

Éléments pour l'élaboration d'un plan de gestion du transport solide

Norbert LANDON

Université de Lyon, CNRS,

Université Lumière – Lyon 2, UMR5600 EVS

13 octobre 2011 - Saint Donat sur Herbasse (26)



Quelques éléments de réflexion...

- Plan de gestion du transport solide = une définition « réglementée » ?
- Pourquoi un plan de gestion et pour quel(s) objectif(s) ?
Quelle durée ? Doit-il être systématisé ?
- « Unité hydrographique cohérente » = unité fonctionnelle pertinente ?
- Emboîtement d'échelle = oui mais laquelle utilisée ?
- Définir un plan de gestion ; une méthodologie , plus qu'un catalogue de recettes...

Plan de gestion du transport solide = une définition « réglementée » ?

- Article L215-15 Version en vigueur au 8 octobre 2011, depuis le 31 décembre 2006, Modifié par Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 - art. 8 () JORF 31 décembre 2006

*I.-Les **opérations groupées d'entretien régulier** d'un cours d'eau, canal ou plan d'eau et celles qu'impose en montagne la sécurisation des torrents sont menées dans le cadre d'un **plan de gestion** établi à l'échelle d'une **unité hydrographique cohérente et compatible avec les objectifs du SAGE** lorsqu'il existe. L'autorisation d'exécution de ce plan de gestion au titre des articles L. 214-1 à L. 214-6 a une **validité pluriannuelle**.*

... peut faire l'objet d'adaptation, ... interventions ponctuelles

*...II.- ... peut comprendre une phase **de restauration**... prévoyant ... **le curage**... pour entre autres :*

... remédier à un dysfonctionnement du transport naturel des sédiments...



Élément à démontrer puisqu'il justifierait l'intervention...

Pourquoi un plan de gestion du transport solide et pour quel(s) objectif(s) ? Quelle temporalité ? Doit-il être systématisé ?

- La DCE intègre l'**hydromorphologie** en tant que soutien aux éléments de qualité biologique sur lesquels est évalué le **bon état**. Les éléments de qualité hydromorphologique (régime, continuité, morphologie) sont même directement pris en compte pour définir le **Très Bon Etat** (TBE)
→ Rappel : les états des lieux de 2004 (districts des agences) indiquent que 50 % des masses d'eau risquent de ne pas atteindre le bon état écologique en raison, notamment, d'un mauvais fonctionnement hydromorphologique.

Mais qu'est-ce qu'un bon fonctionnement hydromorphologique ?



Élément à définir puisqu'il justifierait en cas de perturbation la mise en place du plan de gestion...

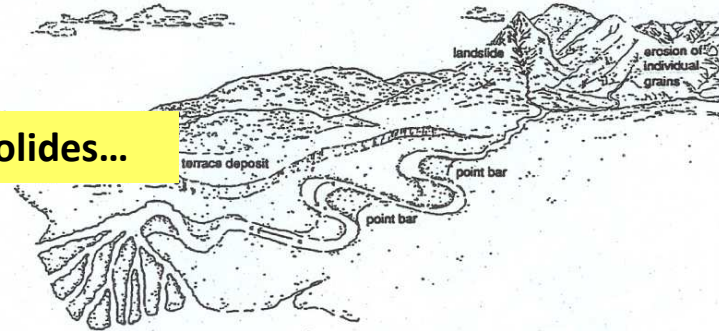
→ Un bon fonctionnement repose sur un système complexe de flux à fonctionnement dynamique et aléatoire...

Des flux d'eau bi-directionnels ...

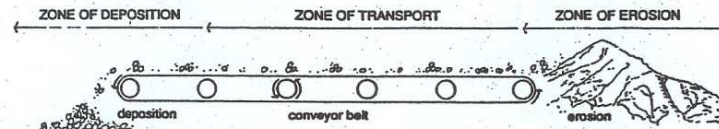


Amoros et Pette, 1993

... mais également des flux solides...

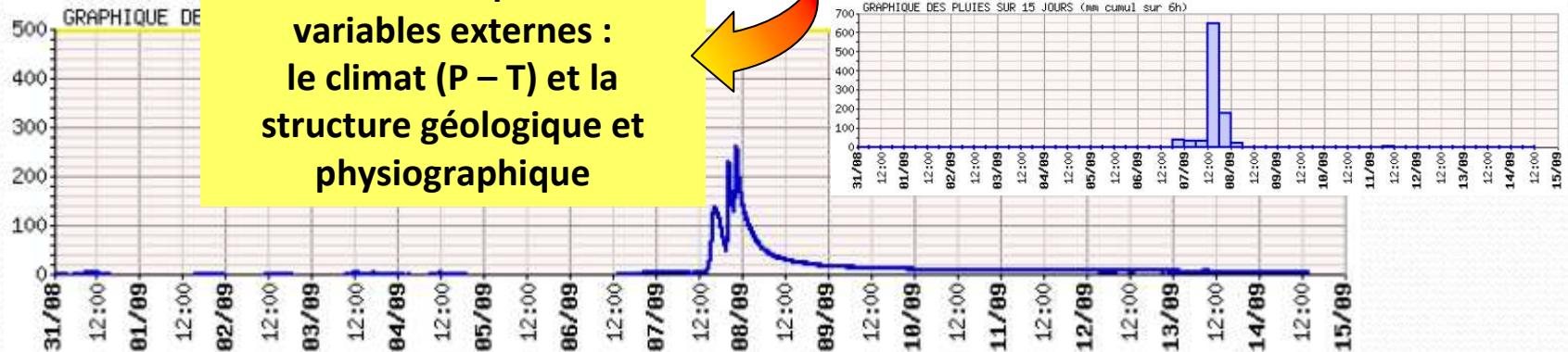


... aux volumes et vitesses variables dans le temps...



