

La restauration hydromorphologique des cours d'eau : concepts et principes de mise en œuvre

Jean-René Malavoi^a et Philippe Adam^b

L'objectif fixé par la Directive cadre européenne sur l'eau du « retour au bon état écologique des cours d'eau » d'ici 2015, implique une restauration progressive des milieux aquatiques fortement altérés par les diverses interventions humaines et par la résorption des dysfonctionnements hydromorphologiques qu'ils subissent. Dans cet article, les auteurs récapitulent les concepts essentiels de la restauration hydromorphologique et proposent des solutions pour sa mise en œuvre.

Des dizaines de milliers de kilomètres de cours d'eau français présentent aujourd'hui des altérations hydromorphologiques fortes, susceptibles d'empêcher ces cours d'eau d'atteindre le « bon état écologique » demandé par la Directive cadre européenne sur l'eau (DCE).

Les techniques de restauration hydromorphologique sont aujourd'hui assez bien connues grâce à plus de 25 ans de retours d'expérience, notamment en Allemagne. Il apparaît cependant, au fil des enquêtes menées sur le territoire national (Malavoi et Adam, 2006 et 2007), que les restaurations de rivières déjà réalisées en France et les projets en cours de formalisation sont encore très peu nombreux, d'ambition généralement modérée et d'extension spatiale très modeste (quelques dizaines à quelques centaines de mètres).

En effet, très peu de maîtres d'ouvrage publics sont aujourd'hui tentés par une démarche de restauration :

- parce qu'ils sont souvent relativement satisfaits de l'état actuel de leur cours d'eau (peu de débordements, peu d'érosion, paysage rectiligne ou simplifié qui « fait propre », etc.) ;

- parce qu'ils ne voient pas l'intérêt de remettre en question des aménagements hydrauliques souvent récents (30-40 ans), qui avaient été bien argumentés d'un point de vue technique à

l'époque par les services de l'État, qui en étaient les prescripteurs et souvent les maîtres d'œuvre (réduction des inondations, notamment des terres agricoles) ;

- parce que cela coûte cher *politiquement* de vouloir revenir à un état plus naturel, assimilé souvent à de la « friche » et qui se traduirait notamment par une perte de « confort » pour les riverains immédiats, particulièrement les agriculteurs ;

- parce que cela coûte cher *financièrement*, même si des subventions importantes peuvent être apportées (d'autant que certains syndicats n'ont encore pas fini de payer les intérêts des emprunts liés aux travaux des années 60 !) ;

- parce que, enfin, **l'argumentaire autour de l'intérêt de la restauration hydromorphologique des cours d'eau est insuffisamment développé** et difficile à faire passer, notamment auprès de non-scientifiques. Il ne suffit pas de dire (et c'est même déconseillé...) « *c'est une Directive européenne qui nous oblige à...* ».

Il est donc urgent de donner à la fois les **arguments pour convaincre et les techniques pour réussir**. C'est l'un des objectifs de cet article qui s'appuie en grande partie sur le « *Manuel de restauration hydromorphologique des rivières* » publié par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (Adam et al., 2007).

Les contacts

a. Malavoi Ingénieur conseil, 207 rue de l'Eglise, 01600 Parcieux

b. BIOTEC France, 65-67, cours de la Liberté, 69003 Lyon

1. La puissance spécifique correspond sommairement au produit de la pente x le débit, qui caractérise les potentialités dynamiques du cours d'eau. La puissance (Ω) est calculée comme suit : $\Omega = \gamma QJ$ (en watts/m), la puissance spécifique (ω) est calculée comme suit : $\omega = \Omega/l$ (en watts/m²), où γ est le poids volumique de l'eau (9 810 N/m³), Q le débit (m³/s) (ici le débit journalier de crue de fréquence 2 ans), J la pente de la ligne d'énergie en m/m, l la largeur du lit pour le débit utilisé (m).

Généralités sur la restauration hydromorphologique

Concepts généraux

Une restauration hydromorphologique peut être menée « passivement » (en réduisant les « forces de dégradation ») ou « activement » (par des interventions plus lourdes) (Boon et al., 1992). Le concept de **restauration passive** fait référence à la typologie géodynamique des cours d'eau présentée ci-dessous. Plus un cours d'eau sera puissant, avec des berges facilement érodables et des apports solides importants, plus sa restauration sera facile, peu coûteuse et avec des effets rapides. La simple suppression des forces de dégradation (enrochements de protection de berges, barrages) suffira généralement pour que le cours d'eau se réajuste rapidement, tant du point de vue physique qu'écologique (à condition toutefois pour ce dernier point, que la qualité physicochimique de l'eau soit correcte). La **restauration active** sera nécessaire sur les cours d'eau peu puissants, peu actifs et à faibles apports solides. Elle nécessitera des travaux plus coûteux et donnera *a priori* des résultats moins spectaculaires.

Typologie géodynamique et détermination du score d'efficacité des travaux de restauration

TYPOLOGIE

Nous avons élaboré une typologie simplifiée des cours d'eau, adaptée à la problématique de restauration hydromorphologique (Adam et al., 2006). Cette typologie est plus complexe que la typologie « DCE » basée sur les hydro-écorégions (Wasson et al., 2002) car elle a pour objet de déterminer avec une bonne précision **l'intensité de l'activité géodynamique actuelle ou potentielle** d'un cours d'eau, dont dépendent en grande partie :

- ses caractéristiques géomorphologiques : géométrie, faciès d'écoulement, substrats, intensité actuelle ou potentielle des processus d'érosion latérale, verticale et de transport solide ;
- ses caractéristiques écologiques globales ;
- mais surtout, dans l'objectif qui est le nôtre aujourd'hui, ses capacités d'ajustement géomorphologique suite à des travaux de restauration.

Les trois paramètres entrant dans l'analyse typologique sont les suivants.

• La puissance spécifique

D'un point de vue scientifique, il a été démontré depuis de nombreuses années que les capacités d'ajustement d'un cours d'eau étaient en grande partie fonction de sa puissance spécifique. D'une manière synthétique, les résultats de Brookes (1988) permettent d'identifier 2 seuils de puissance spécifique :

- un seuil « majeur » aux environs de 35 W/m², au-dessus duquel la puissance naturelle des cours d'eau leur permet de se réajuster morphologiquement suite à des travaux de chenalisation ;
- un seuil mineur aux environs de 25 W/m² en dessous duquel les cours d'eau ont beaucoup de mal à se réajuster.

