

Mise en œuvre d'une approche intégrée pour le diagnostic de seuils en rivière

Étude des rivières Cère, Jordanne et Authre dans le Cantal

**Patrice Mériaux, Cyril Folton, Bernard Dumont,
Nicolas Gendreau, Olivier Gilard et Cécile Merlet**

Le contexte de l'étude

On désigne couramment en France, sous le terme de « chaussées », des seuils (au sens de petits barrages) construits en rivière, au fil des temps, pour l'irrigation gravitaire des fonds de vallée ou pour l'exploitation, par moulins, de la force hydraulique. Les cours d'eau du département du Cantal comptent nombre de ces ouvrages hydrauliques (et non routiers !), parfois pluriséculaires.

Or, aujourd'hui, les rivières du Cantal « souffrent de leurs chaussées ». Les crues importantes de ces dernières années - en particulier celles de l'hiver 1993/1994 - ont, de fait, cruellement mis en évidence l'état précaire des seuils, en provoquant la rupture de plusieurs d'entre eux. Une telle situation, *a priori* révélatrice d'un probable état de dégradation généralisée, a interpellé les administrations et les élus locaux en charge des questions de l'eau. Ceux-ci ont souhaité disposer d'un diagnostic d'ensemble du parc de seuils concerné sur les trois rivières principales de la région d'Aurillac : la Cère, la Jordanne et l'Authre (figure 1).

En toute logique, la réflexion entreprise est venue s'inscrire dans le cadre de l'élaboration d'un « Contrat de Rivière » (encadré 1) sur la Cère et ses deux affluents - démarche engagée à l'initiative du conseil général et de la préfecture du Cantal, et devant déboucher sur un programme coordonné de mise en valeur des cours d'eau du bassin.

Encadré 1

Qu'est qu'un contrat de Rivière ?

Le contrat de Rivière est un programme coordonné de remise en état de cours d'eau dans un délai donné, généralement de cinq ans, sur lequel s'engagent les intervenants : usagers de l'eau et du cours d'eau, et les financeurs institutionnels : collectivités locales, conseils généraux, conseils régionaux, agence de l'Eau et État.

Dans l'esprit de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, qui met en avant la préservation des milieux aquatiques, le contrat de Rivière doit s'appuyer sur une approche intégrée du fonctionnement de l'écosystème aquatique en retenant les objectifs suivants :

- la restauration ou le maintien du fonctionnement équilibré de la rivière ;
- la restauration et la protection des milieux naturels concourant à son fonctionnement ;
- l'alimentation en eau et la protection contre les inondations ;
- la restauration et la protection des paysages ;
- la mise en place d'une structure de gestion permanente.

Le contrat de Rivière constitue une démarche volontariste, contractuelle, associant l'ensemble des acteurs concernés par la gestion du cours d'eau au sein du comité de pilotage. Celui-ci donne son avis sur le contenu et l'orientation des études et travaux à engager pour atteindre les objectifs définis.

**Patrice Mériaux,
Cyril Folton et
Bernard Dumont**

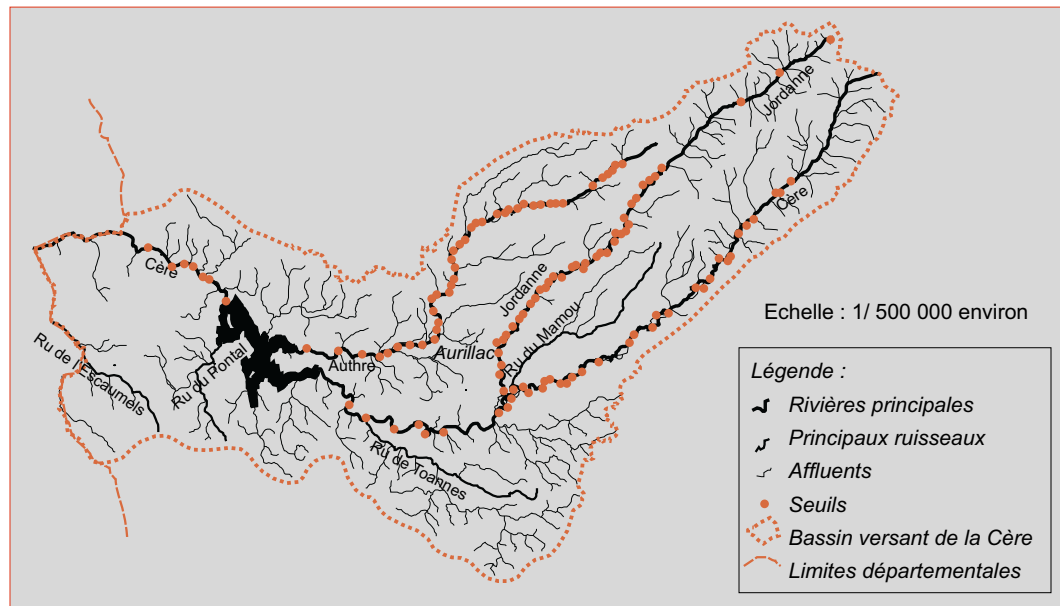
Cemagref
Le Tholonet
BP 31
13612 Aix-en-
Provence Cedex 01

**Nicolas
Gendreau et
Olivier Gilard**

Cemagref
3 bis quai
Chauveau
CP220
69336 Lyon Cedex
09

Cécile Merlet
Établissement Public
Interdépartemental
Dordogne
(E.P.I.DOR)
BP 13
24250 Castelnaud-
La-Chapelle

Figure 1. – Localisation des seuils dans le réseau hydrographique des trois rivières Cère, Jordanne et Authre.



La portée et la méthodologie du diagnostic

L'originalité de l'étude envisagée résidait dans son caractère fondamentalement pluridisciplinaire puisque le diagnostic voulait s'étendre à toutes les fonctions susceptibles d'être assurées par les seuils : stabilisation du profil en long et du tracé en plan des rivières, maintien du niveau des nappes alluviales, rôle éventuel d'écrêtement des crues, intérêt patrimonial, touristique et/ou piscicole, etc. Il s'agissait, en particulier, de hiérarchiser l'intérêt de ces seuils pour la collectivité, en vue de définir des priorités d'intervention.

Aussi, pas moins de quatre équipes de chercheurs et de techniciens ont travaillé en étroite collaboration, durant l'année 1995, pour mener à bien cette étude d'envergure [1], sous le contrôle du bureau du comité de Rivière.

D'une part, E.P.I.DOR, maître d'ouvrage des études, a recruté, pour l'opération, une « écologue » qui a parcouru, décrit et cartographié les quelque 100 kilomètres de lit du domaine d'investigation. La cartographie écologique, résultant de ce travail patient et minutieux, a constitué l'indispensable fond commun d'informations, exploité ensuite par l'ensemble des autres partenaires de l'étude.

D'autre part, le Cemagref, en qualité de prestataire de services, a mobilisé trois de ses unités de chercheurs, issues des groupements d'Aix-en-Provence et de Lyon :

– durant l'étiage de l'été 1995, les 105 seuils les plus importants ont fait l'objet d'un diagnostic approfondi par des spécialistes en génie civil de la division « Ouvrages hydrauliques » d'Aix ;

– de leur côté, les hydrauliciens de la division « Hydrologie-Hydraulique » de Lyon ont étudié l'hydrologie et la géomorphodynamique des trois cours d'eau [2] et évalué les risques d'inondation qu'ils engendrent, non sans avoir intégré, dans leurs simulations, les effets de la présence ou de l'effacement des seuils ;

– enfin, les scientifiques de la division « Hydrobiologie » d'Aix se sont intéressés aux problèmes de la qualité des eaux et des habitats piscicoles, ainsi qu'aux conditions de franchissement des seuils par les poissons.

Tout au long des travaux, ces quatre groupes ont échangé les informations de terrain et les résultats d'investigation qui leur étaient respectivement utiles. Des réunions régulières ont eu lieu, sous l'égide du bureau du comité de Rivière, afin de rendre compte de l'état d'avancement des études et d'en valider les conclusions partielles et les orientations.

Les éléments du diagnostic génie civil des seuils

Le diagnostic génie civil s'est appuyé sur une visite technique approfondie des seuils en période de basses eaux. Il a porté sur les 105 seuils les plus importants (c'est-à-dire ceux de dénivellée supérieure à 1 mètre), parmi les quelque 160 recensés lors de la cartographie écologique. Les principales dimensions des ouvrages ont été levées au décimètre et au niveau. Les désordres ont été décrits, repérés (si nécessaire à la canne-sonde), photographiés et classés suivant un indice de gravité, selon qu'ils menaçaient ou non la pérennité du seuil à plus ou moins long terme.

Les propriétaires ou ayants-droits, rencontrés au hasard des visites, ont été interrogés sur l'usage qu'ils avaient des seuils et les récents travaux d'entretien réalisés. Toutes ces informations ont été consignées dans une fiche aux rubriques préétablies, comprenant un plan et une coupe du seuil.

■ La morphologie des seuils

Huit « chaussées » sur dix présentent un profil en travers général de type triangulaire - c'est-à-dire avec un parement aval incliné (27 % de pente moyenne) - et sont constituées d'une carapace en pierres maçonnées ou hourdées (i.e. posés sur lit de mortier), plus ou moins épaisse (0,4 à 0,8 mètre), disposée sur un corps de remblai en matériau tout-venant (figure 2). Des traverses en bois, ancrées par pieux ou clous, assurent l'armature de la carapace des parements, sa fixation au remblai de remplissage sous-jacent et, parfois, la protection parafouille aval du seuil. Une telle structure

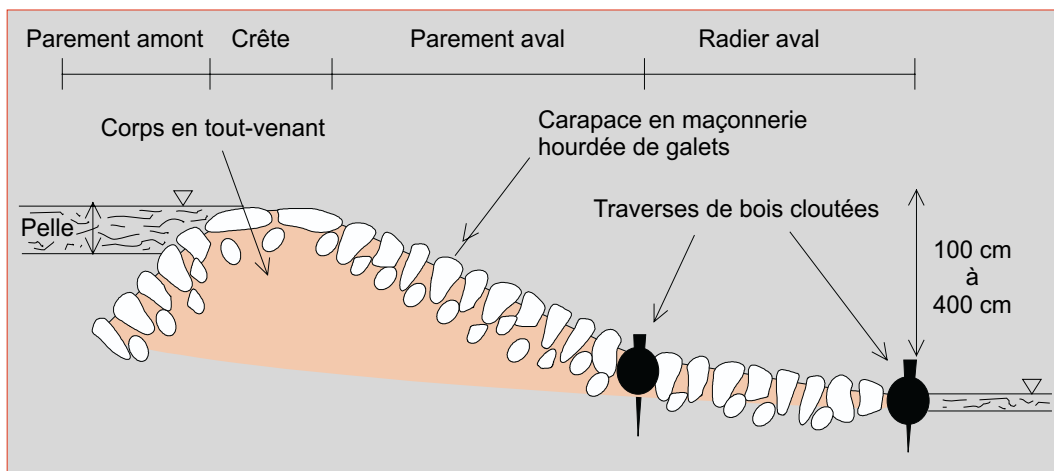
est classique et expose l'ouvrage à une dégradation rapide dès qu'un morceau de carapace (ou, encore, une poutre) est emporté.

