

Article

« Évaluation de l'état de l'hydromorphologie des cours d'eau : retour d'expérience sur le bassin Adour-Garonne (France) »

Christian Beaufrère, Pierre Dabos et Jean-Pierre Rebillard

Géographie physique et Quaternaire, vol. 61, n° 1, 2007, p. 55-74.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/029570ar>

DOI: 10.7202/029570ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE L'HYDROMORPHOLOGIE DES COURS D'EAU : RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LE BASSIN ADOUR-GARONNE (FRANCE)

Christian BEAUFRÈRE*, Pierre DABOS et Jean-Pierre REBILLARD ; premier et deuxième auteurs : Bureau d'études GéoDiag, 8 bis rue Camy, 64000 Pau, France ; troisième auteur : Agence de l'Eau Adour-Garonne, 90 rue du Férétra, 31078 Toulouse Cedex 4, France.

RÉSUMÉ Pour préparer la mise en œuvre de la directive 2000-60-CE du Parlement et du conseil européen, établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne a réalisé une évaluation de l'état de l'hydromorphologie de plusieurs milliers de kilomètres de cours d'eau selon un protocole original. À partir d'un inventaire normalisé des Aménagements, des Travaux et des Ouvrages, une évaluation des altérations potentielles de l'hydromorphologie a été réalisée à l'aide du système-expert EVACE. Cette approche ne nécessite pas, comme préalable, l'utilisation d'une typologie de cours d'eau ou d'un échantillon représentatif de sites de référence. Elle est en mesure de fournir une image nuancée et réaliste d'un réseau hydrographique étendu ou d'une portion de cours d'eau. Cette évaluation en continu peut constituer la première étape d'une analyse multi échelle de l'altération du milieu physique des rivières, allant du grand bassin-versant à la station de caractérisation de l'état de l'habitat ou de la biologie. Cette démarche emboîtée peut aider à établir des liens entre les altérations de l'hydromorphologie et la qualité écologique des cours d'eau. Ainsi, elle est en mesure d'identifier les causes sur lesquelles il est nécessaire d'agir pour améliorer l'état des cours d'eau.

ABSTRACT *Evaluating the hydro-morphological state of water courses: Feedback from the Adour-Garonne River basin experience (France).* In order to implement the 2000-60-CE Directive of the European Parliament and Council that establishes a framework to community actions in the field of water policy, the Adour-Garonne Water Agency has pursued the analysis of several thousands kilometres of water courses to estimate their hydro-morphological state, using a new study protocol. The hydro-morphological potential state has been estimated by the EVACE assessment system and based on a normalized inventory of modifications, works and buildings. This method does not request any particular river typology nor any relevant reference sites sample as a precondition. This method proposes a varied and realistic picture of a large river basin as well as a short section of a stream. This gradual evaluation method can be considered as the first step of a river multi-scale method of analysis to measure river morphology changes from large river basins to small river biological environment assessment spot. This interlocked method can help determine connections between hydro-morphological changes and rivers' ecological quality. It directly points down causes of disruptions that can be corrected to improve water courses quality state.

INTRODUCTION

Depuis octobre 2000, la Directive Cadre Européenne (DCE) 2000-60-CE établit un nouveau cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Les états membres de l'Union Européenne doivent entreprendre une étude des incidences de l'activité humaine sur l'état des eaux de surface. L'état des lieux est la première étape de la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne par les agences de l'eau françaises. Il vise en particulier la désignation des cours d'eau présentant un niveau d'altération anthropique de leurs caractéristiques biologiques et hydromorphologiques, dont l'atteinte du bon état écologique n'est pas envisageable d'ici 2015.

Cette exigence pose une double question : Comment peut-on évaluer la qualité de l'hydromorphologie d'un grand linéaire de cours d'eau ? Comment peut-on mesurer les effets de l'anthropisation des cours d'eau sur l'état de leur hydromorphologie pour expliquer les perturbations constatées sur les habitats et plus largement l'état écologique ?

