

MANUEL DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU

1

*Postulats et principes
généraux des opérations
de restauration*

2

*Les principaux dysfonctionnements
à l'origine des opérations
de restauration*

3

**Typologie des opérations
de restauration et
éléments techniques**



Table des matières

→ Petits aménagements piscicoles <i>(fiche 1)</i>	3
→ Création d'une ripisylve <i>(fiche 2)</i>	7
→ Epis <i>(fiche 3)</i>	11
→ Bancs et risbermes alternés <i>(fiche 4)</i>	19
→ Reconstitution du matelas alluvial <i>(fiche 5)</i>	23
→ Seuils et rampes <i>(fiche 6)</i>	27
→ Reconnexion d'annexes hydrauliques (hors suppression de digues) <i>(fiche 7)</i>	31
→ Arasement/dérasement de seuils <i>(fiche 8)</i>	43
→ Suppression des contraintes latérales <i>(fiche 9)</i>	49
→ Remise à ciel ouvert de cours d'eau <i>(fiche 10)</i>	55
→ Modification de la géométrie du lit mineur/moyen (augmentation limitée de l'emprise) <i>(fiche 11)</i>	61
→ Diversification de berges sur grands cours d'eau navigués <i>(fiche 12)</i>	67
→ Suppression des digues, élargissement de l'intra-digues <i>(fiche 13)</i>	75
→ Suppression d'étangs <i>(fiche 14)</i>	81
→ Reméandrage ou recréation de cours d'eau <i>(fiche 15)</i>	85
Travaux en limite des opérations de restauration	93
Mesures de limitation des impacts lors des opérations de restauration	99



Petits aménagements piscicoles

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Disparition de certains habitats piscicoles

NIVEAU D'AMBITION

R1

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous



🌊 Généralités

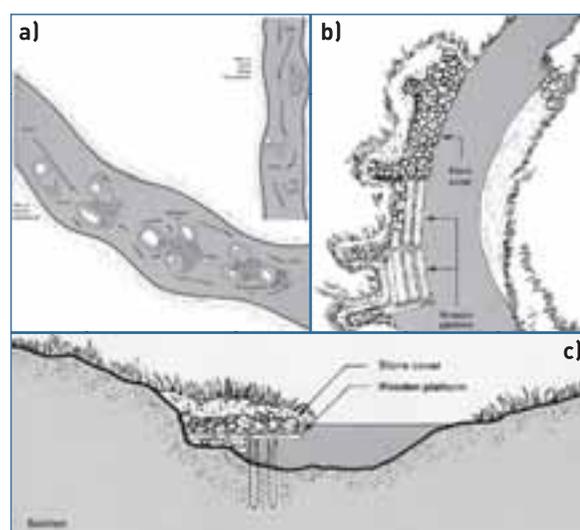
■ Contexte d'application

La plupart des dysfonctionnements hydromorphologiques constatés sur les cours d'eau peuvent être notamment traduits en termes de « perte d'habitats piscicoles ». Si l'on se limite à cet angle de vue et si l'on se trouve dans un contexte technique et foncier ne permettant pas de viser des niveaux d'ambition importants (R2, R3), on peut préconiser la réalisation de petits aménagements piscicoles (niveau R1).

Notons que la plupart des guides de restauration en langue française ou étrangère sont des manuels techniques décrivant des aménagements à vocation de restauration (*rehabilitation*) ou d'amélioration (*enhancement*) des habitats piscicoles (*fish habitats*). La grande majorité des travaux de restauration réalisés à ce jour en France ou ailleurs étant très fréquemment issue du monde de la pêche, ceci explique peut être aussi pourquoi la plupart des exemples de restauration relèvent de cette catégorie.

Pour ces raisons, la présente fiche restera très succincte et nous renvoyons le lecteur désirant mettre en œuvre ce type de techniques à une bibliographie existante déjà suffisamment fournie.

alevin, juvénile, adulte). Même si la recherche d'aménagements « copiant » la nature est souvent revendiquée, on doit malheureusement fréquemment constater que les ouvrages réalisés s'intègrent assez peu dans le paysage fluvial et sont souvent perçus visuellement comme des « verrues ».



Exemples de petits aménagements piscicoles. **a)** Installation de blocs dans le cours d'eau pour créer à la fois des abris hydrauliques pour les poissons adultes (généralement des truites) et éventuellement des zones de reproduction dans les dépôts de graviers qui se forment entre les blocs. **b)** Vue en plan d'installation de sous-berges artificielles pour créer des caches pour les poissons adultes (souvent des truites) **c)** Vue en coupe d'une sous-berge (source : Cowx I.G., Welcomme R.L., 1998). 🌊

🐟 NOTA

Certains de ces « petits aménagements piscicoles » sont repris de manière plus détaillée dans quelques fiches du présent guide (épis [fiche 3], petits seuils [fiche 6]). 🐟

■ Principes généraux

Le principe général qui sous-tend ce type de réalisation est de « recréer » des habitats à l'attention d'une ou plusieurs espèces cibles. On recherche parfois plus précisément l'amélioration de l'habitat d'un ou plusieurs stades de développement de ces mêmes espèces (reproduction,

La création de caches peut aussi être réalisée par la plantation de ligneux au pied volontairement arborescent en pied de berge et/ou avec des essences volontairement choisies parmi celles au développement racinaire superficiel, telles que des frênes par exemple.



↑ **Figure 1 :** Exemples de caches sur la Scie créés par des essences arborescentes au développement racinaire superficiel. ≍

≍ Préconisations

La principale préconisation que nous pouvons faire est de vérifier qu'il n'existe pas de possibilité de mettre en œuvre d'autres solutions plus ambitieuses et ne visant pas uniquement la valorisation d'un seul compartiment de l'hydrosystème. Un effort particulier de sensibilisation et de persuasion doit être fait auprès des partenaires du projet.

■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

La plupart des études préalables ou d'avant-projet pour ce type de restauration se limitent à identifier « l'habitat manquant » pour une espèce cible (souvent la truite ou un salmonidé à forte valeur halieutique) ou un stade particulier de développement d'une espèce cible (généralement la reproduction ou le stade adulte).

Il nous semble important, lors des études préalables, de bien identifier les dysfonctionnements globaux, de manière à :

- éviter de privilégier une espèce ou un stade de développement en particulier ;
- mettre l'accent sur la nécessité de rechercher un niveau d'ambition supérieur.

■ Caractéristiques hydromorphologiques à rechercher

Veiller à toujours chercher à produire des structures se rapprochant des caractéristiques naturelles : il paraît aberrant d'installer des blocs énormes dans un cours d'eau à galets et graviers, même si l'efficacité en terme d'abris hydrauliques peut être réelle. Mieux vaut réaliser des amas de galets d'une granulométrie proche de celle du cours d'eau (peut être légèrement augmentée pour résister aux forces tractrices de crue).



↑ **Figure 2 :** **En haut :** la mise en place de blocs ou d'amas de blocs dans un cours d'eau à substrat grossier peut être acceptable visuellement. **En bas :** elle l'est moins dans un contexte graveleux ou sableux. ≍

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

Il est important de signaler que ces petits aménagements ne doivent jamais être réalisés dans les remous hydraulique d'un seuil. L'absence de



↑ **Figure 3 :** Exemples de petits épis à vocation de diversification de l'écoulement sous-dimensionnés par rapport à la puissance du cours d'eau. Il n'y a quasiment pas d'effet hydraulique. ≍

vitesse se traduira par une absence totale d'efficacité.

Il est fondamental aussi de bien dimensionner ces ouvrages pour qu'ils aient une efficacité hydraulique suffisante. Nous avons souvent constaté des dimensionnements trop « modestes » se traduisant par des aménagements quasiment inefficaces.

Il est par contre nécessaire, en cas d'enjeux importants vis-à-vis des inondations, de vérifier par des calculs hydrauliques adaptés, que les structures en question ne créeront pas d'aggravation des phénomènes d'inondation.

■ Mesures connexes obligatoires

Sans objet.

■ Mesures connexes facultatives

Sans objet.

■ Techniques alternatives

Sans objet à ce niveau d'ambition.



POUR EN SAVOIR PLUS

Deux guides techniques particulièrement intéressants sont à conseiller :

En français :

→ Lenormand, M. (1999) : les petits aménagements piscicoles. Guide technique. Publié par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

En anglais :

→ Cowx I.G., Welcomme R.L. (1998) : Rehabilitation of rivers for fish. FAO.

Puis sur Internet :

→ Saldi-Caromile, K., K. Bates, P. Skidmore, J. Barenti, D. Pineo. 2004. Stream Habitat Restoration Guidelines : Final Draft. Co-published by the Washington Departments of Fish and Wildlife and Ecology and the U.S. Fish and Wildlife Service. Olympia, Washington.
<http://wdfw.wa.gov/hab/ahg/shrg/index.htm>



Création d'une ripisylve

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Modification de la nature des berges ; végétation riveraine absente, très clairsemée ou inadaptée

NIVEAU D'AMBITION

R1 à R3

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous mais à recommander surtout sur les cours d'eau peu puissants



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

La création/reconstitution de ripisylve est adaptée à tout type de cours d'eau. Elle est rarement conseillée comme unique mesure de restauration et est généralement couplée et appliquée en complément d'autres types de travaux tels que le reméandrage, la recréation de cours d'eau, le réaménagement des sédiments d'anciennes retenues suite à des travaux d'arasement de seuils, etc.

■ Principes généraux

La création de ripisylve peut être réalisée :

- sous la forme de **végétalisation simple** (plantations, boutures ou ensemencements) lorsque sa mise en œuvre poursuit uniquement des objectifs de diversification de milieux et de reconstitution d'un écotone rivulaire [cf. figure 4] ;
- sous la forme de « **techniques du génie végétal** » lorsque son application poursuit, en plus de considérations écologiques, des objectifs de protection contre l'érosion (fascines ou tressage de saules, couches de branches à rejets, caissons végétalisés, fascines d'hélophytes, lits de



↑ **Figure 4** : Boutures de saules en travaux à gauche et plantations d'arbustes avec protection anti-rongeurs à droite. 🌊

plants et plançons, emploi de géotextiles biodégradables, etc.) [cf. figure 5] ;

- **de manière spontanée et indirecte**, favorisée par : la mise en place d'ouvrages déflecteurs (voir fiche 3 « épis »), la réalisation de terrassements selon des formes et des pentes particulières, la mise en place de substrats spécifiques, bref, la création de conditions stationnelles adaptées [cf. figure 6].

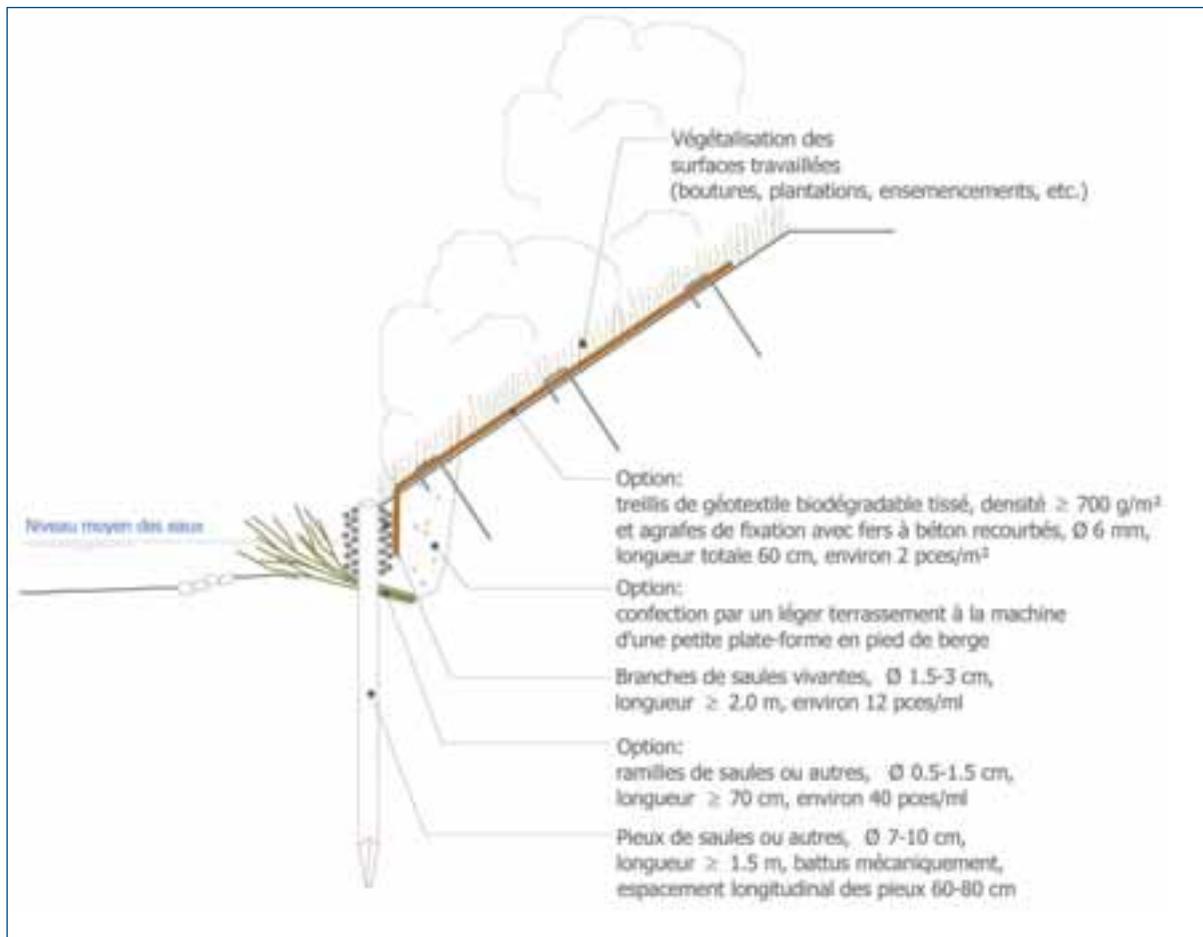
Il existe déjà de nombreux ouvrages sur les principes de végétalisation (voir bibliographie), c'est pourquoi on se limitera ci-après au rappel de deux principes fondamentaux à respecter dans tout projet de restauration :

- **proposer uniquement des espèces strictement indigènes et adaptées à la station**. En effet, dès le moment où l'objectif de l'opération de végétalisation est **écologique**, il est fondamental de ne proposer que des espèces adaptées. Un diagnostic préalable de la station et de ses alentours est incontournable pour projeter ensuite les bonnes espèces aux bons endroits (prise en compte de notions de climat, d'exposition, d'hydromorphie du sol, de granulométrie et de composition des substrats en place ou à mettre en œuvre, etc.) ;
- **dans un souci de diversification de milieux**, il faut varier les espèces, les formes, les strates, les densités de plantations, etc., et ceci dans un objectif le plus élargi possible, notamment vis à vis de la faune susceptible de fréquenter le secteur restauré. Un projet de restauration en général et de végétalisation en particulier ne devrait pas être déterminé pour une seule espèce « cible » d'un point de vue faunistique. Il est recommandé de favoriser la biodiversité en général.

🌊 Préconisations

■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

Diagnostic de terrain obligatoire à confronter avec les éléments de projet (relevés de végétation existante [adaptée ou inadaptée], conditions de sol, d'exposition, analyse du comportement hydraulique et hydrologique de la station, etc.).



↑ **Figure 5** : Illustrations de techniques du génie végétal. Profil type d'un tressage de saules en haut et détail de réalisation en bas. ≍

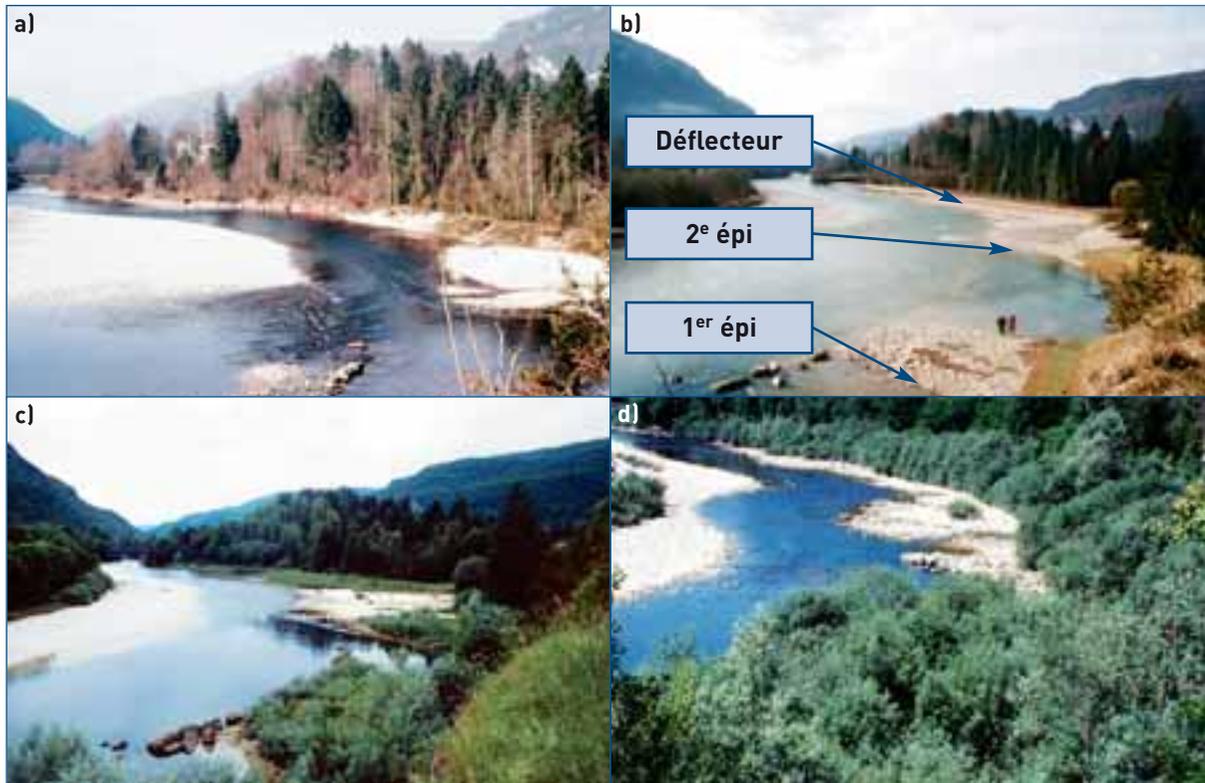


Figure 6 : Illustration de végétalisation avec des techniques indirectes. **a)** Erosion de berge concave (1996). **b)** Protection réalisée avec des déflecteurs (1997). **c)** Vue du site en 2001 (4 ans après travaux). **d)** Vue du site et de la « ripisylve » reconstituée en 2006, soit une dizaine d'années après travaux. ≡

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

Sur des rivières à faible puissance, des plantations riveraines peuvent réduire fortement les processus d'érosion latérale, par ailleurs intéressants pour la restauration d'un fonctionnement plus naturel de cours d'eau. Il faut alors bien identifier et mettre en balance les objectifs :

- garantir la dynamique fluviale ;
- améliorer le corridor fluvial.

Un surcroît de végétation ligneuse riveraine peut également « fermer » le cours d'eau qui aura tendance à s'inciser.

Dans des secteurs urbanisés où l'enjeu « protection contre les inondations » est prépondérant, un surcroît de végétation ligneuse peut également amener à une rehausse des niveaux de crue. Des opérations d'entretien et de gestion de la végétation riveraine plantée ou spontanée seront peut-être nécessaires.

■ Mesures connexes obligatoires

- Des opérations de végétalisation doivent obligatoirement s'accompagner de notions d'entretien et de garantie de l'entreprise titulaire du marché de travaux, ceci idéalement durant les 3 premières saisons végétatives qui suivent le chantier (notions à définir dans le cahier des charges des travaux).
- Veiller à protéger les surfaces plantées (au moins durant les trois premières saisons végétatives) de toute déprédation (bétail, rongeurs, chiens, etc.), par des clôtures provisoires de protections, des protections anti-rongeurs, des paillasses, des panneaux informatifs sur les travaux réalisés et remerciant tout usager de respecter les plantations, etc.

■ Mesures connexes facultatives

Sans objet

■ Techniques alternatives

Sans objet



POUR EN SAVOIR PLUS

- Adam P., Debiais N., Gerber F., Lachat B. (à paraître). **Le génie végétal, un manuel technique au service de l'aménagement et la restauration des milieux aquatiques**. Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables. La documentation Française.
- Zeh H. (2007). **Génie biologique, manuel de construction** (guide publié en 5 langues). Société suisse du génie biologique et Fédération Européenne pour le génie biologique.



Epis

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Homogénéisation des faciès, réduction de la profondeur d'eau d'étiage, etc.

NIVEAU D'AMBITION

R1 essentiellement, éventuellement R2

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous mais efficacité quasi nulle si les vitesses d'écoulement sont très faibles



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

La réalisation d'épis dans un contexte de restauration est adaptée pour répondre aux objectifs suivants :

- recentrage et dynamisation des écoulements ;
- diversification des substrats ;
- diversification des hauteurs d'eau ;
- création de caches et abris pour la faune piscicole.

Il est à noter que sur des cours d'eau de très faible puissance, les effets induits sont très réduits et limités à un effet de cache et abri pour la faune piscicole.

■ Principes généraux

La littérature présente de très nombreux types d'épis avec des agencements de blocs d'enrochement, la mise en place de troncs, de pieux, la réalisation de caissons ou casiers en rondins remplis de cailloux (figure 69), l'emploi de techniques issues du génie végétal (épis en fascines de saules, en tressages, etc.), etc.

Rétrécissant localement la largeur du lit d'étiage, les épis ont pour effet de créer des micro-turbulences des écoulements hydrauliques (même par faibles débits) ; micro-turbulences favorables à la diversification des substrats (alternance et mosaïque de granulométries différenciées des matériaux du fond du lit).



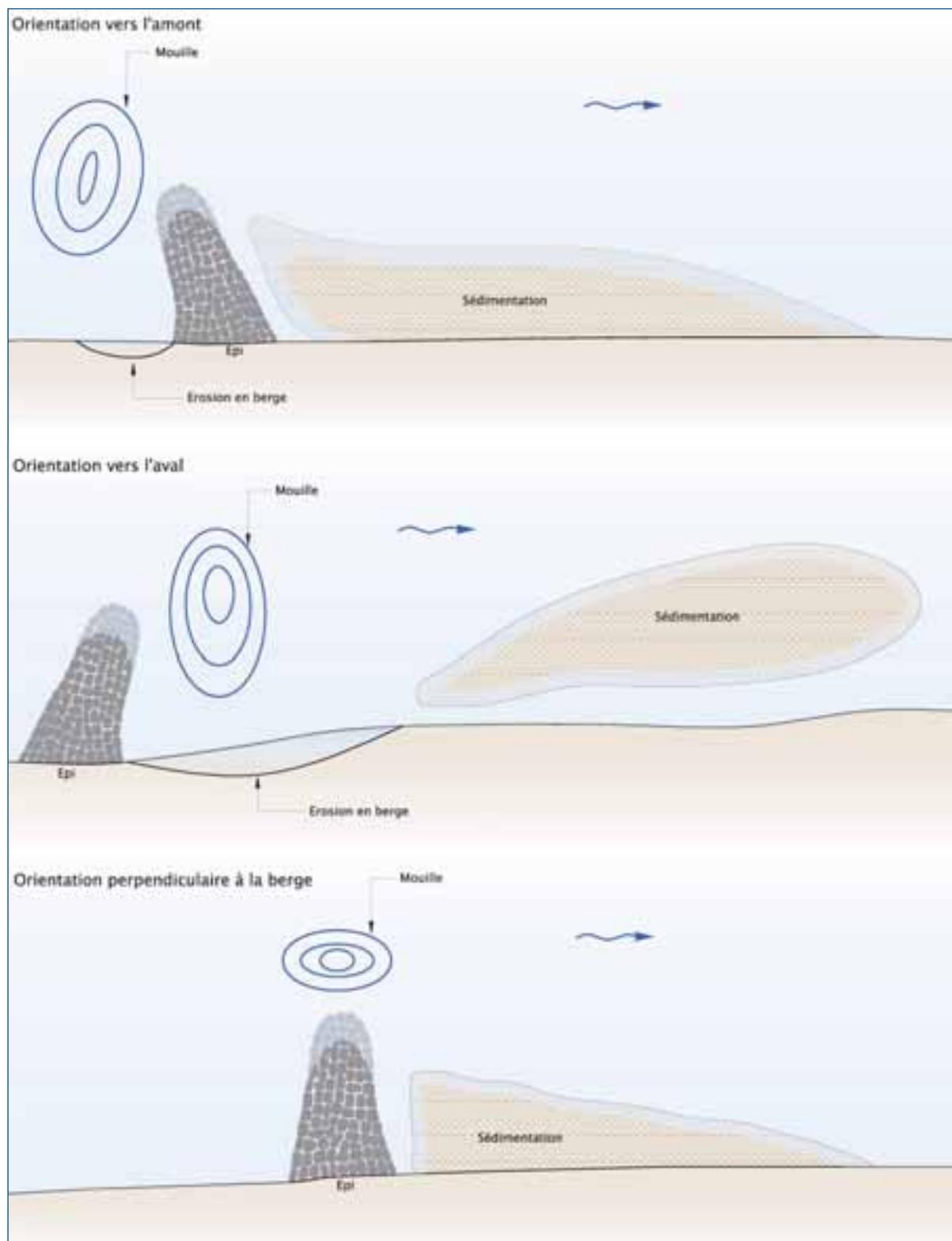
↑ **Figure 7** : Exemples de différents types d'épis. **a)** Epi plongeant en pieux. **b)** Epi en fascine de saule. **c)** Epi plongeant en blocs d'enrochement. **d)** Epis végétaux pour favoriser le développement de roselières. 🌊

Cette diversification des substrats, remaniés lors de chaque montée des eaux, est source de support de vie pour la faune (reproduction et développement des micro-organismes, frai des poissons, etc.).

Si les épis sont réalisés sous forme d'un agencement particulier de blocs d'enrochements, ils

sont également favorables à la faune piscicole de par leur rôle de cache et d'abri qu'ils génèrent.

La forme et l'orientation des ouvrages réalisés influent directement sur les effets de diversification produits (figure 8).



↑ **Figure 8** : Illustration schématique de différents effets produits sur la diversification des substrats ou des hauteurs d'eau liées à l'orientation des épis (figure Biotec). ≡

🌊 Préconisations

■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

La mise en place d'épis sur un cours d'eau exige une topographie précise du lit mineur.

Implantés dans le lit mineur du cours d'eau et pouvant provoquer des impacts non négligeables sur les cotes de crue, l'analyse de ces impacts est un élément préalable incontournable, s'ils sont mis en place sur des sites à fort enjeu au regard du risque inondation (milieu urbain).

Devront également être analysés les risques liés à un éventuel approfondissement localisé du lit, au développement de zones érodées au droit ou en face des ouvrages prescrits, ainsi que sur le risque de « piégeage » de bois mort ou d'embâcles transportés par le cours d'eau.

■ Caractéristiques techniques à rechercher

Puisqu'il s'agit de mettre en place des épis dans un but de restauration des milieux aquatiques, il est fortement recommandé de varier les formes des ouvrages, leur orientation, leurs dimensions, etc., de manière à favoriser au maximum la biodiversité. Dans ce sens, il est rarement fait appel à un seul ouvrage ; **les épis sont à réaliser en série.**

Il est tout à fait possible de mettre en place des épis en intrados de courbure de méandre, ce qui a pour effet de dynamiser les processus d'érosion latérale sur la berge opposée.

D'un point de vue constructif, on s'attachera néanmoins à respecter certains principes fondamentaux (figure 9) :

- réaliser des ouvrages plongeants, de manière à maximiser les effets sur les courants hydrauliques ;
- les « têtes » d'épis étant les parties les plus sollicitées, on s'attachera à réaliser un bon ancrage, de façon à pérenniser les ouvrages réalisés ;
- pour limiter le risque de contournement des ouvrages réalisés en temps de crue, on veillera à bien ancrer les épis en berge ou à suffisamment protéger cette dernière face à l'érosion ;
- comme il a été vu, il est recommandé de varier les dimensions des ouvrages, mais pour que les effets sur les écoulements soient significatifs, on produira des épis dont la longueur est environ égale au 2/3 de la largeur du lit mineur.

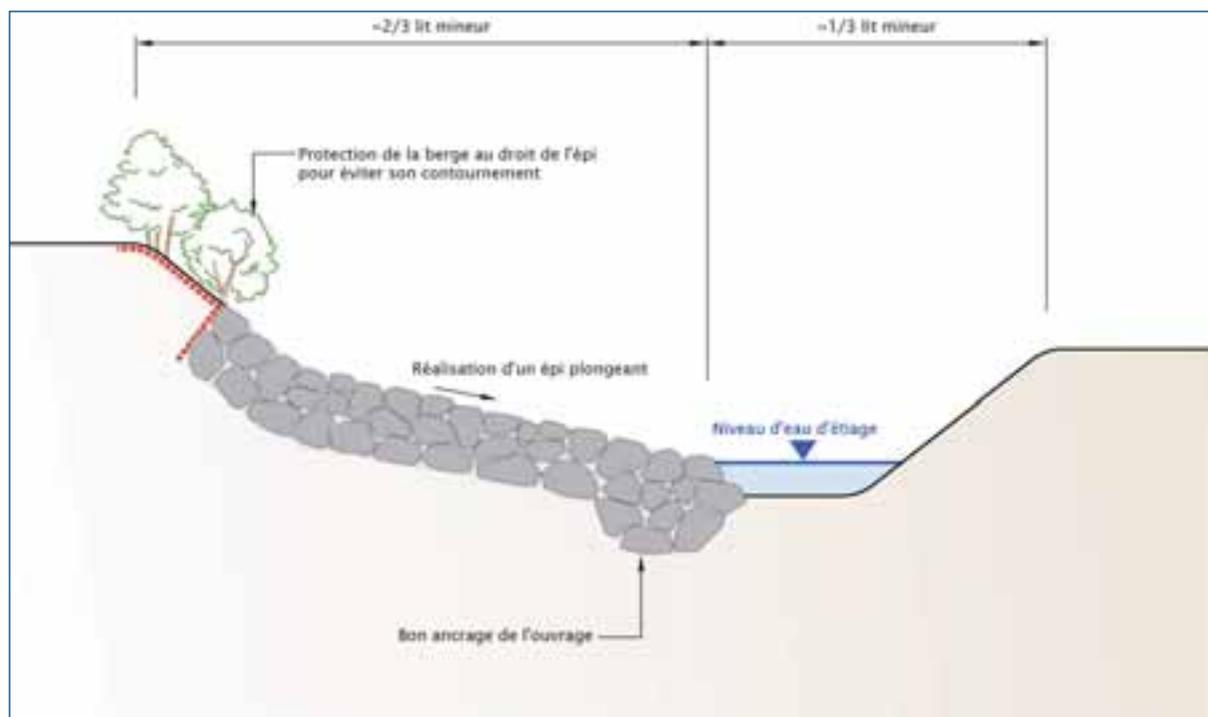
■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

- Augmentation du risque d'érosion

Du fait des turbulences et remous hydrauliques provoqués par les épis, il faut veiller à ce que les ouvrages réalisés ne soient pas eux-mêmes source de dégradation des berges limitrophes, si ce n'est pas là précisément le but de leur implantation.

- Augmentation de la fréquence des débordements

Du fait de l'augmentation de la rugosité du fond du lit, il est possible que les épis aient un impact non négligeable sur les hauteurs d'eau en crue et la fréquence des débordements.



↑ Figure 9 : Schéma « type » d'un épi plongeant en blocs (figure Biotec). 🌊

■ Mesures connexes obligatoires

La protection nécessaire des berges au droit des ouvrages pour éviter que les épis ne soient à terme isolés au milieu du cours d'eau.

■ Mesures connexes facultatives

Il est très courant que des épis soient accompagnés de travaux de terrassement du lit mineur, lorsque l'on cherche à en rétrécir la largeur avec la mise en place de bancs ou de risbermes alternées (fiche 4). Ainsi, on pourra « profiter » des épis réalisés pour prédisposer, dès la phase de chantier, des matériaux alluvionnaires du lit entre les épis.

■ Techniques alternatives

En alternative et suivant les cas, il peut être réalisé des mini-seuils (fiche 6), des bancs alternés ou des risbermes (fiche 4).

🌊 Exemple de la restauration morpho-écologique de la Brenne à Vénarey-les-Laumes



↑ Figure 10 : Localisation du secteur (source : Géoportail, IGN). 🌊

■ Problématique

Affluent rive droite de l'Armançon, cours d'eau lui-même affluent de l'Yonne qui conflue au final avec la Seine, la Brenne est une rivière de Côte-d'Or présentant des débits moyens annuels relativement modestes (module interannuel proche de 7,78 m³/s à Montbard).

Objet, au cours du siècle passé, de profonds travaux de chenalisation (de type : rescindement, recalibrage, empierrement de berges généralisé), la Brenne a naturellement recherché par la suite à retrouver une morphologie plus conforme à sa dynamique (débit de pleins bords proches de 30 m³/s, puissance spécifique développée de l'ordre de 50 W/m²).

Dans le but de résoudre les impacts parfois regrettables de ces processus de réajustement naturel (incision du lit, profonds bouleversements des processus de redistribution des sédiments entraînant en certains secteurs d'importants phénomènes d'atterrissement et une réduction significative de la débitance de la rivière, glissements des empierrements existants, affouillements de berges en des endroits à forts enjeux, etc.), le Syndicat Intercommunal pour la Réalisation des Travaux d'Aménagement de la Vallée de l'Amançon (SIRTAVA) a souhaité engager un programme de travaux visant à la remise en état et à la valorisation du lit et des berges de la Brenne dans sa traversée notamment du territoire de Vénarey-les Laumes.

■ Objectifs des travaux de restauration envisagés

- **Guider la dynamique latérale du cours d'eau** tout particulièrement de part et d'autre du pont de la RD 954, afin d'éviter l'affouillement des piles de l'ouvrage de franchissement de la rivière puis maintenir son dimensionnement hydraulique originel.
 - **Substituer aux empierrements dégradés, dans les zones à forts enjeux, des ouvrages de stabilisation de berges ayant recours aux techniques de génie végétal** (abords de propriétés bâties et camping municipal limitrophe notamment).
 - **Gérer la dynamique de transport solide du cours d'eau** en favorisant les processus de dépôts en des secteurs où ils n'induisent aucun problème vis-à-vis des usages actuels et du risque inondation.
 - **Assurer l'émergence d'un tronçon de cours d'eau biologiquement fonctionnel** (riche et varié en terme de faciès d'écoulement, d'habitats piscicoles, puis d'espèces) et **parfaitement intégré dans son environnement** (enjeu « paysager » dans le cas d'une traversée urbaine).
 - **Développer une démarche de sensibilisation accrue** (maîtrise d'œuvre en « binôme » concepteur/représentants de l'Etat, multiplication des séances de concertation et de présentation du projet, suivi des réalisations, diffusion de supports pédagogiques (cassette vidéo)) dans le double but :
 - d'inciter les collectivités et gestionnaires partenaires du SIRTAVA à modifier leurs références en terme « d'aménagement de cours d'eau » lorsqu'elles sont confrontées à des problématiques de dynamique fluviale (érosions, atterrissements, inondations) ;
 - de démontrer que les travaux de chenalisation sont vecteurs de profondes perturbations et qu'il convient de préserver une certaine marge de liberté ou espace de fonctionnalité à la rivière.
- Niveau d'ambition : R2



↑ **Figure 11** : Travaux de démontage des empierrements existants (30.08.01) puis de réutilisation des blocs dans le cadre de la mise en place d'épis déflecteurs (18.09.01). ≈

■ Description des aménagements réalisés

Deux premières tranches de travaux de « décoration » s'étendant grossièrement entre le déversoir du Luziau (extrémité amont) et l'aval du pont de la RD954, soit sur un linéaire de près de 1 200 mètres, ont été conduites durant l'automne 2001 et le printemps 2002.

Près de 2 500 tonnes de blocs d'empierrement de berge ont alors été démontées et, pour partie, évacuées. Une partie de ces matériaux pierreux a été réemployée in situ afin de créer un seuil de fond de stabilisation du profil en long ainsi que des ouvrages déflecteurs des courants hydrauliques (épis). Ces épis sont destinés à accompagner les processus d'érosion et de dépôts en des endroits judicieusement choisis puis favoriser le développement d'un chenal préférentiel d'écoulement réduit et diversifié en période d'étiage.