Les seuils sont, pour la plupart, fondés sur matériaux meubles (alluvions de la rivière). Quelques uns seulement font exception en s'appuyant sur une fondation rocheuse bien visible. Pour près de la moitié des seuils, un radier à faible pente prolonge le parement aval pour dissiper l'énergie de la chute. Lorsque le radier manque, il est parfois difficile de savoir s'il s'agit d'un choix de conception ou si cet élément a été emporté (et non reconstruit) au cours de la vie de l'ouvrage.

La crête des seuils, généralement arrondie dans le sens amont-aval, est – lorsque non détériorée – dépourvue d'échancrure et se présente donc comme approximativement horizontale de rive à rive. La lame d'eau s'étale, de fait, sur l'ensemble de la crête dès que le débit grossit. L'existence de bajoyers (murets de protection de la berge), de part et d'autre de la crête et/ou du parement aval, n'est pas systématique ; s'ils sont absents, les berges au droit du seuil ne sont guère protégées et sont donc exposées à l'érosion.

Les dénivellées entre les lignes d'eau amont et aval varient de 1 à 4,5 mètres (record de 4,7 mètres pour un seuil de la Jordanne dans la ville d'Aurillac), pour une moyenne de 1,6 mètres (tableau 2).

Le tracé en plan de la crête du seuil peut être rectiligne, incurvé ou en ligne brisée (un segment perpendiculaire à l'axe d'écoulement, qui se prolonge par un segment orienté vers l'aval et amenant à la prise d'eau). L'axe moyen d'implantation



◀ Figure 2. – Coupe-type d'une « chaussée ».

s'avère presque toujours oblique par rapport à celui de la rivière (photo 1). Les ouvrages sont, de ce fait, très longs (deux à trois fois la largeur de la rivière, soit 35 mètres en moyenne) : sur la Cère aval, les plus longs d'entre eux approchent, ainsi, les 100 mètres.

Enfin, les équipements hydrauliques comprennent, en principe, un dispositif de prise de une à trois vannes batardeaux en parallèle, implanté sur l'une des rives, rarement sur les deux, et contrôlant un chenal de dérivation. Parfois, une vanne de décharge, placée en crête de seuil, permet de régler le niveau d'eau de la retenue.

Une dizaine de seuils à parements maçonnés verticaux (figure 3) s'écartent du profil type courant décrit ci-dessus. De même, les ouvrages les plus récents présentent des formes et des constitutions singulières : seuils en gros enrochements libres (protections aval de pont), ouvrages en béton coffré, seuils vannés (ou mobiles).

■ *L'usage et la fonction des seuils*

Il convient de distinguer la fonction *initiale* des seuils (celle ayant motivé leur construction), de l'usage ou du rôle *actuel* qui a pu leur être affecté au moment de notre diagnostic.

Sur les 105 seuils inventoriés, 71 ont visiblement été construits pour l'*irrigation* et 23 pour l'*alimentation de moulins* situés à proximité de la rivière - certains assurant les deux fonctions et d'autres ayant

une fonction inconnue. Parmi les 85 seuils identifiés comme relevant de l'une et/ou l'autre de ces deux principales fonctions initiales, 46 apparaissent en état d'abandon vis-à-vis de celles-ci (par exemple : moulin en ruines, vannes de prise détruites ou bloquées, canaux de dérivation à sec...). Seul subsiste un moulin en service à Arpajon-sur-Cère... mais il s'agit d'un ouvrage restauré à des fins touristiques. Par ailleurs, un usage en irrigation, plus ou moins sommaire, est encore constaté pour 38 seuils : ce qui révèle, tout de même, un taux d'abandon de près de 50 % par rapport aux 71 ouvrages construits à l'origine dans ce but.

Cependant, l'étude a permis d'identifier d'autres fonctions, réelles ou potentielles, pouvant être attribuées aux seuils existants.

Mentionnons, en particulier :

– *la stabilisation en plan, et surtout en profil du lit de la rivière*. Une telle fonction prend un caractère crucial pour une quinzaine de seuils situés au droit, ou en aval immédiat, d'ouvrages d'art (ponts ou soutènements de berge) dont ils protègent les fondations ;

– *le maintien du niveau de la nappe alluviale à proximité de stations de pompage* pour l'eau potable. Ceci concerne une dizaine de seuils ;

– *un rôle potentiel d'écrêtement des crues* pour les seuils favorisant l'inondation de zones agricoles de plaine, peu vulnérables : en conclusion de l'étude hydraulique (voir paragraphe Étude hydraulique), au moins sept d'entre eux assurent efficacement une telle fonction, à l'amont immédiat de secteurs urbanisés sensibles ;

– *un intérêt touristique ou patrimonial* apporté par les ouvrages dont les retenues sont utilisées pour la baignade ou dont les caractéristiques historiques, architecturales, sociales ou paysagères sont remarquables.

A côté de ces rôles favorables ou intérêts, des impacts indésirables se révèlent à la faveur de l'analyse fonctionnelle des seuils :

– *la réduction de la débitance de la rivière* dans des zones très sensibles aux risques d'inondations (agglomérations) ;

– *des phénomènes d'érosion de berges*, engendrés par le dysfonctionnement de seuils partiellement détruits ;

Photo 1. – Seuil à implantation oblique sur la rivière Cère, en conditions hivernales de débit.



– *l'obstacle à la migration des poissons* pour les ouvrages les plus hauts ou non adaptés au franchissement.

L'analyse se complique dès lors qu'un même seuil assume plusieurs fonctions, dont certaines antagonistes... Cette simple constatation justifie, s'il en était besoin, tout l'intérêt de l'approche intégrée volontairement choisie pour l'étude des chausées du Cantal.

■ **La gravité et la typologie des principaux désordres**

Chaque désordre repéré sur un seuil a été affecté, dans la fiche descriptive établie sur le terrain, d'un indice de gravité. La synthèse des désordres pour un seuil donné aboutit à la détermination d'un « Indice Global de Désordres » (tableau 1).

Cet indice permet donc de quantifier l'état général de l'ouvrage. Le tableau 2 illustre la répartition des seuils selon leur indice global de désordres (IGD).

Ce tableau met en lumière toute l'étendue du péril qui menace les seuils des trois rivières : plus de 80 % de ceux-ci souffrent, en effet, de désordres affectant la structure elle-même ou se trouvent à un stade de destruction plus ou moins avancé (IGD supérieur ou égal à 2). En outre, les seuils d'IGD de 2 à 3, susceptibles d'évoluer à plus ou moins court terme vers l'état de dégradation ultime qu'est la brèche (IGD égal à 4), représentent une large majorité des seuils examinés. Aussi, en l'absence d'intervention volontariste pour la réhabilitation de ces ouvrages, la situation du parc concerné risque de basculer très rapidement dans un sens défavorable (c'est-à-dire vers une majorité de seuils ruinés).

Valeurs de l'IGD	Définition	Exemples
IGD = 0	Aucun désordre apparent	/
IGD = 1	Désordres mineurs et non structurels	Suintements, fissures sans déplacement, végétation herbacée
IGD = 2	Désordres touchant la structure du seuil	Pierres manquantes, fissures
IGD = 3	Désordres graves mettant en péril la pérennité de l'ouvrage à court terme	Radier aval sous-cavé, contournements
IGD = 4	Brèche complète ou partielle (diminuant la dénivelée initiale du seuil)	/

▲ Tableau 1. – Définition de l'Indice Global de Désordres (IGD).

Les désordres structurels les plus fréquemment rencontrés se récapitulent comme suit :

– *le démantèlement, par sous-cavage, des structures de pied aval des seuils* : radier aval, pied de parement (photo 2) et/ou poutres parafeuilles. Ces désordres apparaissent dans la zone, très sollicitée, de dissipation de l'énergie de chute. La fréquence de ces détériorations s'avère probablement imputable au fait qu'elles sont peu visibles en dehors des étiages prononcés et qu'en conséquence, elles ne sont pas détectées, ni, *a fortiori*, réparées ;

– *les (risques de) contournements des appuis en berge*, par suite de l'absence, du sous-dimensionnement ou de la destruction des bajoyers ;

Rivières	Nombre de seuils diagnostiqués	Dénivelée moyenne de ligne d'eau	IGD inférieur à 2	IGD de 2 à 3	IGD égal à 4
Cère	42	1,6 m	17 %	52 %	31 %
Jordanne	31	1,9 m	19 %	58 %	23 %
Authre	32	1,4 m	16 %	72 %	12 %
Ensemble des 3 rivières	105	1,6 m	17 %	60 %	23 %

◀ Tableau 2. – Répartition des seuils selon leur Indice Global de Désordres (IGD).



▲ Photo 2. – Seuil à profil triangulaire en conditions d'étéage estival - Déstructuration du pied du parement aval en pierres maçonnées.

