



**Saint-Martin-du-Vieux-Bellême
- 27 juin 2016 -**

Techniques de restauration morphologique pour le bon état écologique des cours d'eau

*Michel BRAMARD,
Onema*





Les grands principes

Pour quels objectifs ?

Par quels moyens ?

Interventions sur les causes de dysfonctionnement ou sur les conséquences ?

Où intervenir ? Quelle(s) priorité(s) ? Quel linéaire ?

Avec quelles techniques ?

Comment bien les appliquer
Evolutions récentes

Comment restaurer?

- 1 préserver

Empêcher les dégradations nouvelles, la répétition des pratiques dégradantes



Morpho et hydro

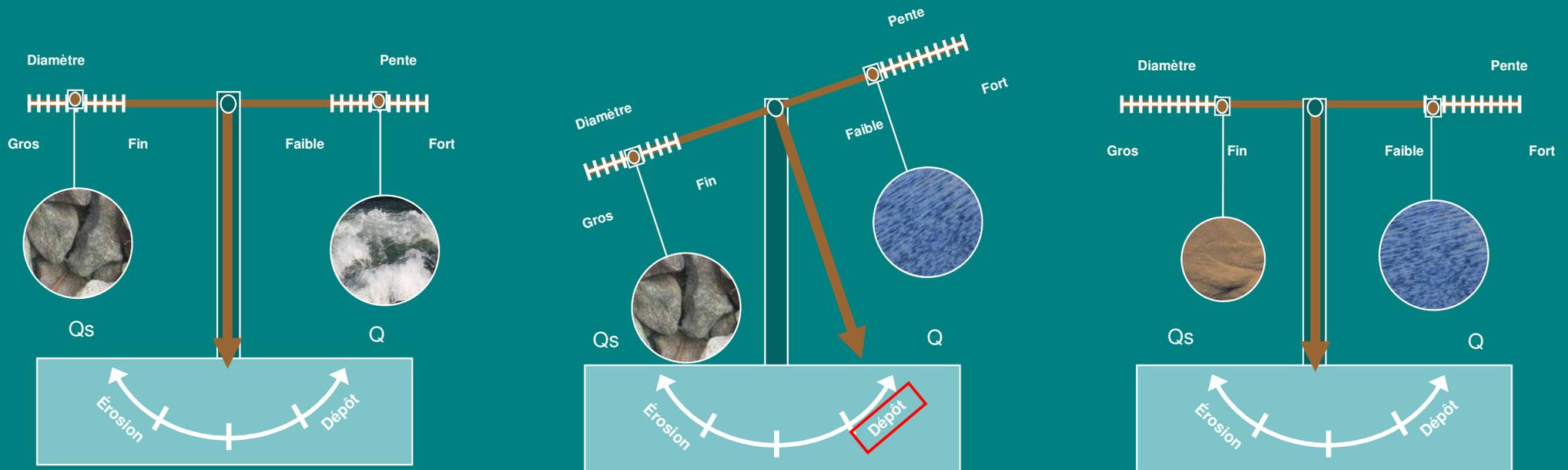


Comment restaurer?

- 1 préserver
- 2 enlever les contraintes

Enlever seuils, barrages, digues, busages (des cours d'eau enterrés), protections de berges, étangs, prélèvements d'eau...

Attention : chaque action sur les débits (solide et liquide), ou directement sur la morphologie, entraîne une réaction du cours d'eau



principe de l'équilibre dynamique (d'après Lane 1955)

Conservation

Restauration

Réhabilitation

Renaturation

Substitution

Création

- 1 préserver
- 2 enlever les contraintes
- 3 restaurer

-**Restauration** totale ou partielle, d'un milieu rural ou urbanisé, en restaurant des trajectoires, en se référant à des écosystèmes connus ou inconnus, en restaurant des fonctionnalités, des services écosystémiques, des aménités...

FONCTIONNEMENT DE L'ÉCOSYSTÈME EN FONCTION DU TEMPS ET DES PERTURBATIONS

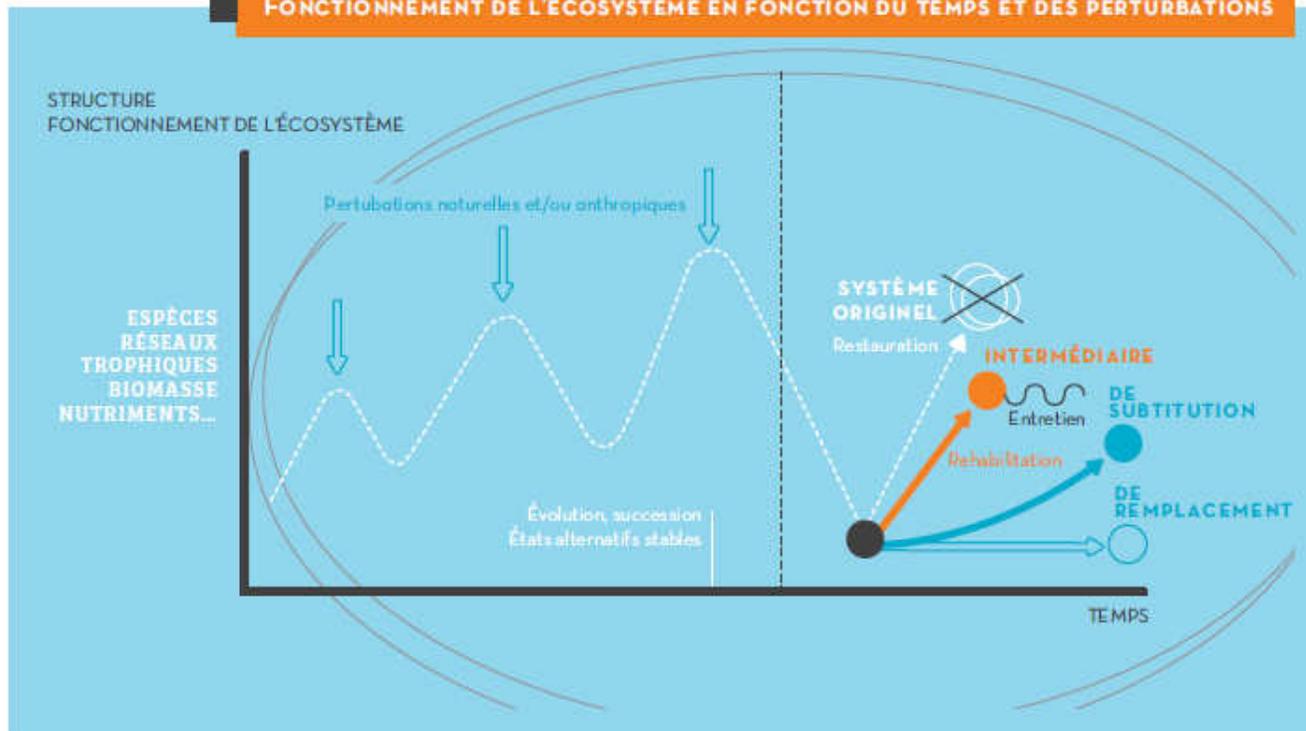
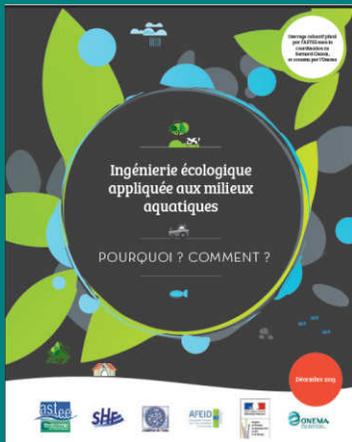


FIGURE 1

BRADSHAW, 1984 ; DOBSON ET AL., 1997





Comment restaurer?

- 1 préserver
- 2 enlever les contraintes
- 3 restaurer

Par quelle méthode?

- ***par analogie***, (reproduire les caractéristiques morphologiques d'un tronçon non altéré du même cours d'eau)

- ***par approche empirique régionalisée***, par mimétisme des formes fluviales caractéristiques à l'échelle d'une région homogène
- ***par méthode analytique***, à partir d'équations de transport solide et de modèles hydrauliques, pour une prédiction des différents processus d'ajustement attendus (là où les caractéristiques du bassin ont été largement modifiées du fait des aménagements du lit mineur et de l'occupation des versants et ne permettent pas de se baser sur des modèles historiques.*)

Les différentes approches sont généralement combinées.

(* Brookes et Shields, 1996 ; Hey, 2006 ; Rosgen, 2007) in LE LEU, W. 2013



Comment restaurer?

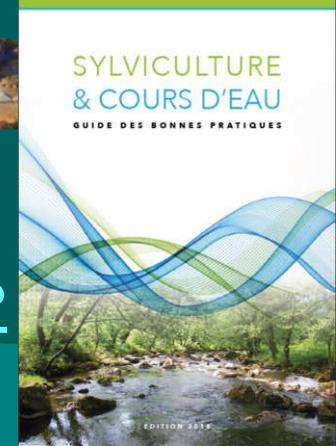
- 1 préserver
- 2 enlever les contraintes
- 3 restaurer

Une vraie restauration sensu stricto du lit mineur apparaît souvent difficile à mettre en place compte tenu des modifications importantes intervenues à l'échelle du BV et du lit majeur, des usages qui s'y sont développés, des pressions sociales, des coûts...

Les objectifs de restauration doivent viser à :

-une meilleure résilience (limitation des coûts d'entretien, meilleure réponse aux changements et aléas climatiques...)

*-améliorer certaines fonctionnalités (et aménités)
(autoépuration, régulation des crues, soutien des étiages, habitats naturels, attrait paysager, ressource halieutique...)*



Comment restaurer?

- 1 préserver les cours d'eau

Travailler en priorité sur les causes plutôt que sur les conséquences :

Eviter



BV et lit majeur : maintenir ou rétablir de bonnes pratiques agricoles et forestières, couverture hivernale des sols, haies, Ralentissement dynamique des crues, ZH...

Infiltration des eaux pluviales...

...

Application du principe

Eviter

Réduire

Compenser

(http://www.developpement-durable.gov.fr/IMG/pdf/Doctrine_ERC.pdf)

semis direct maïs

<http://assainissement.developpement-durable.gov.fr/pluvial.php>

<http://www.graie.org/graie/index.htm>

<http://www.certu.fr/>

<http://www.caterbn.fr/dossiers-thematiques/ruissellement-et-erosion>



Comment restaurer?

- 1 préserver les cours d'eau

Travailler en priorité sur les causes plutôt que sur les conséquences :

Eviter

Berges : mises en défends, passerelles, abreuvoirs...



Photo P. Cordouen

haie sur talus



Photo ONEMA SD 79

rebouchage de drains



M. Bramard

clôture déportée



Photo P. Cordouen

fascine



pompe de prairie

http://www.parcumorvan.org/fic_bdd/pdf_fr_fichier/13213_55118_Les_systemes_d_abreuvement_du_betail.pdf

http://agriculture.wallonie.be/apps/spip_wolwin/IMG/pdf/Llts16.pdf

http://www.areas.asso.fr/images/site_demo_haies_fascin/Etapes_plantations.pdf

Comment restaurer?

- 1 préserver les cours d'eau

Réduire

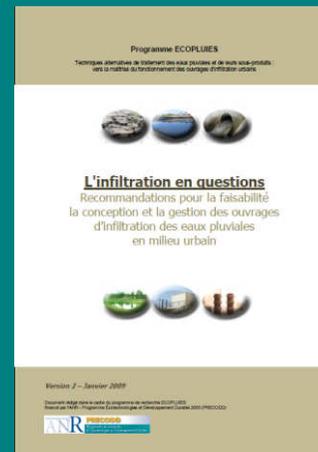
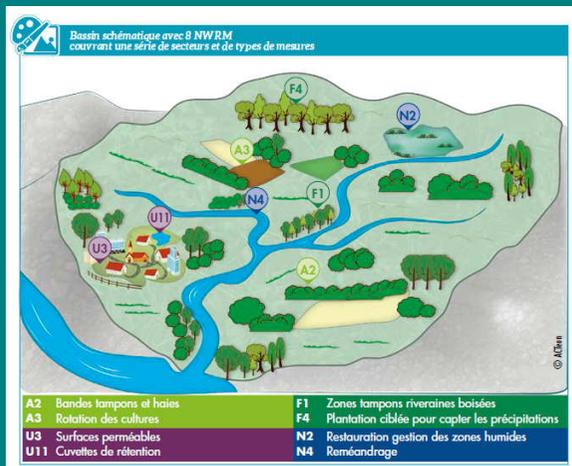
Correction de niveau 1



fossé d'infiltration



bassin d'assainissement enherbé



<http://zonestampons.onema.fr/qu-est-ce-qu-une-zone-tampon/les-differentes-zones-tampons/description-visuelle/les-dispositifs-de-type-fosse>

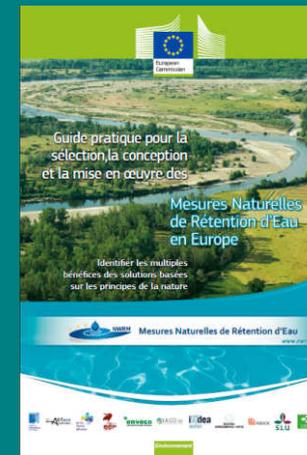
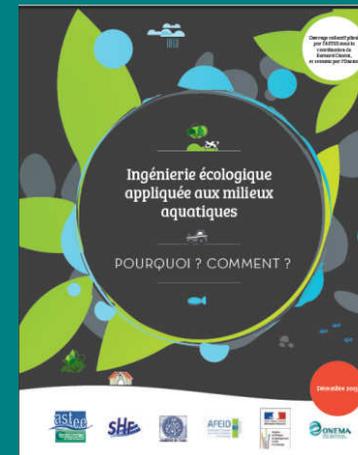
<http://zonestampons.onema.fr/comment-mettre-en-place-une-zone-tampon/elements-et-outils-d-aide-a-la-mise-en-place/aspects-techniques/guide-de-dimensionnement-des-zones-tampons-enherbees-ou-boisees>

Comment restaurer?

- 1 préserver les cours d'eau

Réduire

Correction de niveau 1



Comment restaurer?

- 1 préserver les cours d'eau

Réduire

Correction de
niveau 1



M Bramard

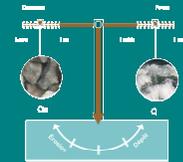
bassin de rétention sec piégeant les sédiments grossiers



M Bramard

bassin d'assainissement en eau

Attention : chaque action sur les débits ou sur la morphologie entraîne une réaction du cours d'eau et peut occasionner des dommages collatéraux

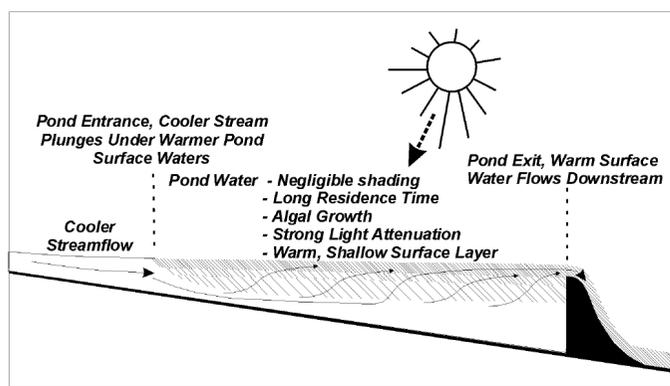


Les bassins avec un volume d'eau mort peuvent, en plus du piégeage des granulats grossiers, avoir des effets très pénalisants pour la qualité d'eau (eutrophisation, T°...)

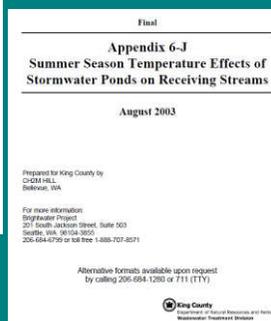
Les bassins d'assainissement, mal conçus, ou mal suivis et entretenus, peuvent avoir une efficacité faible ou peu durable http://www.ouest.cerema.fr/evolution-de-l-assainissement-routier-31-mai-2016-a1436.html?id_rubrique=141

Si l'écrêtement hydraulique est insuffisant, un déséquilibre entre Q solide et Q liquide est créé, entraînant un déficit pour le cours d'eau

Conceptual model of pond heating



Maxted, J.R., McCready, C.H., and Scarsbrook, M.R. 2005. Effects of small ponds on stream water quality and macroinvertebrate communities. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 39:1069-1084.



