

# Préservation et restauration physique des cours d'eau. Aspects techniques

■ J.-R. MALAVOI<sup>1</sup>, Ph. ADAM<sup>2</sup>

Mots-clés : chenalisation, dysfonctionnements morpho-écologiques, renaturation, restauration, typologie

## Introduction

Des milliers de kilomètres de cours d'eau français ont vu depuis plusieurs décennies leurs caractéristiques géomorphologiques (géométrie, substrats...) et géodynamiques (processus) fortement altérées par des interventions anthropiques diverses :

- chenalisations excessives (recalibrage, rectification, endiguement), se traduisant notamment par une banalisation des caractéristiques abiotiques des milieux aquatiques ;
- extractions de matériaux avec leurs effets bien connus que sont les incisions du lit mineur, la disparition du substrat alluvial et l'affaissement de la nappe d'accompagnement ;
- implantations de barrages et de seuils avec des effets nombreux et variés comme le piégeage des alluvions, la création de longs plans d'eau en amont en lieu et place des faciès d'écoulement naturels, l'augmentation du réchauffement de l'eau en été, etc.

Or, ces caractéristiques physiques conditionnent l'état et le fonctionnement écologique des milieux aquatiques qui se retrouvent donc eux aussi très dégradés. C'est pourquoi la restauration physique des cours d'eau, parfois nommée renaturation, est l'une des priorités de la directive cadre européenne sur l'eau. La restauration des cours d'eau est une discipline technico-scientifique relativement nouvelle et les réticences socio-politiques vis-à-vis de projets remettant en cause des aménagements parfois récents (apogée des travaux de chenalisation : années 60-70), sont très vivaces. Les exemples de restauration physique de cours d'eau sont donc encore peu fréquents en

France mais de nombreux retours d'expérience existent à l'étranger, notamment en Allemagne, en Suisse et au Royaume-Uni.

Les éléments présentés dans cet article sont une synthèse d'une étude plus importante initiée par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse [MALAVOI, 2006].

## 1. Typologie des dysfonctionnements à l'origine des travaux de restauration

Nous présentons ici une typologie des dysfonctionnements géomorphologiques et géodynamiques pouvant conduire à des travaux de restauration. Cette typologie peut être déclinée selon deux compartiments :

- les dysfonctionnements observables à l'échelle du lit mineur/moyen,
- les dysfonctionnements observables à l'échelle du lit majeur.

Nous ne présenterons que les dysfonctionnements affectant le lit mineur.

La typologie des dysfonctionnements au sein du lit mineur s'articule en trois grandes « familles » :

- dysfonctionnements liés à une incision du lit mineur,
- dysfonctionnements liés à une modification drastique des caractéristiques de l'écoulement et de la nature des berges,
- dysfonctionnements liés à une modification drastique de la ripisylve.

### 1.1 Dysfonctionnements liés à une incision du lit mineur

#### 1.1.1. Causes anthropiques

Ce premier type de dysfonctionnement physique est généralement lié à l'une ou l'autre des trois grandes

<sup>1</sup> Malavoi Ingénieur Conseil 207 rue de l'Église 01600 Parcieux.  
<sup>2</sup> BIOTEC France 65-67, cours de la Liberté 69003 Lyon.

familles d'interventions impliquées dans la plupart des dysfonctionnements morpho-écologiques observés aujourd'hui sur les cours d'eau.

- Des barrages en amont qui bloquent la charge sédimentaire de fond et conduisent à leur aval à une incision généralisée du lit mineur par reprise du stock alluvial disponible sur le fond du lit (érosion progressive). Ces ouvrages peuvent même conduire à de véritables métamorphoses fluviales (exemple de l'Isar ci-après où le tressage a été remplacé très rapidement par le méandrage suite à la construction d'un barrage). Le lit mineur s'est simultanément enfoncé de 2 m en moyenne lors de cette phase de métamorphose.

- Des extractions massives de granulats en lit mineur (interdites en France depuis 1994) : extraction des matériaux sur le site d'exploitation + érosion progressive et régressive.

- Dans une moindre mesure des travaux de chenalisation favorisant la concentration de l'écoulement en crue et donc les processus d'érosion du fond du lit. On peut ajouter une cause supplémentaire qui vient parfois s'ajouter aux précédentes : la modification de l'hydrologie de crue. Par exemple, la réduction de la fréquence des crues morphogènes (Q1 à Q5) par un barrage écrêteur va permettre un développement important de la végétation arbustive puis arborée sur les bancs alluviaux, auparavant fréquemment remaniés. Cette végétalisation accentue la concentration de l'écoulement dans un chenal plus étroit et contribue à favoriser l'incision. De plus, elle empêche la remobilisation fréquente des alluvions grossières stockées sur les bancs du lit moyen et participe ainsi au déficit de charge sédimentaire en aval, donc à l'incision.

### 1.1.2. Impacts physiques et écologiques

L'incision du lit mineur peut conduire à plusieurs types de dysfonctionnements géomorphologiques et écologiques, non exclusifs les uns des autres.

- Changement complet de style fluvial et notamment, disparition du tressage au profit du méandrage (on parle alors de métamorphose fluviale). Les milieux naturels et les biocénoses liés au tressage disparaissent (figure 1).

- Disparition du substrat alluvial et remplacement de celui-ci par un affleurement généralisé du substratum sous-jacent (figure 2). C'est le cas sur la Loire forézienne, l'Allier à Pont-du-Château, l'Ardèche à Aube-

nas, le Tarn en aval de Florac, la Garonne à Toulouse, etc. Les biocénoses aquatiques, pour la plupart inféodées à la présence d'un substrat alluvial, disparaissent. Bien que cela ne soit pas encore totalement démontré, il semble que la disparition du substrat alluvial se traduise aussi par une réduction de la capacité auto-épuratoire du cours d'eau.

- Abaissement du niveau de la nappe alluviale et dépérissement des milieux naturels liés à la présence d'une nappe haute. Remplacement des bois tendres de la ripisylve par des bois durs beaucoup moins représentatifs des milieux alluviaux.

