

Les interventions humaines et leurs impacts hydromorphologiques sur les cours d'eau

Jean-René Malavoi^a et Philippe Adam^b

Des milliers de kilomètres de cours d'eau français ont vu depuis plusieurs décennies leurs caractéristiques géomorphologiques et géodynamiques fortement altérées par des interventions humaines, limitant le bon fonctionnement de ces milieux aquatiques. Dans cet article, les auteurs nous proposent une description des principales interventions responsables de ces désordres et de leurs impacts physiques et biologiques sur les cours d'eau.

Depuis 2000, la Directive cadre européenne (DCE) sur l'eau donne des objectifs de résultats ambitieux en termes d'état ou de potentiel écologique des rivières, et en termes de continuité écologique. Or l'état des lieux des bassins hydrographiques réalisé en 2004 a mis en évidence que pour un grand nombre de masses d'eaux de surface, le principal obstacle au bon état écologique est un problème de qualité physique des rivières (berges et lit mineur) et donc de **fonctionnement hydromorphologique**.

Un bon fonctionnement hydromorphologique peut être caractérisé par les paramètres listés ci-après : une diversité de faciès d'écoulement, des berges naturelles non protégées, des bancs alluviaux mobiles, une ripisylve variée, un corridor fluvial boisé, des annexes hydrauliques et surtout, une dynamique fluviale la plus libre possible (figure 1).

Or, suite à des décennies, voire des siècles, de chenalizations, d'extractions de granulats, d'implantation de seuils et barrages, des milliers de kilomètres de cours d'eau français ne présentent plus aujourd'hui ces critères de bon fonctionnement hydromorphologique. Chaque type d'intervention humaine a induit une grande variété d'altérations et de dysfonctionnements morpho-écologiques selon le type de cours d'eau touché, le linéaire affecté, l'ancienneté et l'ampleur des travaux. De plus, de nombreuses interventions ont été « multiples » : rectification plus recalibrage,

plus endiguement, etc. Les travaux de restauration nécessaires pour tenter de retrouver un fonctionnement plus naturel seront donc fréquemment, eux aussi, multiples et complexes.

Cette première partie de l'article général sur la restauration hydromorphologique propose une typologie des dix principaux types d'interventions humaines ayant pu être réalisés sur les cours d'eau et les dysfonctionnements hydromorphologiques et écologiques qui leurs sont associés. Nous les présentons ci-après dans un ordre *a priori* décroissant d'impact sur les milieux.

La seconde partie traitera des concepts et des principes de restauration adaptés à ces dysfonctionnements.

Les éléments constituant cet article sont extraits en grande partie de deux études récentes (Malavoi et Biotec, 2006 et 2007). Ils ont été en partie présentés lors du 85^e Congrès de l'ASTEE ainsi que dans la revue TSM (Malavoi et Adam, 2007).

Principaux types d'interventions humaines et dysfonctionnements associés

Couverture de cours d'eau

CONTEXTE

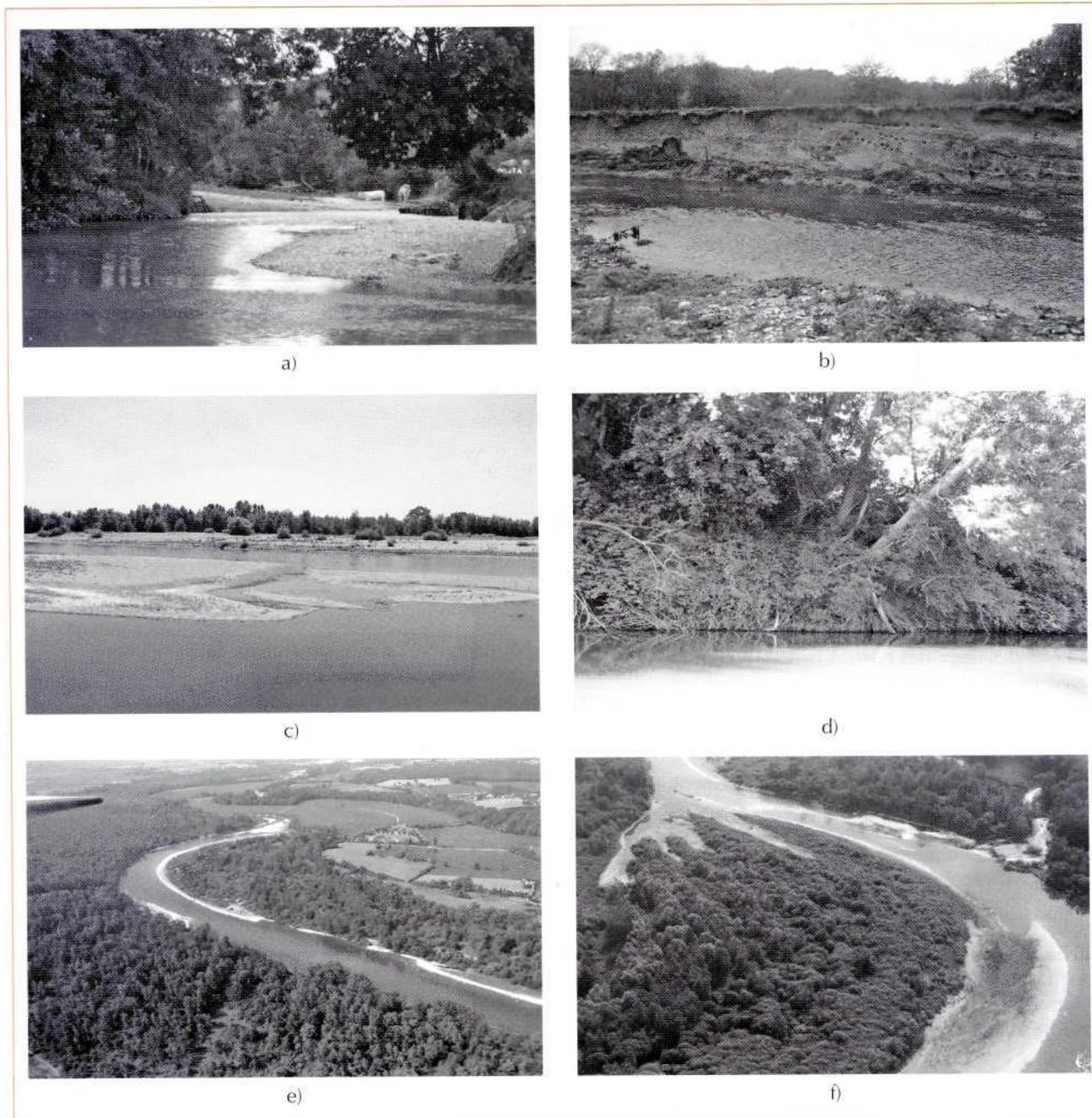
De très nombreux cours d'eau français ont été fortement chenalisés, endigués, rescindés,

1. Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement.