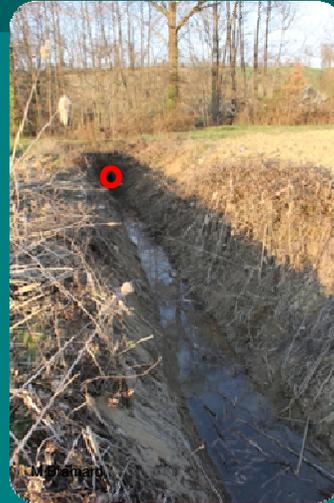
Comment restaurer?

- 1 préserver les cours d'eau

Réduire

Correction de niveau 2

proche du cours d'eau ou dans le lit mineur



fossé sur-creusé bloquant les sédiments



fossé apportant de gros volumes de sédiments grossiers



raquette de diffusion



redents « rupteurs de flux »

ouvrages hydrauliques, insuffisants pour limiter les impacts des MES, pour une infiltration et un refroidissement de l'eau

Il faut toujours évaluer les modifications induites sur le milieu pour réaliser, si nécessaire, un accompagnement (séquence ERC)

Si des structures limitent les arrivées de sédiments vers le cours d'eau (buse sous-dimensionnée, mal calée, curage régulier des fossés, zones humides artificielles, bassins...), il peut être nécessaire de recharger le cours d'eau en granulats grossiers pour compenser le déficit de matériaux et empêcher les phénomènes d'incision

- 1 préserver

- 2 enlever les contraintes

Enlever seuils, barrages, digues, bourrelets de curage, busages (des cours d'eau enterrés), protections de berges, étangs, prélèvements d'eau excessifs...



seuil à madrier bloquant les litières



ouvrage non ouvert en période de crue



important bourrelet de curage



début effacement avril 2016

M. Bramard

effacement de plan d'eau sur cours



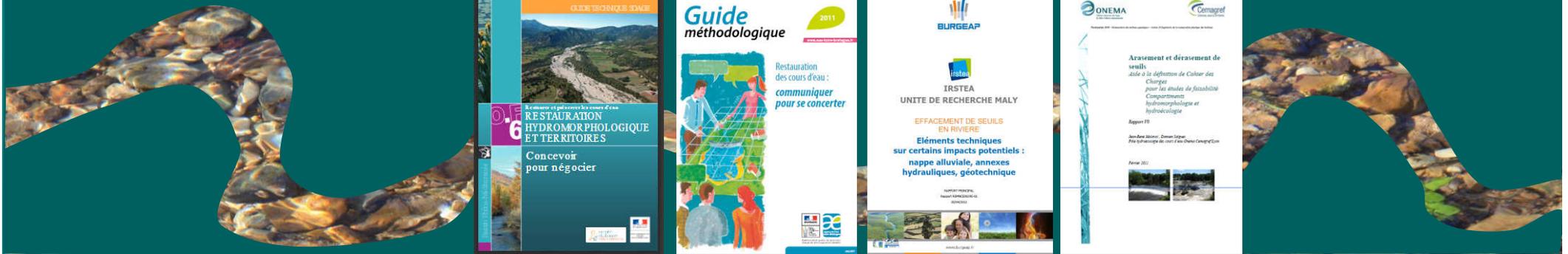
juin 2016

V. Sechet



M. Bramard

pompage sur petit cours d'eau



- 1 préserver
- 2 enlever les contraintes

Enlever seuils, barrages, digues, bourrelets de curage, busages (des cours d'eau enterrés), protections de berges, étangs, prélèvements d'eau excessifs...

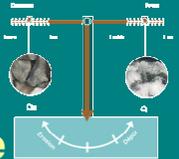
Par exemple :

- une remise à ciel ouvert entrainera un ensoleillement accru (réchauffement, développement algal...)
- un effacement d'ouvrage peut entrainer un relargage de phosphore accumulé dans les sédiments

Il faut parfois plusieurs années pour que le milieu se rééquilibre

(5-6 ans pour avoir une strate arbustive et de l'ombrage, 20 à 30 ans pour avoir toutes les fonctionnalités d'une ripisylve)

Attention : chaque action sur l'hydrologie ou la morphologie entraîne une réaction du cours d'eau (surveiller, accompagner si nécessaire)



⇒ Aide à la reprise du remous solide, restauration de connexions latérales, adaptation de l'alimentation des zh, surveiller l'érosion régressive, les migrations latérales, l'état sanitaire de la ripisylve... et accompagnement social...

http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/seine_amont/journee_riviere/19eme/intervention_onema_mb_techniques_ambitieuses.pdf
<http://www.cpa-lathus.asso.fr/tmr/fichiers/117/12/ONEMA%20-%20MBRAMARD%20-%20Restauration%20d%20zh.pdf>
<http://www.onema.fr/Preserver-et-restaurer-l-hydromorphologie-et-la-continuee-des-cours-d-eau>
<http://www.onema.fr/RESTAURATION-supprimer-les-impacts>



- 1 préserver
- 2 enlever les contraintes
- 3 restaurer

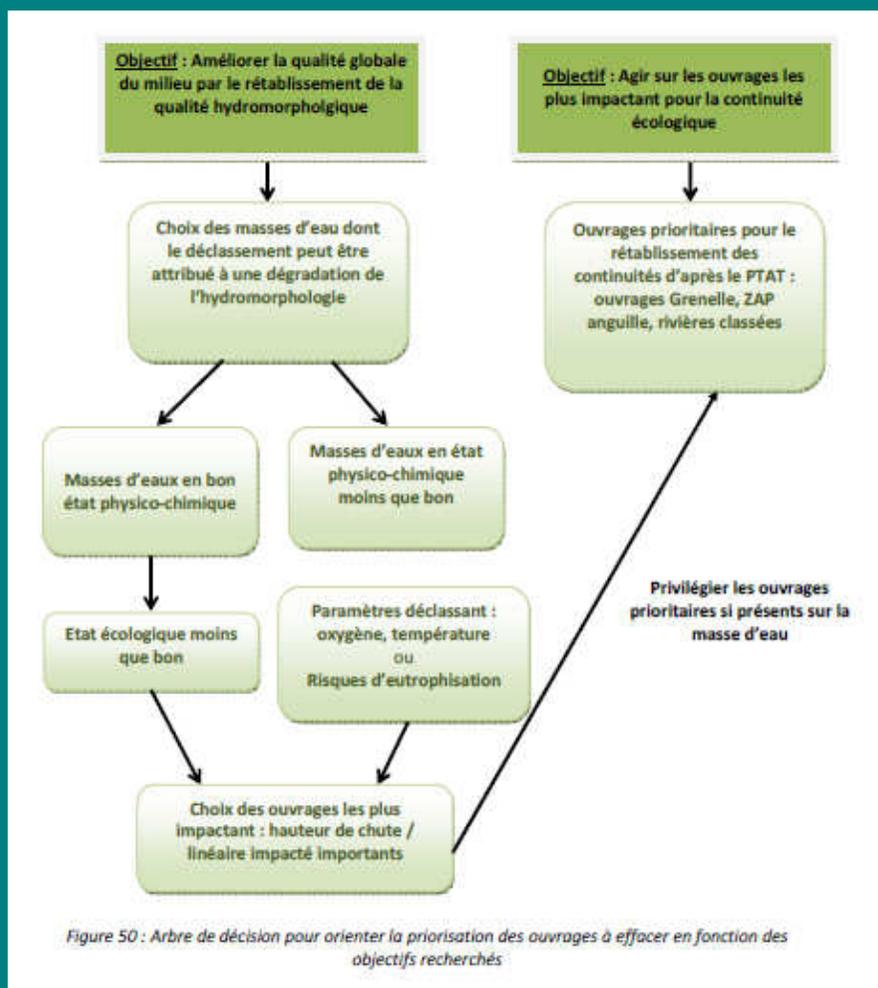
- 1 : commencer par l'amont
(pour la continuité des migrateurs amphihalins on commence par l'aval)

Pour l'hydromorpho, la planification des travaux doit commencer par l'amont du cours d'eau : BV, pluvial, fossés, CE temporaires, sources, ruisseaux...
(mais sur le chantier on travaille préférentiellement de l'aval vers l'amont : réduction des impacts, meilleure visibilité des travaux).

Beaucoup d'enjeux importants concernant la qualité d'eau (eutrophisation, ombrage, ...) et la morpho (régime hydrique, transit sédimentaire...) se jouent sur les têtes de bassin. Cela nécessite d'intervenir de façon globale à des échelles importantes.

Toutefois, il peut être judicieux de prioriser les tronçons les plus fortement impactés (un long bief, un ouvrage de grande hauteur...).

- 3 restaurer



- ### Propositions pour le suivi des opérations d'effacement
- ⇒ Suivi minimal : suivre les recommandations de l'ONEMA
 - ⇒ Réaliser des mesures plus ciblées : stations à l'amont de l'ouvrage (amont de la zone d'influence) et à l'aval
 - ⇒ Etat initial : débiter le suivi plusieurs années avant (minimum 3 ans) → anticiper les travaux, choix des ouvrages à suivre à l'avance
 - ⇒ Paramètres de physico-chimie à cibler : température, O₂, chlorophylle a + phéopigments
 - ⇒ Suivi des processus : autoépuration, développement algal (eutrophisation)
 - ⇒ Utiliser le logiciel Hype de traitement des données pour faciliter l'analyse
 - ⇒ Valoriser les sciences participatives pour réaliser les suivis (exemple suivi de l'eutrophisation à l'amont des retenues par les associations de pêcheurs) → permet d'inclure les acteurs locaux

Pour l'hydromorphologie, la stratégie de l'Agence SN consiste à agir en priorité sur les masses d'eau en état moyen qui sont déclassées par la biologie*.

*Arbre de décision in BOUGHABA J. 2014, Evaluation des impacts de l'effacement des obstacles à l'écoulement sur qualité physico-chimique des cours d'eau. Etat des lieux des connaissances et préconisations

- 3 restaurer

-2 : Travailler à échelle pertinente :

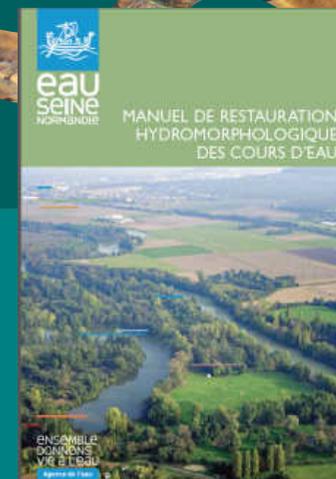
Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau Agence SN 2007

< 20 fois la largeur (LPB) : échelle pouvant permettre de montrer des techniques (sensibilisation, communication)

Attention, les techniques généralement employées à cette échelle ne sont pas toujours adaptées à une échelle plus grande et peuvent véhiculer une image peu pertinente et peu durable (sur-aménagement, jardinage...)

- 20 à 100 fois la largeur : échelle permettant d'évaluer des effets localisés, de tester des modalités techniques, opérationnelles et financières, de diversifier les conditions naturelles ou les pressions

> à 100 fois la largeur : échelle qui devrait (!?) permettre une efficacité des travaux de restauration (et une réponse générale significative des indicateurs biologiques)





- 3 restaurer

Dans le cadre d'un programme pluriannuel, il faut privilégier les actions à grande échelle sur les secteurs à forts enjeux, permettant des gains chiffrables.

! Une répartition géographique des actions peut s'avérer nécessaire pour susciter ou maintenir une adhésion des acteurs locaux.



- 3 restaurer

Guide SUIVI Scientifique MINIMAL

Reméandrage, remise en fond de talweg, recharge en granulats, modification de la géométrie du lit mineur : minimum 50 W
(50 fois la largeur naturelle du cours d'eau à pleins bords)

Effacement ou contournement d'ouvrage :

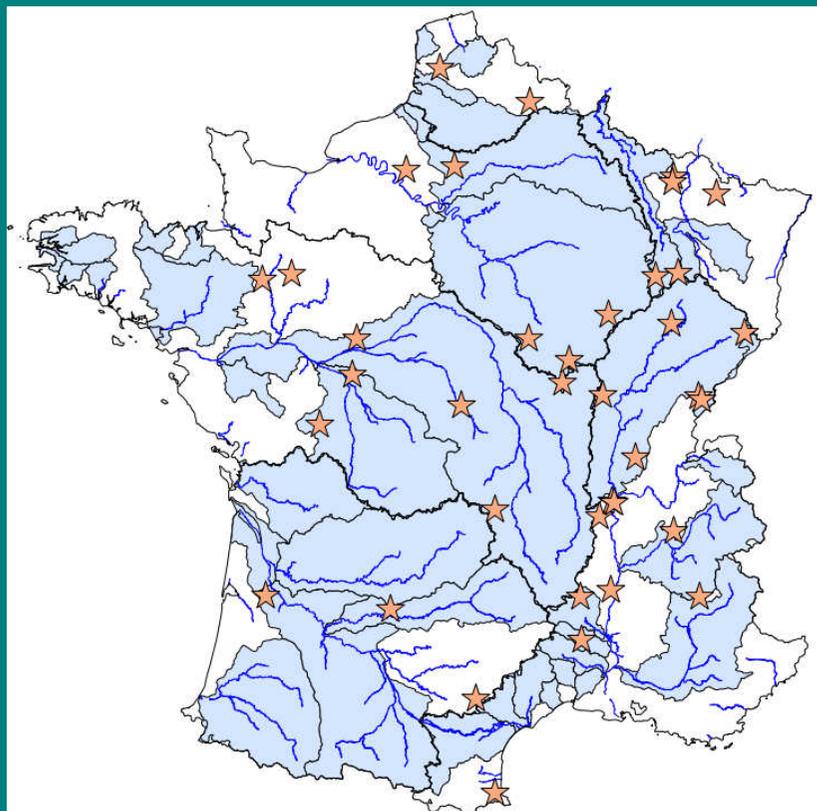
- ouvrage sans plan d'eau amont : 2 m
- ouvrage avec plan d'eau : **50 W** (largeur naturelle et non largeur dans l'emprise de la retenue)

Petits cours d'eau : si la largeur pleins bords est inférieure à 6 m, le linéaire restauré ou regagné doit être au minimum de **300 m**

http://www.irstea.fr/sites/default/files/ckfinder/userfiles/files/PoleLyon_2010_Restauration_SUIVI-MINIMAL-V1.pdf

<http://www.onema.fr/IMG/pdf/aide-preco-suivis-restauration-v20121022.pdf>

- 3 restaurer



Projet s'intégrant au Centre National
pour la Restauration des Rivières

extrait de la présentation à l'AFEPTB

Anne Vivier, Marlène Rolan-Meynard

Contributeurs : Josée Peress, Gabriel Melun, Yorick Reyjol et Philippe Dupont

Saint-Martin-du-Vieux-Bellême 2016: Techniques de restauration morphologique pour le bon état écologique de

Qu'est-ce qui fonctionne?