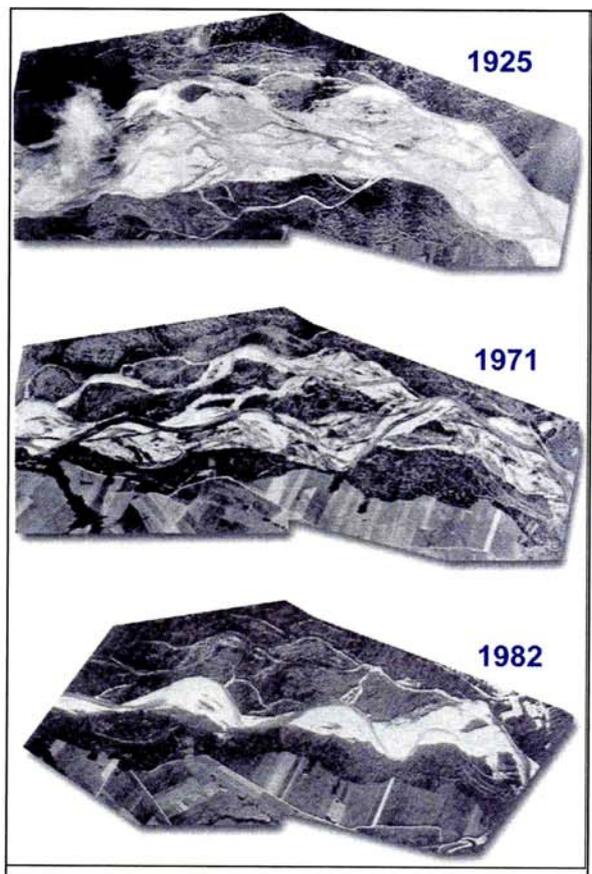


Figure 1. Métamorphose fluviale de l'Isar à Geretsried à la suite de la construction du barrage de Sylvenstein en 1959 [A. WAGNER, I. WAGNER, 2002]

### 1.2. Dysfonctionnements liés à une modification drastique des caractéristiques de l'écoulement et de la nature des berges

Dans cette famille sont regroupés tous les dysfonctionnements se traduisant par une modification importante des conditions hydrodynamiques locales (vitesse, hauteurs d'eau) ainsi que des substrats. Ces trois



Figure 2. Apparition du substratum rocheux (marnes oligocènes) sur l'Allier à la suite des extractions de granulats [MALAVOI, 1996]

paramètres sont souvent considérés comme les principaux descripteurs des « habitats » aquatiques. Nous y ajouterons aussi la disparition des caches et abris, descripteurs secondaires importants, notamment vis-à-vis de la faune piscicole. Les protections de berges en génie civil sont incluses dans cette catégorie.

Les dysfonctionnements relevant de cette catégorie générale peuvent être déclinés en sous-catégories :

- modification des faciès d'écoulement : généralement homogénéisation et simplification ;
- modification des vitesses et des profondeurs : généralement réduction des vitesses et des profondeurs en étiage et augmentation en crue ; les conditions deviennent alors critiques pour les biocénoses ;
- réduction du linéaire de cours d'eau ;

- remplacement des berges naturelles par des protections en enrochements, béton, palplanches etc.

### 1.2.1. Causes anthropiques

La plupart des dysfonctionnements évoqués ci-dessus relèvent de travaux de chenalisation [WASSON *et al.*, 1998]. La réduction du linéaire de cours d'eau, et par conséquent la réduction directe et immédiate de la « quantité d'habitat disponible » est liée à un type particulier mais très fréquent de chenalisation : le « rescindement » des méandres (d'où de nombreux projets de restauration à base de « reméandrage »). On peut ajouter aussi l'effet d'ouvrages transversaux comme les seuils et barrages qui se traduisent à leur amont par de longs faciès lenticulaires et profonds en lieu et place des séquences naturelles de faciès d'écoulement (radiers, plats, mouilles, etc.) [MALAVOI, 2003].

La chenalisation des cours d'eau, initiée en France et plus généralement en Europe depuis plusieurs siècles s'est accélérée au cours de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup>. Dans les zones rurales, cette chenalisation a été justifiée par des objectifs uniquement agricoles : réduire la fréquence de submersion des terres cultivées (maïs) et faciliter l'exploitation des parcelles.

Les principaux types de travaux de chenalisation sont le recalibrage, la rectification du tracé ou rescindement, l'endiguement.

- Le recalibrage (figure 3) : augmentation du gabarit du cours d'eau afin de permettre le transit sans débordement d'une crue de projet (souvent quinquen-

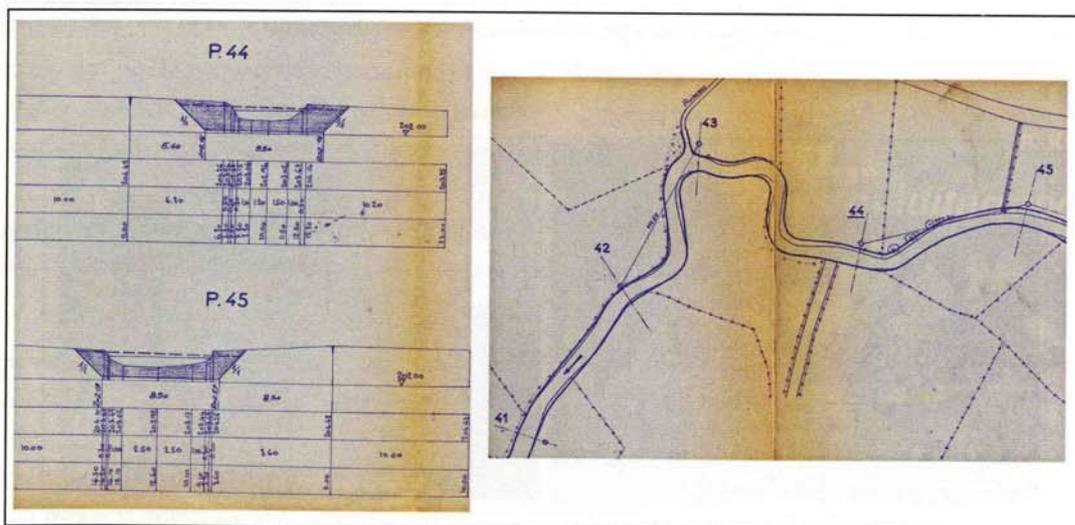


Figure 3. Exemple d'un avant-projet de recalibrage de cours d'eau (extrait avant-projet DDAF, 1969)

nale à décennale en zone rurale et cinquantennale à centennale en zone urbaine.).

- La rectification ou le « rescindement » (figures 4 et 5) : recoupement des méandres et sinuosités afin d'accélérer le passage de la crue et/ou de faciliter l'exploitation des parcelles (travaux souvent réalisés à l'occasion de remembrements). Sur les cours d'eau navigables ou flottables, de nombreux rescindements ont eu pour objectif principal l'amélioration de la navigation ou du flottage du bois.

- L'endiguement (figure 6) plus ou moins étroit du lit mineur, souvent associé à une rectification du tracé.