• L'érodabilité des berges

Nos propres investigations (Malavoi, non publié) nous amènent à penser que ces seuils autour de 25-35 W/m² peuvent être affinés et relativisés en fonction des caractéristiques sédimentologiques des berges des cours d'eau et notamment de leur érodabilité.

Ainsi, des cours d'eau à faible puissance (10-15 W/m²) peuvent néanmoins présenter une activité géodynamique relativement importante si leurs berges sont non ou peu cohésives et s'ils reçoivent de l'amont une certaine quantité d'alluvions grossières qui, par leur dépôt sous forme de bancs, activent les processus d'érosion sur les berges opposées.

À l'inverse, des cours d'eau plus puissants (40-50 W/m²) mais coulant dans une plaine alluviale composée de sédiments plus cohésifs (limons, sables limoneux, argiles) seront probablement moins actifs, surtout si les apports solides provenant de l'amont sont modestes.

• Les apports solides

Outre leur rôle d'activation des processus d'érosion latérale (effet défecteur de l'écoulement), les apports de charge sédimentaire grossière en provenance de l'amont sont extrêmement importants en termes de création du substrat alluvial indispensable à de nombreux organismes composant les biocénoses aquatiques.

SCORE D'EFFICIENCE

Couplé à deux autres paramètres, cette typologie géodynamique permet d'identifier *a priori* les opérations qui pourraient présenter les meilleurs

Encadré 1

Les entités emboîtées

Nous distinguons habituellement sur les cours d'eau, 6 entités emboîtées présentant, chacune à leur échelle, une homogénéité des processus géomorphologiques et des processus écologiques qui leurs sont corrélés (Malavoi, 2000).

- * secteur (quelques milliers de fois la largeur du lit L),
- * unité (quelques milliers de fois L),
- * **tronçon** (plusieurs centaines de fois L (exemple : 5 km pour un lit de 20 m de large),
- * sous-tronçon (quelques centaines de fois L),
- * segment (une centaine de fois L),
- * faciès (quelques dizaines de fois L).

Parmi ces entités spatiales, celle représentée par le **tronçon géomorphologique homogène** nous semble la plus pertinente pour décrire et gérer un cours d'eau. Variable de contrôle essentielle des processus géodynamiques, des phénomènes d'inondation, voire des pressions socio-économiques, c'est la largeur du fond de vallée alluvial (Fz et Fyz des cartes géologiques au 1 : 50 000) qui nous guide principalement dans la discrimination des **tronçons homogènes**. Sont ajoutés comme paramètres discriminants complémentaires : les confluences majeures et les changements notables de pente de la vallée. **Un tronçon homogène** tel qu'identifié par les critères exposés ci-dessus, doit en théorie, selon les lois de la géomorphologie fluviale, présenter des **caractéristiques géomorphologiques homogènes** : géométrie (largeur, profondeur), pente, sinuosité, style fluvial, etc.

taux de réussite. Le principe que nous proposons de retenir consiste alors à évaluer un « score d'efficacité probable » de la restauration envisagée, sur la base :

- de la valeur des trois variables typologiques majeures présentées plus haut : puissance, érodabilité des berges, apports solides ;
- de l'emprise foncière disponible pour réaliser la restauration ;
- de la qualité de l'eau.

Notre postulat est alors le suivant :

- plus un cours d'eau est puissant, plus ses berges sont facilement érodables, plus les apports solides sont importants, plus on dispose d'espace pour restaurer et plus l'eau est de bonne qualité ;
- meilleure est la garantie de réponse positive du système, plus rapides sont les résultats, plus grande est la pérennité des bénéfices écologiques de la restauration, moindre est le coût, puisque le cours d'eau effectue lui-même une partie du travail de restauration.

Les valeurs permettant d'apprécier ce score sont très empiriques et ne sont pas validées scientifi-

quement. Par exemple, chacune des variables a ici le même poids dans la « note ».

Ces paramètres sont évalués sur la base des caractéristiques moyennes du cours d'eau pour le tronçon géomorphologique homogène concerné (encadré 1) :

- la **puissance spécifique** est évaluée en utilisant la largeur moyenne naturelle à pleins bords et le débit moyen journalier de fréquence biennale ;
- les **apports solides** sont évalués en tenant compte de la présence éventuelle de sites de piégeage en amont du secteur à restaurer (barrages, anciennes fosses d'extractions, zones où des curages sont réalisés régulièrement, etc.) ;
- l'**érodabilité des berges** est évaluée en faisant abstraction des protections existantes. Il s'agit donc de l'érodabilité potentielle des berges naturelles ;
- l'**emprise disponible** est évaluée selon une analyse rapide du contexte sociopolitique du projet. Doit-on obligatoirement limiter les aménagements au strict gabarit actuel du cours d'eau ? Peut-on se permettre d'élargir l'espace alluvial

► Tableau 1 - Variables permettant d'évaluer un « score d'efficacité probable » de la restauration envisagée (score min = 0, maxi = 50).

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

2 Partie horizontale d'un talus. Elle peut être constituée de matériaux divers.

d'un facteur allant de 1 à 3 fois la largeur du lit (L), de 3 à 10 x L, ou avec une emprise dépassant 10 x L ?

- la **qualité de l'eau** est évaluée selon la classification et la cartographie simplifiée de 5 à 4 classes des agences de l'Eau : qualité mauvaise, qualité médiocre, qualité passable, bonne et très bonne qualité (tableau 1).

À titre d'exemple, le classement de 3 opérations de cours d'eau peut être représenté par la note globale de son score (sur 50) (figure 1).

L'axe des abscisses de la figure 1 donne « l'efficacité probable » d'une opération de restauration, qui peut également se traduire par le rapport coûts/efficacité des travaux envisagés. En effet, sur un cours d'eau à score très bas (faible puissance, faible transport solide et faible érodabilité des berges, qualité d'eau médiocre et minimum d'espace pour réaliser les travaux), le projet devra nécessairement être très abouti et très construit dès le départ pour atteindre un minimum de résultats positifs, ce qui influe évidemment direc-

tement sur les coûts de réalisation des travaux de restauration (agencement de blocs, risbermes végétalisées, caches artificielles, construction de radiers et mouilles, etc.). À l'inverse, un cours d'eau puissant, à berges très érodables et abondamment fourni en charge alluviale ne nécessitera que peu de travaux pour que les résultats soient rapidement positifs. L'essentiel du coût sera lié à la suppression des contraintes et à la maîtrise foncière (concept de restauration passive).