De l'amont vers l'aval, de nombreux travaux forestiers ont été exécutés de façon à rajeunir les formations végétales riveraines (dynamisation des systèmes racinaires par des actions de recépage), limiter le poids des sujets arborés en rive (notamment lorsque celles-ci sont fortement exposées aux contraintes d'écoulement) et opérer une stra-

tification des boisements riverains lorsque possible. Si plusieurs secteurs d'érosion transversale active n'ont pas été stabilisés en partie amont du tronçon de travaux de façon à « nourrir » le transport solide et permettre de préserver une source de recharge alluviale, une part des talus riverains a néanmoins été protégée en partie médiane et aval du secteur travaillé en fonction de l'acuité des enjeux existants.

Ces travaux de remodelage et de végétalisation de berges à des degrés divers (avec ou sans ouvrage de stabilisation de pied, etc.) ont systématiquement été conduits en veillant à œuvrer en déblai puis au moyen de techniques issues du génie végétal (fascines de saules, fascines d'hélophytes, lits de plants et plançons, géotextiles biodégradables, plantations ripicoles, ensemencements, etc.).

Le marché de travaux a intégré une période d'entretien et de suivi des aménagements végétaux durant trois ans.

Le coût total des deux premières tranches de travaux de restauration de la Brenne à Vénarey-les-Laumes a atteint la somme de 172 420 € HT pour ~ 1 200 mètres linéaires de cours d'eau réaménagé, soit ~ 145 € HT/ml.



↑ **Figure 12** : Début de reprise végétale et formation de premiers atterrissements (14.03.02) puis état des ouvrages en fin de première saison estivale (25.09.02). ≈



↑ **Figure 13** : Développement végétal quatre années après travaux (19.10.05), puis après cinq années et quelques travaux de gestion des boisements ligneux (30.05.06). ≡

■ Evolution et appréciation générale

D'une manière générale, il semble que les interventions conduites aient répondu opportunément aux principaux objectifs fixés par le Maître d'ouvrage et ses partenaires (commune de Vénarey-les-Laumes et Conseil Supérieur de la Pêche (ancien CSP, aujourd'hui ONEMA), notamment).

Synthétiquement, il ressort que les ouvrages de stabilisation de berges réalisés assurent globalement et désormais une protection souple et efficace des talus riverains, une insertion paysagère optimale des aménagements et participent activement à la sécurisation des abords de la Brenne au sein de la traversée bâtie de Vénarey-les-Laumes.



↑ **Figure 14** : Travaux visant à favoriser la reconstitution d'un lit d'étiage ou chenal préférentiel d'écoulement de configuration variée et adaptée à la nature des débits existants (travaux au moyen d'épis en blocs et opérations simples de végétalisation – ensemencements, mottes de plantes hélophytes et boutures de saules) – Evolution des aménagements à travers quatre années. ≡



↑ **Figure 15** : Trois ans après les travaux, ce tronçon de la Brenne "décorrigé" a retrouvé une certaine diversité écologique ainsi que des faciès d'écoulement variés à l'origine d'une "mosaïque" végétale. ≈

Pour ce qui est de la dimension physique de l'hydrosystème, les ouvrages implantés en lit mineur (seuils et épis en blocs) ont également induit un travail morphologique adapté de la rivière se traduisant aujourd'hui par une diversification accrue des faciès d'écoulement et hauteurs d'eau : existence de fosses de dissipation d'énergie, de moulles au droit des « têtes » des épis, etc. Cette activité géodynamique s'est traduite également par l'émergence de nouveaux phénomènes d'érosion transversale, localisés, de faible ampleur (manifestations physiques limitées) et ne remettant nullement en cause des usages particuliers (absence d'enjeux).

D'un point de vue biologique, les aménagements réalisés ont permis l'émergence de milieux et peuplements végétaux variés (ourlets de plantes hélrophytes, boisements à bois tendre et mésophiles (bois durs)) puis de juguler le développement de végétaux dits xénophytes antérieurement présents sur site. Mais aucun suivi « faune/flore » en tant que tel n'a été réalisé depuis les travaux.



CONTACT

→ **Nicolas Debiais**

Organisme :

Biotec Biologie appliquée sarl
65-67, cours de la Liberté - 69003 Lyon
E-mail : biotec@biotec.fr



Bancs et risbermes alternés

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Homogénéisation des faciès, faibles profondeurs à l'étiage, absence de bancs alluviaux

NIVEAU D'AMBITION

R1-R2

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous mais les bancs alternés se formeront plus ou moins naturellement sur des cours d'eau à transport solide moyen à fort. Les risbermes artificielles sont à recommander sur les cours d'eau à faible transport solide



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

La recréation de bancs alluviaux alternés « naturels » ou de risbermes artificielles est une technique intéressante dans un contexte de lit rectiligne ou quasi-rectiligne présentant une grande homogénéité des faciès d'écoulement (PLAT dominant) ainsi que de faibles profondeurs en étiage (étalement de la lame d'eau). L'objectif poursuivi est donc à la fois d'améliorer la diversité des écoulements du lit mineur et d'en augmenter la profondeur si celle-ci est insuffisante mais aussi de recréer des habitats rivulaires se rapprochant de ceux que l'on trouve sur les bancs alluviaux naturels.

■ Principes généraux

La technique de restauration consiste à recréer des structures se rapprochant de la morphologie des bancs alluviaux alternés qui se développent sur les cours d'eau à transport solide moyen à fort. Sur ces cours d'eau, même sur des tronçons

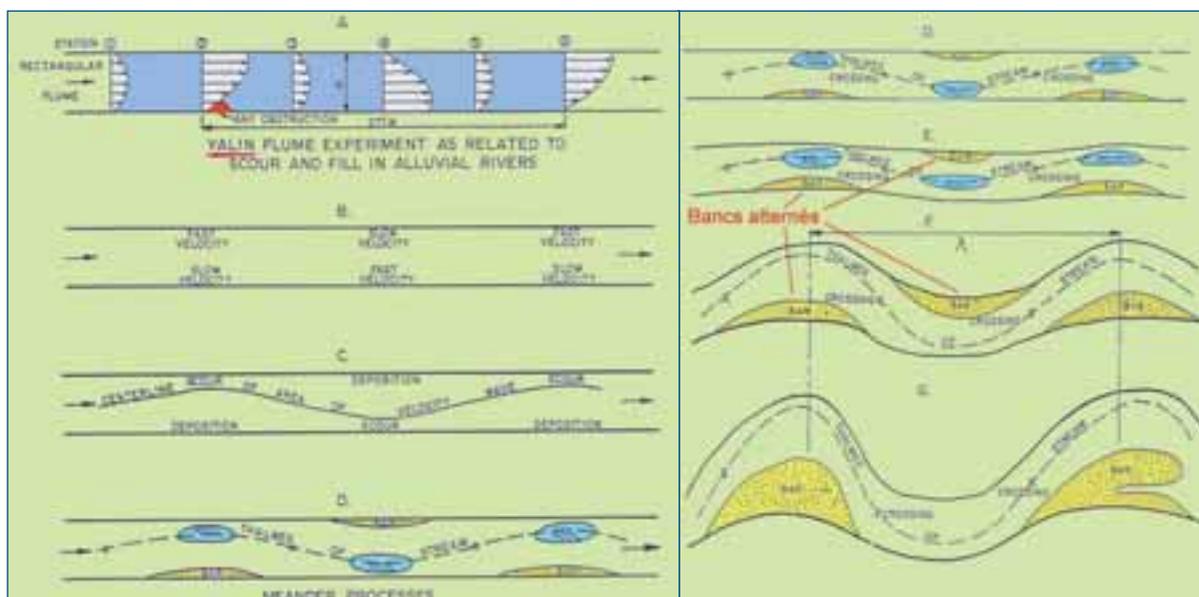
naturellement ou artificiellement rectilignes, la migration des alluvions grossières se fait sous la forme caractéristique de **bancs alternés**.

Lorsque les berges sont érodables, ces bancs alternés favorisent l'érosion latérale et initient le développement de sinuosités, voire de méandres. Les expériences menées en laboratoire depuis plusieurs décennies sont tout à fait explicites.

Les bancs alluviaux alternés se développent dans des conditions naturelles ou en chenal expérimental selon un **schéma en plan très régulier** :

- leur 1/2 longueur d'onde est de l'ordre de 4 à 6 fois la largeur du lit mineur à pleins bords (L) ;
- leur longueur développée dans l'axe du chenal est elle aussi de 4 à 6 fois L ;
- leur largeur perpendiculairement à l'axe du chenal est comprise entre 0.5 et 1 L (le profil en travers est généralement plongeant de la rive convexe vers la rive concave).

Notons que ces bancs alluviaux peuvent être plus ou moins végétalisés selon l'hydraulique récente du cours d'eau. Ils présentent ainsi des



↑ **Figure 16** : Expérience de Yalin sur modèle réduit montrant le développement de bancs alternés puis de sinuosités (Yalin, 1972). ≡



↑ **Figure 17** : Exemple de bancs alternés se développant naturellement sur l'Isère (38) rectifiée et endiguée (source : Géoportail, IGN). ≍

milieux naturels rivulaires très évolutifs et extrêmement riches, depuis les alluvions purement minérales jusqu'à des fourrés de saules vieillissants, en passant par toutes les successions herbacées.

≍ Préconisations

Les principes mis en œuvre de ces techniques seront très variables selon le score géodynamique du cours d'eau et particulièrement selon ses apports solides :

– Apports solides moyens à forts

On pourra dans ce cas se « contenter » de créer des structures de blocages des alluvions en transit de type « série d'épis » (fiche 3). Si les zones de stockage d'alluvions grossières se situent très en amont du site à restaurer (à plusieurs « années de transport ») on pourra éventuellement amener les matériaux directement sur le site et les disposer au droit des structures de blocage.

– Apports solides faibles

Si les apports naturels d'alluvions ne sont pas envisageables, il sera nécessaire de créer artificiellement des structures ressemblant aux bancs alternés naturels. On parlera ici de risbermes. Il est également indispensable d'adapter les ouvrages à la puissance du cours d'eau. Ainsi, plus la puissance du cours d'eau sera importante, et plus les aménagements devront être renforcés (par exemple au moyen d'enrochements, avec l'emploi de géotextiles tissés biodégradables en coco si les risbermes sont végétalisées, etc.).

■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

Analyse obligatoire des variables géodynamiques de transport solide, de puissance et d'érodabilité des berges vues plus haut, ceci de manière à déterminer d'emblée si la restauration sera passive ou active, simple avec la seule mise en place de dépôts graveleux ou très aboutie avec des risbermes totalement construites, voire végétalisées, etc.

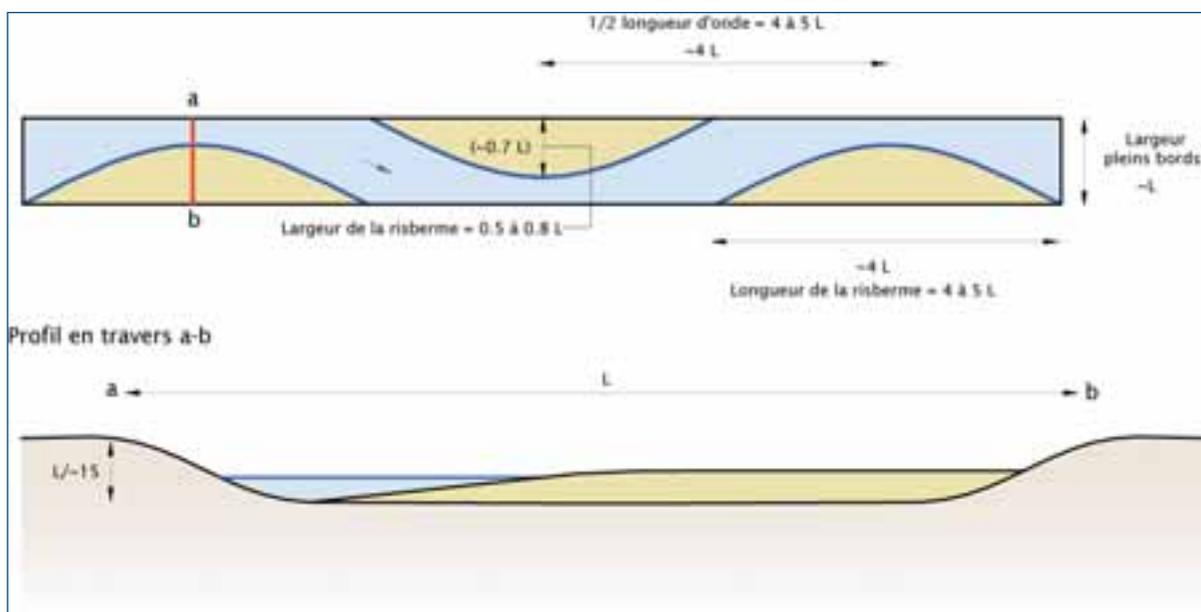
■ Caractéristiques techniques à respecter

Le schéma ci-après (figure 18) présente une implantation typique de risbermes alternées dont les caractéristiques sont calquées sur celles des bancs alternés naturels.

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

● **Risque d'augmentation de la fréquence des débordements**

La réduction de la section d'écoulement par les structures peut à elle seule engendrer une augmentation de la fréquence des débordements. En milieu urbain ou périurbain, il sera donc nécessaire de modéliser les effets hydrauliques de cette réduction de capacité (modèle hydraulique simple monodimensionnel permettant de faire varier la rugosité du lit et/ou la section d'écoulement). Le vrai risque hydraulique dans les secteurs soumis à un enjeu « inondation » nous semble surtout lié à la nécessité d'entretien des bancs ou des risbermes pour éviter le développement d'une végétation trop dense qui conduirait à une réduction



↑ **Figure 18** : Schéma type d'implantation de risbermes alternées (L est la largeur à pleins bords) (figure Malavoi-Biotec). ≍

beaucoup plus significative de la capacité d'écoulement du lit mineur.

● **Risque d'augmentation des érosions de berges**

Si des bancs alternés ou des risbermes sont réalisés sur des tronçons de cours d'eau où l'emprise est limitée avec des enjeux humains forts de part et d'autre (niveau d'ambition de type R1), il faut veiller à ce que les ouvrages réalisés ne soient pas la cause d'érosion des berges par effet de « déflecteur » et de reméandrement engendré par les aménagements. Dans de telles situations, on pourra se limiter à des bancs alternés ou des risbermes de dimensions plus réduites et dont la largeur n'excédera pas 0.3 L.

Dans de pareils cas, comme par rapport au risque « inondation », il faudra également veiller à limi-

ter le développement d'une végétation trop dense sur les ouvrages réalisés.

■ **Mesures connexes facultatives**

Sans objet.

■ **Techniques alternatives**

- Mise en œuvre d'un espace de mobilité élargi de manière à favoriser naturellement une « divagation » naturelle du lit d'étiage.
- Mise en place d'une série d'épis (fiche 3).
- Sur les cours d'eau à score géodynamique élevé, déversement de matériaux dans le lit et laisser faire pour reconstitution d'un matelas alluvial (fiche 5).



Reconstitution du matelas alluvial

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Incision du lit mineur, disparition du substrat alluvial

NIVEAU D'AMBITION

R1-R2

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous mais à conseiller plutôt sur les cours d'eau à faible transport solide



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

L'incision généralisée des lits fluviaux, observée sur de nombreux cours d'eau à fond mobile, est généralement due à une surexploitation de leurs alluvions (extractions en lit mineur par le passé). Cette incision, outre les dysfonctionnements écomorphologiques énoncés plus haut, présente des inconvénients humains majeurs, dont le plus grave est probablement la réduction corrélative de l'épaisseur de l'aquifère alluvial, donc la perte, à court terme, d'une ressource en eau potable de qualité.

Un autre impact majeur sur le plan socio-économique est la déstabilisation d'ouvrages d'art (ponts, digues, seuils, barrages, etc.), fort coûteux à reconstruire ou à surprotéger.

Les travaux de **recalibrage, endiguement, enrochement, rectification** ont eux aussi durablement contribué à favoriser l'incision des lits fluviaux et à altérer fortement le fonctionnement des écosystèmes aquatiques.

Pour remédier à ces phénomènes d'incision et de disparition du substrat alluvial, et sous réserve que la dégradation ne soit pas irréversible, la solution la plus efficace à long terme est la **restauration d'un espace de mobilité** qui permettra au cours d'eau d'ajuster sa géométrie en long, en plan et en travers et de se recharger en sédiments par le biais de l'érosion latérale. Cette solution, dite « passive » et d'un niveau d'ambition R3, n'est pas présentée dans le cadre de ce manuel et fait l'objet d'autres ouvrages spécifiques (voir bibliographie).

Dans les cas où cette solution ambitieuse n'est pas envisageable, il peut être intéressant de tenter de rehausser le niveau du lit mineur et de reconstituer un substrat alluvial par des mesures du type de celles présentées ci-après.

■ Principes généraux

● Les fonctions de la charge alluviale grossière

Tout cours d'eau naturel transporte des alluvions fines et grossières. La quantité et la qualité des

alluvions transportées est extrêmement variable selon la nature des bassins versants, l'occupation de leurs sols et les caractéristiques géodynamiques des cours d'eau eux-mêmes (leur puissance spécifique notamment). Certains types d'aménagements modifient aussi de façon drastique les caractéristiques de ce transport solide : les barrages qui piègent intégralement les sédiments grossiers et les extractions en lit mineur qui les sortent du système fluvial.

Le **transport solide de sédiments grossiers ou charge de fond** (la charge en suspension ne présente pas le même intérêt) joue trois rôles majeurs :

- c'est l'une des deux variables de contrôle de l'équilibre dynamique des cours d'eau. Le manque d'alluvions dans le plateau de la balance génère systématiquement une érosion, particulièrement aux dépens du fond du lit (incision) ;
- c'est sa distribution spatiale qui crée en grande partie la diversité des faciès d'écoulement et des milieux alluviaux rivulaires (figure 19) ;
- c'est le support de vie de très nombreuses biocénoses aquatiques et rivulaires et le support de reproduction indispensable à de nombreuses espèces de poissons.

C'est la restauration de tout ou partie de ces trois fonctions majeures que l'on cherchera donc à rétablir grâce à la mise en œuvre de travaux adaptés :

- restaurer l'équilibre dynamique ;
- restaurer la diversité des milieux aquatiques et rivulaires (faciès d'écoulement, bancs alluviaux) ;
- restaurer les conditions d'habitat des biocénoses aquatiques.

🌊 Préconisations

■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

La solution technique à mettre en œuvre sera fonction des caractéristiques géodynamiques du cours d'eau à restaurer et notamment de l'intensité et de la nature de son transport solide actuel.



Figure 19 : Exemples de milieux naturels créés par la distribution spatiale de la charge de fond. **a)** Mosaïque de milieux aquatiques et rivulaires. **b)** Faciès radier, plat et banc alluvial **c)** Faciès plat et radier. **d)** Diversité de milieux sur un large banc alluvial. ≍

L'étude préalable s'attachera donc à localiser les zones de stockage et de production de la charge grossière en amont du secteur à restaurer, notamment grâce à l'utilisation des orthophotoplans de l'IGN (voir chapitre concernant l'évaluation des apports solides).

L'étude préalable devra aussi tenter de déterminer les délais nécessaires pour que ces masses sédimentaires arrivent sur le site de restauration. Malheureusement, la *vitesse de transit des masses alluviales fluviales* fait encore largement partie du domaine de la recherche et l'on ne sait pas encore la calculer correctement. Certaines publications permettent cependant d'en donner un ordre de grandeur, très variable selon les caractéristiques géodynamiques et géomorphologiques du cours d'eau : entre *30 à 500 m/an en moyenne*.

Si des stocks alluviaux sont disponibles et mobilisables à une distance raisonnable du site à restaurer (c'est-à-dire dont on peut attendre « l'arrivée » sous 4-5 ans), on se contentera de « laisser faire la nature » et de prévoir, éventuellement, des structures de blocage partiel de cette charge de fond (il ne s'agit pas, par des mesures de restauration locales, d'aggraver le déficit alluvial en aval ; fiche 6 « Seuils et rampes »).

Si l'on ne peut compter, ni sur des apports naturels de l'amont, ni sur l'érosion locale des berges (espace de mobilité), il sera nécessaire d'**apporter**

sur place les matériaux. C'est cet apport artificiel qui est détaillé dans cette fiche.

■ Caractéristiques géomorphologiques à rechercher

Si le score géodynamique est élevé et dans le cas de la recherche du rétablissement des fonctions morpho-écologiques de la charge alluviale de fond, on ne visera pas à « mettre en forme » les alluvions qui seront apportées. On laissera les processus géodynamiques naturels répartir les sédiments :

- sous forme de bancs alternés si l'on est dans une configuration plutôt rectiligne (fiche 4 « Bancs et risbermes alternés ») ;
- sous forme de bancs de convexités si le tracé est plus sinueux ;
- sous forme de bancs alternés et de bancs médians si l'on est dans un contexte de tressage potentiel (le tressage n'est envisageable que si la charge alluviale est réellement très abondante et le lit très large (rapport largeur/profondeur supérieur à 50)).

Si le score géodynamique est faible et que l'on ne peut donc pas compter sur la puissance du cours d'eau pour répartir les sédiments apportés, alors il sera nécessaire de prévoir dès leur apport le façonnement de bancs ou la configuration définitive de la charge en fond.



↑ **Figure 20** : Exemples de travaux de recharge alluviale sur la Scie (76), avec mise en forme des matériaux apportés. ≈

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

● *Choix de la granulométrie des alluvions à apporter*

Si l'on souhaite se rapprocher des conditions naturelles antérieures aux altérations, les matériaux apportés devront être sensiblement de la même granulométrie et du même type géologique que ceux disponibles dans les portions non altérées du tronçon de cours d'eau ou d'autres cours d'eau de même type. On évitera autant que possible d'apporter une trop grosse quantité de fines. Un tri granulométrique pourra donc éventuellement être effectué sur le site de prélèvement

(augmentation notable des coûts). Par exemple, il pourrait s'agir d'une granulométrie du type 100-150 mm et non du type 0-150 mm.

● *Choix des volumes à apporter*

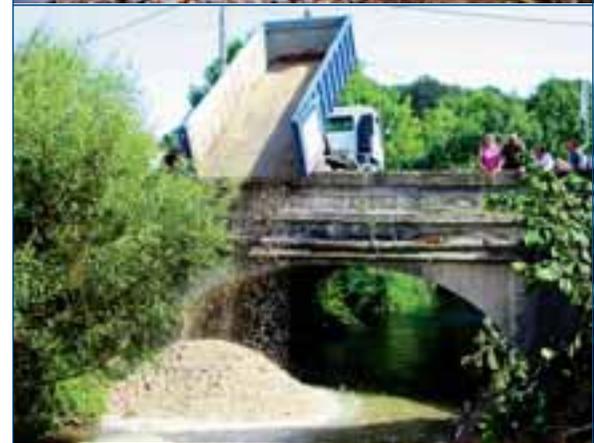
Une règle simple consiste à se baser sur l'épaisseur moyenne de la couverture alluviale antérieure à l'incision ou sur d'autres tronçons non altérés.

Notons qu'une **épaisseur moyenne de 50 cm**, quelle que soit la taille du cours d'eau, semble être une valeur minimale pour que puissent se rétablir certaines fonctions écologiques du matelas alluvial et notamment les habitats pour la faune benthique et hyporhéique, les zones de reproduction pour certaines espèces de poissons lithophiles (truite, ombre, barbeau, vandoise, chevaine, hotu, etc.), les zones d'enracinement pour de nombreux éléments de la flore aquatique ou rivulaire (celle des bancs alluviaux).

● *Mise en œuvre des dépôts*

La réinjection des sédiments peut se faire de diverses façons :

- simple dépôt des matériaux le long de la berge et attente de leur reprise par le cours d'eau ou déversement en vrac dans le cours d'eau ;



↑ **Figure 21** : En haut, exemple de dépôt de matériaux le long de la berge en attente d'une reprise par le cours d'eau l'Azergues (69). En bas, déversement de matériaux dans la Scie (76). ≈

- répartition des alluvions en couche homogène sur l'ensemble de la zone à restaurer, sur une épaisseur compatible avec la capacité d'écoulement nécessaire au transit des crues « de projet » (calcul de section capable) ;
- création d'une morphologie de bancs alluviaux alternés (fiche 4 correspondante).

● **Choix du site de prélèvement des matériaux**

Il est bien évident que les prélèvements de matériaux ne doivent pas se traduire par un déficit au droit et en aval du site d'extractions.

On privilégiera donc :

- les queues de retenues de seuils ou de barrages ;
- les matériaux recueillis à l'occasion d'arasements d'atterrissements nécessaires au bon fonctionnement hydraulique (en zone urbaine notamment) ;
- éventuellement les matériaux provenant de gravières en lit majeur si celles-ci sont réalisées dans les règles, c'est-à-dire bien au-delà de l'espace de mobilité du cours d'eau.

On cherchera des zones de prélèvement à une distance raisonnable du site à restaurer pour limiter les coûts financiers du transport.

On prendra toutes les précautions pour éviter la prolifération d'espèces xénophytes, c'est-à-dire que l'on évitera le prélèvement de matériaux dans des sites potentiellement « pollués ».

NOTA

Attention au bilan écologique global de l'opération. Pour mémoire, il faut 100 camions pour apporter 1 000 m³ d'alluvions, volume moyen pour restaurer un secteur de 100 m de long sur 20 m de large et sur 0.5 m d'épaisseur. 

■ **Mesures connexes obligatoires**

Dans le cas de déversement de matériaux dans le lit du cours d'eau, pêches électriques de sauvegarde nécessaires et respect des périodes de reproduction de la faune piscicole notamment.

■ **Mesures connexes facultatives**

Il a été vu que les cours d'eau **transportent** leurs alluvions à des vitesses comprises entre 30 et 500 m/an en moyenne interannuelle. De ce fait, il est évident que les matériaux apportés sur le site à restaurer seront à moyen terme déplacés vers l'aval (et contribueront de ce fait au bon équilibre des tronçons situés en aval), mais la mesure de restauration ne peut ainsi pas apparaître comme définitive.

Plusieurs solutions sont envisageables pour faire perdurer la restauration du matelas alluvial :

- réinjecter régulièrement un certain volume de matériaux sur le site : ce serait la solution la plus pertinente du point de vue du fonctionnement global du cours d'eau (mais par nécessairement du point de vue du bilan écologique global. Voir pollution liée au transport) ;
- injecter des matériaux d'un diamètre moyen supérieur à la force tractrice critique du secteur (mais alors aux dépens de l'adéquation avec certaines fonctions écologiques) ;
- piéger une partie des alluvions sur place au moyen de mini-seuils ou rampes (fiche 6) ou encore au moyen d'épis (fiche 3) (risque d'aggravation ou de pérennisation du déficit sédimentaire en aval).

■ **Techniques alternatives**

Création de bancs et risbermes alternés (fiche 4).

● **Exemple**

⇒ Voir exemple de la Scie (fiche 13).

Seuils et rampes

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Incision du lit, homogénéisation des faciès, déconnexion des zones humides du lit majeur

NIVEAU D'AMBITION

R1-R3

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

L'édification de seuils et rampes est une mesure adaptée, et souvent même nécessaire, pour éviter ou limiter des phénomènes d'incision du lit, en particulier sur les cours d'eau les plus puissants ayant subi des chenalizations excessives ou des extractions importantes de matériaux alluvionnaires.

Sur des cours d'eau peu puissants, la réalisation de seuils et rampes peut poursuivre des objectifs de diversification des faciès ou de « reconnexion » de zones humides annexes au cours d'eau.

Comme il a été vu, l'édification de seuils sur un cours d'eau peut également être appliquée en tant que structure de « blocage » de la charge de fond (voir fiche 5).

■ Principes généraux

Comme pour les épis (fiche 3), les seuils et rampes (en particulier les seuils) peuvent être réalisés avec toutes formes de matériaux : blocs d'enrochements, rondins de bois, « cages » remplies de matériaux inertes, caissons, gabions, etc. On se limitera ici à présenter la réalisation de seuils et rampes en blocs, qui paraissent le mieux répondre à des critères d'intégration des ouvrages, qui permettent une plus grande souplesse de mise en œuvre et offrent une meilleure attractivité pour la faune piscicole.

🐟 ATTENTION



Attention de ne pas remplacer un dysfonctionnement (incision/déconnexion) par un autre (voir paragraphe sur les effets négatifs des seuils : modification des flux – effets retenue – effets de point dur). Eviter les ouvrages hauts et ayant une incidence marquée sur le profil en long du cours d'eau.



↑ **Figure 22 : a) et b)** Seuils en rondins de bois (à déconseiller). **c)** Seuil en enrochement (à conseiller). En effet, selon nous, la mise en place de seuils en enrochements permet un rendu plus respectueux des processus naturels, en limitant la largeur de la lame d'eau. 🌊

🌊 Préconisations

■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

- **Nécessité d'un profil en long détaillé du tronçon de cours d'eau concerné.** En effet, même au stade de l'étude préliminaire, aucun calage de seuil ou de rampe (définition du nombre d'ouvrages à mettre en place, du dénivelé à compenser, etc.) ne peut être proposé sans un profil en long de l'état initial avant travaux de restauration.
- La mise en place d'ouvrages transversaux (seuils/rampes) doit être utilisée uniquement en tant que « remède » à un dysfonctionnement identifié (incision, homogénéisation des faciès, déconnexion des zones annexes au cours d'eau), de manière à rétablir un profil en long équilibré du cours d'eau. Cette mesure de restauration ne doit en aucun cas artificialiser davantage le cours d'eau en provoquant de nouvelles perturbations. **Dans cet esprit, le dimensionnement des ouvrages doit s'accompagner d'une analyse des impacts attendus des propositions (positifs et négatifs).**

■ Caractéristiques techniques à rechercher

Sur la base d'un diagnostic et d'un recensement des espèces piscicoles présentes (ou potentiellement désirables) sur le cours d'eau considéré, on veillera à construire des ouvrages parfaitement franchissables en respectant les principes suivants (figure 24) :

- hauteur de chute inférieure à ~ 20 cm, et si la dénivellation de l'ouvrage doit être supérieure (rampe), développement de surfaces hétérogènes, avec une succession de zones localement plus profondes et propices au « repos » intermédiaire de la faune piscicole ;
- mise en place de structures rugueuses, facilitant la progression du poisson et limitant les effets d'accélération des courants hydrauliques, en particulier en partie amont de l'ouvrage qui constitue le point le plus sensible pour la faune piscicole (fatigue due à la progression) ;
- développement d'ouvrages (rampes) à faible pente et généralement inférieure ou égale à 5 Horizontal/1Vertical (5H/1V) ;
- ancrage suffisamment profond, à la fois côté amont et aval de l'ouvrage réalisé, afin d'éviter qu'une éventuelle incision du lit mineur, même localisée, rende l'ouvrage infranchissable (figure 23) ;
- ancrage suffisamment profond des ouvrages en berges, pour éviter un risque de contournement ;
- forme légèrement incurvée ou cintrée de l'ouvrage en son centre, pour éviter un étalement de la lame d'eau lors de l'étiage.

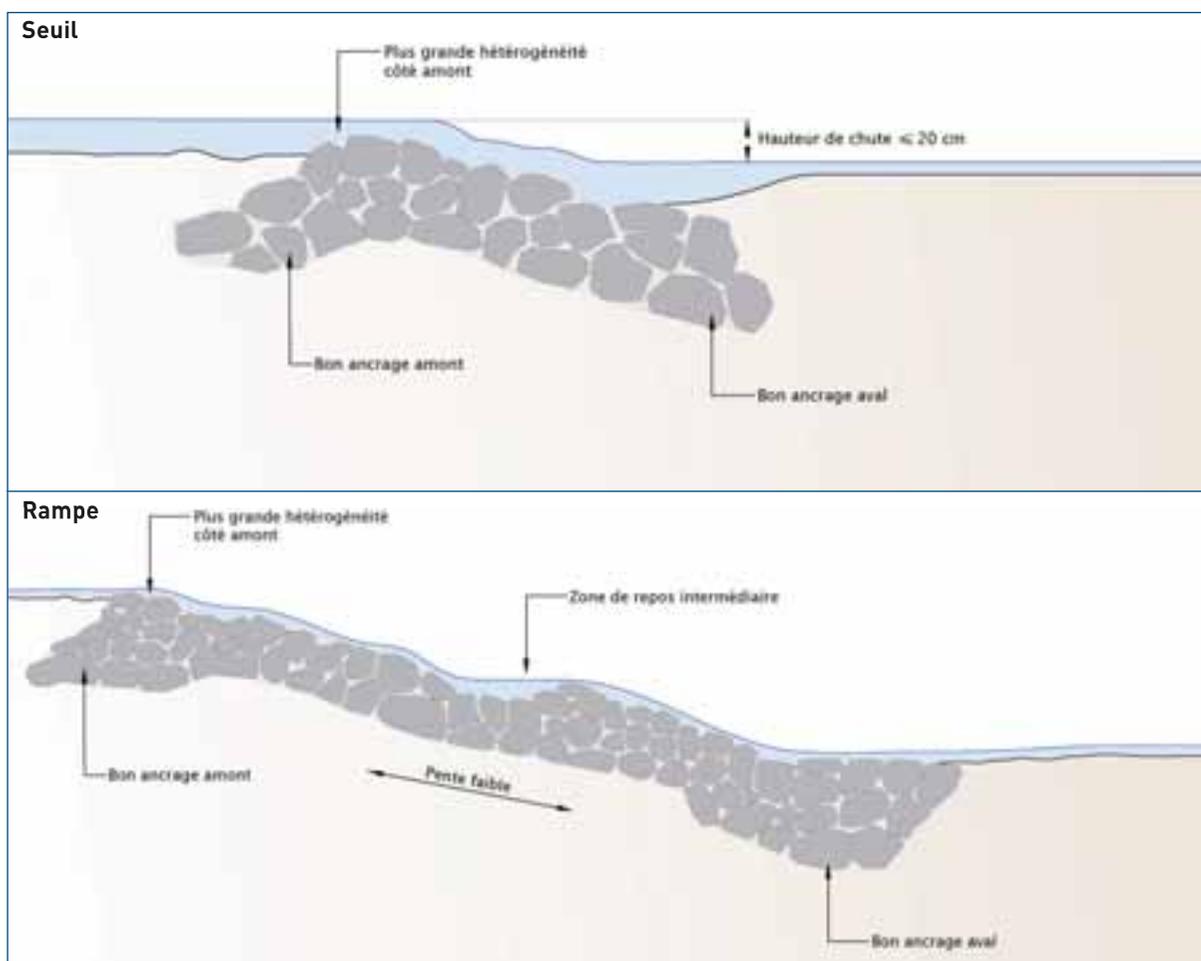


↑ **Figure 23 :** Exemples d'affouillements en pied de seuils, rendant les ouvrages infranchissables par la faune piscicole. 🌊

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

On veillera à éviter au maximum la mise en suspension de sédiments lors des travaux (effets de colmatage du fond du lit à l'aval, « asphyxie » de certains éléments de la faune aquatique). On évitera dans la mesure du possible les travaux « en eau » (figure 25) :

- en détournant les écoulements dans une canalisation provisoire pour les petits cours d'eau ;
- en travaillant par « moitié » du lit et batardeaux pour les plus grands cours d'eau.



↑ **Figure 24** : Illustration de principes à respecter dans la réalisation de seuils (en haut) ou de rampes (en bas) pour garantir la franchissabilité piscicole. ≡



↑ **Figure 25** : Exemple de dérivation des eaux sur un petit cours d'eau en haut et batardeaux en graviers sur un plus grand cours d'eau en bas. ≡

■ Mesures connexes obligatoires

Un seuil ou une rampe induit inévitablement une accélération localisée des écoulements hydrauliques. Cette accélération aura tendance à créer une « fosse de dissipation d'énergie » à l'aval. Si l'emprise des travaux de restauration est limitée, la protection des berges de cette « fosse » sera nécessaire (génie végétal à favoriser).