– l'arrachage de pierres sur la carapace du coursier, sous l'action conjuguée des courants et de l'altération des joints de mortier. D'une simple pierre manquante, non remplacée, le désordre s'étend rapidement à une zone importante de la carapace, en conséquence de la perte de cohésion (disparition de l'effet auto-bloquant des pierres les unes aux autres) ;

– le développement de la végétation arbustive ou arborescente (!) sur les structures elles-mêmes dont les pierres sont déchaussées ou soulevées par la croissance des racines.

A cette liste pourtant déjà éloquent, il convient d'ajouter les conséquences préjudiciables des réparations sommaires, mal réfléchies, qui, au lieu de stopper les désordres, aggravent et/ou accélèrent les processus de dégradation. Le cas le plus fréquent est le ragréage grossier des parements ou radiers aval avec du béton (photo 3), mis en œuvre pour remédier à la disparition des joints et/ou à l'entraînement des pierres. A l'examen des dossiers d'autorisation de travaux archivés à la DDAF, on s'aperçoit que de telles pratiques se sont multipliées au cours de ce siècle, au détriment, semble-t-il, des techniques traditionnelles de petit entretien : cette évolution semble imputable à l'apparition, puis à l'essor du matériau « béton », bon marché et facile à mettre en œuvre. Quoiqu'il en soit, ces ragréages de fortune sont, généralement, réalisés sans dispositif de drainage (barbacanes ou jointoiement discontinu) et entraînent l'appari-

tion de sous-pressions issues des inévitables circulations d'eau internes à l'ouvrage (dont le corps est en tout-venant). Sous l'action des sous-pressions engendrées et par le jeu des cycles gel-dégel, au mieux le ragréage se déstructure, seul ou par plaques (photo 3), au pire, il emporte avec lui les pierres de la carapace sous-jacente... De plus, les parements bétonnés, plus lisses, accélèrent la vitesse du courant, aggravent donc les contraintes de dissipation d'énergie en pied de seuil et favorisent le développement des affouillements aval.

En définitive, il est à remarquer que la plupart des désordres graves relevés sur les seuils résultent d'une défaillance de l'entretien :

– en quantité, d'une part, parce que plus personne n'assure le petit entretien courant et répétitif (remplacement des pierres manquantes, enlèvement de la végétation indésirable) ;

– en qualité, d'autre part, puisque de nos jours la pratique est d'intervenir (trop) tardivement en privilégiant, sous prétexte d'économie, des techniques de réparations grossières au béton.

■ Les réparations préconisées et les recommandations

Pour les principales pathologies rencontrées, l'étude a proposé - ou rappelé - les solutions de confortement ou de réparation envisageables. Ces solutions ont été décrites et chiffrées au stade d'avant-projet sommaire pour 20 seuils sélectionnés au vu de leur intérêt prioritaire (voir paragraphe Élaboration du programme de réhabilitation). Nous présentons ici une synthèse de ce volet d'étude.

Le confortement et la protection parafouille du pied aval

La technique de réparation à employer diffère selon l'ampleur des dégradations :

– si la fosse d'affouillement est profonde et le sous-cavage important, on procède à la construction d'un mur parafouille qui peut être constitué de béton faiblement armé ou d'un rideau de palplanches (figure 3). Au préalable, les parties en surplomb du pied aval de l'ouvrage existant doivent être soigneusement démolies. Le mur (ou le rideau) lui-même doit être profondément fondé ou ancré, sous le niveau maximal de la fosse. Si nécessaire, celle-ci sera partiellement comblée par un blocage de gros enrochements (500 à 1000 kg)

disposés contre le parement du mur. La liaison du mur avec l'extrémité aval du parement ou du radier en place est assurée par le scellement d'aciers haute adhérence dans la maçonnerie ancienne, repris dans le bétonnage et le ferrillage du voile ;

– si l'affouillement est plus modéré, on optera pour la solution du radier aval formé d'un tapis d'enrochements (figure 4). Ce radier mono-couche sera de préférence construit de l'aval vers l'amont, en prenant soin de caler chaque bloc sur un bloc aval (diamètre moyen des blocs : 1 mètre, pour un poids de 1000 à 1 500 kg). Côté aval, le radier s'appuiera sur un sabot parafouille bicouche en gros enrochements. Sur la partie amont du radier à créer, après démolition des parties en surplomb du parement aval ou du radier existant, il convient de combler l'excavation issue de l'affouillement par des matériaux de transition compactés (voire, en cas de fouille exigüe, par un béton cyclopéen maigre). La liaison proprement dite entre le radier et le pied du parement aval sera aménagée par la pose d'enrochements maçonnés - structure intermédiaire permettant d'assurer la transition entre la maçonnerie ancienne du parement et les enrochements libres du radier. Les structures en enrochements devront reposer sur une couche de transition ou une nappe de géotextile renforcé, installée sur le fond de fouille.

Dans tous les cas, les parties jointoyées (reconstruction de maçonnerie) ou bétonnées (mur, bé-

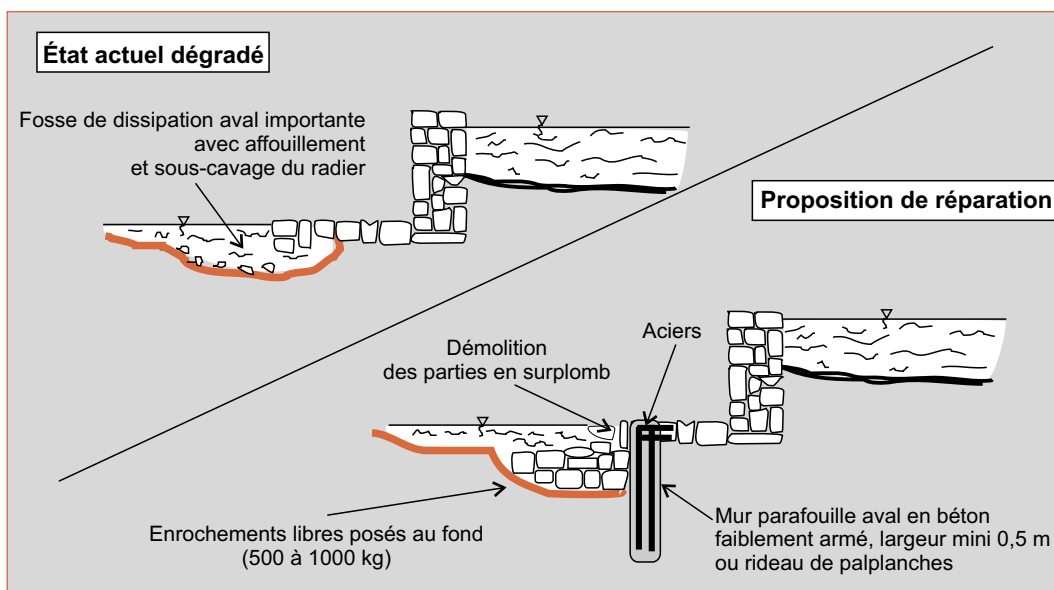


▲ Photo 3. – Seuil à profil triangulaire conforté sommairement par une chape de béton - dégradation du confortement sous l'effet des sous-pressions.

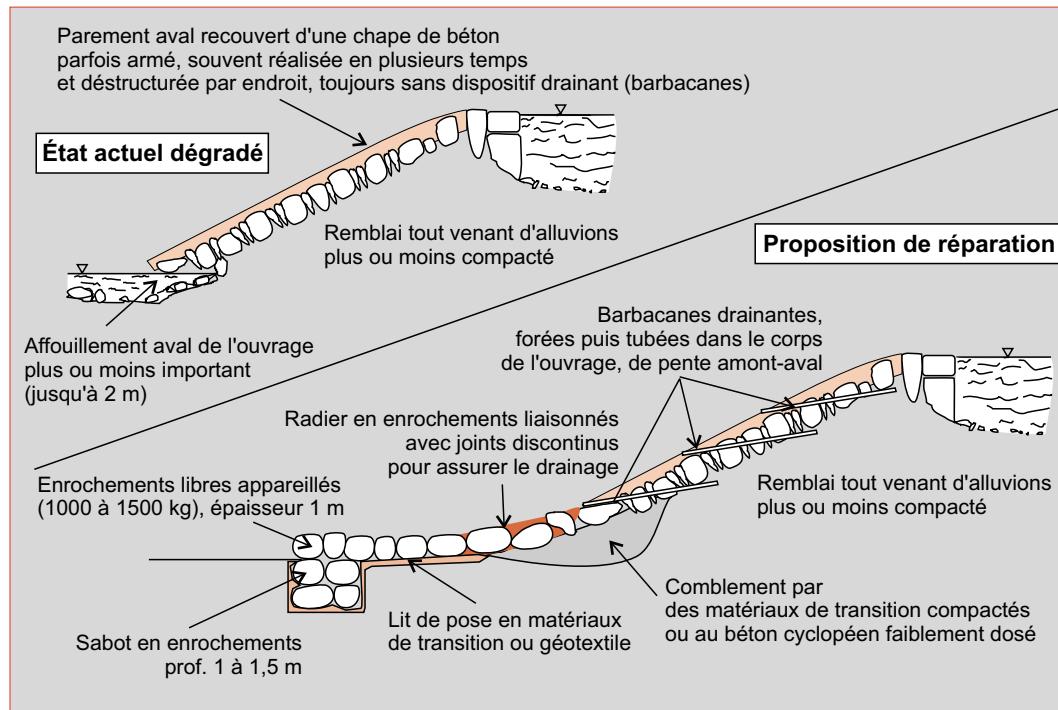
ton coulé pleine fouille) doivent être parfaitement drainées par recours à des joints discontinus et/ou par des barbacanes débouchant côté amont dans un matériau drainant.

Le drainage du parement aval

Pour la plupart, les chaussées sont, par constitution, le siège d'inévitables circulations d'eau. Le parement aval originel, formé d'une carapace de pierres sèches ou maçonnées à joints discontinus, autorisait l'écoulement de l'eau hors du corps



◀ Figure 3. – Seuil à parement aval vertical – confortement par mur parafouille aval.



▲ Figure 4. – Dispositif drainant et protection aval.

d'ouvrage. Les réparations récentes (rejointoiement continu ou revêtement de béton) ont bien souvent supprimé la relative perméabilité du parement aval, entraînant l'apparition de sous-pressions locales ou généralisées selon l'étendue de la zone traitée.