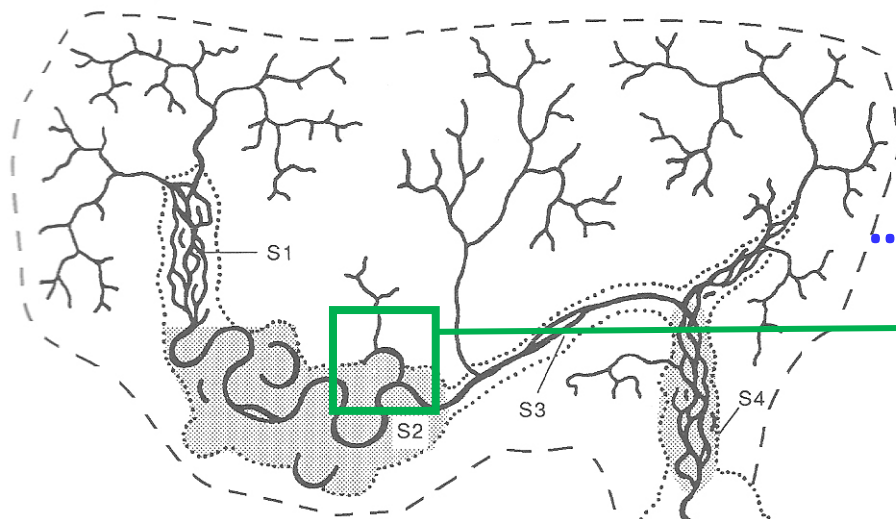
2. Zones of erosion, transport, and deposition, and the river channel as conveyor belt for sediment. (Reprinted from 1994, with kind permission of Elsevier Science-NL.)

... contrôlés par des variables externes : le climat (P - T) et la structure géologique et physiographique

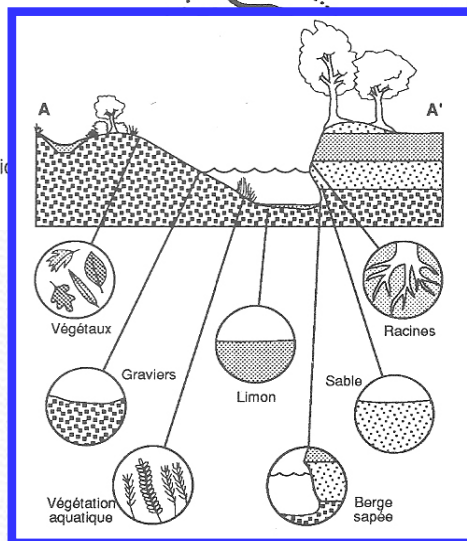


→ Favorisant...

La multiplication des secteurs fonctionnels...

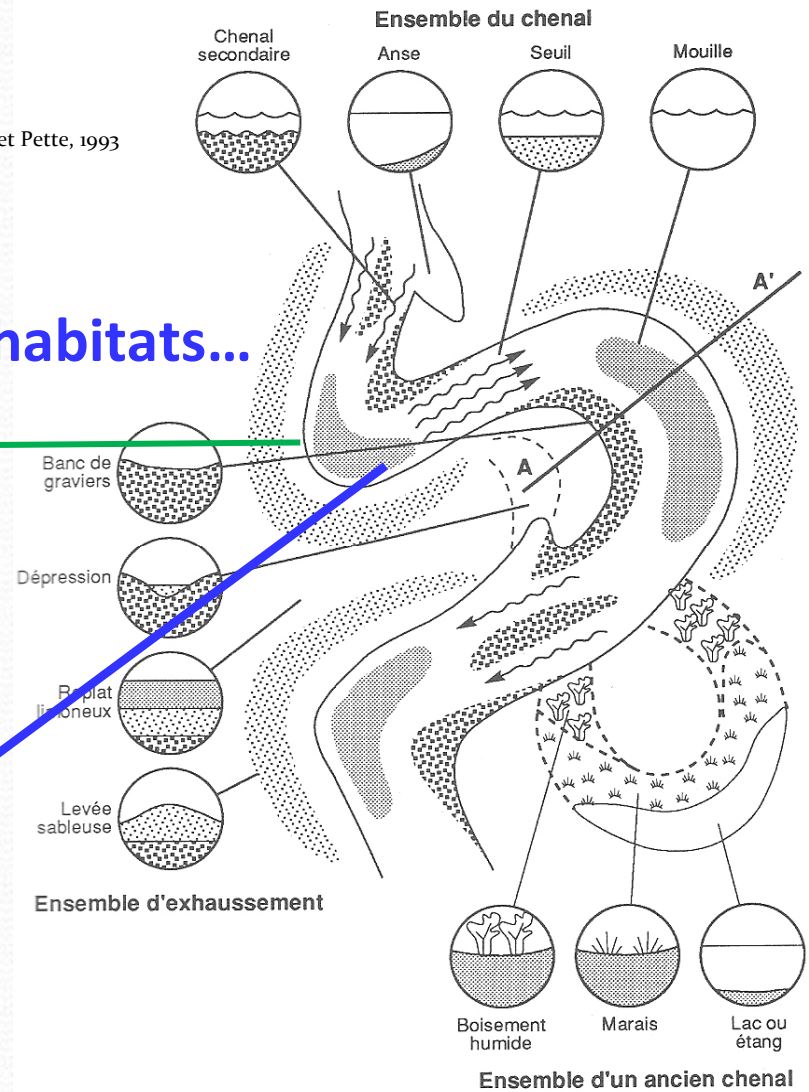


- - limite du bassin-versant
- - - limite de la plaine alluviale
- } S1 à S6 : secteurs fonctionnels



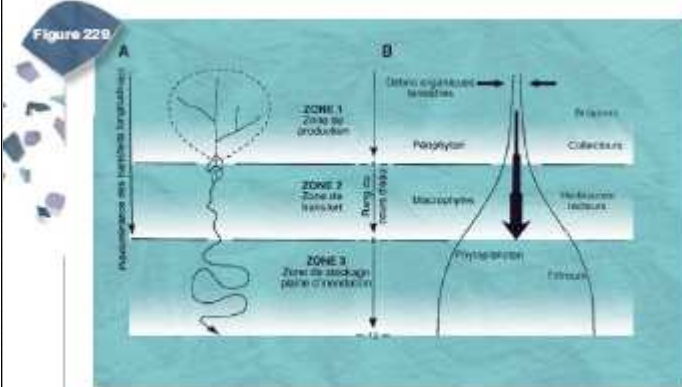
...des habitats...