2. *Techniques-Sciences-Méthodes* est la revue scientifique publiée par l'ASTEE.

Les contacts

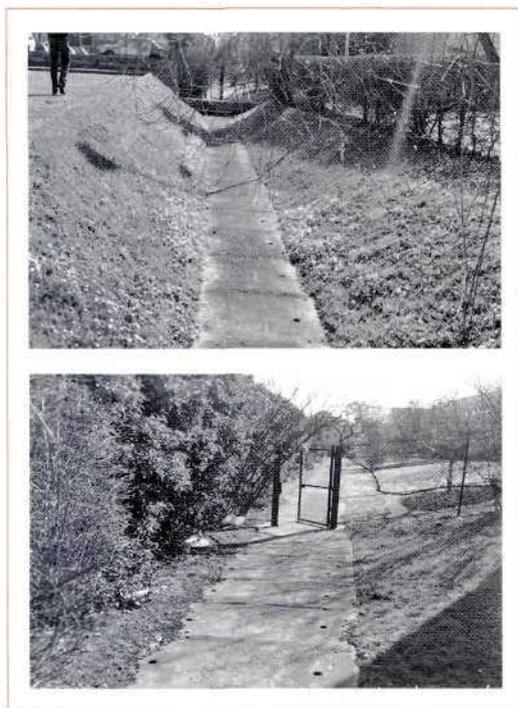
a. Malavoi Ingénieur conseil,
207 rue de l'Eglise,
01600 Parcieux
b. BIOTEC France,
65-67, cours
de la Liberté,
69003 Lyon



▲ **Figure 1** - Quelques illustrations des critères permettant d'évaluer un bon fonctionnement hydromorphologique. a) Des faciès d'écoulement diversifiés ; b) Des berges non protégées ; c) Des bancs alluviaux mobiles ; d) Une ripisylve fournie et variée ; e) Un corridor fluvial boisé ; f) Des annexes hydrauliques. Ces éléments traduisent une dynamique fluviale naturelle.

recalibrés, etc. Cette chenalisation a parfois été poussée à l'extrême, notamment en milieu urbain ou péri-urbain, avec la couverture complète du cours d'eau sur des linéaires pouvant être très

importants (figure 2). Ces actions ont occasionnellement été conduites en milieu rural dans le but de « gagner » des terrains agricoles et de favoriser l'intensification de l'agriculture.



▲ Figure 2 - La Bièvre à Fresnes, sous des dalles de béton...

PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS IDENTIFIÉS

La couverture complète de cours d'eau est sans conteste **l'intervention humaine la plus traumatisante** pour le milieu naturel puisqu'elle se traduit par la disparition totale de ce dernier. Il s'agit alors à la fois d'une disparition complète des habitats, des faciès, de la ripisylve, des relations entre la nappe et les berges, etc., mais également d'une discontinuité écologique majeure sur le réseau fluvial. Il existe peu de données précises dans la littérature mais on peut admettre qu'un linéaire de plus de 25-30 mètres de couverture de cours d'eau constitue une altération déjà très lourde, notamment vis-à-vis du franchissement par les poissons.

Outre l'absence de lumière, qui pose un grave problème pour de nombreuses espèces piscicoles, ce sont souvent les conditions hydrauliques extrêmes qui empêchent la franchissabilité des portions de cours d'eau enterrées (fortes vitesses, faibles profondeurs en étiage, fond souvent lisse [béton]). Indépendamment de l'aspect « franchissabilité », l'ampleur du traumatisme engendré par la couverture d'un cours d'eau

est dépendante de plusieurs facteurs dont la longueur touchée, la structure du lit à l'intérieur du voûtage (granulométrie « naturelle » du fond du lit en opposition avec du béton lisse par exemple), présence ou non de surfaces exondées à l'intérieur d'un voûtage (bancs de graviers, berges), etc.

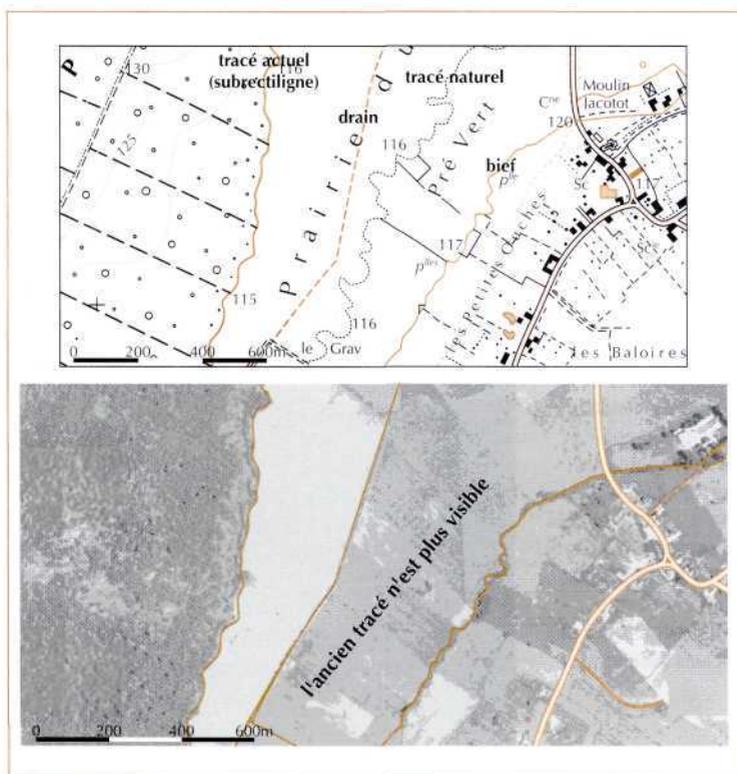
Déplacement de cours d'eau

CONTEXTE

Un certain nombre de cours d'eau ont été volontairement déplacés de leur position initiale naturelle vers l'un ou l'autre côté du fond de vallée (figure 3). Ces déplacements sont souvent très anciens (plusieurs siècles). L'objectif était principalement de gagner des terres cultivables ou d'améliorer leur exploitabilité en libérant une partie des espaces agricoles de la présence d'un cours d'eau. L'objectif était parfois aussi de faciliter l'alimentation des moulins. Le déplacement d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que :

- la rectification et le recalibrage du nouveau lit mineur ;

▼ Figure 3 - Exemples de déplacement complet de cours d'eau. Notez que les anciens méandres sont visibles sur la carte car ils ont servi de base à la délimitation de la frontière communale. Ils ne sont quasiment plus identifiables sur le terrain (photo du bas) (cartes d'après Géoportail, IGN).