- La présence d'ouvrages transversaux (seuils, barrages, figures 7 et 8) : des dizaines de milliers de kilomètres de cours d'eau sont sous l'influence directe de seuils ou barrages qui se traduisent par une altération des faciès d'écoulement à leur amont. On parle de « effet plan d'eau » ou « effet retenue » [MALAVOI, 2003].



Figure 4. Exemple de rescindement de méandres sur l'Orain (photo Luc TERRAZ, DIREN Franche-Comté)

### 1.2.2. Impacts physiques et écologiques

La plupart des travaux de chenalisation, ainsi que les ouvrages transversaux, se traduisent par une simplification des écoulements (faciès) et par conséquent des habitats aquatiques. Cette homogénéisation des faciès se convertit quasi-directement en une simpli-

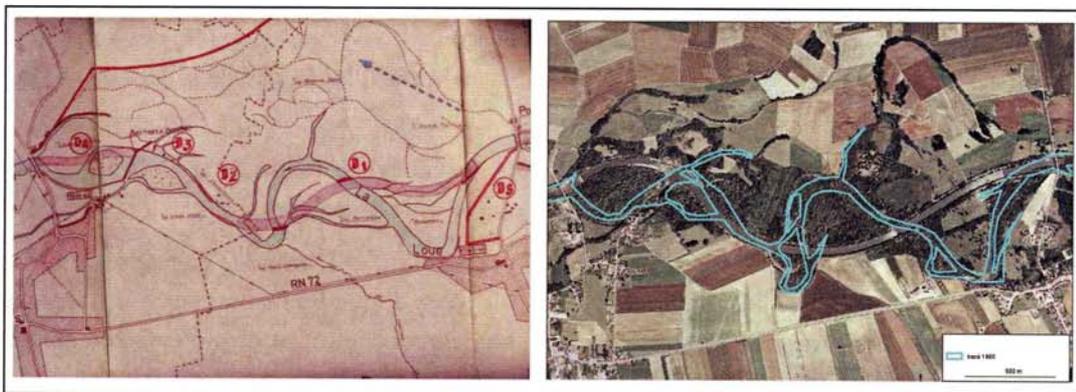


Figure 5. Exemple d'avant-projet de rescindement de méandres sur la Loue et tracé actuel



Figure 6. Exemples de cours d'eau recalibrés, rectifiés et endigués (voire bétonnés, photo de gauche en Suisse) (photos MALAVOI)

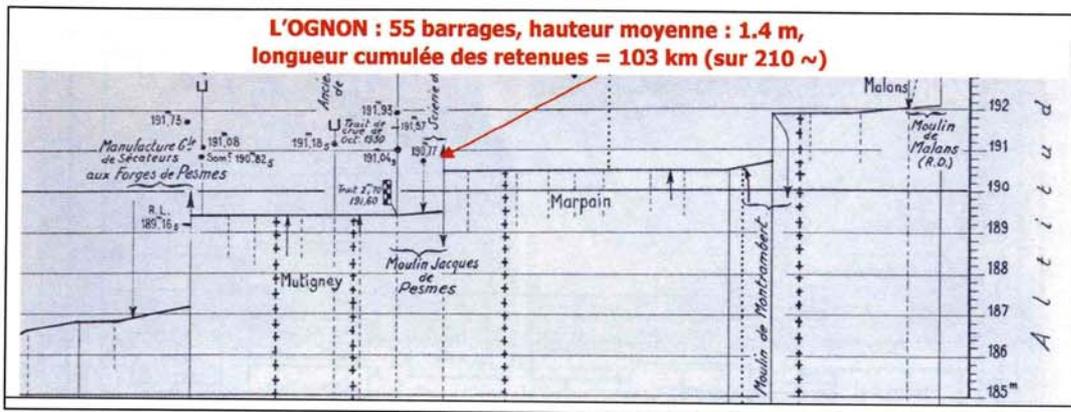


Figure 7. Extrait du profil en long IGN de l'Ognon



Figure 8. L'Ognon : comparaison visuelle entre un secteur naturel (faciès variés, radiers, plats, mouilles) et un secteur sous l'effet d'un seuil (chenal lentique sur 1 km) (photos MALAVOI)

fication des biocénoses aquatiques, c'est-à-dire en une chute drastique de la biodiversité. Parallèlement, une réduction sévère des biomasses est généralement identifiée.

Le fait que le compartiment « habitat » soit le premier et le plus visiblement touché par ce type de travaux explique pourquoi la plupart des opérations de restauration se concentrent généralement sur la remise en état de ce compartiment.

### 1.3. Dysfonctionnements liés à une modification drastique de la végétation riveraine

#### 1.3.1. Causes anthropiques

Ce type de dysfonctionnement accompagne parfois les précédents et particulièrement les travaux de chenalisation. Il n'est pas rare en effet, au moins en phase travaux, que la végétation des berges soit partiellement ou intégralement supprimée sur l'une ou les deux berges. Mais la suppression totale ou partielle

de la ripisylve peut aussi être tout simplement liée à des interventions plus ou moins fréquentes des riverains agriculteurs, voire des syndicats d'entretien.

#### 1.3.2. Impacts physiques et écologiques

Lorsqu'elle est réalisée de façon trop systématique, la suppression de la ripisylve entraîne des effets physiques mais surtout physico-chimiques et écologiques importants :

- une accentuation des effets de l'eutrophisation sur les cours d'eau fortement chargés du fait d'une augmentation de l'ensoleillement et des températures estivales,
- une disparition des habitats et structures d'abris pour la faune aquatique liés aux systèmes racinaires,
- une réduction des apports trophiques allochtones : feuilles mortes, insectes tombants des arbres, etc.

Lorsque cette absence de ripisylve s'ajoute à une chenalisation, une incision du lit ou encore une retenue de seuil, les effets négatifs de ces interventions sont encore accentués.