Depuis plus de 10 ans, de nombreuses expérimentations à travers le monde ont permis la mise au point de protocoles ou d'outils d'évaluation des cours d'eau (Indice de qualité de la bande riveraine au Québec, *River Habitat Survey* en Grande-Bretagne, *River Assessment System* en Australie, LAWA en Allemagne, etc.), qui ont principalement mis l'accent sur la qualité de la biologie ou des habitats. Des tests réalisés avec les outils anglais (RHS) et allemand (LAWA) ont conduit l'Agence de l'Eau Adour-Garonne à soutenir la conception d'un protocole nouveau, traitant plus spécifiquement de l'hydromorphologie. En effet, les paramètres hydromorphologiques conditionnent les paramètres biologiques, ce qui conduit la DCE à demander que l'état de l'hydromorphologie des cours d'eau soit apprécié en fonction des trois critères suivants : le régime hydrologique (degré de perturbation de la connexion des eaux de surface avec les eaux souterraines, quantité et dynamique des débits), la continuité du cours d'eau (degré de perturbation de la migration des organismes aquatiques et du transport des sédiments) et les conditions morphologiques du cours d'eau (degré de perturbation de l'état des rives, du substrat du lit et des conditions d'écoulement).

Par ailleurs, la DCE demande que cette évaluation soit fondée sur l'écart entre l'état observé et les conditions hydromorphologiques de référence caractérisant le même type de cours d'eau dénué de toute modification d'origine anthropique ou très proche de cette situation.

L'évaluation à entreprendre nécessite donc des réponses concrètes aux questions suivantes : Existe-il des sites correspondant aux conditions de référence ? Dans l'affirmative, les sites sont-ils représentatifs de tous les types de cours d'eau à évaluer ? Quels paramètres doivent ou peuvent être pris en compte pour établir une échelle de valeurs qualifiant l'état de l'hydromorphologie de ces sites et permettant la comparaison avec les autres cours d'eau ?

Les tests réalisés depuis 1998 pour l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (fig. 1) ont fourni des éléments de réponses à

ces questions. Devant les difficultés rapidement mises en évidence, et afin de pouvoir efficacement réaliser l'état des lieux de 20 000 km de cours d'eau, nous avons fait le choix d'une approche nouvelle susceptible de répondre à la fois aux objectifs d'évaluation émanant de la DCE et aux contraintes opérationnelles propres à l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et à son territoire.

Après avoir rappelé les bases de notre démarche, nous présenterons les protocoles testés pour l'acquisition des données et le mode de définition des descripteurs avant de décrire sommairement les fondements de l'outil de traitement. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus afin de mieux dégager certaines des perspectives ouvertes par cette expérimentation.

FONDEMENTS DU PROTOCOLE UTILISÉ

COMPARAISON DE L'ÉTAT D'UN COURS D'EAU À CELUI D'UN SITE DE RÉFÉRENCE

L'hydromorphologie s'intéresse aux aspects structuraux et fonctionnels qui définissent les cours d'eau et leur dynamique d'évolution. Elle considère le cours d'eau en tant que milieu physique, ensemble de facteurs abiotiques constituant l'habitat des organismes aquatiques. Les paramètres structuraux, tels que le tracé ou le gabarit d'un cours d'eau, sont considérés au même titre que les processus, tels que l'érosion, le transport solide et la sédimentation (fig. 2).

L'extrême variabilité spatiale des cours d'eau (Schumm, 2005) ainsi que l'absence d'une relation simple entre les processus géomorphologiques et les structures qui en résultent rendent toute comparaison entre deux cours d'eau délicate (Goodwin, 1999). Même si de nombreux paramètres morphologiques semblent similaires, il suffit de différences mineures entre les contextes climatique, géologique ou orographique de deux cours d'eau pour que des écarts significatifs apparaissent naturellement au niveau de leur fonctionnement.

Aussi, nous avons écarté le recours à un état de référence géographique relatif à un cours d'eau de même type que celui à évaluer et présentant un état actuel pas ou peu modifié. Ceci nous a permis de nous affranchir de l'utilisation d'une typologie pré-établie. En effet, toutes présentent des limites de représentation et d'utilisation (Goodwin, 1999 ; Kondolf *et al.*, 2003).

Le recours à un état de référence historique a également été abandonné. En effet, en France, nous manquons de données fiables, homogènes et surtout exhaustives pour décrire avec précision l'état passé des cours d'eau, avant les modifications liées aux activités humaines. Ce déficit se retrouve pour la plupart des rivières du bassin Adour-Garonne. Par ailleurs, cette approche diachronique se heurte au fait que, naturellement, un cours d'eau évolue et peut changer de style fluvial, voire se métamorphoser, en fonction des évolutions climatiques, d'événements géologiques ou d'implantations d'espèces exogènes (Juracek et Fitzpatrick, 2003 ; Schumm, 2005). Ainsi, on ne sait pas comment les cours d'eau en