- la protection des berges contre l'érosion ; la suppression de la ripisylve (systématique sur au moins l'une des deux berges) ;
- l'endiguement.

Les impacts sont donc souvent multiples.

PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS IDENTIFIÉS
Le déplacement complet d'un cours d'eau se traduit généralement par les dysfonctionnements hydromorphologiques et écologiques suivants :

- modification des relations nappe/rivière. Le cours d'eau, souvent déplacé en position topographique plus élevée que naturellement, a tendance à alimenter la nappe en permanence, d'où des étiages plus prononcés ;
- si le nouveau cours d'eau est rectiligne et surcalibré, s'ajoutent les dysfonctionnements liés à la rectification et au recalibrage.

Rescindement de méandres – Rectification

CONTEXTE

De très nombreux cours d'eau naturellement sinueux ou méandriformes ont été artificiellement rectifiés sur de longues distances, généralement pour en augmenter la débitance (notamment grâce à l'augmentation de la pente) et réduire ainsi la fréquence de submersion des terrains riverains. On a aussi fréquemment utilisé le rescindement de méandres pour linéariser les parcelles agricoles afin d'en faciliter la culture (cas des petits cours d'eau lors d'opérations de remembrement ; figure 4). On a enfin pratiqué des rescindements

pour améliorer la navigabilité des grands cours d'eau (figure 5). Lorsque les anciens tracés naturels ne sont plus visibles (rescindements très anciens) ou lorsque la linéarisation du tracé a été plus modeste (quelques ondulations subsistent), on parle plutôt de **rectification**.

Le rescindement/rectification d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que :

- le surcalibrage du nouveau lit ;
- la protection des berges contre l'érosion ;
- la suppression de la ripisylve ;
- l'endiguement plus ou moins « rustique ».

Les impacts sont donc souvent multiples.

PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS IDENTIFIÉS
La rectification d'un cours d'eau, notamment lorsqu'elle est poussée à l'extrême comme dans le cas des rescindements, se traduit par des dysfonctionnements hydromorphologiques et écologiques caractéristiques :

- homogénéisation des faciès d'écoulement, des variables hydrodynamiques (vitesses, profondeurs) et des substrats : **forte banalisation des habitats aquatiques** ;
- perte de fréquence et de durée de submersion du lit majeur et des annexes hydrauliques ;
- incision du lit mineur suite à l'augmentation de la pente : **abaissement de la nappe d'accompagnement, déstabilisation des ouvrages de génie civil** (ponts, digues, protections de berges).

3. Département de l'intérieur, de l'agriculture et de l'environnement.

► Figure 4- Exemples de rescindements de méandres à vocation principalement agricole (photo de gauche : Luc Terraz, photo de droite : DIAE du canton de Genève). Nota : les bosquets encore présents indiquent le tracé des anciens méandres.



Souvent, **déconnexion des annexes hydrauliques** ou des anciennes sinuosités rescindées (du fait de l'incision mais souvent aussi en raison de protections latérales et de digues réalisées en même temps que les rescindements). Nota : on a souvent tenté de maîtriser cette incision galopante par la construction de seuils perpendiculaires au cours d'eau, qui ont eux-mêmes généré de nouveaux dysfonctionnements (voir impacts des seuils) ;

- aggravation des inondations en aval.

Recalibrage

CONTEXTE

Le recalibrage des cours d'eau est probablement l'un des types d'intervention les plus fréquemment réalisés en France (figure 6). Ce type de travaux hydrauliques a été mis en œuvre très anciennement dans les zones urbaines et périurbaines, souvent accompagné d'endiguements étroits, pour réduire la fréquence des inondations. Il a été utilisé de manière quasi systématique dans les zones rurales, particulièrement au cours des années 1950 à 1980, pour diminuer la fréquence de submersion des terres agricoles, notamment celles exploitées en maïs ; céréale très peu résistante à la submersion.

Le principe du **recalibrage** consiste à augmenter la capacité de débit ou la débitance du lit mineur en augmentant la section d'écoulement par élargissement et/ou approfondissement du lit. Rappelons que **la capacité d'écoulement d'un cours d'eau naturel avant débordement dans le lit majeur correspond sensiblement à la crue journalière de fréquence 1 à 2 ans**. En concertation avec les acteurs du monde agricole qui proposaient un « débit de projet » (égal à Q5 ans, Q10 ans ou Q50 ans), l'ingénieur hydraulicien calculait le profil type à donner au cours d'eau pour garantir ce débit de projet sans débordement. Le recalibrage d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que :

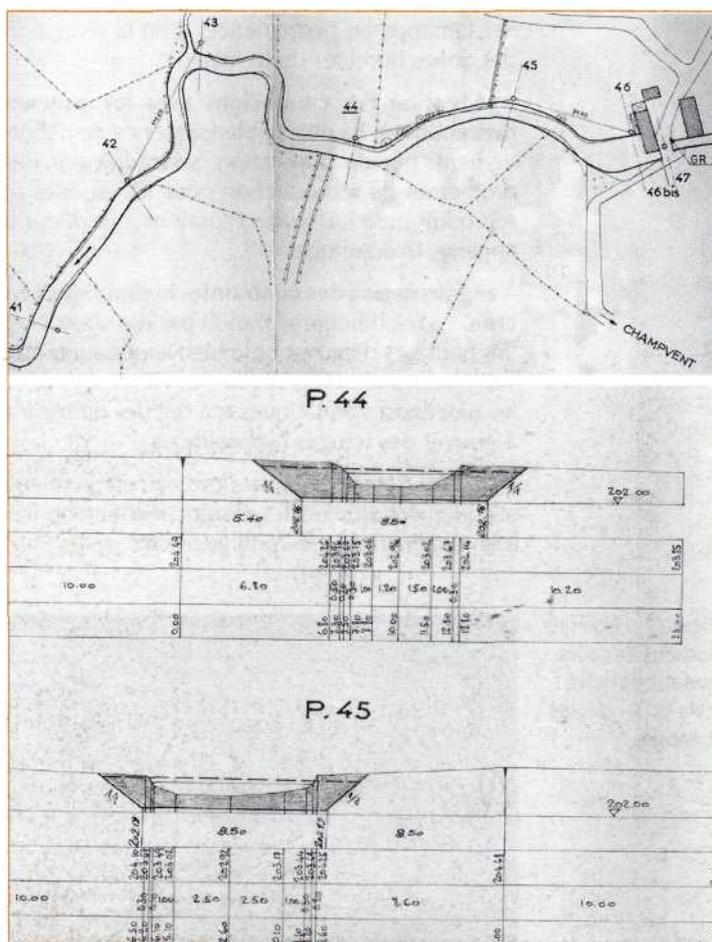
- la rectification du lit mineur ;
- la protection des berges contre l'érosion ;
- la suppression de la ripisylve (systématique sur au moins l'une des deux berges) ;
- l'endiguement « rustique » (merlon réalisé avec les déblais du recalibrage).