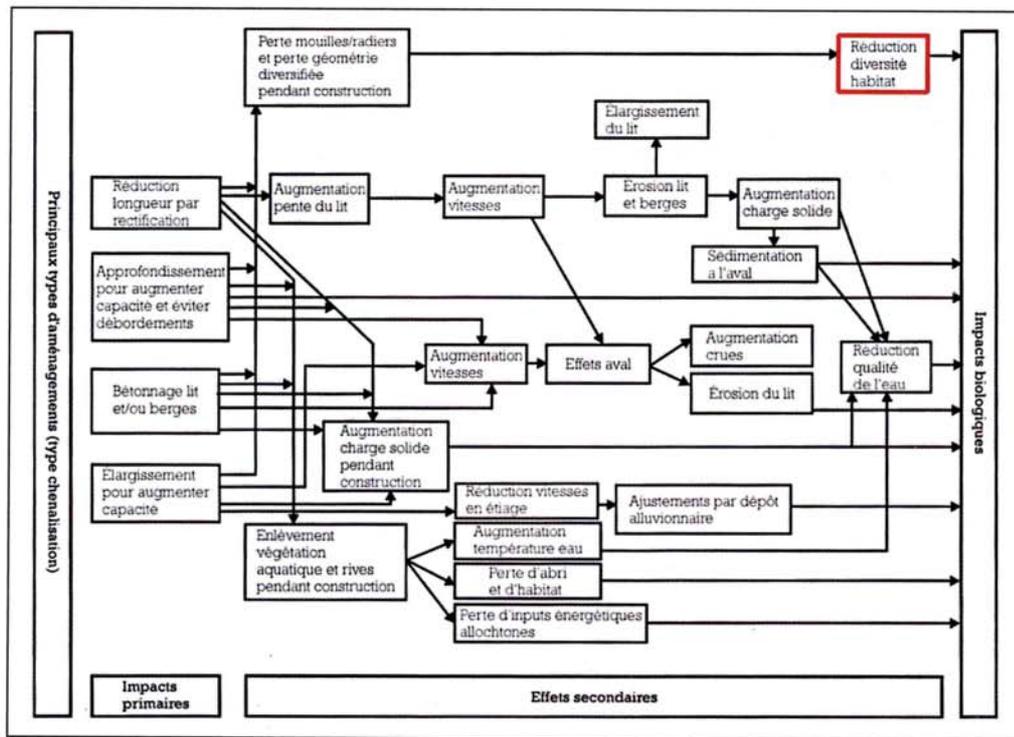


Figure 9. Synthèse des impacts géomorphologiques de la chenalisation [WASSON et al., 1998]

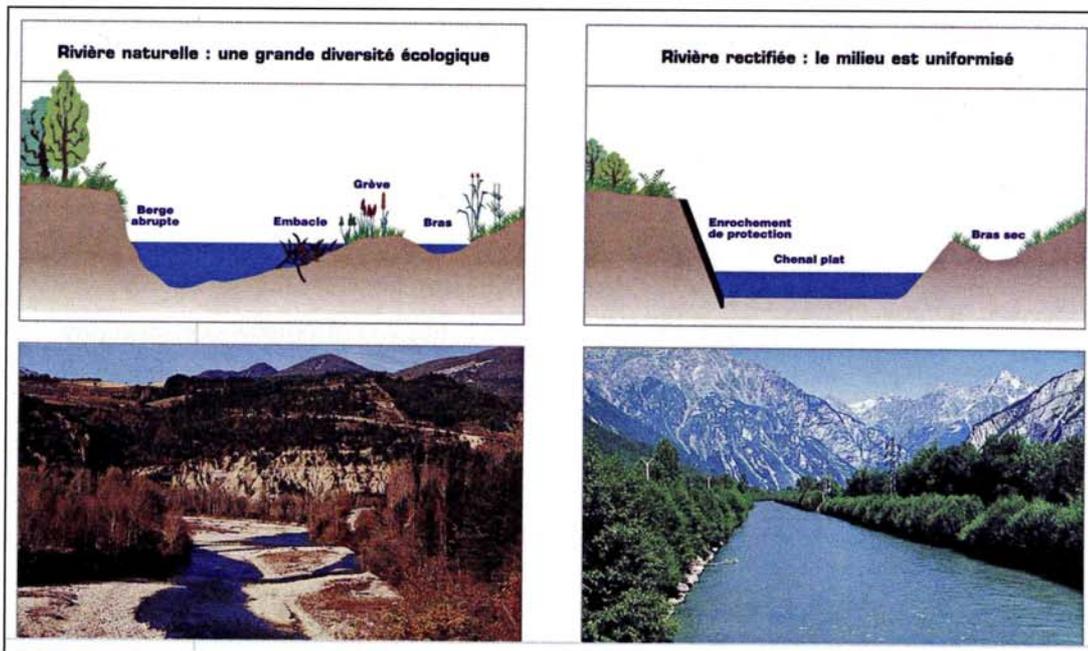


Figure 10. Exemple des effets de la chenalisation sur la simplification des caractéristiques géomorphologiques des cours d'eau et des habitats aquatiques et rivulaires, in [MALAVOI et al., 1998]

## 2. Typologie géodynamique fonctionnelle

En préalable à une présentation des méthodes de restauration, il nous semble indispensable de proposer

une typologie géodynamique dont l'objet est de déterminer l'intensité de l'activité géodynamique actuelle ou potentielle du cours d'eau. De celle-ci dépendent en grande partie :



Figure 11. Exemple de portions de cours d'eau sans ripisylve (photos C. THÉVENET)

- les caractéristiques géomorphologiques du cours d'eau : géométrie, substrats, intensité actuelle ou potentielle des processus d'érosion latérale, verticale et de transport solide ;

- ses caractéristiques écologiques globales ;

- ses capacités d'ajustement géomorphologique, notamment suite à des travaux de restauration.

Notre postulat est le suivant : plus un cours d'eau est puissant, plus ses berges sont facilement érodables, plus son transport solide est intense : plus il peut être restauré à moindre coût et avec des résultats rapides car il réalisera lui même une grande partie du « travail ».

## 2.1. Fondements scientifiques

### 2.1.1. 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. Les travaux pionniers de BROOKES sur ce sujet (1983, 1985, 1986, 1988) repris dans [WASSON et al., 1998] ont largement défriché le terrain.

D'une manière synthétique, les résultats de BROOKES permettent d'identifier différents seuils de puissance spécifique : un seuil « majeur » apparaît autour de  $35 \text{ W/m}^2$  au-dessus duquel la puissance naturelle de cours d'eau anciennement chenalisés a permis à ces derniers de se réajuster morphologiquement et de retrouver petit à petit une géométrie plus naturelle. Un seuil mineur est visible autour de  $25 \text{ W/m}^2$ . Les autres valeurs de puissance ne permettent pas d'identifier de seuils supplémentaires.