Projet « Sites de démonstration »

Suivi des opérations de restauration physique
des cours d'eau en France métropolitaine
(APPLICATION DU SST)

Aujourd'hui :

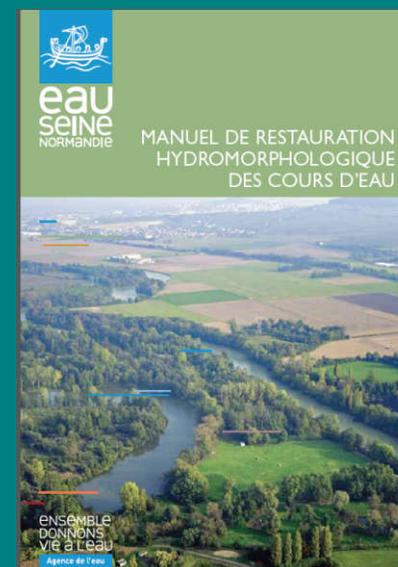
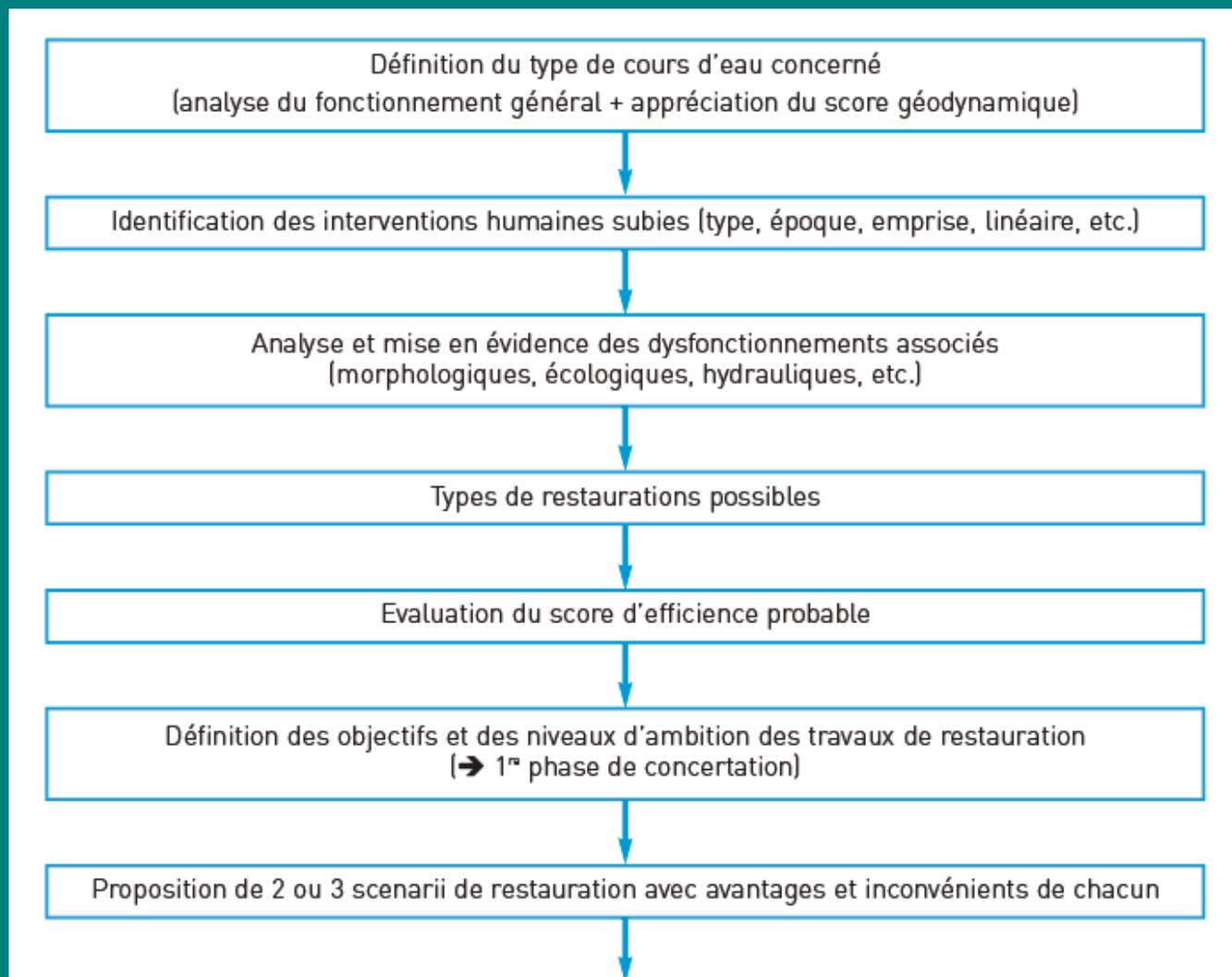
40 sites candidats « Sites de démonstration »

24 dans le périmètre des EPTB

Objectif à atteindre
60 sites minimum en 2018 !



- 3 restaurer : comment établir un programme de restauration





2007

2011

- 3 restaurer : choisir les bonnes techniques



Type de dysfonctionnement	Niveau d'ambition souhaité R1 à R3	Familles de travaux envisageables à l'échelle locale	Remarques et précautions à prendre
Métamorphose fluviale liée à l'incision du lit mineur	R1	Action à l'échelle globale indispensable. On peut en partie freiner la métamorphose « tressage – méandrage » par un entretien systématique de la végétation du lit moyen (bande active) pour éviter une fermeture trop rapide du milieu alluvial	
	R2		
	R3		
Disparition des substrats liée à l'incision du lit mineur	R1	Apport de matériaux (fiche 5) + structures de blocage (fiches 3 et 6)	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des alluvions de nature pétrographique et de granulométrie équivalente à celles que l'on devrait trouver sur le site à restaurer. - Régaler les alluvions pour ne pas trop réduire la section d'écoulement. - Plus le score physique est élevé, moins l'apport de matériaux sera nécessaire. - <u>Attention à l'aggravation du déficit aval.</u>
	R2	Apport de matériaux (fiche 5) + structures de blocage (fiches 3 et 6)	
	R3	Apport éventuel de matériaux (fiche 5) + structures de blocage (fiches 3 et 6) + espace de liberté	
Abaissement de la nappe lié à l'incision du lit mineur (cf. lit majeur)	R1	Mise en place de seuils (fiche 6)	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Attention aux impacts liés à la présence de seuils.</u> - Plus le score physique est élevé, moins la hauteur des seuils sera importante.
	R2	Mise en place de seuils (fiche 6)	
	R3	Mise en place de seuils (fiche 6) + espace de liberté	

ATTENTION : en quelques années la connaissance des techniques et de leurs effets sur le milieu a fortement évolué.

Par exemple : l'utilisation des seuils n'est plus guère recommandée en matière de restauration morphologique des cours d'eau

Les retours d'expérience de restauration par recharge en granulats sont beaucoup plus nombreux

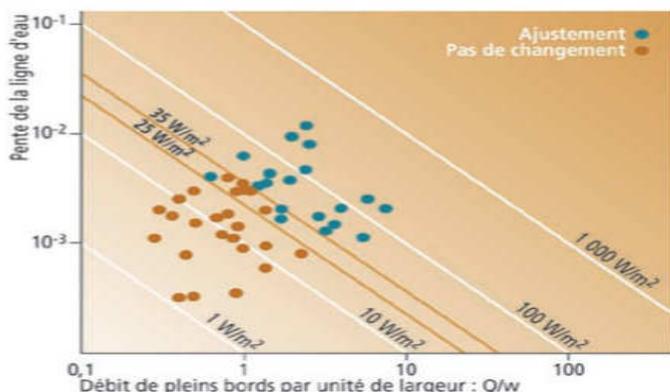
Bien tenir compte des avertissements et recommandations

↑ Figure 52 : Dysfonctionnement au sein du lit mineur ; incision. ≡

- 3 restaurer : évaluer le score d'efficience probable

Paramètre	Note	0	2,5	5	10
Puissance spécifique		< 10 W/m ²	10-30 W/m ²	30-100 W/m ²	> 100 W/m ²
Érodabilité des berges		Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Potentiel d'apports solides		Nul	Faible	Moyen	Fort
Emprise disponible		1 largeur de lit	1 à 3 L	3 à 10 L	> 10 L
Qualité de l'eau		Mauvaise	Médiocre	Passable	Bonne

Variables permettant d'évaluer un «score d'efficience probable» de la restauration envisagée (score min = 0, maxi = 50).



Les seuils de puissance spécifiques [d'après Brookes, 1988 in Biotec, Malavoi J-R., 2007].

La puissance spécifique, exprimée en W/m² correspond au produit de la pente par le débit par la largeur du cours d'eau

1. la puissance spécifique correspond sommairement au produit de la pente X le débit, qui caractérise les potentialités dynamiques du cours d'eau.

La puissance (Ω) est calculée comme suit : $\Omega = \gamma QJ$ (en watts/m)

La puissance spécifique (ω) est calculée comme suit : $\omega = \Omega/L$ (en watts/m²)

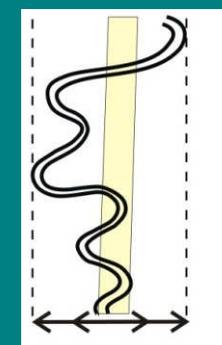
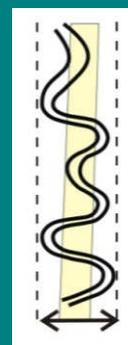
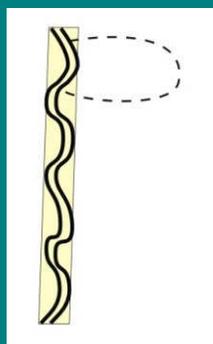
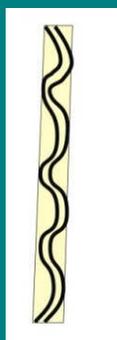
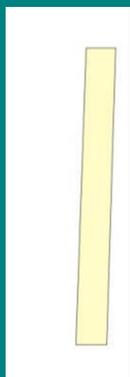
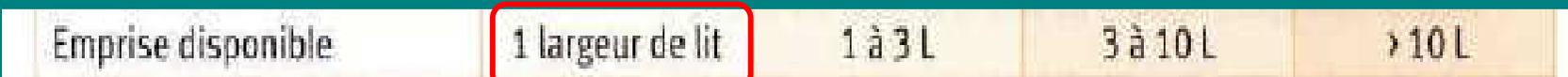
où γ est le poids volumique de l'eau (9 810 N/m³), Q le débit (m³/s) (ici le débit journalier de crue de fréquence 2 ans), J la pente de la ligne d'énergie en m/m, L la largeur du lit pour le débit utilisé (m).

La restauration hydromorphologique des cours d'eau : concepts et principes de mise en œuvre Jean-René Malavoi et Philippe Adam . Ingénieries n°50, juin 2007



- 3 restaurer : évaluer l'efficacité probable des travaux envisagés

espace de fonctionnalité / espace de liberté



pas de restauration de l'espace de fonctionnalité

légère reprise des berges en alternance

création d'un espace localisé d'inondation (frayère BRO)

restauration partielle de l'espace de fonctionnalité (lit emboîté)

restauration totale de l'espace de fonctionnalité

Présumer l'efficacité des projets de restauration

- 3 restaurer : évaluer l'efficacité probable des travaux envisagés

1 : « Capacité probable d'ajustement morphologique » *

Note	0	2,5	5	10
Paramètre				
Puissance spécifique	< 10 W/m ²	10-30 W/m ²	30-100 W/m ²	> 100 W/m ²
Érodabilité des berges	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Potentiel d'apports solides	Nul	Faible	Moyen	Fort
Durée des crues	Nulle	Faible	Moyenne	Forte

La durée des crues constitue également un facteur de réajustement important

2 : paramètres hydrologiques limitants (naturels ou anthropiques)

Aléas régime hydrologique	Mauvais	Médiocre	Passable	Bon
----------------------------------	----------------	-----------------	-----------------	------------

Les aléas (assecs, crues dévastatrices...) peuvent modifier durablement la morphologie des cours d'eau ou altérer les communautés qui servent à évaluer le bon état écologique

* Soutien Technique à la Restauration ou Evaluation des Altérations de la Morphologie des Cours d'Eau. « STREAM CE ». Outil ONEMA d'aide à l'analyse technique des IOTA et des projets de restauration. Non publié.

Présumer l'efficacité des projets de restauration

- 3 restaurer : évaluer l'efficacité probable des travaux envisagés

3 : paramètres chimiques limitants (naturels ou anthropiques)

Qualité de l'eau dont T°	Mauvaise	Médiocre	Passable	Bonne
---------------------------------	----------	----------	----------	-------

La T° (avec l'O² dépendant) est un facteur majeur de répartition des espèces servant à évaluer le bon état écologique .

4 : paramètres fonciers limitants

Emprise disponible	1 largeur de lit	1 à 3 L	3 à 10 L	> 10 L
--------------------	------------------	---------	----------	--------

Même si les contraintes sociales peuvent être nombreuses et variées, la possibilité de restaurer ou non un tracé en plan sinueux, constitue un facteur majeur de réussite des restaurations

- 3 restaurer

Attention : cette approche ne doit pas amener à ne restaurer que les cours d'eau à « bons scores » (ou à augmenter artificiellement la puissance spécifique). Tous les cours d'eau dégradés méritent une restauration.

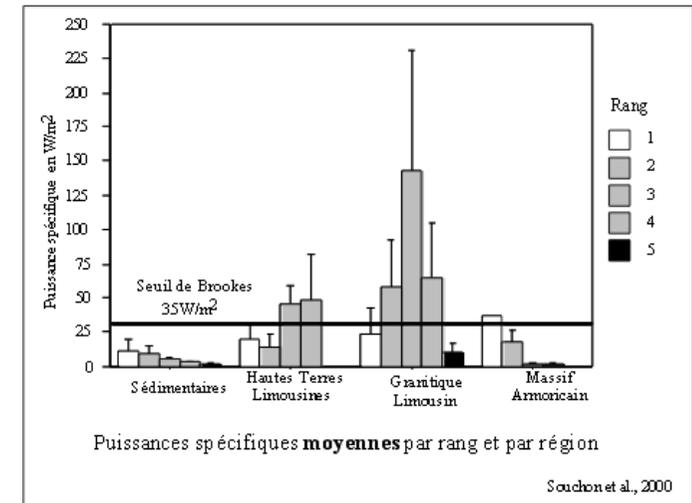
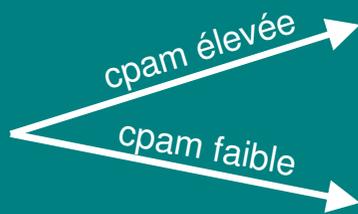


Figure 6.7. Distribution des puissances spécifiques des cours du bassin de la Loire en fonction du rang et de la région (4 hydroécocorégions).
Seuchon et al., 2000

1 : Préserver

2 : Limiter les dysfonctionnements futurs (notamment l'incision*)

3 : Restaurer

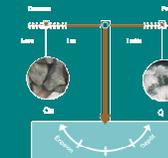


Restauration passive : on se « contente » de lever les contraintes (éventuellement on accompagne certaines actions pour limiter les dommages collatéraux et pour accélérer certains processus, afin de tenir compte des échéances de BEE et des usages sociaux)

Restauration active (moins le cours d'eau est résilient, plus la restauration doit être aboutie)

* l'incision de la roche mère est une altération très souvent irréversible

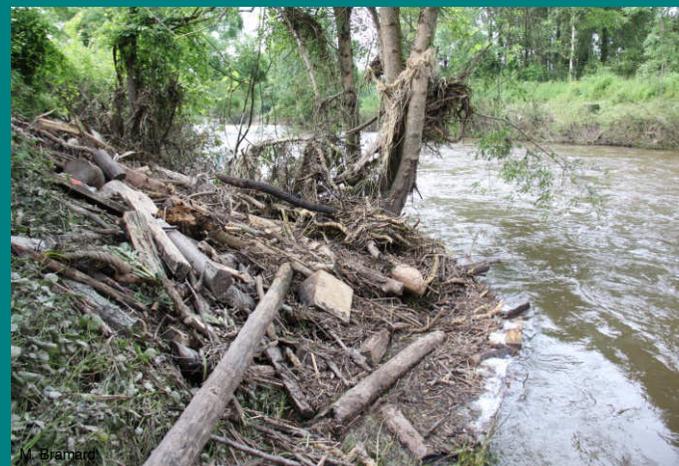
- 3 restaurer



Même sur des cours d'eau de faible puissance, des ajustements morphologiques se produisent. Plus lents, ils s'appuient davantage sur des phénomènes de sédimentation (en lien avec la végétation aquatique et rivulaire), ou se produisent lors de crues de fréquence rare.