Amoros et Pette, 1993



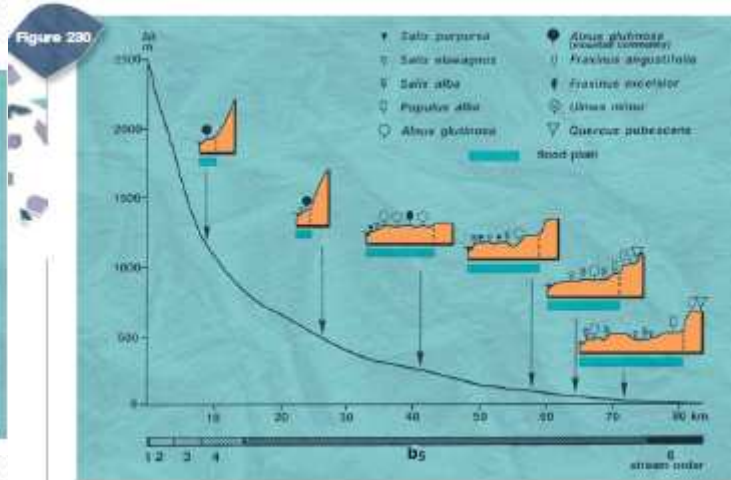
... des micro - habitats

→ Au bénéfice... des continuités et de la diversité

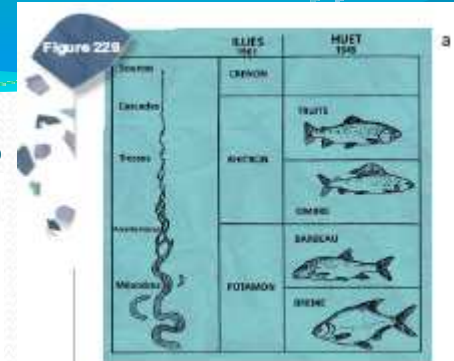


Zonation hydromorpho - Schumm (1977)
et traits écologiques

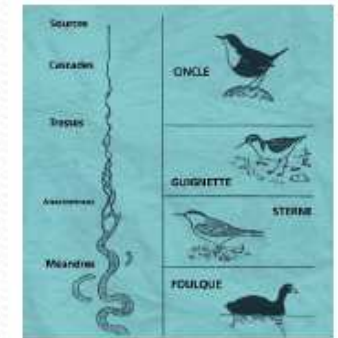
Végétaux aquatiques/Invertébrés - Vannote *et al.* (1990)



Végétation - Pinay *et al.* (1990)



Poissons – Huet (1949) – Illies (1961)



Oiseaux – Roche (1986)

1/ Dynamique ++ = X Habitats (nombre et diversité)

= mosaïque d'habitats ou d'unités structurales

2/ Habitats ++ = X Espèces

3/ Secteurs fonctionnels ++ et +/- connectés

Diversité écologique

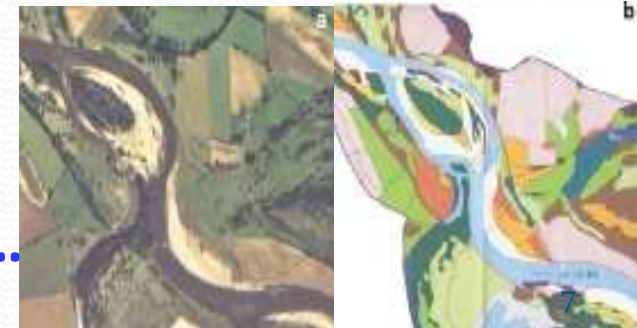
Diversité spécifique

Diversité génétique

Σ = mosaïque paysagère et biodiversité



+ Services rendus aux sociétés riveraines...



→ Mais tous nos cours d'eau ont-ils naturellement un comportement dynamique du point de vue transport solide induisant ce bon fonctionnement ? L'absence de dynamisme ne peut-elle pas être un paramètre naturel ?

- **Durée du plan de gestion**

Le R215-5 CE – « *Durée d'au minimum 5 ans* » ;

→ Quelle signification en terme de transport solide ? A quelle vitesse transit la charge dans un système à fonds mobiles ?

- **Systematisation ? Quand doit-on envisager le plan de gestion pluriannuel du transport solide ?**

→ Outre l'obligation faite aux collectivités qui se regroupent pour prendre en charge l'entretien...

... lorsque le transport naturel des sédiments est avéré et/ou perturbé

**A minima avant de se lancer dans l'élaboration d'un plan de gestion, il semble nécessaire de définir quel est le potentiel naturel du cours d'eau en terme de bon fonctionnement physique, de définir les caractéristiques de la dynamique alluvionnaire, d'identifier les facteurs de perturbation
= diagnostic hydrosédimentaire**

« Unité Hydrographique Cohérente » - UHC = unité fonctionnelle pertinente ?

→ L'UHC doit permettre d'aborder à la fois la cause des perturbations et les « remèdes » ; en fonction des facteurs explicatifs des perturbations, il conviendra de définir l'échelle spatiale la plus appropriée pour déterminer les interventions les plus adaptées.