Les impacts sont donc souvent multiples.

▼ Figure 5 - Exemple de rescindements de méandres à vocation de navigation. La Seine (carte d'après Géoportail, IGN).



▼ Figure 6 - Exemple de projet de recalibrage généralisé d'un cours d'eau. En blanc : le profil initial ; en grisé : le profil à créer (source : DDAF 01).



PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS IDENTIFIÉS
Les impacts hydromorphologiques et écologiques du recalibrage sont bien connus :

- **détérioration des habitats aquatiques et semi-aquatiques (berges).** Les faciès d'écoulement, donc les habitats aquatiques, deviennent très homogènes et de faible capacité d'accueil. En effet, le surélargissement du lit mineur, principe technique « de base » de ce type d'intervention, se traduit systématiquement par un étalement de la lame d'eau à l'étiage avec des profondeurs qui deviennent limitantes pour une grande partie des biocénoses aquatiques et notamment les poissons ;

- **réchauffement de l'eau et aggravation des effets de l'eutrophisation.** Cet étalement de la lame d'eau augmente la vitesse de réchauffement de l'eau en été, ce qui peut se traduire par des conditions létales pour les biocénoses et aggraver les effets de l'eutrophisation si celle-ci est présente ;

- **modification des relations nappe/rivière.** Le cours d'eau souvent surcreusé a tendance à drainer la nappe en permanence, d'où la réduction des zones humides du lit majeur ;

- **réduction des connexions avec les annexes hydrauliques.** La plus faible fréquence de débordement, but de l'opération, se traduit par des problèmes de reproduction pour les espèces se reproduisant en lit majeur (prairies inondées ou annexes hydrauliques) ;

- **augmentation des contraintes hydrauliques en crue.** Le recalibrage se traduit par des vitesses et des hauteurs d'eau en crue bien supérieures aux valeurs naturelles et généralement limitantes pour les biocénoses aquatiques qui ont des difficultés à trouver des refuges hydrauliques ;

- si, de plus, le nouveau cours d'eau est rectiligne et endigué, s'ajoutent les dysfonctionnements liés à la rectification et à l'endiguement.

Suppression de la ripisylve (figure 7)

CONTEXTE

Il est fréquent que la végétation des berges des cours d'eau soit partiellement ou intégralement supprimée lors de la réalisation de travaux de chenalisation. Mais la suppression totale ou partielle de la ripisylve peut aussi être simplement due à des interventions plus ou moins fréquentes des riverains (notamment dans les zones agricoles) ou des organismes gestionnaires (syndicats, collectivités locales, etc.).

PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS IDENTIFIÉS

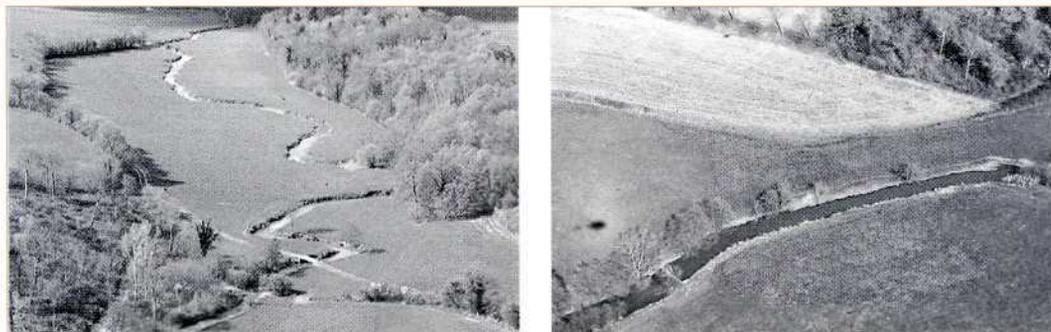
Afin de décrire les principaux impacts physiques et écologiques de la suppression des ripisylves, nous détaillons les fonctions majeures que celles-ci assurent, et donc les carences fonctionnelles lorsqu'elles sont supprimées :

- les formations végétales riveraines sont essentielles pour beaucoup d'organismes vivants, notamment les mammifères, amphibiens, oiseaux, poissons, etc. En effet, la faune trouve dans cette mosaïque végétale des conditions favorables pour se cacher, se nourrir et se reproduire. La végétation rivulaire joue également un rôle de « corridor », exprimé par un cordon assurant une continuité entre des milieux souvent fragmentés, facilitant les échanges et les déplacements entre les différentes communautés animales ;

- les racines des arbres, les troncs tombés dans l'eau, les débris végétaux (ou embâcles) créent une diversité d'habitats favorable à la faune aquatique, en faisant office successivement de lieux de cache, de supports de ponte ou de source de nourriture pour de nombreux poissons et invertébrés ;

- la végétation des berges, en procurant de l'ombre au-dessus des eaux, permet également

► Figure 7- Exemple de portions de cours d'eau sans ripisylve : la Veyle (01)-photos C. Thévenet.



de maintenir une température des eaux fraîche, ceci à la fois pour les bords du cours d'eau et pour les milieux annexes tels que mares, bras morts, dépression marécageuse, etc. Une température des eaux élevée diminue la solubilité de l'oxygène dans l'eau, ce qui risque de provoquer une augmentation des affections virales ou bactériennes, indirectement une hausse de la mortalité des poissons ;

- l'ombre produite au-dessus des cours d'eau, régule aussi la quantité de lumière. À long terme, un surcroît de lumière peut être source de surdéveloppement d'algues aquatiques et d'eutrophisation du milieu, néfaste à la vie des organismes vivants ;

- les formations végétales riveraines assurent un apport constant en matière organique (végétale et animale), assurant l'échelle trophique (feuilles mortes, insectes tombant des arbres, etc.). De plus, beaucoup d'insectes ont besoin des tiges de la végétation riveraine pour se développer (éphémères, libellules, etc.) ;

- les formations végétales riveraines participent à l'élimination de pollutions diffuses, en réduisant la teneur des eaux en nitrates et phosphates et en diminuant la concentration en pesticides ;

- indépendamment de ces fonctions écologiques vitales pour le maintien de la biodiversité, la végétation rivulaire joue d'autres rôles ou procure d'autres avantages, tels que le maintien des sols en place face à l'érosion, une fonction régulatrice du cycle hydrologique, un effet brise-vent ou encore des fonctions paysagères ou récréatives.