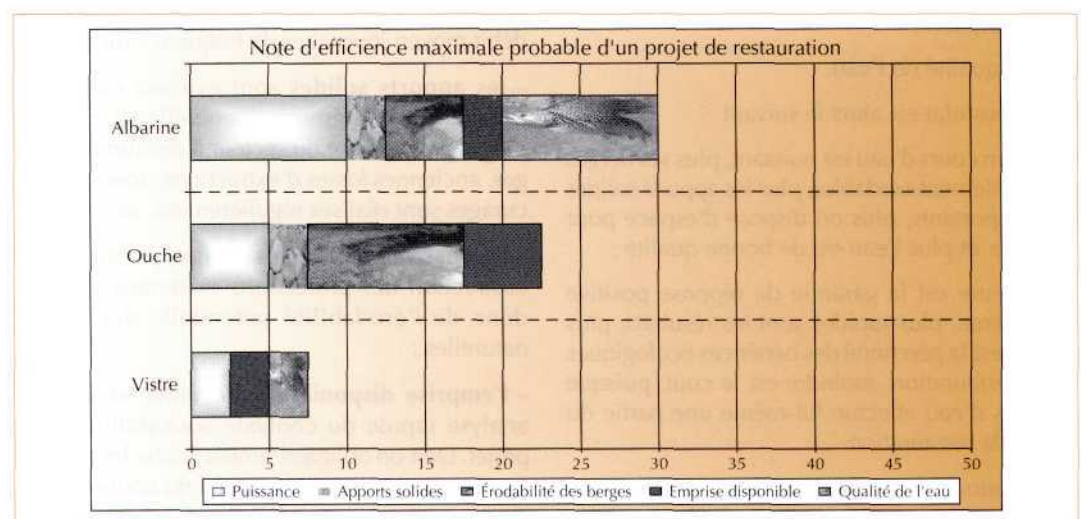
Attention : cette approche ne doit pas amener à ne financer que les opérations présentant les meilleurs scores. Tous les cours d'eau dégradés méritent une restauration. La prise de décision finale reposera donc sur des critères complémentaires au seul score d'efficacité probable, tels que l'existence d'approches globales de gestion (SAGE, contrat de rivière), la présence de fortes volontés locales, etc.

LINÉAIRE PERTINENT DE RESTAURATION

Dans le même esprit, il est important de vérifier si le linéaire concerné par le projet est pertinent

3 Schéma d'aménagement et de gestion des eaux.

► Figure 1 - À titre d'exemple, score d'efficacité probable de 3 opérations de restauration de cours d'eau (Adam et al, 2006).



par rapport à la taille du cours d'eau, par rapport au niveau d'objectif et enfin par rapport au niveau d'ambition souhaité. Ainsi, une restauration de 100 m de rivière n'a que peu d'intérêt d'un point de vue biologique, sauf très localement, pour un cours d'eau dont la largeur est supérieure à 10 m. Par contre, pour un cours d'eau dont la largeur est de 2 m, une telle restauration peut produire des effets positifs significatifs à l'échelle d'un tronçon.

Nous proposons donc une grille sommaire d'évaluation de la pertinence d'une opération de restauration de cours d'eau sur la base de la proportionnalité linéaire restauré/largeur (L) du cours d'eau :

- **linéaire inférieur à environ 20 fois la largeur.** L'effet est généralement uniquement local. Opération qui peut avoir éventuellement un intérêt en traversée urbaine couplé à un objectif paysager, qui peut se justifier aussi pour des opérations pilotes destinées à devenir des « vitrines » locales de ce qui peut se faire en matière de restauration (objectif de sensibilisation) et qui peut se justifier enfin pour la restauration d'un habitat particulier d'une espèce patrimoniale (zone de reproduction notamment), qui peut se traduire par un effet positif bien au-delà du simple secteur restauré ;
- **linéaire compris entre 20 et 100 fois la largeur du cours d'eau.** L'effet reste local mais on se rapproche de dimensions pertinentes à l'échelle d'un tronçon de cours d'eau ;
- **linéaire supérieur à 100 fois la largeur.** On atteint des dimensions significatives vis-à-vis de la restauration de tronçons de cours d'eau ;
- **linéaire approchant plusieurs centaines de fois L.** La restauration fonctionnelle globale de tronçons entiers de cours d'eau est réellement atteignable.

Niveaux d'ambition des travaux de préservation et de restauration d'un bon fonctionnement

hydromorphologique

On peut définir trois grandes catégories d'actions sur un cours d'eau visant à préserver ou à restaurer un bon fonctionnement hydromorphologique.

PRÉSERVATION : CATÉGORIE P

Si le fonctionnement morpho-écologique est encore bon, il s'agira de mettre en œuvre des opérations de **préservation** de secteurs peu ou pas altérés mais menacés par une pression anthropi-

que latente. Les actions peuvent se concrétiser par des arrêtés de biotopes, l'achat de terres sur un espace alluvial élargi ou en secteur de mobilité potentielle d'un cours d'eau, des contrats d'exploitation extensive de terres riveraines avec des agriculteurs, etc.). Elles peuvent se traduire déjà simplement par une sensibilisation des acteurs aux impacts générés par les interventions humaines et à l'importance de préserver des secteurs encore relativement épargnés.

LIMITATION DES DYSFONCTIONNEMENTS FUTURS : CATÉGORIE L

Si le fonctionnement morpho-écologique est légèrement dégradé mais encore correct, une opération de restauration n'est peut être pas nécessaire mais il semble important de mettre en œuvre des actions qui bloquent les dysfonctionnements en cours de manifestation : seuils de fond pour stabiliser une incision qui commence à se manifester, espace de mobilité pour éviter une accentuation d'une incision encore modérée, meilleure gestion des débits à la sortie d'un barrage, meilleure gestion de la qualité de l'eau, etc.