Lorsque les joints réparés ou les revêtements de béton sont en mauvais état (fissuration, décollements), il convient de les démolir, puis de reconstituer une maçonnerie correctement drainée.

Si les réparations sont récentes et si le béton n'a pas encore trop souffert des sous-pressions, on peut reconstituer le drainage du parement par la mise en place d'un système de barbacanes. A cette fin, il faut forer profondément (1 à 2 mètres) le parement aval (afin de traverser complètement la carapace imperméable), par des forages de petit diamètre (5 cm) inclinés vers l'aval et disposés en quinconce, avec une densité d'autant plus forte que la maçonnerie est imperméable (figure 4). Les barbacanes sont ensuite équipées de tubes métalliques coudés vers le bas à leur extrémité aval et crépinés en fond. Ces tubes sont scellés en tête dans la maçonnerie par un coulis de ciment.

Les réparations des carapaces ou des murs en maçonnerie

De telles réparations peuvent concerner les parements, le radier ou la crête du seuil mais aussi ses bajoyers. Dans toute la mesure du possible, les techniques de réparation proches de la technique originelle de construction sont à privilégier. Ceci permet d'une part d'éviter le mariage contraint (et rarement heureux) de matériaux à comportement différent et, d'autre part, de préserver l'aspect esthétique et traditionnel de la chaussée.

A degré de gravité croissant de dégradation de la maçonnerie, les interventions suivantes sont préconisées (en gardant à l'esprit que plus vite le désordre sera détecté, plus facile et légère en sera la réparation).

La pierre enlevée

Lorsque qu'une pierre a été arrachée du parement ou du radier, il convient tout d'abord de s'assurer que la cavité créée ne comporte pas de zones sous-cavées et/ou que les pierres avoisinantes n'ont pas commencé à bouger. Si tel était le cas, il faudrait démanteler toute la partie de carapace déconsolidée

et la reconstituer comme indiqué à l'alinéa suivant.

Le trou est rebouché par la mise en place d'une pierre posée sur lit de mortier et, au préalable, taillée de façon à s'adapter au plus près de la forme de la cavité. Si la partie d'ouvrage concernée est fortement sollicitée sur le plan hydraulique (par exemple, en crête), il est souhaitable d'améliorer l'adhérence au support de la pierre remplacée par la disposition d'un ancrage en acier scellé de part et d'autre de la zone de contact (figure 5). Le joint est ensuite reconstitué au mortier de ciment avec finition à la truelle « langue de chat » pour le maintenir rentrant.

La(es) zone(s) de carapace démantelée ou disparue

La zone à traiter doit être agrandie par démantèlement de toutes les parties de parement en surplomb ou déstabilisées. La végétation, éventuellement responsable des dégâts, doit être éliminée avec soin. Si nécessaire, le fond de la cavité est comblé jusqu'au niveau de pose du parement par un matériau de transition parfaitement compacté à la pilonneuse ou, à défaut, par un béton cyclopéen (figure 5). Ensuite, on reconstitue la carapace du parement par la pose de pierres, taillées et/ou choisies de façon à s'agencer étroitement les unes aux autres. Les joints entre pierres sont exécutés au mortier de ciment et finis à la truelle « langue

de chat ». Si la réparation se situe en parement aval, il faut en assurer le drainage par des joints discontinus ou la pose de barbacanes.

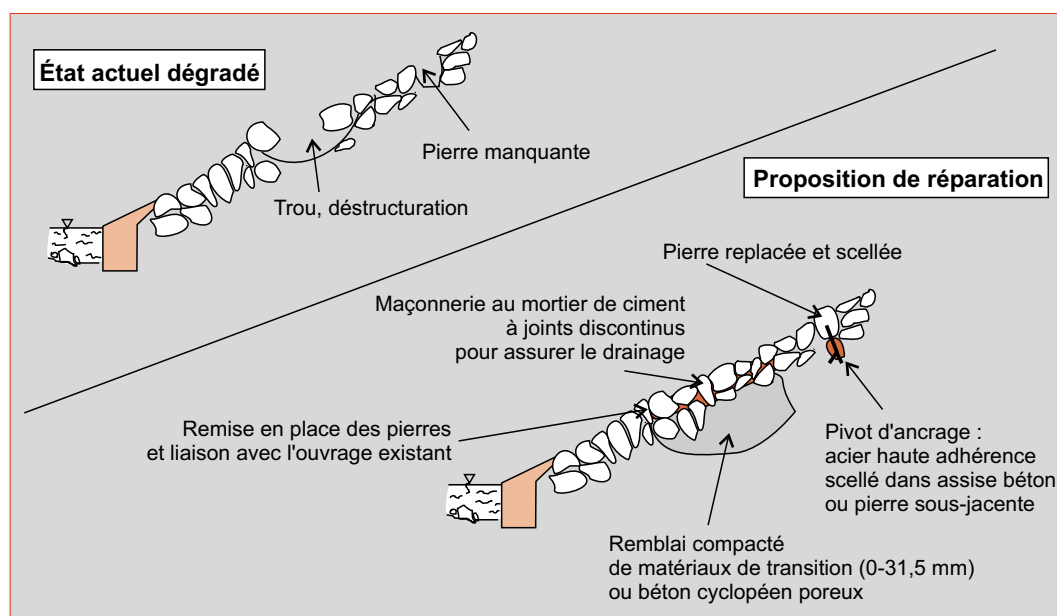
Lorsque le parement aval se montre démantelé ou désorganisé sur la totalité ou la majeure partie de sa surface, il convient de s'orienter vers des techniques de confortement beaucoup plus lourdes telles que la consolidation par un rideau de palplanches amont et aval et/ou la réalisation d'une carapace en béton armé ([3] et [4]).

Enfin, pour toute intervention sur le parement aval, il faut se poser la question de l'opportunité de créer une passe à poissons rustique.

L'altération ou la disparition des joints

On procède, dans un tel cas, à un rejointoiement du parement. Au préalable, il faut soigneusement démanteler les joints préexistants et nettoyer les surfaces à reprendre (par exemple au jet d'air sous pression). Les éventuelles zones de pierres déplacées ou enlevées font l'objet du traitement particulier qui s'impose (voir alinéas précédents).

Le rejointoiement proprement dit s'effectue au mortier de ciment, avec finition obligatoire à la truelle « langue de chat » afin de laisser un joint *rentrant*. Si le traitement concerne le parement aval, on veille à réaliser des joints discontinus (c'est-à-dire interrompus de place en place) ou à implan-



◀ Figure 5. – Reprise locale de maçonnerie.

ter des barbacanes, afin que le parement conserve sa capacité drainante.

Les protections de berges

D'une façon générale, il est recommandé de privilégier les techniques de protection végétales [5]. En particulier et sous réserve de vérifications, ces techniques « douces » peuvent être appliquées avec succès aux secteurs non soumis à une sollicitation hydraulique forte et directe des seuils ou d'autres ouvrages d'art.

Lorsque des sollicitations hydrauliques sévères l'imposent - et ce sera assez souvent le cas pour les berges à renforcer au droit (bajoyer) ou à l'aval immédiat (parafouille) des seuils - la protection en enrochements libres peut s'avérer une solution technique fiable et esthétique à condition de respecter quelques règles simples :

- réaliser une protection assez longue (débordant largement, surtout vers l'aval, de la zone soumise à érosion) ;
- assurer la stabilité en pied par un sabot parafouille en enrochements, fondé à profondeur suffisante (1 mètre minimum) ;
- prévoir une pente de talutage de la protection inférieure à 0,7 (au-delà d'une pente de 1, il faut maçonner les enrochements, voire épaissir la protection qui prend alors un rôle de soutènement) ;
- respecter les règles de transition granulométrique enrochements / sol de fondation par la mise en œuvre, en fond de fouille, d'une couche filtre granulaire ou d'un géotextile renforcé ;
- choisir des blocs anguleux, durs et non gélifs (le basalte et le granite sain conviennent bien à ce titre), de poids suffisant (200 à 500 kg pour une pente de talus de 0,7), de nature et teinte se rapprochant le plus possible de celles des pierres du seuil et du substrat de la rivière ;
- exiger un agencement minutieux des enrochements à la pelle mécanique ou au grapin avec un ordre de pose du bas vers le haut afin d'assurer le parfait calage des blocs ;
- prévoir le régalaage et le réengazonnement de la terre végétale en tête de la protection.

En aucun cas, les enrochements et les pierres ne doivent être prélevés dans le lit dont le pavage naturel contribue à l'équilibre morphodynamique de la rivière.

L'élimination et l'entretien de la végétation

Végétation et maçonnerie ne font pas bon ménage. Au minimum, il convient de couper systématiquement les arbres, arbustes et rejets qui se développent sur - ou à proximité immédiate - des structures en maçonnerie, en particulier sur les bajoyers des seuils, presque toujours envahis.

Toutefois, la simple coupe, même régulière, s'avère insuffisante puisqu'elle ne stoppe pas la croissance des racines dans le cas (fréquent) d'espèces rejetant de souche. Il convient, en conséquence, d'intervenir également sur les souches :

- soit par dévitalisation chimique - destinée à tuer la plante - si la maçonnerie paraît encore en bon état autour de la souche. Ceci impose de prendre des précautions d'emploi vis-à-vis de l'impact potentiel des produits utilisés sur le milieu aquatique. En outre, au cours des années qui suivent l'intervention, il convient de surveiller l'évolution de la maçonnerie au fur et à mesure du pourrissement des racines, et de procéder aux réfections nécessaires ;

- soit par arrachage de la souche, si la maçonnerie est déjà sérieusement démantelée par l'action des racines. Il faut, tout de suite après l'arrachage, effectuer la réparation de l'ensemble de la zone de maçonnerie dégradée et, donc, avoir prévu un budget approprié pour une telle intervention.

La prise en compte des contraintes administratives et environnementales

Les travaux de réparation, s'ils ne modifient pas la dénivelée de l'ouvrage et, donc, la ligne d'eau amont, ne sont pas soumis à autorisation ou à déclaration au titre de la loi sur l'Eau. Ce sera donc le cas des réparations du parement ou du pied aval des chaussées.