Lorsque l'absence de végétation riveraine se cumule avec une chenalisation, une incision du lit ou encore une retenue de seuil, les effets négatifs de ces interventions sont amplifiés.

Protection des berges

CONTEXTE

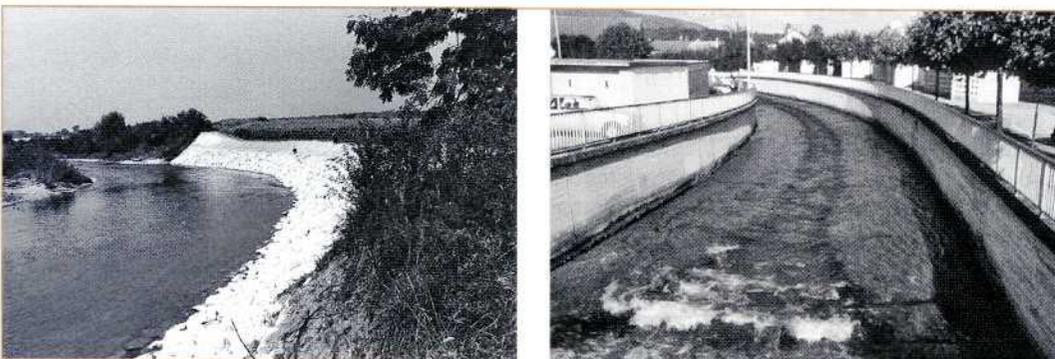
Afin notamment de préserver le maximum d'espace pour l'agriculture et l'urbanisation dans les plaines alluviales, des milliers de kilomètres de berges de cours d'eau ont été protégés contre les processus d'érosion, le plus souvent au moyen de techniques dites « lourdes » à base de perrés, de murs de béton, d'enrochements, d'épis, de palplanches, de gabions, etc. (figure 8).

PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS IDENTIFIÉS

Blocage de la dynamique latérale

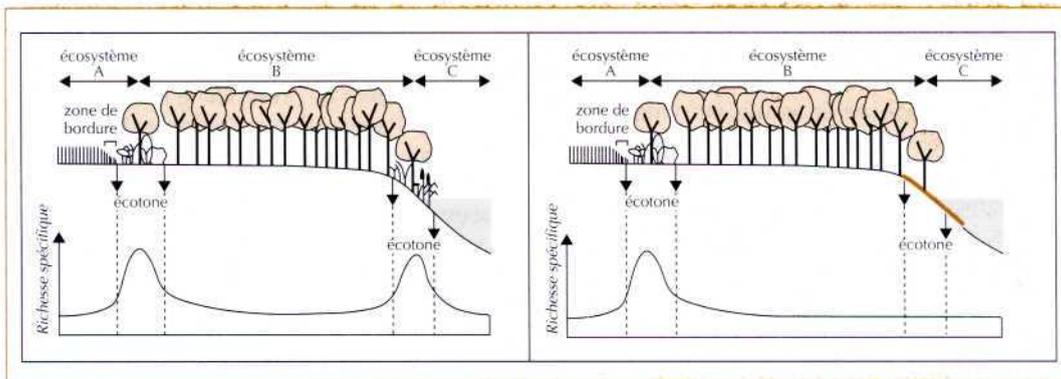
Un hydrosystème fluvial naturel est caractérisé par une diversité géomorphologique dont le moteur est, notamment dans un cours d'eau à méandres, l'érosion des berges et la migration latérale du chenal vif. Ces processus d'érosion, de transport de sédiments, de dépôt, de recoupement de méandre, ont pour effet de créer, détruire, recréer, dans une courte échelle de temps, une diversité de milieux dont la grande richesse écologique tient justement à leur fréquence de régénération. Le blocage des processus géodynamiques par des protections de berges, qu'elles soient minérales ou végétales, se traduit donc par un appauvrissement général de la qualité fonctionnelle du corridor fluvial. L'absence de processus d'érosion latérale entraîne de surcroît une baisse de la « production » de sédiments grossiers par manque de reprise du stock alluvial disponible sur les berges. Or, l'équilibre débit liquide/débit solide est un élément essentiel de la dynamique fluviale. Cet effet est d'autant plus sensible sur les cours d'eau à dynamique active et coulant dans des alluvions non cohésives.

Enfin, il est couramment admis aujourd'hui que les protections de berge favorisent l'incision (érosion verticale du lit mineur) du lit, au moins localement.



◀ Figure 8 - Quelques exemples de protections de berges «classiques».

► Figure 9 - Exemple de réduction de la richesse spécifique au niveau de l'écotone « rive » suite à une protection de berges (d'après Amoros *et al.*, 1993).



Appauvrissement de la qualité écologique des rives

Les protections de berges se traduisent généralement par une simplification des caractéristiques écologiques des rives. Outre la perte d'habitat rivulaire (sauf parfois dans le cas d'enrochements libres dégradés que peuvent affecter certaines espèces de poissons, mais là encore on ne considère qu'un compartiment de la biodiversité), les protections de berges « lourdes » remplacent par un système simple **l'écotone⁴ de rive** naturellement beaucoup plus complexe et favorable à une forte augmentation de la biodiversité : systèmes racinaires des arbres de la ripisylve, hélophytes de pied de berge, sous-berges, etc. Les techniques de protection de berge par **génie végétal** réduisent notablement ce type d'impact.

4. Zone de transition et de contact, généralement étroite et clairement définie, entre deux écosystèmes distincts.

Aggravation des autres impacts liés à la chenalisation

Les protections de berges artificielles ont souvent été mises en place à l'occasion d'autres types d'interventions (rectification du lit, rescindements de méandres, recalibrages, endiguement, suppression de la ripisylve, etc.). Les impacts induits par ces protections viennent donc aggraver les impacts liés à ces autres interventions.