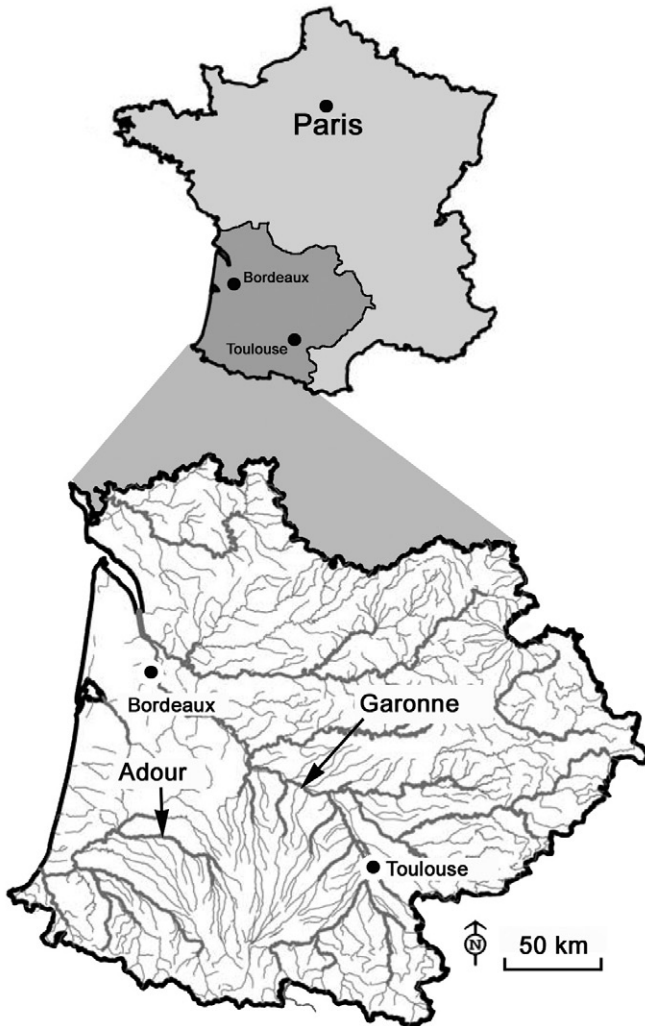


FIGURE 1. Localisation du bassin Adour-Garonne (France).
Location of the Adour-Garonne River basin (France).

tresses du piémont pyrénéen auraient évolué spontanément depuis la fin du présumé Petit Âge Glaciaire (vers 1865) en dehors de toute pression anthropique.

D'une manière générale, qu'ils soient géographiques ou historiques, les sites de référence font défaut en dehors du petit chevelu en tête de bassins montagneux dépourvus d'aménagements hydroélectriques. Ce déficit est également lié à la grande diversité physique des cours d'eau français et des territoires qu'ils traversent. Ainsi, sur le district Adour-Garonne, il apparaît que chaque type de cours d'eau présent dans l'une des principales hydroécocorégions (Wasson *et al.*, 2002) ne dispose pas d'un site de référence avec lequel l'état de son hydromorphologie pourrait être comparé.

LIMITES DE L'ANALYSE STATIONNELLE

Lors des premiers tests réalisés, le recours à l'analyse stationnelle a montré des inconvénients paraissant incompatibles avec les objectifs visés (Beaufrère, 1999). En effet, un site

échantillon, en conditions de référence ou non, doit avoir des caractéristiques spatiales qui garantissent sa représentativité par rapport à l'extension du cours d'eau à évaluer. Ainsi, dans le cas du *River Habitat Survey* (Charrier, 1997; Raven *et al.*, 1998; Environment Agency, 2002), certains des paramètres utilisés pour décrire le lit mineur à l'échelle du tronçon unitaire de 500 m (profil de berge, dimension du lit mineur, paramètres artificiels, etc.) ne permettent cependant pas de décrire ou d'évaluer les perturbations affectant l'hydromorphologie du cours d'eau ou du réseau hydrographique auquel appartient l'échantillon.

Le caractère séquentiel des descripteurs morphologiques caractérisant un cours d'eau d'un type donné semble permettre d'associer le linéaire d'une station d'analyse à la largeur du lit mineur à pleins bords (succession des faciès d'écoulement radier et de banc-mouille; Bravard et Petit, 1997). Cependant, pour les besoins des analyses statistiques auxquelles les données seront ultérieurement soumises, il faut que le nombre de séquences morphologiques soit suffisant, au moins une dizaine, ce qui peut nécessiter un linéaire plus important. À l'opposé, pour éviter des campagnes de terrain lourdes à mettre en œuvre, il faut limiter le linéaire à caractériser au strict nécessaire. Mais, en caractérisant une portion de cours d'eau trop courte, on prend le risque de donner un poids excessif à de simples singularités, relativement ponctuelles, donc peu représentatives.