RESTAURATION : CATÉGORIE R

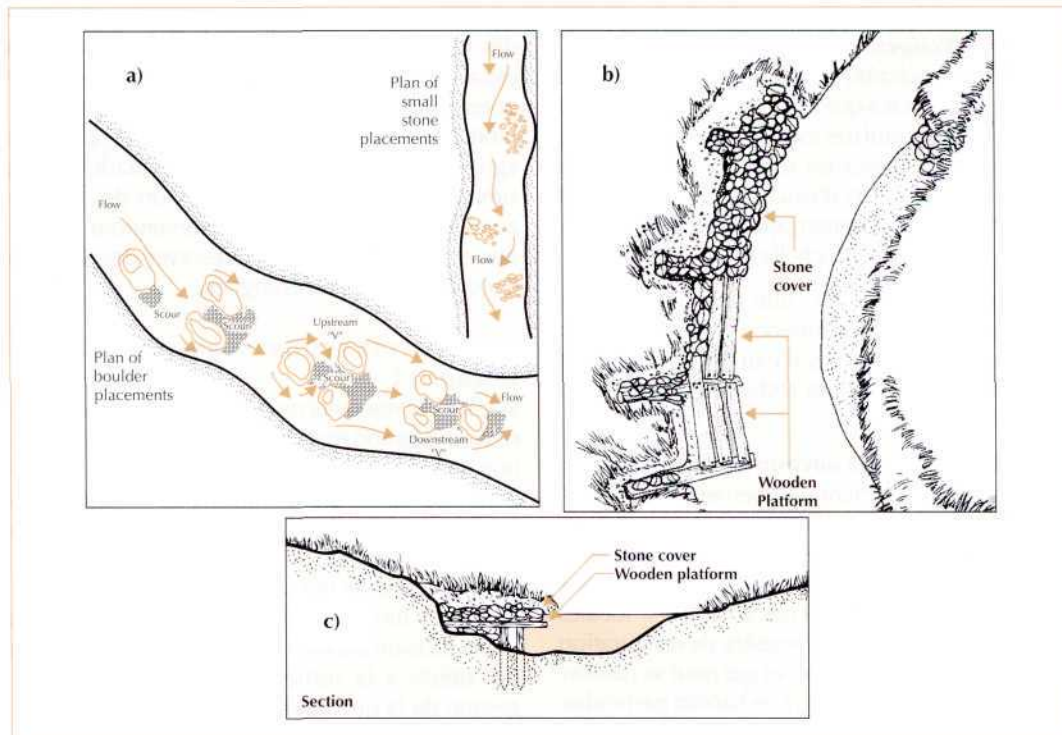
Si l'état est dégradé, il est nécessaire de mettre en œuvre un programme de restauration hydromorphologique. Dans cette catégorie d'intervention nommée R, on peut alors distinguer 3 niveaux d'objectifs de restauration (qui correspondent aussi à 3 niveaux d'ambition).

• Niveau R1 (figures 2 et 3)

Ce niveau correspond à un objectif de restauration d'un compartiment de l'hydrosystème, **souvent piscicole**, dans un contexte où l'on ne peut réaliser une véritable opération de restauration fonctionnelle. Il s'agit généralement de mettre en place des structures de diversification des écoulements et des habitats : déflecteurs, petits seuils, caches, frayères, etc. Ce niveau d'ambition ne nécessite pas une grande emprise latérale. Il peut être mis en œuvre dans l'emprise actuelle du lit mineur ou légèrement augmentée. Il devrait être réservé aux zones urbaines ou péri-urbaines, où les contraintes foncières sont importantes, mais on constate qu'il est fréquemment mis en œuvre en zone rurale, pour des raisons foncières aussi et probablement par manque d'ambition...

• Niveau R2 (figures 4 et 5)

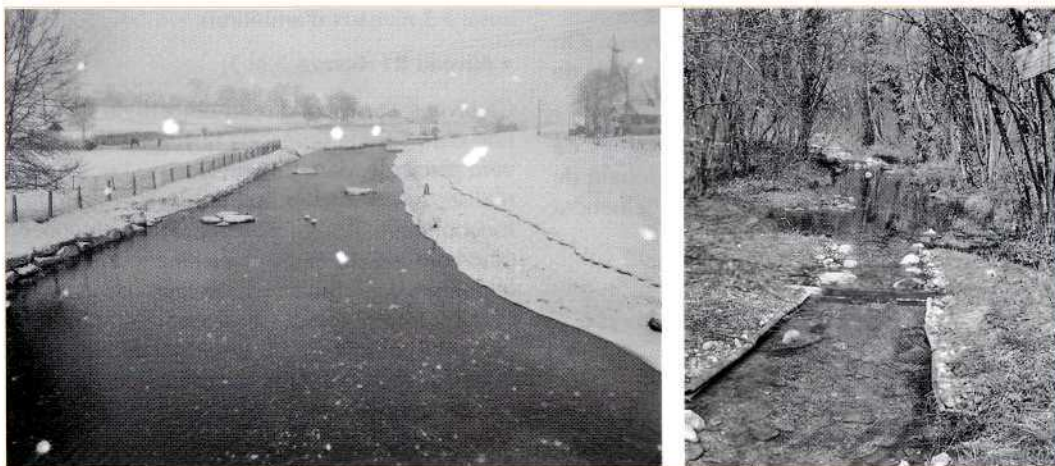
Ce niveau correspond à un objectif de restauration fonctionnelle plus globale. L'amélioration de



4. Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture (en anglais : *Food and agriculture organization*).

▲ Figure 2 - Exemples de petits aménagements piscicoles de type R1 : a) installation de blocs dans le cours d'eau pour créer à la fois des abris hydrauliques pour les poissons adultes (généralement de truites) et éventuellement des zones de reproduction dans les dépôts de graviers qui se font entre les blocs ; b) vue en plan d'installation de sous-berges artificielles pour créer des caches pour les poissons adultes ; c) vue en coupe (FAO , 1998).

► Figure 3 - Exemples de réalisations de niveau R1.