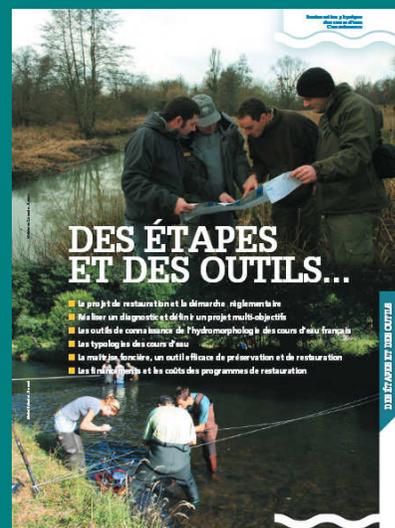
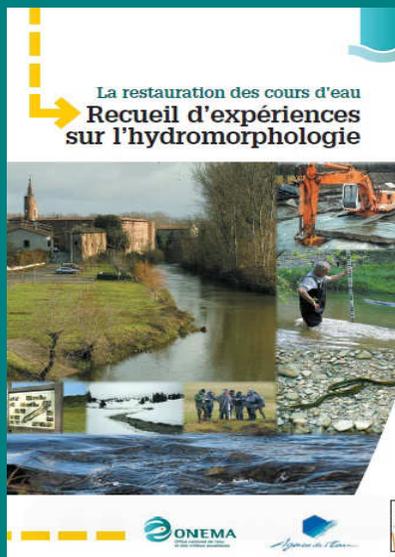
début de modification du tracé en plan par sédimentation avec la végétation aquatique



déplacement de bois morts et arrachement de bulbes de nénuphars (entre Q50 et Q100, juin 2016)



- 3 restaurer : quels outils?



<p>Gérer les milieux aquatiques de manière globale</p>	<p>Une démarche... 1</p>
<p>Inscrire le projet de restauration dans un projet territorial</p>	<p>Une démarche... 2</p>
<p>Mobiliser une maîtrise d'ouvrage adaptée à l'emprise du projet</p> <p>L'essentiel...</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ L'identification de la structure porteuse du projet doit prendre en compte le contexte local. ■ La solidarité amont-aval et la cohérence de bassin hydrographique doivent prévaloir dans la définition de l'intervention et de son emprise, mais aussi des modalités de financement. ■ La structure porteuse du projet doit dans la mesure du possible se doter des compétences d'un technicien de rivière qui mènera les actions nécessaires à la réalisation du projet. Des financements publics pour l'appui à l'animation existent. 	<p>Une démarche... 3</p>

<http://www.onema.fr/Hydromorphologie.510>

<http://www.zones-humides.eaufrance.fr/agir/retours-d-experiences-cours-d-eau-et-zones-humides>

<p>La préservation des milieux aquatiques</p>	<p>Préservation 1</p>
<p>L'effacement total ou partiel d'obstacles transversaux</p>	<p>Restauration 1</p>
<p>La suppression ou la dérivation d'étangs sur cours d'eau</p>	<p>Restauration 2</p>
<p>La reconnexion des annexes hydrauliques</p>	<p>Restauration 3</p>
<p>La reconstitution du matelas alluvial</p>	<p>Restauration 4</p>
<p>La suppression des contraintes latérales</p>	<p>Restauration 5</p>
<p>La modification de la géométrie du lit mineur ou moyen</p>	<p>Restauration 6</p>
<p>Le reméandrage</p>	<p>Restauration 7</p>
<p>Le retour du cours d'eau dans son talweg d'origine</p>	<p>Restauration 8</p>
<p>La remise à ciel ouvert d'un cours d'eau</p>	<p>Restauration 9</p>

Remettre à ciel ouvert un cours d'eau permet de le reconnecter à son environnement.

- 3 restaurer

- 3 : ne pas confondre **restauration et aménagement** !

privilégier les techniques s'intégrant le mieux à la dynamique du cours d'eau, les plus durables... (trajectoire d'évolution)

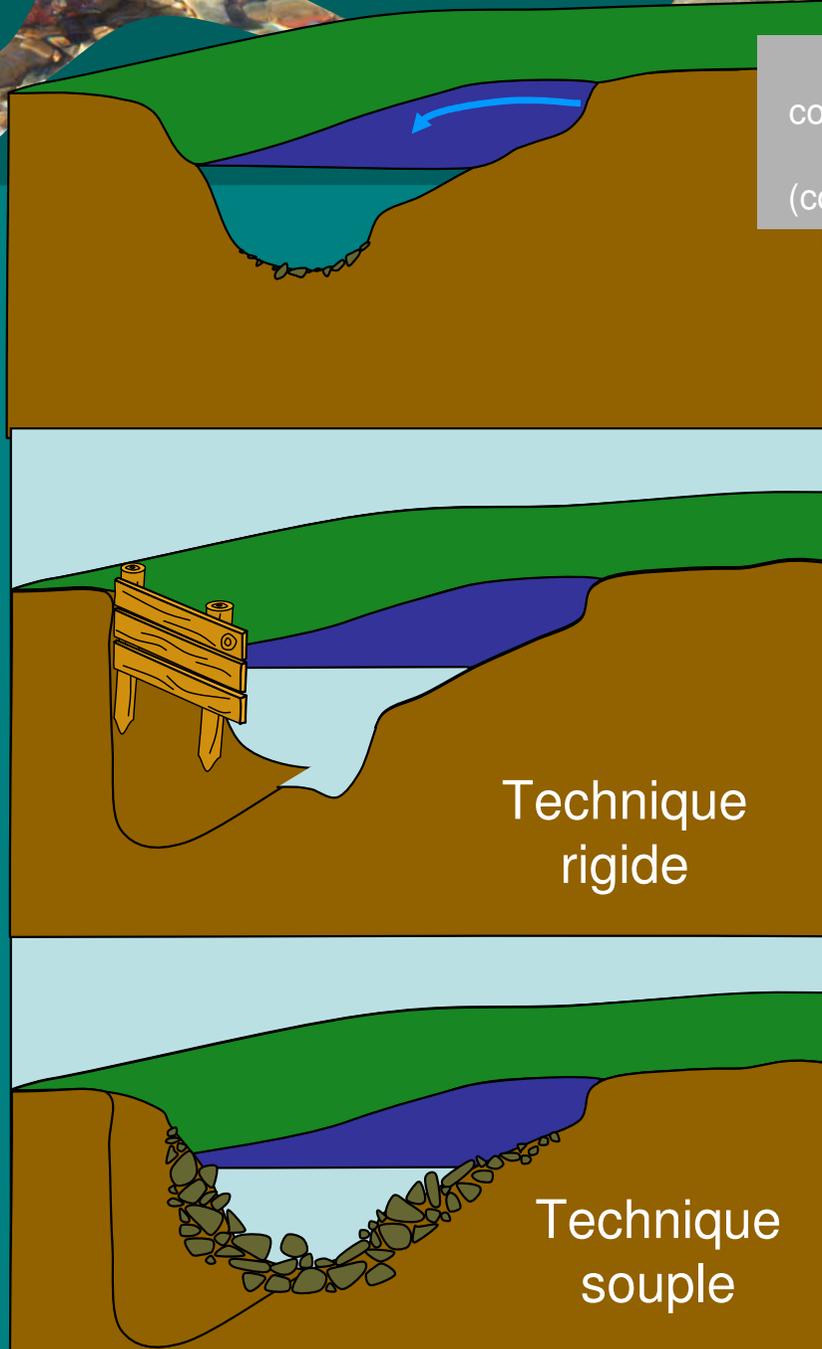
Eviter autant que possible les techniques rigides, les ancrages profonds en berge et en lit, l'emploi de matériaux non naturels ou exogènes, les structures non conformes au type naturel du cours d'eau à restaurer...



structures en berges trop rigides : manque de prise en compte de la pente, du gabarit et de la granulométrie

- 3 restaurer

Avant travaux : érosion en rive concave, matelas alluvial absent ou de très faible granulométrie (conséquences curage, recalibrage)...



Technique rigide

Technique souple

Les choix des techniques de restauration à adopter doivent être réfléchis pour avoir une action efficace et durable.

Une érosion en berge peut être bloquée, ralentie, ou laissée en évolution libre...

Les conséquences seront différentes pour la berge comme pour le fond du lit



- 3 restaurer

- 4 : privilégier les techniques présentant les meilleurs gains fonctionnels et les meilleurs rapports coûts / avantages

(Le choix des techniques employées intègre souvent encore mal la résilience des aménagements sur cours d'eau, les coûts induits d'entretien, de surveillance, des dommages résiduels et des corrections ou compensations nécessaires...).

- 5 : réaliser des tronçons tests et oser des techniques localement « innovantes ».

A l'échelle d'un bassin il est possible de trouver des secteurs où la maîtrise foncière des terrains ou l'envie des riverains permet de se lancer dans des opérations innovantes.

ATTENTION : pour des premiers essais pouvant heurter la perception sociale des usagers il n'est pas forcément judicieux de choisir un secteur très visible et fréquenté...

Un site vitrine ne veut pas dire un site de luxe ou un site sophistiqué.

Il ne s'agit pas de montrer son savoir faire technique ou son savoir (trop) dépenser!!!



- 3 restaurer

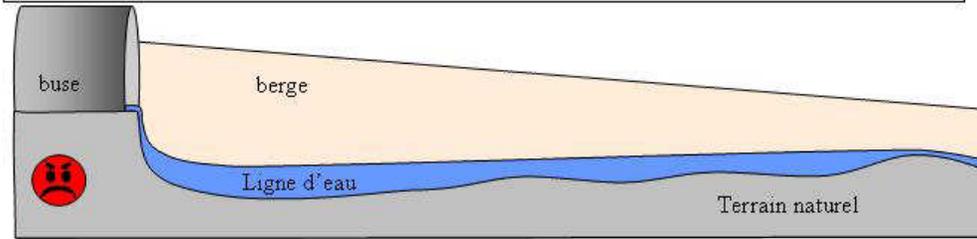
Exemple d'aide au choix d'une technique de restauration : cas d'un ouvrage d'art (ici une buse)

1 : Vérifier son calage et s'il est nécessaire et possible de diminuer la crête du seuil

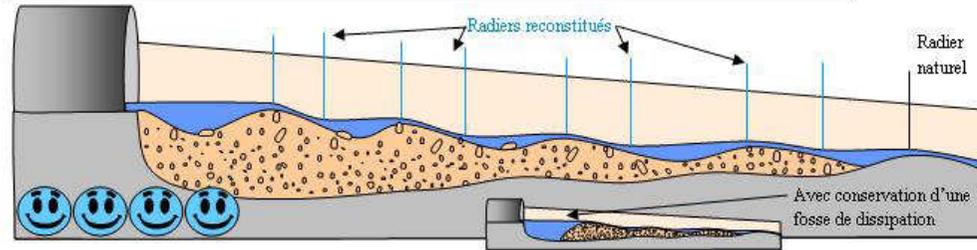
2 : vérifier qu'il ne peut être changé par un ouvrage franchissable par conception

3 : privilégier la solution permettant de restaurer le maximum de fonctionnalités et une bonne résilience

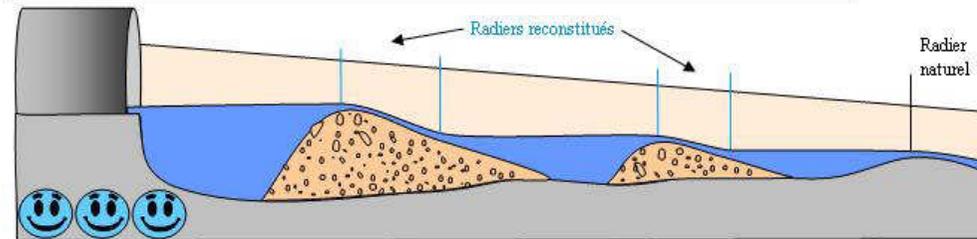
croquis 4-1 : incision à l'aval d'une buse ou d'un pont avec obstacle à la continuité biologique



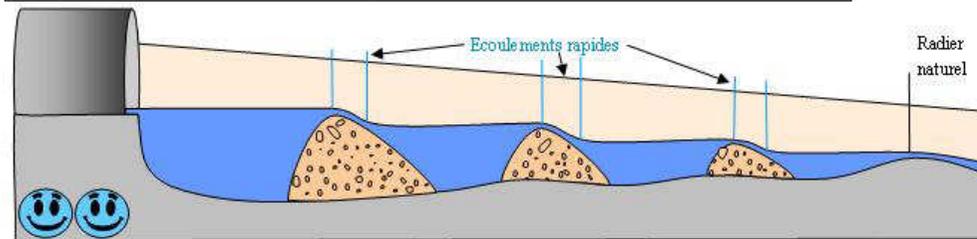
croquis 4-2 : restauration d'un profil naturel par recharge en matériaux



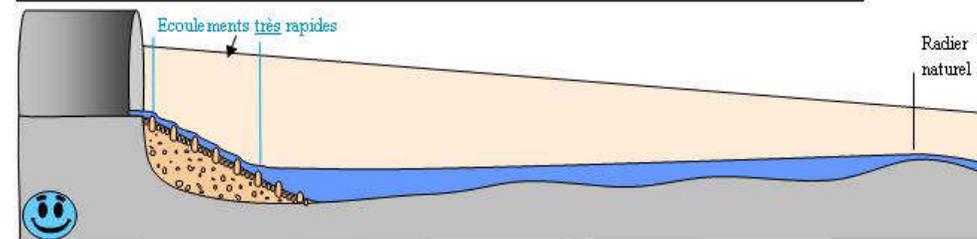
croquis 4-3 : installation de seuils-radiers



croquis 4-4 : installation de seuils noyés



croquis 4-5 : installation d'une rampe en enrochements





- 3 restaurer : le lit mineur

choisir les bonnes
techniques

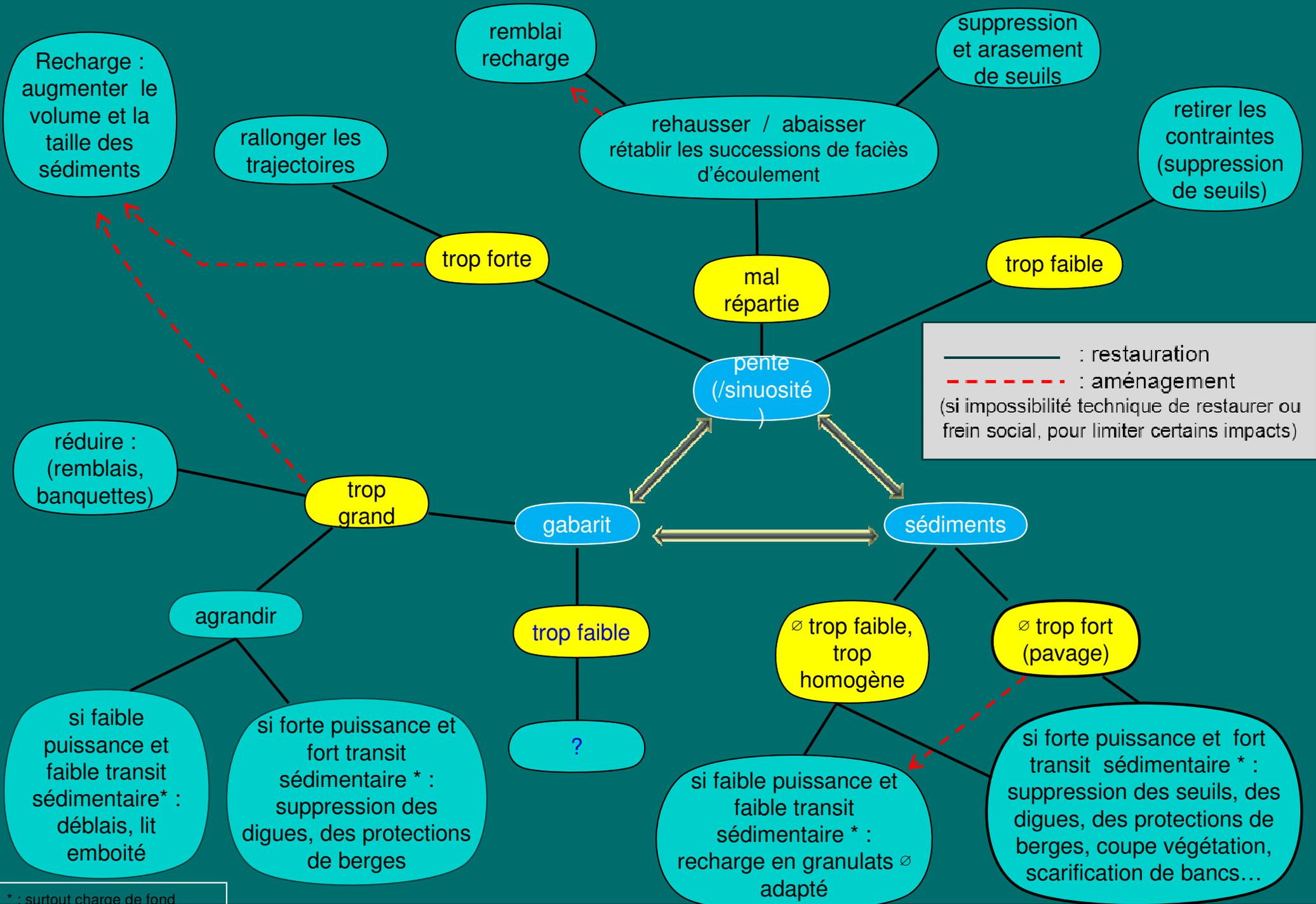
1^{ère} étape :

Traitement des **altérations majeures** : gabarit, pente, sédiments.