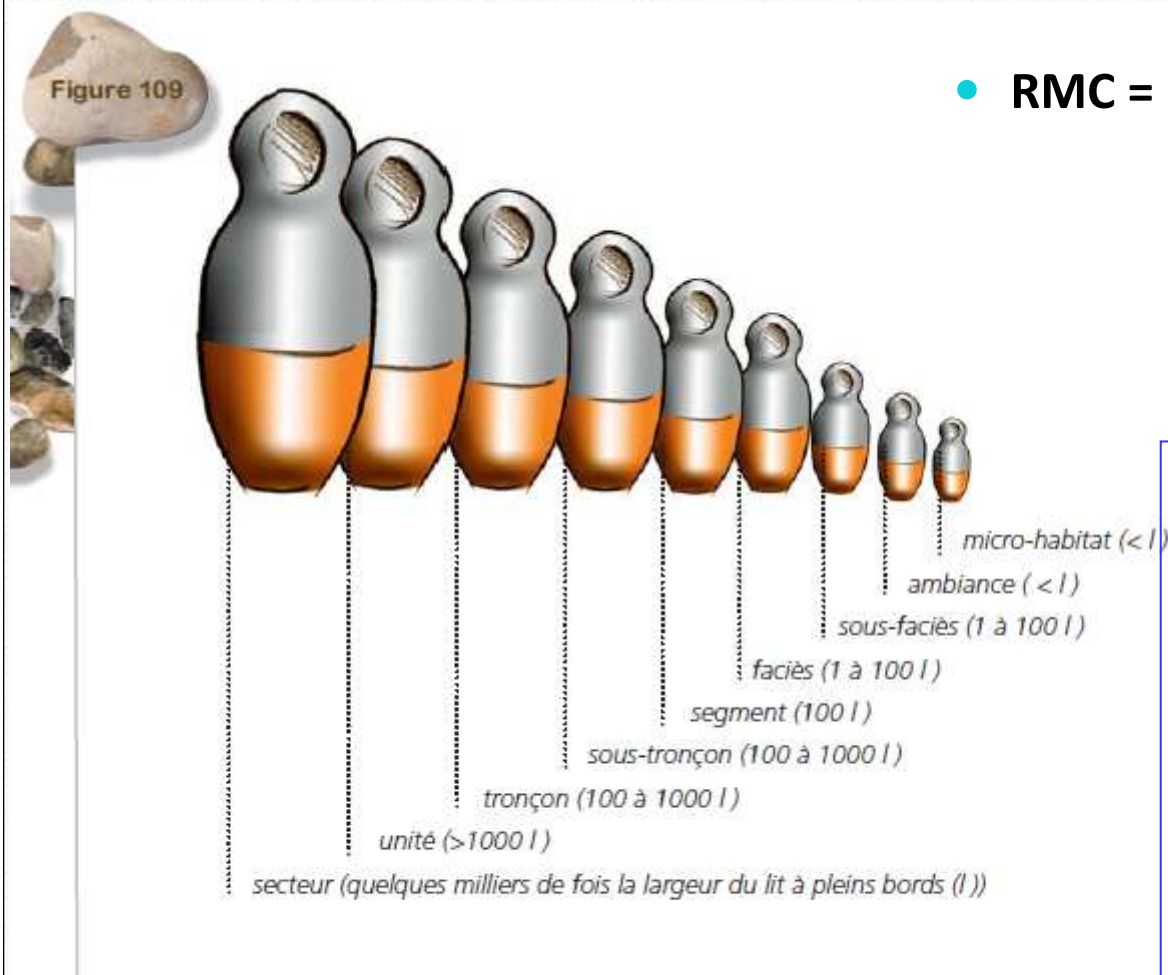
Pour un cours d'eau de plaine à faible charge solide
= tronçon géomorphologique homogène



Pour un cours d'eau à fort potentiel en charge solide mais
déficientaire = bassin versant



Emboîtement d'échelle = oui mais laquelle utilisée ?



- RMC = 22 hydroécორégions de niv. 1
112 hydroécორégions de niv. 2
2 772 masses d'eau de surface
(+ 234 en Corse)

L'UHC = *A minima*, succession de tronçons hydrogéomorphologiques homogènes au sein d'une même hydroécორégion

Dans l'idéal, pour des cours d'eau de taille moyenne (x 10 km), l'ensemble de son réseau est à prendre en compte.

En surf. BV, cela peut correspondre à la limite supérieure préconisée pour les SAGE (1 000 - 2 000 km²)

L'emboîtement des entités hydromorphologiques au sein d'un bassin hydrographique.

NB : Sur les petits cours d'eau (rang inférieur à 3), le niveau d'emboîtement commence généralement au tronçon (Malavoï et Area, 2000).

Définition du plan de gestion ; une approche méthodologique , plus qu'un catalogue de recettes...

Une réflexion déjà avancée... le cas de la MISE 74 (Fiche technique n°1, mai 2008)

Un descriptif de l'état initial du cours d'eau précisant :

- le bilan sédimentaire faisant ressortir les déséquilibres ;
- le diagnostic de l'état initial ;
- le report des principales zones de frayères ;
- le descriptif hydromorphologique du secteur comprenant une délimitation des principales zones d'érosion et de dépôt de sédiments ;
- le descriptif des désordres apparents dans le fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau ;
- l'analyse de la qualité des sédiments ;
- la faisabilité de la remise dans le cours des matériaux extraits.

Un programme annuel des travaux d'entretien précisant :

- les secteurs concernés par les opérations d'entretien ;
- la nature et la fréquence des interventions ;
- les techniques employées et les moyens matériels développés ;
- les profils de référence à respecter ;
- le suivi mis en place après les interventions ;
- les conséquences sur l'environnement.

Un plan de financement



**Intéressant ...
mais des limites**

Un descriptif de l'état initial

= bilan sédimentaire, zones de frayères, descriptif hydromorphologique (zones d'érosion et de dépôt de sédiments), désordres apparents dans le fonctionnement, qualité des sédiments, faisabilité de la remise dans le cours des matériaux extraits.

→ **Considère-t-on la démarche avec un T_0 correspondant au moment du diagnostic par le bureau d'étude ? Comment définir un état optimal pouvant permettre l'atteinte du bon état ou son maintien ? Comment le transport solide suffisant est-il pris en compte ?**

Un programme annuel des travaux d'entretien précisant :

- les secteurs concernés par les opérations d'entretien ; → **secteurs ou sectorisation par tronçon homogène du point de vue hydrogéomorphologique ?**
- la nature et la fréquence des interventions ;
- les techniques employées et les moyens matériels développés ;
- les profils de référence à respecter ; → **Etat de référence = état initial à T_0 ; la restauration est-elle possible pour concourir à l'atteinte du bon état ? Définition d'un profil optimal ?**
- le suivi mis en place après les interventions ;
- les conséquences sur l'environnement.

Une réflexion qui évolue (ONEMA, 2011) – 3 grandes étapes

1/3 Diagnostic global du fonctionnement hydrosédimentaire

1/ → Apports solides

Identification des zones d'érosion externe (primaires-secondaires), et internes (érosion latérale, stock en lit mineur ou masse en transit = formes fluviales – macroformes – bancs)