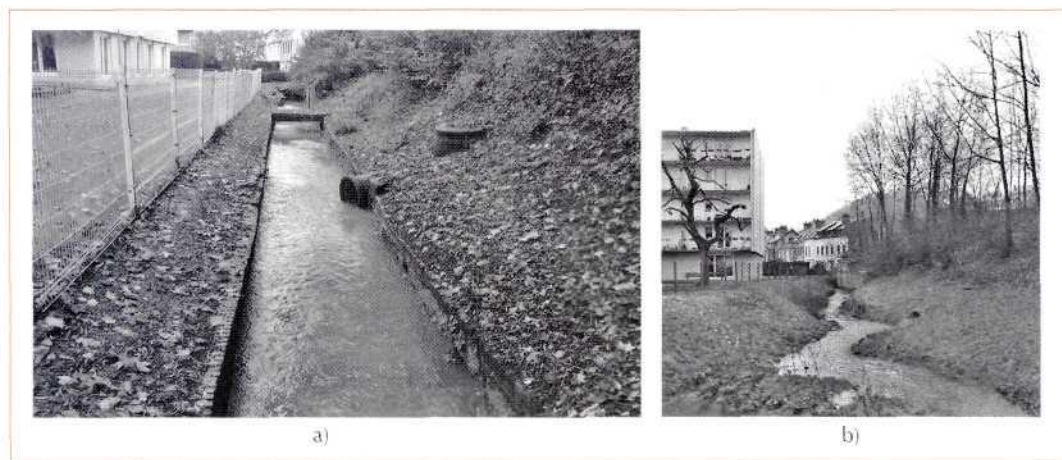


tous les compartiments aquatiques et rivulaires est visée : transport solide, habitat aquatique, nappe alluviale, ripisylve. Ce niveau nécessite une emprise foncière plus importante (de 2 à 10 fois la largeur naturelle du lit mineur). Il peut

être atteint par exemple par un reméandrage léger pour un cours d'eau rectifié, par un écartement des digues pour un cours d'eau fortement endigué, par la « remise » à ciel ouvert d'un lit de cours d'eau couvert, etc.



◀ Figure 4 - Exemples de réalisation de niveau R2 : la Bièvre à Antony : a) dans sa partie couverte ; et b) immédiatement en aval, dans une partie remise à ciel ouvert.



◀ Figure 5 - Exemples de réalisation de niveau R2 : le Bolbec à Bolbec : a) avant travaux ; b) après travaux.

• Niveau R3 (figure 6)

Ce niveau correspond à un niveau R2 + espace de mobilité ou de fonctionnalité, avec un objectif de restauration fonctionnelle complète de l'hydrosystème, y compris de la dynamique d'érosion et du corridor fluvial. L'emprise nécessaire pour que ce niveau d'ambition soit pertinent est au minimum de l'ordre de 10 fois la largeur du lit mineur avant restauration.

Si le cours d'eau est actif ou potentiellement actif, cette emprise sera un véritable **espace de mobilité** qui lui permettra d'éroder ses berges et de retrouver une dynamique fluviale naturelle. Si le cours d'eau n'est pas potentiellement actif (faible puissance, berges cohésives, peu d'alluvions en transit), cette emprise sera plutôt un **espace de fonctionnalité**. Dans un tel espace de fonctionnalité, on laissera s'installer une végétation allu-

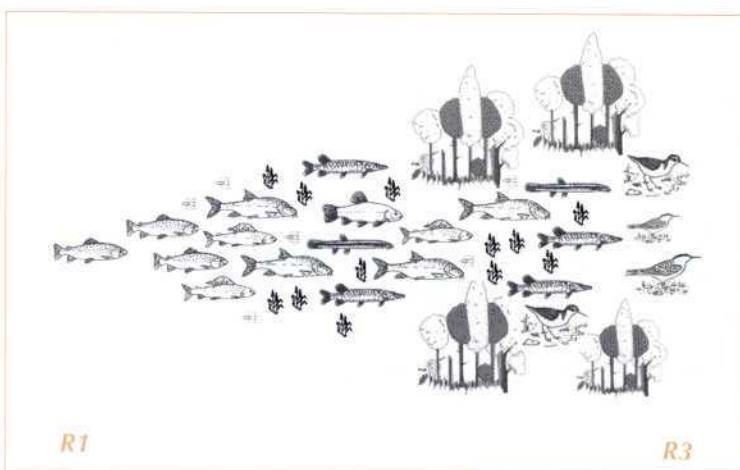
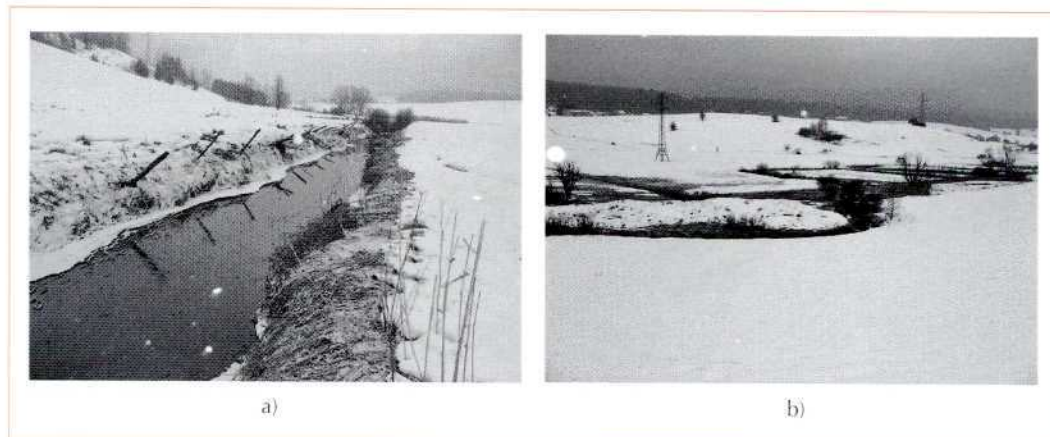
viale naturelle (corridor fluvial) ou on créera de toutes pièces une diversité de milieux biologiques annexes au cours d'eau (zones humides, mares, bocages, haies, secteurs pionniers, etc.).

Attention : cette catégorisation des niveaux de restauration correspond à un gradient continu allant de la restauration d'un nombre limité de fonctionnalités (R1) à un nombre maximal de fonctionnalités (R3). La limite entre ces « classes » est donc fictive (figure 7).