Toujours évaluer ces trois paramètres simultanément.

2^{nde} étape :

Traitement des **altérations secondaires** : rapport de forme, ripisylve, habitats spécifiques, bois mort



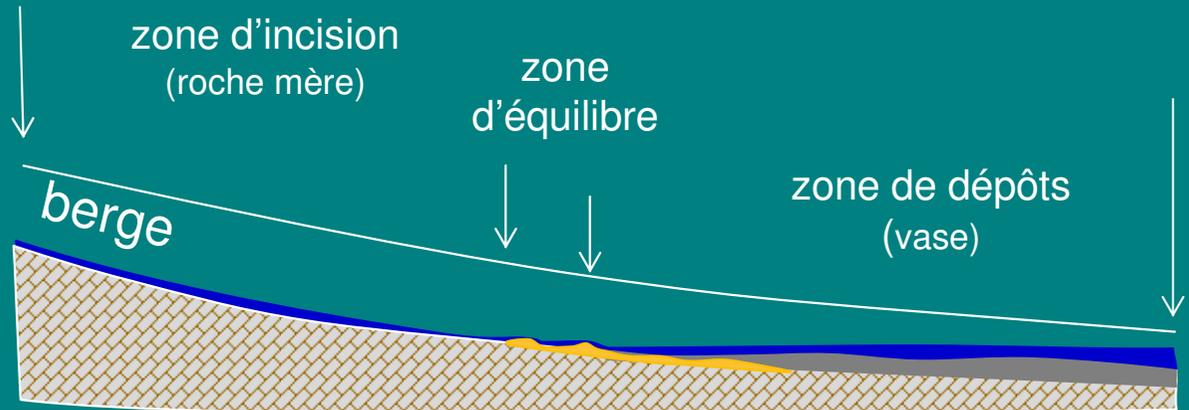
— : restauration
 - - - : aménagement
 (si impossibilité technique de restaurer ou frein social, pour limiter certains impacts)

* : surtout charge de fond

Variables remplies

- 3 : 😊
- 2 : 😬
- 1 : 😞
- 0 : 😡

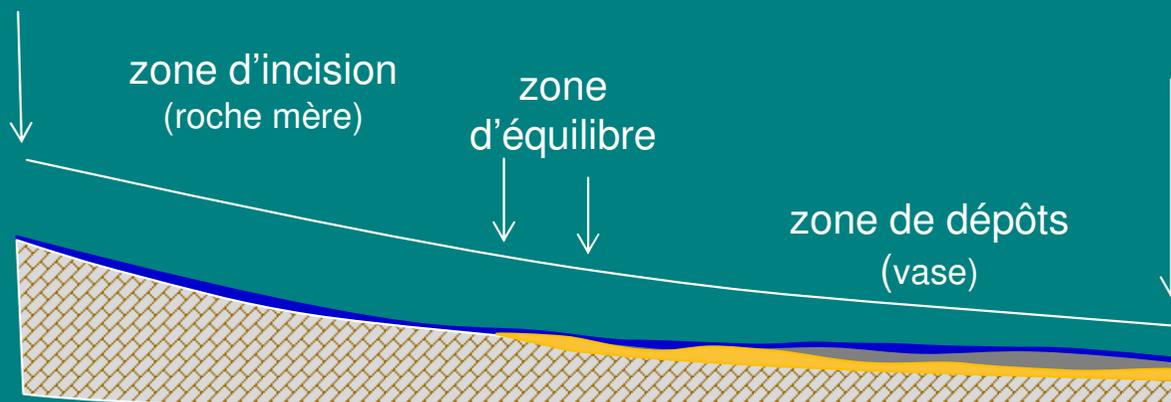
Exemples de prise en compte des 3 paramètres majeurs



avant



après travaux



Si on a restauré le matelas alluvial mais pas réduit la pente



après réajustement...

Exemples de prise en compte des 3 paramètres majeurs

En allongeant la trajectoire ($S_i = 1,25$)

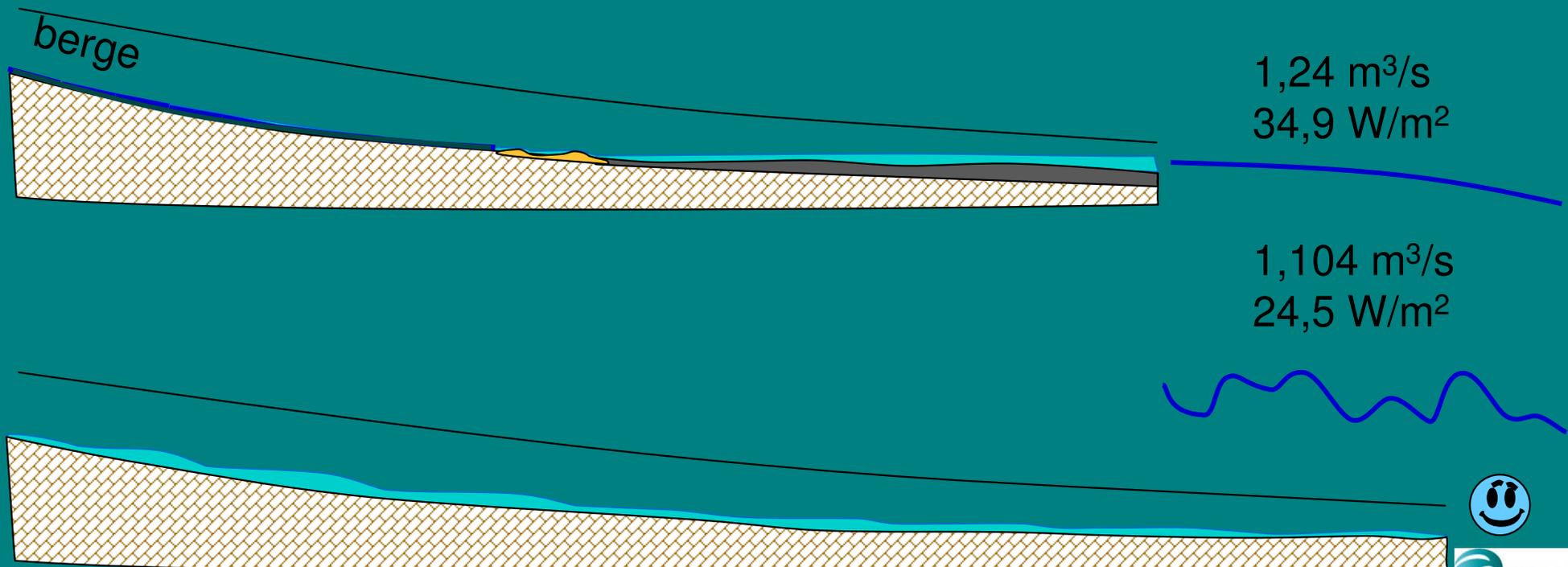
la pente relative du cours d'eau est passée de 8.6‰ à 6.8 ‰.

Sur le plan hydraulique la rugosité est augmentée : méandres, variation des sections, irrégularités...

Le profil « d'équilibre » est retrouvé sur l'ensemble du linéaire.

En crue de plein bord les vitesses de courant sont très fortement diminuées dans l'ancienne zone d'incision (ainsi que la puissance spécifique et les forces d'arrachement)

A l'étiage les vitesses élevées sont conservées dans les zones de radiers, les alternances de faciès sont plus marquées





cours d'eau perché, lit emboité
(« lit majeur restreint »)

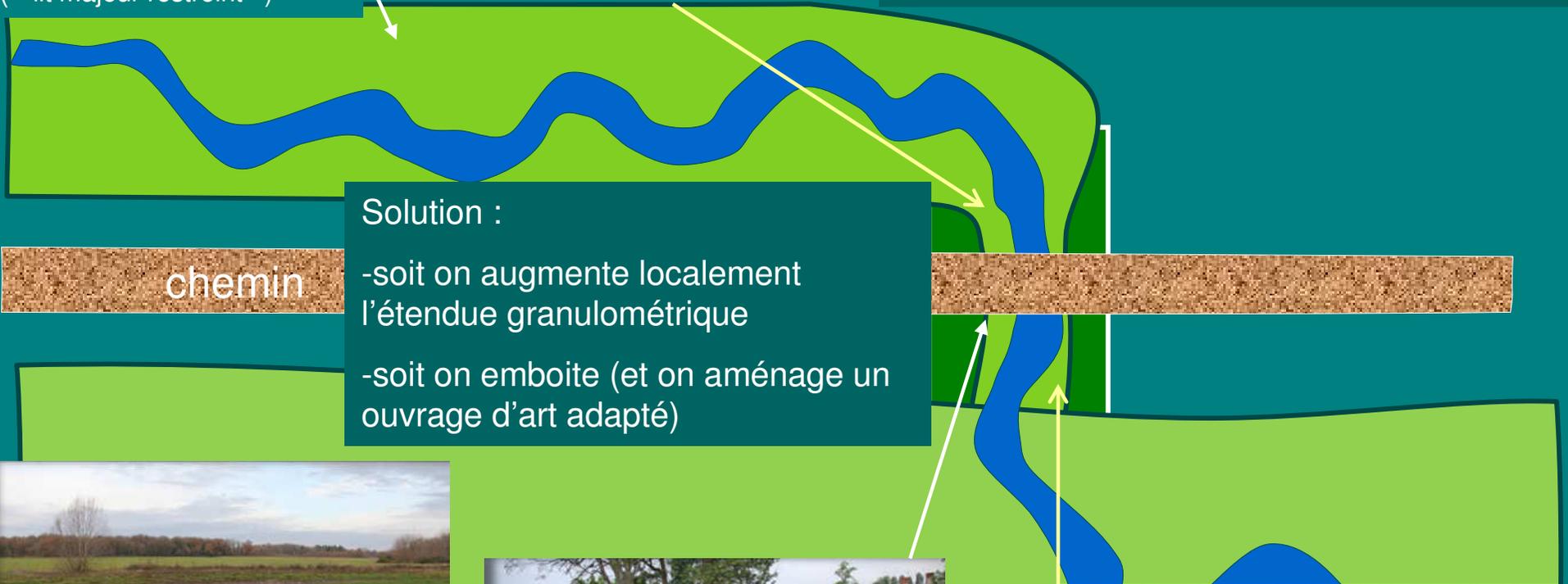


portion très contrainte



Granulométrie correspond à la nature
originelle du cours d'eau.

Si le lit mineur est trop grand, l'énergie en
crue est trop importante, les granulats sont
arrachés et la roche mère mise à nue.



fond de talweg
(lit majeur non restreint)

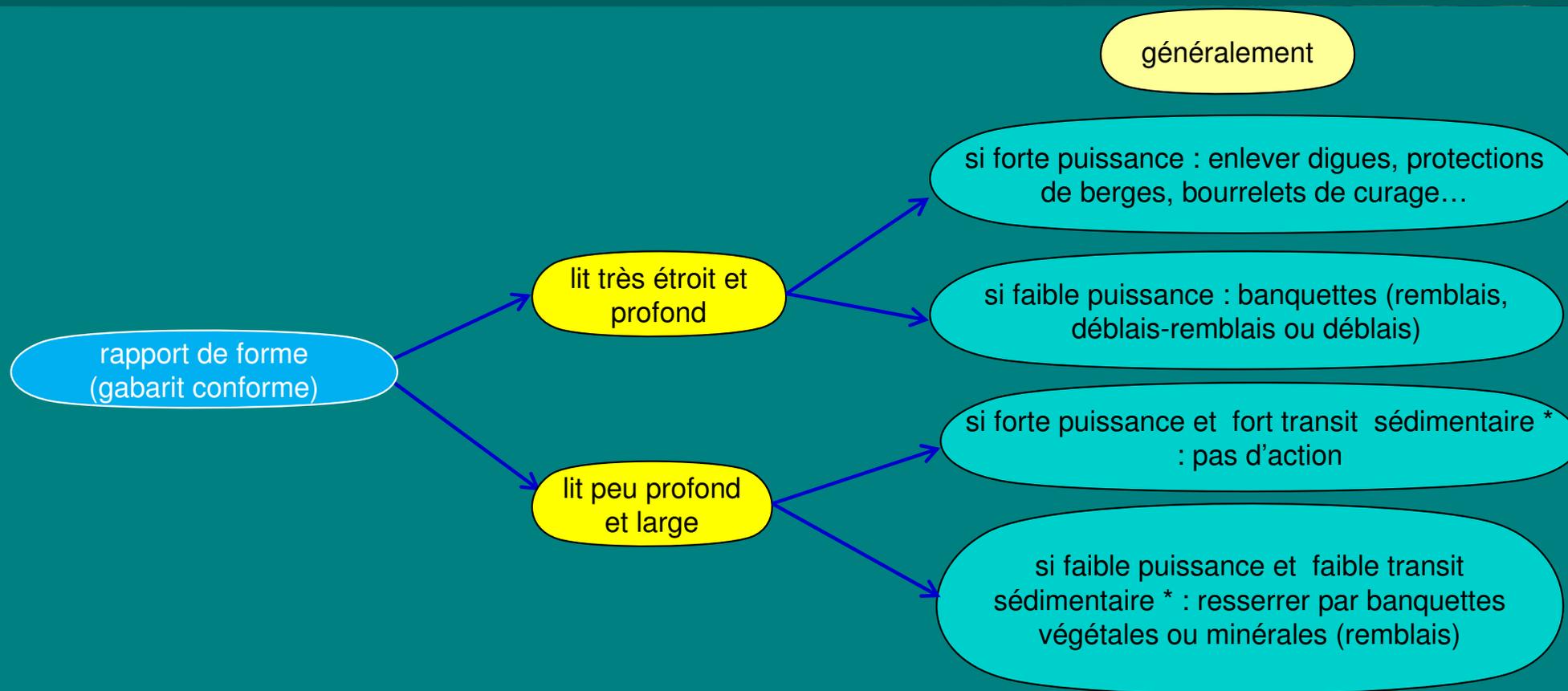


passerelle sans emprise sur
le lit mineur



lit majeur très restreint

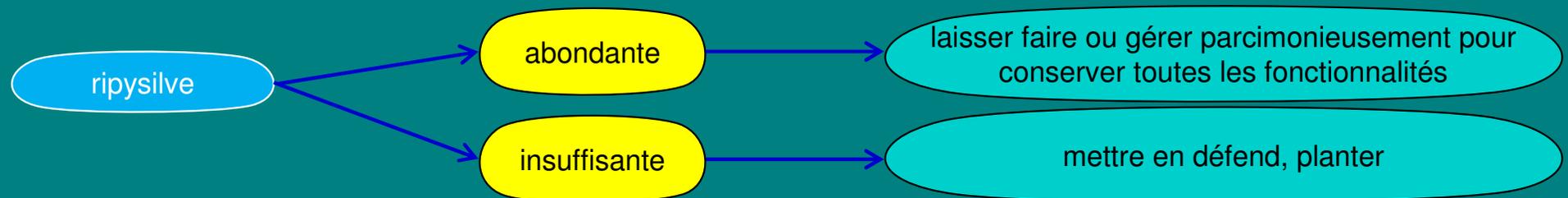
Solutions techniques de restauration du lit mineur : les paramètres secondaires



le colmatage du substrat peut être un indice d'excès de MES provenant du BV, comme un symptôme de sur-largeur.

* : surtout charge de fond

Solutions techniques de restauration du lit mineur : les paramètres secondaires



Prioriser les têtes de bassin. La non gestion ou la plantation doivent être envisagés en fonction de l'état de naturalité du Gabarit et du tracé en plan. L'ombrage est une des fonctionnalités majeurs de la ripisylve.

habitats spécifiques

Supports de fraie truite, chabot, lamproie de planer etc., habitats agrion de mercure, cordulie ...
En plus de la reconstitution du matelas alluvial, ne pas oublier la fraction grossière héritée (blocs et dalles échappant au transit sédimentaire)

bois morts

Actions favorisant une installation naturelle

La présence de bois mort est très importante en influençant fortement la biologie et la morphologie des cours d'eau.