Endiguement et merlons de curage

CONTEXTE

De très nombreux cours d'eau français ont été endigués, parfois sur de très longues distances (figure 10). **En zone urbanisée**, l'endiguement étroit des cours d'eau, souvent très ancien, avait pour objectif de réduire la fréquence des inondations dommageables aux personnes et aux biens dans des zones à forte concentration humaine. **En zone rurale**, l'endiguement des cours d'eau

répond à un objectif complémentaire : outre la protection des villages et hameaux situés dans le lit majeur inondable, parfois très loin du cours d'eau, il vise aussi la réduction de la fréquence de submersion des terrains cultivés.

Le principe de l'endiguement est simple : on érige le long du cours d'eau, dans la zone où



▲ Figure 10 - En haut : endiguement en béton sur les deux berges en zone urbanisée. En bas : digue en enrochements + remblai (sapé par déversement) en zone rurale (la rivière est à gauche).



◀ Figure 11 - À gauche: vue aérienne d'un système à double endiguement en zone rurale (protection des cultures) : étroit pour les crues fréquentes et large pour les crues plus rares. À droite : vue de merlons de curage se traduisant par un véritable endiguement.

se situent les enjeux à protéger, des structures linéaires plus ou moins sophistiquées (du simple remblai de terre ou de graviers jusqu'à des constructions de génie civil de plusieurs mètres de haut). L'endiguement peut être unilatéral ou bilatéral, large ou étroit, de faible ou de forte hauteur selon les sites, les enjeux et les moyens techniques et financiers des collectivités. Les produits de curage des rivières sont très souvent redéposés en cordons (merlons) le long des cours d'eau. À terme, ces cordons finissent par former de véritables digues (c'est d'ailleurs souvent l'un des objectifs secondaires de cette méthode...). Le linéaire de cours d'eau soumis à ce type de « pseudo-endiguement » est probablement extrêmement important et beaucoup de travaux de restauration pourraient déjà consister à supprimer ces merlons de curage.

L'endiguement d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que :

- la rectification du lit mineur ;
- la protection des berges contre l'érosion ;
- la suppression de la ripisylve.

Les impacts sont donc souvent multiples.

PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS IDENTIFIÉS

L'endiguement d'un cours d'eau se traduit généralement par des dysfonctionnements hydromorphologiques et écologiques dans le lit mineur mais surtout au sein du lit majeur.

Déconnexion entre le lit mineur et le lit majeur et ses annexes hydrauliques

Ces déconnexions ont des caractéristiques très variables selon les cours d'eau, la largeur de la zone intra-digues, la hauteur des digues, etc. :

- elles peuvent être permanentes. Plus aucune connexion n'existe quel que soit le niveau atteint par les crues ;

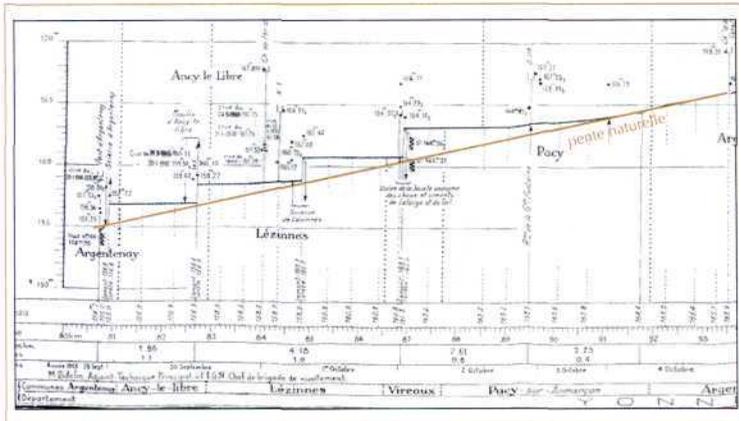
- elles peuvent être temporaires ou se traduire « seulement » par une moindre fréquence de connexion. Par exemple, les connexions qui avaient lieu au moins une fois par an ou une fois tous les 2 ans, ne se font plus que tous les 5 ans, tous les 10 ans, etc.

Selon l'intensité de ces « déconnexions », les impacts sur les milieux naturels sont plus ou moins importants et plus ou moins réversibles. D'une manière générale, la déconnexion du lit majeur de son lit mineur se traduit par :

- un appauvrissement des milieux naturels du lit majeur lié à une absence de submersion fréquente ;
- un appauvrissement des biocénoses terrestres associées ;
- un appauvrissement de certains compartiments des biocénoses aquatiques dont une partie du cycle de développement est lié à ces connexions (notamment la reproduction pour certaines espèces de poissons).

Incision du lit mineur suite à l'augmentation des débits dans la zone intra-digues, particulièrement si l'endiguement est étroit :

- abaissement de la nappe d'accompagnement, déstabilisation des ouvrages de génie civil (ponts, digues, protections de berges) ;
- aggravation des inondations en aval ;
- si le cours d'eau est rectifié et recalibré, s'ajoutent les dysfonctionnements liés à la rectification et au recalibrage.



▲ Figure 12 - Exemple de profil en long fortement altéré par la présence de seuils (source : IGN).



▲ Figure 13 - En haut : portion naturelle relictuelle présentant des faciès d'écoulement variés et des milieux diversifiés (bancs alluviaux diversément végétalisés). En bas : vue « classique » d'une retenue générée par l'ouvrage : un faciès lentique homogène sur plusieurs centaines de mètres.

Seuils/ouvrages transversaux

CONTEXTE

La plupart des cours d'eau français sont parsemés de nombreux seuils (hauteur de chute inférieure à 5 m) résultant d'anciens usages énergétiques (forges, moulins) ou agricoles (irrigation). Ces ouvrages n'ont pour la plupart plus de vocation économique « active ». Ils génèrent par contre des impacts importants sur les caractéristiques abiotiques (hydromorphologie, physico-chimie de l'eau, etc.) et biologiques (entraves à la circulation des espèces, dérive typologique, etc.) des hydrosystèmes. Ils peuvent cependant, rarement, présenter des intérêts : maintien d'une lame d'eau en étiage, maintien d'un niveau de nappe pour l'alimentation en eau potable ou l'irrigation, stabilisation du fond du lit, etc.