Principes de restauration des altérations hydromorphologiques liées aux interventions anthropiques

Nous proposons ici quelques orientations de restauration hydromorphologique, fonction des interventions humaines à l'origine des altérations

► Figure 6 - Exemple de restauration fonctionnelle de niveau R3. Reméandrage d'un petit cours d'eau rectifié dans les années 60 : a) amont non restauré ; b) aval restauré (l'ancien tracé rectiligne est bien visible à la corde des méandres).



▲ Figure 7 - Illustration schématique d'un gradient continu de restauration des fonctionnalités entre R1 et R3.

et des niveaux d'ambition. Pour une approche plus détaillée, le lecteur pourra se reporter (encadré 2) au « *Manuel de restauration hydromorphologique des rivières* » (Adam et al., 2007).

Les interventions humaines présentées ici renvoient à la première partie de cet article général.

Cours d'eau couvert

NIVEAU R3

La méthode la plus radicale consiste à découvrir totalement le cours d'eau et à le « recréer » intégralement dans son talweg naturel en respectant sa morphologie d'origine (tracé en plan, profils en long et en travers).

NIVEAU R2

Si l'emprise foncière de l'ancien tracé n'est pas disponible, un moindre niveau d'ambition sera

visé. On pourra « découvrir » le cours d'eau et lui redonner des berges naturelles (adoucissement de pentes, végétalisation, etc.), recréer un **lit d'étiage** avec une morphologie plus adéquate (mise en place de substrats favorables, création de caches, de déflecteurs, etc.).

NIVEAU R1

Si pour diverses raisons techniques et financières, la découverte n'est pas envisageable, on recherchera néanmoins à mettre en œuvre des mesures de limitation des impacts, telles que la création de puits de lumière sur le linéaire couvert (pour autant que ce dernier ne soit pas trop long), la mise en place d'un substrat alluvial en fond de lit, la création de surfaces exondées à l'intérieur du voûtage, la mise en place d'éléments physiques (cailloux, blocs, rondins, déflecteurs, etc.) de diversification des faciès et de facilitation du franchissement par les poissons.

Déplacement de cours d'eau

NIVEAU R3

La méthode idéale consiste à réinstaller le cours d'eau dans son talweg naturel en respectant sa morphologie d'origine (tracé en plan, profils en long et en travers).

NIVEAU R2

Si l'emprise foncière de l'ancien tracé n'est pas disponible ou pour d'autres raisons techniques, un moindre niveau d'ambition sera visé.

Les principaux types de restauration envisageables sont alors :

- une augmentation minimale de l'emprise du cours d'eau ;

Encadré 2

Le manuel de restauration hydromorphologique des rivières (Adam *et al.*, 2007) permet de choisir les techniques les plus adaptées à chaque cas au moyen de fiches techniques détaillées.

- Petits aménagements piscicoles (très général, renvoi à des guides existants) (fiche 1).
- Création d'une ripisylve (fiche 2).
- Épis (fiche 3).
- Bacs et risbermes alternés (fiche 4).
- Reconstitution du matelas alluvial (fiche 5).
- Seuils et rampes (fiche 6).
- Reconnexion d'annexes hydrauliques (fiche 7).
- Arasement/dérasement de seuils (fiche 8).
- Suppression des contraintes latérales (fiche 9).
- Remise à ciel ouvert de cours d'eau (fiche 10).
- Modification de la géométrie du lit mineur/moyen (augmentation de l'emprise) (fiche 11).
- Diversification de berges notamment sur les grands cours d'eau navigués (fiche 12).
- Suppression des digues, élargissement de l'intra-digues (fiche 13).
- Suppression d'étangs (fiche 14).
- Reméandrage ou recréation de cours d'eau (fiche 15).
- Travaux en limite des opérations de restauration : entretien de la végétation aquatique, de la ripisylve et lutte contre le piétinement du bétail, passes à poissons, gestion des espèces invasives, curage d'entretien, etc.

- la recréation d'un tracé un peu plus sinueux si celui-ci est trop rectiligne ;
- la mise en place de bancs alluviaux alternés ;
- la recréation de ripisylve.

NIVEAU R1

Même type de travaux que pour la plupart des projets de niveau R1, quel que soit le type d'altération, à savoir principalement des ouvrages de diversification du lit et des faciès.

Rescindement de méandres – Rectification

NIVEAU R3

Pour résorber la plupart des dysfonctionnements générés par le rescindement des méandres d'un cours d'eau, la méthode la plus ambitieuse consiste à recréer un cours d'eau sinueux ou méandriforme. Selon le score géodynamique du cours d'eau, ce reméandrage sera complet et réalisé artificiellement au moyen d'engins de chantier ou partiel avec une simple initiation des

méandres après suppression des protections de berges s'il en existe. À ce niveau d'ambition, on tentera de reconquérir un espace de mobilité sur les cours d'eau dynamiques et un espace de fonctionnalité, avec forêt alluviale et zones humides sur les cours d'eau moins actifs.

NIVEAU R2

Si l'emprise foncière disponible est insuffisante (cours d'eau péri-urbains, présence de gravières en lit majeur comme sur la Seine par exemple) ou pour d'autres raisons techniques, un moindre niveau d'ambition sera visé.

Les principaux types de restauration envisageables sont alors :

- l'augmentation de l'emprise du cours d'eau ;
- la recréation d'un tracé plus sinueux ;
- la mise en place de bancs alluviaux alternés ;
- la recréation de ripisylve ;
- parfois la création de seuils et rampes pour limiter les effets de l'incision.

NIVEAU R1

Même type de travaux que pour la plupart des projets de niveau R1, quel que soit le type d'altération, à savoir principalement des ouvrages de diversification du lit et des faciès.

Recalibrage**NIVEAU R3**

La méthode la plus ambitieuse consiste à redonner au cours d'eau sa géométrie hydraulique naturelle. Selon le score géodynamique du cours d'eau, les techniques seront très différentes :

- score élevé : réinitiation des processus d'érosion latérale pour favoriser un auto-ajustement ;
- score faible : apports de matériaux alluvionnaires si ceux-ci font défaut ou recréation d'un nouveau cours d'eau.

NIVEAU R2

Si l'emprise foncière disponible est insuffisante ou pour d'autres raisons techniques, un moindre niveau d'ambition sera visé. Les principaux types de restauration envisageables sont alors :

- la réduction de la largeur du lit mineur ;
- la recréation d'un talweg d'étiage sinueux ;
- la mise en place de bancs alluviaux alternés ;
- la diversification des berges ;
- la création de ripisylve.