Pour tout type d'intervention, le maître d'ouvrage d'une opération de restauration de chaussée pourrait retenir le principe d'informer systématiquement, dès le stade projet, le service police des Eaux (MISE) de la teneur des travaux. A charge de ce service de définir les modalités de la procédure à suivre selon la nature effective des réparations. Il serait également opportun d'avertir, en temps utile, les organismes responsables de la gestion de la pêche afin de pouvoir organiser, si nécessaire, la récupération du poisson (pêche électrique).

Les réparations devront être pensées et conduites dans le souci constant de réduire les impacts sur l'environnement : travail à sec (à l'abri de batardeaux) pour éviter la pollution de l'eau par le brassage des alluvions ou par des résidus de bétonnage, priorité donnée aux techniques végétales chaque fois que possible, travaux de réhabilitation après le chantier (régalage de terre végétale, engazonnement et plantations, toutefois hors d'emprise des ouvrages de génie civil). La préservation (ou la restauration) de l'aspect esthétique des chaussées et de leurs ouvrages annexes sera assurée en privilégiant le recours à des techniques de maçonnerie traditionnelle et en employant des matériaux (pierres, enrochements) de même origine ou aspect que ceux des seuils et du substrat des rivières. On rédigera des dossiers de consultation des maîtres d'œuvre, comme des entreprises, qui mettent en avant tous ces points, dans l'objectif de sélectionner des intervenants au fait de la qualité souhaitée pour les travaux.

Les autres composantes de l'étude

■ *La cartographie écologique*

La cartographie écologique a pour but de déterminer l'hydrodynamique des trois rivières étudiées afin de diagnostiquer leur état actuel et de proposer des mesures visant à leur amélioration et à leur protection.

L'échelle adoptée devait être suffisamment fine pour mettre en évidence l'ensemble des éléments nécessaires à cette analyse. Elle a été établie au 1/2 500^{ème}. Les tronçons obtenus à cette échelle mesurent approximativement 800 mètres en fonction de l'étalement des méandres.

Les relevés de terrain concernent :

- les rives (topographie, occupation du sol...) et les berges (hauteur, boisement, érosion, enrochement...);
- les caractéristiques de la rivière (largeur, courants principaux, profondeur, granulométrie du fond, bancs, bras morts...);
- les particularités locales (rejets, dépôts de déchets, clôtures traversant la rivière, arbres menaçant de tomber dans le lit, seuils et autres ouvrages...).

La contribution de la cartographie écologique à l'étude des seuils est donc multiple. Elle permet, d'une part, de les dénombrer et de les localiser ; d'autre part, la connaissance du fonctionnement des rivières fournit un critère « écologie » supplémentaire dans la sélection des seuils sur lesquels s'effectueront les travaux de confortement.

■ *L'étude hydraulique : application sommaire de la méthode « Inondabilité »*

La dégradation et/ou (la perspective de) la disparition des seuils posent *a priori* des problèmes particuliers hydrologiques et hydrauliques :

- la remise en cause de l'équilibre géomorphodynamique existant ;
- des modifications en plan du tracé des rivières ;
- des changements des zones de débordement et des niveaux atteints lors des crues.

Dans ce contexte, l'étude hydraulique [2] avait deux principaux objectifs :

- l'analyse de l'impact des seuils sur la dynamique des rivières ;
- l'évaluation globale des risques d'inondation liés aux trois rivières.

Une étude sommaire de l'hydrologie des apports des bassins versants a été réalisée : elle a conduit à la validation d'un modèle de type débit-durée-fréquence (QdF) sur les données disponibles. L'exploitation du modèle retenu (Vandenesse [6]) a permis d'estimer tous les quantiles de crues pour les différentes tailles de bassin versant à prendre en compte.

Par ailleurs, une analyse de quatre jeux de photos aériennes (1963, 1975, 1994 et 1995 pour la Cère) montre qu'il n'y a pas eu de modification sensible des tracés en plan des rivières au cours des 30 dernières années.

Compte tenu de la granulométrie grossière du substrat des cours d'eau, l'étude hydrodynamique a montré, quant à elle, que les seuils de mise en mouvement ne sont jamais atteints pour les débits instantanés maximum de période de retour un an, estimés précédemment et supposés être de bons indicateurs de l'évolution géomorphologique des lits. La stabilité du substrat n'est donc pas remise en cause, même avec un accroissement de la

penne de la ligne d'eau causé par la suppression des seuils. Il en résulte que la disparition des chaussées n'aurait qu'une incidence locale, limitée au décapage des matériaux fins déposés en amont des ouvrages et à des attaques de berge ponctuelles. *Un tel diagnostic - plutôt rassurant - ne vaut bien évidemment que pour les trois rivières étudiées et ne saurait être généralisé à d'autres cours d'eau à l'équilibre géomorphologique plus précaire, où des ouvrages hydrauliques transversaux, même de petites dimensions, peuvent jouer un rôle capital dans la fixation du profil de la rivière.*

Pour évaluer le risque face aux inondations, les concepts de la méthode *Inondabilité* ([7] et [8]) ont été mis en œuvre, en croisant l'aléa et la vulnérabilité. Au niveau de précision voulu pour l'étude (1/25 000), il n'a pas été possible de qualifier le risque au droit de chaque parcelle. Le travail s'est donc limité à une analyse sommaire par tronçon de rivière, en faisant l'hypothèse que la vulnérabilité du tronçon est celle de la parcelle la plus vulnérable et que son aléa est quantifié par la première crue débordant du lit mineur.

La *vulnérabilité* a été quantifiée à l'aide de normes guides et de l'occupation du sol décrite par les cartes IGN et les photographies aériennes. L'aléa a pu être calculé avec un modèle hydraulique sommaire de calcul de ligne d'eau en régime permanent : Canal 9.

Les résultats montrent que la période de retour des débordements est généralement comprise entre 50 et 100 ans en zone urbaine, supérieure à 100 ans dans les secteurs encaissés amont et de l'ordre de un à deux ans dans les zones rurales.

La situation actuelle du risque d'inondation apparaît donc plutôt bonne : les parcelles qui conditionnent la vulnérabilité d'un site sont rarement situées à proximité immédiate du lit mineur. De plus, le caractère dissymétrique - assez souvent observé - de l'occupation des berges est favorable, sous réserve que la berge peu vulnérable soit aussi la première inondée.

Pour prévenir des risques d'inondation, des zones tampons peuvent jouer un rôle important. Ces dernières ont en effet deux caractéristiques :

- elles sont peu vulnérables aux inondations (prairies ou bois) : c'est un des premiers critères de choix de ces zones ;

- elles permettent de stocker de façon temporaire des eaux excédentaires : elles protègent donc des zones plus sensibles à l'aval en réduisant la débitance instantanée.

Des calculs simples de débit de fuite et de capacité de stockage confirment l'efficacité du laminage sur certaines parties du bassin versant en fonction des volumes de crue mis en jeu. La présence des seuils joue un rôle inondant favorable dans la mesure où ils sont situés à l'amont des zones les plus vulnérables. Par contre, les seuils présents dans les traversées de bourg favorisent les débordements en période de crue comme à Vic-sur-Cère (figure 6).

En terme de devenir des chaussées sur des aspects uniquement liés au risque d'inondation, les conclusions de l'étude hydraulique tendent à recommander la conservation des seuils à l'amont des zones sensibles et, au contraire, leur suppression dans les traversées de bourg. Cependant, ces conclusions ne peuvent être dissociées de celles de l'ensemble de la démarche globale, intégrant les aspects de génie civil, de qualité écologique, de patrimoine... et les résultats obtenus sont à relativiser en fonction des objectifs reconnus comme prioritaires.

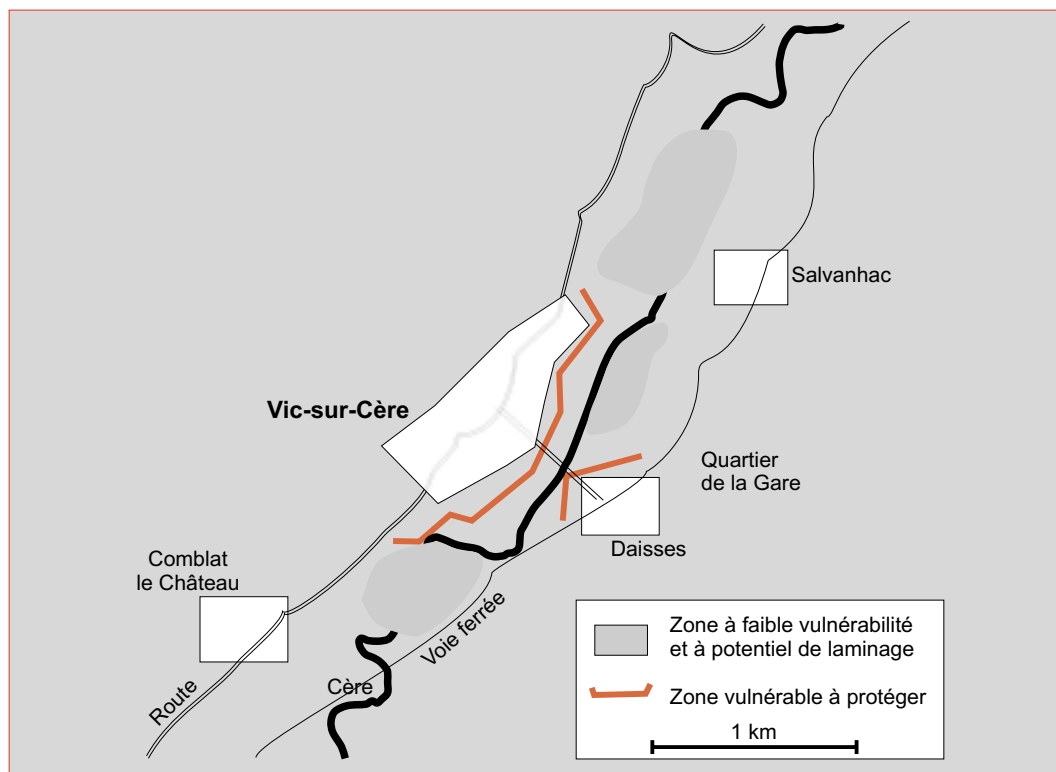
Sur le plan méthodologique, l'application simplifiée de la méthode *Inondabilité* pour l'étude des rivières Cère, Jordanne et Authre a montré que la démarche pouvait se décliner à une échelle plus grossière (1/25000) que celle des applications courantes (1/5000), à condition d'employer des modèles hydrologiques, topographiques et hydrauliques élaborés à une précision pertinente.