Largement utilisée pour l'évaluation de la qualité biologique ou des habitats (Harrelson *et al.*, 1994; Agence de l'Eau RMC, 1999; Souchon *et al.*, 2000), l'analyse stationnelle nous a donc paru inadaptée pour caractériser l'état de l'hydromorphologie d'un linéaire important de cours d'eau. En effet, elle ne permet pas d'évaluer, dans la continuité et aux échelles auxquelles ils interviennent ou sont contrôlés, des processus déterminants, tels que l'érosion ou le transport solide par charriage.

ÉVALUATION DE L'HYDROMORPHOLOGIE À PARTIR DE L'ANTHROPISATION

Les difficultés entrevues pour évaluer l'état de l'hydromorphologie des cours d'eau par comparaison avec un état de référence ou une approche stationnelle nous ont conduits à nous intéresser directement à leur anthropisation.

L'écart que présente un cours d'eau par rapport à ses propres conditions non perturbées découle de l'existence de modifications qui affectent des critères d'état ou de fonctionnement (fig. 2). Seules les perturbations d'origine anthropique devant être prises en compte pour évaluer la qualité du milieu physique (Union Européenne, 2000), il est nécessaire de distinguer les modifications qui sont imputables, d'une part, aux phénomènes naturels, et d'autre part, aux activités humaines (Baril, 2000). De manière générale, cette analyse relève de l'expertise au cas par cas, pour répondre aux questions telles que : La localisation et l'extension des zones d'érosion observées découlent-elles de l'expression normale des processus morphodynamiques ou sont-elles influencées par des éléments anthropiques ? Les facteurs anthropiques impliqués

sont-ils déclencheurs ou seulement aggravants vis-à-vis des modifications constatées ?

De nombreux facteurs interviennent conjointement pour définir le fonctionnement d'un cours d'eau et son évolution (Amoros et Petts, 1993 ; Bravard et Petit, 1997 ; Schumm, 2005). Dès lors, chaque facteur peut générer ses propres perturbations. Celles-ci peuvent être immédiates ou différées, locales ou à distance, directes ou indirectes. Les impacts relatifs à chaque cause peuvent ensuite se combiner de multiples manières : addition, compensation, amplification, succession en cascade, etc. Considérant une perturbation donnée, discriminer la part relative ou le rôle particulier se rapportant à chaque cause impliquée, naturelle ou anthropique, représente donc une analyse complexe.

Nous en avons conclu que toute portion homogène de cours d'eau ne peut être comparée qu'à elle-même pour évaluer l'état de son hydromorphologie. Cela implique cependant de disposer d'une « image » complète la décrivant. Notre mission ne permettait pas de réaliser un diagnostic spécifique sur les milliers de kilomètres de cours d'eau à évaluer, en partant d'une perturbation donnée pour en déterminer toutes les causes. C'est pourquoi nous avons retenu comme postulat que, pour définir les perturbations d'origine anthropique, il serait plus efficace de partir directement des causes potentielles de modification que sont les Aménagements, les Travaux ou les Ouvrages (ATO) qui résultent des activités humaines (Beaufrère et Dabos, 2005). Elles sont qualifiées de « potentielles » dans la mesure où, même si leurs impacts réels peuvent être connus au cas par cas, ils ne sont pas inventoriés en tant que tels.

ÉTABLISSEMENT D'UNE LISTE ADAPTÉE DE DESCRIPTEURS PERTINENTS

Le choix et le nombre des ATO utilisés comme descripteurs répondent à un objectif de fiabilité et de cohérence et aux contraintes de mise en œuvre de l'inventaire, en termes de délai, de coût, de lourdeur de la saisie, de besoin de stockage, puis de traitement des données collectées. Nous avons sélectionné les ATO les plus pérennes et dont les impacts peuvent être les plus perturbateurs pour l'hydromorphologie des cours d'eau. Cela nous a donc conduit à éliminer les travaux relevant du génie végétal ou de l'entretien courant de la ripisylve ou des bancs alluviaux. Les ATO retenus sont listés dans une légende normalisée qui présente la nomenclature, un descriptif sommaire et une codification (tabl. I).