■ Mesures connexes facultatives

Comme il a été vu, la mise en place de seuils/ou rampes constitue une mesure fréquente pour limiter les processus d'incision d'un cours d'eau. Dès lors, de tels ouvrages seront avantageusement couplés à des apports de matériaux en vue de l'exhaussement du fond du lit (fiche 5 « reconstitution du matelas alluvial »), en particulier sur les cours d'eau dont le transport solide est faible.

■ Techniques alternatives

– Si le dysfonctionnement identifié est l'incision, une alternative possible à la mise en place de seuils peut être représentée par des apports de matériaux (fiche 5), la dévégétalisation de cer-

tains bancs pour favoriser la mobilisation des fonds, la mise en place d'épis (fiche 3), et surtout la définition d'un **espace de mobilité** (voir bibliographie).

- **Si le dysfonctionnement identifié est l'homogénéisation des faciès**, plusieurs alternatives sont possibles : mise en place de bancs alternés, de risbermes (fiche 4), d'épis et déflecteurs (fiche 3), la création de caches, abris et aménagements piscicoles (fiche 1), etc.



POUR EN SAVOIR PLUS

- Adam P., Debiais N., Gerber F., Lachat B. *(à paraître)*. **Le génie végétal, un manuel technique au service de l'aménagement et la restauration des milieux aquatiques**. Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables. La documentation Française.
- Lenormand (1999). **Les petits aménagements piscicoles, guide technique**. Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Reconnexion d'annexes hydrauliques (hors suppression de digues)

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Absence ou médiocrité des connexions entre le lit mineur et ses annexes hydrauliques

NIVEAU D'AMBITION

R2 à R3

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

Les déconnexions, ou la médiocrité des connexions entre un lit mineur et ses annexes hydrauliques, peuvent avoir des impacts écologiques très importants. Ce sont en effet des **éléments majeurs de l'hydrosystème fluvial** en tant que zones de reproduction et de grossissement pour de nombreuses espèces de poissons et en tant que zones vitales pour d'encore plus nombreuses espèces d'insectes, de batraciens, d'amphibiens, d'oiseaux et de végétaux typiques de ces milieux fluviaux ou péri-fluviaux. La reconnexion entre le lit mineur et les annexes hydrauliques du lit majeur peut donc être une solution de restauration des fonctionnalités globales de l'hydrosystème.

Cependant, il est souvent tout à fait normal que les annexes hydrauliques disparaissent progressivement sous l'effet de processus géodynamiques (sédimentation) et écologiques (végétalisation). Elles s'estompent au fil des années ou des siècles selon le type de cours d'eau et **leur « disparition » n'est pas nécessairement indicatrice d'un dysfonctionnement du système. Il est donc très important de se poser la question de la réelle nécessité d'une restauration avant toute intervention.**

■ Principes généraux

La diversité des cas de figure de « déconnexion » d'annexes hydrauliques et la diversité des projets de restauration qui pourrait en découler est telle qu'il serait nécessaire de rédiger un guide dédié entièrement à ce sujet. L'objectif des préconisations proposées ici est plus modeste et vise essentiellement à fournir quelques éléments de réflexion et quelques orientations techniques aux gestionnaires désireux d'améliorer la fonctionnalité globale de leur hydrosystème.

Quelques éléments théoriques sur l'origine des annexes hydrauliques sont indispensables.

● Les annexes hydrauliques

Les « annexes hydrauliques » correspondent généralement à d'anciens chenaux ou tracés de la rivière. Elles sont nommées selon les régions et selon leur niveau de déconnexion : mortes, noues, raies, baissières, lônes, boires, couasnes, etc. Leur « création » puis leur lente « disparition » sont dues à des processus géodynamiques naturels : recouplement de méandres, fermeture par l'amont puis par l'aval sous l'effet de dépôts alluvionnaires, comblement progressif par dépôt de matières en suspension et développement de la végétation, d'abord aquatique puis terrestre.



↑ **Figure 26** : Des annexes hydrauliques naturellement déconnectées à différents stades évolutifs sur un cours d'eau du bassin amazonien (source : Google Earth). 🌊

Il arrive que les recoupements soient artificiels (paragraphe sur les rescindements) pour accélérer l'écoulement, rectifier des parcelles dans le cadre d'un remembrement, etc., et que le comblement et la déconnexion de ces anciens chenaux soient accélérés par des interventions humaines directes (comblement par des matériaux inertes afin de mettre en culture plus rapidement) ou indirectes (incision du lit suite aux extractions, ce qui favorise la déconnexion et accélère le développement végétal et la sédimentation).

● *Typologie simplifiée*

Nous proposons ici une « typologie » des annexes hydrauliques en remaniant légèrement la terminologie proposée dans les années 80 par l'équipe du PIREN Rhône (Roux et al., 1982).

NOTA

Ne sont présentées ici que les annexes hydrauliques « naturelles ». Sont exclus les fossés ou autres artefacts (gravières, étangs) qui peuvent aussi faire parfois l'objet de projets de (re)connexions. 

Quatre grands types d'annexes hydrauliques peuvent être identifiés, certains pouvant être déclinés en sous-types. Ils sont présentés ci-dessous dans l'ordre décroissant de leur fréquence de connexion avec la rivière (photomontage figure 27, p. 33).

- EUPOTAMON (EUPO) : le chenal récemment recoupé communique avec le cours d'eau principal par l'aval et par l'amont, quel que soit le débit. Le fonctionnement hydraulique s'apparente un certain temps à celui d'un chenal secondaire.
- PARAPOTAMON (PARA) : le bras mort est connecté par l'une de ses extrémités, généralement par l'aval du fait du dépôt massif d'alluvions et de bois morts à l'entrée de l'ancien chenal.
3 stades évolutifs sont distingués :
 - PARA1 : connexion par l'aval quel que soit le débit et par l'amont en eaux moyennes ;
 - PARA2 : connexion par l'aval en eaux moyennes et par l'amont en hautes eaux ;
 - PARA3 : connexion par l'aval en hautes eaux et par l'amont en crue annuelle.
- PLESIOPOTAMON (PLESIO) : pas de connexion nette par l'aval ni par l'amont. Mise en eau lors de la crue annuelle.
- PALEOPOTAMON (PALEO) : le bras mort est complètement séparé du chenal. La mise en eau se produit lors des crues dépassant le débit de « pleins bords » (crue biennale et supérieure). 2 stades évolutifs :
 - PALEO1 : les restes d'un chenal, même très colmaté, sont visibles. Il y a continuité sur une certaine longueur.

- PALEO2 : on n'observe plus que des petites dépressions discontinues.
- Quelques éléments complémentaires :
 - ces différents stades évolutifs peuvent être plus ou moins alimentés par la nappe alluviale mais ce processus est très variable car fortement lié à la qualité des alluvions du lit majeur (perméabilité, transmissivité) ;
 - chaque stade évolutif a son propre fonctionnement hydraulique, sédimentologique et, naturellement, écologique. Ainsi, la présence de « trous d'eau » déconnectés les uns des autres au sein de l'annexe, est une caractéristique naturelle d'un plésipotamon ou d'un paléopotamon. Vouloir les reconnecter relève d'un objectif qui va plus loin qu'une restauration : par exemple la recherche d'un retour à un stade évolutif antérieur de type parapotamon 1 ;
 - chaque stade évolutif présente un intérêt en termes de milieu et de richesse biologique. Même un paléopotamon avec des trous d'eau déconnectés les uns des autres.

Les photos page suivante illustrant cette typologie des annexes hydrauliques sont un photomontage réalisé à partir d'une photo initiale prise dans un environnement agricole (prairie), type fréquent d'occupation des sols dans les plaines alluviales françaises. Les stades évolutifs représentés ici illustrent donc une évolution liée à des processus naturels mais aussi à l'intervention humaine dans un objectif agricole (essartement progressif de la végétation).

Les **déconnexions artificielles** d'annexes hydrauliques ont généralement deux origines :

- causes directes : fermeture volontaire de ces annexes par des ouvrages (digues, protections de berges, vannes, etc.) particulièrement lorsque ces annexes sont elles-mêmes dues à des rescindements volontaires ;
- causes indirectes : fermeture ou assèchement accélérés de ces annexes suite à des processus d'incision, souvent eux-mêmes dus à des interventions humaines (endiguements, recalibrages, rescindements de méandres et surtout, extractions de matériaux alluvionnaires).

Préconisations

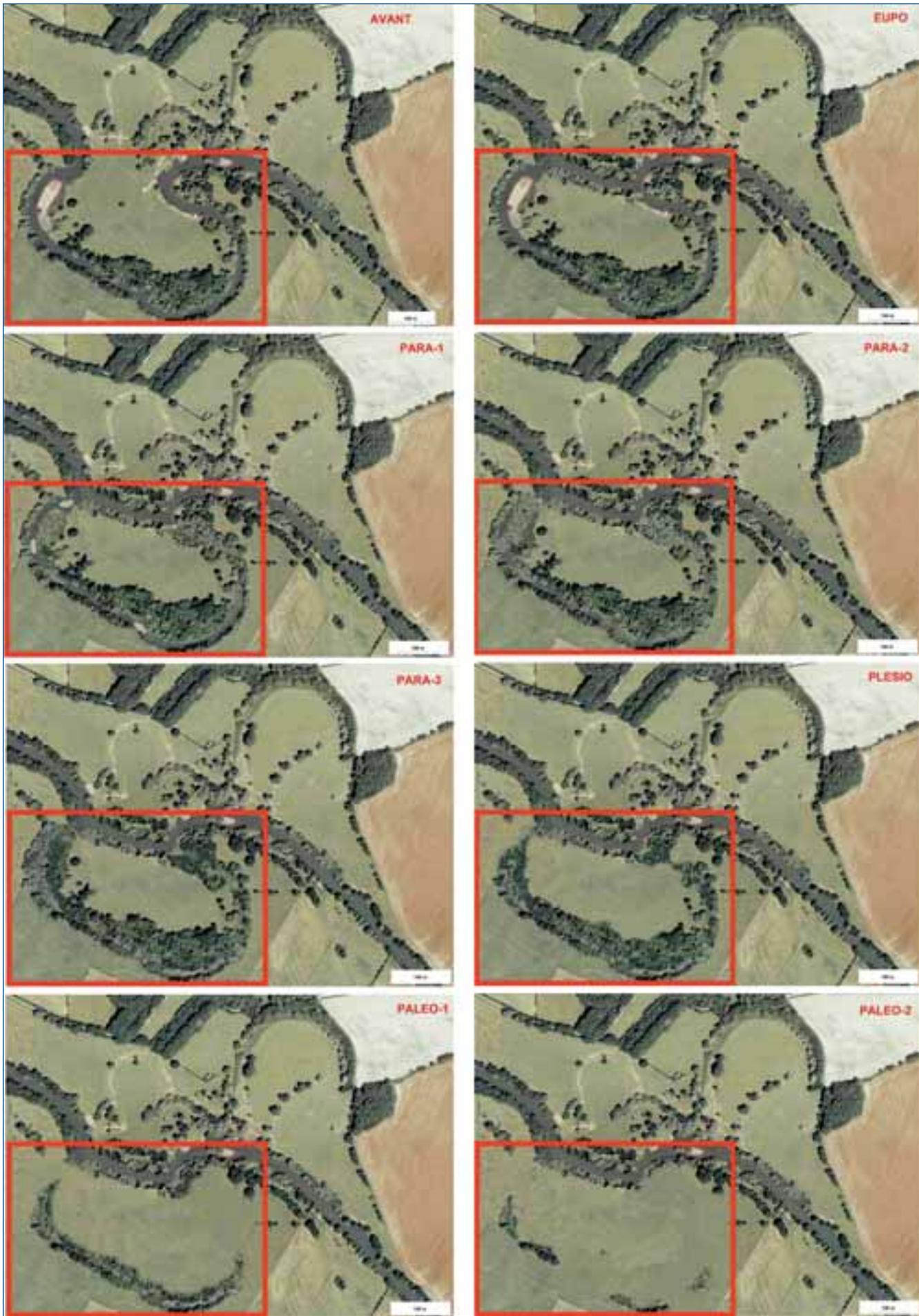
■ Etudes spécifiques

● *Etude préalable de faisabilité*

L'étude préalable est fondamentale. Elle devrait être réalisée **à l'échelle d'un tronçon géomorphologique** (quelques kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres selon la taille du cours d'eau) et non à la seule échelle locale, comme c'est généralement le cas aujourd'hui.

Une étude préalable comprendra les deux éléments fondamentaux suivants :

- le diagnostic ;
- la détermination des objectifs de la restauration.



↑ Figure 27 : Typologie simplifiée des annexes hydrauliques. Malavoi 2004, d'après Roux et al. (1982). ≡



↑ **Figure 28** : Approche historique permettant d'évaluer l'âge des annexes (les « mortes » en Franche-Comté).

Le diagnostic

Ce diagnostic doit permettre notamment :

- de déterminer les causes de la déconnexion ou de l'assèchement de la ou des annexes hydrauliques du tronçon : causes naturelles/artificielles/mixtes.
- ➔ Une analyse historique géomorphologique, voire de biologie végétale, permettra éventuellement de connaître la date de rescindement de la sinuosité à l'origine de l'annexe et de déterminer le degré de « maturité » de celle-ci ;
- de mieux connaître la fréquence, la durée et les modalités de connexion actuelles entre la ou les annexes et le cours d'eau principal ;
- si possible d'évaluer la fréquence, la durée et les modalités de connexion « naturelles » ;
- d'évaluer l'impact écologique réel de cette ou de ces déconnexions (perte de zones de reproduction pour certaines espèces de poissons, perte d'habitat pour les biocénoses liées à ce type de milieu).
- ➔ La recherche d'indicateurs biologiques de fonctionnement des annexes peut être intéressante (ainsi, le peuplement piscicole de l'annexe est un indicateur du degré de connectivité ou la nature des formations végétales et leur stratification) ;
- de vérifier si les processus de création d'annexes hydrauliques sont toujours actifs sur le tronçon d'étude (c'est-à-dire une dynamique fluviale active dans un espace de mobilité préservé).

ATTENTION

Ce diagnostic doit permettre aussi de vérifier l'absence d'espèces patrimoniales ou protégées au sein de l'annexe que l'on souhaiterait restaurer. Leur présence pourrait se traduire par une impossibilité réglementaire de réaliser l'opération de restauration. 

● **La détermination des objectifs de la restauration**

Les différents éléments de diagnostic vus ci-dessus doivent conduire à une phase importante de réflexion sur les objectifs de la restauration de la ou des annexes hydrauliques du tronçon de cours d'eau considéré.

Jusqu'à ces dernières années, la plupart des projets, généralement portés par les fédérations de pêche et le Conseil Supérieur de la Pêche (aujourd'hui ONEMA), avaient pour objectif principal et parfois unique de restaurer des **frayères à brochets**. Il était en effet apparu que ce poisson carnassier à forte valeur halieutique était le principal perdant de la mauvaise fonctionnalité des annexes hydrauliques qui constituaient autrefois l'une des zones favorables pour sa reproduction.

On a donc longtemps restauré des « frayères à brochets » :

- en reconnectant les bras morts au cours d'eau principal, généralement par « curage » de la connexion aval (arasement des atterrissements, évacuation des embâcles) ;
- en recreusant et élargissant ces bras morts ;
- en supprimant une grande partie de la végétation arborée pour augmenter l'ensoleillement nécessaire à la croissance des embryons ;

Ces projets pionniers ont eu généralement des effets positifs sur les compartiments piscicoles. Par contre, leurs effets sur l'amélioration globale de ces annexes sont plus mitigés dans la mesure où les préconisations valables pour le brochet ne le sont pas nécessairement pour tous les éléments des biocénoses inféodées à ces bras morts (notamment la recherche d'une optimisation de l'ensoleillement).

Il apparaît aujourd'hui important de privilégier une restauration fonctionnelle globale.

Les maîtres d'ouvrage devront donc, dès les études préalables, se positionner sur les résultats recherchés :

- piscicoles et **halieutiques** :
 - amélioration du fonctionnement des frayères à brochet (nota : une frayère à brochet nécessite une inondabilité temporaire) ;
 - création ou restauration d'habitats lenticques et profonds pour les gros carnassiers (connexion permanente, avec un objectif « coin de pêche » assez affirmé) ;
 - essentiellement autres (écologie végétale, avifaune, entomofaune, batraciens, cynégétiques, etc.) ;
 - mixtes (restauration d'une fonctionnalité globale).
- De ce choix dépendront en grande partie les préconisations techniques.

● **Eléments nécessaires à l'avant-projet**

- Tracé en plan précis du secteur d'étude et photographies aériennes IGN, si possible sous SIG + photographies obliques prises à basse altitude.
- Profil en long du cours d'eau principal : fond + ligne d'eau d'étiage.
- Topographie fine des annexes à restaurer (profils en long et en travers) : fond alluvial grossier, surface des sédiments fins (limons, argiles, vases etc.). Localisation des « bouchons » (enchevêtrement de végétaux + alluvions).
- Modélisation des lignes d'eau pour la crue annuelle à la crue quinquennale (Q1 à Q5) du cours d'eau pour calage des cotes d'arasement ou de désenvasement.

- Granulométrie des sédiments constituant le fond et le remplissage des annexes.

● **Etudes de suivi**

Un document récent synthétise de manière quasi-exhaustive les études nécessaires au suivi des annexes hydrauliques (Dupieux, 2004). Nous y renvoyons donc le lecteur.

■ **Caractéristiques géomorphologiques à rechercher**

Elles reposent essentiellement sur :

- le type d'annexe à restaurer, identifié sur la base de la typologie sommaire présentée plus haut ;
- l'origine de la déconnexion ;
- les objectifs de la restauration.

D'une manière générale, ainsi que nous le préconisons dans la plupart des fiches techniques, la restauration « idéale » consiste le plus souvent à se rapprocher des caractéristiques hydromorphologiques et des processus de fonctionnement naturels.

● **Types d'annexes à restaurer**

Il est évident que plus la déconnexion de l'annexe sera récente (eupotamon \Rightarrow parapotamon), plus il sera aisé de la reconnecter, si tel est l'objectif des travaux. A priori, la reconnexion d'annexes de type paléopotamon ne devrait pas être envisagée.



↑ **Figure 29** : Exemples de documents nécessaires à l'avant-projet. **a)** Plan topographique, **b)** Photographie aérienne (Bdortho). **c)** Couplage des 2 sous SIG, **d)** Vue oblique.

● Origine de la déconnexion

Fermeture aval naturelle

Rappelons que la fermeture naturelle des annexes se fait initialement par l'amont, sous l'effet d'un dépôt alluvial important couplé à des amoncellements d'embâcles. Souvent en effet, pendant plusieurs années encore après le recouvrement, un écoulement préférentiel de crue continue à transiter par l'ancien chenal recoupé, transportant des sédiments grossiers et des bois morts qui se déposent assez rapidement dans ce chenal abandonné.

Puis, au fil des années, la connexion aval se bouche aussi suite à des processus identiques : alluvionnement par contre-courant, dépôt d'embâcles. Dans ce cas de figure, si l'annexe est encore à un stade d'évolution de type parapota-mon 1 ou 2, de simples travaux de débroussaillage couplés à quelques terrassements légers au niveau de la connexion aval peuvent permettre de reconnecter l'annexe au cours principal.

Se posera ensuite la question de la fréquence de reconnexion souhaitée qui orientera le niveau de terrassement au droit du bouchon alluvial (voir objectifs de la restauration).

Fermeture aval artificielle

Le cas le plus fréquent est la présence d'un ouvrage (digue, protection de berge, etc.) au niveau de la connexion aval, particulièrement lorsque les annexes elles-mêmes sont dues à des rescindements artificiels.

Dans ce cas, la simple ouverture de la structure au droit de l'ancienne connexion peut être suffisante pour restaurer les fonctionnalités de l'annexe (associée comme précédemment à des travaux de débroussaillages et de terrassements légers). Nota : ce n'est pas toujours facile dans la mesure où certaines digues ou protections de berges sont souvent surmontées d'une voie de communication.

Fermeture naturelle ou artificielle + incision du cours d'eau principal

Lorsque la différence de niveau altitudinal entre le fond « naturel » de l'annexe et le fond du cours d'eau est importante (de l'ordre de 1 à 1.5 m), suite à une incision du lit mineur notamment, la reconnexion « simple » par terrassement léger et enlèvement d'embâcles ne suffit plus.

Des travaux plus lourds de terrassement deviennent nécessaires :

- surcreusement à la jonction annexe/lit mineur ;
- surcreusement tout le long de l'annexe pour regagner des surfaces potentiellement submersibles (cote de surcreusement à déterminer selon la fréquence et la durée souhaitée de connexion et de submersion) ;
- éventuellement surélévation du lit mineur par des dépôts alluvionnaires (fiche 5) ou par la mise en place de seuils ou rampes (fiche 6), mais attention aux impacts qui peuvent être négatifs de telles interventions.



↑ **Figure 30** : Exemple d'annexe déconnectée sur cours d'eau incisé. Le fond de l'annexe (vue de face sur la photo) est perché à plus d'1m du niveau moyen des eaux. ≍

🐟 NOTA

Quel que soit le type de terrassements effectués, les matériaux de déblais devraient être remis dans le lit actif du cours d'eau. Il faut absolument éviter de créer des « remblais » tout le long de l'annexe reconnectée ou au droit de la jonction annexe/lit vif, ceci d'une part pour limiter la prolifération d'espèces végétales xénophytes et pour éviter de créer des obstacles aux écoulements (digues, merlons, etc.) entraînant de nouveaux dysfonctionnements. 🐟

● Les objectifs de la restauration

Restauration à vocation piscicole et halieutique

Deux grands types « d'objectifs piscicoles et halieutiques » sont identifiables :

- la restauration de frayères à brochets ;
- la restauration d'annexes à connexion permanente.

Restauration de frayères à brochet

Pour la restauration de frayères à brochet, nous renvoyons le lecteur à l'ouvrage de Chancerel (2003).

Les principes de restauration sont généralement les suivants :

- assurer la continuité hydraulique entre l'annexe et le cours d'eau, au moins une partie de l'année ;

- araser les zones d'alluvionnements dans l'annexe pour étendre les surfaces inondables productives et les périodes d'inondabilité. Attention : l'inondabilité des frayères doit être temporaire (8 à 10 semaines en mars-avril). On peut chercher à se rapprocher d'un parapotamon 2 ou 3 ;
- ouvrir le milieu (élimination de la végétation arbustive et arborée en excès) pour favoriser le développement de la strate herbacée (support de ponte) et l'augmentation des températures en période d'incubation des œufs.

Restauration de connexions permanentes

On recherche ici une connexion permanente ou quasi-permanente avec le cours d'eau (type parapotamon 1). L'objectif est d'obtenir des habitats lenticules et profonds, plus ou moins ombragés, pour l'accueil d'une vaste gamme d'espèces/stades de poissons.

Restauration fonctionnelle globale

C'est ce type de restauration que nous préconisons ici.

Il doit être fondé sur une analyse pertinente et objective du caractère dysfonctionnel de la déconnexion ou de la mauvaise connexion entre les annexes et le cours d'eau.

Dans le cas où les annexes présenteront un degré de maturité normal et non aggravé par des interventions humaines, il faudra se poser la question de l'utilité de la « restauration » (faut-il restaurer un parapotamon ou un paléopotamon naturels ?). La réponse peut être positive si la dynamique fluviale du cours d'eau ne permet plus la recréation « naturelle » d'annexes hydrauliques (protections de berges, endiguements, etc.). Il peut être souhaitable dans ce cas de limiter le vieillissement de certaines annexes pour garantir l'existence de différents stades évolutifs sur le tronçon concerné. On tendra donc à conserver un certain nombre d'annexes au stade eupotamon, parapotamon 1 à 3, plésiopotamon, etc.

Dans le cas d'un dysfonctionnement avéré (fermeture par un ouvrage, remblaiement, incision accélérée du lit mineur) des travaux de restauration fonctionnelle globale sont envisageables.

Pour une restauration fonctionnelle globale, les principes que l'on peut recommander font appel aux techniques d'aménagement par génie écologique qui préconisent notamment l'adaptation des formes des fonds et des berges de chaque annexe en fonction de son « idéal » écologique (le type fonctionnel duquel on essaiera de se rapprocher).

Dans ce sens, on visera à produire un remodelage varié des talus riverains (et si possible avec des pentes douces), une variation des profondeurs et un « chenal » d'écrêtement préférentiel pour éviter de piéger la faune piscicole à la décrue.

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

● *Reconnexion amont ou reconnexion aval ?*

Reconnexion amont

La reconnexion d'une annexe par son extrémité amont n'est a priori pas naturelle (on sait que les annexes se déconnectent prioritairement par l'amont). Sa mise en œuvre engendre de plus des études puis des travaux complexes afin d'optimiser :

- le dimensionnement de l'ouverture ;
- son orientation par rapport aux axes d'écoulement du cours d'eau principal.

En effet, une alimentation amont, notamment sur un cours d'eau à transport solide élevé, risque de se solder par une fermeture très rapide par suralluvionnement et dépôt d'embâcles. Un surdimensionnement peut se traduire par une reprise de l'annexe par le cours d'eau principal.

La reconnexion amont n'est donc a priori pas à conseiller, sauf, si nécessaire, sur les cours d'eau à faible score géodynamique.



↑ **Figure 31** : Terrassements de berges d'annexes hydrauliques en pente élevée à gauche, offrant peu de place à la diversité biologique et variations de profils beaucoup plus doux à droite, devant permettre la reconstitution de séries végétales adaptées. ≡

Reconnexion aval

C'est le meilleur type de connexion puisqu'il se rapproche du fonctionnement naturel. Le risque de comblement par des sédiments et des branchages existera aussi, particulièrement sur les cours d'eau à forte charge alluviale, mais sera moins rapide que par l'amont. Il nécessitera néanmoins :

- soit des structures hydrauliques particulières permettant l'auto-curage naturel de la connexion (épis, rétrécissement du lit mineur du cours d'eau principal au droit de la connexion). Nous déconseillons a priori cette méthode qui ajoute un aménagement hydraulique « lourd » ;
- soit un entretien régulier de la connexion (pas de temps à déterminer empiriquement sur la base d'un suivi sur quelques années).

● Période d'intervention

Il est important d'intervenir hors période de nidification ou de reproduction des espèces remarquables. Il faut procéder de cas en cas, mais généralement les travaux s'échelonnent entre la mi-août et novembre, afin de profiter des conditions de basses eaux sur bon nombre de cours d'eau. Chaque chantier devra être très ponctuel (d'une semaine à 2 mois maximum).

■ Mesures connexes obligatoires

Plantations, enherbement sur les parties terrassées exondées pour éviter la prolifération d'espèces végétales envahissantes.

■ Mesures connexes facultatives

Structures de régulation du niveau des eaux dans l'annexe.

■ Techniques alternatives

- Mise en œuvre d'un espace de mobilité afin de réinitier les processus de création d'annexes (solution à long terme : 50-150 ans).
- Rehausser le niveau du lit mineur du cours d'eau principal :
 - par la mise en œuvre d'un espace de mobilité et apport alluvial par érosion des berges ;
 - par la mise en place de seuils (à déconseiller car engendre d'autres impacts).
- Rajeunissement du processus de maturation de la végétation riveraine des annexes par des travaux d'entretien.

Exemple de reconnexion d'annexes hydrauliques en bordure de la Marne dans le département de la Marne



Figure 32 : Localisation des sites de restauration. a) Site de Matougues. b) Site de Récy. c) Site d'Ablancourt. d) Site de Soulanges (source : Géoportail, IGN).

Problématique

Préconisé par le Schéma Départemental de Vocation Piscicole (PDVP) du département de la Marne, qui a été élaboré de 1985 à 1987 et approuvé en 1989, de nombreuses réhabilitations d'annexes hydrauliques ont été menées sur les principales rivières du département de la Marne, en particulier sur la Marne, la Saulx, l'Aube et l'Ornain. C'est ainsi que plus de 55 noues ont été reconnectées. Le présent exemple présente quelques-uns des travaux réalisés sur la Marne.

Objectifs des travaux de restauration envisagés

Les nombreux travaux menés, en cours ou projetés sur les noues du Département de la Marne, poursuivent des objectifs basés sur une attention particulière liée au peuplement piscicole mais fai-



POUR EN SAVOIR PLUS

- Chancerel (2003). **Le Brochet, biologie et gestion**. CSP. Coll. Mise au point
- Favre E. (2007). **Les anciens bras fluviaux. Lônes, boires, noues, etc.** Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces naturels.
- Dupieux. (2004) **Elaboration d'un protocole commun de description et de suivi des Annexes Fluviales du programme Loire nature**. Programme Loire nature, mission scientifique

sant néanmoins appel à une philosophie d'intervention plus élargie. C'est ainsi que l'on peut mettre en avant les points suivants :

- ressource en eau :
 - améliorer la gestion globale des prélèvements pour l'irrigation ;
 - ajuster les règles de gestion des barrages réservoirs ;
- qualité de l'eau :
 - réajuster les objectifs de qualité ;
 - réduire l'impact des activités vini-viticoles ;
 - réduire la pollution diffuse en milieu urbain et rural ;
- qualité de l'habitat piscicole :
 - pérenniser certains habitats reconnus remarquables ;
 - améliorer la diversité de l'habitat piscicole ;
 - améliorer la libre circulation des poissons.

Niveau d'ambition : R2

Description des interventions

La Fédération de la Marne pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FMPPMA), secondée par la Cellule d'Assistance Technique à l'Entretien des Rivières de la Marne (CATER) a procédé préalablement à tous travaux à un recensement et à un état des lieux de l'ensemble des cours d'eau en général (études comprenant à la fois les berges, le lit mineur et lit majeur sous des aspects aussi divers que l'habitabilité piscicole, la qualité d'eau, la quantité d'eau, le recensement piscicole et le niveau d'altération, etc.) et des noues en particulier.

Concernant plus précisément les noues, chacune d'elles a été recensée, répertoriée et cartographiée. Toutes les actions d'entretien, de travaux, puis de recensement piscicole sont répertoriées.

De cet état des lieux, différentes actions (ou « non-actions ») sont alors définies, du laisser-faire à l'entretien courant (tel que l'enlèvement d'embâcles, le rajeunissement de la ripisylve), à des actions « plus lourdes » de désenvasement et de « vraies » reconnections.

Quatre noues ont ainsi été visitées :

A) Site de Matougues



↑ Figure 33 : Illustration du « chenal » réouvert ». ≡

Un chenal d'environ 100 mètres de long a été créé en 2003 côté amont d'un bras mort (ouvert avant travaux uniquement côté aval).

Les matériaux ont été laissés sur place (étalés sur les côtés du chenal), les surfaces terrassées n'ont pas été végétalisées.

B) Site de Récy

Travaux non encore réalisés.

Il est prévu de reconnecter un bras mort existant par l'amont.



↑ Figure 34 : Illustrations de l'annexe hydraulique dans son état existant. ≡

C) Site d'Ablancourt

En 2003, un désenvasement/ouverture a été créé par l'aval, les matériaux posés en bordure de la noue sans exportation.



↑ Figure 35 : Illustration de l'ouverture vers l'aval réalisée sur la Marne. ≡

D) Site de Soulanges

Connexion d'annexe hydraulique « réouverte » à deux reprises, les matériaux d'excavation déposés sur les côtés.



↑ **Figure 36** : Vues des travaux effectués. ≈

Concernant les coûts de travaux, ceux-ci sont très faibles et ne peuvent être identifiés pour telle ou telle reconnexion. En effet, les marchés de travaux comprennent un ensemble d'opérations de reconnections, tel que par exemple une tranche de 11 000 € HT pour la reconnexion de plusieurs annexes hydrauliques à l'amont de Châlons.

Appréciation générale

La plupart des travaux de reconnections d'annexes hydrauliques réalisées sur la Marne de part et d'autre de Châlons-en-Champagne l'ont été sur un secteur particulièrement mobile et dynamique du cours d'eau.

De ce fait, l'abandon de bras ou d'anciens méandres du cours d'eau apparaît davantage comme un phénomène naturel lié à la dynamique de mobilité de la Marne qu'à des actions anthropiques, sources de dysfonctionnements morphologiques.

Toute volonté de « recréer » ou de « réouvrir » des connexions entre le lit actif et ses annexes hydrauliques suit dès lors un objectif et un parti pris avant tout « piscicole » et non forcément de restauration globale et fonctionnelle des milieux aquatiques.

Pratiquer un recensement et un diagnostic quasi exhaustif du milieu aquatique constitue un préalable à toute mesure de gestion ou de restauration



↑ **Figure 37** : Illustrations d'un secteur dynamique de la Marne à l'aval du site de Matougues à gauche et à l'aval du site de Récy à droite. ≈

que l'on ne peut que saluer. Ensuite, il serait peut-être plus judicieux de se limiter à intervenir uniquement où des dysfonctionnements dus à des activités anthropiques sont avérés, tels que certains des secteurs où le lit de la Marne a été « chenalisé » pour permettre l'exploitation de gravières par exemple, et où le lit a vraisemblablement tendance à s'inciser. (figure page suivante).

CONTACT

→ Julien Jourdon

Organisme :

Fédération de la Marne pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FMPPMA)
44, rue Titon
51000 Châlons-en-Champagne
E-mail : federation-peche-marne.51@wanadoo.fr

→ Roger Coterrelle ou Denis Hubert

Organisme :

Cellule d'Animation Technique pour l'Eau et les Rivières (CATER)
Complexe agricole du Mont Bernard
Route de Suippes
Boîte postale 525
51009 Châlons-en-Champagne
E-mail : cater@marne.chambagri.fr



Figure 38 : Illustration d'un secteur de la Marne à Soulange où le lit de la Marne a été rectifié (photo de gauche) pour permettre l'exploitation de gravières, aujourd'hui en bras mort (photo de droite). 



Arasement/dérasement de seuils

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Modification des flux liquides, solides et biologiques, effets « retenue » et « point dur »

NIVEAU D'AMBITION

R2 et R3

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous, mais effets plus visibles et plus concrets sur des cours d'eau moyennement puissants



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

L'arasement (diminution de la hauteur de l'ouvrage) ou le dérasement (suppression de l'ouvrage) sont des solutions de restauration que l'on peut préconiser sur tout type de cours d'eau ayant subi l'édification d'ouvrages transversaux si ceux-ci n'ont plus aujourd'hui d'usage économique ou de fonction majeure. Des études très précises doivent cependant être menées avant tout projet de ce type.

■ Principes généraux

Le principe général sous-tendant la proposition d'arasement ou de dérasement d'un seuil vise à **redonner au cours d'eau son profil en long naturel**. La base d'un tel projet de restauration est

donc l'analyse fine du profil en long actuel du cours d'eau et la détermination de son profil futur. Cette démarche permet d'identifier les impacts de l'ouvrage, et indirectement les limites de ce que les enjeux en présence permettent d'accepter. Cette analyse permet également de déterminer la cote optimale d'arasement.

Comme il a été vu plus haut, le dérasement ou l'arasement d'un seuil est susceptible de produire une érosion régressive bien en amont du remous liquide, la formation de nouvelles érosions de berge avec le basculement de la végétation bordant l'ancienne retenue, ainsi que l'affouillement éventuel de murs ou fondations de constructions diverses situées à l'amont de l'ouvrage à araser/déraser, etc. L'analyse fine de ces différentes conséquences est un passage obligé dans le montage d'une opération d'arasement/dérasement d'ouvrage.



↑ **Figure 39** : Etude du profil en long d'un cours d'eau pour en déterminer la pente d'équilibre et les cotes optimales d'arasement de seuils. On voit bien ici que le « remous solide » (trait vert) généré par un seuil ancien (ici au moins 2 siècles) va bien au delà du remous liquide (trait bleu) (source : Malavoi, Biotec, 2005). 🌊

Ces impacts ou ces « risques » sont à mettre en balance avec les avantages attendus de l'opération de restauration (franchissabilité totale et retrouvée pour la faune piscicole, habitats et faciès naturels reconstitués en lieu et place de l'ancienne retenue, réduction des effets de réchauffement de l'eau et de l'eutrophisation, rétablissement de l'équilibre du transport solide dans le cours d'eau, etc.).

Cette analyse, avant tout **environnementale**, doit nécessairement s'accompagner d'un volet **socio-logique**, en particulier en milieu urbain, où la transformation d'un paysage constitué d'une succession de plans d'eau en un cours d'eau naturel peut être difficile à accepter (à ce titre, l'élaboration de photomontages est recommandée).