Erosion externe

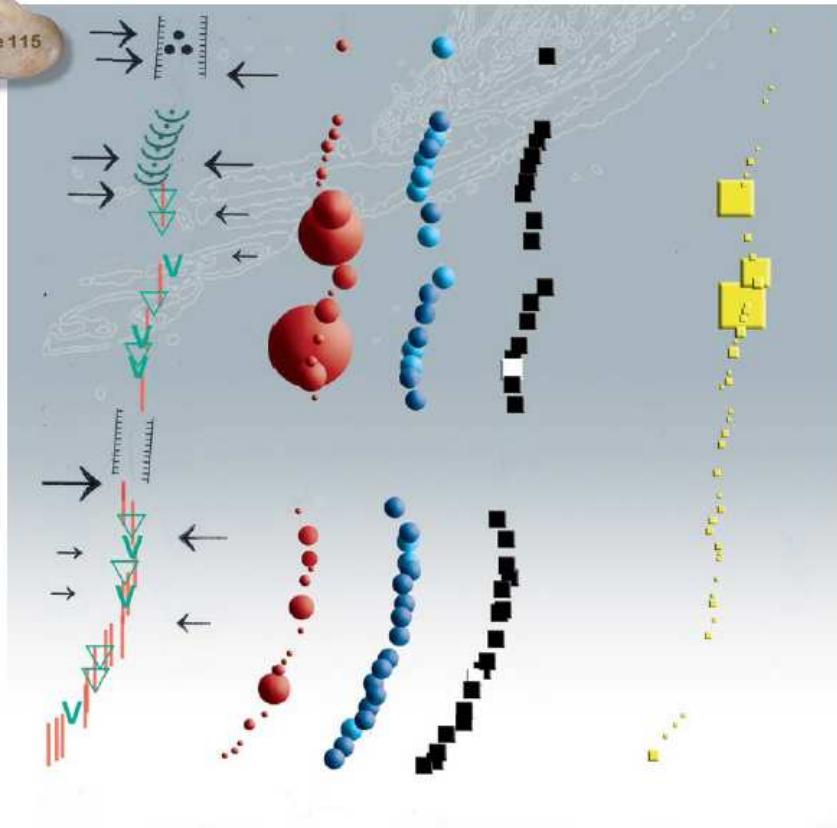


Erosion interne



Exemple de digitalisation des bancs alluviaux (L'Armançon. Les chiffres en bleu sont les distances en Km par rapport à la confluence avec l'Yonne) (Malavoi, 2006).

Figure 115



FORMES D'ÉROSION

Erosion de berges

Erosion de versants

- en formations meubles (moraines, éboulis, ...)
- Réptation
- Phénomène gravitaire
- Glisement de terrain
- Ravinement développé
- en formations de substrats calcaires :
- Eroulement

APPORTS EN SÉDIMENTS DES AFFLUENTS

- Très faiblement pourvoyeurs en sédiments
- Faiblement pourvoyeurs en sédiments
- Fortement pourvoyeurs en sédiments
- Très fortement pourvoyeurs en sédiments

DIVERS

- Cours d'eau
- Barrages
- Canyons

SURFACES ÉRODÉES (en m²)

- 10 000
- 5 000
- 1 000

PRODUCTIVITÉ SÉDIMENTAIRE

- Faible
- Importante
- Très importante

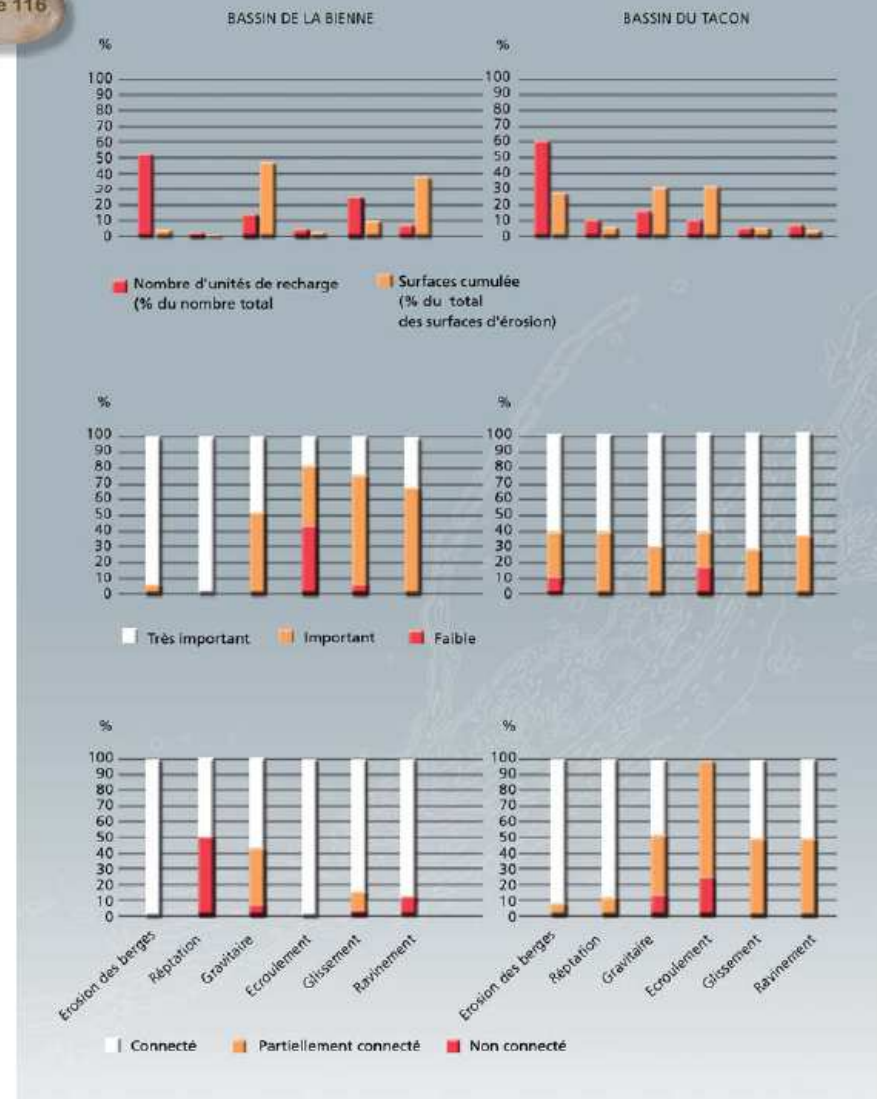
DEGRÉ DE CONNECTION DE LA FORME D'ÉROSION AU COURS D'EAU

- Non connecté
- Partiellement déconnecté
- Connecté

VOLUME ESTIMÉ DES ACCUMULATIONS DE MATÉRIAUX (en m³)

- 3 000
- 1 500
- 300

Figure 116



Caractéristiques de la recharge sédimentaire de la Bienne et du Tacon, son affluent principal (Landon et al., 2000).

Exemple de cartographie établie lors d'un diagnostic hydro-géomorphologique dans le bassin de la Bienne, affluent jurassien de l'Ain, sur près de 150 km de cours d'eau comprenant le cours principal et ses affluents pérennes (Landon et al., 2000).