NIVEAU R1

Même type de travaux que pour la plupart des projets de niveau R1, quel que soit le type d'altération, à savoir principalement des ouvrages de diversification du lit et des faciès.

Suppression de la ripisylve

Les principes de restauration de la végétation riveraine seront fonction des raisons de son élimination. Ainsi, si la suppression de la végétation riveraine s'est faite lors d'opérations de chenalisation, les travaux de restauration s'accompagneront nécessairement de travaux de « recréation » de formations végétales riveraines, ceci de manière « directe » (plantation de végétaux, techniques du génie végétal) ou « indirecte » en créant des conditions de croissance favorables au développement spontané de la végétation indigène adaptée (mise en place de déflecteurs, création de bancs de graviers, terrassement de berges en pente très douce, etc.).

En fonction du niveau d'ambition choisi et en relation avec d'autres types de travaux de restauration, on pourra :

- **niveaux R2 et R3** : travailler sur un espace élargi où l'on favorisera au maximum le développement de conditions de croissance favorables plutôt que d'implanter directement les bons végétaux. Le but est de « recréer » un véritable corridor fluvial. Plus la puissance du cours d'eau sera prépondérante, plus la restauration même selon des objectifs de « végétalisation » sera passive ;
- **niveau R1** : il n'y a pas d'autres alternatives que de procéder à des plantations simples ou la mise en place de protections de berges végétales pour le développement de formations végétales adaptées.

Protection des berges**NIVEAU R3**

La seule méthode adaptée à un tel niveau d'ambition est l'élimination complète des protections de berges existantes afin de garantir un espace de liberté au cours d'eau et le retour à un écotone rivulaire naturel.

NIVEAU R2

La solution à rechercher sera également la suppression des protections de berges existantes et le report de nouvelles protections, si possibles végétales à une certaine distance du cours d'eau. Si les protections actuelles sont composées d'enrochements, les blocs pourront être réutilisés de manière indirecte pour réaliser des épis, des caches, des risbermes, etc. L'espace du cours d'eau sera ainsi élargi mais néanmoins contenu dans une emprise délimitée en raison d'enjeux identifiés comme devant être protégés.

NIVEAU R1

Si, du fait de la présence d'enjeux forts, la présence d'ouvrage de protection de berges est indispensable, on peut prévoir le remplacement des protections « lourdes » par des techniques plus douces issues du génie végétal ou l'adjonction d'ouvrages de diversification des faciès et du lit.

Endiguement et merlons de curage**NIVEAU R3**

Pour résorber la plupart des dysfonctionnements générés par l'endiguement, la méthode la plus efficace consiste à supprimer les digues. À ce

niveau d'ambition, on tentera de reconquérir un espace de mobilité sur les cours d'eau dynamiques et un espace de fonctionnalité, avec forêt alluviale et zones humides sur les cours d'eau moins actifs.

NIVEAU R2

Si l'emprise foncière disponible est insuffisante ou pour d'autres raisons techniques ou sécuritaires (risque d'inondation de zones à enjeux forts), un moindre niveau d'ambition sera visé. Les principaux types de restauration envisageables sont alors :

- une augmentation minimale de la zone intradigues ;
- un abaissement de certaines digues au droit de zones à moindre enjeu.

NIVEAU R1

Mise en place de systèmes de connexions lit mineur/annexes hydrauliques (buses à clapet, etc.) ou de mesures de diversification des berges.

Seuils/ouvrages transversaux

Le bilan globalement négatif de l'impact des seuils amène à conclure que dans la plupart des situations, et en l'absence d'intérêt économique ou d'intérêt majeur sur le plan du patrimoine ou du paysage, la meilleure solution pour aller dans le sens des objectifs de la Directive cadre européenne sur l'eau, consiste à supprimer le seuil (**dérasement**) ou au moins à en réduire considérablement la hauteur (**arasement**). Des précautions doivent cependant être prises pour éviter les impacts potentiellement négatifs face à des enjeux humains d'une telle opération : érosion régressive, reprise de l'érosion latérale en amont, apports solides importants en aval.

NIVEAU R3

On propose à ce niveau d'ambition un dérasement complet de l'ouvrage (il est néanmoins possible de conserver un radier de fond pour limiter les risques d'érosion régressive).

NIVEAU R2

Si pour des raisons économiques ou techniques, l'arasement total n'est pas envisageable, un moindre niveau d'ambition sera visé. Les principaux types de restauration sont alors :

- un arasement partiel de l'ouvrage pour gagner un peu de linéaire à écoulement naturel ;

- la création d'îlots, de risbermes ou de bancs dans la retenue du seuil (avec peu d'effets hydrauliques car peu de vitesses ; essentiellement un effet « récif ») ;

- la diversification des berges de la retenue ou la création d'une ripisylve plus diversifiée.

NIVEAU R1

Même type de travaux que pour la plupart des projets de niveau R1, quel que soit le type d'altération, mais en raison de l'absence des courants dans la retenue d'un seuil, les effets positifs seront très limités.

Étangs implantés sur le cours d'eau

Si les dysfonctionnements induits par la présence d'étangs sont assez proches de ceux que l'on observe pour les seuils, les principes de restauration sont parfois plus complexes du fait d'un surcreusement de l'étang dans le lit majeur (non systématique).

NIVEAU R3

La première solution à proposer est la suppression de l'ouvrage (digue, seuil, barrage, etc.), puis si possible le remblaiement de l'ancienne retenue si celle-ci a été excavée et la recréation d'un nouveau cours d'eau dans cette emprise. Si cette première solution n'est pas envisageable, une deuxième variante consiste à recréer un nouveau cours d'eau qui court-circuitera totalement le plan d'eau, celui-ci pouvant alors être conservé sous forme de bras mort ou de zone humide. Une telle solution n'est pas toujours réalisable pour des raisons foncières, mais aussi et surtout topographiques. Il est en effet important, pour des raisons hydrauliques et géodynamiques, que le nouveau cours d'eau soit réalisé dans son talweg en fond de vallée et non en situation perchée. Si l'étang occupe lui-même ce fond de vallée (ce qui est généralement le cas), la mise en œuvre de cette technique ne sera pas envisageable.