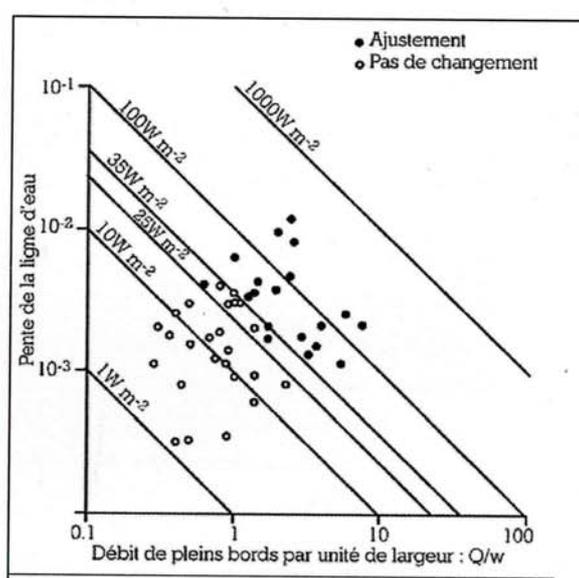


Figure 12. Les seuils de puissance spécifiques, d'après [BROOKES, 1988] in [WASSON et al., 1998]

### 2.1.2. L'érodabilité des berges

Nos propres investigations nous amènent à penser que ce seuil autour de  $25\text{-}35 \text{ W/m}^2$  peut être affiné en fonction des caractéristiques sédimentologiques des berges des cours d'eau et notamment de leur érodabilité. Ainsi des cours d'eau présentant des puissances faibles ( $10\text{-}15 \text{ W/m}^2$ ) peuvent néanmoins avoir une activité géodynamique relativement importante si leurs berges sont non ou peu cohésives (sables par exemple) 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 ( $40\text{-}50 \text{ W/m}^2$ ) 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.

### 2.1.3. Le transport solide

Outre leur rôle en termes d'activation des processus géodynamiques, les apports de charge alluviale grossière en provenance de l'amont sont extrêmement importants en termes de régénération du substrat alluvial indispensable à de nombreux organismes composant les biocénoses aquatiques.

Compte tenu de ces observations, il nous semble important de caractériser les cours d'eau, tout du moins dans un objectif d'évaluation de l'efficacité de travaux de restauration, par :

- leur puissance spécifique : P ;
- l'érodabilité potentielle naturelle de leurs berges (abstraction faite des protections éventuelles existantes) : B ;
- leur transport solide (réel) : T.

### 2.1.4. Proposition de typologie

Sur la base de ces trois variables, il est possible de proposer une typologie simple, qui pourrait être mise en œuvre à l'échelle nationale ou renseignée au fur et à mesure dans le cadre d'études ponctuelles, préalables aux travaux de restauration.

## 3. Typologie des travaux de restauration

### 3.1. Concepts généraux

La restauration d'un cours d'eau consiste à « assister » les processus abiotiques et biotiques d'un écosystème pour leur permettre de retrouver leur état antérieur aux interventions pénalisantes. Cette restauration peut être menée « passivement » (en réduisant les « forces de dégradation ») ou « activement » (par des interventions plus lourdes).

Le concept de restauration passive fait référence à la typologie géodynamique des cours d'eau présentée ci-dessus. Plus un cours d'eau sera puissant, avec des

berges facilement érodables et un transport solide encore important, plus sa restauration sera facile, peu coûteuse et avec des effets positifs rapides. La simple suppression des forces de dégradation (enrochements, barrages) suffira généralement pour que le cours d'eau se réajuste rapidement, tant du point de vue physique qu'écologique (à condition pour ce dernier point, que la qualité physico-chimique de l'eau soit correcte). La restauration active sera nécessaire sur les cours d'eau peu puissants, peu actifs et à faible transport solide. Elle nécessitera des travaux plus coûteux car plus aboutis dès le départ dans la mesure où le cours d'eau lui-même ne pourra participer au « réajustement ».

### 3.2. Niveaux d'ambition des travaux de restauration

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

- Si le fonctionnement morpho-écologique est encore bon : préservation : **catégorie P**.

Il s'agira le plus souvent d'opérations de sensibilisation ou de maîtrise foncière de secteurs menacés par une pression anthropique latente.

- Si le fonctionnement morpho-écologique est légèrement dégradé mais encore correct : limitation des dysfonctionnements futurs : **catégorie L**.

Une 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.

- Si l'état est dégradé : restauration : **catégorie R**.

Dans la catégorie R, on peut alors distinguer trois niveaux d'objectifs de restauration (qui correspondent aussi à trois niveaux d'ambition).

	1	2	3	4
<b>puissance - P -</b>	>100 W/m <sup>2</sup>	100-30 W/m <sup>2</sup>	30-10 W/m <sup>2</sup>	< 10 W/m <sup>2</sup>
<b>érodabilité des berges - B -</b>	forte	moyenne	faible	nulle
<b>transport solide - T -</b>	fort	moyen	faible	nul

Figure 13



Figure 14. Exemples de travaux de restauration de niveau R1  
Différents exemples d'aménagements essentiellement piscicoles : en haut à gauche, risberme en enrochements sur la Bienne ; en haut à droite, agencement de blocs sur la Savoureuse ; au centre, amas de blocs et radier artificiel sur le Drugeon ; en bas à gauche, caches artificielles sur un petit ruisseau affluent de l'Allondon et en bas à droite, aménagements piscicoles sur l'Arve (photos BIOTEC et MALAVOI)

- Niveau R1 : objectif de restauration d'un compartiment de l'hydrosystème, souvent piscicole, dans un contexte où l'on ne peut réaliser une véritable restauration fonctionnelle. Mise en place de structures de diversification des écoulements : déflecteurs, petits seuils, 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 est surtout utilisé en zone urbaine ou péri-urbaine, où les contraintes foncières sont importantes.

- Niveau R2 : objectif de restauration fonctionnelle plus globale. L'amélioration de tous les comparti-

ments 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 du lit mineur actuel). Il peut être atteint par exemple par un réméandrage pour un cours d'eau rectifié, par un écartement des digues pour un cours d'eau fortement endigué

- Niveau R3 : niveau R2 + espace de mobilité ou de fonctionnalité. Restauration fonctionnelle totale de l'hydrosystème y compris la dynamique d'érosion et le corridor fluvial. L'emprise nécessaire pour que ce niveau d'ambition soit pertinent est au minimum de l'ordre de 10 fois la largeur). Si le cours d'eau est actif