Ce type d'action anthropique a un effet immédiat sur **l'homogénéisation des faciès d'écoulement, donc des habitats aquatiques**. Des dizaines de milliers de kilomètres de cours d'eau sont aujourd'hui sous l'influence directe de seuils (figure 12). Les seuils sont souvent associés à d'autres interventions telles que :

- la rectification du lit mineur ;
- le recalibrage ;
- la protection des berges contre l'érosion ;
- la suppression de la ripisylve.

Les impacts sont donc souvent multiples (figure 13).

PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS IDENTIFIÉS

Les impacts hydromorphologiques et écologiques liés à la présence de seuils ont fait l'objet d'une étude récente (Malavoi, AREA, 2003). Quel que soit leur objectif initial (dérivation pour la force hydraulique ou l'irrigation, stabilisation du fond), les seuils en rivière, ont des impacts physiques et écologiques extrêmement importants.

Ces impacts peuvent être déclinés en trois grandes catégories :

- les seuils modifient les **flux** liquides, solides, biologiques : modification plus ou moins importante des hydrogrammes, blocage de la charge solide, difficulté de franchissement par les poissons et rupture de la continuité écologique pour les biocénoses aquatiques ;
- ils ont un effet **retenue**. Ils se traduisent à leur amont par un remous à l'origine de faciès d'écou-

lement lenticques et profonds en lieu et place des séquences naturelles de faciès d'écoulement (radiers, plats, mouilles, etc.). Outre ces altérations drastiques des habitats aquatiques, ces retenues favorisent le réchauffement de l'eau en étiage et aggravent les effets de l'eutrophisation ;

- ils ont un effet « **point dur** ». En réduisant notamment les processus naturels d'érosion latérale dans l'emprise de la retenue. Ils sont un point de blocage local de la dynamique fluviale qui perturbe les processus d'équilibrage géodynamique ; si, de plus, la portion soumise à l'effet retenue est rectiligne, endiguée ou recalibrée, s'ajoutent les dysfonctionnements liés à la rectification, à l'endiguement et au recalibrage.

Étangs implantés sur le cours d'eau

CONTEXTE

Il arrive fréquemment que des étangs aient été créés directement sur un cours d'eau, notamment dans un objectif halieutique (figure 14). Leur ligne d'eau a généralement été calée par un ouvrage (digue perpendiculaire à la vallée + seuil ou vannage) situé à l'extrémité aval du plan d'eau. Ce type d'intervention est donc un cas particulier et aggravé du contexte de seuil.

PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS OBSERVÉS

Les étangs positionnés sur un cours d'eau ont les mêmes types d'impacts morpho-écologiques que ceux décrits pour les seuils « classiques », mais généralement accentués :

- **modification des flux liquides, solides et biologiques.** La charge solide est ici totalement bloquée mais la fraction fine peut être brutalement relarguée lors des vidanges (impacts directs sur les biocénoses aquatiques vivant en aval et colmatage des substrats grossiers) ;

- **l'effet « retenue » est également aggravé,** notamment dans ses aspects biologiques. On identifie généralement un dysfonctionnement du compartiment piscicole du fait d'une « pollution » du cours d'eau par des espèces cypri-nicoles caractéristiques des zones extrêmement lenticques et favorisées ici par l'homme à des fins halieutiques. Dans le même esprit, la qualité de l'eau est également altérée du fait des effets de réchauffement ;

- **l'effet point dur est également aggravé,** puisque le cours d'eau n'a plus aucune capacité d'ajustement géomorphologique, tout processus d'érosion étant bloqué.

Extractions de granulats

CONTEXTE

Extractions en lit mineur (figure 15)

Les alluvions du lit mineur de la plupart des cours d'eau moyens à grands ont été intensément exploitées entre 1945 et le milieu des années 1990 (septembre 1994 : arrêté ministériel interdisant définitivement l'exploitation des alluvions dans les lits mineurs des cours d'eau). Il est à noter que sur plusieurs grands cours d'eau, tels que la Dordogne, la Loire, etc., les extractions en lit mineur avaient déjà été interdites avant cette date.

L'objectif de l'immédiat après-guerre était la reconstruction des villes détruites et cette tâche nécessitait une grande quantité d'alluvions fluviales pour la confection du béton. Par la suite, outre l'essor immobilier lié à la croissance démographique, les années 1960 à 1990 ont été marquées par le développement de grandes infrastructures routières et autoroutières qui ont nécessité des millions de m³ de remblais, eux aussi souvent constitués d'alluvions fluviales. Par exemple, sur la Loire à l'aval de sa confluence avec l'Allier, c'est environ 300 m³ par mètre linéaire de cours d'eau qui ont été exploités ! (Malaval, 1993).

Aujourd'hui, la plupart des cours d'eau exploités au cours de la seconde moitié du XX^e siècle sont encore **fortement déficitaires en sédiments grossiers.**

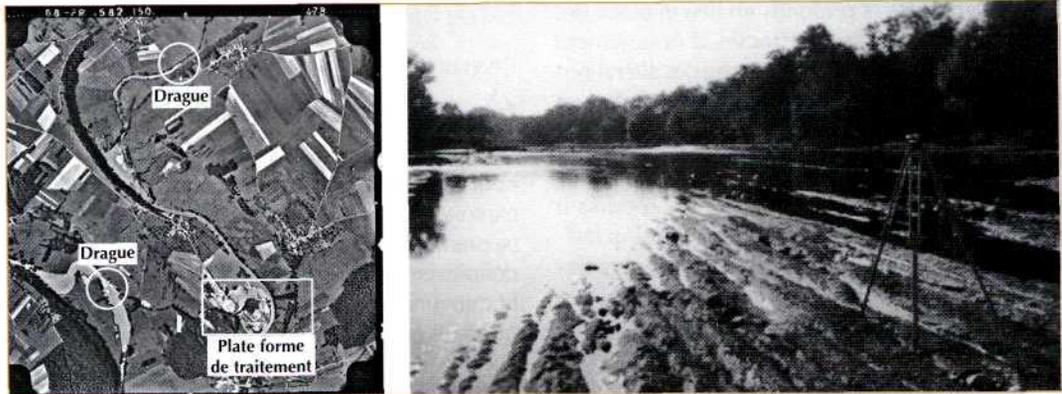
Les extractions en lit mineur de cours d'eau ont souvent été associées à d'autres interventions telles que :

- le surcalibrage du lit mineur (figure 15) ;
- la protection des berges contre l'érosion et l'endiguement plus ou moins « rustique » (mise en tas ou

▼ Figure 14 - Exemple d'étang implanté directement sur un cours d'eau (carte d'après Géoportail, IGN).