Afin de pouvoir désigner les compartiments les plus perturbateurs ou les plus altérés, les ATO sont inventoriés selon leur localisation, sur le lit majeur ou le lit mineur, et en fonction de leur implantation (talus ou haut de berge, longitudinalement ou transversalement, etc.). Pour certaines familles d'ATO, nous avons également pris en compte un critère secondaire à la fois facile à acquérir et permettant de pondérer le niveau d'impact potentiel. C'est ainsi que les seuils transversaux peuvent être décrits en fonction de leur hauteur relative par rapport à la berge la plus basse ou les ouvrages de

franchissement en fonction de l'emprise relative de leurs culées et piles sur le lit mineur.

ÉTABLISSEMENT D'UN LIEN ENTRE UNE CAUSE IDENTIFIÉE ET SES EFFETS POTENTIELS

Si une simple quantification des ATO présents sur un cours d'eau peut permettre d'établir une comparaison de son niveau d'anthropisation au sein d'un échantillon de rivières à évaluer, en revanche elle ne donne pas d'indication concernant les paramètres d'état ou de fonctionnement qui sont susceptibles d'être perturbés ni sur le niveau relatif de cette perturbation. Aussi, dans notre démarche, l'étape suivante consistait à mettre en relation un ATO donné avec les perturbations de l'hydromorphologie dont il peut être la cause. En nous appuyant sur la bibliographie (Rosgen, 1996 ; Wasson *et al.*, 1998) et sur les diagnostics de cours d'eau dont nous avons déjà eu la charge, nous avons établi par expertise un lien théorique entre chaque type d'ATO retenu et les principales perturbations pouvant lui être imputées.

Parmi les paramètres contrôlant l'hydromorphologie, certains sont peu sujets à l'anthropisation, comme le climat ou la géologie (fig. 2). Au contraire, d'autres peuvent être fortement perturbés par les usages qui en dépendent comme, par exemple les débits liquides modifiés par l'exploitation de la ressource en eau (hydroélectricité, force hydraulique, prélèvements domestiques ou agricoles) et la morphologie du lit mineur ou celle du lit majeur modifiée pour répondre aux besoins d'espace (remblaiement, drainage) et de sécurité (endiguement) des zones urbaines.

Les paramètres pouvant ou devant être pris en compte pour caractériser un cours d'eau et évaluer l'état de son hydromorphologie sont donc nombreux. Leur liste peut varier selon l'échelle spatiale considérée, selon que l'évaluation porte spécifiquement sur l'hydromorphologie ou plutôt sur les habitats, mais aussi en fonction des données et des moyens d'investigation disponibles.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les tests effectués pour l'Agence de l'Eau Adour-Garonne ont d'abord concerné des fiches descriptives de terrain (Aquascope, 1997 ; Beaufrère et Gross, 1999). Dans un second temps, le protocole d'une cartographie descriptive de terrain a été défini, puis sa mise en œuvre testée, sur quelques centaines de kilomètres de cours d'eau. Cette cartographie de terrain a contribué à la conception du système-expert EVACE pour l'Évaluation de l'Anthropisation des Cours d'Eau (Beaufrère et Dabos, 2003).

Dans un troisième temps, ce protocole a été adapté pour réaliser l'état des lieux d'environ 20 000 km de rivières du bassin Adour-Garonne. Le recours à une cartographie de terrain des ATO n'étant pas possible, nous avons réalisé une cartographie des descripteurs directement à partir de données cartographiques déjà disponibles.