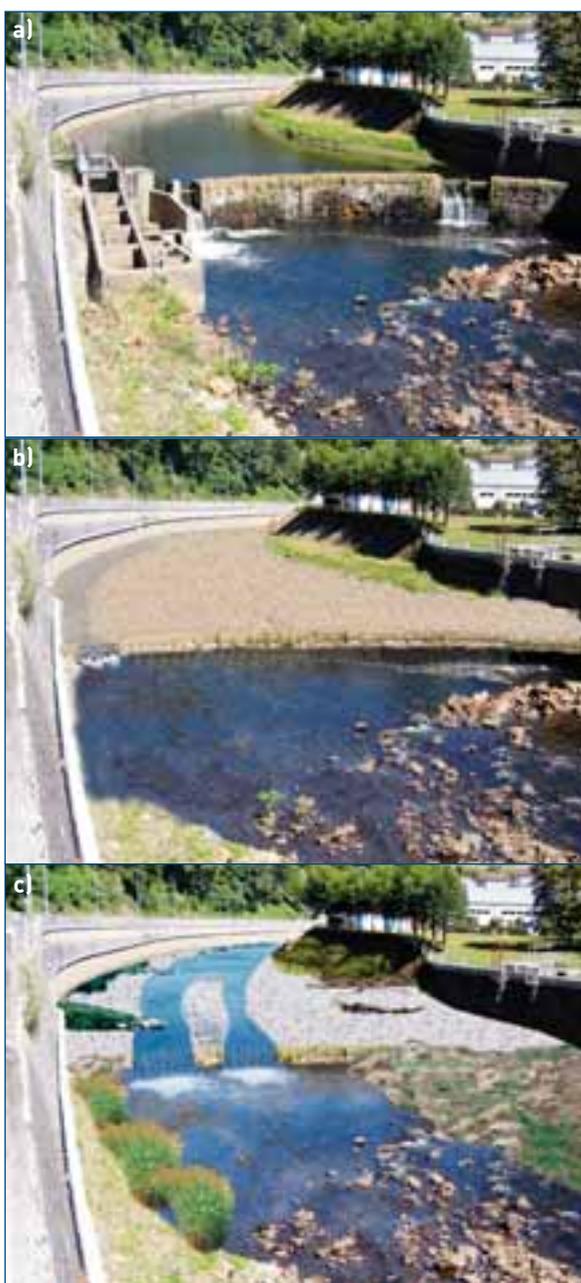


Figure 40 : Exemple d'un photomontage illustrant un seuil sur la Corrèze à Tulle dans son état initial, en cours de démolition et une fois le site réaménagé en fin de travaux (source : Malavoi, Biotec, 2005).

Les aspects **économiques** sont bien sûr à étudier, en n'oubliant pas qu'un ouvrage vétuste (seuil ou barrage plus utilisé) est également générateur de risques pour la collectivité (rupture, inondations, etc.) et que l'entretien ou la reconstruction d'ouvrages à l'identique ne sont pas des opérations négligeables d'un point de vue financier.

Préconisations

Etudes spécifiques

Informations à recueillir en complément des données nécessaires pour tout type de travaux.

Etude préalable de faisabilité

- Informations historiques sur l'ouvrage à araser/déraser : date de construction, profils types, plans de situation, etc.
- Connaissance des caractéristiques juridiques et administratives (propriétaire, droits d'eau, éventuels règlements d'eau, etc.)
- Levé topographique d'un profil en long du cours d'eau sur un tronçon élargi, dépassant largement, à l'amont et à l'aval, le simple linéaire de retenue de l'ouvrage.
- Analyse comparative des avantages et inconvénients des travaux d'arasement/dérasement.
- Détermination des risques d'érosion régressive, de son emprise éventuelle et des effets négatifs qu'elle pourrait avoir sur les infrastructures et les milieux naturels situés dans cette emprise.
- Détermination des volumes de sédiment susceptibles d'être entraînés en aval et de leurs effets éventuels sur les écoulements (risque de réduction temporaire de la section d'écoulement), sur les infrastructures (risque d'obturation d'exutoires d'égouts, de déversoirs d'orages, de drains, etc.), sur les milieux naturels (risques d'apports de matériaux colmatants (sables, limons)).
- Analyse du contexte sociologique (attachement des riverains à leur « plan d'eau ») et du contexte politique.

Éléments nécessaires à l'avant projet

- Elaboration d'un plan topographique précis de l'ouvrage à araser/déraser et de la retenue, y compris bathymétrie et mesures de l'épaisseur des sédiments déposés.
- Identification et recherche historique du tracé du cours d'eau dans la retenue avant l'édification du seuil.

Caractéristiques techniques à rechercher

L'ancien tracé du cours d'eau s'étant souvent partiellement ou totalement comblé avec les sédiments provenant de l'amont, des travaux de

terrassement et de remise en forme de ces matériaux de l'ancienne retenue seront souvent souhaitables, sauf si l'emprise foncière disponible est très importante et que la puissance du cours d'eau est forte. Dans ce cas, on pourra laisser le cours d'eau s'auto-ajuster tout en veillant à ce que les processus géodynamiques naturels n'entraînent pas un excès de matières en suspension pouvant engendrer un colmatage du lit à l'aval. Il apparaîtra souvent préférable de définir, au moins grossièrement, la géométrie du tracé de cours d'eau nouvellement créé dans l'ancienne retenue. Le démontage de l'ouvrage et la vidange de la retenue devront être menées progressivement, afin que les sédiments puissent décanter au maximum. Cela permettra d'éviter un apport brutal de matières en suspension (MES) en aval et de faciliter leur terrassement et leur mise en forme ultérieure après ressuyage.

Comme susmentionné, c'est l'analyse des risques qui va déterminer le choix du dérasement ou de l'arasement de l'ouvrage considéré. Il arrive fréquemment que l'on maintienne le radier ou les fondations de l'ancien ouvrage, afin d'éviter une érosion régressive du fond du lit néfaste à la tenue d'ouvrages existants à l'amont. Dans ce cas, une rampe de faible pente (8-10 Horizontal/1 Vertical) pourra être aménagée directement à l'aval du radier du seuil ou du barrage maintenu, pour en garantir une franchissabilité optimale par la faune piscicole.

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

Vidange de la retenue et démolition de l'ouvrage à prévoir de manière progressive et étalée dans le temps.

■ Mesures connexes obligatoires

- **Végétalisation simple** des surfaces exondées et travaillées de l'ancienne retenue pour limiter le développement des espèces xénophytes. Cette végétalisation simple peut être réalisée par un ensemencement des surfaces, de manière à concurrencer quelque peu des espèces non indigènes ou indésirables.
- **Protection des rives concaves** du nouveau cours d'eau constitué dans l'ancienne retenue, si le projet ne prévoit pas d'espace de mobilité.
- **Abattage/recépage de la végétation ligneuse** bordant l'ancienne retenue, pour éviter son dépérissement et son basculement, suite à l'abaissement des niveaux d'eau.
- **Suivi du développement de la végétation** sur les surfaces exondées de l'ancienne retenue et entretien obligatoire, si le secteur comporte des risques en matière de débordements de crue.

■ Mesures connexes facultatives

- Plan de végétalisation et de gestion plus complet des surfaces de l'ancienne retenue.
- Détermination d'un espace de mobilité du cours d'eau en amont de l'ouvrage concerné.

■ Techniques alternatives

Même selon l'unique critère de « franchissabilité piscicole », une passe à poissons ne remplacera jamais la suppression de l'ouvrage lui-même en termes d'efficacité. Si l'on analyse les autres dysfonctionnements induits par un seuil, seul l'arasement ou le dérasement peuvent permettre de retrouver un fonctionnement naturel.

🌊 Quelques exemples

■ Arasement du barrage de Kernansquillec sur le Léguer (Côtes d'Armor)



Figure 41 : Localisation du secteur (source : Géoportail, IGN). 🌊



Figure 42 : Vue de l'ancienne retenue après sa vidange et du barrage de Kernansquillec en cours de démolition (source : brochure du Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables). 🌊

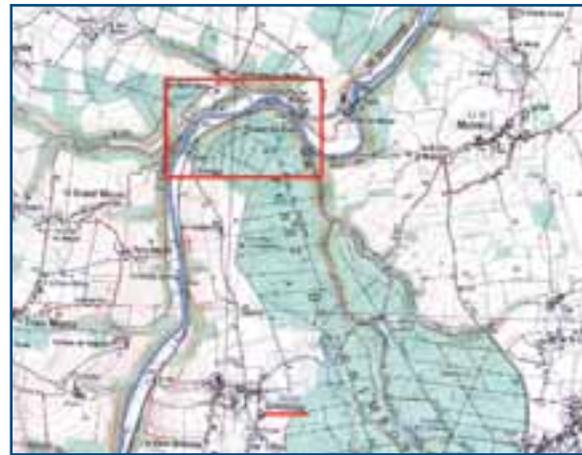


↑ **Figure 43** : Vue des travaux de labour en cours dans l'emprise de l'ancienne retenue sur la photo de gauche (09.05.2001) puis des prairies riveraines fraîchement reconstituées en bordure du Léguer à droite (07.09.2001). Conception des aménagements de l'ancienne retenue et photos Biotec. ≈



↑ **Figure 44** : Illustrations de la diversité des milieux et des faciès retrouvés quatre ans après les travaux de réhabilitation (08.09.2005) de l'ancienne retenue. ≈

■ Arasement du barrage du moulin de Viard sur l'Orne



↑ **Figure 45** : Localisation du secteur d'étude (source : Géoportail, IGN). ≈

● **Problématique**

Le barrage du Moulin de Viard était situé au PK 37.7 de l'Orne (fleuve), entre les communes de Grimbosq et Maizet (département du Calvados). Implanté de manière transversale au cours d'eau, il mesurait 132 ml de longueur pour une hauteur de chute d'environ 2 mètres. Initialement il servait de prise d'eau pour une usine hydroélectrique, comme de nombreux autres ouvrages sur ce secteur de l'Orne. L'activité cessa au début des années 1950. L'usine tomba ensuite en ruine et le barrage également avec une brèche de quelques 15 mètres de largeur, ce qui a déjà abaissé la hauteur de chute restante à quelques 80 cm avant son arasement.

● **Objectifs**

La Fédération du Calvados pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques a souhaité la « reconquête » du milieu aquatique de l'Orne, plus particulièrement sur son cours aval dominé à plus de 80 % par des retenues d'eau artificielles ; reconquête qui passe par la suppression des barrages non

CONTACT

→ **Catherine Moret**

Organisme :

Association pour la protection et la mise en valeur de la vallée du Léguer, Belle-Isle-en-Terre

E-mail : association.leguer@wanadoo.fr



↑ **Figure 46 :** Photo aérienne (datant de fin juin 2002) montrant le secteur de l'Orne restauré suite à l'arasement du seuil du Moulin de Viard (source : Arnaud Richard, CSP (aujourd'hui ONEMA), délégation régionale Bretagne/Basse-Normandie). ≍

utilisés afin de redonner au cours d'eau ses caractéristiques hydrauliques et biologiques originelles.

Cette suppression de barrage a non seulement eu pour but l'amélioration du transit piscicole mais également l'amélioration du potentiel de productivité du secteur compris dans l'étendue du remous de l'ancien barrage, par reconquête de zones de radiers et en favorisant l'amélioration de la qualité des eaux de la rivière (en supprimant une retenue propice au réchauffement de l'eau et à l'apparition de « blooms planctoniques »).

Niveau d'ambition : R2

● *Description des travaux*

Les travaux, réalisés en septembre 1997, n'ont consisté « que » en l'arasement du barrage. Aucun terrassement des sédiments de l'ancienne retenue n'a eu lieu ; ces sédiments étant grossiers et l'Orne développant une puissance importante sur ce tronçon. Il n'y a pas non plus eu d'abattage d'arbres à l'amont du seuil arasé en prévision de l'abaissement du niveau d'eau.

Ces travaux ont ainsi consisté en la démolition du seuil en pierre/enrochement, soit quelque 1 500 m³ de matériaux.

Ces matériaux de démolition ont été utilisés à 50 % pour remplir la base de l'ancien canal d'alimentation de l'usine hydroélectrique, à 25 % en protection de la berge droite au droit de l'ancien ouvrage

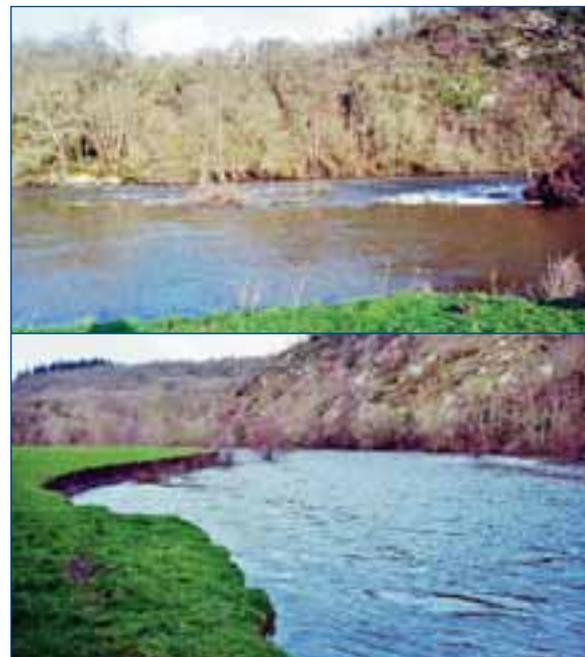
(enjeu représenté par un chemin d'accès) et à 25 % répartis sous forme de blocs isolés et amas à but de diversification placés dans le lit de l'Orne.

Le coût total des travaux a été de 25 000 € HT.

● *Evolution et appréciation générale*

Cet arasement de barrage a permis de « retrouver » quelque 300-400 mètres de faciès courants (soit ~ 70 € HT/ml de faciès naturel retrouvé sur l'Orne).

La dynamique naturelle du cours d'eau a ainsi été restaurée avec la présence aujourd'hui de rapides, le développement de zones d'érosion, etc.



↑ **Figure 47 :** (28.02.07) Vues du secteur situé en amont de l'ancien seuil, avec la présence de rapides (en haut) et d'une importante érosion de berge (en bas). Pour mémoire, la Fédération de Pêche est propriétaire de la parcelle au droit de cette érosion, supprimant ainsi toute velléité de protection de berge. ≍



CONTACT

→ **Arnaud Richard**

Organisme :

Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), Délégation Régionale – Basse-Normandie, Parc Estuaire Entreprise, route de Caen, 14310 Villers-Bocage
E-mail : arnaud.richard@onema.fr



Suppression des contraintes latérales

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Blocage des processus de mobilité latérale

NIVEAU D'AMBITION

R3

SCORE GEODYNAMIQUE

Moyen à élevé



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

Des milliers de kilomètres de cours d'eau ont été stabilisés en plan afin de bloquer les processus d'érosion latérale considérés comme néfastes vis à vis d'enjeux tels que l'urbanisation, l'agriculture ou la simple propriété foncière. Cette stabilisation s'est faite principalement au moyen de protections de berges dites « lourdes » (perrés, enrochements, murs de béton, palplanches, etc.) et s'est traduite, notamment sur les cours d'eau à dynamique active, par d'intenses dysfonctionnements globaux et locaux.

Si la stabilisation en plan des cours d'eau n'est pas remise en cause dans les secteurs à enjeux humains et économiques forts (zones urbanisées, routes principales), la question se pose aujourd'hui de l'intérêt de maintenir figés des milliers de kilomètres de cours d'eau en zone à enjeux faibles, avec les impacts géomorphologiques et écologiques que pérennise cette situation.

Des projets de suppression des contraintes latérales peuvent donc être proposés dans les zones à enjeux faibles afin de restaurer la mobilité du cours d'eau et la dynamique écologique qui en dépend.

Toutefois, la suppression des contraintes latérales comme « technique » de restauration n'est a priori pertinente que sur les cours d'eau dont le score géo-

dynamique est suffisant pour garantir l'auto-ajustement. Une valeur de 10-15 semble être un minimum et 25 doit offrir une quasi-garantie de réussite.

■ Principes généraux

Le principe sous-tendant la démarche de suppression des contraintes latérales se situe donc dans la **logique de mise en œuvre du concept d'instauration ou de restauration de l'espace de mobilité des cours d'eau** (voir encadré législation page suivante).

Dans ce contexte, il a été vu plus haut que la restauration d'un « espace de mobilité » peut être menée « passivement » (en réduisant les « forces de dégradation ») ou « activement » (par des interventions plus lourdes).

🌊 Préconisations

■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

Tout projet de suppression des contraintes latérales doit être précédé d'une étude permettant :

- d'identifier les dysfonctionnements géomorphologiques et écologiques liés à la présence des contraintes latérales, tant à l'échelle locale que globale (tronçon) ;



↑ **Figure 48** : Exemples de protections de berges en zone rurale sans enjeu majeur. 🌊



LEGISLATION

La Loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 (dite Loi risques) va dans ce sens et stipule dans son article L. 211-12 :

- I. Des servitudes d'utilité publique peuvent être instituées à la demande de l'Etat, des collectivités territoriales ou de leurs groupements sur des terrains riverains d'un cours d'eau ou de la dérivation d'un cours d'eau, ou situés dans leur bassin versant, ou dans une zone estuarienne.
- II. Ces servitudes peuvent avoir un ou plusieurs des objets suivants :
 - 1° Créer des zones de rétention temporaire des eaux de crues... ;
 - 2° Créer ou restaurer des zones de mobilité du lit mineur d'un cours d'eau... afin de préserver ou de restaurer ses caractères hydrologiques et géomorphologiques essentiels.
- V. Dans les zones de mobilité d'un cours d'eau mentionnées au 2° du II, **ne peuvent être réalisés** les travaux de protection des berges... et, **d'une manière générale, tous les travaux ou ouvrages susceptibles de faire obstacle au déplacement naturel du cours d'eau.**
- VI. L'arrêté préfectoral peut identifier, le cas échéant, **les éléments existants ou manquants faisant obstacle à l'objet de la servitude, dont la suppression, la modification ou l'instauration est rendue obligatoire...**
- VIII. L'instauration des servitudes mentionnées au I. ouvre droit à indemnités pour les propriétaires de terrains des zones grevées...

- de connaître précisément le score géodynamique du tronçon de cours d'eau considéré ;
- d'identifier les enjeux socio-économiques présents dans la zone devant être « déprotégée » et classée en espace de mobilité et de prévoir ainsi d'éventuelles mesures compensatoires.

Il est souhaitable que cette étude puisse évaluer autant que possible les processus d'érosion qui suivront la « déprotection » des berges, par exemple sous la forme de l'emprise future probable de la rivière au cours des 20 à 50 prochaines années (figure 49).

■ Caractéristiques géomorphologiques à rechercher

L'objectif de la suppression des contraintes latérales étant de laisser le cours d'eau se réajuster

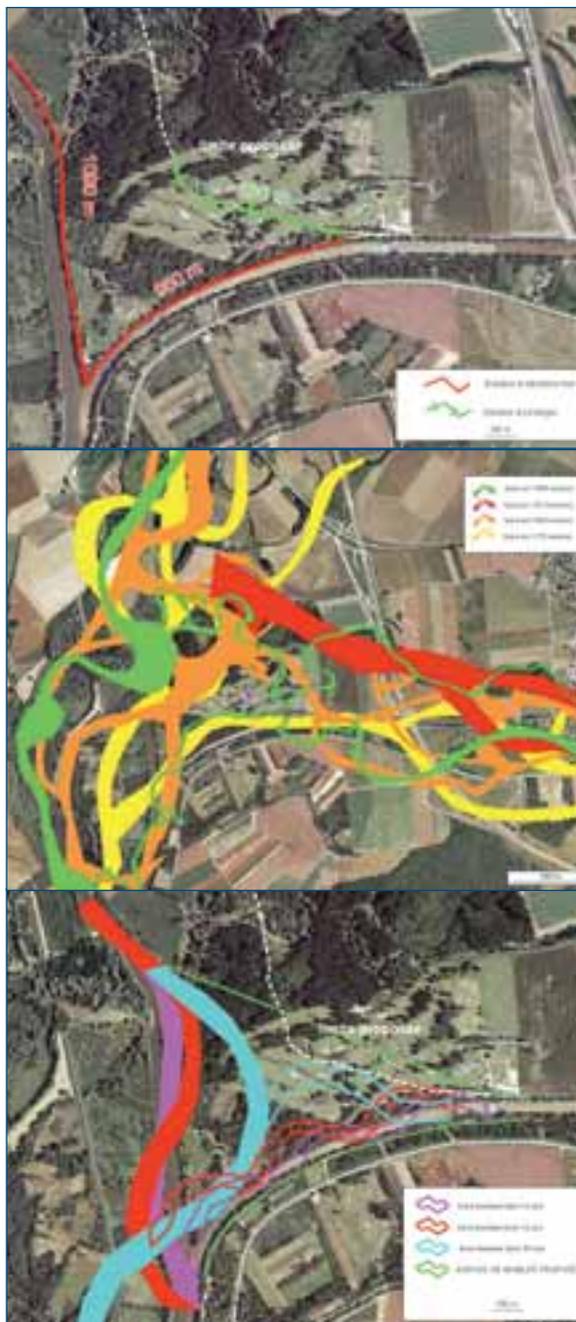


Figure 49 : Exemple d'analyse prédictive du tracé de deux cours d'eau à leur confluence suite à la suppression des contraintes latérales. En haut, contexte local des protections existantes et de leur report en arrière pour protéger un golf existant mais qui sera en partie déplacé. Au centre, analyse historique des tracés. En bas, simulation du tracé à 10 et 50 ans (source : Malavoi, 2005). ≈

seul, l'unique préoccupation sera de lui fixer un espace de mobilité aux limites duquel pourront éventuellement être réalisées de nouvelles protections. Nous renvoyons le lecteur au guide sur l'espace de mobilité pour plus de précision quant aux méthodes de délimitation de cet espace (Malavoi et al., 1998). Rappelons simplement ici que l'ordre de grandeur à respecter peut être exprimé schématiquement par ~ 10 fois la largeur moyenne du lit à pleins bords.

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

Les précautions à prendre sont de deux ordres :

- **lors de la phase projet** : bien identifier les enjeux et les risques (emprise future du cours d'eau) ainsi que les impacts éventuels de la suppression des contraintes latérales sur d'autres enjeux écologiques ;
- **lors de la phase travaux**, les mêmes précautions que pour tout chantier de travaux en rivière ou en berges (voir préconisations générales de limitation des impacts en fin de 3^e partie).

■ Mesures connexes obligatoires

Sans objet.

■ Mesures connexes facultatives

- Si l'on souhaite supprimer les protections existantes pour restaurer tout ou partie d'un espace de mobilité tout en préservant les enjeux situés aux limites de cet espace, on pourra prévoir des protections de berges éloignées au droit de ces enjeux (en privilégiant les techniques végétales ou mixtes), soit immédiates (exemple ci-dessous où les protections aux limites de l'espace de mobilité sont réalisées en même temps que la « déprotection ») soit lorsque le cours d'eau aura atteint les limites de mobilité qu'on lui aura accordées.
- Si le score géodynamique du cours d'eau semble un peu limité (inférieur à 10-15) il peut être nécessaire d'activer les processus d'érosion par des structures qui seront installées dans le lit mineur. On privilégiera alors des épis (fiche 3) si possible fusibles (en matériaux du lit ou en techniques végétales) afin qu'ils disparaissent progressivement lorsqu'ils auront accompli leur travail « d'activation ».

■ Techniques alternatives

Sans objet à ce niveau d'ambition (R3).



POUR EN SAVOIR PLUS

- Malavoi *et al.* (1998). **Guide technique SDAGE n° 2. Méthode de délimitation de l'espace de liberté des cours d'eau.** Agence de l'eau RMC.
- Frossard P.-A., Lachat B., Paltrinieri L. (1998). **Davantage d'espace pour nos cours d'eau, pour l'homme et la nature.** Pro Natura.

🌊 Quelques exemples

■ Exemple de l'Ouche en aval de Dijon

Un exemple de « restauration passive » particulièrement pédagogique a été réalisé sur l'Ouche en aval de Dijon suite à une étude préalable ayant identifié cette solution comme une mesure de restauration suffisante (Malavoi, Horizons, 1995). Notons qu'il n'y a pas eu besoin de supprimer les protections puisque celles-ci étaient déjà en cours de dégradation « naturelle ». La seule mesure concrète a donc été la **sensibilisation des riverains** à l'intérêt de ce « non-projet » (tout le monde voulait reconstituer les protections de berges et on leur a proposé de ne rien faire) avec l'**indemnisation des terrains érodables**.



↑ Figure 50 : Plan de situation (source : fond IGN). 🌊

Caractéristiques du cours d'eau :

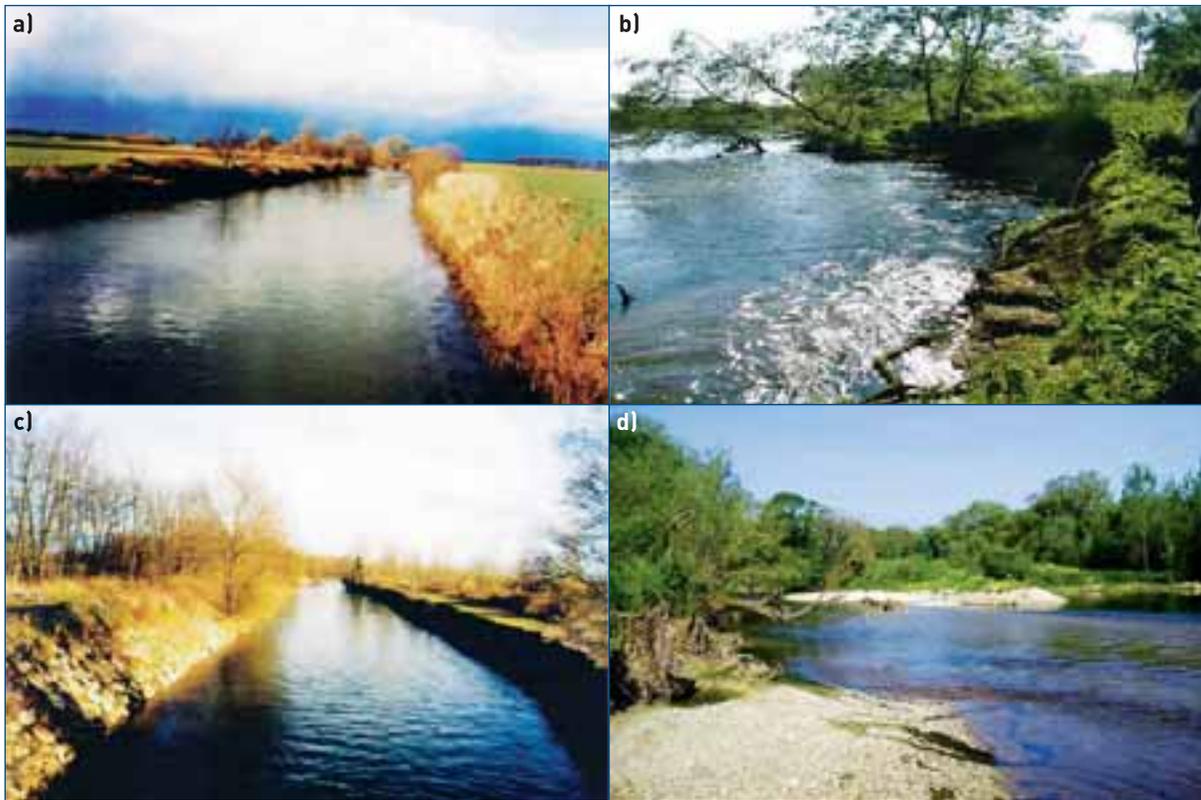
- Pente moyenne : 0.0013 (1.3‰).
- Largeur moyenne à pleins bords : 25 m.
- Débit moyen journalier de fréquence biennale : estimation sommaire : 68 m³/s.
- Puissance spécifique moyenne : 35-40 W/m².
- Transport solide estimé : faible.
- Nature des alluvions : cailloux-galets.
- Nature des berges : non cohésives.
- Score géodynamique : 17.5.

Date, linéaire et coût des travaux :

- 1996 (acquisition foncière).
- Il n'y a pas eu d'aménagement proprement dit. Le SMEABOA (syndicat) a acheté environ 3.4 ha de terrains en rive droite sur le site de la station, soit une bande de l'ordre de 50 m sur 650 m le long du cours d'eau. La seule opération de restauration a été effectuée par l'Ouche elle-même qui a repris ses processus d'érosion de berge et de transport solide.

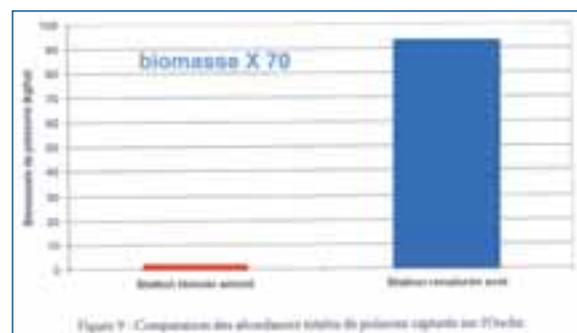
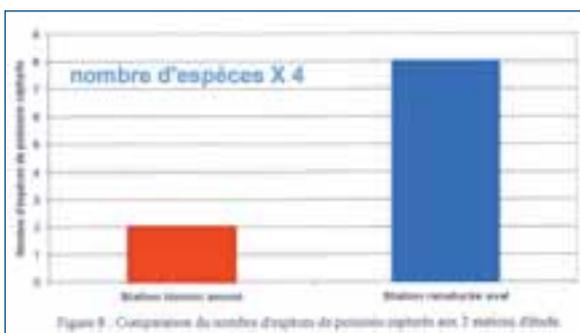
Coût total : 49 000 € HT (acquisition foncière)

Coût moyen au mètre linéaire : 75 € HT



↑ **Figure 51** : Exemple de morphologie du cours d'eau dans : **a)** et **c)** les portions endiguées, recalibrées rectifiées puis **b)** et **d)** dans la portion où les protections de berges se sont dégradées et n'ont pas été reconstruites. ≈

STATION	Nombre Habitats prospectés	Espèce	Densité (ind./ha)	Biomasse (kg/ha)	Classe d'abondance
Station témoin amont	11	<i>Vairon</i>	144	0,1	P
Station témoin amont	11	<i>Chevaïne</i>	862	0,6	P
Station témoin amont	11	<i>Ecrevisse américaine</i>	96	0,6	
Station témoin amont		TOTAL	1 102	1,3	
Station renaturée aval	15	<i>Vairon</i>	393	0,4	1
Station renaturée aval	15	<i>Loche</i>	1 769	4,9	2
Station renaturée aval	15	<i>Epinoche</i>	98	0,2	4
Station renaturée aval	15	<i>Blageon</i>	98	0,3	1
Station renaturée aval	15	<i>Chevaïne</i>	8 501	86,6	4
Station renaturée aval	15	<i>Goujon</i>	49	0,2	1
Station renaturée aval	15	<i>Gardon</i>	49	0,0	P
Station renaturée aval	15	<i>Ablette</i>	246	0,4	1
Station renaturée aval		TOTAL	11 204	93,0	



↑ **Figure 52** : Extrait du rapport d'étude (Sciences Environnement, Rodriguez, CSP – aujourd'hui ONEMA, 2002). ≈

Résultats de l'opération :

Notons que la restauration des processus géodynamiques a eu des effets spectaculaires, notamment au niveau de la faune piscicole. En effet, des pêches scientifiques ont été réalisées sur une portion altérée (type photo a de la figure 51) et dans la portion restaurée, toutes deux supportant une qualité d'eau HORS CLASSE.

Les résultats indiquent un nombre d'espèces 4 fois supérieur dans la partie restaurée pour une biomasse 70 fois plus importante (figure 52) !



CONTACT

→ Organisme :

Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse – Délégation de Besançon

■ Restauration de la rivière l'Orge à Morsang-Savigny

● Problématique

L'Orge est un affluent rive gauche de la Seine avec laquelle elle conflue à Athis-Mons (91). Sa partie aval est gérée par le SIVOA (Syndicat Mixte de la Vallée de l'Orge Aval : 32 communes dont deux communautés d'agglomération. **Missions :** entretien de la rivière et de ses berges, gestion hydraulique, assainissement, surveillance de la qualité de l'eau, etc.).

Cette rivière a été très fortement chenalisée depuis le 18^e siècle, notamment pour favoriser la meunerie. Dans le secteur de Morsang/Savigny,

l'Orge a été transformée en un canal rectiligne bétonné dans les années 1945, pour lutter contre les inondations et envoyer le plus rapidement les eaux de crue vers la Seine.

● Objectifs des travaux de restauration réalisés

Dans le cadre de sa politique de réhabilitation des berges de l'Orge et de reconquête des zones humides en bord de rivière depuis 1995, le Syndicat de l'Orge aval (SIVOA) a souhaité « renaturer » les berges bétonnées de l'Orge sur les communes de Villemoisson/O, Morsang/O et Savigny/O.

L'objectif était double :

- restaurer un paysage fluvial plus proche du naturel, avec notamment un cours plus sinueux et des berges végétalisées ;
- améliorer la capacité d'écrêtement du lit majeur situé en rive gauche de l'Orge et propriété du SIVOA.

Niveau d'ambition : R1/R2

● Description des aménagements réalisés

Les travaux, menés au total sur 1 000 ml entre 1999 et 2005, ont consisté en :

- la suppression des structures bétonnées du fond et des berges ;
- la recréation de légères sinuosités ;
- l'adoucissement de la pente des berges ;
- la plantation de végétaux aquatiques, semi-aquatiques, arbres et arbustes ;
- le réaménagement de la promenade en suivant le nouveau tracé plus sinueux.



↑ Figure 53 : Localisation du secteur restauré (source : Géoportail, IGN). ≡



↑ **Figure 54** : Vue d'une partie du secteur restauré. **a)** Avant les travaux (photo Biotec). **b)** En 2007. **c)** et **d)** Suppression des protections en béton (photos SIVOA). ≈

Le coût total des travaux de restauration (1999 à 2005) a été d'environ 620 000 € HT pour 1 000 mètres linéaires de rivière (2 000 ml de berges), soit 620 € HT/ml.

● *Evolution et appréciation générale*

Comme sur le site du Perray à Sainte-Geneviève-des-Bois (voir exemple fiche 15), on ne peut que saluer un projet qui a remis à plat 50 ans de principes et de techniques d'aménagement hydraulique dont on connaît aujourd'hui les impacts fortement négatifs, tant du point de vue écologique que de celui de la propagation des crues. Comme sur ce site, on peut aussi regretter une ambition sans doute limitée dans un secteur où l'occupation des sols en bordure de cours d'eau ne pouvait malheureusement pas permettre une sinuosité plus accentuée (présence de 2 collec-

teurs d'eaux usées intercommunaux situés le long des berges rive gauche).



CONTACT

→ **Michel Valois**

Organisme :

Syndicat de l'Orge aval - 163, Route de Fleury
91172 Viry-Châtillon Cedex

E-mail : sivoa@sivoa.fr

Remise à ciel ouvert de cours d'eau

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Tous les dysfonctionnements induits par la couverture de cours d'eau

NIVEAU D'AMBITION

R2-R3

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

La couverture complète d'un cours d'eau est l'intervention la plus grave que peut subir un système fluvial puisqu'elle se traduit par la disparition totale de ce dernier. Chaque fois que le contexte socio-politique le permet, une remise à ciel ouvert devrait donc être réalisée.