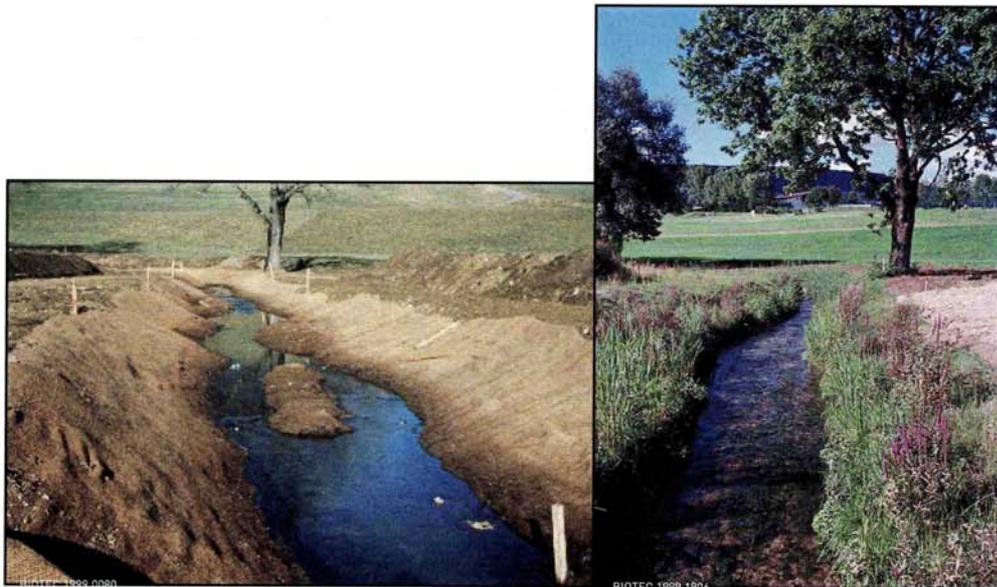


Figure 15. Exemples de travaux de restauration de niveau R2. Remise à ciel ouvert d'un petit cours d'eau avec une emprise foncière limitée ; photo de gauche, lors des terrassements puis à droite, 6 mois après les travaux (photos BIOTEC)

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 lequel on laissera s'installer une végétation alluviale naturelle (corridor fluvial).

Il arrive parfois qu'un projet d'aménagement ait un objectif initial autre que la restauration des milieux aquatiques mais comporte néanmoins une démarche d'amélioration d'un milieu déjà dégradé : par exemple, dans un lit endigué ou recalibré, on recherche une

augmentation de la protection contre les inondations en élargissant le lit mineur ou en le surcreusant. On intègre alors dans le projet une démarche technique se rapprochant des opérations de restauration susmentionnées, pouvant aller de R1 à R3 : recréation d'un chenal d'étiage, mise en place de structures de diversification des écoulements, plantation d'hélophytes, espace de mobilité intra-digues, etc.) ;

### 3.3. Typologie des travaux de restauration par grandes familles de dysfonctionnements à traiter

Les grandes familles de travaux de restauration sont étroitement corrélées aux familles de dysfonctionne-



Figure 16. Exemples de travaux de restauration de niveau R3. Reméandrage de cours d'eau rectifiés et recalibrés (photos MALAVOI/BIOTEC)



Figure 17. Exemple d'élargissement hydraulique d'un cours d'eau et réaménagement du lit sous forme de petits seuils, végétalisation partielle des berges, etc. Photo de gauche état initial, à droite deux ans après les travaux (photos BIOTEC)

ments présentées plus haut, aussi reprendrons-nous ces types de dysfonctionnements pour les décliner en types de travaux envisageables. Ces travaux sont eux-mêmes subdivisés en deux catégories, correspondant à deux échelles spatiales d'intervention : travaux devant ou pouvant être réalisés à l'échelle globale (en amont de la portion de cours d'eau impactée, voire à l'échelle du bassin-versant), travaux devant ou pouvant être réalisés à l'échelle locale (au niveau de la portion de cours d'eau impactée).

Il arrive fréquemment que certains dysfonctionnements se cumulent : disparition du substrat alluvial plus réduction des hauteurs d'eau à l'étiage plus disparition de la ripisylve. Il convient alors de cumuler aussi divers types d'interventions de restauration.

Nous verrons enfin que certains types de travaux de restauration peuvent avoir des effets positifs sur plusieurs types de dysfonctionnements :

- le reméandrage d'un cours d'eau rectifié peut ainsi freiner ou résorber les processus d'incision, améliorer l'hétérogénéité des faciès d'écoulement, augmenter les profondeurs d'eau à l'étiage, augmenter le linéaire de cours d'eau donc l'habitat disponible, etc. ;
- la suppression de digues ou leur écartement permettra d'améliorer les fonctionnalités du lit mineur (réduction des vitesses en crue, amélioration des

processus géodynamiques), mais aussi celles du lit majeur (meilleure connectivité), etc.

### 3.3.1. Dysfonctionnements liés à l'incision du lit mineur

#### 3.3.1.1. Métamorphose fluviale

Il s'agit là d'un dysfonctionnement majeur lié généralement à une modification drastique de l'une ou l'autre des deux variables de contrôle principales de la dynamique fluviale : le débit liquide ou, le plus souvent, le débit solide. Le type le plus fréquent de métamorphose fluviale que l'on peut constater en France est le remplacement du tressage, dont la présence nécessite de forts apports alluviaux grossiers, par du méandrage.

#### • Traitement global

La principale intervention à l'échelle globale consiste à restaurer les apports solides.

Si le déficit provient d'un barrage bloquant les sédiments, les solutions globales sont :

- suppression de l'ouvrage,
- transfert des alluvions piégées vers l'aval de l'ouvrage,
- restauration d'une dynamique fluviale en aval (espace de mobilité) pour que le cours d'eau puisse se réalimenter en charge solide de fond.

Si la métamorphose provient d'une disparition des apports solides provenant du bassin-versant (végéta-

lisation volontaire, déprise agropastorale, travaux RTM, etc.) :

- dévégétalisation du bassin-versant pour restaurer des apports sédimentaires,
- suppression des ouvrages RTM de piégeage des alluvions,
- transfert des alluvions piégées vers l'aval des ouvrages de piégeage,
- restauration d'une dynamique fluviale en aval (espace de mobilité) pour que le cours d'eau puisse se réalimenter en charge solide de fond.

- Traitement local

Il est quasiment impossible de traiter localement une métamorphose fluviale. On peut en partie freiner la métamorphose tressage → méandrage par un entretien systématique de la végétation du lit moyen (bande active) pour éviter la fermeture trop rapide.

### 3.3.1.2. Disparition du substrat alluvial au profit de la roche mère

- Traitement global

Le même que précédemment.

- Traitement local

Implantation de structures en lit mineur (mini-seuils) pour bloquer localement une partie de la charge alluviale grossière en transit, s'il en existe encore. Attention de ne pas aggraver le déficit en aval.

### 3.3.1.3. Abaissement de la nappe

Mêmes traitements globaux et locaux que précédemment.

## 3.3.2. Dysfonctionnements liés à la modification drastique des caractéristiques de l'écoulement et de la nature des berges

### 3.3.2.1 Homogénéisation des faciès d'écoulement

Ce type de dysfonctionnement apparaît sur la majorité des cours d'eau chenalisés. Il est aussi le dysfonctionnement dominant sur les cours d'eau où existent de nombreux seuils et barrages. Le traitement de ce type de dysfonctionnement, hormis s'il est lié au dysfonctionnement précédent (incision), se traite essentiellement au niveau local, c'est-à-dire à l'échelle de la portion de cours d'eau impactée.