Mouchet *et al.*, 2007 ; Lorenz *et al.*, 2009 ; Brooks *et al.*, 2003, 2004 ; in Datry, 2012*, Muotka et LAASONEN P 2002)

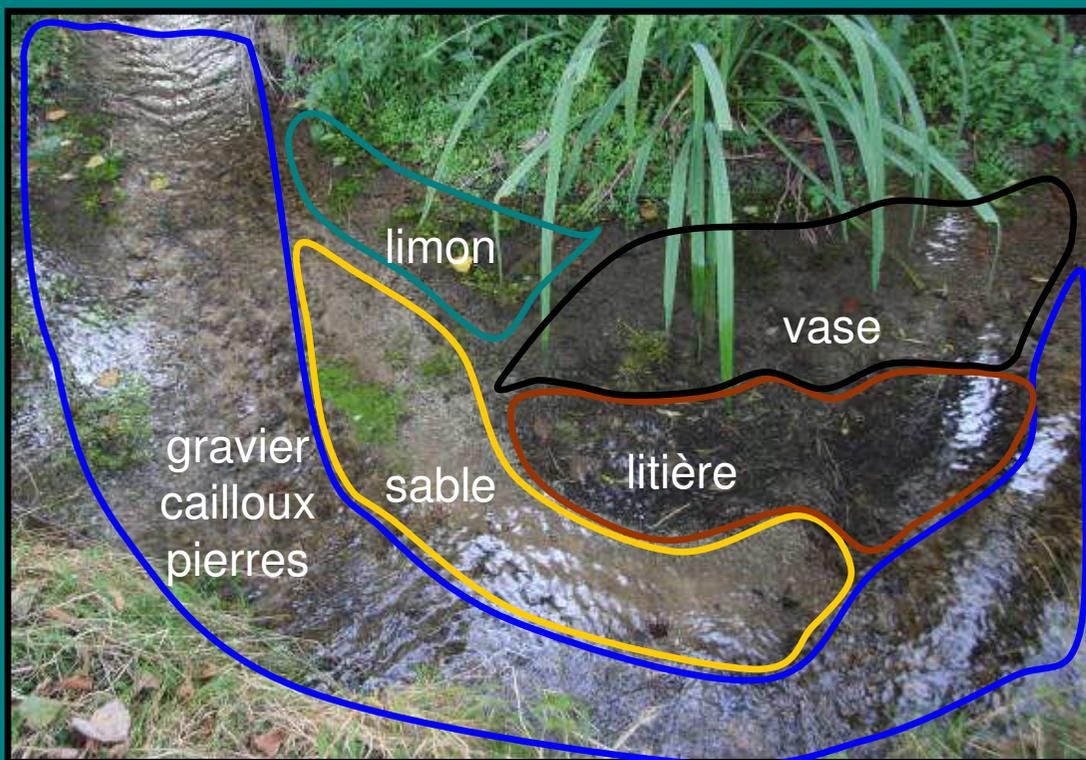


Dans de nombreux projets les aménagements en bois ont peu d'efficacité sur la restauration globale du milieu, les composantes morphologiques essentielles ayant été généralement mal prises en compte.

Les structures en bois ont une durée assez limitée et doivent être régulièrement renouvelées pour avoir une action morphogène significative

Compte tenu des difficultés et des coûts d'installation (surtout temps de pause) il est préférable de :

- 1 : préserver les structures en bois naturelles existantes (autant que faire se peut)
- 2 restaurer les composantes morphologiques permettant le retour naturel du bois et des composantes biologiques et fonctionnelles associées (gabarit, sinuosités, rugosités)
- 3 : n'utiliser les structures bois que quand la restauration morphologique n'a pas pu être techniquement ou socialement faisable, ou comme accélérateur pour la recolonisation par la faune.



La sinuosité du lit est une composante fondamentale pour la diversité des habitats aquatiques.



Un bloc posé a permis des dépôts de sédiments fins, colonisés par des végétaux supérieurs, puis de litière etc.



- 3 restaurer : le gabarit

La capacité hydraulique **naturelle** des cours d'eau s'adapte aux conditions moyennes de transport (débits liquide et solide).

Les dimensions du lit mineur s'ajustent en fonction des crues (dites « morphogènes ») qui correspondent à des occurrences proches de

-sources, zones de marais : **Q = 1 à 1,2***

-substrats imperméables : **Q = 1,7**

-substrats perméables : **Q = 2**

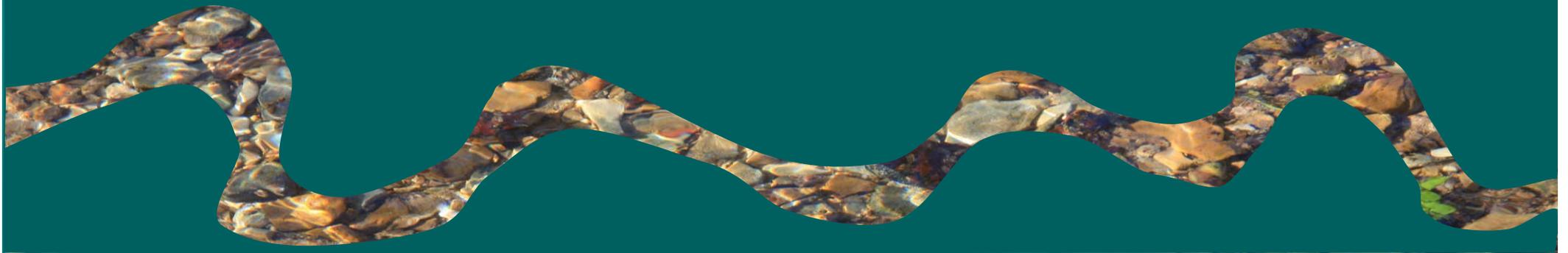
Le débit de référence à prendre en compte est celui de la **crue journalière** d'occurrence 1 à 2 ans

Si les travaux sont importants** (lit et berges), il faut légèrement sous-dimensionner (10-20%) pour tenir compte des ajustements à venir

Les incidences après travaux seront différentes selon la technique employée : déblai/remblai («simple» modification du rapport de forme), ou remblai seul (réduction du gabarit), ou déblai seul (augmentation de gabarit).

* *Laura Slocombe M., 2012 : Morphology of small, discontinuous montane meadow streams in the sierra nevada*

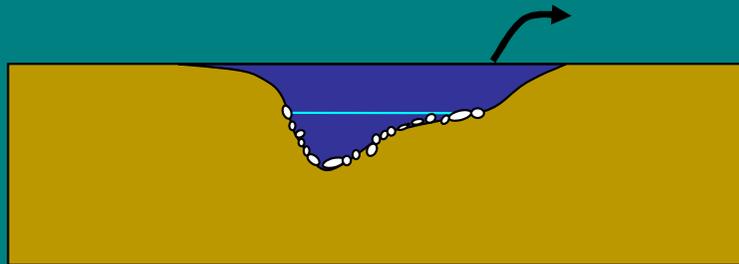
** sauf pour les banquettes ayant pour simple objectif le pincement du lit à l'étiage



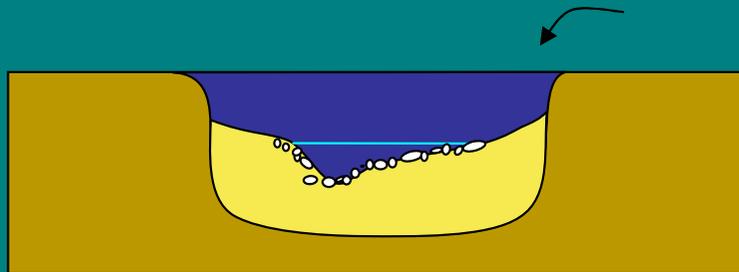
- 3 restaurer : le gabarit

Les modifications du gabarit

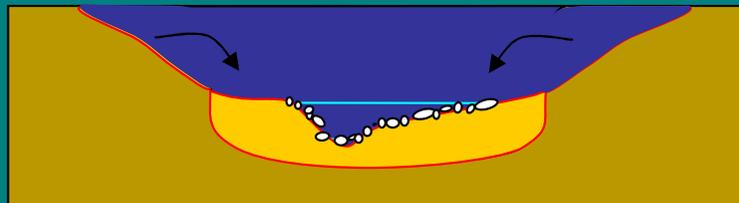
Il faut bien évaluer les avantages et inconvénients de chaque technique



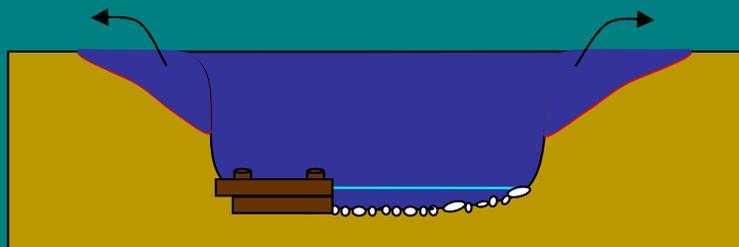
bien évaluer les conséquences des opérations de retalutage des berges



Remblais = réduction du gabarit et du DPB



Déblais / Remblais = conservation du DPB*

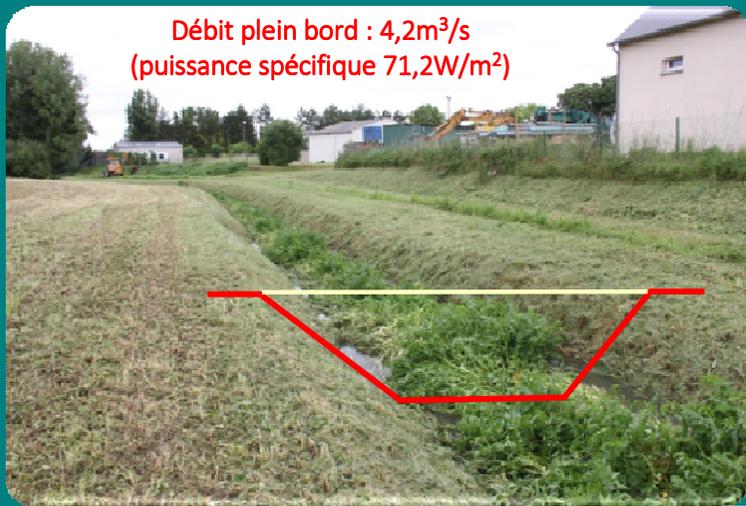


Déblais = augmentation du DPB

* « légère » réduction liée à la reconstitution du matelas alluvial

Exemple de prise en compte insuffisante des composantes hydrauliques, dimensionnements approximatifs (manque de guides techniques et de formations, absence de référentiels régionaux, manque de chroniques de débits en petits cours d'eau...)

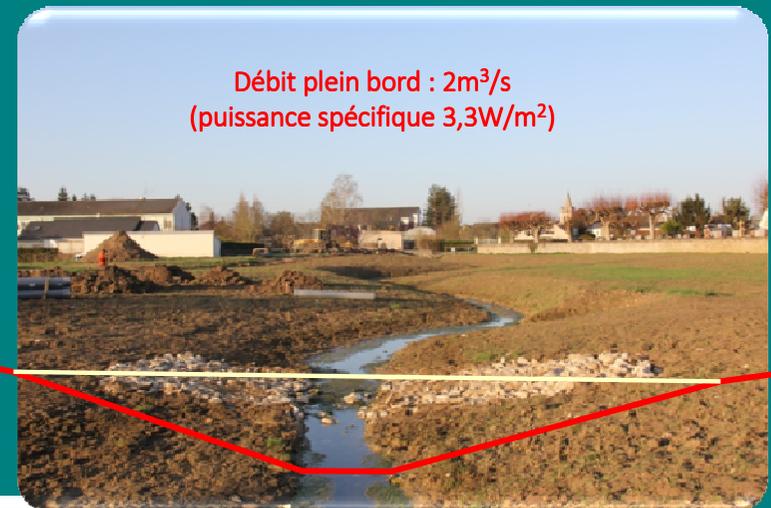
- 3 restaurer : le gabarit



Débit plein bord : $4,2\text{m}^3/\text{s}$
(puissance spécifique $71,2\text{W}/\text{m}^2$)

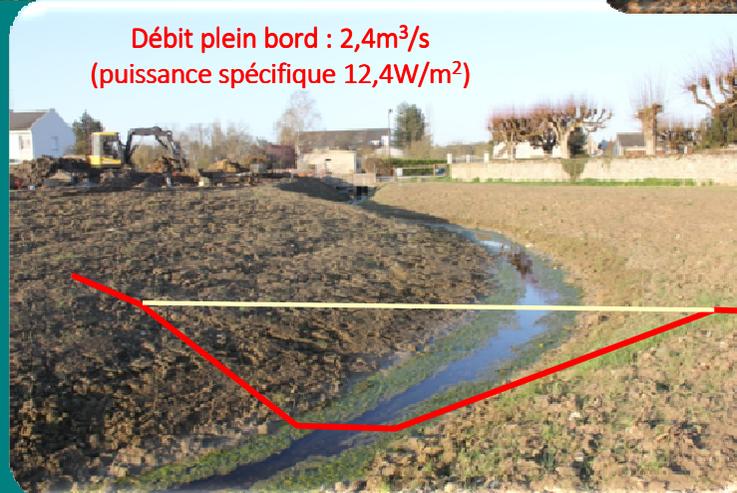
aval rectifié profil en U
(pente ligne d'eau plus forte)

Q2 calculé :
 $0,29\text{m}^3/\text{s}$
($\pm 0,13$)



Débit plein bord : $2\text{m}^3/\text{s}$
(puissance spécifique $3,3\text{W}/\text{m}^2$)

profil très évasé



Débit plein bord : $2,4\text{m}^3/\text{s}$
(puissance spécifique $12,4\text{W}/\text{m}^2$)

profil moyennement évasé

- 3 restaurer : le gabarit



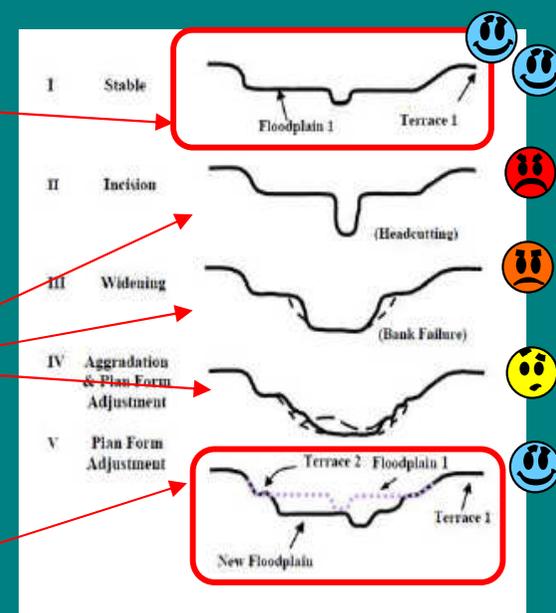
Petit cours d'eau rectifié en phase finale de réajustement (avec pente très faible)

Il vaut mieux

- soit restaurer les formes de lit telles qu'elles étaient avant les perturbations (si c'est possible)

plutôt que d'essayer de stabiliser ou créer des formes transitoires (gains fonctionnels plus importants et meilleure résilience)

- soit se rapprocher d'une nouvelle forme proche de « l'équilibre »



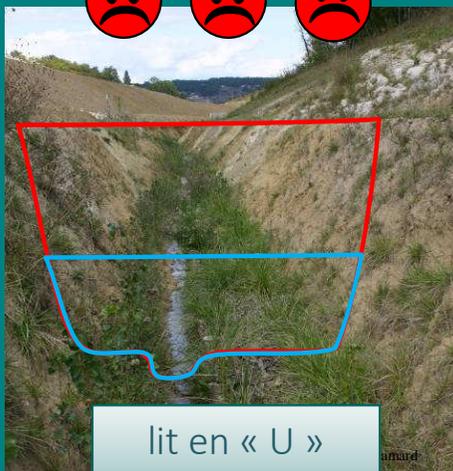
Un cours d'eau (*) en équilibre (dynamique) a tendance à concentrer l'énergie aux débits d'étiage et à disperser l'énergie pour les débits de crue (Ward, A. and S. Trimble. 2003), avec le cas échéant un lit emboîté*

* pour les cours d'eau à faible pente

** on parle de lit « emboîté » pour un lit mineur inséré dans un lit majeur « restreint » (et pas un lit d'étiage inséré dans un lit mineur)

- 3 restaurer : le gabarit

Définir le gabarit et les formes du lit



Les cours d'eau naturels ont une pente des berges généralement verticales.