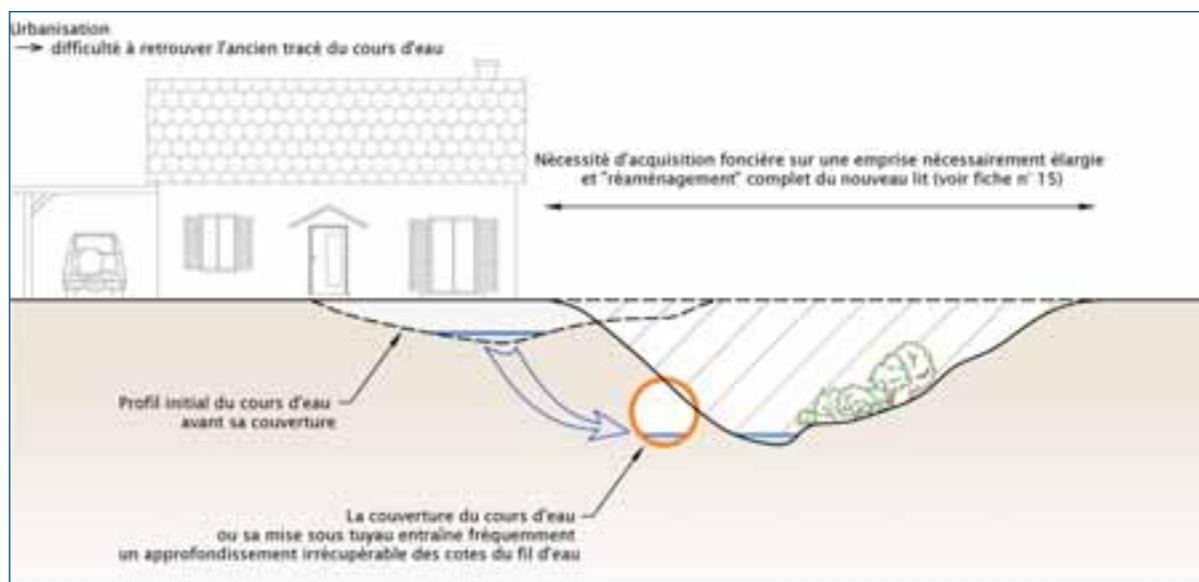
■ Principes généraux

La remise à ciel ouvert de cours d'eau s'accompagne nécessairement de travaux lourds de démolition et de reconstitution totale d'un nouveau lit. Les préconisations s'apparentent donc aux directives énoncées pour le reméandrage ou la création d'un nouveau lit (fiche 15).

La couverture d'un cours d'eau a souvent été liée à l'urbanisation des surfaces occupées initialement par l'espace alluvial ou, en zone rurale, à l'utilisation plus intensive de ces surfaces. Cette couverture a ainsi très régulièrement été couplée à la « linéarisation » du tracé du cours d'eau ainsi qu'au « remembrement foncier » qui l'accompagne.

De ce fait, la découverte d'un cours d'eau constitue inévitablement une opération de restauration difficile et une procédure « technico-administrative » longue à mettre en place. Elle doit en effet nécessairement s'accompagner de l'acquisition foncière des emprises suffisantes au rétablissement de l'espace fluvial. De plus, le tracé initial n'est souvent plus possible à suivre, du fait de l'urbanisation.

D'autre part, la mise sous tuyau ou la couverture d'un cours d'eau a régulièrement été couplée à un approfondissement de celui-ci, pour favoriser l'utilisation du « cours d'eau » en tant que réseau d'assainissement unitaire ou séparatif. Cet approfondissement est parfois très difficile, voire impossible à récupérer, ce qui nécessite alors la réalisation d'un cours d'eau « artificiellement » plus profond que ce que préconiserait l'inspiration des modèles naturels. Cette situation entraîne soit la création de berges très hautes et à forte pente, soit, en cas d'acquisition foncière élargie dépassant l'emprise occupée par le cours d'eau dans son état initial (figure ci-après), des berges hautes mais à pente douce.



↑ **Figure 55** : Illustration de différentes contraintes à prendre en compte dans le cadre de la remise à ciel ouvert d'un cours d'eau (figure Biotec). ≡

🌊 Préconisations

■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

Contrairement à d'autres mesures de restauration, la remise à ciel ouvert de cours d'eau nécessite donc une acquisition foncière, mesure à réaliser ou tout au moins à négocier, dès l'étude préalable. Il est en effet inutile de développer en détail un projet de remise à ciel ouvert de cours d'eau si le contexte foncier n'est pas favorable.

■ Caractéristiques géomorphologiques à rechercher

La démarche de dimensionnement du nouveau lit sera identique à celle présentée pour le remédiation ou la création d'un nouveau lit (fiche 15).

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

Les travaux de couverture de cours d'eau ont très souvent perturbé le comportement de la nappe phréatique associée, notamment si elle s'est accompagnée de mise sous tuyau, de bétonnage du fond du lit, d'approfondissement des lignes d'eau, etc. La remise à ciel ouvert d'un cours d'eau doit donc souvent s'accompagner d'une garantie d'étanchéité du nouveau lit créé, pour éviter des pertes définitives du cours d'eau après travaux de restauration (assurance d'une couche de substratum naturel étanche en profondeur (marnes, argiles, etc.) ou le cas échéant nécessité de la mise en place d'une étanchéité artificielle sous le nouveau lit mineur créé).

■ Mesures connexes obligatoires

Si le nouveau lit créé est éloigné de l'ancien busage, la **fermeture** de cet ancien busage, qui est souvent maintenu pour des raisons économiques, est obligatoire. Il est en effet important que l'essentiel du débit du cours d'eau transite dans le nouveau lit créé et non dans des résidus de canalisations.

■ Mesures connexes facultatives

Sans objet.

■ Techniques alternatives

Sans objet.

🌊 Exemples

■ Restauration de la Bièvre à Fresnes

● *Problématique*

La Bièvre prend sa source à Guyancourt dans les Yvelines. Elle est le seul affluent de la Seine à Paris intra-muros (confluence naturelle au droit de la Gare d'Austerlitz). Très tôt utilisée pour diverses activités sur son cours aval (moulins, tanneries, blanchisseries, etc.), elle a été progressivement intégrée au réseau d'égouts de la capitale puis couverte par des dalles de béton pour des raisons de salubrité, (depuis 1950 environ, entre Antony et Paris).

La Communauté d'Agglomération de Val de Bièvre, dotée de la compétence « requalification de la rivière Bièvre et valorisation de son image



↑ Figure 56 : Localisation du secteur restauré (source : Géoportail, IGN). 🌊

dans la perspective de sa réouverture », s'est engagée depuis 2000 à restaurer progressivement la Bièvre sur son cours aval.

● **Objectifs des travaux de restauration envisagés**

Dans le cadre de cette politique de réhabilitation de la Bièvre, la Communauté d'Agglomération a souhaité commencer sa remise à ciel ouvert, par un chantier pilote sur un linéaire de 200 mètres au lieu-dit « le terrain des Prés » à Fresnes.

Le projet d'aménagement, conçu par l'Atelier CEPAGE, s'est organisé autour de la réouverture de la Bièvre et de la création de milieux et de paysages diversifiés. La qualité de l'eau de la Bièvre s'étant suffisamment améliorée au niveau de Fresnes, le projet de réouverture a pu voir le jour dès 2003.

Ce chantier répond donc à plusieurs objectifs :

- assurer la continuité de la coulée verte reliant Fresnes à Gentilly ;
- rendre la Bièvre à ses riverains ;
- améliorer la diversité des milieux naturels.

Niveau d'ambition : R2

● **Description des aménagements réalisés**

La Bièvre a été réinstallée dans son ancien lit et mise en valeur dans un environnement naturel, le

terrain des Prés, reliquat de « nature » ayant échappé à l'urbanisation.

Les travaux, menés sur **200 ml** en 2002-2003, ont consisté en :

- la suppression des dalles de béton ;
- la recréation d'un ancien méandre ;
- le modelage du profil des berges de façon à diversifier au maximum les conditions du milieu ;
- la plantation de plantes aquatiques et semi aquatiques.

Le coût total des travaux de restauration (2002-2003) a été d'environ 520 000 € HT pour 200 mètres linéaires, soit **2 600 € HT/ml**.

● **Evolution et appréciation générale**

Les bienfaits écologiques de la réouverture sont, 4 ans après les travaux, tout à fait évidents. Une large gamme de biocénoses aquatique, rivulaire et terrestre s'est réinstallée : poissons, canards, martins-pêcheurs, batraciens, insectes divers (libellules et papillons). Une végétation naturelle associée aux milieux fluviaux s'est elle aussi appropriée les rives.

La réouverture n'aura cependant probablement que peu d'effets à l'échelle de la rivière dans son ensemble tant qu'une continuité plus importante ne sera pas atteinte. Ce projet très intéressant,



↑ **Figure 57** : Vues du secteur restauré. **a)** Amont du secteur restauré. **b)** Esquisse du projet. **c)** Travaux de réouverture (2003) [noter la présence d'une partie du collecteur à droite] [source b) et c) : atelier Cepage]. **d)** Secteur restauré (2007) [source a) et d) : Malavoil].

particulièrement par son potentiel de se prolonger largement vers l'aval, doit surtout être apprécié et **fortement valorisé** au titre de « chantier pilote » pour montrer que même un **cas extrême d'aménagement lourd** peut être restauré avec une volonté politique suffisante.

Rappelons que ce chantier a reçu le grand prix de l'environnement 2003, ainsi que le trophée des écologistes et a été présenté comme expérience pilote en 2003 à Kyoto lors du Forum mondial de l'eau.



CONTACT

→ **Nathalie Cadiou**

Organisme :

Atelier Cepage. 18, rue Jean-Marie Poulmarch
- BP 217 - 94203 Ivry-sur-Seine Cedex
E-mail : cepage@club-internet.fr

■ Restauration de la Bretonnière à St-Germain-les-Arpajon

● Problématique

La Bretonnière prend sa source sur le plateau de Brétigny. Elle serpente sur plusieurs kilomètres avant de se jeter en rive droite de l'Orge à Saint-Germain-lès-Arpajon. Ce ruisseau de 4.4 Km est géré par le SIVOA (Syndicat Mixte de la Vallée de l'Orge Aval : 32 communes dont deux communautés d'agglomération. **Missions** : entretien de la rivière et de ses berges, gestion hydraulique, assainissement, surveillance de la qualité de l'eau, etc.).

Cette rivière est couverte sur sa partie aval (buses en béton) jusqu'à sa confluence.

● Objectifs des travaux de restauration réalisés

Dans le cadre de sa politique de réhabilitation des berges de l'Orge et de reconquête des zones humides en bord de rivière depuis 1995, le Syndicat de l'Orge aval (SIVOA) a souhaité réouvrir la Bretonnière sur 70 m au droit de sa confluence avec l'Orge.

Ce chantier répond à plusieurs objectifs :

- assurer une continuité paysagère et écologique entre l'Orge et l'affluent ;
- améliorer la biodiversité des milieux naturels en recréant intégralement un écosystème ;
- offrir aux habitants un espace vert de qualité.

Niveau d'ambition : R2

● Description des aménagements réalisés

Les travaux, menés sur **70 ml au printemps 2007**, ont consisté en :

- la création d'un nouveau tracé méandriforme dans un espace boisé à l'écart du parcours souterrain ;
- la protection en génie végétal des nouvelles concavités contre l'érosion latérale de la rivière (enrochements dans les parties les plus fragiles liées à la proximité de bâtis).

Le coût total des travaux de restauration (2007) a été d'environ 60 000 € HT pour 70 mètres linéaires de cours d'eau (140 m de berges), soit **~ 860 € HT/ml de cours d'eau**. Il est à noter que ce coût est majoré par l'intégration de ce chantier à un programme de formation du personnel en régie. Le nombre d'heures travaillées et comptabilisées est ainsi supérieur aux besoins réels du chantier.



↑ **Figure 58** : Localisation du secteur restauré (source : Géoportail, IGN). ≡



↑ **Figure 59** : Vue d'une partie du secteur restauré. **a)** et **b)** Schémas d'avant-projet (SIVOA). **c)** Berges du nouveau chenal excavé en cours de modelage (2007). ≍

● **Evolution et appréciation générale**

Les bienfaits écologiques de cette réouverture semblent évidents, même quelques jours seulement après la remise à ciel ouvert du cours d'eau. Ils n'auront cependant probablement que peu d'effets à l'échelle de la rivière dans son ensemble. Ce projet doit donc à notre avis être propagé vers l'amont pour retrouver une continuité totale sur la Bretonnière. Il doit surtout être apprécié et fortement valorisé au titre de « chantier pilote » car ce type de projet est encore extrêmement rare en France.

En revanche, pour l'Orge dans laquelle se jette l'affluent « réouvert », la nouvelle zone de confluence constitue un vaste milieu annexe dont les gains biologiques sont manifestes.



CONTACT

→ **Hélène Anquetil**

Organisme :

Syndicat de l'Orge aval
163, route de Fleury
91172 Viry-Châtillon Cedex
E-mail : sivoa@sivoa.fr





Modification de la géométrie du lit mineur/moyen (augmentation limitée de l'emprise)

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Homogénéisation des faciès, profondeur insuffisante en étiage, etc.

NIVEAU D'AMBITION

R2

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

Des milliers de kilomètres de cours d'eau ont été chenalisés, les berges souvent protégées contre l'érosion, l'espace alluvial rétréci.

Dans un tel contexte, il est possible de se limiter à diversifier les écoulements avec des aménagements strictement piscicoles (fiche 1) en conservant le gabarit chenalisé (niveau d'ambition R1). Il est concevable aussi de donner plus d'espace au cours d'eau en supprimant les contraintes latérales (fiche 9) ou les digues (fiche 13), voire en créant un nouveau cours d'eau (fiche 15). Ce type de restauration de niveau R2 et R3 nécessite une emprise foncière élargie souvent difficile à obtenir.

Un « compromis » est parfois envisageable car il arrive que des maîtres d'ouvrages ou des riverains soient disposés à « céder » quelques parcelles pour une opération de restauration de cours d'eau, mais que cet espace reste limité à une emprise modeste (2-3 fois la largeur par exemple). On peut alors préconiser la *modification de la géométrie du lit mineur/moyen avec une augmentation limitée de l'emprise* du lit mineur.

🐟 NOTA

Ce type de restauration de cours d'eau est très courant en Suisse, où le foncier est cher et où les mesures de restauration sont généralement liées à des compensations écologiques de grands projets (routiers, ferroviaires, etc.). Ces surfaces de compensation sont alors clairement définies dans le cadre de ces projets. 🐟

■ Principes généraux

Si l'emprise donnée au cours d'eau demeure limitée, il faut à la fois créer des aménagements relativement « aboutis » dès leur mise en place (concept de restauration active) et favoriser un maximum de diversité sur une surface « réduite ». On met alors en œuvre une juxtaposition de toute une série de techniques de restauration (alternance de zones profondes et de radiers, création

de risbermes (végétalisées ou non), apport de graviers avec la création d'îlots et de mini-bancs alternés, plantation de végétaux adaptés, création d'un lit d'étiage méandrique, etc.).

🌊 Préconisations

■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

⇒ Idem fiche 15 « Reméandrage ou recréation de cours d'eau »

■ Caractéristiques géomorphologiques à rechercher

⇒ Idem fiche 15 « Reméandrage ou recréation de cours d'eau »

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

La modification de la géométrie du lit mineur/moyen dans un espace limité constitue une opération technique délicate à mettre en œuvre, puisqu'elle est toujours le résultat d'un compromis a priori antinomique, entre la volonté de produire un milieu alluvial élargi tout en étant néanmoins contraint. Une telle mesure nécessite des capacités évidentes « d'anticipation » de la part du concepteur concernant la dynamique future du cours d'eau (à la fois physique et végétale).

En effet, par comparaison, lorsque l'espace alluvial potentiel n'est pas limité en largeur, il est tout à fait possible de supprimer des contraintes latérales (par exemple fiche 9) et d'en étudier les effets plus ou moins intenses dans le temps au rythme des crues. Dans le cas présent, il s'agit de favoriser une certaine dynamique tout en la « contraignant ».

On peut ainsi énoncer quelques principes techniques :

- seules les berges ou les arrières-berges soumises à des enjeux devront être protégées face à l'érosion (en privilégiant les techniques du génie végétal) ;



Figure 60 : Sur un tronçon de cours d'eau restauré, exemple d'alternance de radiers, de mouilles, de risbermes, de berges à pente douce et à profil plus abrupt, de bancs de graviers, d'îlots centraux, etc., avec une emprise limitée ici à 12 mètres pour un cours d'eau anciennement chenalisé sur une largeur de 5-6 mètres. ≡

- s'il y a volonté de végétaliser dès le départ des risbermes ou des îlots centraux, ces surfaces devront également être protégées provisoirement par des géotextiles biodégradables par exemple ;
- si des petits seuils ou des rampes sont mis en place (fiche 6), la forme qui leur sera donnée sera volontairement cintrée, de façon à ce que ces éléments de diversification du lit ou des faciès ne soient pas eux-mêmes la source de dégradations des berges créées ;

- n'ayant pas « l'espace » suffisant à disposition pour créer un véritable méandrage du cours d'eau, le « méandrement » du lit d'étiage pourra être produit par un jeu d'alternances des pentes de berges gauche/droite (figure 122 en haut).

■ Mesures connexes obligatoires

- Protection des berges soumises à enjeu.
- Simulation hydraulique nécessaire des écoulements « post-aménagement » en milieu construit ou si les riverains tolèrent « mal » le risque inondation.

■ Mesures connexes facultatives

Sans objet.

■ Techniques alternatives

Sans objet.

≡ Exemples

■ Restauration du bras de la Mouche sur la Risle à St-Philbert sur Risle au droit de l'usine Nestlé Purina

● Problématique

Le bras de la Mouche à St-Philbert sur Risle (27) comprend environ 35 % du débit de la Risle, affluent de la Seine.

Dans le cadre de son programme de restauration de la libre circulation des poissons migrateurs dans la Risle et d'amélioration des écoulements,

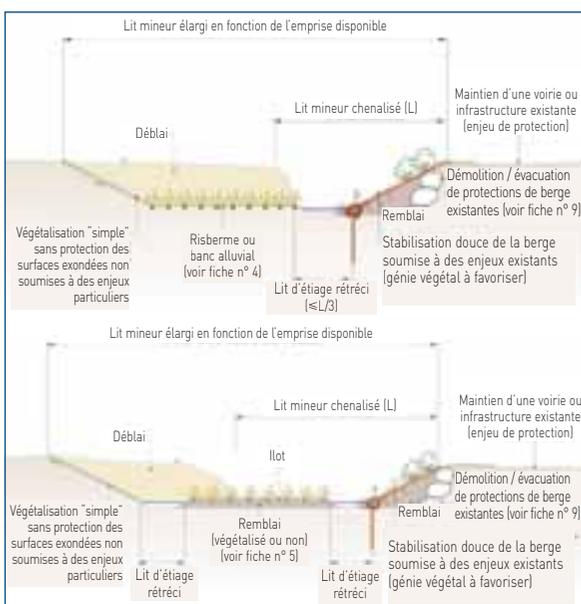


Figure 61 : En haut, exemple d'un profil type de restauration d'un cours d'eau anciennement chenalisé élargi avec la suppression d'anciennes protections de berges et la réalisation de risbermes et d'un lit d'étiage rétréci. En bas, idem avec la création d'un îlot central (figure Biotec). ≡



↑ **Figure 62** : Localisation du secteur d'étude (source : Géoportail, IGN). ≡

le syndicat de la Basse Vallée de la Risle a désiré supprimer l'ouvrage de l'usine Nestlé Purina et réaménager le cours d'eau en conséquence en amont du seuil à déraser, ceci néanmoins sur une emprise limitée.

● **Objectifs des travaux de restauration envisagés**

Description des objectifs :

Rétablir la libre circulation piscicole en supprimant un obstacle transversal au cours d'eau puis réaménager le bief à l'amont du seuil dérasé pour retrouver des substrats diversifiés et favorables au frai des salmonidés, ceci sur un linéaire environ égal à 250 mètres.

Niveau d'ambition : R2

● **Description des aménagements**

Ces travaux, menés durant le printemps 2005, ont consisté en :

- le dérasement du seuil en béton existant (suppression d'une hauteur de chute de 1.4 mètre) ;
- le déplacement du lit mineur de quelques mètres sur la droite pour l'éloigner du mur de clôture de l'usine Nestlé-Purina présente sur sa rive gauche ;
- le terrassement du lit légèrement méandrique et de façon à diversifier les faciès (sans apport de matériaux extérieurs) ;

- végétalisation simple des berges par la mise en place de géotextiles, l'ensemencement et la plantation de quelques ligneux ripicoles ;
- la mise en place d'une clôture de protection en rive droite face à d'éventuels dégâts du bétail présent sur la parcelle limitrophe ainsi que l'installation d'un abreuvoir en partie aval.

Le coût des travaux a été de 90 000 € HT pour ~ 250 mètres linéaires de cours d'eau réaménagé soit ~ 360 € HT/ml.

● **Evolution et appréciation générale**

La suppression du seuil a permis la reconstitution des écoulements naturels et des faciès qui leurs sont associés en lieu et place du bief. La végétation installée et spontanée ripicole s'est très bien développée avec un cordon d'hélophytes élargi sur les deux berges et encore plus densément sur la berge droite (figure 63).



CONTACT

→ **Christian Cozilis**

Organisme :

CE3E, 27180 Arnières-sur-Iton

E-mail : CE3E@ce3e.fr



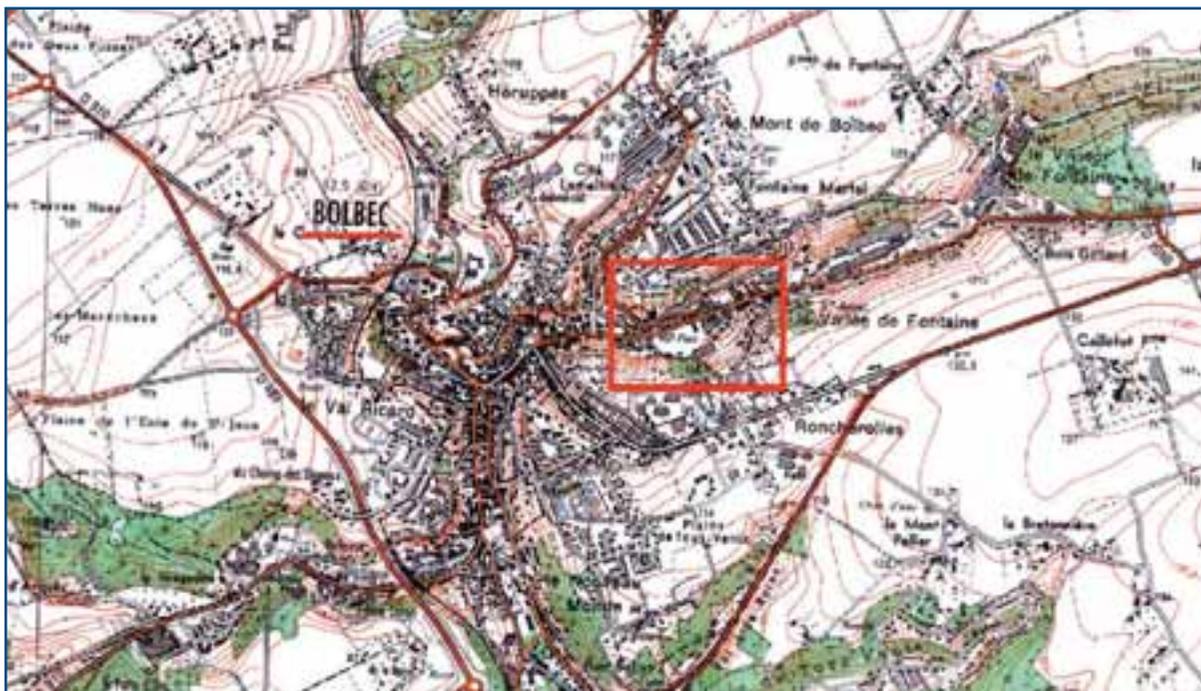
↑ **Figure 63** : Vues du site en date du 26.02.07. **a)** Vue d'ensemble du lit restauré. **b)** Cordons d'hélophytes bien représentés en berges droite et gauche. **c)** Protection de berge localisée en début de tronçon restauré. **d)** Abreuvoir à bétail et clôture provisoire de protection des aménagements. ≡

■ Restauration de la rivière le Bolbec à Bolbec

● *Problématique*

Le Bolbec est un affluent du Commerce, lui-même affluent de l'estuaire de la Seine dans le département de Seine-Maritime (76).

Dans le cadre du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de la Vallée du Commerce, une étude « *diagnostic lit et berges des cours d'eau de la Vallée du Commerce* », a permis d'analyser l'état actuel d'un tronçon du Bolbec, objet de la présente description, de révé-



↑ **Figure 64** : Localisation du secteur d'étude [source : Géoportail, IGN]. ≡

ler ses dysfonctionnements majeurs et de proposer des principes d'interventions.

C'est pourquoi, le Syndicat des Rivières de la Vallée (SyriVal), maître d'ouvrage, dans le cadre de ses missions de valorisation hydraulique, écologique et paysagère du lit et des berges des cours d'eau, a souhaité la restauration de ce tronçon.

Le lit du Bolbec a en effet été recalibré, rectifié et même couvert en plusieurs endroits de Bolbec, au travers de l'histoire de l'industrie textile. Dans le cadre de la réhabilitation d'anciens sites industriels, une résidence pour personnes âgées et une piscine cantonale ont été construites en bordure droite du tronçon de cours d'eau concerné par cette présentation, ce qui définit clairement l'espace foncier réservé à la restauration du cours d'eau. La rive gauche est occupée d'un coteau forestier qui fait place ensuite à un collège dont les étudiants transitent par le Bolbec (passerelles) pour se rendre au centre ville.

Sur le tronçon concerné, le cours d'eau n'était pas « couvert » mais totalement « chenalisé » avec des murs en briques en guise de berges. Le lit était à fond plat, homogène et uniforme, composé de briques tombées des murs et d'une forte proportion de sables ainsi que de dépôts fins brunâtres issus de mauvais raccordements des collecteurs d'eaux usées.

● Objectifs des travaux de restauration envisagés

Description des objectifs :

- **Développer l'image attractive de la rivière**, avec un lieu de promenade et un cadre naturel en ville et un lieu que l'on peut sentir et « toucher ».
- **Redécouvrir la rivière**, en profitant de l'abandon de celle-ci par les activités industrielles. Volonté que cet aménagement donne aux habitants de Bolbec :

- l'envie de s'approprier la rivière ;
- l'envie de respecter la rivière ;
- la possibilité de découvrir l'importance patrimoniale d'un tel écosystème ;
- l'explication des mutations de la rivière aux cours des siècles et l'intérêt d'un aménagement végétal.

● **Offrir l'espace aux piétons, handicapés et cyclistes**, en assurant la création d'un cheminement, au travers et le long du site.

● **Rendre un caractère naturel aux berges et améliorer la qualité biologique du milieu**, de façon à ce que la capacité d'autoépuration de la rivière (avant travaux de restauration totalement absente) soit améliorée.

Niveau d'ambition : R2

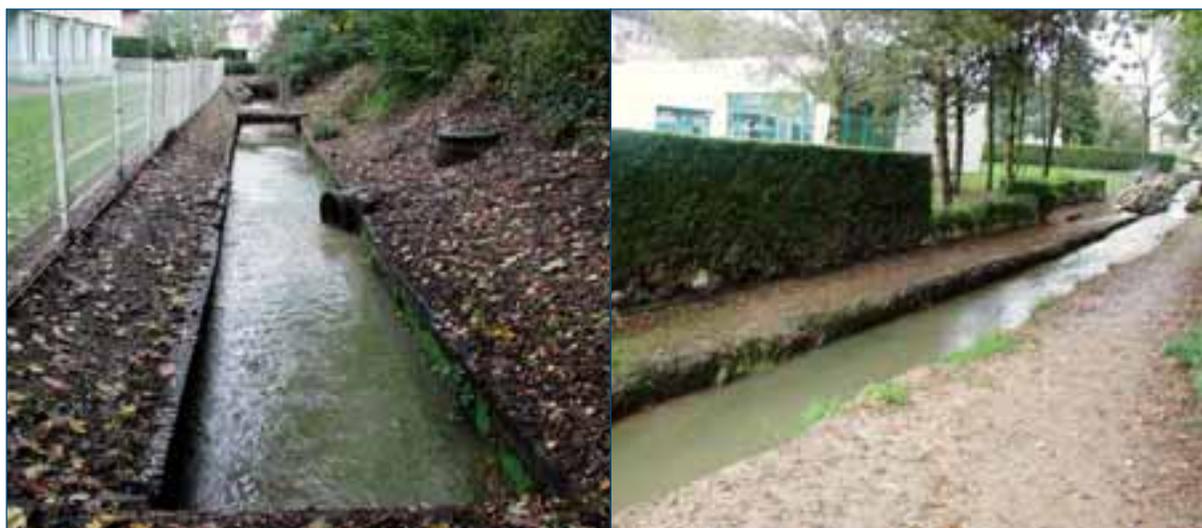
● Description des aménagements réalisés

Les travaux, menés durant le printemps/été 2006, ont consisté en :

- la décorrection des murs bordiers au cours d'eau ;
- le terrassement des berges en pente plus douce (variable entre ~ 2H/1V et 4H/1V), avec l'élargissement de l'emprise du cours d'eau ;
- mise en place de deux petites rampes en enrochements de stabilisation du profil en long ;
- mise en place de techniques végétales de stabilisation des berges avec des lits de plants et plançons, des tressages de saules, des fascines d'hélophytes, des plantations d'arbustes, la pose de géotextiles biodégradables, l'ensemencement des berges, etc.

Le marché de travaux prévoit un entretien/garantie des végétaux sur trois ans.

Le coût total des travaux de restauration (sans les cheminements et passerelle) a été de 250 000 € HT pour ~ 140 mètres linéaires de cours d'eau réaménagé, soit ~ 1 800 € HT/ml.



↑ Figure 65 : Etat du Bolbec avant sa restauration. ≡

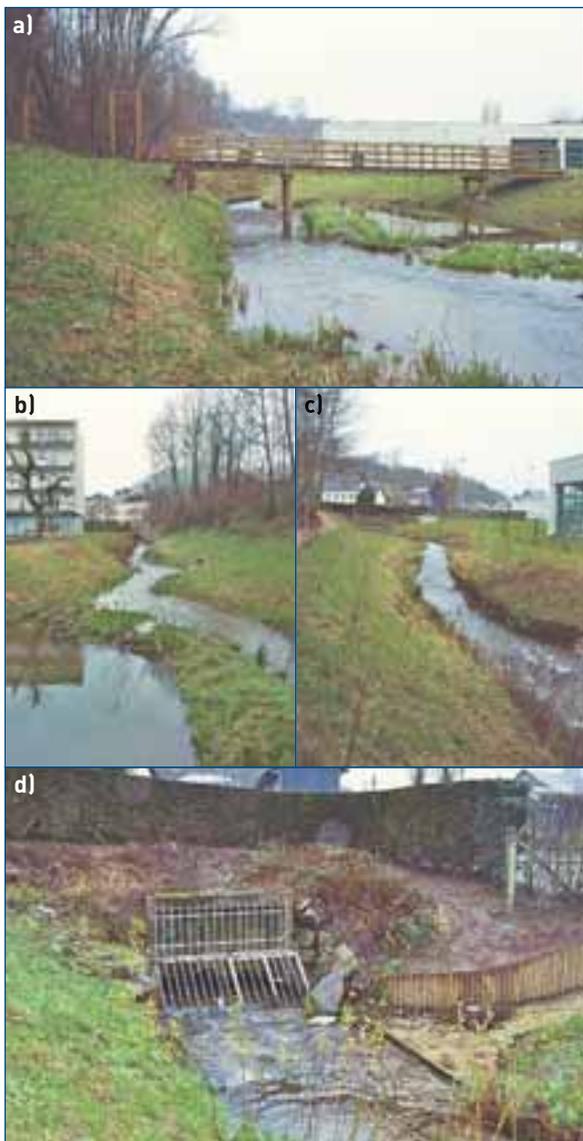


Figure 66 : Vues du site en date du 26.02.07. **a)** Tronçon médian avec un élargissement du lit mineur et la création d'un bras mort. **b)** Lit « méandri-forme » réalisé à l'amont de la passerelle. **c)** Lit restauré à l'aval de la passerelle. **d)** Détail de la grille à l'aval du tronçon restauré, où le Bolbec « replonge » dans sa canalisation. ≍

● Evolution et appréciation générale

Le cours d'eau transporte une grande quantité de sédiments fins, de sorte que très rapidement des dépôts naturels se sont formés en intrados de courbure, ce qui concourt à la dynamique naturelle de « recolonisation » végétale.

Ce site restauré présente une bonne qualité d'ensemble avec des aménagements très construits et finalisés dès leur mise en place en raison du contexte urbain qui ne laisse pas de place à une évolution géodynamique latérale du cours d'eau.



CONTACT

→ **Rachel Le Neveu**

Organisme :

SYRIVAL, 32 rue de la République,
76170 Lillebonne

E-mail : r.leneveu@smi-port-jerome.fr

Diversification de berges sur les grands cours d'eau navigués

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Modification de la nature des berges

NIVEAU D'AMBITION

R1-R2

SCORE GEODYNAMIQUE

Scores faibles



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

La plupart des grands cours d'eau du bassin Seine-Normandie ont été aménagés pour la navigation. Ces différents aménagements ont très fréquemment conduit à la « minéralisation » des berges face aux effets érosifs du batillage provoqué par le passage des bateaux. Sur certains tronçons de cours d'eau comme sur la Seine à l'aval de Poses (estuaire), aux contraintes de batillage s'ajoutent les effets de marnage dus aux marées.

Compte tenu de l'usage navigation qui demeure prioritaire, les propositions de restauration des grands cours d'eau navigués se limiteront essentiellement à des travaux de diversification des berges, en faisant appel autant que possible aux techniques du génie végétal.

🌊 Principes généraux

Si l'on désire revaloriser d'un point de vue écologique les berges de grands cours d'eau navigués, il faut définir des pentes de berges les plus douces possibles, selon des profils de berge $\leq 3H/1V$ s'il y a uniquement des contraintes de batillage et $\leq 5H/1V$ en estuaire. Si l'emprise foncière est insuffisante, on misera sur la souplesse des aménagements réalisés, afin de limiter l'effet de « résistance » face à la dissipation des forces hydrauliques.

Ce sont ces principes qui sont recherchés dans les aménagements : créer un bourrelet végétal souple qui puisse amortir l'onde de choc, en plus de l'effet de la pente douce précitée.

🌊 Préconisations

■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

Les éléments suivants sont nécessaires à la définition et au dimensionnement des principes de restauration :

• analyse des contraintes hydromécaniques en présence :

- **batillage** : type de navigation, fréquence du trafic, répartition saisonnière, etc. ;
- **marées** : amplitude de marnage en fonction des coefficients de marée, localisation du front salé, etc. ;
- **autres usages** : présence d'activités sportives sur le cours d'eau à restaurer, type d'urbanisation ou d'aménagement anthropique en bordure du cours d'eau, etc. ;

• analyse et repérage de la végétation existante

en amont, en aval ou au droit du site à restaurer. Cette analyse dessert deux objectifs, à savoir d'une part le repérage de xénophytes dont il faudra se méfier et d'autre part la mise en exergue de modèles naturels (*selon le principe général qui veut que si de la végétation indigène réussit à se développer spontanément sous certaines contraintes hydromécaniques particulières, il n'y a pas de raison que l'on ne puisse pas l'implanter artificiellement sous couvert de procédés techniques spécifiques : emploi de géotextiles particuliers, mise en place de substrats adaptés, etc.*) ;

• analyse des protections de berges existantes :

type de protection de berge et état de dégradation, réflexion sur l'évolution du lieu si rien n'est entrepris, etc.

■ Caractéristiques techniques à rechercher

La présence de trafic de navigation sur les grands cours d'eau nécessite très fréquemment la réalisation de profils « mixtes » de stabilisation des berges, avec une base sous-fluviale et de pied de berge en enrochement et un haut de berge végétalisé. C'est à la fois l'analyse de l'emprise disponible mise en relation avec l'intensité des contraintes hydromécaniques en présence qui permettra d'adapter la cote supérieure des enrochements de cas en cas.