NIVEAU R2

Si aucune de ces deux solutions n'est envisageable, on pourra travailler sur les déblais/remblais des sédiments de la retenue pour créer un chenal préférentiel d'écoulement, augmenter la diversité des profondeurs d'eau, augmenter la diversité des formations végétales présentes, etc. Il est également envisageable de fractionner un plan d'eau en plus petits éléments, de manière à limiter les dysfonctionnements précités. Pour favoriser un

cheminement préférentiel des écoulements, on pourra également mettre en place de longs épis dans le plan d'eau ou des secteurs complets de remblais sous forme de risbermes.

NIVEAU R1

La seule solution envisageable pour ce niveau d'ambition consiste à diversifier les berges du plan d'eau avec des plantations rivulaires adaptées.

Extractions de granulats

NIVEAU R3

La plupart des cours d'eau à dynamique active, qui ont souvent été les plus exploités par les extractions en lit mineur, ont plus que jamais aujourd'hui besoin de se recharger en sédiments par érosion latérale afin d'équilibrer leur « balance morphodynamique ». C'est le concept d'espace de liberté ou de mobilité. Ce concept qui est à mettre en œuvre le plus rapidement possible sur les cours d'eau actifs (voir le score géodynamique), rencontre malheureusement de très fortes réticences sociologiques (peur généralisée des inondations, des érosions, etc.).

NIVEAU R2

Si l'emprise foncière disponible est insuffisante (notamment en cas de gravières en lit majeur) ou pour d'autres raisons techniques, un moindre niveau d'ambition sera visé.

Les principaux types de restauration envisageables sont alors :

- aménagement écologique des gravières en fin d'exploitation pour leur donner une fonctionnalité proche de celles des annexes hydrauliques naturelles ;
- éventuellement favoriser la reconnexion des annexes hydrauliques.

NIVEAU R1

Apport d'alluvions et blocage éventuel par des structures transversales (mini-seuils) et mise en place de structures transversales s'il existe encore des apports solides provenant de l'amont avec de longs épis ou des mini-seuils. Attention toutefois à ne pas reproduire les dysfonctionnements générés par les seuils.

Conclusion

Compte tenu de la volonté encore très modérée des maîtres d'ouvrages publics de réaliser des opérations de restauration hydromorphologique, il nous semble déjà très ambitieux de consacrer les 5 à 10 prochaines années à de **nombreux projets pilotes** de restauration qui auraient pour vocation majeure, outre l'amélioration réelle de l'état écologique des cours d'eau concernés, de servir de « vitrines » à ce qui pourrait être fait au cours des 20 prochaines années. Ces « vitrines » devront être réparties sur l'ensemble du territoire pour que de nombreux élus et gestionnaires puissent y avoir accès facilement. Elles devront être conçues comme des supports de communication, et, si possible, présentées aux autres élus et par les élus du secteur eux-mêmes, convaincus du bien-fondé des démarches de restauration entreprises. Ces orientations peuvent sembler limitatives et il n'est évidemment pas exclu de tenter de mettre en œuvre partout où cela sera possible des projets de restauration ambitieux, tant en terme de niveau d'ambition (R3) que de linéaire. L'une des priorités d'action devra aussi être accordée à la **préservation** des cours d'eau encore non ou peu altérés.

Enfin, la restauration hydromorphologique d'un cours d'eau, même ambitieuse et bien réalisée peut se révéler infructueuse si subsistent, à l'échelle du bassin versant, des dysfonctionnements fortement perturbants :

- forte quantité de matières en suspension générée par l'érosion de sols agricoles et pouvant colmater durablement les fond alluviaux des cours d'eau ;
- faiblesse des débits d'étiage due à un drainage extrême des terrains, à des ouvrages de dérivation ou de rétention ;
- mauvaise qualité d'eau, etc.

La mise en œuvre de projets de restauration doit donc être précédée d'une analyse générale du fonctionnement du bassin versant et du corridor alluvial. La mise en œuvre de mesures correctrices ou réductrices au niveau du bassin et du corridor fluvial doit si ce n'est précéder, au moins être réalisée simultanément aux restaurations hydromorphologiques proprement dites. □

Résumé

Les progrès réalisés depuis 30 ans dans l'amélioration de la qualité physicochimique de l'eau des rivières ont contribué à une régénération sensible de leur état écologique. Toutefois, ces améliorations semblent avoir atteint aujourd'hui leur optimum et les solutions de restauration d'un état écologique encore parfois médiocre, passent par la résorption des dysfonctionnements hydromorphologiques qui subsistent. Cet article passe en revue les concepts qui sous-tendent la restauration hydromorphologique des cours d'eau et présente quelques principes de mise en œuvre.

Abstract

Progress achieved past 30 last years in improvement of chemical quality of stream waters have made a great contribution to the regeneration of their ecological state. However, these improvements seems today to have reach their optimum and the solutions to restore a still sometimes mediocre ecological state, goes through resorption of remaining hydromorphological dysfunctions. This paper reviews the underlying concepts of hydromorphological restoration and presents some principles of implementation.

Bibliographie

- ADAM, P., MALAVOI, J.-R., DEBIAIS, N., 2006, *Retour d'expérience d'opérations de restauration de cours d'eau et de leurs annexes sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse*, rapport, Agence de l'Eau RMC, 129 p.
- ADAM, P., MALAVOI, J.-R., DEBIAIS, N., 2007, *Manuel de restauration hydromorphologique des rivières*, Agence de l'Eau Seine-Normandie (à paraître).
- BOON, P., CALOW, P., PETTS, G., 1992, *River Conservation and Management*, Wiley & Sons Ltd, 470 p.
- BROOKES, A., 1988, *Channelized Rivers : Perspectives for Environmental Management*, (eds.) Wiley & Sons Ltd, 342 p.
- MALAVOI, J.-R., ADAM, P., 2007, Préservation et restauration physique des cours d'eau. Aspects techniques, *Techniques, Sciences, Méthodes*, n° 2, p. 39-53.
- WASSON J.-C, CHANDESRIS, A., PELLA, H., BLANC, L., 2002, *Les hydro-écorégions de France métropolitaine. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés*, ministère de l'Écologie et du Développement durable, Cemagref BEA/LHQ, 190 p.