Processus de recharge, localisation, stock, bilan de recharge, quantification

Figure 111

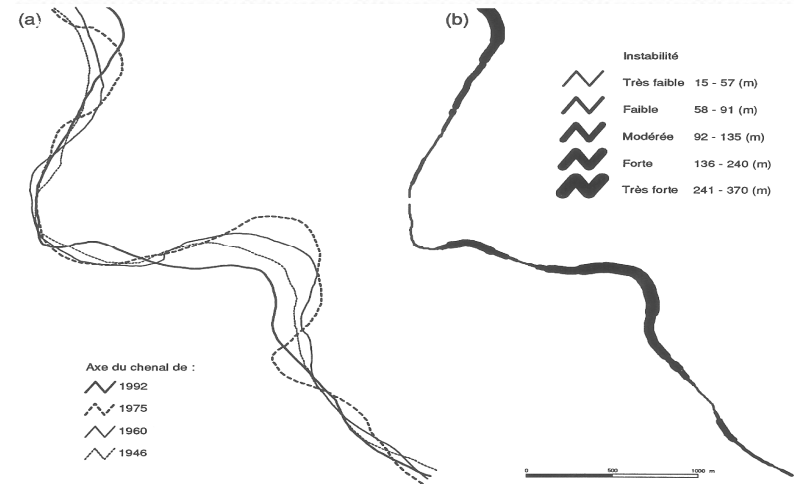


a © tous droits réservés
b- Fond BD ORTHO ® 2002. © IGN 2011

Ex. de quantification de l'érosion de berges



Peut s'accompagner de la dynamique en plan



Principaux problèmes : le temps pour les investigations de terrain et l'abondance des données disponibles

Mesures topographiques au droit d'une sinuosité active de l'Ain, permettant de connaître précisément les volumes sédimentaires injectés (Malavoi, 2006). Le graphe (c) présente une coupe de la berge au droit des profils 6 à 8.

2/ → Les dysfonctionnements hydrosédimentaires

- **Qualification et quantification des pressions/altérations** → base de données SYRAH (Onema/Cemagref) = 1^{er} niv d'information sur le risque d'altération du transport solide (Tronçon – Masse d'eau) à compléter par les données d'extractions, les travaux sur les versants et de correction torrentiel (RTM), piégeage dans les ouvrages, etc.

- **Qualification et quantification de la dynamique altimétrique des fonds alluvionnaires** ; incision, exhaussement, stabilité. Dépend souvent de la donnée disponible (profils de réf.) , nécessite souvent de recaler en plan et en cotes, de relativiser les résultats en fonction de la précision des documents. Peut être complété par un diagnostic terrain (géométrie du lit, affleurement, pavage, basses terrasses stabilisées par la végétation (datable par dendrochronologie), affaissement de nappe, déchaussement d'ouvrages, sous cavage racinaire systématique).



3/ → Bilan sédimentaire

« *Sediment Delivery Ratio* » =
 Tonnage transporté par érosion du
 chenal – tonnage fourni par les
 versants (Walling, 1983).
 Exhaussement < (Bilan = 0) < incision

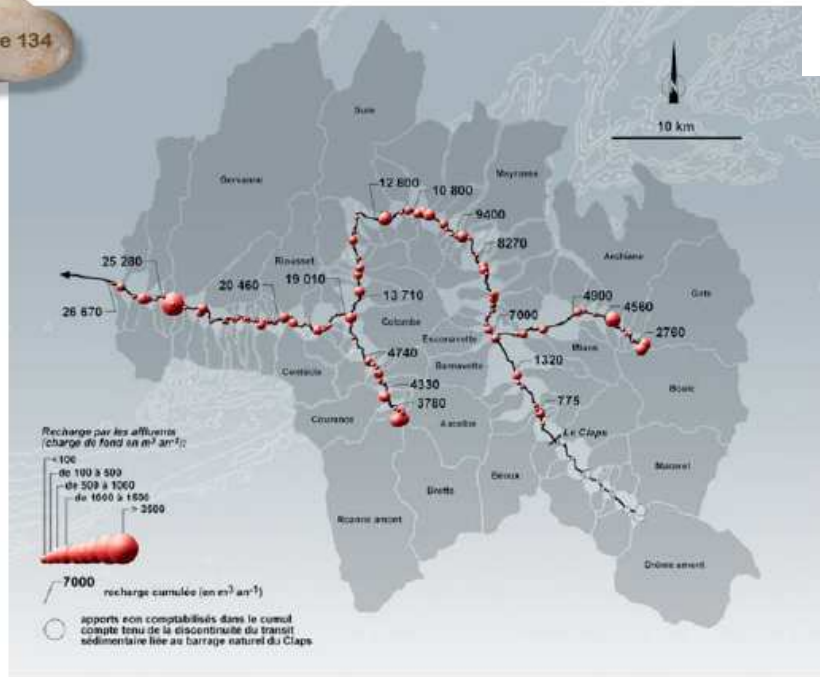
Figure 133



Exemple de cartographie simplifiée d'un bilan sédimentaire à l'échelle d'une UHC.

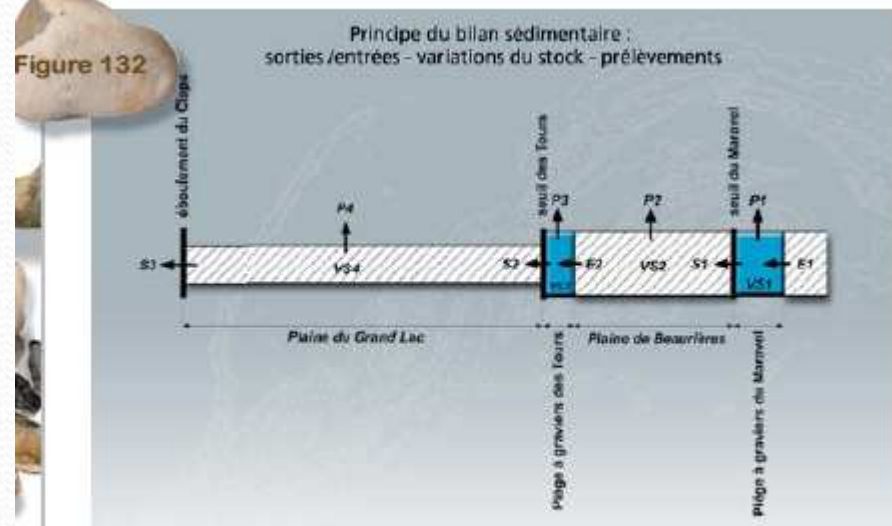
→ Différentes approches possibles

Figure 134



Estimation de la recharge sédimentaire de la rivière Drôme en amont de Crest par ses affluents, fondée sur la relation empirique entre la superficie drainée et le charriage annuel ci-dessous (Liébault, 2003).