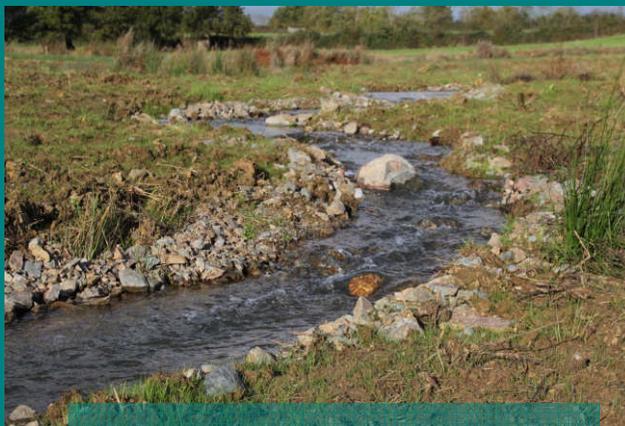
Les lits en pente douce (forme de noues) sont à réserver pour les fossés et cours d'eau très temporaires.

Q 1,8 (maxi)

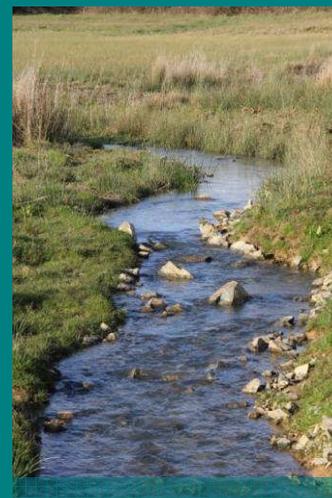
- 3 restaurer : le gabarit

Définir le gabarit et les formes du lit

Si la nature des berges ne permet pas un terrassement sub-vertical (sable non argileux par exemple), il faut nettement sous-dimensionner le gabarit (< Q1,5) et faire remonter les granulats en pied de berge



reméandrage année n



reméandrage année n + 1

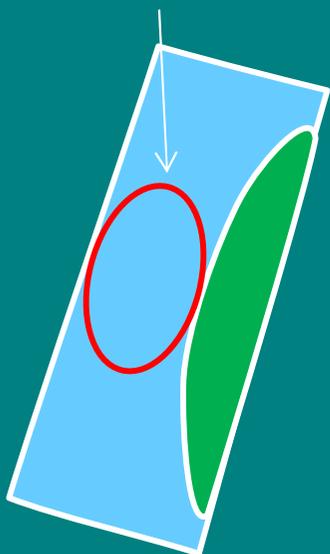
Au fil des ans les berges se redressent , les granulats grossiers viennent se positionner en fond de lit mineur.

- 3 restaurer : le gabarit avec des banquettes



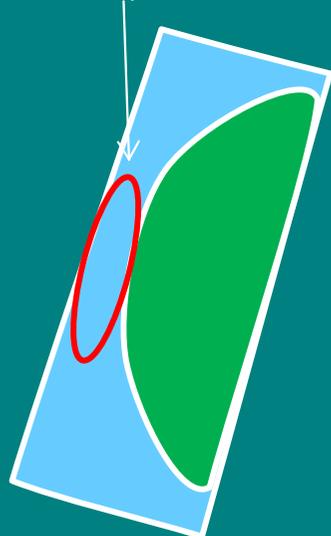
M Bramard

pincement insuffisant : les vitesses de courant restent faibles, le fond est colmaté...



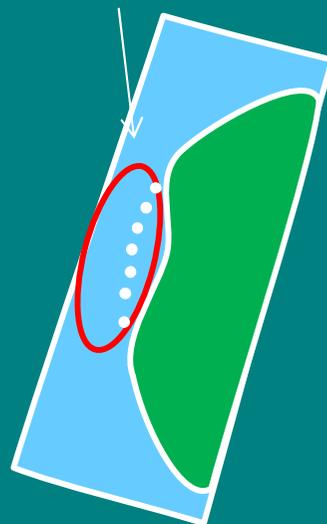
banquette trop étroite
vue aérienne

pincement trop important, les vitesses de courant et les forces d'arrachement sont très importantes

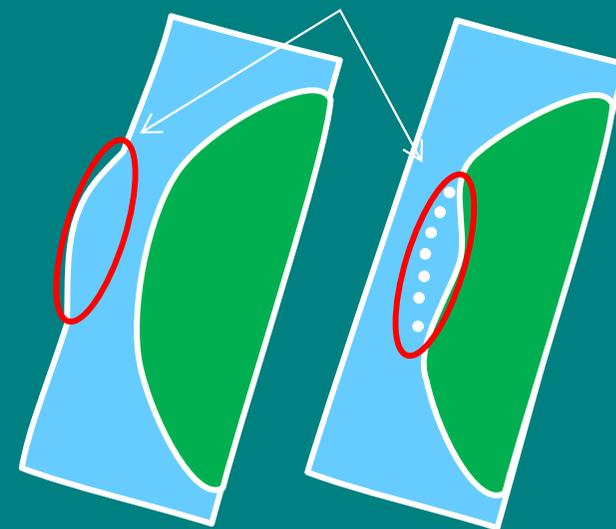


banquette trop large
vue aérienne

Si des matériaux grossiers sont absents du matelas alluvial ou de trop faible taille :
- 1^{er} temps : incision du chenal
- 2^{ème} temps, sapement avec un basculement des matériaux de la banquette ou un sous-cavement faisant apparaître les infrastructures



Si des matériaux grossiers sont présents dans le matelas alluvial et bloquent l'incision du chenal :
- le cours d'eau ajuste son gabarit en érodant soit la berge en face*, soit la banquette



L'emploi des banquettes pour resserrer un lit trop grand est souvent suivi d'échecs (érosion, ou pincement insuffisant) et fait appel à des coûts disproportionnés.

* selon la cohésion des matériaux en berge, présence et implantation de la ripisylve



- 3 restaurer : le gabarit avec des banquettes

- Il faut *:
 - un bon dimensionnement des banquettes (largeur, longueur, épaisseur),
 - un bon positionnement sur le tracé en plan
 - des formes appropriées (pendage latéral et longitudinal) aux objectifs (en fonction des débits projet)
 - des matériaux adaptés à l'énergie du cours d'eau et aux durées de submersion

Il faut tenir compte :

- du gabarit final du lit mineur,
- de la taille du lit majeur (qui peut être restreint)
- de la pente de la vallée
- du régime hydraulique

Ces paramètres vont conditionner la nature des matériaux à utiliser (banquettes graveleuses ou végétalisées)



* <http://www.cpa-lathus.asso.fr/tmr/fichiers/117/15/Amenager%20des%20banquettes%20Lathus%20oct%202015%20ONEMA%20M%20Bramard-Version%20enrichie.pdf>

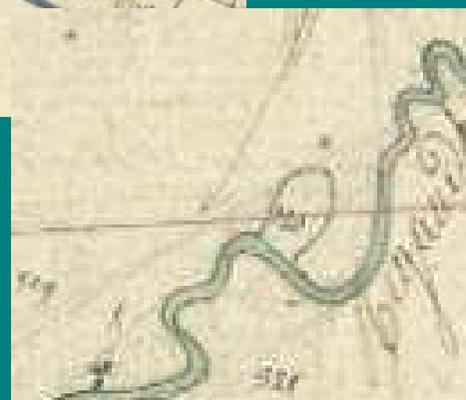
- 3 restaurer : le tracé en plan



Deux petits cours d'eau voisins : même gabarit, même pente, même substrat, même occupation du sol

- 3 restaurer : le tracé en plan

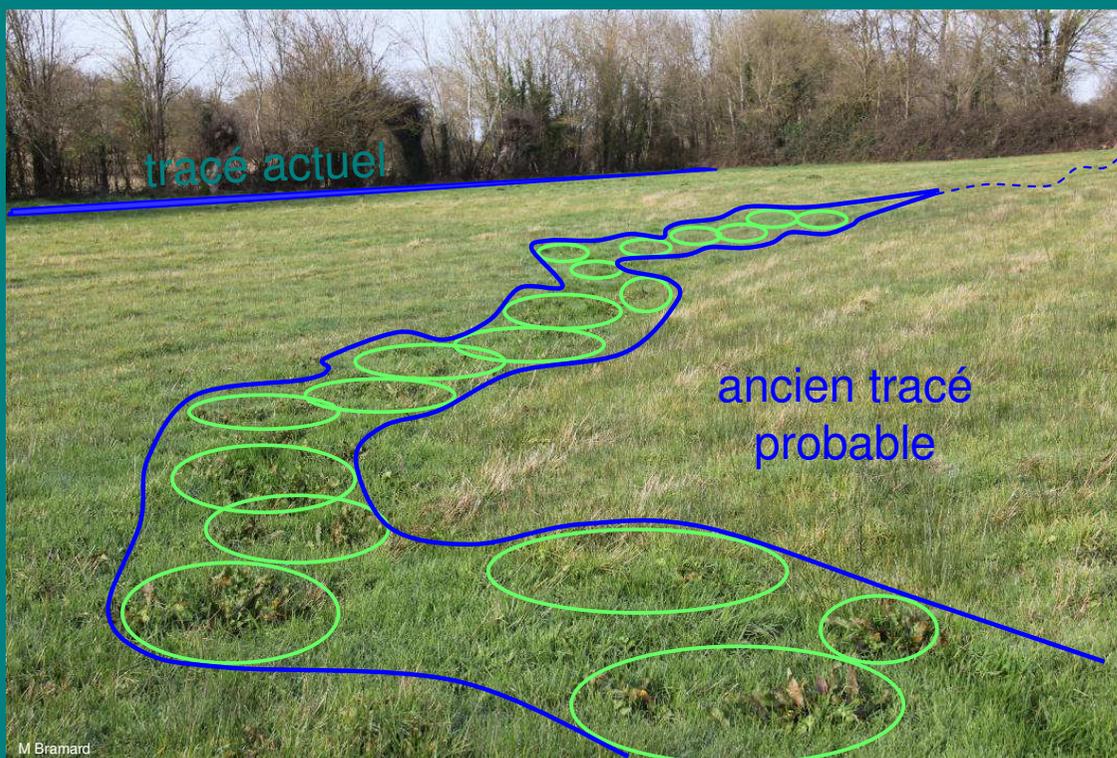
Sur les petits cours d'eau il est difficile de corrélérer le tracé en plan aux autres paramètres (notamment la pente)



Le cadastre napoléonien peut fournir des tracés suffisamment précis pour être exploités, mais les cours d'eau ont pu déjà avoir subi de nombreux redressements et coupures de méandres.

- 3 restaurer : le tracé en plan

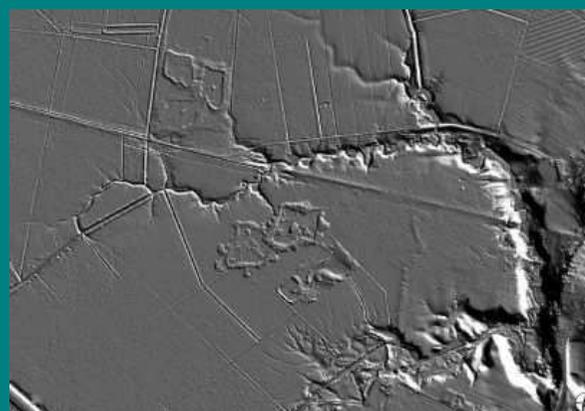
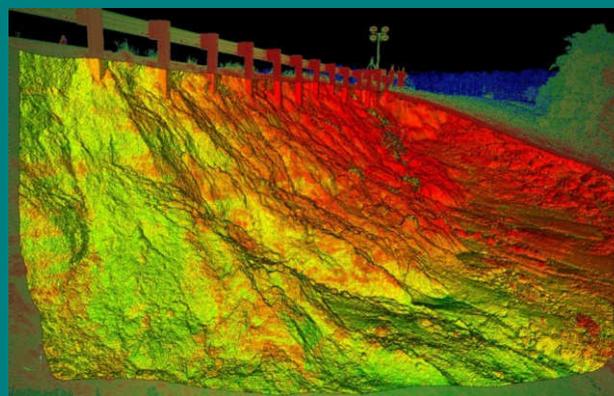
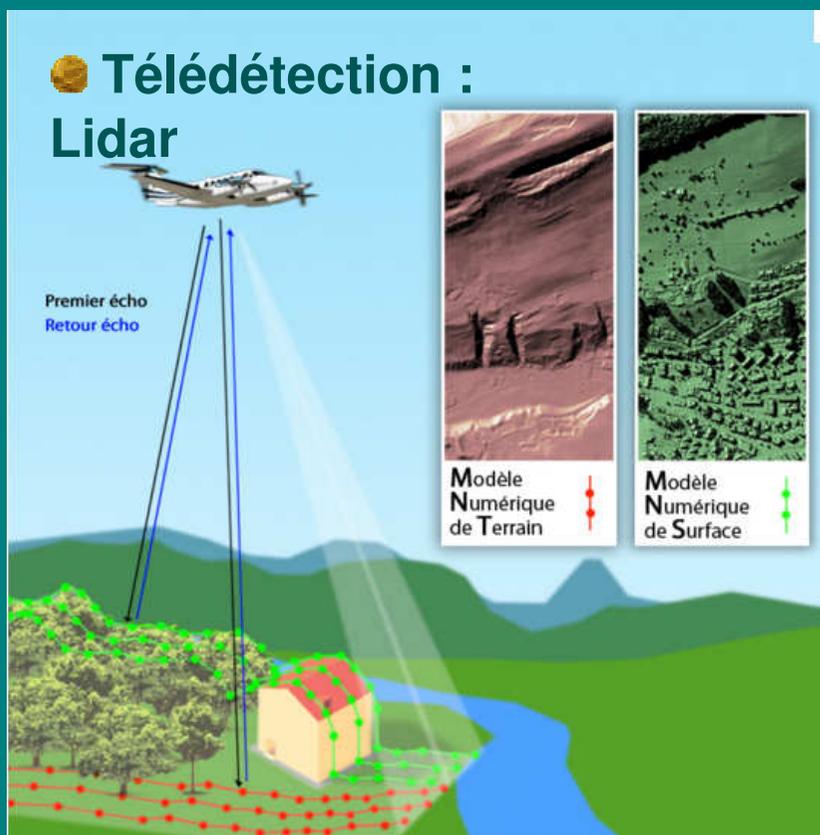
Les traces de crue et le positionnement des végétaux peuvent révéler des indices intéressants



- 3 restaurer : le tracé en plan

Des nouvelles technologies peuvent révéler la topographie avec une grande précision*

● Télédétection : Lidar



<http://www.onema.fr/Avancees-apports-et-perspectives-de-la-teledetection>



http://www.cnr-m-game-meteo.fr/ecole_lidar/IMG/pdf/Mallet-Topo_Bathy_Veget.pdf

*diapo extraite de la formation restauration cours d'eau ONEMA, L. Boutet-Berry juin 2016

Saint-Martin-du-Vieux-Bellême 2016: Techniques de restauration morphologique pour le bon état écologique des cours d'eau



- 3 restaurer : le tracé en plan

Le choix du tracé en plan (reméandrage, dérivation) doit tenir compte :

- de l'incidence de la gestion réalisée parfois depuis plus de mille an (rupture de pente, sédimentation en lit majeur, gestion de la ripisylve, coupures de méandres, etc.)
- des modifications apportées par le projet (par exemple augmentation de la pente par suppression d'un seuil)
- de la gestion envisagée (par exemple maintien ou abandon de la gestion d'une ZH)



- 3 restaurer des fonctionnalités :