■ *L'étude hydrobiologique*

L'évaluation de la qualité du milieu aquatique s'est fondée sur trois types d'informations caractérisant différents compartiments du système aquatique :

- analyses physico-chimiques ;
- étude des populations d'invertébrés ;
- analyse qualitative des populations de poissons en présence.

Ces éléments ont, par la suite, été croisés avec l'impact estimé des seuils sur le milieu piscicole, en particulier sous l'aspect de leur aptitude à être franchis, afin de dégager des actions jugées prioritaires.



◀ Figure 6. – Carte des risques à Vic-sur-Cère.

Résultats des analyses physico-chimiques

La physico-chimie de l'eau a été évaluée avec des campagnes de mesures en mai 1995 (ensemble des trois cours d'eau) réalisées par E.P.I.DOR, des campagnes en juillet 1995 sur la Cère et la Jordanne, et en septembre 1995 sur l'Authre, réalisées par la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) pour le compte de la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) du Cantal. Malgré le caractère ponctuel de ces informations, les données traduisent un état de pollution variable, mais presque généralisé à l'ensemble des cours d'eau.

Pour les paramètres PO_4^{3-} et NH_4^+ , les situations s'étagent de la pollution modérée (PO_4^{3-} et $\text{NH}_4^+ > 0,5 \text{ mg/l}$) à la pollution importante (PO_4^{3-} et $\text{NH}_4^+ > 2 \text{ mg/l}$). Les pollutions les plus nettes sont observées sur la Jordanne en aval de la traversée d'Aurillac ($\text{PO}_4^{3-} = 2,2 \text{ mg/l}$ en juillet 1995) et sur l'Authre en aval du village de Marmanhac ($\text{PO}_4^{3-} = 4,4 \text{ mg/l}$ en mai 1995).

Les indices de qualité biologique (IBGN)

La qualité biologique, vue au travers des notes

IBGN (indices biologiques globaux basés sur la présence et la diversité des invertébrés benthiques [9]), a été appréciée par l'intermédiaire de deux campagnes de la DIREN et du CPIE Haute-Auvergne en été 1995.

L'ensemble des résultats montre que le niveau biologique général des cours d'eau est de qualité moyenne (IBGN = 13 à 14) : la fréquence importante d'apparition des situations anormales pour les dérivés de l'azote et du phosphore (PO_4^{3-}) est sans aucun doute à relier avec une telle qualité biologique moyenne.

Il y a une aggravation certaine sur la Jordanne après la traversée d'Aurillac et sur la Cère après le rejet de la station d'épuration, où les situations deviennent médiocres (IBGN = 8).

Cependant, la situation biologique globale la plus mauvaise est celle de l'Authre (avec un IBGN presque toujours inférieur ou égal à 13). Ceci est de prime abord surprenant dans la mesure où cette rivière ne traverse que des zones rurales, sans grande agglomération.

L'état du peuplement piscicole

Aucune campagne d'inventaire piscicole n'ayant pu être effectuée au titre de l'étude, l'analyse ne repose donc que sur une synthèse qualitative de données préexistantes (période 1984 à 1995).

Si la truite semble présente dans l'ensemble du réseau hydrographique des trois rivières, sa répartition est nettement dominante dans les parties amont des cours d'eau, voire les parties médianes pour la Cère et la Jordanne.

Les quelques données densitaires (nombre et biomasse) recueillies montrent que le secteur salmonicole le plus productif serait celui de la Cère en amont de la confluence avec la Jordanne, avec des densités observées qui atteignaient 5 000 individus/ha et 400 kg/ha en 1986. Le peuplement piscicole de ces zones est globalement bien diversifié, avec la présence de quelques espèces qui se succèdent conformément à un schéma classique de zonation : chabot, vairon, loche franche, goujon, vandoise, barbeau, chevesne, gardon...

Cependant, dans les secteurs de la Cère et de la Jordanne en aval de la ville d'Aurillac, de même que sur la majorité du cours de l'Authre, la situation piscicole paraît avoir basculé nettement vers un peuplement à cyprinidés dominants, mais surtout avec des densités faibles qui traduisent (et confirment) un niveau de dégradation important du milieu aquatique.

Le franchissement des seuils par les poissons

Pour étudier la possibilité de franchissement d'un seuil par les poissons, on doit tenir compte de plusieurs paramètres qui sont, d'une part la nature physique, les dimensions et la morphologie de l'obstacle, et d'autre part, les aspects physiologiques et comportementaux des espèces animales (espèce cible) qui ont à le franchir pendant les époques de migration.

L'appréciation physique de l'obstacle

La hauteur du seuil est bien entendu un critère fondamental, mais l'orientation dans le lit mouillé, le profil du parement aval, l'épaisseur de la lame d'eau déversante, les caractéristiques morphologiques de l'aval immédiat, font également partie des critères fondamentaux pour l'élaboration d'un jugement.

En reprenant les concepts élaborés par Powers & Orsborn [10], il a été proposé de qualifier l'obstacle selon la terminologie suivante :

- totalement infranchissable pour tous les poissons à tout moment (*codage F0*) ;
- franchissable par quelques poissons pendant quelque temps (*codage F1*) ;
- franchissable par quelques poissons à tout moment (*codage F2*) ;
- franchissable par une majorité de poissons à tout moment (*codage F3*).

Une telle qualification, adoptée en première approximation, est relativement aisée en se limitant à une espèce, au cas des seuils artificiels, et à la dénivelée brute entre les lignes d'eau amont et aval.

L'espèce cible

L'identification de l'espèce cible (i.e. celle dont on souhaite ne pas perturber les déplacements ou la migration) est capitale, puisque les capacités de nage et de saut sont très variables d'une espèce à l'autre.

Dans le cas présent, l'espèce à considérer en premier est *a priori* la truite fario, *Salmo trutta* L., dont on peut présumer que l'importance des effectifs serait bien supérieure dans les secteurs actuels des foyers de pollution chronique, si ceux-ci étaient réduits à un niveau de faible activité polluante.

L'évaluation du caractère franchissable des seuils

Afin d'avoir un premier niveau de classement des seuils (à considérer, rappelons-le, comme des obstacles artificiels) et en s'appuyant sur les capacités de saut et de nage des truites adultes, les quatre niveaux précédemment indiqués (F0 à F3) ont été évalués sur la base unique des dénivelées amont-aval de l'obstacle (tableau 3).

A partir de ce premier diagnostic, l'exercice a alors consisté à vérifier que la morphologie (détaillée) de l'obstacle le maintenait dans le niveau de difficulté appréciée par la seule dénivelée, ou à l'inverse le faisait basculer vers un autre niveau de difficulté (inférieur ou supérieur). Ceci a été effectué sur la base des informations récoltées sur le terrain et après examen des photos de détail des seuils, suffisamment explicites pour parfaire le jugement.

Valeur de la dénivelée (ligne d'eau amont-aval)	Classement
supérieure à 1,5 m	F0 - infranchissable par tous à tout moment
de 1 m à 1,5 m	F1 - franchissable par quelques individus pendant quelque temps
de 0,5 m à 1 m	F2 - franchissable par quelques individus à tout moment
inférieure à 0,5 m	F3 - franchissable par une majorité d'individus à tout moment

◀ Tableau 3. – Évaluation du caractère franchissable des seuils.

Ce travail conduit à la principale conclusion suivante : sur le parc diagnostiqué (105 seuils), les 2/3 des ouvrages sont infranchissables (code F0) ou difficilement franchissables (code F1) pour les truites adultes. En dépit de leurs dimensions modestes, les chaussées constituent donc un sérieux obstacle potentiel à la migration des populations de truite.

Quel parti d'aménagement adopter pour améliorer les possibilités de franchissement ?

Partant du constat du degré élevé de pollution des cours d'eau étudiés, le premier objectif à inscrire dans le projet de contrat de Rivière est, à l'évidence, l'amélioration de la qualité de l'eau des trois rivières Cère, Jordanne et Authre.

L'étude hydrobiologique n'a identifié, en l'état actuel des données disponibles, qu'une seule zone à fort potentiel en truites, en amont de la station d'épuration de Vic-sur-Cère. Il a donc été recommandé de rendre franchissable les seuils en priorité dans ce secteur intéressant de la rivière Cère.

Une recherche bibliographique à propos des dispositifs de franchissement [11] montre que les passes de type à ralentisseurs paraissent les plus adaptées à la morphologie des seuils à profil triangulaire (majoritaires dans le parc), tout au moins tant que la pente moyenne du parement aval ne dépasse pas 20 % et que la dénivelée totale est inférieure à 1,5 mètres. Par ailleurs, ces dispositifs sont franchissables par les poissons bons nageurs et endurants, tels les salmonidés auxquels appartient la truite fario, retenue comme espèce cible.

Pour une chaussée de 1,5 mètres de dénivelée, le coût de la passe à ralentisseurs a été évalué à 30 000/40 000 F HT dans le cas où le dispositif est réalisé au moment (et à l'endroit) de la réparation d'une zone dégradée du parement aval, au double (soit 60 000 à 80 000 F HT) s'il s'agit de le créer

dans une zone saine de la carapace en maçonnerie. Ceci justifie la recommandation d'implanter, autant que possible, une passe à ralentisseurs à l'occasion de gros travaux de réparation du parement aval, dans la mesure toutefois où la partie restaurée se situe dans un secteur attractif pour le poisson (angle amont de la zone déversante du seuil formant obstacle).