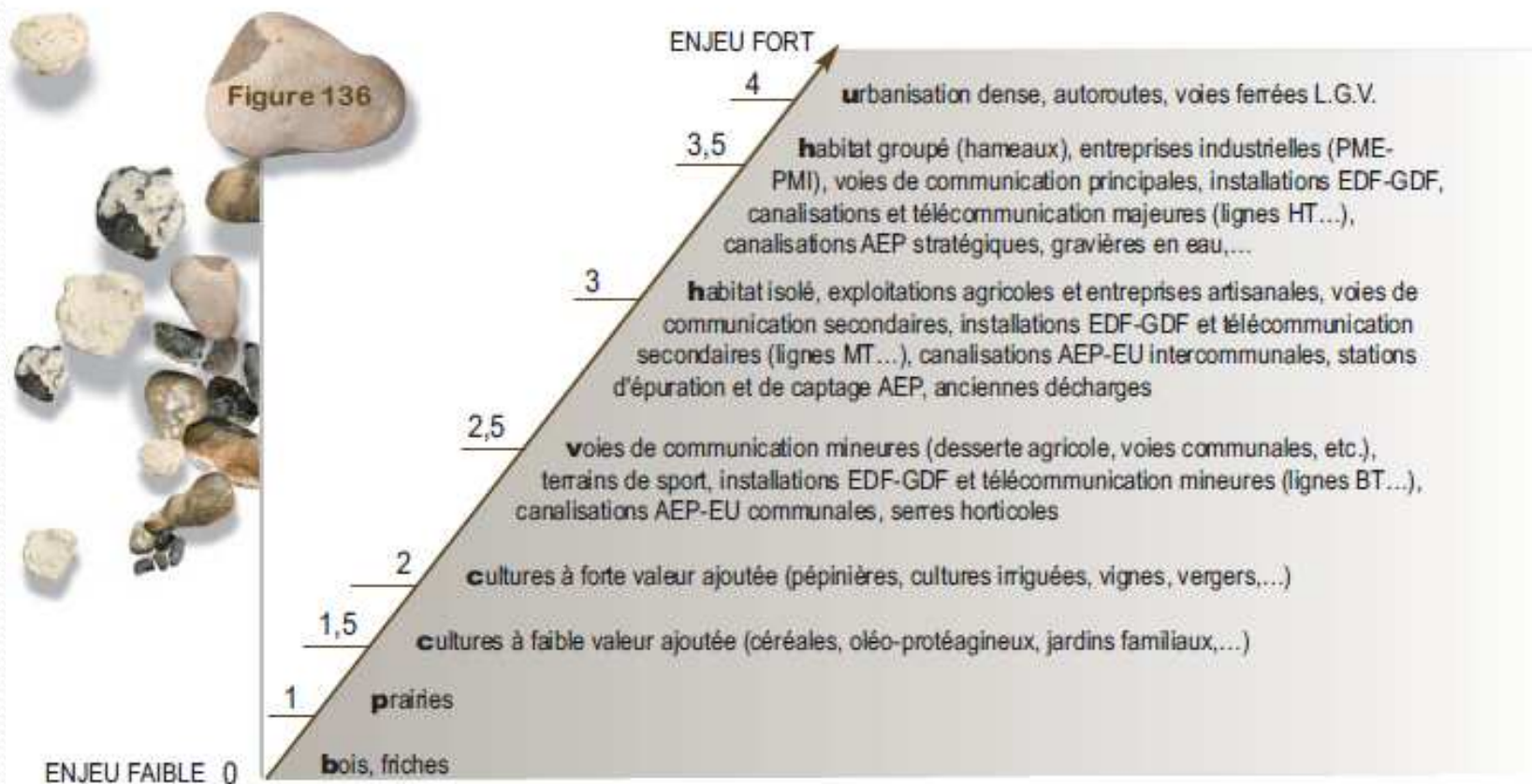
Figure 132



Principe du bilan sédimentaire à l'échelle du tronçon (Liébault et al., 2002).

2/3 Diagnostic des enjeux

- Les enjeux socio-économiques liés à un excédent (en rapport avec les risques d'inondations – érosion)



Exemple de grille de détermination du niveau d'enjeu socio-économique susceptible d'être menacé par des risques d'inondation/érosion liés au transport solide.



➤ **Les enjeux liés à un déficit**

- ✓ Baisse de productivité des captages,
- ✓ Atteinte à la stabilité des ouvrages,
- ✓ Dysfonctionnement des écluses (manque de tirant d'eau),
- ✓ cavitation des turbines
- ✓ Atteintes aux milieux naturels (lit mineur = disparition de la diversité des substrats – lit majeur = déconnexion, assèchement)

→ Ces enjeux peuvent nécessiter des actions de **restauration du transport solide**

➤ **Les enjeux liés aux facteurs de fonctionnement/dysfonctionnement hydrosédimentaire**

- ✓ Franchissabilité des ouvrages hydrauliques - Effacement d'ouvrages – décroissement
- ✓ Espace de liberté – maîtrise foncière – qualité des sédiments
- ✓ Déstabilisation des ouvrages RTM, atteintes à la stabilité des versants
- ✓ Maintien des connexions avec les versants,
- ✓ Maintien de la mobilité des alluvions (essartage, scarification, etc)
- ✓ ...

3/3 Détermination des orientations de gestion

Tableau 16

Proposition d'un schéma de synthèse des étapes à suivre dans le cadre de l'élaboration d'un plan de gestion du transport solide.