Il est ainsi possible d'imaginer un profil semi-végétalisé dont les caractéristiques générales

seraient globalement les suivantes (figure 129 ci-après) :

- **maintien d'une plage sous-fluviale ou mise en place d'un socle en enrochement libre (granulométrie différenciée 40-80 cm), sur géotextile non tissé synthétique ou filtre en déchets de carrière, en protection sous-fluviale.** En berge d'estuaire, un tel ouvrage peut également être couplé à un gabion d'ancrage et matelassé, destinés à absorber une partie des contraintes présentes en pied de berge. Cet ouvrage permet de reprendre en butée les remblais, limite l'aspiration des particules fines vers le chenal et offre un effet brise-vagues tant en situation émergée qu'en situation immergée (effet hydromécanique similaire à celui que procure un récif corallien) ;
- **terrassement de la berge en pente douce (dans tous les cas $\leq 3H/1V$ et si possible selon un profil encore plus réduit) avec apport de matériaux gravo-terreux en couverture, épaisseur environ 30 cm au maximum, pour assurer une bonne cohésion de l'ensemble ;**
- **mise en place d'un géotextile tissé biodégradable en coco (en estuaire éventuellement « treillage métallique ») sur l'ensemble de la berge.** Du sommet de l'enrochement au sommet de berge, un tel géotextile tissé peut être avantageusement doublé en sous-couverture d'un feutre aiguilleté en fibres de coco renforcé par un filet de jute (en estuaire éventuellement renforcé par un coulage de latex naturel). Ces géotextiles sont fixés au substrat de berge au moyen d'agrafes métalliques. Ils ont en outre pour fonctions principales :
 - d'éviter tout risque d'érosion superficielle avant la parfaite reprise des végétaux implantés (lessivage dû au battillage, ruissellement dû à la pluie et aux crues, flux et reflux de la marée, etc.) ;
 - de favoriser le démarrage du développement végétal par le micro-effet de serre et la rétention en eau qu'ils engendrent ;
 - de favoriser le développement végétal à plus long terme de par leur décomposition lente (hors très fortes sollicitations environ 2-3 ans), qui constitue un engrais retardant ;
- **plantation de mottes d'essences végétales héliophytes (semi-humides) juste au-dessus du sommet des enrochements, à raison de 4-5 pces/m².** Ce type de végétaux (non ligneux) offre une grande souplesse des tiges aériennes, de même qu'un réseau racinaire particulièrement dense, traçant et profond, capable de stabiliser efficacement le bas de berge. Même en hiver, ces essences conservent leurs chaumes, ce qui permet a priori une protection efficace durant toute l'année ;
- **mise en place de boutures de saules à mi-berge, à raison de 3-5 pces/m².** Les essences proposées feront volontairement partie de la palette de la saulaie buissonnante pour favoriser, même à plus long terme, une stabilisation efficace de la berge de par la grande souplesse des tiges aériennes ;
- **en haut de berge et jusqu'au sommet, plantation d'arbustes en racines nues, sous forme de massifs (densité de massifs variable, densité de plantation 1.5 pces/m² à l'intérieur des massifs), avec des essences plus diversifiées, de manière à créer des mosaïques et strates variées, tout en offrant un complément de stabilisation à la berge ;**
- **ensemencement de l'ensemble des surfaces travaillées avec des mélanges grainiers spécifiques.** Ces ensemencements permettent de couvrir rapidement l'ensemble de la surface du sol avant la reprise des autres végétaux implantés (héliophytes, boutures et plantations). De plus, ils permettent de limiter le développement d'espèces indésirables sur les surfaces travaillées, telles qu'orties, ronces, xénophytes, etc.

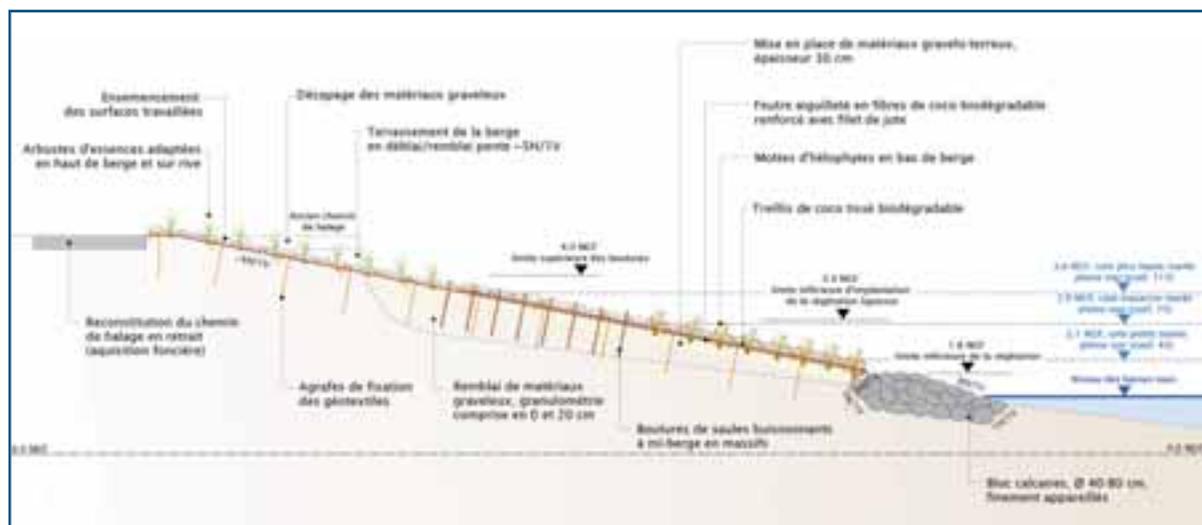


Figure 67 : Exemple de profil semi-végétalisé qui illustre cette séquence mixte : – protection minérale – héliophytes – saulaie (ligneux à bois tendre) – ligneux à bois dur –, réalisé en berge d'estuaire de Seine, avec de très fortes contraintes de battillage et de marée. ≍

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

- En berge d'estuaire, nécessité d'adapter le chantier aux horaires de marées, les travaux ne pouvant se dérouler que 5-6 heures par jour en partie basse.
- Réaliser si possible les travaux en période de « chômage » ou « d'écourue » de la voie navigable, qui intervient généralement en automne.
- Limiter la vitesse des bateaux au droit du site travaillé lors des travaux et durant les premiers mois qui entourent le développement des végétaux.

■ Mesures connexes facultatives

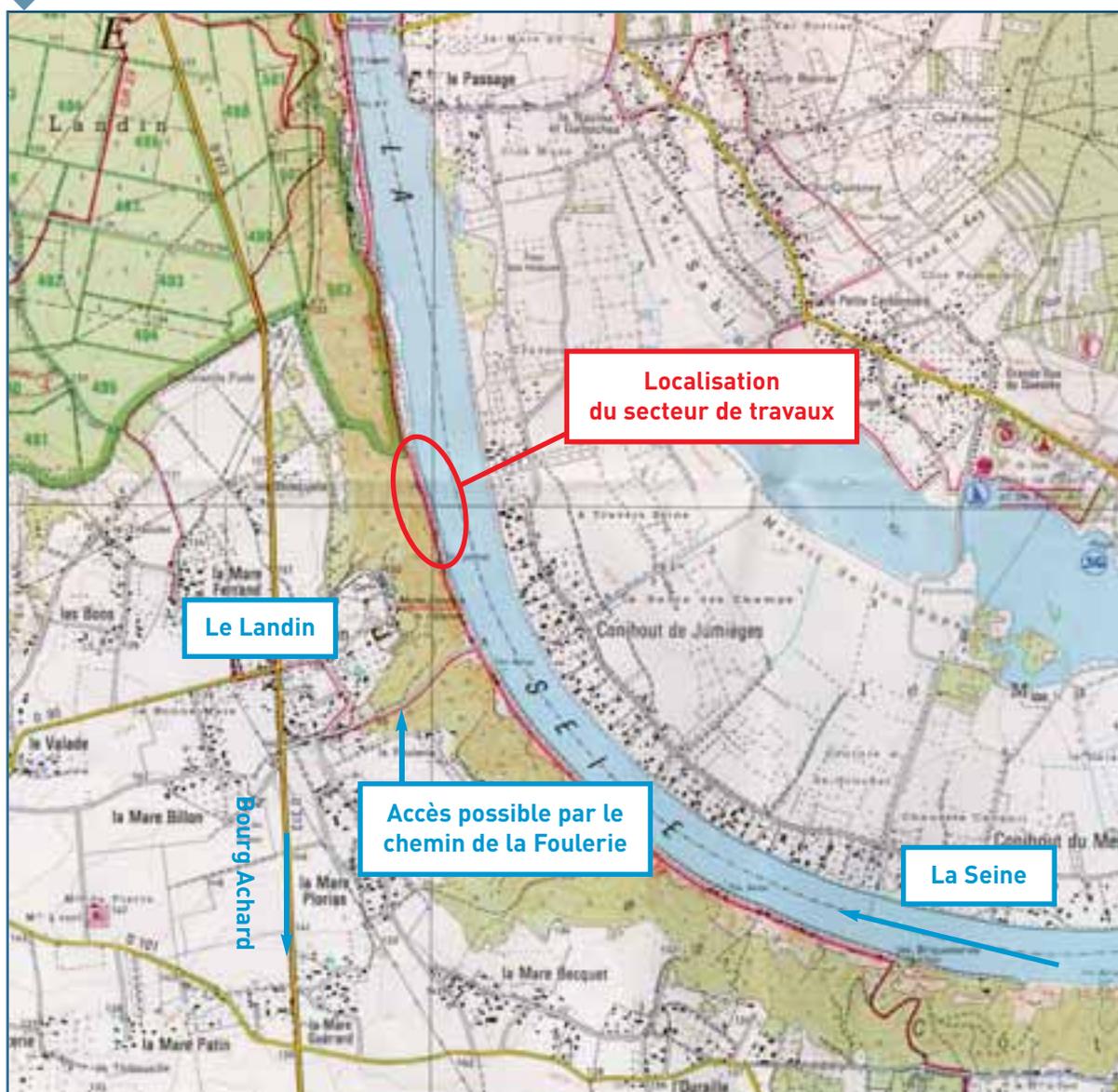
Sans objet.

■ Techniques alternatives

- Suppression totale des contraintes latérales si emprise élargie (fiche 9).
- Eventuellement aménagements strictement piscicoles sous la forme d'agencements de blocs (fiche 1).
- Eventuellement mise en place de bancs de graviers (fiche 4).

🌊 Exemple : aménagement « mixte » de la berge gauche de Seine sur la commune du Landin (estuaire)

↓ **Figure 68** : Localisation du secteur de travaux (source : extrait de carte IGN). 🌊



● **Problématique**

La Seine, second fleuve de France de par sa longueur (776 km), draine un bassin versant d'environ 78 000 km², avec notamment la majeure partie du bassin parisien. L'estuaire de la Seine entre Rouen et Tancarville fait l'objet d'une intense activité de navigation, et dans ce but a été fortement aménagé, principalement dès le XIX^e siècle.

Pour permettre la navigation des bateaux dits de « grand gabarit » jusqu'au Port de Rouen, le dernier programme d'approfondissement a permis d'atteindre les objectifs suivants : 10.30 m de tirant d'eau à la descente et 10.70 m de tirant d'eau à la montée et ceci pour 97 % des marées.

Dans ce cadre des travaux d'aménagements, les berges naturelles ont progressivement disparu au profit de berges artificialisées. Les liaisons hydrauliques avec les milieux connexes et les fonctionnalités écologiques diverses ont fortement régressé. La végétation ripicole, initialement développée sur une largeur de plusieurs dizaines de mètres, a fait place à des ouvrages de protection de berge durs, tels que parpaings béton, perrés, gabions ; ouvrages fréquemment positionnés au-dessus de palplanches, et ceci sur plusieurs dizaines de kilomètres (figure 131).



↑ **Figure 69** : Exemple de protections de berges de Seine avec palplanches et perrés puis détail de détérioration des perrés. ≡

Sous l'impulsion du Conseil Général de l'Eure, puis de la DIREN de Haute-Normandie, un projet expérimental de protection des berges de Seine avec des techniques « douces » a été initié sur la commune du Landin, dans le but de développer une alternative aux aménagements susmentionnés.

● **Objectifs des travaux de restauration envisagés**

Description des objectifs : Les objectifs de la présente opération expérimentale consistent en la proposition de solutions d'aménagement des berges pérennes, mieux intégrées dans le paysage, visant à développer de nouvelles fonctionnalités et à recréer des supports pour la vie biologique.

Niveau d'ambition : R2

● **Description des aménagements**

Le projet étant « expérimental », il a été réalisé en trois phases accompagnées de suivis techniques :

- **automne 2001** : adoucissement de la berge selon un profil à 5H/1V et développement d'un aménagement mixte (enrochement/végétalisation) avec la cote inférieure de la végétalisation à 1.8 NGF et la mise en place de géotextiles 100 % biodégradables en berge ;



↑ **Figure 70** : (18.08.00) Etat initial de l'érosion avant les travaux de réfection de la berge, juste à l'aval de perrés existants maintenus et d'anciens gabions détruits par les contraintes du site. ≡



↑ **Figure 71 :** (12.09.01) Les restes des anciens gabions sont démolis, l'ensemble de la berge est terrassé en pente douce, les blocs de la protection sous-fluviale et de pied de berge sont acheminés sur le site. Les terrassements se déroulent de l'amont à l'aval. ≍



↑ **Figure 72 :** (07.11.01) Jour de la réception des travaux. Vue d'ensemble de la berge réaménagée avec en premier plan la transition amont (berge raide/berge en pente douce), les plantations d'arbustes en haut de berge et le début de reprise des ensemencements à travers les géotextiles. ≍



↑ **Figure 73 :** (27.03.02) Evolution de la berge aménagée 4 mois après les travaux, avec à gauche de nombreux déchets et pas que « végétaux » qui sont apportés par la marée. A droite : par endroits, les végétaux ont déjà totalement disparu avec les géotextiles qui sont déchirés. ≍

- **une plage d'essai réduite au printemps 2003 :** vu les dégradations encourues de la 1ère réalisation expérimentale, il a été décidé de la mise en place d'une nouvelle plage d'essai sur un linéaire plus réduit (25 mètres) en « remontant » la cote inférieure de végétalisation à 2.3 NGF et

non plus 1.8. Cette nouvelle réalisation a également introduit la mise en place d'un gabion et matelas gabion d'ancrage en pied de berge avec également des « treillages » métalliques pour le maintien des hélophytes et des géotextiles biodégradables ;



↑ **Figure 74 :** (13.03.03) Vues d'ensemble de la plage d'essai en fin de travaux à gauche, avec des ancrages de ceinture en enrochement, les matelas-gabions susmentionnés et le haut de berge végétalisé et deux ans après les travaux à droite (27.06.05). Les saules ont connu un développement de 3 à 4 mètres en deux ans. La Seine a apporté quelques dépôts de vase sur les matelas-gabions ainsi que diverses graines de végétaux herbacés, ce qui fait que deux ans à suivre des travaux, bien que non végétalisés lors du chantier, les matelas-gabions sont colonisés par un développement spontané et indigène d'hélophytes. Aucune érosion n'est constatée mais un léger tassement de la partie basse en matelas-gabions. Ces derniers ont précisément été prévus pour « absorber » de façon souple d'éventuels tassements ou enfoncements des enrochements sous-fluviaux maintenus. ≡

- **la généralisation du nouveau profil sur 250 mètres à l'automne 2005 :** suite au bon comportement de la plage d'essai menée en 2003 sur 25 mètres, il a été décidé de procéder aux travaux selon le même profil type mais sur les 250 mètres linéaires de l'opération.



↑ **Figure 75 :** (27.10.05) Les hélophytes sont « prédisposés » sur la berge et plantés entre les mailles du treillage métallique avec une légère découpe préalable des géotextiles biodégradables. Le treillage métallique en couverture est ensuite agrafé avec des « doubles agrafes » métalliques. ≡

● Evolution et appréciation générale

Cette réalisation expérimentale a permis de montrer qu'il était possible de réaliser une protection semi-végétale en présence de contraintes hydro-mécaniques très fortes de batillage (navigation de grand gabarit) et de marées, et ceci pour le tiers du prix (~ 1 200 € HT/mètre linéaire) d'une protection « classique » composée d'un rideau de palplanches surmonté de parpaings béton ou de perrés.

Cependant, ce choix technique nécessite inévitablement une emprise foncière supplémentaire et fait encore pour l'instant malheureusement appel à des artifices techniques non vivants (enrochements de pied, matelas-gabions et treillages métalliques), limitant la pleine expression des fonctions biologiques qu'assurerait une berge 100 % végétale et naturelle.



↑ **Figure 76** : Vue d'ensemble et de détail du site de travaux un an après sa réalisation. ≍



CONTACT

→ **Philippe Adam**

Organisme :

Biotec Biologie appliquée sarl – 65-67, cours de la Liberté - 69003 Lyon

E-mail : biotec@biotec.fr



Suppression des digues, élargissement de l'intra-digues

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Homogénéisation des faciès, incision du lit.
Perte de connectivité lit majeur/lit mineur, etc.

NIVEAU D'AMBITION

R2-R3

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

De très nombreux cours d'eau français ont été endigués, parfois sur de très longues distances, ce qui a entraîné de profonds dysfonctionnements (voir 2e partie).

Dès lors, « désendiguer » un cours d'eau ou au moins **augmenter la largeur de la zone intra-digues** peut être une solution de restauration fonctionnelle globale de l'hydrosystème fluvial :

- grâce à la restauration de la connectivité entre le lit mineur et sa plaine alluviale ;
- grâce à la restauration d'un espace de mobilité sur les rivières actives ou potentiellement actives.

■ Principes généraux

Pour mémoire, un **hydrosystème fluvial naturel** (Roux, 1982 ; Amoros et al., 1987) est caractérisé par une diversité écologique dont le moteur est la dynamique fluviale (Bravard et Gilvéar, 1993) et dont la richesse est liée, entre autres, à différentes fréquences de connexion et de submersion (flood pulse concept).

En suivant la coupe transversale théorique du lit majeur d'un cours d'eau, et sans entrer dans le détail des processus de colonisation des milieux et de successions écologiques, on observe généralement, en progressant du lit vif vers les marges externes de la vallée :

- le **lit mineur** presque toujours submergé, où ne se développe pas de végétation ligneuse et qui peut être considéré comme **l'écosystème d'eau courante** ;
- le **lit moyen**, dont il est généralement admis que la submersion complète est de fréquence annuelle à quinquennale (en moyenne biennale). C'est le milieu où se succèdent spatialement et temporellement diverses espèces et strates végétales : les espèces herbacées pionnières, occupent les marges du lit actif et les bancs alluviaux fraîchement créés ; elles sont relayées (dans l'espace et dans le temps) par les fourrés

de saules et la ripisylve de saules blancs, régulièrement immergés, puis par la forêt d'aulnes ;

- le **lit majeur** enfin, plus rarement inondé (en moyenne à partir de la **crue de fréquence bien-nale**) et où se développe la forêt alluviale des bois durs (frênes, ormes, chênes). Dans ce lit majeur, les sous-systèmes de bras morts peuvent présenter une grande diversité d'associations végétales, depuis les roseaux jusqu'aux bois durs du stade le plus ultime.

La suppression des digues ou l'élargissement de l'espace intra-digues permet donc de retrouver les connexions entre ces différents milieux fluviaux.

🐟 NOTA

Plus l'endiguement est étroit plus les impacts sont forts.



🌊 Préconisations

L'objectif des préconisations présentées ci-dessous est essentiellement de fournir les éléments permettant d'aboutir au meilleur **compromis** possible **entre la restauration d'un lit majeur fonctionnel et la préservation des usages économiques** au sein de ce lit majeur.

La priorité d'intervention devra être donnée aux endiguements :

- bilatéraux ;
- étroits ;
- à fort niveau de protection ;
- dont l'enlèvement se traduira par le plus fort gain écologique.

🐟 NOTA

Le gain hydraulique en terme de champ d'expansion des crues est un critère complémentaire.



■ Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet

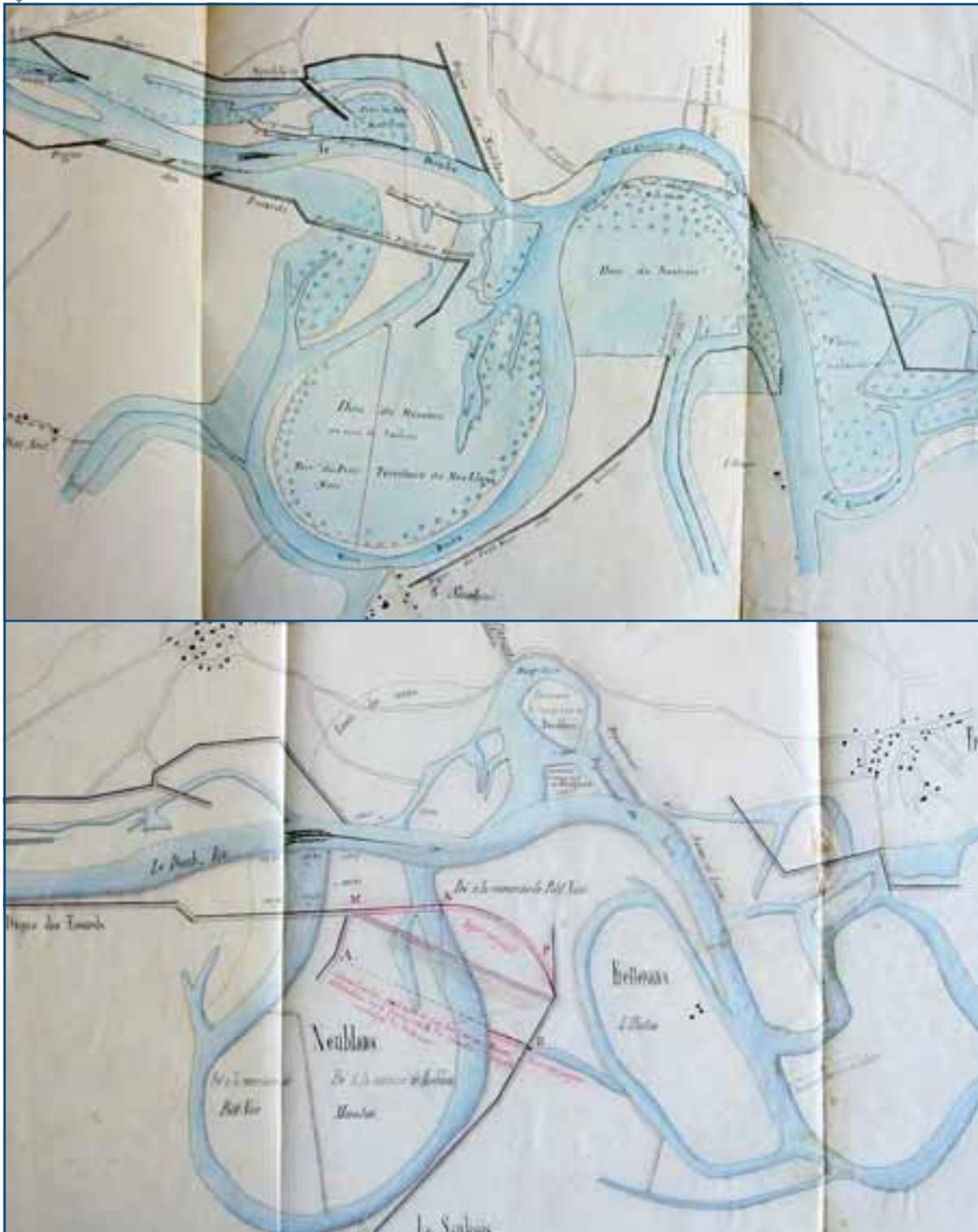
– Diagnostic géomorphologique, hydraulique et écologique global

Historique et type de travaux réalisés : simple endiguement (étroit, large) ; endiguement + recalibrage + rescindements, etc.

 **NOTA**

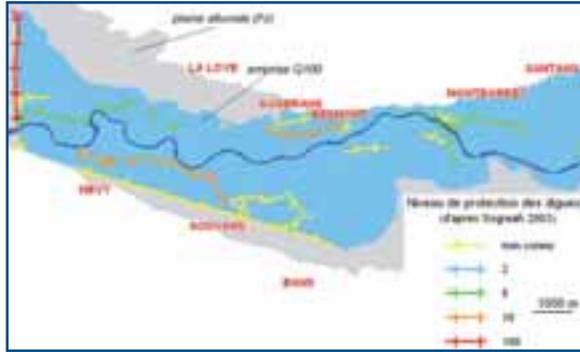
Les études spécifiques présentées ci-après concernent les digues « vraies ». L'enlèvement de merlons de curage le long des petits cours d'eau pourra être réalisé à moindres coûts et sans nécessiter un tel niveau d'étude préalable. 

Figure 77 : Exemple d'analyse historique de la construction d'un réseau de digue suite à un rescindement artificiel de méandre (1859 puis 1882) (source : Archives départementales du Jura). ≡



Impacts identifiés de ces travaux :

- géodynamiques : incision du lit, perte de mobilité, etc. ;
- hydrauliques : modification du régime d'inondation local, amont et aval ; niveau de protection fourni par les digues existantes (Q2, Q10, Q100 etc.) ;



↑ **Figure 78** : Exemple d'informations concernant le réseau de digues (positionnement, fréquence de submersion) (source : Malavoi, Safège, 2006). ≍

- écologiques : perte de biodiversité, perte d'habitats, perte de zones de refuge ou de reproduction. Evaluation du gain écologique à attendre du désendiguement.
- Cartographie précise du réseau de digue et cotes altimétriques.
- Cartographie des enjeux actuellement protégés et analyse fine de la relation digue/enjeu.
- ➔ Ainsi une digue très rapprochée du cours d'eau et qui protège un village situé à plusieurs cen-

taines de mètres, voire kilomètres, pourra éventuellement être déplacée plus près du village.

- **Etablissement d'une topographie du lit majeur dans toute la zone concernée par le projet de désendiguement (zone à désendiguer et plusieurs kilomètres de part et d'autre).**

➔ Semis de point.

➔ Profils en travers comprenant le lit mineur, les digues, le lit majeur.

- Analyse des propriétés foncières dans la zone concernée par le projet.
- Modélisation hydraulique des effets d'un désendiguement et évaluation des impacts géomorphologiques.

● *Modélisation hydraulique*

Une étude hydraulique très poussée doit être réalisée, dont le niveau de précision sera fonction des enjeux actuellement protégés par les digues et du linéaire à désendiguer.

Il s'agira de modéliser le fonctionnement hydraulique actuel, a minima à l'échelle du tronçon géomorphologique homogène, puis l'évolution de ce fonctionnement en fonction de divers scénarii de suppression, d'abaissement ou d'écartement des digues. Il est évident en effet que la **modification des caractéristiques actuelles du réseau de digues aura des incidences tant sur le site lui-même que sur l'amont et sur l'aval.**

● *Evaluation des impacts géomorphologiques.*

Le désendiguement va généralement se traduire par une augmentation de l'activité géodynamique

➔ **Figure 79** : Exemple de réseau de digue pouvant être modifié pour conserver le même niveau de protection de l'enjeu principal (le village). On perdra par contre la protection des terrains agricoles actuellement peu submersibles mais on gagnera, outre une meilleure fonctionnalité écologique, un meilleur écrêtement des crues pour l'aval (source : Malavoi, Safège, 2004). ≍



de la rivière : reprise des processus d'érosion latérale, modification du régime du transport solide, risques d'avulsion éventuels (reprise d'anciens tracés par exemple). Ces effets devront être analysés de la manière la plus précise possible.

● **Analyse socio-économique**

Une analyse socio-économique est indispensable pour cerner les éventuelles compensations à prévoir en cas de retour à une fréquence de submersion naturelle des terres agricoles qui seront concernées par le désendiguement.

■ **Caractéristiques géomorphologiques à rechercher**

Comme il a été vu, l'objectif principal d'un projet de désendiguement ou d'élargissement de l'emprise du réseau de digues est de retrouver :

- une meilleure connectivité entre le lit mineur et son lit majeur ;
- une dynamique fluviale naturelle dans un espace de mobilité restauré.

Restauration de la connectivité et de la fréquence de submersion

Le projet de désendiguement doit permettre de restaurer la connectivité entre le lit mineur et son lit majeur et notamment de retrouver une **fréquence de submersion proche du régime naturel**.

Ce régime naturel de submersion est très variable selon les cours d'eau, notamment en fonction de la topographie de la plaine alluviale. Quelques éléments de ce fonctionnement hydrologique naturels sont cependant aujourd'hui couramment acceptés par la communauté scientifique.

On sait que le **début de submersion** du lit majeur (c'est-à-dire le début de débordement) correspond généralement à la **crue journalière de fréquence 1 à 2 ans**.

Cette submersion s'étend ensuite progressivement vers les marges de la plaine alluviale au fur et à mesure que l'on se rapproche de crues de fréquences plus rares. On considère souvent que la submersion quasi-totale de la plaine alluviale holocène (Fz sur les cartes géologiques) intervient pour des crues comprises entre Q10 (la Loire en Bourbonnais par exemple) et Q100.

Restauration d'un espace de mobilité

Une dynamique fluviale naturelle dans un espace de mobilité suffisant est un gage de réussite d'une restauration fonctionnelle globale.

Selon les lois de la géomorphologie fluviale (fiche 15 « Reméandrage »), cet espace doit être au minimum de **10 fois la largeur « naturelle » du lit mineur à pleins bords**.

■ **Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre**

La suppression ou le déplacement des digues sera inévitablement réalisée au moyen d'engins lourds de chantier (trax, pelles, tracto-pelles, camions etc.). Des précautions adaptées à chaque cas devront être ainsi prises pour réduire les effets négatifs de ces travaux sur la flore et la faune, aquatique et terrestre (voir paragraphe « Mesures de limitation des impacts lors des opérations de restauration », en fin de 3^e partie).

Les matériaux constituant ces digues pourront au cas par cas, soit être réinjectés dans le cours d'eau (s'ils sont d'une qualité et d'une granulométrie adaptée, notamment les anciens merlons de curage) ou emmenés en décharge, ou encore réutilisés pour construire les nouvelles « arrières-digues » prévues dans le projet, s'il s'agit d'un « simple » élargissement.

■ **Mesures connexes obligatoires**

Nécessité d'une étude hydraulique de simulation des écoulements en situation de digues supprimées ou déplacées.

■ **Mesures connexes facultatives**

- Si le cours d'eau, outre l'endiguement, a subi des interventions de type rectification, recalibrage, extractions, etc. il sera probablement nécessaire de procéder à des travaux de restauration adaptés spécifiques à ces interventions (voir fiches correspondantes).
- Si le désendiguement d'un secteur conduit à une augmentation de la fréquence ou de la hauteur de débordement sur un autre secteur, il pourra être nécessaire de procéder à des travaux pour réduire ces effets, s'ils sont jugés négatifs.

■ **Techniques alternatives**

- Abaissement de la cote des digues (pour augmenter la fréquence de submersion).
- Ouverture maîtrisée des digues : pertuis ouverts ou fermés par des structures de régulation.

ATTENTION



Le seul objectif hydraulique (notamment les systèmes de casiers destinés à écrêter les pointes de crues) peut n'avoir aucun effet positif sur l'amélioration de la fonctionnalité écologique de l'hydrosystème.



Exemple de la restauration de la Scie



Figure 80 : Localisation du secteur (source : Géoportail, IGN). ≡

■ Problématique

La Scie est une petite rivière côtière de la Manche. Elle est « gérée » par l'Association Syndicale Autorisée (ASA) de la Scie.

Après une crue spectaculaire en 1999, d'importants travaux de curage ont eu lieu avec par endroits le creusement de « fosses » de plus de 2,5 mètres de profondeur. Les matériaux de curage avaient été déposés sur les berges, constituant ainsi d'importants linéaires de merlons, limitant l'expansion des crues en lit majeur.

Voyant d'elle-même les effets négatifs induits par ces curages, l'ASA a pris une nouvelle orientation de gestion et d'aménagement.

■ Objectifs des travaux de restauration envisagés

L'objectif prioritaire des travaux menés et encore actuellement en cours sur la Scie vise à la **réhabilitation des zones d'expansion des crues**, car pour l'ASA, il s'agit d'hydraulique douce à faible coût, puis bénéfique au cours d'eau et aux habitants de la vallée.

Outre cet objectif hydraulique prioritaire, les travaux de l'ASA visent à remettre en état ce qui pré-existait, à améliorer les connexions du lit mineur avec son lit majeur et à la restauration de zones humides. Un accent tout particulier a été mis sur la communication avec les riverains, avec des entretiens individuels et exhaustifs avec tous les riverains concernés.

Niveau d'ambition : R2-R3

■ Description des aménagements

En 2003 :

- Validation des nouveaux statuts de l'ASA (compétences études et travaux sur le lit mineur et berges).
- Elaboration d'un programme pluriannuel d'aménagement de la Scie.
- Etude de la modélisation hydraulique de la basse vallée de la Scie (coût étude 16 300 € HT et topographie 7 300 € HT).
- Premier chantier végétal (réalisé en régie) à Auffay, soit 120 mètres linéaires pour ~ 3 500 € HT.

En 2004 :

- Recensement et enlèvement d'embâcles, abat-tage de 175 peupliers et réalisation de 10 chantiers de techniques végétale et mixte.
- Réhabilitation de 25 hectares de zones d'expansion de crues (capacité de stockage de 73 000 m³ pour Q₁₀), avec la suppression d'un merlon de 1,2 mètre de haut et intervention sur des parcelles privées avec convention écrite de passage, ceci pour un coût de ~ 50 000 € HT.

En 2005 :

- 15 chantiers de techniques végétales, études sur des projets d'aménagements de barrages, réalisation d'une passe à poissons, etc.
- réhabilitation de 16 hectares de zones d'expansion de crues (capacité de stockage de 86 000 m³ pour Q₁₀), avec la suppression de merlons pour un montant de ~ 50 000 € HT.

Ces travaux de réhabilitation de champs d'expansion des crues qui se poursuivent ainsi en 2006,2007, etc. consistent en :

- la suppression des merlons de curages ;
- l'adoucissement des berges en pente très douce (variable entre 4H/1V et 5H/1V) au droit des parcelles agricoles et la protection en techniques végétales des parcelles habitées ;
- le « remplissage » des fosses de curage (essentiellement dans un but de stabilisation des parties sous-fluviales de berges), avec du tout-venant de ballastière.



↑ **Figure 81 :** Photos de Christophe Lebas, technicien de rivière à l'ASA. Remblaiement de « charge solide » dans le cours d'eau. ≈



↑ **Figure 82 :** (27.02.07) Aménagement encore en cours à Croville avec suppression des merlons, recharge alluviale, adoucissement de la berge gauche au droit des parcelles agricoles et techniques du génie végétal (ici alternance de tressages de saules et de fascines d'hélophytes) en rive droite . ≈



↑ **Figure 83 :** (27.02.07) Vues des travaux d'arasement de merlons réalisés en 2005 à St-Aubin-sur-Scie. ≈



CONTACT

→ **Christophe Lebas**

Organisme :

Association Syndicale Autorisée (ASA) de la Scie, Ancien Moulin, 76550 Offranville

E-mail : asa.scie@wanadoo.fr

Suppression d'étangs

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Modification des flux liquides, solides et biologiques, effets « retenue » et « point dur »

NIVEAU D'AMBITION

R2 et R3

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

De nombreux étangs ont été implantés sur les cours d'eau, généralement dans un objectif halieutique. Leur ligne d'eau est le plus souvent calée en aval par un ouvrage de type digue (perpendiculaire à la vallée), comportant parfois un seuil et un vannage. Le lit majeur est parfois surcreusé.

Cette situation est source de dysfonctionnements biologiques et géomorphologiques majeurs. Chaque fois que la justification socio-économique d'un étang sur cours d'eau n'est plus justifiée, il est donc fortement recommandé de le supprimer.

■ Principes généraux

Si l'on désire supprimer les dysfonctionnements liés à la présence d'un étang sur cours d'eau, une variété de solutions est envisageable, fonction du contexte socio-politique et topographique local (cf. figure 84) :

- **Suppression de l'ouvrage de retenue (digue) ;** (voir fiche 8 « arasement/dérasement de seuils »). Dans l'espace occupé par l'ancienne retenue, il peut être recommandé, selon les résultats de l'analyse morphodynamique, soit de « laisser-faire » le cours d'eau, soit de réaménager le cours d'eau au plus près de ce qu'il était avant la création de l'étang (voir fiche 15 « reméandrage ou recréation de cours d'eau »).

Dans la même logique, l'emprise de l'ancienne retenue peut être, soit « laissée » à une recolonisation naturelle et spontanée, soit « revégétalisée » avec des essences indigènes et adaptées (voir fiche 2 « création d'une ripisylve ») ;

- **création d'un cours d'eau en dérivation du plan d'eau :** si, pour des raisons socio-politiques ou économiques, on souhaite conserver le plan d'eau (pour la pêche, la baignade, etc.), on peut proposer la création d'un nouveau cours d'eau qui court-circuite le plan d'eau (fiche 15) ;
- si aucune de ces deux options (de niveau R2 ou R3) n'est envisageable, il est possible de se limiter à un niveau R1, en procédant à des terrassements en « déblais/remblais » à l'intérieur de l'étang, afin de créer un chenal préférentiel, limitant les dysfonctionnements identifiés.