Le cas des seuils à parement aval vertical ou raide s'avère plus problématique : au-delà de 0,5 mètres de chute, en effet, le seul dispositif de franchissement envisageable est la passe à bassins successifs. Celle-ci présente l'inconvénient d'un coût élevé (plus de 120 000 F HT pour une dénivelée utile de 1,5 m) mais elle est, toutefois, moins sélective et plus performante (autrement dit plus facile à franchir par tous les poissons) que la passe à ralentisseurs.

L'élaboration du programme de réhabilitation

La prise en compte du seul critère génie civil (IGD) devrait conduire à conforter en priorité plus de la moitié des seuils (c'est-à-dire ceux exposés à un péril immédiat, que souligne un IGD compris entre 2 et 3). Toutefois, s'agissant pour la plupart d'ouvrages privés, les collectivités, initiatrices du contrat de rivière, ont souhaité logiquement limiter leur éventuelle participation financière à la restauration des seules chaussées présentant un intérêt général reconnu. Aussi, l'établissement du programme de réhabilitation a-t-il comporté une démarche préliminaire de négociation entre les acteurs en vue de sélectionner des seuils sur la base d'une notion d'intérêt public.

■ La méthode de sélection multi-critère des seuils prioritaires

L'objectif de la démarche est d'identifier les seuils

qui, au regard de leur état actuel et de leur impact (positif ou négatif) vis-à-vis d'un enjeu collectif, nécessitent des travaux prioritaires (de restauration s'il faut les maintenir ou d'aménagement s'il faut les effacer ou les adapter). La méthode [12] consiste à évaluer un Indice d'Intérêt Collectif (IIC) pour chacun des seuils (encadré 2) puis à le croiser avec l'IGD.

Au terme d'une négociation entre tous les acteurs impliqués dans la préparation du contrat de rivière, l'évaluation de l'intérêt collectif de chaque chaussée prend en compte les cinq critères suivants :

- le critère *STABILITÉ* : le seuil contribue à la sécurité d'ouvrages publics (ex : pont) en stabilisant localement le profil de la rivière ou, au contraire, provoque des érosions préjudiciables de par son état dégradé ou sa mauvaise implantation ;
- le critère *INONDATION* : le seuil favorise le débordement en zone peu vulnérable, écrétant la crue au profit d'une zone urbaine aval, ou, au contraire, réduit la débitance de la rivière dans une zone à forte vulnérabilité ;
- le critère *AEP* (Alimentation en Eau Potable) : le seuil, situé à proximité d'un pompage d'eau potable, joue un rôle dans le maintien du niveau de la nappe et dans la sécurité de l'alimentation ;

– le critère *TOURISME - PATRIMOINE* : le seuil, par sa localisation, la retenue qu'il crée, son architecture, son histoire, présente un intérêt patrimonial pour la collectivité ;

– le critère *INTÉRÊT PISCICOLE* : par ce critère, on cherche à identifier les seuils ayant une influence prépondérante (favorable ou défavorable) sur la vie piscicole (ex : retenue d'eau servant de zone refuge pour les poissons en période d'étiage ou, *a contrario*, barrière infranchissable dans un secteur à truites).

Les trois premiers critères identifient un intérêt collectif majeur car l'abandon des seuils concernés représente un risque pour la collectivité. Les deux derniers critères forment un enjeu collectif secondaire puisqu'ils mettent en évidence les facteurs annexes de développement et de valorisation des seuils.

Une fois les modalités de pondération des critères arrêtées par la négociation, l'évaluation de l'Indice d'Intérêt Collectif (IIC) pour chaque seuil s'appuie sur une notation (validée par les différents spécialistes) et une formulation mathématique somme toute banale (encadré 2).

En définitive, la sélection multi-critère a permis de dégager une liste d'une vingtaine de chaussées dont la réhabilitation était jugée comme prioritaire au

Encadré 2

Sélection multi-critère des seuils

Pour calculer l'IIC de chaque seuil, on procède d'abord à la notation individuelle de l'impact du seuil vis-à-vis de chacun des cinq critères retenus : soient les notes N_{st} , N_{in} , N_{aep} , N_{to} et N_{pi} pour respectivement les aspects stabilité, inondation, alimentation en eau potable, tourisme/patrimoine et piscicole.

Chaque note individuelle N_i est comprise, entre 0 et 10 (0 pour un impact nul / 10 pour un impact maximal).

Ensuite, l'IIC s'évalue par la formule suivante (pondération multi-critère) :

$$IIC = \frac{N_{st} \times 2 + N_{in} \times 2 + N_{aep} \times 2 + N_{to} + N_{pi}}{8}$$

avec note d'IIC comprise, par définition, entre 0 et 10.

Un poids double est ainsi affecté aux trois critères reconnus majeurs : hydraulique, inondation et alimentation en eau potable. Parmi les 105 seuils diagnostiqués, l'IIC maximal observé est de 6,25. Enfin, le croisement de l'IIC avec l'indice global de désordres IGD permet d'extraire automatiquement de la liste des seuils, les ouvrages à fort impact vis-à-vis de l'intérêt collectif ($IIC > 2,5$ par convention) et à l'état précaire ($1 < IGD < 4$), c'est-à-dire ceux dont la réhabilitation est prioritaire.

sens donné à ce terme par les acteurs de la démarche. Il est bien évident, cependant, qu'une telle liste n'a pas vocation à être interprétée de façon restrictive dans la mesure où la valeur-plancher de 2,5 adoptée pour l'IIC relève d'un choix subjectif. En outre, les valeurs d'IGD sont susceptibles de s'accroître dans un proche avenir, par dégradation des seuils non confortés ou non entretenus.

■ ***L'élaboration des dossiers d'Avant-Projet Sommaire de réhabilitation***

Les spécialistes génie civil de l'équipe pluridisciplinaire ont élaboré un dossier d'avant-projet sommaire (APS) de réhabilitation pour chacun des 20 seuils sélectionnés : sept sur la Cère, dix sur la Jordanne et trois sur l'Authre. Chaque dossier évalue les différentes options de confortement envisageables, justifie la solution technique préconisée et en fournit une première estimation sommaire. Dotés d'une notice explicative, ces dossiers pourront être utilisés tels quels pour présenter les projets aux financeurs institutionnels.

Les 20 dossiers ont été dressés en intégrant les résultats du volet hydraulique global de l'étude [2] et en privilégiant les options respectueuses de l'environnement et du patrimoine. Les estimations financières ont été effectuées sur la base d'un bordereau des prix unitaires commun, construit à partir d'informations des services de la DDAF du Cantal et de l'analyse de rapports de chantiers récents, fournis par des bureaux d'études régionaux. La constitution ultérieure des Avant-Projets Détaillés (APD) de réparation des seuils nécessitera des études ponctuelles complémentaires : levé précis des caractéristiques géométriques des désordres (dimensions et profondeur des zones déstructurées, fosses d'affouillement, érosions de berge...), simulation hydraulique (afin de fixer les options définitives d'aménagement en ce qui concerne les chaussées intervenant dans la propagation des crues), voire sondages géotechniques (contrôle des fondations des ouvrages les plus importants).

■ ***L'analyse globale des dossiers : réparation et entretien des seuils prioritaires***

Le tableau 4 récapitule les principaux éléments issus des 20 dossiers d'APS. On remarque que le coût moyen de réparation est de l'ordre de

240 000 F HT par seuil et reflète bien l'état de dégradation avancé de ces 20 ouvrages (d'IGD compris entre 2 et 3, par hypothèse). Ce montant est de l'ordre du tiers du coût moyen de reconstruction complète d'un seuil par la méthode la plus économique (ouvrage en béton armé, à parement vertical), du quart d'un coût de reconstruction à l'identique par une méthode traditionnelle (carapace de pierres maçonnées sur corps en tout-venant).

Ces seuils, une fois confortés par de tels travaux (faisant en quelque sorte office d'entretien de « rat-trapage »), devront impérativement être l'objet d'un entretien courant. L'évaluation financière précise n'en est pas évidente : de l'ordre de quelques francs par an ramenés au mètre carré de surface aval de maçonnerie (parement aval et radier éventuel, les plus sollicités sur les plans hydraulique et mécanique) si les visites de contrôle et l'entretien immédiat nécessaire s'effectuent à un rythme rapproché (un à trois ans), de 10 à 30 francs (ou plus !) dans le cas contraire. Autrement dit, plus l'entretien sera espacé, plus son coût moyen annuel sera élevé : ceci montre tout l'intérêt de visites régulières (par exemple, tous les deux ans en temps normal et inspection spéciale après chaque grosse crue) pour détecter au plus tôt les amorces de désordre et pour procéder au contrôle de la végétation et/ou au remplacement des pierres emportées. A cette fin, les maîtres d'ouvrage doivent pouvoir disposer du personnel compétent (technicien formé au génie civil et maçons qualifiés) et d'une provision budgétaire pour le financement des travaux d'entretien immédiat.

Pour conclure...