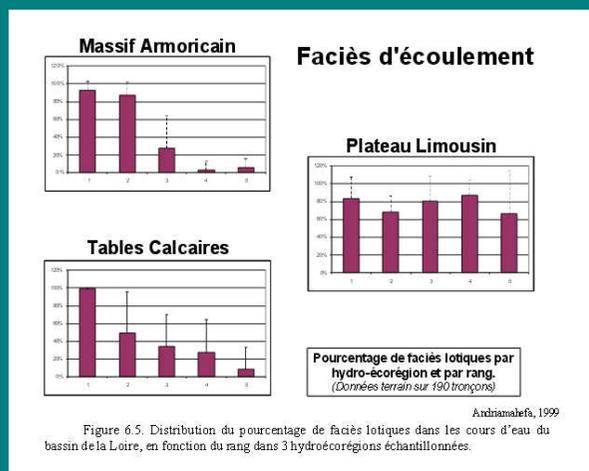
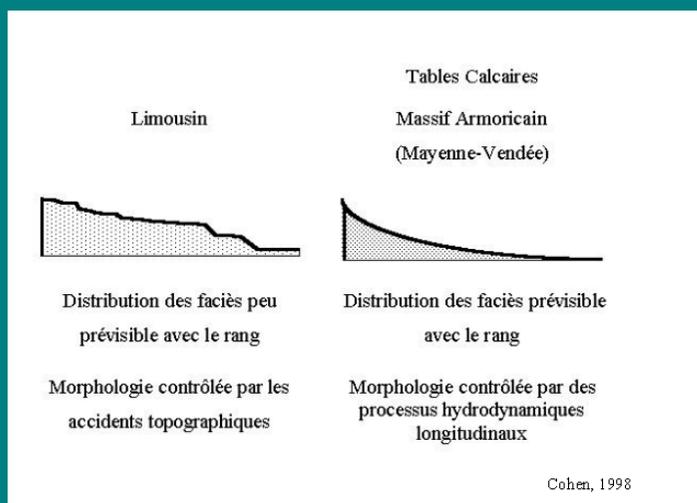
Gabarit adapté et formes diversifiées =

- frein hydraulique (ralentissement dynamique des crues, diminution des forces érosives...)
- résilience des cours d'eau
- soutien des étiages (maintien d'une ligne d'eau minimale, recharge des nappes...)
- diversité des habitats pour la flore et la faune
- qualité d'eau

Les échanges et processus de réduction des intrants se déroulent prioritairement dans le premier horizon sédimentaire de la zone hyporhéique et dans les zones d'infiltration du cours d'eau vers sa nappe d'accompagnement, c'est-à-dire **en tête de chaque radier!**

Il faut restaurer un maximum de radiers
(en nombre adapté au type de BV et de cours d'eau)

- 3 restaurer des fonctionnalités :



La répartition des faciès est plus ou moins régulière selon le type de cours d'eau

Le linéaire de radiers évolue avec le rang et la pente.

Pour les travaux de restauration, les radiers représentent en général de 10 à 30% du linéaire (pour les cours d'eau à forte pente, une restauration active est rarement nécessaire, et d'autres faciès interviennent).

Pour les cours d'eau sur alluvions, les radiers s'alternent avec les fosses selon un rythme proche de 6W (en moyenne)

Sur les petits cours d'eau de référence (non altérés du point de vue morpho) , l'épaisseur du matelas alluvial est de 30 à 40cm (jusqu'à 60cm)



- 3 restaurer des fonctionnalités :

Reméandrer et remonter le niveau du lit de 50 cm a permis de remonter le niveau de la nappe de **20 à 30 cm** au bout de 2 ans (Baattrup-Peterson *et al.*, 2000)

Un indice de sinuosité de 1,9 pour un cours d'eau en zone agricole a amélioré l'élimination des nitrates de **91 %** (Opdyke *et al.*, 2006 ; in Oraison, 2011*)

Elimination des nitrates au printemps : **40 000 km** de cours d'eau canalisés ou **2900 km** de cours d'eau à méandres (Opdyke *et al.*, 2006 ; in Oraison, 2011*)

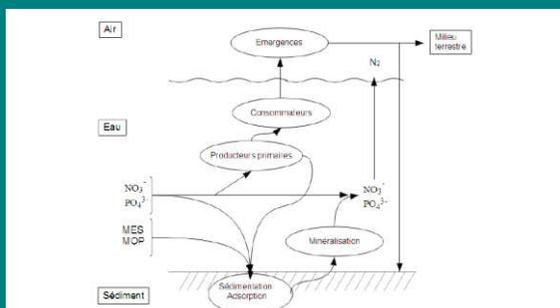


Figure 1 : Schéma des principaux processus participant aux mécanismes d'autoépuration (MES : Matières en suspension, MOP : matière organique particulaire)

Une majorité d'auteurs considère qu'une structure diversifiée favorise les échanges entre le cours d'eau, le substrat et la zone hyporhéique et augmente de fait les possibilités de mise en contact des nutriments avec, soit des bactéries capables de les transformer, soit des ions capables de les fixer (Rhoads *et al.* 2003; Ensign and Doyle 2006; Bukaveckas 2007; Roberts *et al.* 2007). Les échanges et processus se déroulent prioritairement dans le premier horizon sédimentaire de la zone hyporhéique et dans les zones d'infiltration du cours d'eau vers sa nappe d'accompagnement, c'est-à-dire en tête de chaque radier.

Exemple de suivi de restauration hydromorphologique

Cet exemple de restauration dans un cours d'eau dans un secteur proche d'une zone urbanisée montre une amélioration de la dénitrification (Kaushal *et al.* 2008) (Figure 16 et Figure 17). Il s'agit ici d'un reméandrage avec reconstitution d'une alternance de faciès, de mesures pour limiter l'incision, de reconnexion avec les amexes et de plantation de végétation en zone riparienne sur un linéaire d'environ 150 m. La zone amont (tête de bassin) de ce tronçon avait également été restaurée quelques années auparavant.

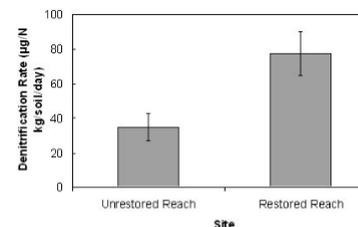
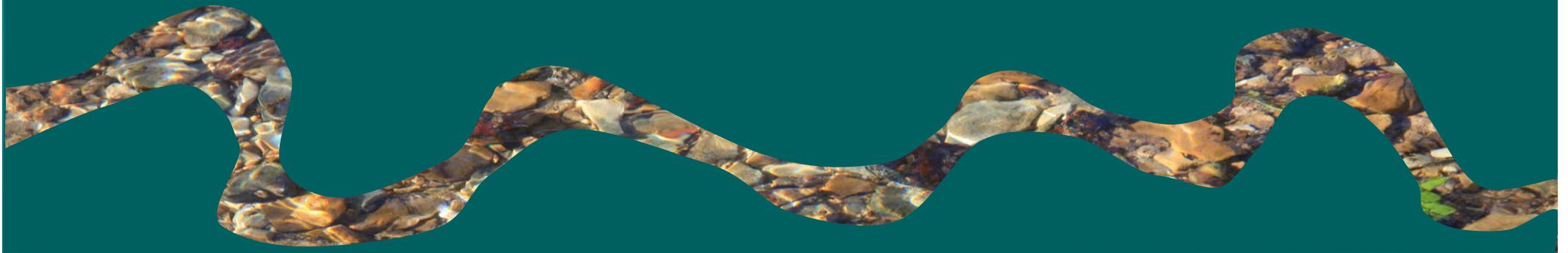
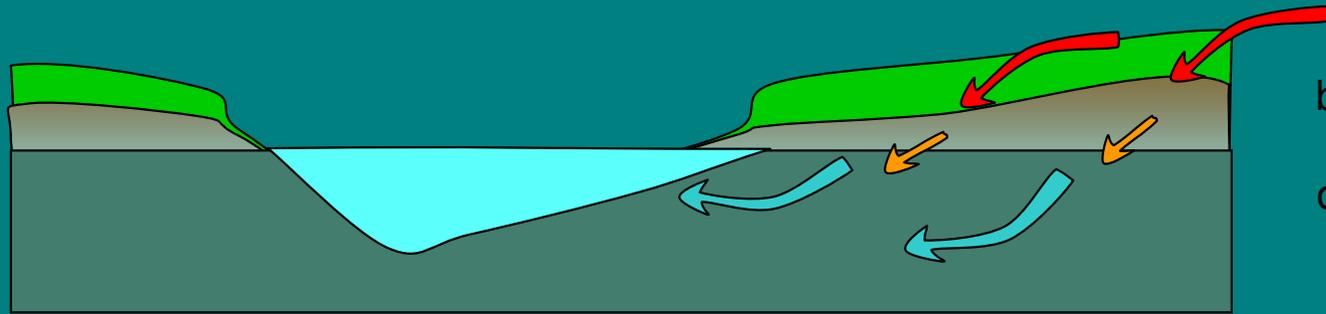


Figure 16 : moyennes des taux de dénitrification in situ tous sites confondus dans les tronçons restaurés vs non restaurés (3 prélèvements par site entre mai et juin 2004). Les sites restaurés montrent une moyenne de dénitrification supérieure (ANOVA, p=0.01) à celle des sites non restaurés.

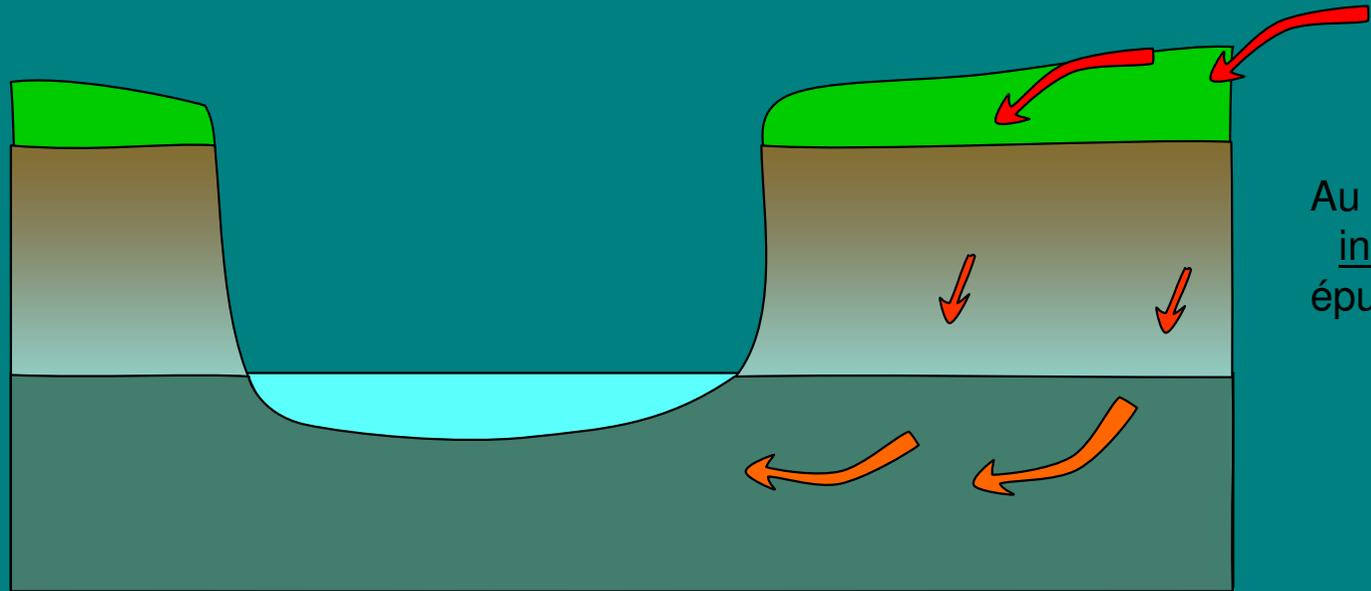


- 3 restaurer des fonctionnalités :

Réduire l'incision permet d'améliorer le fonctionnement épuratoire des zh et des bandes enherbées



A travers les bordures boisées ou enherbées des cours d'eau, l'épuration des eaux d'écoulement de surface est efficace

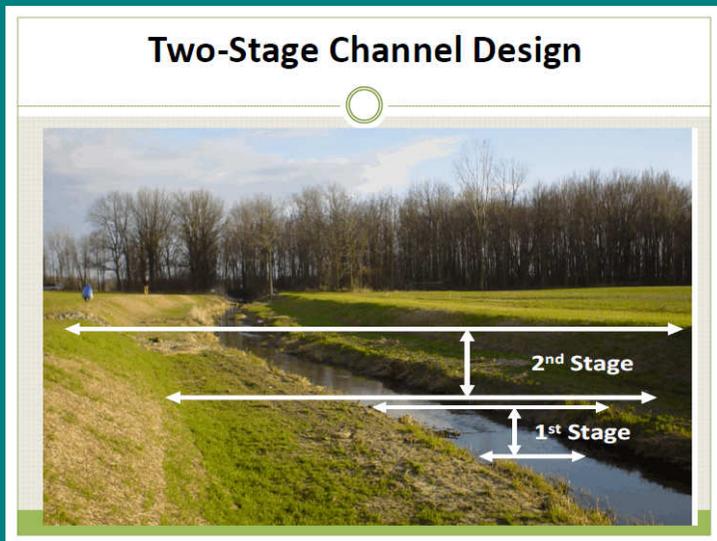


Au bord des cours d'eau incisés, le rendement épuratoire est très réduit



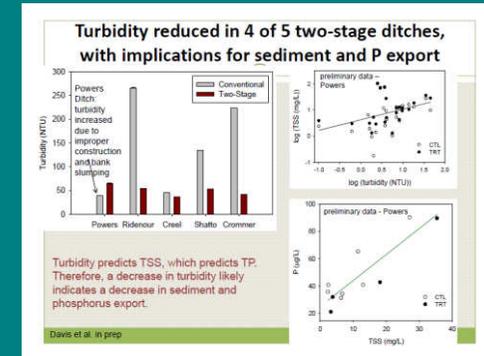
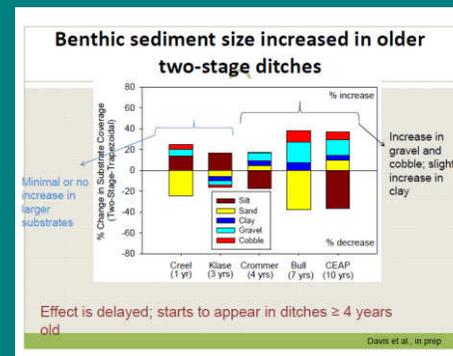
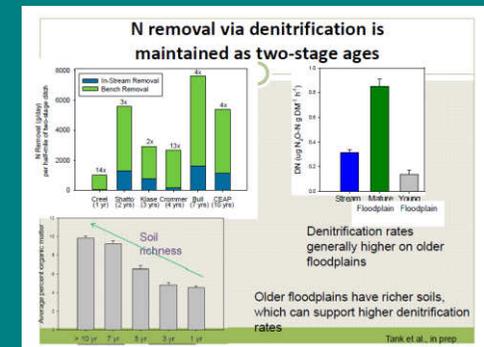
- 3 restaurer des fonctionnalités :

La mise en place de lits emboîtés (en place des cours d'eau rectifiés et recalibrés) peut permettre de réaliser des dérivations, de concilier des usages agricoles, en diminuant les coûts d'entretien et en assurant de nombreux services.



- Spreadsheet Tools
 - Two-Stage Cross Sections
 - Instream Nitrogen Assimilation Tool
 - Instream Phosphorus Assimilation Tool
 - Cost Estimator Tool
 - Contrasting Channels

Available at:
<http://www.dnr.state.oh.us/default/tabid/9188/Default.aspx> and coming soon to:
<http://agditches.osu.edu>



- Jon Witter
 - 614.292.6538, witter.7@osu.edu
- Andy Ward
 - 614.292.9354, ward.2@osu.edu
- Jessica D'Ambrosio
 - 614.247.7876, dambrosio.9@osu.edu

WATER QUALITY BENEFITS OF GRASSED FLUVIAL FEATURES IN DRAINAGE DITCHES

Andy D. Ward¹, Matthew T. Moore², Virginie L. Bouchard³, Kelly Powell⁴, Dan Mecklenburg⁵, Charles M. Cooper⁶ and Sammie Smith, Jr.⁷



Merci pour l'implication des maitres d'ouvrages dans la réalisation des travaux et le partage des informations, aux collègues et partenaires pour les suivis.