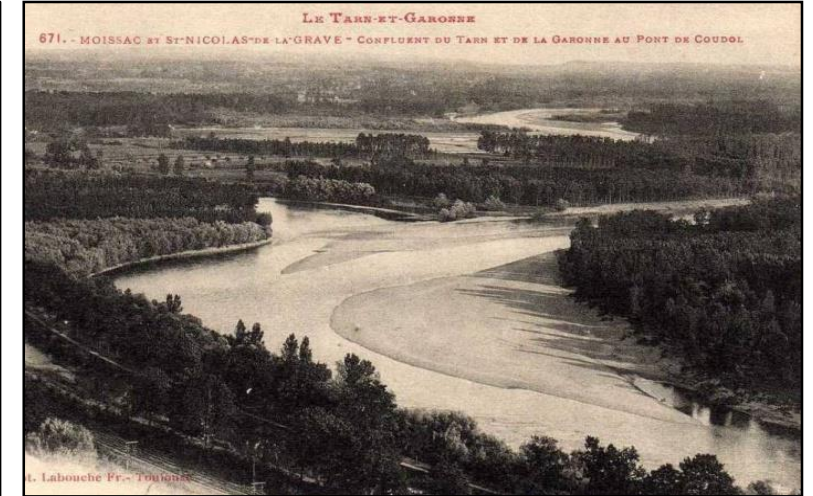
Evolution du paysage garonnais



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 top 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