L'étude de diagnostic de la Cère et de ses deux affluents a été motivée, à son point de départ, par une demande expressément « génie civil » : *des seuils anciens en rivière se sont dégradés au fil des crues, comment et à quel prix peut-on les réparer ?*

Bien vite, cependant, cette question initiale en a appelé une foule d'autres : *quelles sont les fonctions de ces ouvrages ? de quel statut relèvent-ils ? comment leur fonctionnement s'intègre-t-il dans celui de la rivière appréhendée sous toutes ses composantes : écologique, hydraulique, sociale, patrimoniale ? quelles modalités et priorités d'intervention faut-il retenir en définitive ?*

N°	Commune	Hauteur de chute (m)	Long. en crête (m)	Pente paremt aval	Surface totale maç. (m²)	I. G. D.	I. I. C.	Code franchisist	Commentaires sur le seuil	Travaux de réfection préconisés		
										Montant HT	Description sommaire	
C6	Thièzac	0,79	33	0,21	123,75	3	4	F1	du moulin de la Salle	310 000	protection du pied aval / rejointoiement du part aval	
C8	Vic/Cère	1,71	31	0,20	303,80	2/3	6	F1	du moulin de Vialard, mal réparé	500 000	reconstruction complète du seuil	
C10	Vic/Cère	1,29	20	0,25	168,75	2	6	F1	retenue baignant le radier de C9	200 000	réalisation d'un radier de dissipation aval	
C11	Vic/Cère	1,84	24	0,20	284,60	2/3	5	F0	en aval de la scierie	250 000	réalisation d'un radier aval / rejointoiement part aval	
C29	Arpajon	0,69	42	0,16	231,00	3	6	F3	en aval pont D920, au droit stade	220 000	protection parafouille / barbacanes / étanchéité amont	
C30	Arpajon	0,51	34	0,16	171,50	2	6	F1	de la déflueuse, camping en RG	160 000	réalisation d'un parafouille en béton	
C31	Arpajon	1,34	50	0,23	277,75	1/2	6	F0	du moulin (restauré) d'Arpajon	170 000	réalisation d'un radier de dissipation / barbacanes	
J11	Vélzic	2,82	23	subv.	178,00	2	3	F0	radier aval (important) affouillé	420 000	parafouille en palplanches, non compris vannellerie	
J23	St Simon	1,23	17	0,50	68,00	2	3	F0	de l'ancien moulin de Rouffiac	130 000	réparation de maçonnerie / bajoyers / radier aval	
J31	St Simon	2,11	25	0,34	275,00	2	4	F0	proximité du terrain de sport	180 000	rejointoiement et réparations de maçonnerie	
J33	St Simon	2,02	53	0,18	535,00	3	5	F0	aval du pont de St Simon	200 000	démolition seuil existant / protection rapprochée pont	
J36	St Simon	3,24	28	0,22	392,00	2/3	4	F0	«chassée de Martinet aval»	240 000	réparations de maçonnerie / enrocht chenal de crue	
J38	Aurillac	1,70	41	0,25	390,50	3	4	F0	seuil avec brèche mal réparée	510 000	reconstit. et rejoint. maçonnerie / radier parafouille	
J39	Aurillac	2,01	35	0,20	420,00	2/3	4	F0	seuil dit «chassée plate»	240 000	rejointoiement du parement aval et parafouille en béton	
J40	Aurillac	2,11	38	0,30	281,80	2	4	F0	seuil dit «chassée Servant»	140 000	rejointoiement partiel du part aval / petites réparations	
J44	Aurillac	2,19	40	0,20	1303,00	1/2	5	F0	important radier aval	50 000	petites réparations de maçonnerie	
J49	Aurillac	2,69	52	0,20	870,00	2	4	F0	important radier aval	75 000	petites réparations de maçonnerie / nettoyage part	
A25	Jussac	1,42	73	0,19	511,00	3	4	F0	seuil en aval du Pont d'Authre	550 000	reconstitution de maçonnerie et rejointoiement	
A54	Lacapelle-V.	2,51	34	subv.	86,25	1/2	4	F0	du moulin de Jallès	130 000	rejointoiement et reprises sur parement aval	
A55	Lacapelle-V.	0,86	11	subv.	14,98	3	4	F2	bajoyer endommagé	100 000	reconstitution du bajoyer rive gauche	
					1,75	35	0,23	344,33	Géométrie moyenne			
										TOTAL DES TRAVAUX (HT)	4 775 000	Cxx : seuils sur la Cère
										Coût HT moyen des travaux / seuil	238 750	Jxx : seuils sur la Jordanne Axx : seuils sur l'Authre

▲ **Tableau 4. – Présentation synoptique des 20 seuils à réhabilitation prioritaire.**

Le maître d'ouvrage et les financeurs de l'étude se sont appropriés ces questions et ont souhaité qu'au travers du projet du contrat de Rivière, il leur soit apporté une réponse « intégrée ». Aussi, l'étude a-t-elle été finalement conduite à son terme grâce à la collaboration de nombreux acteurs issus de « corps de métiers » les plus divers : écologues, techniciens du génie civil, hydrauliciens, hydrobiologistes, élus locaux, pêcheurs, agriculteurs, formateurs... parmi bien d'autres.

En qualité d'organisme de recherche, le Cemagref compte prolonger ce travail par la rédaction d'un guide pour la réparation et l'entretien des ouvrages anciens en rivière. La démarche, pensons-nous exemplaire, développée par les acteurs du contrat de Rivière Cère, pourra ainsi être valorisée auprès des nombreux gestionnaires de rivière confrontés en France à la problématique similaire d'un parc de petits ouvrages hydrauliques vieillissants. □

Remerciements

Les études sur les rivières Cère, Jordanne et Authre sont cofinancées par le Fonds Européen d'Orientation et de Garantie Agricoles (FEOGA), l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, l'Etat-Ministère de l'Environnement, le Conseil Général du Cantal, le Parc régional des Volcans d'Auvergne et les collectivités intercommunales concernées. Leur maîtrise d'ouvrage est assurée par E.P.I. DOR (Etablissement Public Interdépartemental DORdogne), qui a en outre, en charge la rédaction du document de synthèse au titre de la préparation du contrat de Rivière Cère.

Ont, par ailleurs, contribué à la réalisation des études : le Centre Permanent d'Initiation à l'Environnement (CPIE) d'Aurillac, la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) d'Auvergne, la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) du Cantal, et au Cemagref

d'Aix-en-Provence, Paul Royet, chef de division, Stéphane Bonelli, Bernard Rivier, Fabien Chone (stagiaire ENPC), Emanuel Gaillard, Dominique Breil et Christiane Futol.

Enfin, le présent article a bénéficié de la relecture patiente et attentive de Gérard Degoutte, de l'ENGREF.

Résumé

Le présent article expose l'approche intégrée mise en œuvre en vue du diagnostic de petits ouvrages hydrauliques établis sur trois rivières du département du Cantal. Les ouvrages concernés sont des seuils à faible hauteur de chute (1 à 4 mètres), en maçonnerie de pierres pour la plupart d'entre eux. Ces seuils, dont certains sont pluriséculaires, ont été construits pour l'irrigation des terres agricoles ou pour l'alimentation de moulins. Par manque d'entretien, ils se dégradent aujourd'hui de façon alarmante, au gré des crues successives des cours d'eau. Inquiétés par cette situation, administrations et élus locaux ont demandé une étude portant sur l'ensemble du parc d'ouvrages. Au-delà du simple diagnostic génie civil souhaité au démarrage de l'étude, la réflexion engagée a finalement intégré les divers aspects hydrauliques, hydrobiologiques et patrimoniaux, liés à l'existence et au fonctionnement des seuils. L'étude a conduit à hiérarchiser les ordres de priorité d'intervention, à l'appui d'une analyse multi-critère, et a abouti à l'élaboration d'un programme de réhabilitation de 20 seuils, jugés prioritaires, sur un parc de quelque 160 ouvrages.

Abstract

This paper describes the integrated approach used checking small weirs on three rivers in the department of Cantal. They were small, low-drop weirs (1 to 4 meters), most of them stone masonry constructions. These weirs, some several hundred years old, were constructed for field irrigation or to supply water for mills. Due to lack of maintenance they are now deteriorating at an alarming rate after successive river floods. The local authorities were concerned about the situation and called for a study of all the weirs. Over and above the simple civil engineering check required at the start of the analysis, considerations undertaken finally incorporated the various hydraulic, hydrobiological and heritage aspects surrounding the existence and operation of the weirs. The study established a hierarchy of priority classes for work to be done, which, together with a multi-criteria analysis, led to the establishment of a programme for renovating the 20 most critical of the total of 160 weirs.

Bibliographie

- [1] MERIAUX, P., DUMONT, B., BONELLI, S., FOLTON, C., 1997. Étude des trois rivières Cère, Jordanne et Authre : diagnostic des chaussées. *Rapport de synthèse*, Rapport Cemagref pour le compte d'E.P.I.DOR., Aix-en-Provence, 53 p.
- [2] GILARD, O., GENDREAU, N., 1995. Etude des rivières Cère, Jordanne et Authre - hydrologie, hydraulique et géomorphologie. *Rapport Cemagref pour le compte d'EPI DOR.*, Lyon, 47 p.
- [3] DEGOUTTE, G., 1986. Techniques de réparation des seuils anciens en rivière. *Informations techniques du Cemagref*, cahier 61, note n° 2.
- [4] DEGOUTTE, G., 1992. Diagnostic des seuils de l'Arc et principes de confortement. *Rapport d'étude* Cemagref pour le compte du Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Bassin de l'Arc, Aix-en-Provence, 66 p.
- [5] LACHAT, B., 1994. *Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales*. Ministère de l'Environnement, DIREN Rhône-Alpes, 143 p.

- [6] GALEA, G., PRUDHOMME, C., 1997. Notions de base et concepts utiles pour la compréhension de la modélisation synthétique des régimes de crue des bassins versants au sens des modèles. QdF, *Revue des Sciences de l'Eau*, n°1, p. 83-101.
- [7] GENDREAU, N., GILARD, O., 1997. Flood risk management support system, Ribamod Concerted Action. *Proceedings of the first expert meeting*, Copenhagen Denmark, 10-11 October 1996, European Commission, EUR 17456 EN.
- [8] CHASTAN, B., GILARD, O., GIVONE, P., OBERLIN, G., 1995. La prise en compte du risque d'inondation, *Ingénieries E.A.T.*, n°2, juin 1995, p. 13-20.
- [9] COLLECTIF, 1990. *Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)*, Norme NF T90-350.
- [10] POWERS, P.-D., ORSBORN, J.-F., 1985. Analysis of barriers to upstream fish migration. *Final Project Report, part 4*. An investigation of the physical and biological conditions affecting fish passage at culverts and waterfalls, Albrook Hydraulics Laboratory. Dpt of civil and engineering Washington State University, Pullman, Washington, 99164-3001.
- [11] COLLECTIF, 1992. Guide de conception des dispositifs de franchissement des barrages pour les poissons migrateurs. Conseil Supérieur de la Pêche, *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, n° 326-327.
- [12] MERIAUX, P., ROYET, P., DUMONT, B., MERLET, C., FERNANDEZ, R., 1996. Les « chaussées » du Cantal en péril : application d'une approche pluridisciplinaire pour leur diagnostic. *Colloque COS'96* (Comportement des Ouvrages en Service) à Clermont-Ferrand, p. 69-79.