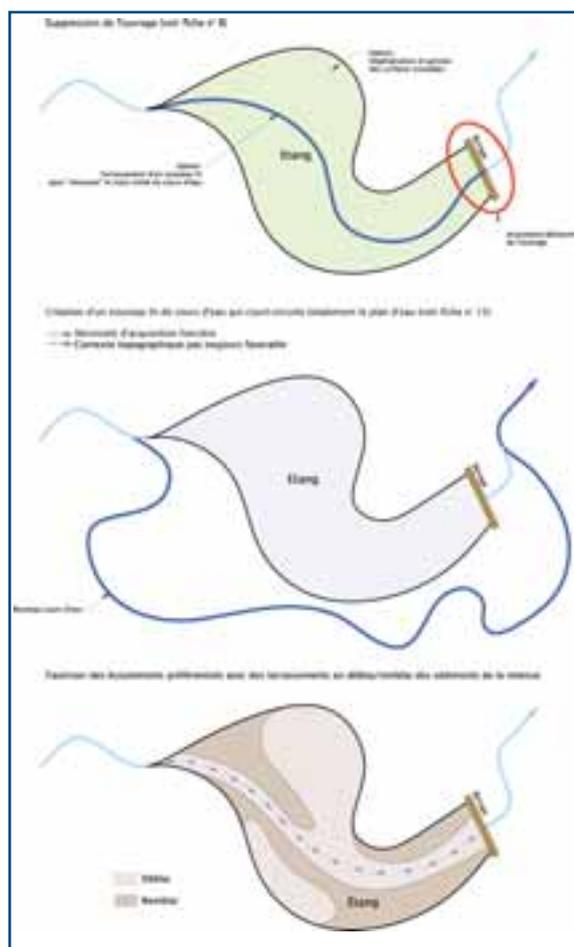


Figure 84 : Illustrations des différentes options d'intervention possibles sur un étang implanté sur un cours d'eau. 🌊

■ Contraintes et préconisations particulières

La première solution nécessite une étude précise des gains écologiques attendus d'une telle option au regard des impacts négatifs éventuels (voir fiche 8 « arasement/dérasement de seuils »).

La deuxième solution nécessite l'acquisition foncière des parcelles attenantes au plan d'eau ainsi que la vérification de la « faisabilité topographi-

que » du projet. En effet, un étang sur un cours d'eau étant généralement implanté en fond de thalweg, le cours d'eau de dérivation peut se retrouver en situation « perchée ».

Cette analyse topographique doit permettre de positionner le tracé optimal du nouveau cours d'eau (figure 85).

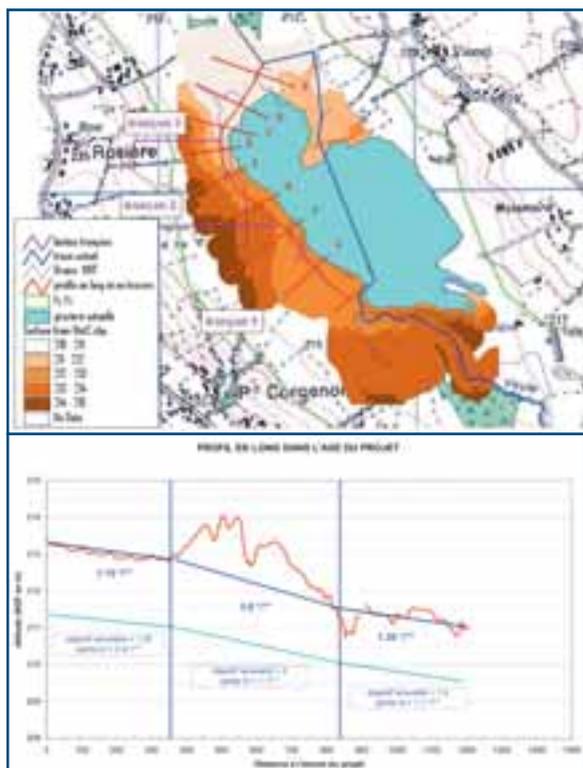


Figure 85 : Projet de dérivation de la Veyle au droit de la gravière de St-Denis-les-Bourg. Etude fine de la topographie avec en haut un plan de situation et en bas le profil en long du tracé le plus favorable (étude Biotec-Malavoï, 2005). ≡

Exemple de la suppression des étangs Narlin à Villiers-le-Duc (21)

● Problématique

Le ruisseau du Val des Choues (affluent de l'Ource) coule dans un vallon calcaire totalement forestier. Sur la commune de Villiers-le-Duc (21),



Figure 86 : Localisation du secteur restauré (source : Géoportail IGN). ≡

à la confluence avec son affluent rive gauche (combe Narlin), un complexe de 5 étangs à vocation de production piscicole avait été construit en 1968, à l'emplacement d'un étang plus ancien (13^e siècle ?) créé par les moines d'une abbaye proche mais disparu depuis au moins 1 siècle.

L'impact de ce complexe d'étang était multiple :

- obstacle à la libre circulation piscicole et astacicole (chabot, lamproie de Planer, écrevisse à pattes blanches), d'où une forte fragmentation des populations ;
- modification physico-chimique des eaux du ruisseau à l'aval (augmentation thermique) ;
- dévalaison d'espèces non adaptées aux ruisseaux de première catégorie et incompatibles avec la présence des espèces patrimoniales.

● Objectifs des travaux de restauration envisagés

Dans le cadre d'un programme LIFE « ruisseau de têtes de bassin » (2004-2009), l'Office National des Forêts, le Parc naturel régional du Morvan, le Conseil Supérieur de la Pêche, la Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche et Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA 21) et l'AAPPMA « La truite châillonaise », ont souhaité supprimer ce complexe d'étangs pour restaurer la connectivité amont/aval de ce secteur et remplacer un fonctionnement artificiel de plan d'eau par un fonctionnement naturel de ruisseau.

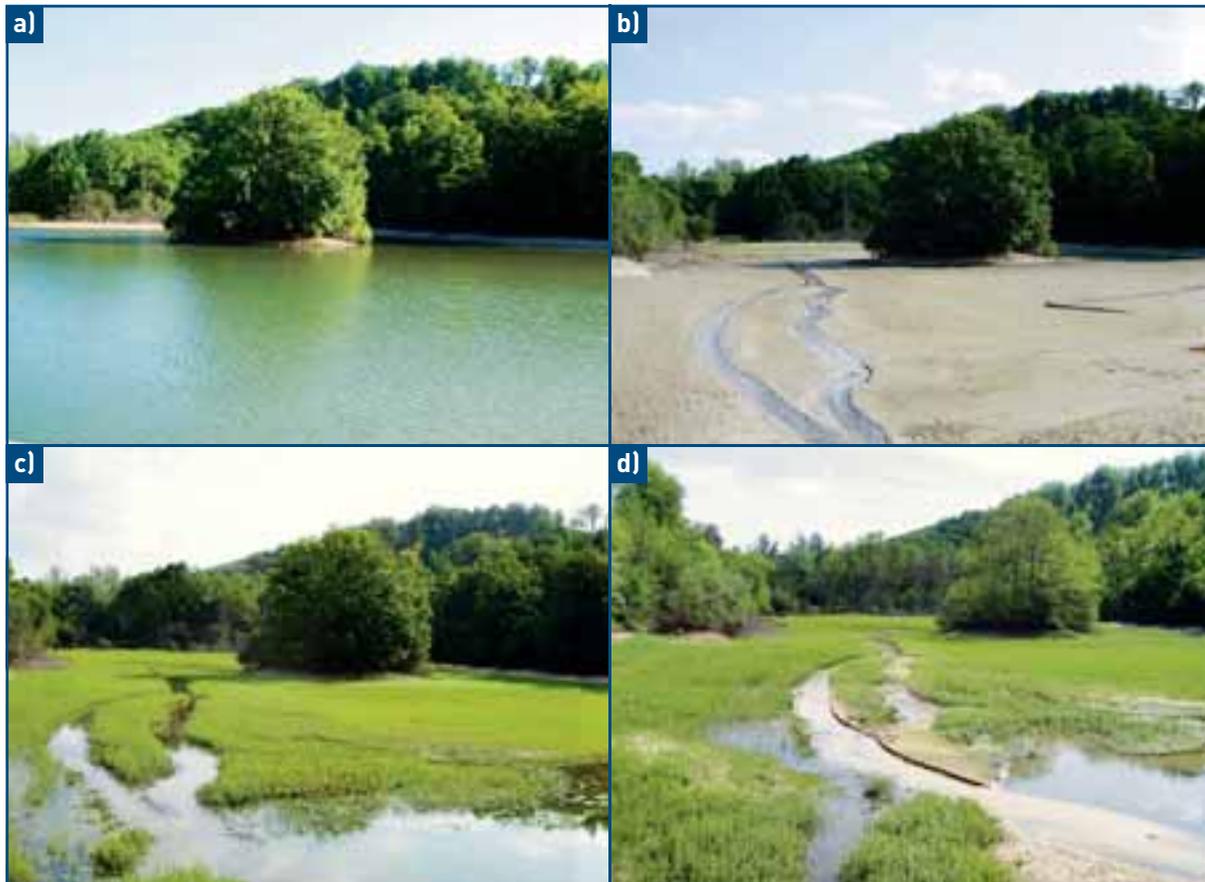
Niveau d'ambition : R3

● Description des aménagements réalisés

La volonté des partenaires de ce projet était de réaliser les travaux les plus simples et les moins coûteux possibles (vidange puis ouverture des digues aval) et de suivre scientifiquement les processus d'ajustement géomorphologique et de recolonisation écologique.

La vidange des plans d'eau a été réalisée en deux temps :

- juin 2006, vidange des trois étangs amont et ouverture des digues en août ;
- septembre 2006, vidange des deux étangs aval et ouverture des digues en novembre.



↑ **Figure 87** : Vue d'un des étangs supprimés. **a)** L'étang en eau. **b)** Immédiatement après la vidange (juin 2006). **c)** 2 mois après la vidange (septembre 2006). **d)** Mai 2007. ≈

Le coût total des travaux de restauration (2006) a été d'environ 28 000 € HT (animation, dossiers réglementaires, pêches électriques d'inventaire, vidange, destruction des digues) soit, sur la base du linéaire de cours d'eau « regagné » (700 m), **environ 40 € HT/ml.**

● *Evolution et appréciation générale*

Les bienfaits écologiques de cette suppression d'étangs sont évidents : disparition d'obstacle à la libre circulation des espèces, renaissance progressive du cours d'eau, suppression des impacts thermiques. Rappelons que l'un des objectifs des partenaires du projet était de laisser le cours d'eau faire lui-même le « travail » de restauration hydromorphologique et de suivre cette évolution.

Du point de vue écologique, on observe, un an après les travaux, une explosion végétale dans le fond des anciens étangs avec un tapis quasiment monospécifique de saules blancs. Certaines biocénoses aquatiques semblent aussi se réinstaller, notamment celles des milieux annexes (batraciens et amphibiens). Pour ce qui concerne l'ajustement hydromorphologique, on constate que le cours d'eau reprend effectivement ses droits avec un tracé légèrement sinueux dans un lit globalement très peu encaissé (berges de 10-20 cm de hauteur). Les alluvions grossières (petits galets,

graviers et sables) étant très peu nombreuses, le fond du lit reste vaseux et l'on voit fréquemment apparaître le substrat marno-calcaire blanchâtre **très peu biogène.**

Il est possible que ce manque d'alluvions grossières en transit se traduise par une très faible capacité d'accueil pour les biocénoses aquatiques d'eau courante (notamment truites, chabots et astacidés). Des apports de matériaux pourraient donc être envisagés à terme, après 1 ou 2 années de suivi, si ce déficit d'habitat était avéré.



CONTACT

→ **Bertrand Barré ou Vincent Godreau**

Organisme :

Office National des Forêts

E-mail : bertrand.barre@onf.fr

vincent.godreau@onf.fr



Reméandrage ou recréation de cours d'eau

TYPES DE DYSFONCTIONNEMENTS CONCERNES

Homogénéisation des faciès, etc.

NIVEAU D'AMBITION

R2-R3 (avec espace de mobilité ou de fonctionnalité)

SCORE GEODYNAMIQUE

Tous mais à recommander plutôt sur les cours d'eau peu puissants



🌊 Généralités

■ Contexte d'application

La technique du reméandrage est adaptée aux cours naturellement sinueux dont les sinuosités ont été artificiellement rescindées sur de longues distances.

■ Principes généraux

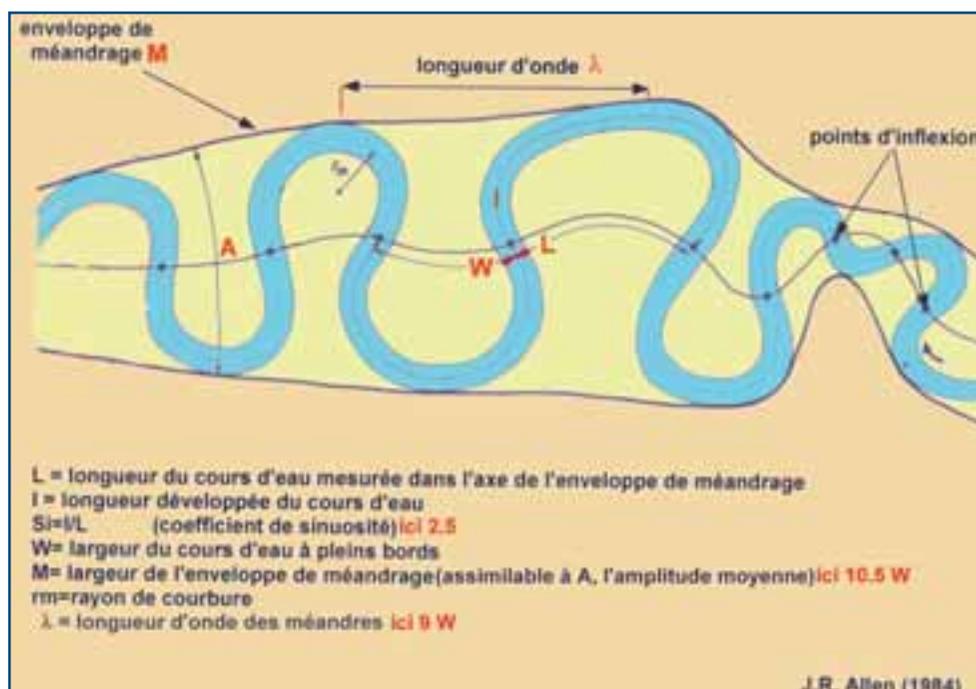
Le reméandrage consiste à remettre le cours d'eau dans ses anciens méandres si ceux-ci sont encore identifiables (sur carte, sur le terrain) et mobilisables (fonction des contraintes techniques et foncières) ou à créer un nouveau cours d'eau sinueux ou méandrique¹ correspondant au type fluvial natu-

rel, dans le respect des lois morphologiques connues (géométrie en plan, en long et en travers).

Ces lois morphologiques, bien qu'encore aujourd'hui objet d'investigations et de recherches scientifiques, peuvent néanmoins être esquissées :

● Tracé en plan

Il est couramment admis que les cours naturels dans un contexte de plaine alluviale érodable, développent au fil du temps un tracé en plan d'équilibre présentant des caractéristiques récurrentes. On adimensionnalise généralement ces caractéristiques géométriques en plan en les divisant par la largeur du cours d'eau à pleins bords.



↑ **Figure 88 :** Mesures morphométriques sur un cours d'eau sinueux. Nota : la largeur « à pleins bords » [sur cette figure « W »] d'un cours d'eau se mesure au droit des points d'inflexion où le profil en travers est le plus symétrique (d'après J.-R. Allen, 1984). 🌊

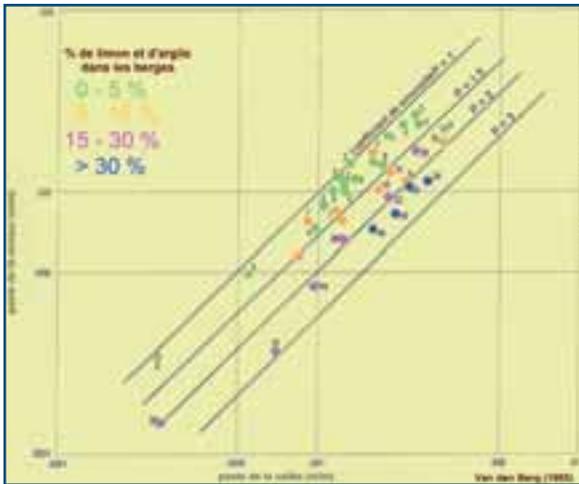
1. On considère généralement qu'un cours d'eau est sinueux si son coefficient de sinuosité (rapport de la longueur du lit mineur par celle de la vallée) est compris entre 1.1 et 1.25 et très sinueux si celui-ci est compris entre 1.25 et 1.5. On dit qu'un cours d'eau est méandrique si ce coefficient est supérieur à 1.5.

● **Coefficient de sinuosité**

Le coefficient de sinuosité d'un cours d'eau coulant dans une plaine alluviale (par opposition aux cours d'eau contraints) est fonction de sa puissance mais aussi, et peut être surtout, de la nature plus ou moins cohésive de ses berges. Van den Berg (1995) a montré que plus les berges sont cohésives (% de limon et d'argile dans la berge), plus le cours d'eau est méandrique, probablement sous l'effet de « compression » mécanique liée à la résistance des alluvions.

 **NOTA**

Lorsque les berges sont peu cohésives et qu'il y a une très forte charge solide, le cours d'eau peut développer un **tressage** avec un tracé en plan du lit moyen rectiligne. 



↑ **Figure 89** : Relation entre le coefficient de sinuosité (ici mesuré par le rapport pente de la vallée/pente du lit) et la nature des berges. Noter que les cours d'eau sinueux à très sinueux sont caractérisés par des berges non cohésives. Les cours d'eau très méandriques ($P > 2$) ont eux des berges plutôt très cohésives (d'après Van den Berg, 1995). ≈

● **Longueur d'onde des sinuosités**

- Elle est généralement de l'ordre de **10 à 12 fois la largeur L** (10 à 12 L).
- Elle est d'autant plus grande que le cours d'eau est très dynamique car les sinuosités ont tendance à « s'écarter » du fait de leur migration rapide vers l'aval. Elle peut alors atteindre des valeurs de 12 à 15 L.
- A l'inverse, sur les cours d'eau peu dynamiques, les méandres sont plus prononcés, plus « écrasés » et la longueur d'onde plus faible (7 à 10 L).

● **Amplitude des sinuosités**

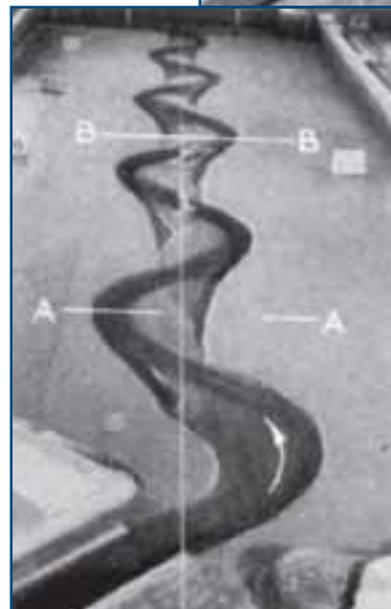
- Elle est en moyenne de 10 à 12 fois L.
- Elle est d'autant plus faible que le cours d'eau est très dynamique car le tracé a tendance à

s'aplatir du fait de la migration rapide des sinuosités vers l'aval. Elle atteint alors généralement 6 à 10 L.

- A l'inverse, sur les cours d'eau peu dynamiques, les méandres sont plus prononcés, l'amplitude plus élevée. On observe alors des valeurs comprises entre 10 et 20 L.

 **NOTA**

Dans des conditions sédimentologiques parfaitement homogènes, le tracé en plan peut être extrêmement régulier. C'est ce que l'on observe sur des modèles réduits expérimentaux. 



↑ **Figure 90** : Exemple de tracé en plan très homogène tel que l'on en obtient en laboratoire. Berges et fond sableux : en haut, conditions initiales, en bas, après 3 h d'écoulement (Friedkin, 1945). ≈

● **Profil en travers**

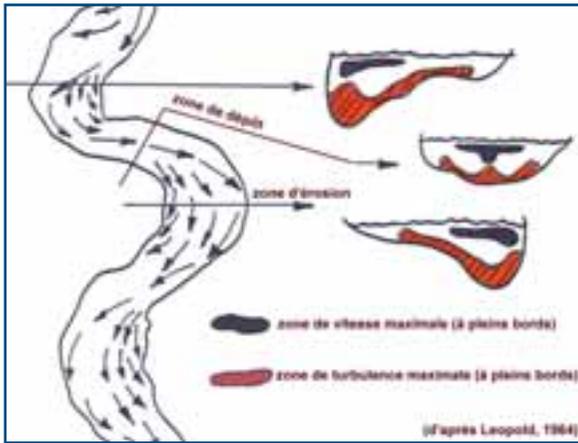
La section du lit mineur à pleins bords

Il existe un grand nombre de « formules » et d'équations permettant d'évaluer la largeur moyenne théorique d'un cours d'eau (voire sa section) en fonction généralement de la superficie du bassin versant et de l'érodabilité des berges. La dispersion des valeurs est telle lorsque l'on applique ces formules, qu'il nous semble préférable de proposer une approche plus empirique basée sur le concept de « débit de pleins bords ».

On sait que sur les cours d'eau naturels, la **capacité d'écoulement** d'un lit mineur avant débordement correspond généralement à une **crue journalière de fréquence annuelle à biennale**. Partant de ce constat, il paraît plus simple de calculer la section à donner au nouveau cours d'eau sur la base d'une modélisation du débit de fréquence 1 à 2 ans, celui-ci devant s'écouler sans débordement (la pente du futur cours d'eau est à prendre en compte aussi).

La géométrie en travers

La géométrie en travers d'un cours d'eau sinueux ou méandrique est généralement dissymétrique dans les courbures et symétrique au droit des points d'inflexion entre les sinuosités. Il sera donc important de respecter cette morphologie dans la création du nouveau chenal si la puissance est faible.



↑ **Figure 91** : Profils en travers « classiques » sur un cours d'eau sinueux (d'après Léopold, 1964). ≍

● **Profil en long**

Pente moyenne du lit mineur

Les lois morphologiques de détermination de la pente d'un cours d'eau sont loin d'être aussi bien établies que pour la morphométrie en plan ou en travers. Comme pour la section d'écoulement, une règle simple peut consister à déterminer la pente moyenne à donner sur la base de la capacité d'écoulement à pleins bords.

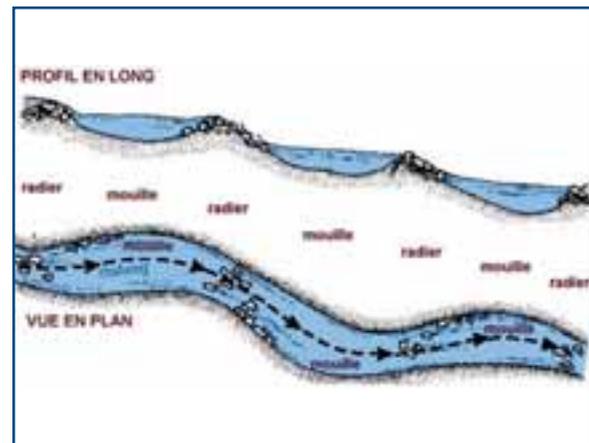
On donnera ainsi au cours d'eau une pente moyenne qui couplée à la section permettra d'écouler une crue journalière de fréquence 1 à 2 ans.

NOTA

Il s'agira aussi de respecter le tracé en plan d'équilibre.

Forme longitudinale

La rythmicité des formes élémentaires du tracé d'une rivière sinueuse ou méandrique se traduit par un profil en long du talweg présentant une forme caractéristique. Les concavités (aux profils en travers dissymétriques) se manifestent par des creux (*les mouilles*) et les points d'inflexion entre deux sinuosités (aux profils en travers symétriques), par des bosses (*les seuils ou radiers*).



↑ **Figure 92** : Forme typique du profil en long d'un cours d'eau sinueux. ≍

● **Conclusion**

La géométrie en plan, en long et en travers à donner au nouveau cours d'eau sera donc déterminée sur la base de la confrontation de deux contraintes :

- se rapprocher le plus possible du tracé en plan naturel d'équilibre (coefficient de sinuosité) ;
- selon une pente et une géométrie en travers compatible avec l'écoulement d'un débit de projet compris entre la crue journalière de fréquence annuelle ou biennale (QJ1 et QJ2 ans).

≍ **Préconisations**

■ **Etude préalable et éléments nécessaires à l'avant-projet**

Informations à recueillir en complément des données nécessaires pour tout type de travaux :

- Dates des travaux de rescindement, plan des travaux, profils types, etc.
- Evaluation des impacts physiques : intensité de l'incision, comparaison des faciès naturels avec les faciès actuels, état de connexion avec les annexes hydrauliques et le lit majeur en général.

- Caractéristiques géomorphologiques locales du cours d'eau :
 - Nature des alluvions du lit majeur dans l'emprise verticale du projet (sondages à la pelle ou autre méthode sur 2 à 3 m).
 - Granulométrie des alluvions grossières transportées (dans des secteurs de référence si possible).
 - Géométrie en plan, en long et en travers de référence (soit sur la base de mesures préalables aux travaux, soit sur la base de tronçons non perturbés, soit sur la base d'estimations théoriques).
- Contexte foncier et emprise disponible, contexte sociopolitique.
- Profil en long du chenal rectiligne actuel et des anciens méandres s'ils sont encore visibles.
- Semis de points topographiques dans la plaine alluviale dans le secteur du projet.
- Etude hydraulique simplifiée (fréquence de débordement actuelle et après restauration).

■ Caractéristiques géomorphologiques à rechercher

● *Longueur d'onde et amplitude des sinuosités*

Si des documents cartographiques ou d'autres données de terrain permettent d'identifier de

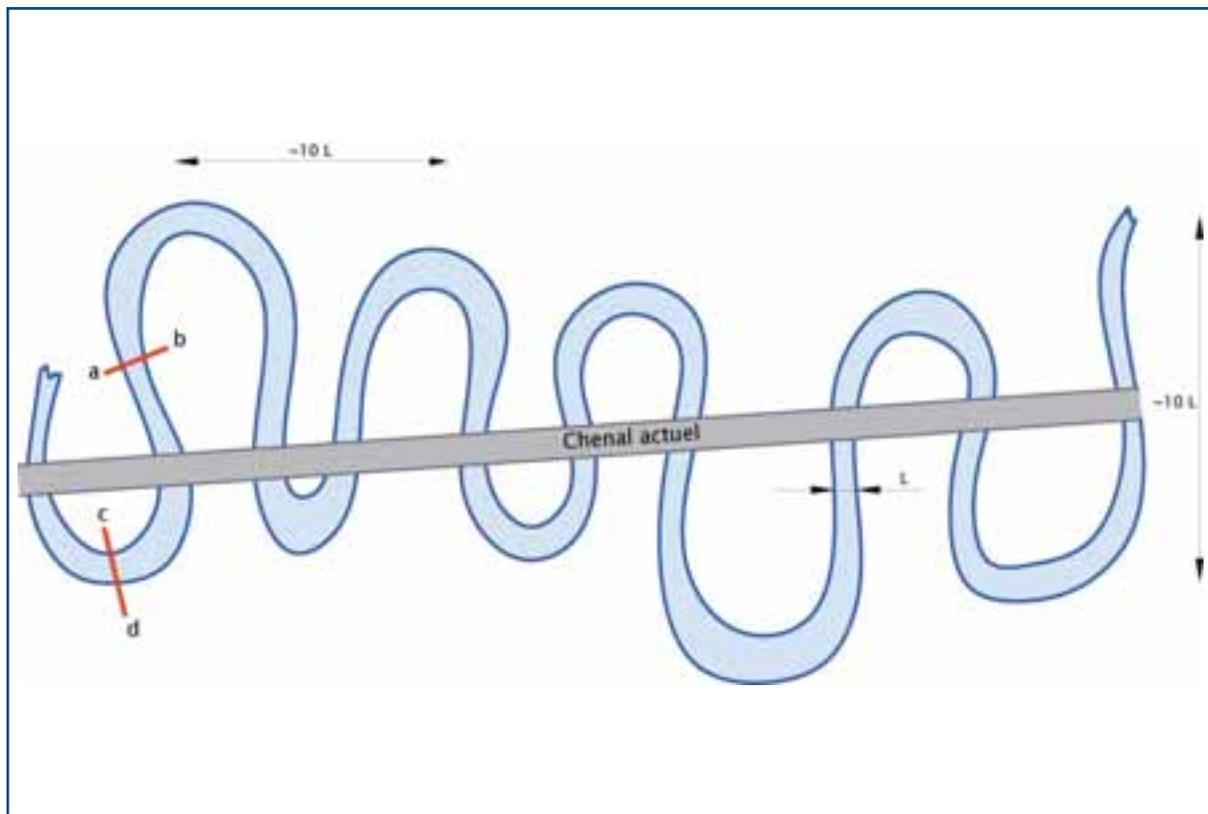
manière certaine l'ancien tracé (et d'évaluer s'il s'agit bien d'un tracé naturel...) la référence sera cet ancien tracé. Sinon, on utilisera les approches théoriques présentées plus haut.

🐟 CONSEIL

Essayer de diversifier le tracé afin d'éviter une morphologie trop régulière et peu naturelle, particulièrement si la mobilité future du cours d'eau n'est pas tolérée (niveau R2, voir ci-dessous). 🐟



↑ **Figure 93** : Exemple de tracé sinueux trop régulier, qui de plus est destiné à être figé (seuils au droit des points d'inflexion + protection de toutes les berges concaves). ≈



↑ **Figure 94** : Exemple de tracé en plan méandrique irrégulier (voir § suivant pour les profils types). ≈

● **Largeur et profondeur à pleins bords, géométrie du profil en travers**

Section du lit mineur

Si l'on retrouve des documents cartographiques permettant de connaître la section d'écoulement naturelle, on se basera sur ces éléments. En l'absence de données antérieures aux travaux de rescindement, il a été vu que l'on cherchera à obtenir une section permettant l'écoulement à pleins bords d'un débit journalier de fréquence 1 à 2 ans. Dans certains cas, le Maître d'Ouvrage souhaitera garantir un débit de pleins bords plus élevé (Q5, Q10). Il conviendra alors de proposer un système à lits emboîtés (fiche 11).

Profils types

Les profils en travers devront se rapprocher des profils caractéristiques des rivières sinueuses :

symétriques dans les portions rectilignes et les points d'inflexion des sinuosités. Dissymétrique dans les courbes.

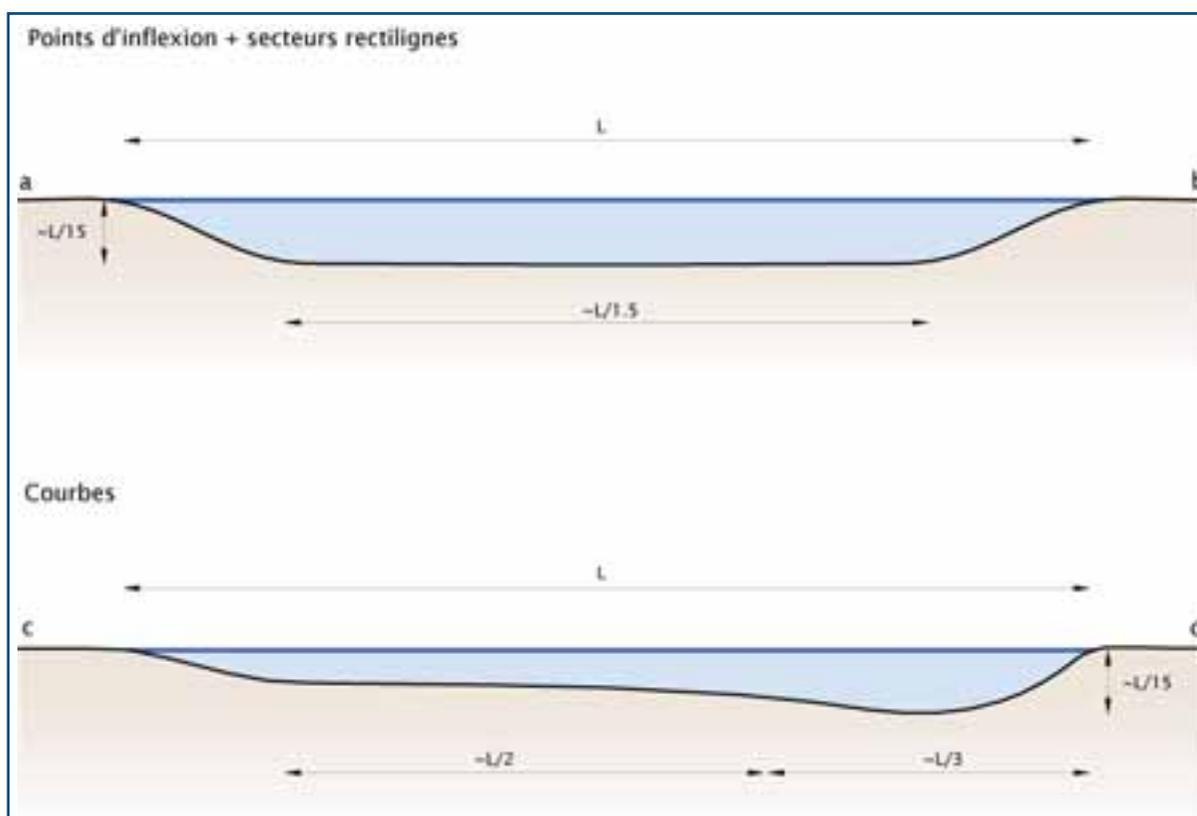
Substrat

Si le transport solide est suffisant ou si le substrat sous-jacent à l'emprise du projet est constitué d'alluvions de même type que le cours d'eau naturel, on n'apportera pas d'alluvions. A l'inverse, s'il n'y a pas ou peu d'apports solides naturels à attendre, ou si le sous-sol dans l'emprise du projet ne correspond pas aux alluvions transportées, il pourra être envisagé d'apporter sur place des matériaux d'une granulométrie adaptée, voire de récupérer la charge solide du tronçon de cours d'eau à réaménager.



CONSEIL

Il faut absolument éviter les « sur-largeurs » qui sont difficiles à corriger par la suite et sont souvent à l'origine de résultats décevants en matière de restauration écologique. Il est donc préférable de légèrement sous-dimensionner le gabarit du cours d'eau qui s'ajustera lui-même en quelques années. Cet ajustement sera d'autant plus rapide que le cours d'eau aura un score géodynamique élevé. Le score géodynamique permettra aussi d'évaluer la valeur du sous dimensionnement : de l'ordre de 20 à 25 % pour les cours d'eau à score élevé, de 5 à 10 % sur les cours d'eau à score faible qui auront plus de mal à se réajuster naturellement. Pour les cours d'eau à faible puissance, il est important d'essayer de créer le « juste profil », le surdimensionnement étant très décevant, même à long terme, d'un point de vue écologique, alors qu'un sous-dimensionnement trop prononcé peut produire des effets néfastes, notamment des inondations plus fréquentes de secteurs à enjeu.



↑ **Figure 95** : Exemple de profils en travers (voir le paragraphe précédent pour l'implantation des profils). ≡

■ Contraintes de mise en œuvre et précautions à prendre

Si forte incision du lit mineur

Si le cours d'eau s'est fortement incisé suite aux rescindements et que des seuils de stabilisation ont été construits pour limiter l'incision, il sera nécessaire de procéder par étapes et plutôt de l'aval vers l'amont. Un espace de mobilité sera nécessaire pour garantir la recharge alluviale, indispensable si l'on veut pouvoir supprimer rapidement les ouvrages de stabilisation du fond. Il est possible que le reméandrage (tracé et espace de mobilité) soit limité par la nécessité de conserver les ouvrages de stabilisation du fond.

Problème des collecteurs de drains

Si l'on fait reméandrer, on réduit la pente du lit mineur et on relève la cote du fond et de la ligne d'eau : risque de non évacuation des drains.