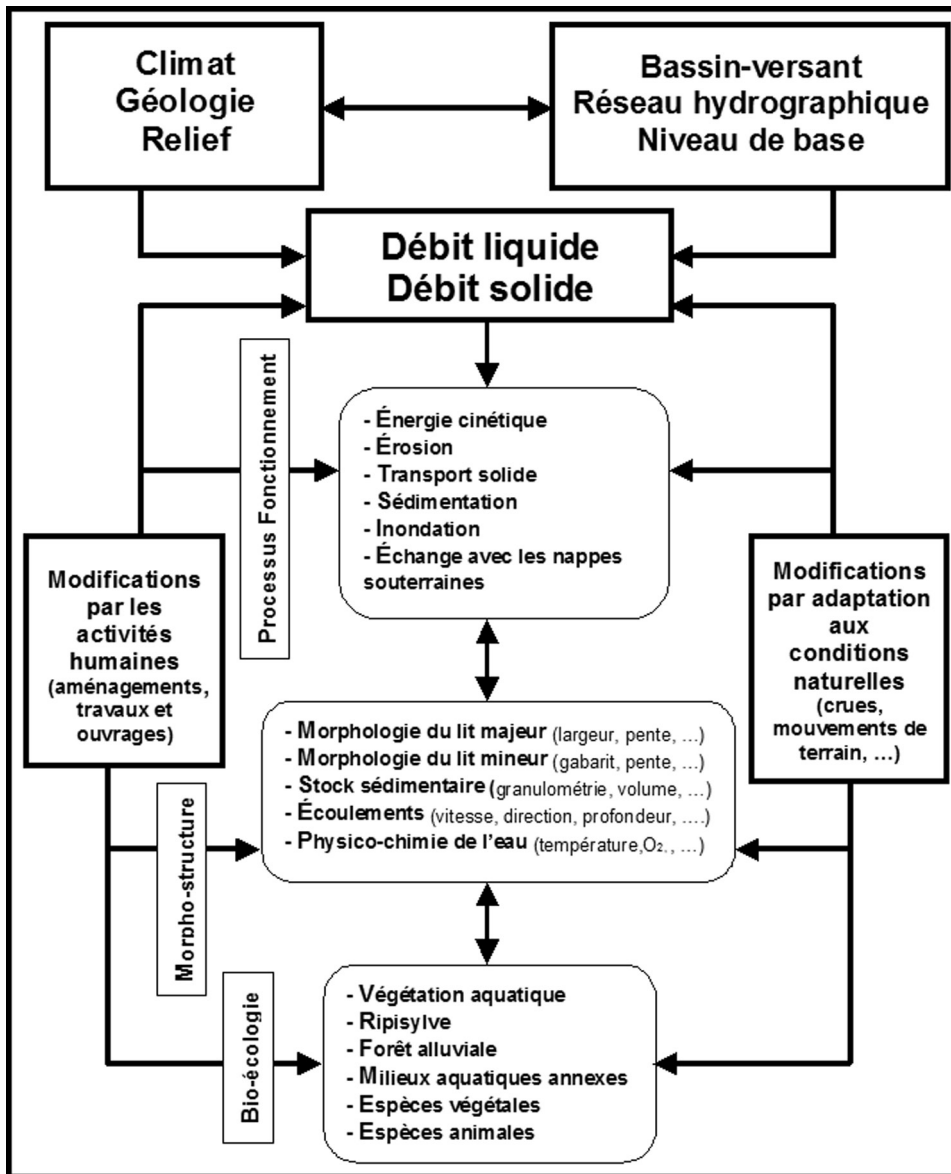


FIGURE 2. Paramètres influencés par les modifications anthropiques. *Parameters concerned by anthropogenic disturbances.*

CARTOGRAPHIE DESCRIPTIVE DE TERRAIN

L'objectif de constituer une base de données cartographique des ATO déterminait les choix suivants : l'utilisation de fiches descriptives a été totalement abandonnée au profit de la spatialisation des descripteurs ; l'acquisition des données et leur traitement ont été clairement dissociés afin de pouvoir s'adapter aux évolutions de l'outil de traitement et de permettre d'autres utilisations ; la part de l'expertise, au moment de l'acquisition des données de terrain, a été réduite au minimum ; le protocole d'acquisition des données peut s'adapter à des contraintes opérationnelles variables (coût, délais, etc.) et permettre d'évaluer aussi bien un bassin-versant qu'une portion de cours d'eau ; le protocole d'acquisition doit permettre le contrôle, le suivi et la mise à jour des données.

Une partie des descripteurs du lit majeur, notamment l'occupation du sol, a pu être directement renseignée à partir

d'une interprétation de photographies aériennes. Pour des cours d'eau suffisamment larges, certains ATO ont également été répertoriés par cette technique (seuil, pont, gravière, etc.).

La cartographie de terrain a été menée en continu, en combinant une navigation en canoë et des investigations complémentaires sur les berges ou le lit majeur. Sur les fonds de carte, les ATO observés sont pointés, qu'ils soient ponctuels (pont, seuil, etc.) ou étendus (digue, portion rectifiée, etc.). Pour optimiser le temps imparti à cette étape, les informations sont reportées sur des guides dessinés sur les fonds de carte et sur lesquels les opérateurs indiquent seulement les changements de situation (début et fin d'un ouvrage linéaire) à l'aide de la codification normalisée (fig. 3).