Diagnostic

Enjeu

Orientations

Phases	Livrables
Quelles sont les échelles de gestion ?	Détermination des unités cohérentes de gestion (UHC)
Quels sont les apports solides ?	
Quels sont les dysfonctionnements hydrosédimentaires ?	
Quels sont les enjeux de gestion par UHC ?	Synthèse du fonctionnement par UHC et par BV
Quelles sont les grandes orientations de gestion par UHC ?	Elaboration de cartes de synthèse par UHC
Quantification et qualification plus fine des enjeux par site	Approche qualitative des caractéristiques physiques (section, cote de profil en long) qui sont nécessaires au bon fonctionnement des enjeux structurants
Elaboration des aléas et des modalités de gestion par site en fonction des enjeux sélectionnés	
Détermination des profils au droit des sites d'intervention et des modalités de gestion	Profils ou section par site avec ses modalités de gestion
Compilation des modalités de gestion par site par UHC et rebouclage en inter UHC	Plan de gestion finalisé

**Bilans
Etat de réf.
Potentiel bon
fonctionnement**

**Transport
solide
suffisant**

Coûts

➤ Carte de synthèse

n° tronçon

Enjeux

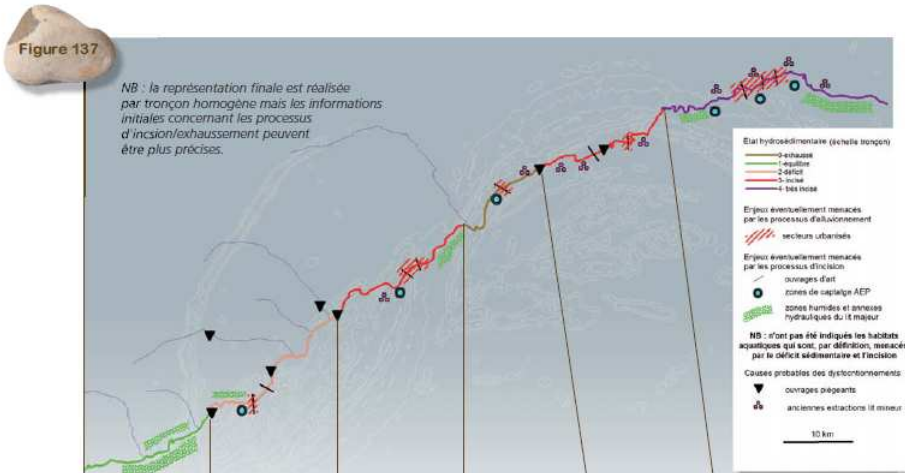
Bilan sédimentaire

Etat hydrosédimentaire

Fonctionnement écologique

Causes de dysfonctionnements

Orientation de gestion



Numéro de tronçon (T)	4	5	6	7	8	9
Enjeux menacés par alluvionnement		traversée urbaine	traversée urbaine	traversée urbaine	traversée urbaine + habitation localisée	traversée urbaine
Enjeux menacés par déficit/incision		puits AEP 500 hab - petite ZH	puits AEP 1000 hab - ZH - ponts		ponts - digue du village	puits AEP 5000 hab - ponts - digues - protections de berges - Zones humides et annexes hydrauliques
Bilan sédimentaire	Asa = 8-10000 m³ Asi = 8-9000 m³ Cc = 10-20000 m³	Asa = 5-6000 m³ Asi = 3-4000 m³ Cc = 10-20000 m³ bilan négatif	Asa = < 1000 m³ Asi = 7-8000 m³ Cc = 10-20000 m³ bilan très négatif	Asa = 8-10000 m³ Asi = 2-3000 m³ Cc = 5-10000 m³ bilan positif	Asa = < 1000 m³ Asi = 5 + 4000 m³ Cc = 10-20000 m³ bilan très négatif	Asa = 3-5000 m³ Asi = 6-8000 m³ Cc = 10-20000 m³ bilan très négatif
Etat hydrosédimentaire	bilan équilibré	déficit manifeste, pas d'incision notable actuellement mais probable à court terme	incision marquée (1 m en 20 ans)	léger exhaussement (0.3 m en 20 ans)	incision marquée (1 m en 20 ans)	incision marquée (2 m en 20 ans)
Fonctionnement écologique	Equilibre	Pas de dysfonctionnement notable	déficit en habitats sur substrat alluviaux grossiers - assèchement ZH aval en cours	Pas de dysfonctionnement notable	déficit en habitats sur sédiments grossiers - déficit en zones de reproduction sur substrats alluviaux grossiers	déficit en habitats sur sédiments grossiers - déficit en zones de reproduction sur substrats alluviaux grossiers - assèchement ZH amont - déconnexion annexes hydrauliques
Causes dysfonctionnements	Equilibre	1 ouvrage piégeant en amont du T - 1 petit seuil piégeant au milieu du T - 1 seuil piégeant sur 1 affluent - 2 ponts sous dimensionnés favorisant l'alluvionnement localisé	ouvrage piégeant en fin de T amont-ouvrage piégeant sur affluents - anciennes extractions	exhaussement dû à l'érosion progressive du T amont - apports de remous solide du seuil aval	ouvrage piégeant en fin de T amont-ouvrage piégeant en milieu de T - anciennes extractions	déficit cumulé des tronçons amont - nombreuses anciennes extractions en lit mineur
ORIENTATIONS DE GESTION	préservation Qs	Curage au droit des ouvrages de franchissement (ou redimensionnement) et réinjection dans le T en aval du seuil - dérèglement éventuel de l'ouvrage amont	gestion de l'ouvrage pour améliorer transit sédimentaire - espace de mobilité - traitement localisé des atterrissements au droit des zones à enjeux	effacement du seuil aval - curages localisés au droit des zones à enjeux - réinjection dans T aval	effacement ouvrage amont - espace de mobilité	restaurer transit sédimentaire amont - espace de mobilité

Exemple de carte de synthèse par tronçon d'une unité hydrographique cohérente (UHC). Sont représentés les éléments de diagnostic hydrosédimentaire et écologique, les enjeux concernés et les grandes orientations de gestion préconisées.

Conclusion : le plan de gestion, une démarche en étapes

➤ Identifier :

- Le fonctionnement hydrogéomorphologique
- Les dysfonctionnements du transport naturel des sédiments (→ nécessité de les qualifier voire de les quantifier) et qualifier les enjeux
- Les tronçons hydrogéomorphologiques homogènes et les UHC (adaptés/enjeux)

➤ Solutionner et évaluer :

- Des solutions techniques existent → nécessité d'évaluer leur faisabilité technique et financière
- Des solutions techniques sont encore à éprouver → nécessité de recherche-développement, de sites d'expérimentation, de suivis d'opérations

➤ Convaincre (les décideurs...) :

- Outil d'aide à la décision, comprendre pour mieux choisir...
- Présenter clairement les enjeux et solutions,
- Hiérarchiser les priorités en terme d'actions, justifier les choix (ne pas agir = action)
- Adapter le pas de temps en fonction des processus (durée du plan de gestion 5 ans, 10 ans...)

Merci pour votre attention !



UNIVERSITÉ
LUMIÈRE
LYON 2
UNIVERSITÉ DE LYON