- Si l'homogénéisation des faciès est liée à la présence de seuils ou barrages, la méthode la plus efficace est la suppression de l'ouvrage, si celui-ci n'a plus d'usage économique.

- Si l'homogénéisation des faciès est liée à des travaux de chenalisation, les techniques sont multiples et fonction du niveau d'ambition de la restauration, de l'emprise disponible, des risques hydrauliques etc. Quel que soit ce niveau d'ambition, le type et l'intensité des travaux nécessaires à la restauration seront fonction du type géomorphologique.

R1 : diversification des habitats aquatiques (déflecteurs, risbermes alternées, etc.)

R2 : travaux plus aboutis de restauration piscicole, plantations de végétaux aquatiques, reprofilage des berges, reméandrage, etc.

R3 : restauration complète des conditions géomorphologiques (tracé en plan d'équilibre, géométrie du lit et des berges, substrat) et géodynamiques (restauration d'un espace de mobilité) naturelles.

### 3.3.2.2. Réduction de la profondeur à l'étiage

Même s'il peut sembler redondant avec le précédent, ce dysfonctionnement est souvent lié à des travaux de chenalisation de type « recalibrage ». Le surélargissement du lit mineur, typique de ce type d'intervention, se traduit par un étalement de la lame d'eau à l'étiage avec des profondeurs qui deviennent limitantes pour les biocénoses aquatiques et notamment les poissons et qui augmentent la vitesse de réchauffement de l'eau, donc les effets de l'eutrophisation si celle-ci est présente.

Le traitement local de ce dysfonctionnement peut se faire au moyen de diverses techniques, non exclusives les unes des autres.

R1 : réduction de la largeur du lit d'étiage par des systèmes de risbermes, déflecteurs ou toute autre structure hydraulique permettant de concentrer l'écoulement d'étiage dans un lit mieux dimensionné, garantissant *a minima* des profondeurs de l'ordre de 30-40 cm.

R2 : reconstruction d'un lit d'étiage et d'un lit moyen (bancs alluviaux ou risbermes artificielles), écartement des digues si elles sont trop proches du cours d'eau, reméandrage.

R3 : R2 plus espace de mobilité.

### 3.3.2.3. Modification de la nature des berges

Ce type de dysfonctionnement accompagne souvent les travaux de chenalisation mais on peut trouver des protections de berges en génie civil indépendamment de ces opérations, comme simples mesures de lutte

contre l'érosion latérale. Les méthodes de réduction de cet impact sont simples : supprimer ces structures et se rapprocher de la qualité naturelle des berges.

R1 : mise en place de caches et abris simples ou complexes le long des berges : enrochements libres, troncs d'arbres, sous-berges artificielles.

R2 : recréation de berges naturelles, plantation de ripisylve, sous-berges artificielles en attendant que le système racinaire naturel se développe.

R3 : R2 plus espace de mobilité.

### 3.3.3. Dysfonctionnements liés à une absence de végétation riveraine

Ce type de dysfonctionnement peut être résorbé très facilement par simple plantation d'essences végétales typiques d'une ripisylve naturelle. Attention, il ne s'agit pas de réaliser des protections de berges en génie végétal mais de planter ces essences arborées ou arbustives sur le sommet de berge.

R1 : plantation d'une ripisylve simple (1 à 2 rangs d'arbres).

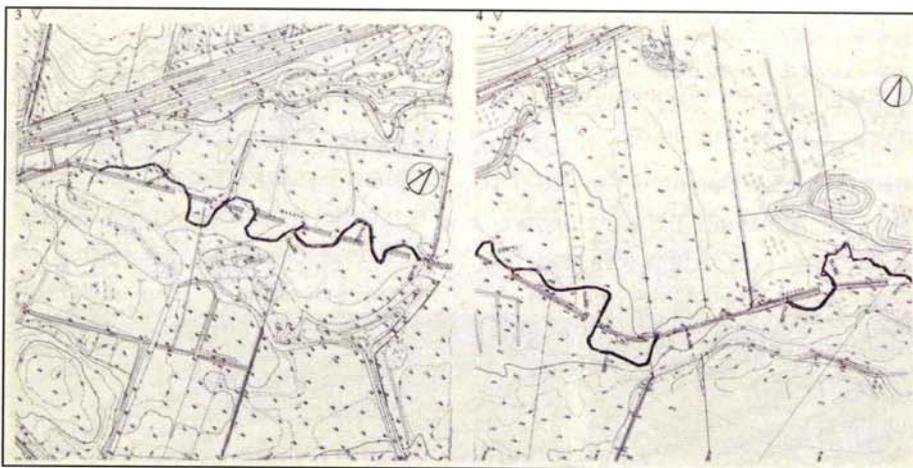


Figure 18. Avant-projet du reméandrage [GLITZ, 1983]

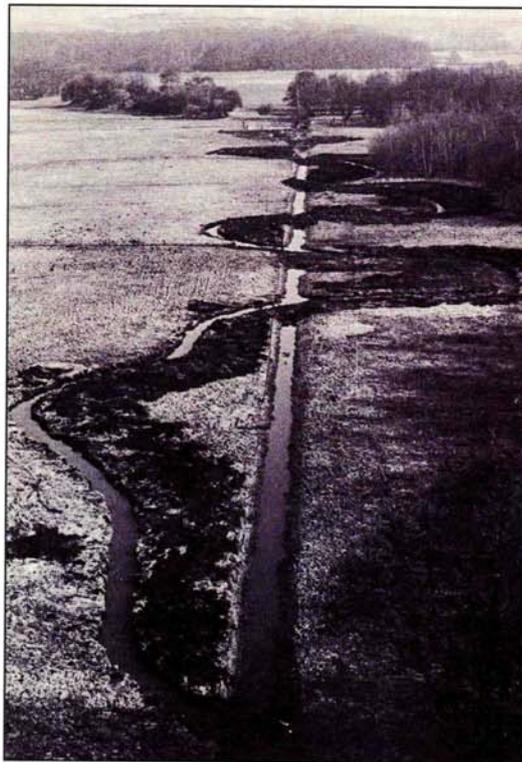


Figure 19. Vue à la fin des travaux en février 1982 [GLITZ, 1983]



Figure 20. La Sulzbächle avant et après restauration (1990) [Handbuch Wasserbau, 1992]

R2-R3 : plantation d'un corridor végétal plus étendu, fonction de l'emprise foncière disponible.

NB : Sur les rivières à faible dynamique fluviale et à berges basses (<1,5 m), la plantation d'une ripisylve, même en sommet de berge peut réduire fortement les processus d'érosion latérale par ailleurs intéressants pour la restauration d'un fonctionnement plus naturel du cours d'eau.