L'opportunité de décrire la ripisylve et la végétation des bancs de sédiments a fait l'objet de tests particuliers, selon le même type de protocole. Les descripteurs retenus (stratifica-

TABLEAU I
Extrait de la légende normalisée (version 2001)

Zone	Familles d'ATO	Description des ATO
Lit mineur — Chenal d'écoulement — Berge	Digues et remblais	Décharge, gravats Remblai, dépôts divers, etc.
	Protection de berge	Gabion Protection minérale libre (enrochement, mur, etc.) Protection minérale maçonnée (palplanche, etc.)
	Épis déflecteurs	Emprise <5 % de la largeur du lit Emprise 5-10 % de la largeur du lit Emprise >10 % de la largeur du lit
	Modification de la géométrie	Remblai sur fond de lit Recalibrage, curage Rectification du tracé, rescindement
	Gravières	Gravière en activité Plan d'eau de gravière en lit mineur Gravière inactive
	Dérivations	Chenal secondaire aménagé en dérivation Portion du lit mineur court-circuitée Portion du lit mineur soumise à des éclusées
	Seuils	Hauteur relative entre 0 et 1/3 Hauteur relative entre 1/3 et 2/3 Hauteur relative entre 2/3 et 1
	Ouvrages	Retenue d'eau à l'amont d'un ouvrage
	Barrages-réservoirs	Barrage hydroélectrique Retenue collinaire Barrage de soutien d'étiage
	Ouvrages de franchissement	Sans restriction de la largeur d'écoulement Restriction de la largeur de 1 à 10 % Restriction de la largeur de 11 à 20 % Restriction de la largeur >20 %
Lit majeur	Occupation du sol	Forêt Zone humide, marais, annexe fluviale Zone de marais drainé Plantation de feuillus Plantation de résineux Culture, plantation de rapport Culture irriguée Sol remanié, friche, broussaille, etc. Noyau urbain : bâtiment, route, etc.
	Digues et remblais opaques	Digue longitudinale sur une rive Digue longitudinale sur deux rives Digue ou remblai transversal sur une rive Digue ou remblai transversal sur deux rives
	Plans d'eau artificiels	Plan d'eau creusé Plan d'eau bordé de digues
	Modifications de la topographie	Surélévation du terrain naturel (remblai, etc.) Abaissement du terrain naturel (déblai, etc.)