► Figure 15 - À gauche : extractions alluvionnaires en lit mineur par drague flottante. Noter les sur-élargissements liés à l'extraction en profondeur et en largeur (carte d'après IGN). À droite: résultats : incision généralisée du lit et absence d'alluvions sur le fond du lit mineur (la photo de droite montre les traces de « dents » des pelleuses dans les marnes).



en niers des rebus trop grossiers d'exploitation) pour protéger les plateformes de traitement.

Les impacts sont donc souvent multiples.

Extractions en lit majeur (figure 16)

Dès le début des années 1980, les impacts des gravières en lit mineur ayant été identifiés, il a été suggéré aux extracteurs de matériaux de ne plus exploiter dans le lit mineur des cours d'eau et de se déplacer vers le lit majeur. Pour ne pas avoir à construire de nouvelles plateformes de traitement, les exploitants se sont souvent installés à proximité immédiate des anciens sites d'extraction en lit mineur. La présence d'extraction en lit majeur est donc un bon indice de présence d'anciennes exploitations en lit mineur.

Les extractions en lit majeur de cours d'eau ont souvent été associées à d'autres interventions telles que :

- la rectification du lit mineur et le rescindement de méandres pour augmenter les surfaces

exploitables et réduire les contraintes d'extraction (figure 16) ;

- la protection des berges contre l'érosion et l'endiguement plus ou moins « rustique » pour protéger les zones d'extraction et les plateformes de traitement.

PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS IDENTIFIÉS

Extractions en lit mineur : une incision généralisée et rapide des lits fluviaux

Depuis l'effondrement du Pont Wilson à Tours (1978), de nombreuses études ont été consacrées à l'évaluation des impacts hydromorphologiques et écologiques causés par l'incision des cours d'eau liée aux extractions. Les principaux impacts reconnus sont :

- l'abaissement de la nappe phréatique alluviale et ses effets indirects comme l'assèchement des écosystèmes riverains et la réduction d'une ressource en eau potable de qualité ;

► Figure 16 - Exemples d'extractions en lit majeur. On observe que le lit mineur a souvent été rectifié et endigué.



- la déconnexion entre le lit mineur, le lit majeur et ses annexes hydrauliques :

-elle peut être **permanente**. Plus aucune connexion n'existe quel que soit le niveau atteint par les crues ;

-elle peut être **temporaire** ou se traduire « seulement » par une moindre fréquence de connexion. Par exemple, les connexions qui avaient lieu au moins une fois par an ou une fois tous les 2 ans, ne se font plus que tous les 5 ans, tous les 10 ans, etc. Selon l'intensité de ces « déconnexions », les impacts sur les milieux naturels sont plus ou moins importants et plus ou moins réversibles.

D'une manière générale, la déconnexion du lit majeur de son lit mineur se traduit par :

- un appauvrissement des milieux naturels du lit majeur lié à une absence de submersion fréquente ;

- un processus accéléré de maturation des formations végétales riveraines, avec la fixation des sols et des atterrissements originellement mobiles ;

- un appauvrissement des biocénoses terrestres associées ;

- un appauvrissement de certains compartiments des biocénoses aquatiques dont une partie du cycle de développement est lié à ces connexions (notamment la reproduction pour certaines espèces de poissons) ;

- la modification de la nature des fonds (mise à nu du substratum notamment), avec des répercussions majeures sur les biocénoses benthiques et le peuplement piscicole (baisse drastique de la diversité des habitats) ;

- l'érosion accrue des berges et leur déstabilisation, le cours d'eau cherchant à compenser le déficit de charge solide par une augmentation de la sinuosité (réduction d'énergie) et une recharge latérale ;

- le déchaussement d'ouvrages d'art (ponts, digues, etc.).

Extractions en lit majeur : elles rendent l'incision irréversible

- **L'impact direct des extractions en lit majeur** est la disparition immédiate et définitive (contrairement à l'agriculture par exemple) des milieux naturels humides de la plaine alluviale. Les bras morts, noues, prairies humides et autres annexes hydrauliques sont irrémédiablement remplacées par des bassins d'extractions de plusieurs milliers de mètres cubes.

- **En ce qui concerne les impacts indirects des extractions en lit majeur**, le plus grave est de rendre irréversible le processus d'enfoncement du lit mineur car la recharge du cours d'eau par l'érosion latérale est impossible : le concept d'espace de mobilité est inapplicable.

Conclusion

Des dizaines de milliers de kilomètres de rivières françaises présentent aujourd'hui des dysfonctionnements hydromorphologiques importants liés à des siècles d'interventions humaines pénalisantes. Le linéaire précis de ces cours d'eau altérés sera connu d'ici quelques années, lorsqu'aura été mise en œuvre la méthode SYRAH en cours d'élaboration par le Cemagref et le MEDAD⁵. D'ici là, des mesures de restauration hydromorphologique sont d'ores et déjà envisageables et un manuel technique permettant leur mise en œuvre sortira fin 2007 (Adam et al., 2007). L'article « La restauration hydromorphologique des cours d'eau : concepts et principes de mise en œuvre », publié dans ce même numéro (p. 49-61), présentera les concepts et principes généraux de restauration hydromorphologique proposés dans ce manuel.

⁵ Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables.

Résumé

Plusieurs siècles d'interventions humaines directes et indirectes sur les cours d'eau ont conduit à une altération de leur état écologique, souvent intense, parfois irréversible. Dans cet article, les principales interventions humaines à l'origine de dysfonctionnements hydromorphologiques pouvant contribuer à ce médiocre état écologique sont décrites sous l'angle de leurs impacts physiques et biologiques sur les cours d'eau. Un second article traitera des concepts et des principes de restauration adaptés à ces dysfonctionnements.

Abstract

Several centuries of direct and indirect anthropogenic actions on streams have drive to a degradation of their ecological state, often intense, sometimes irreversible. Major anthropogenic actions driving to hydromorphological dysfunctions are described below, from the angle of their physical and biological impacts on streams. A second paper will deal with the concepts and principles of restoration adapted to these dysfunctions.

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).
- AMOROS, C., PETTS, G. (eds.), 1993, *Hydrosystèmes fluviaux*, Masson, Paris, 300 p.
- MALAVOI, J.-R., AREA, 2003, *Stratégie d'intervention de l'Agence de l'Eau sur les seuils en rivière*, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 134 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.