Augmentation de la fréquence des débordements

Du fait de la réduction de la pente et de l'augmentation de la perte de charge liées aux sinuosités, ainsi que de l'excavation d'une section d'équilibre, on retrouve une fréquence de débordement « naturelle » autour de la crue annuelle à biennale.

■ Mesures connexes obligatoires

- Protection des rives concaves si le projet ne prévoit pas d'espace de mobilité.
- Végétalisation simple des surfaces terrassées pour limiter le développement des espèces xénophytes.

■ Mesures connexes facultatives

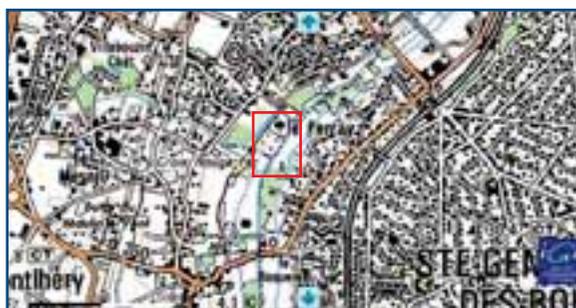
- « Rebouchage » du chenal rectiligne avec des matériaux étanches pour éviter le drainage de la nappe par celui-ci aux dépens du nouveau cours d'eau (à déterminer au cas par cas en fonction des conditions locales). Ce « rebouchage » peut également être partiel en maintenant à chaque méandre la partie aval de l'ancien chenal sous forme de bras mort ou d'annexe hydraulique.
- Plantation d'une ripisylve ou d'une forêt alluviale.
- Reconnexion des annexes hydrauliques.
- Détermination d'un espace de mobilité et de fonctionnalité (R3).

■ Techniques alternatives

Les cours d'eau présentant un score géodynamique élevé ne nécessitent pas de travaux de terrassement aussi poussés que ceux à score faible, sauf si l'on souhaite des résultats rapides. Une simple suppression des contraintes latérales, éventuellement complétée par des épis (fiche 3) pour activer les processus géodynamiques, peuvent suffire au cours d'eau pour s'auto-ajuster et recréer un tracé et une géométrie d'équilibre en quelques années.

🌊 Quelques exemples

■ Restauration de l'Orge à Ste-Geneviève-des-Bois - Parc du Perray



↑ Figure 96 : Localisation du secteur restauré (source : Géoportail, IGN). 🌊

● *Problématique*

L'Orge est un affluent direct rive gauche de la Seine avec laquelle elle conflue à Athis-Mons (91). Sa partie aval est gérée par le SIVOA (Syndicat Mixte de la Vallée de l'Orge Aval : 32 communes dont deux communautés d'agglomération. **Missions** : entretien de la rivière et de ses berges, gestion hydraulique, assainissement, surveillance de la qualité de l'eau, etc.).

Cette rivière a été très fortement chenalisée depuis le 18^{ème} siècle. Elle a, souvent été rectifiée et déplacée sur l'un des cotés de sa vallée, afin, notamment, de favoriser l'alimentation de très nombreux moulins. Cette chenalisation s'est traduite par une banalisation du paysage fluvial et des milieux naturels. Elle a aussi généré, du fait de la rectification du tracé et de la réduction des zones d'écrêtement, une accélération des crues vers l'aval et une augmentation des inondations.

● *Objectifs des travaux de restauration réalisés*

Dans le cadre de sa politique de réhabilitation des fonds de vallée initiée depuis 1995 environ, le SIVOA a souhaité dans le cadre du projet de restauration du Parc du Perray :

- améliorer l'écrêtement des crues, notamment grâce à l'alimentation d'une zone inondable (10 ha environ) capable de stocker 60 000 m³ et à une meilleure gestion des débordements de l'Orge vers cette zone naturelle d'expansion ;
- restaurer un paysage fluvial plus proche du naturel, avec notamment un cours plus sinueux et des berges végétalisées.

Niveau d'ambition : R2

● *Description des aménagements réalisés*

Les travaux, menés en 2005, ont consisté en :

- la création de légères sinuosités ;
- l'adoucissement des pentes des berges pour limiter l'érosion et permettre l'implantation spontanée de végétation de bord de rivière ;

- la plantation de végétaux aquatiques et semi-aquatiques et arbustifs ;
- le réaménagement de la promenade en suivant le nouveau tracé plus sinueux ;
- la création de déversoirs vers la zone humide connexe.



Figure 97 : a) Vue d'une portion non restaurée et rectiligne en aval d'une passerelle. b) Vue d'une portion restaurée en amont de la même passerelle (nota : la faible vitesse de l'écoulement dans les deux cas est liée à la présence d'un seuil en aval). 

Le coût total des travaux de restauration a été de 233 000 € HT pour 500 m linéaires de cours d'eau réaménagé (1 000 m de berges), soit ~ **470 € HT/ml de cours d'eau**.

● *Evolution et appréciation générale*

Le cours de l'Orge était probablement méandrique avant les travaux de chenalisation du 18^e siècle voire vraisemblablement antérieurs. Les travaux de « reméandrage » réalisés par le SIVOA sont très enthousiasmants car ils remettent en question plus de deux siècles d'aménagements et d'interventions sur cette rivière. Toutefois, il aurait sans doute pu être intéressant de viser une ambition plus forte en recherchant par exemple un méandrage plus prononcé.

D'autre part, la présence de nombreux seuils et notamment celui situé en aval de la zone restaurée, oblitère en partie l'intérêt des travaux : l'écoulement reste lentique et les faciès peu diversifiés. Le résultat de ces travaux est donc plus à attendre du côté de l'amélioration paysagère que de l'amélioration écologique. Celle-ci existe néanmoins par l'amélioration de l'interface berges/eau avec l'implantation d'hélophytes et d'hydrophytes qui constitue le gain biologique principal.



CONTACT

→ **Michel Valois**

Organisme :

Syndicat de l'Orge aval - 163, Route de Fleury 91172 Viry-Châtillon Cedex

E-mail : sivoa@sivoa.fr

■ Autres exemples hors bassin

● Le Bief de Nanchez a Prenovel (39)



↑ **Figure 98** : En haut, localisation. Au milieu, partie non restaurée et à en bas partie reméandrée. ≡



CONTACT

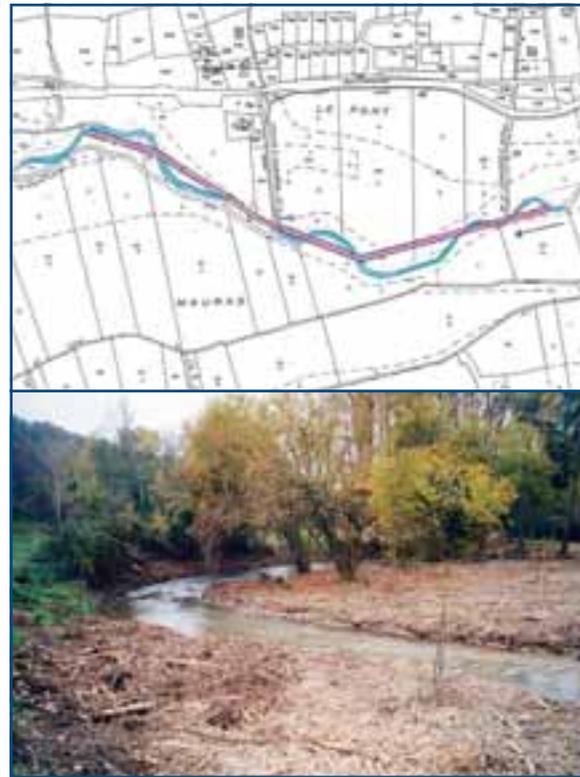
→ **MM. Bruneel et Ecoiffier**

Organisme :

Parc Naturel Régional du Haut-Jura, Maison du Haut-Jura, 39310 Lajoux

E-mail : ch.bruneel@parc-haut-jura.fr

● Le Colostre à Gréoux les Bains (04)



↑ **Figure 99** : En haut, localisation. En bas, méandre remis en eau. ≡



CONTACT

→ **MM. François Raynaud et Claude Roustan**

Organisme :

Fédération des Alpes de Haute-Provence pour la pêche et la protection du milieu aquatique, 04000 Digne les Bains

E-mail : fdpeche04@wanadoo.fr

Travaux en limite des opérations de restauration



Un certain nombre de types d'interventions sur les cours d'eau peuvent être plus ou moins apparentées à des opérations de restauration. Nous considérons que ces interventions sont toutefois en limite des concepts de restauration développés dans ce manuel et elles ne sont donc pas détaillées ici. Ces interventions sont d'ailleurs déjà largement décrites dans d'autres publications auxquelles le lecteur est renvoyé.

Il s'agit notamment des actions suivantes :

- réalisation de passes à poissons ;
- gestion des espèces envahissantes ;
- entretien de la végétation aquatique, de la ripisylve, curage d'entretien ;
- lutte contre le piétinement du bétail ;
- aménagements hydroécologiques de franchissements.

Réalisation de passes à poissons

De très nombreux seuils et barrages ont été (et sont encore) réalisés sur les cours d'eau. Les principaux dysfonctionnements occasionnés par ces ouvrages ont été présentés plus haut. L'un de ces dysfonctionnements est lié à l'obstacle que constitue un tel ouvrage sur la libre circulation des poissons, qu'ils soient migrateurs ou non.

Si l'utilité d'un ouvrage transversal existant (seuil ou barrage) n'est plus démontrée, le type de restauration à favoriser est sa suppression totale (dérasement) ou partielle (arasement). Cette mesure permet non seulement le rétablissement de la libre circulation piscicole, mais aussi la « reconstitution » du profil en long naturel du cours d'eau, avec la diversité de faciès et d'habitats qui lui sont associés. Cependant, tous les seuils et barrages présents sur les cours d'eau ne pourront être supprimés. Dans le cas de la nécessité du maintien d'ouvrages existants, les actions à promouvoir viseront alors à limiter certains dysfonctionnements (catégorie d'action notée L). C'est typiquement ce type d'action que représente la réalisation d'un ouvrage de franchissement pour la faune piscicole.



↑ Figure 100 : Différents types de passes à poissons. 

Si l'aménagement de dispositifs de franchissement sur des ouvrages existants a très largement fait ses preuves, il faut néanmoins préciser que « la passe à poissons la mieux conçue et la plus attractive induira toujours un retard de migration et l'effet cumulatif des aménagements sur un cours d'eau peut très vite atteindre des proportions non compatibles avec le maintien d'une population de migrants. De plus l'aménagement d'une passe à poissons ne règle pas le cas d'avalaison qui peut s'accompagner de mortalités conséquentes au passage de turbines ou d'évacuateurs de crue » (selon Larinier, Porcher, Travade, Gosset, 2000).

La réalisation de passes à poissons n'est donc pas à considérer comme une opération de restauration écologique à proprement parler et ne fait pas partie du présent manuel. De plus, ce type d'aménagements fait déjà l'objet de nombreuses études et ouvrages spécialisés très bien documentés.



POUR EN SAVOIR PLUS

- **LARINIER M., PORCHER J.-P., TRAVADE F. ET GOSSET C. (2000) :** *Passes à poissons ; expertise, conception des ouvrages de franchissement.* Collection mise au point.
- **LARINIER M., CROZE O. (2001) :** *Libre circulation des poissons migrants et seuils en rivière. Guide technique n° 4.* SDAGE Rhône Méditerranée Corse.
- **LARINIER M., COURRET D., GOMES P. (2006) :** *Guide technique pour la conception des passes naturelles.* Rapport GHAAPPE RA 06.05.VI.
- **RICHARD A. (2000) :** *La libre circulation des poissons migrants sur les rivières de Basse-Normandie.* Conseil Supérieur de la Pêche.

Gestion des espèces envahissantes

On constate aujourd'hui partout dans le monde, la présence de plus en plus marquée dans les milieux naturels d'espèces végétales (et animales) non indigènes. Ces espèces, introduites accidentellement ou non, ont souvent tendance à connaître un très fort développement, du fait de conditions de concurrence souvent plus modérées que dans leur région d'origine. Ni la France en général, ni le bassin de Seine-Normandie en particulier, n'échappent à ce fléau.

Par définition, les bords de cours d'eau sont régulièrement remaniés par les crues, laissant d'importantes surfaces nues après chaque événement

hydrologique. C'est ainsi que des espèces végétales indigènes pionnières se retrouvent directement en concurrence avec des essences *xénophytes*.

De telles essences, pour « assurer » leur suprématie sur leurs concurrents indigènes, ont su faire preuve d'un « opportunisme » souvent spectaculaire et propre à chaque espèce ou famille. Leur mode de reproduction est souvent végétatif, de sorte qu'un éclat de rhizome, un segment de tige abandonné par un animal, par une crue ou par un engin de chantier, etc., peut suffire à assurer leur prolifération. Certaines espèces développent et diffusent des substances allélopathiques de croissance face à leurs concurrentes. D'autres plantes développent un gigantisme et une croissance extrêmement rapide, privant de lumière leurs concurrentes, etc.

De cette façon, leur développement est souvent monospécifique sur des surfaces importantes, pénalisant très fortement la biodiversité. A ce titre, il est intéressant de rappeler que le conseil de l'Europe a considéré que la prolifération d'espèces végétales xénophytes dans les milieux naturels était la 2^e cause d'altération de la biodiversité après la destruction des habitats.

Dans ce contexte, on peut notamment citer de manière non exhaustive les espèces végétales non indigènes suivantes sur le territoire du bassin Seine-Normandie :

- la renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) ;
- le buddleia (*Buddleja davidii*) ;
- le robinier faux acacia (*Robinia pseudoacacia*) ;
- les cultivars de peuplier (*Populus sp*) ;
- la balsamine de l'Himalaya (*Impatiens glandulifera*) ;
- l'ailante (*Ailanthus altissima*) ;
- la jussie (*Ludwigia*) ;
- le raisin d'Amérique (*Phytolacca americana*) ;
- etc.

Sans entrer dans un discours très spécialisé que le lecteur averti pourra trouver dans la littérature, notons les quelques principes fondamentaux suivants à respecter pour éviter, ou tout au moins limiter l'expansion de végétaux xénophytes lors de travaux :

- éviter de planter des espèces végétales non indigènes, que ce soit en bordure de milieu naturel ou non (plusieurs services environnementaux de différents pays dont ceux de la France et aussi de la Suisse ont publié des listes noires d'espèces à proscrire de tout aménagement) ;
- lorsque la présence d'espèces végétales xénophytes est détectée sur un site de travaux, redoubler de précaution dans la circulation des engins de chantier, la manipulation des matériaux, etc. ;
- être très vigilants sur la provenance de matériaux inertes d'apport lors de chantiers (terre végétale contaminée, cailloux, graviers, etc.) ;



Figure 101 : Quelques exemples de végétaux xénophytes et inadaptés : **a)** Renouée de Sakhaline (*Reynoutria sachalinensis*). **b)** Renouée du Japon (*Reynoutria japonica*). **c)** Raisin d'Amérique (*Phytolacca americana*). **d)** Jussie (*Ludwigia*). **e)** et **f)** Buddleia (*Buddleja davidii*). **g)** Epicéas (*Picea abies*) ; même si elles ne sont pas « exotiques », certaines espèces inadaptées en bordure des cours d'eau peuvent être très pénalisantes (acidité des sols, trop fort ombrage, etc.). ≈

- dans les sites potentiellement colonisables (parce que plusieurs foyers sont connus à l'amont d'un secteur de travaux par exemple), prévoir une végétalisation simple (ensemencement par exemple) de l'ensemble des surfaces travaillées exondées afin de favoriser la concurrence entre espèces ;
- dans toute opération de restauration de cours d'eau, prévoir un entretien/garantie des surfaces végétalisées ; entretien s'étalant généralement sur une période minimale de trois ans et permettant la surveillance et l'élimination de toute espèce xénophyte détectée.

Si la présence d'essences envahissantes végétales peut généralement être localisée sous forme de « foyers » clairement identifiables, il en est tout autre des espèces animales non indigènes dont la localisation dépasse souvent largement le secteur de travaux concerné par une opération de restauration. De ce fait et en raison de leur évidente plus forte mobilité, la gestion des espèces animales non indigènes relève d'une plus grande difficulté d'approche que la gestion des espèces végétales xénophytes. C'est ainsi que l'on peut notamment citer les quelques espèces suivantes : le ragondin (*Myocastor coypus*), le rat musqué (*Ondatra zibethicus*), l'érisma rousse (*Oxyura jamaicensis*), la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*), l'écrevisse américaine (*Orconectes limosus*), l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus darkii*), la grenouille taureau (*Rana castesbeiana*), etc.



POUR EN SAVOIR PLUS

- **MULLER S. (2004)** : *Plantes envahissantes en France. Etat des connaissances et propositions d'actions. Volume 62 de la Collection Patrimoines Naturels des publications scientifiques du Museum national d'Histoire Naturelle.*
- **COMITÉ RÉDACTIONNEL ANIMÉ PAR LA DIREN DES PAYS DE LA LOIRE, L'AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE, LE FORUM DES MARAIS ATLANTIQUES ET LE CONSERVATOIRE RÉGIONAL DES RIVES DE LA LOIRE ET AFFLUENTS (2004)** : *Gestion des plantes exotiques envahissantes en cours d'eau et zones humides. Guide technique.* Comité des Pays de la Loire.
- **COMITÉ FRANÇAIS POUR L'UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE (UICN)**, dont le siège est à 36, rue Geoffroy Saint-Hilaire à Paris (**site internet : uicn@uicn.fr**).

Entretien de la végétation aquatique, de la ripisylve et curage d'entretien

L'entretien de la végétation aquatique, de la ripisylve et la gestion des bords de cours d'eau comprennent des opérations très diverses telles que abattage, recépage, débroussaillage, enlèvement de bois mort, évacuation d'embâcles, arasement d'atterrissements, curage d'entretien, etc. Si ce type d'interventions est réalisé très régulièrement sur les cours d'eau, on peut souvent regretter la systématisation des procédés et des techniques sur de grands linéaires, sans définition précise des objectifs, ni véritable analyse des conséquences de

ces actions, ce qui peut conduire à une banalisation et à une uniformisation du milieu alluvial.

Sans revenir sur le détail des différentes actions d'entretien et de gestion de la végétation aquatique et ripicole, qui fait déjà l'objet de nombreuses études très bien documentées, on se limitera dans le cas présent à rappeler les fondements d'une démarche de gestion globale et raisonnée, la nature s'accommodant assez mal du « faire-propre » et de l'uniformisation :

- **la base d'une telle démarche passe par l'analyse permanente des conséquences de nos actions.** Par exemple, plusieurs embâcles ponctuent un secteur de cours d'eau. Quels sont leurs rôles sur les écoulements ? Sur la microfaune ? Quels sont les risques s'ils sont maintenus en place ?
- **les cours d'eau ont tous leurs spécificités propres, avec leur patrimoine naturel, leurs contraintes, leurs enjeux, leurs usages, etc.** Tous ces éléments sont à décrypter, lister, mettre en balance, etc. C'est la connaissance et la comparaison, à la fois du patrimoine naturel, des enjeux et des contraintes qui s'appliquent sur un site qui permettra la définition d'objectifs de gestion raisonnés et réfléchis.



POUR EN SAVOIR PLUS

- **CALANDRE P., JACONO D. (2006)** : *Protection et gestion des rivières du secteur Seine Aval ; Bassin Seine-Normandie.* Agence de l'eau Seine-Normandie.
- **FROSSARD P.-A., JUND S., LACHAT B., PAILLARD C. (2000)** : *Guide de gestion de la végétation des bords de cours d'eau.* Agence de l'Eau Rhin-Meuse.
- **LEDARD M., GROSS F., HAURY J., LAFONTAINE L., HUBAUD M.-O., VIGNERON T., DUBOS C., LABAT J.-J., AUBRY M., NIOCHE-SEIGNEURET F., VIENNE L., CRAIPEAU F. (2001)** : *Restauration et entretien des cours d'eau en Bretagne. Guide technique.* DIREN Bretagne et société Rivière-Environnement.
- **MICHELOT J.-L. (1995)** : *Gestion patrimoniale des milieux naturels fluviaux. Guide technique.* Réserves Naturelles de France.

Lutte contre le piétinement du bétail

En milieu rural, la divagation du bétail dans le cours d'eau peut être la cause de diverses perturbations : disparition ou appauvrissement de la végétation ripicole par broutage ou piétinement des animaux, colmatage du fond du lit par la mise en suspension de matériaux de berge, surcharge fertilisante des eaux en particulier sur les petits cours d'eau, etc.

Pour ces différentes raisons, il est nécessaire de mettre en place des aménagements spécifiques tels que des clôtures de protection, des abreuvoirs à nez, etc., qui permettent de protéger le milieu naturel tout en garantissant pour le bétail un abreuvement adéquat.

Ces mesures particulières sont essentiellement destinées à la limitation des dysfonctionnements (catégorie L) et non à des opérations de restauration à proprement parler (catégorie R), c'est pourquoi elles ne sont pas revues en détail dans le cadre de la présente étude.

Diverses publications et études techniques très bien documentées fournissent des informations

détaillées et chiffrées sur la mise en place de clôtures, de sites d'abreuvement, de pompes de prairies, de moyens de franchissement, etc.



POUR EN SAVOIR PLUS

→ CAUDRON D., JOLIMAÎTRE J.-F., WEIL S. (2002) : *Gestion des cours d'eau de Basse-Normandie*. Cellule d'Animation Technique pour l'Eau et les Rivières (CATER) de Basse-Normandie.



↑ **Figure 102** : Exemples d'aménagements pour éviter que le bétail n'ait accès à l'ensemble des rives d'un cours d'eau. ≡

Aménagements hydroécologiques de franchissement

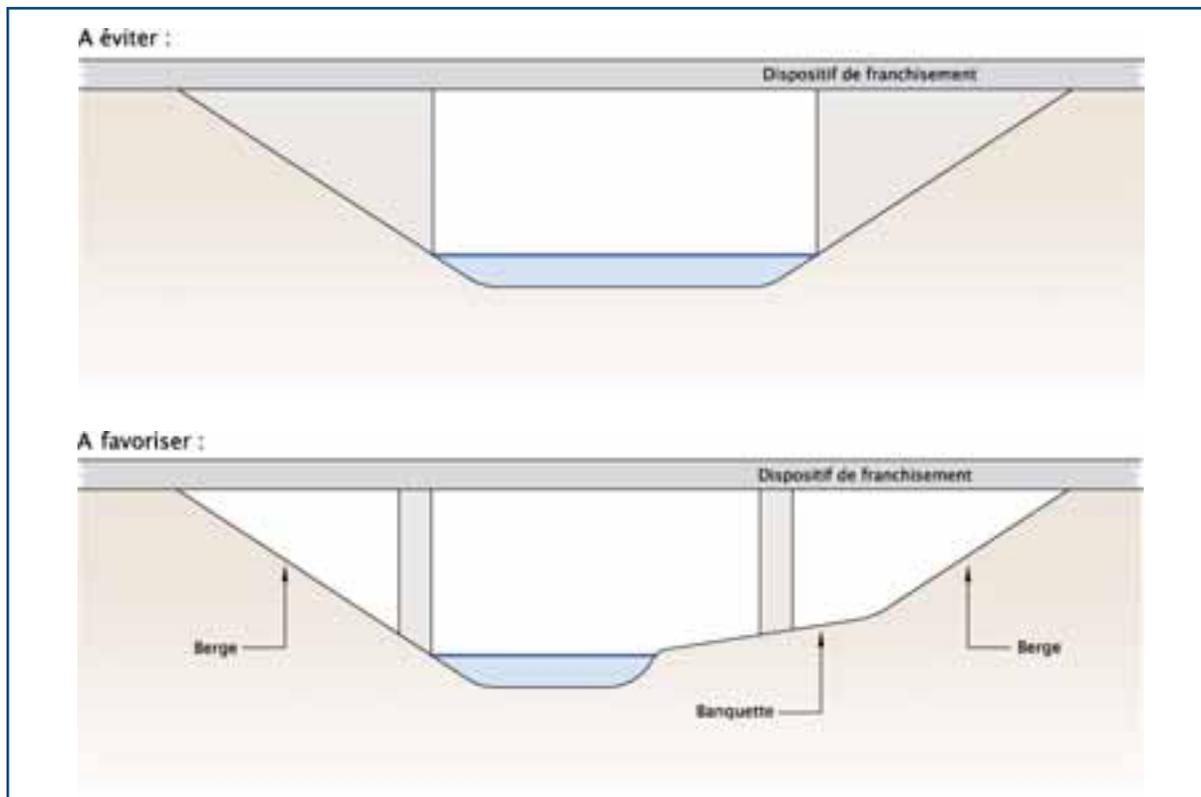
Les cours d'eau sont très fréquemment traversés par des ouvrages divers (routiers, ferrés, canalisations, etc.). Ces ouvrages transversaux sont très souvent responsables d'impacts écologiques pour le milieu alluvial, avec la « fragmentation » des habitats, la limitation de la fonction de « corridor » écologique assurée par le cours d'eau, ou l'effet de « fixation » de l'espace alluvial qu'ils génèrent.

Sans représenter de réelles mesures de restauration, il est fortement recommandé de respecter certains principes fondamentaux pour une implantation de tels ouvrages qui limitent les impacts sur les milieux naturels ; principes, directives et mesures particulières que le lecteur averti trouvera aisément dans la littérature spécialisée.

Par exemple et de manière générale, on veillera à toujours réserver un minimum d'espace « sec » sous un ouvrage de franchissement, avec le développement de « banquettes », de berges à pente douce, etc.



↑ **Figure 103** : Exemple d'un « tunnel » de franchissement avant travaux de diversification du lit en haut et après « réaménagement » en bas. ≡



↑ **Figure 104** : Exemple de configuration de franchissement à éviter en haut et à favoriser en bas. ≈



POUR EN SAVOIR PLUS

→ **CARSIGNOL J., CETE DE L'EST (2005)**. *Guide technique « Aménagements et mesures pour la petite faune »*. Ministère des Transports de l'Équipement du tourisme et de la Mer puis ministère de l'Écologie et du Développement durable.

Mesures de limitation des impacts lors des opérations de restauration



La plupart des actions de restauration sont susceptibles d'induire des travaux assez « lourds » de terrassement en lit mineur et en lit majeur. Il est donc important de limiter au maximum les impacts négatifs liés à cette phase de travaux.

On veillera notamment au respect des principes suivants :

- **procéder à des pêches électriques de sauvegarde** préalablement aux travaux, voire également lors des travaux ;
- **éviter tous travaux de terrassement du lit des cours d'eau en période de frai des poissons.** Cette condition peut être particulièrement pénalisante sur les cours d'eau peuplés par les « grands migrateurs » puisque la remontée des poissons peut s'étaler sur toute l'année avec des pics en avril, mai, juin, juillet (cas du saumon par exemple). Quelle que soit la période d'intervention, il faudra être particulièrement vigilant

pour limiter la mise en suspension de sédiments fins ;

- **éviter des « va-et-vient » inutiles avec des engins en fond de lit ;** privilégier lorsque c'est possible un positionnement des machines en rive et non dans le lit vif des cours d'eau ;
- **sur les petits cours d'eau, favoriser la dérivation partielle et provisoire des eaux avec des canalisations temporaires. Sur des plus grands cours d'eau, prévoir des batardeaux,** par exemple sous forme de remblais de graviers, et procéder aux travaux par moitié de la largeur du lit en basculant les écoulements de l'autre côté ;
- **lorsque des opérations de pompages sont inévitables, prévoir des bacs ou des bassins provisoires de décantation des eaux** avant leur retour dans le cours d'eau ;
- **sur les petits cours d'eau, procéder à la pose provisoire lors des travaux de terrassement de**



↑ **Figure 105 :** Journée de « visite » d'une opération de restauration de cours d'eau ! ☞

barrages de filtration des eaux en bottes de paille, en géotextiles biodégradables en coco, etc. ;

- **ne pas favoriser la prolifération d'espèces xénophytes indésirables lors de travaux**, notamment avec les engins de chantier (des segments de tiges, de racines, des graines, etc. peuvent être transférés d'un chantier à un autre avec les chenilles des engins, les godets de pelles, etc.) et avec la fourniture de matériaux d'apport extérieurs au site qui peuvent être contaminés (graviers, terre végétale, argile, etc.) ;
- lorsqu'un nouveau cours d'eau est créé en parallèle à un chenal rectifié par exemple (opérations de reméandrage, de découverte de cours d'eau, de création de nouveau cours d'eau, etc.), procéder aux travaux de l'aval vers l'amont et terrasser le « bouchon » amont au dernier moment, c'est-à-dire lorsque le nouveau lit est pratiquement terminé, de manière à

éviter le départ inutile de particules fines dans le cours d'eau ;

- **favoriser l'utilisation d'huiles végétales et biodégradables dans les circuits hydrauliques des engins de chantier pour limiter les risques de pollution du milieu naturel.** Dans le même registre, prévoir sur le site une quantité suffisante de produits absorbants d'éventuels produits dangereux pour le milieu naturel (diesel, essence, etc.). Prévoir des zones éloignées du cours d'eau pour procéder au remplissage de carburant des engins de chantier, et le soir ou le week-end entreposer les machines hors de tout secteur de débordement potentiel des écoulements.

D'autre part et pour terminer, veiller à ce que les aspects pédagogiques et démonstratifs d'une opération de restauration de cours d'eau ne soient pas eux-mêmes source d'impacts, avec un excès de fréquentation du milieu nouvellement créé (cf. *figure 105*).

CRÉDIT PHOTOGRAPHIQUE ET ICONOGRAPHIQUE

MANUEL

Photos de la couverture :

Patrick Dieudonné

Figure 1 : photos Malavoi	7	Figure 19 : photos Malavoi	<i>Fiche 5, p. 24</i>
Figure 2 : a) photo Malavoi, b), c), et d) photos Biotec e) et f) photos Pro Natura	8	Figure 20 : photos C. Lebas	<i>Fiche 5, p. 25</i>
Figure 4 : photos Malavoi	10	Figure 21 : En haut, photo Malavoi, En bas, photo C. Lebas	<i>Fiche 5, p. 25</i>
Figure 5 : photos Malavoi	11	Figure 22 : photos Biotec	<i>Fiche 6, p. 27</i>
Figure 8 : photos Biotec et Malavoi	14	Figure 23 : photos Biotec	<i>Fiche 6, p. 28</i>
Figure 9 : a) photo TP Delémont, b) et c) photos Biotec	15	Figure 24 : figure Biotec	<i>Fiche 6, p. 29</i>
Figure 10 : photos Biotec et Malavoi	15	Figure 25 : photos Biotec	<i>Fiche 6, p. 29</i>
Figure 12 : photos Biotec	16	Figure 30 : photos Malavoi	<i>Fiche 7, p. 36</i>
Figure 14 : Biotec, Malavoi, 2006	18	Figure 31 : photos Biotec	<i>Fiche 7, p. 37</i>
Figure 17 : photos Malavoi	25	Figure 33 : photo Biotec	<i>Fiche 7, p. 39</i>
Figure 18 : photos Biotec	25	Figure 34 : photos Biotec	<i>Fiche 7, p. 39</i>
Figure 20 : photo Biotec	27	Figure 35 : photo Biotec	<i>Fiche 7, p. 39</i>
Figure 21 : photo Luc Terraz, photo : DIAE du canton de Genève	27	Figure 36 : photos Biotec	<i>Fiche 7, p. 40</i>
Figure 25 : photos C. Thévenet	31	Figure 37 : photos Biotec	<i>Fiche 7, p. 40</i>
Figure 26 : photos Biotec	31	Figure 38 : photos Biotec	<i>Fiche 7, p. 41</i>
Figure 27 : photos Biotec	32	Figure 43 : photos Biotec	<i>Fiche 8, p. 46</i>
Figure 28 : photos Biotec	32	Figure 44 : photos Biotec	<i>Fiche 8, p. 41</i>
Figure 29 : photos Biotec	33	Figure 47 : photos Biotec	<i>Fiche 8, p. 47</i>
Figure 31 : photo Biotec, photo J. Bertran	35	Figure 48 : photos Malavoi	<i>Fiche 9, p. 49</i>
Figure 32 : photos Malavoi	35	Figure 51 : a) et c) photos Malavoi, 1995 ; b) et d) photos Baran, 2006	<i>Fiche 9, p. 52</i>
Figure 35 : photos Malavoi	37	Figure 54 : a) et b) photo Biotec. c) et d) photos SIVOA	<i>Fiche 9, p. 54</i>
Figure 37 : a) photo IGN, b) et c) photo Malavoi	40	Figure 57 : a) et d) Malavoi b) et c) atelier Cepage	<i>Fiche 10, p. 57</i>
Figure 39 : la Moselle, photos Malavoi	42	Figure 59 : a) et b) SIVOA c) photos Malavoi	<i>Fiche 10, p. 59</i>
Figure 41 : a) photo L. Sarreau, b) photo Biotec, c) photo Biotec	43	Figure 60 : photos Biotec	<i>Fiche 11, p. 62</i>
Figure 42 : photos Biotec	44	Figure 63 : photos Biotec	<i>Fiche 11, p. 64</i>
Figure 43 : photos Biotec	45	Figure 65 : photos Silène-Biotec	<i>Fiche 11, p. 65</i>
Figure 44 : photos Biotec	46	Figure 66 : photos Biotec	<i>Fiche 11, p. 66</i>
Figure 45 : figure Biotec	47	Figure 67 : figure Biotec	<i>Fiche 12, p. 68</i>
Figure 46 : figure Biotec	47	Figure 69 : photos Biotec	<i>Fiche 12, p. 70</i>
Figure 47 : photos Adèle David-Vaudey	48	Figure 70 : photos Biotec	<i>Fiche 12, p. 70</i>
Figure 48 : photos Biotec	49	Figure 71 : photos Biotec	<i>Fiche 12, p. 71</i>
Figure 49 : figure Biotec	49	Figure 72 : photos Biotec	<i>Fiche 12, p. 71</i>
Figure 50 : photo Biotec	50	Figure 73 : photos Biotec	<i>Fiche 12, p. 71</i>
Figure 51 : figure Biotec	50	Figure 74 : photos Biotec	<i>Fiche 12, p. 72</i>
		Figure 75 : photos Biotec	<i>Fiche 12, p. 72</i>
		Figure 76 : photos Biotec	<i>Fiche 12, p. 73</i>
		Figure 81 : Photos C. Lebas	<i>Fiche 13, p. 80</i>
		Figure 82 : photo Biotec	<i>Fiche 13, p. 80</i>
		Figure 83 : photos Biotec	<i>Fiche 13, p. 80</i>
		Figure 84 : figure Biotec	<i>Fiche 14, p. 81</i>
		Figure 87 : a), b) et c) B. Barré – ONF d) photo Malavoi	<i>Fiche 14, p. 83</i>
		Figure 98 : IGN et photos Malavoi-Biotec	<i>Fiche 15, p. 92</i>
		Figure 94 : figure Malavoi-Biotec	<i>Fiche 15, p. 88</i>
		Figure 95 : figure Malavoi-Biotec	<i>Fiche 15, p. 89</i>
		Figure 97 : photos Malavoi	<i>Fiche 15, p. 91</i>
		Figure 99 : En haut : F. Raynaud En bas : photo Biotec	<i>Fiche 15, p. 92</i>
		Figure 100 : photos Biotec	93
		Figure 101 : photos Biotec	95
		Figure 102 : photos Biotec	97
		Figure 103 : photos Biotec	97
		Figure 104 : figure Biotec	98
		Figure 105 : photo Biotec	99

GUIDE TERRAIN

Figure 1 : photos Biotec	<i>Fiche 1, p. 4</i>
Figure 2 : photos Malavoi.	<i>Fiche 1, p. 4</i>
Figure 3 : photos Malavoi	<i>Fiche 1, p. 5</i>
Figure 4 : photos Biotec	<i>Fiche 2, p. 7</i>
Figure 5 : illustration et photo Biotec	<i>Fiche 2, p. 8</i>
Figure 6 : photos Biotec	<i>Fiche 2, p. 9</i>
Figure 7 : photos Biotec	<i>Fiche 3, p. 11</i>
Figure 11 : photos Biotec	<i>Fiche 3, p. 15</i>
Figure 12 : photos Biotec	<i>Fiche 3, p. 15</i>
Figure 13 : photos Biotec	<i>Fiche 3, p. 16</i>
Figure 14 : photos Biotec	<i>Fiche 3, p. 16</i>
Figure 15 : photos Biotec	<i>Fiche 3, p. 17</i>