#### 4. Quelques exemples de réalisations

Nous présentons ici deux exemples allemands, « pionniers » de la restauration des cours d'eau [BIN- DER, 1979]. Le principe général de la restauration est le « reméandrage ».

##### 4.1. La Wandse à Hamburg

Les méandres de ce cours d'eau à faible puissance (de l'ordre de 10-15 W/m<sup>2</sup>) avait été fortement rescindés au milieu du XX<sup>e</sup> siècle. Un projet de renaturation a donc été bâti en 1981 avec pour objectif la reconquête, sur environ 1 km, du fonctionnement physique et écologique naturel du cours d'eau. Le principe technique retenu a été de recréer les anciens méandres à partir de leur tracé retrouvé sur une carte antérieure aux rescindements. Sur ce cours d'eau, il avait été décidé de conserver les anciennes portions rectilignes pour deux raisons : elles abritaient malgré tout une certaine quantité de faune aquatique (poissons, amphibiens et batraciens) et la recolonisation du nouveau lit en serait facilitée ; elles fonctionneraient par la suite comme des « bras morts ».

##### 4.2. La Sulzbächle

Là encore, l'objectif très général était le retour à un état et un fonctionnement plus naturel. Là encore, l'état initial est excessivement dégradé et la première étape de la restauration a consisté à casser, enlever et mettre en décharge les plaques de béton disposées au fond du lit et sur les berges.

Comme souvent dans les travaux réalisés en Allemagne, il ne s'agit pas de redonner une totale liberté à la rivière mais plutôt de lui recréer un minimum d'espace, un « corridor » alluvial naturel, duquel elle ne devra pas s'écarter.

#### Conclusion

La restauration de milliers de kilomètres de cours d'eau fortement altérés est indispensable pour espérer retrouver d'ici 10 à 20 ans des hydrosystèmes fonctionnels. Plus que les méthodes de restauration, qui commencent à atteindre un bon niveau technique après plus de 20 ans de pratique (cf. [« The river restoration centre », 2002]), c'est le contexte socio-politique et foncier qui semble aujourd'hui poser le plus de difficultés quant à la mise en œuvre « en routine » d'opérations de restauration de cours d'eau. De fortes actions de sensibilisation et de communication sur le « pourquoi » de la remise en cause d'aménagements parfois récents (20-30 ans) sont nécessaires, au cas par cas, pour convaincre les partenaires, riverains, propriétaires fonciers, exploitants agricoles du bien-fondé de cette démarche iconoclaste. C'est un poste budgétaire à prendre sérieusement en compte dans toute opération de restauration.

## Bibliographie

BINDER W., 1979 : "Grundzüge der Gewässerpflege".- Schriftenr. Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, H. 10, München.

GLITZ D., 1983 : "Künstliche Gerinne. Die Altarme von Morgen". In Garten und Landschaft. 2.

HANDBUCH WASSERBAU, 1995 : "Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern". Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.

HANDBUCH WASSERBAU, 1992 : "Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern". Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.

MALAVOI J.R., PARIS P., 2003 : "Stratégie d'intervention de l'agence de l'eau sur les seuils en rivière".

MALAVOI J.R., MICHELOT J.L., GENDRAUD N., 1999 : "Guide technique : Travaux post-crue, bien analyser pour mieux agir". GRAIE (Groupe de recherche Rhône-Alpes sur les infrastructures et l'eau).

SHIELDS F.D., COPELAND R.R., KILINGEMAN P.C., DOYLE M.W., SIMON A., 2003: "Design for Stream Restoration". Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 08.

THE RIVER RESTORATION CENTRE, 2002 : "Manuel of River Restoration Techniques". RRC. Web Edition.

WASSERWIRTSCHAFT IN BAYERN, 1997 : "Flüsse, Auen, Täler: erhalten und entwickeln". Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen.

WAGNER A., WAGNER I., 2002 : "Flusslandschaft Isar". Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft.

WASSON J.G., MALAVOI J.R., MARIDET L., SOUCHON Y., PAULIN L., 1998 : "Impacts écologiques de la chenalisation des rivières". Cemagref eds. Coll. Études : « Gestion des milieux aquatiques », n°14.

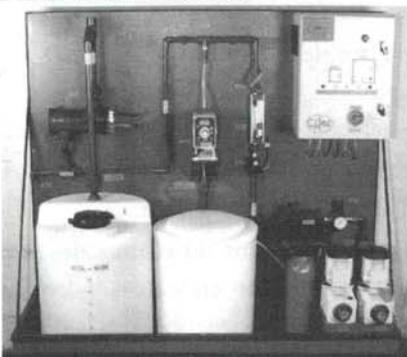
## Résumé

J.-R. MALAVOI, Ph. ADAM. Préservation et restauration physique des cours d'eau. Aspects techniques

Des milliers de kilomètres de cours d'eau français ont vu depuis plusieurs décennies leurs caractéristiques géomorphologiques (géométrie, substrats...) et géodynamiques (processus) fortement altérées par des interventions anthropiques diverses. Or, ces caractéristiques

physiques conditionnent l'état et le fonctionnement écologique des milieux aquatiques qui se retrouvent donc, par voie de conséquence, eux aussi très dégradés. C'est pourquoi la restauration physique des cours d'eau, est l'une des priorités de la directive cadre européenne sur l'eau. Nous présentons ici un état de la réflexion sur ce vaste chantier d'ingénierie écologique des prochaines décennies.

## CIFEC INFO 2179a



### ELECTRO-CHLORATION CIFEC

Désinfection des eaux potables, industrielles, usées, de piscine. Unités de fabrication de chlore par électrolyse de 2 g/h à 56 kg/h

- Utilisation d'hypochlorite "frais" sans perte de degré chlorométrique ni formation de chlorate,
- Prix économique du chlore fabriqué. Electrodes garanties 5 ans,
- Stockage de sel permettant une autonomie de 1 an sans problème,
- Montage des électrodes en parallèles évitant la surchauffe de la saumure et donc la formation de chlorates,
- Cellule à flux ascensionnel évitant l'accumulation de l'hydrogène dans le générateur.
- Plusieurs références en France (eau potable, piscine publique...)

CIFEC équipe la chloration de plus de 20 000 communes françaises.

Notice gratuite sur demande CIFEC N°2179a - Préciser votre spécialité

CIFEC, 12 bis rue du Cdt Pilot, F92200 Neuilly/Seine - Tél: 33 (0)1 4640 4949, Fax: 33 (0)1 4640 0087, Email: info@cifec-sa.fr, Web: www.cifec-sa.fr