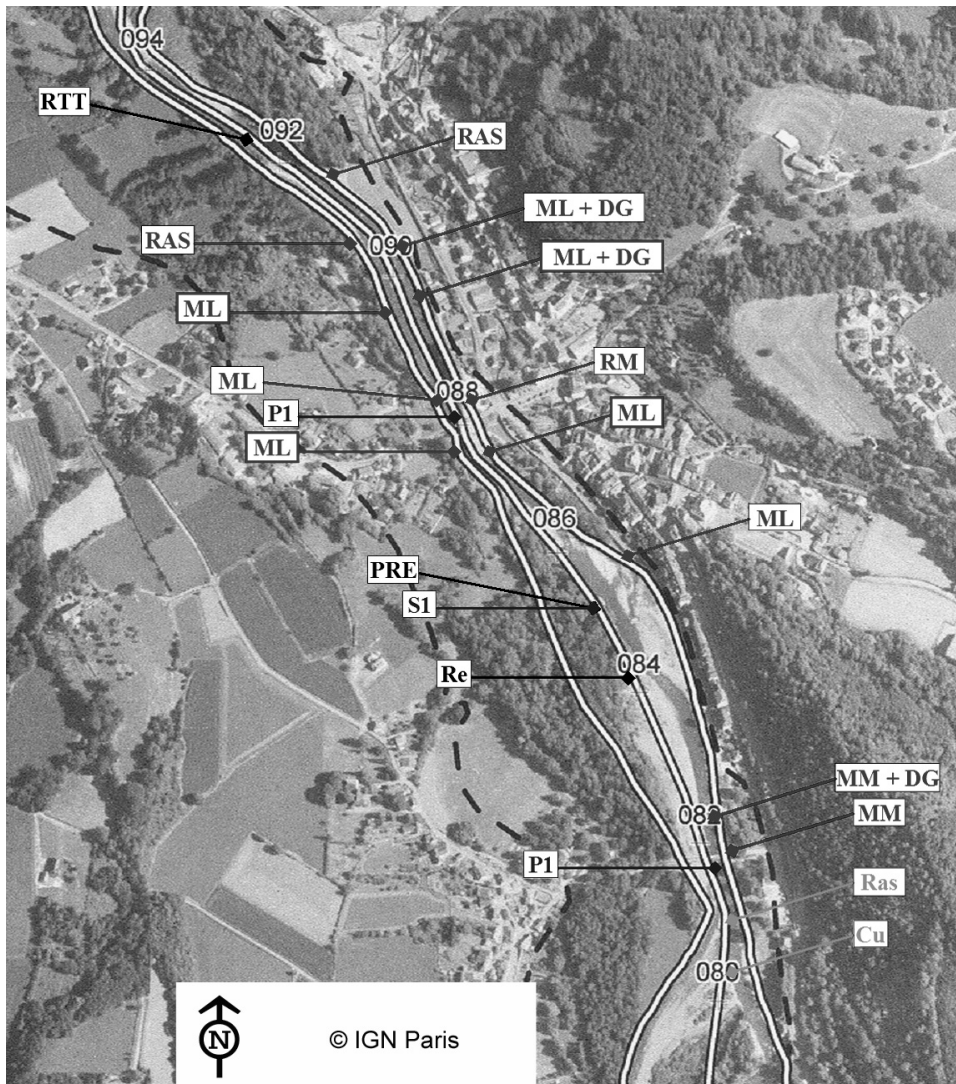


FIGURE 3. Exemple de cartographie descriptive de terrain (reproduit avec la permission de l'Institut Géographique National).

Example of descriptive field cartography (reproduced with the permission of the Institut Géographique National).

tion, strate dominante, espèces exotiques ou indésirables, etc.) ont été reportés sur un jeu de cartes spécifiques au moment des investigations de terrain.

CARTOGRAPHIE DES ATO À PARTIR DES DONNÉES DISPONIBLES

Contraintes opérationnelles

Pour la réalisation de l'état des lieux de ses cours d'eau, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne a choisi d'acquérir des données à l'échelle de son territoire (fig. 1) afin d'identifier les rivières présentant une qualité de l'hydromorphologie significativement modifiée ainsi que les principales causes de perturbation et les activités associées. La constitution d'une base de données permettant de regrouper et de consulter les informations pertinentes relatives à ces cours d'eau est visée.

Le délai d'acquisition des données étant limité à quelques mois, le recours à des investigations de terrain est inenvisageable. Cependant, les données recueillies doivent avoir un

caractère homogène sur l'ensemble des cours d'eau et être facilement vérifiables et quantifiables.

Choix des sources de données

Les sources de données sont multiples : les rapports d'études ou les thèses présentant un diagnostic ; les bases de données thématiques au 1/100 000 (BD CARTHAGE®, BD Ouvrages, BD CARTHOS®, Corine Land Cover) ; les cartographies des zones inondables ; les cartes géologiques au 1/50 000 (SCANGEOL®) ; les cartes topographiques au 1/25 000 (SCAN25®) ; la BD-TOPO® de l'Institut Géographique National (IGN), avec une déclinaison vectorisée et actualisée de la cartographie au 1/25 000 ; les photographies aériennes orthorectifiées de la BD-ORTHO® (résolution 1 m).

Pour des questions de disponibilité à l'échelle de la zone concernée (environ 116 000 km²) et de coût d'acquisition, l'utilisation de la BD-TOPO® ou de la BD-ORTHO® comme principale source de données est écartée, bien que ces supports soient les plus adaptés. Le seul support retenu pour l'acqui-

sition exhaustive des données disponibles est donc la carte topographique SCAN25®.

ATO inventoriés

Par rapport à la cartographie de terrain, la liste des ATO inventoriés a dû être réduite et simplifiée (tabl. II). On distingue plusieurs types de données : celles ne faisant appel à aucune interprétation et devant seulement être traduites dans la nomenclature de référence, celles faisant appel à une interprétation directe des éléments lus sur la carte et celles faisant appel à une déduction indirecte à partir des données cartographiées.

Dans la première catégorie, on peut placer les ponts, les seuils, les digues, les gravières, explicitement indiqués sur le SCAN25® par un figuré ou une appellation.

Dans la seconde catégorie, on peut évoquer le cas de certains seuils et dérives, en particulier pour les cours d'eau illustrés par un simple trait sur le SCAN25®, en raison de leur faible largeur. Par exemple, si aucun seuil n'est représenté sur la carte mais que l'opérateur repère au moins deux indices concordants (indication d'un moulin, d'une usine ou d'une

écluse sur un vecteur hydraulique connecté au cours d'eau), il a pour consigne de saisir un seuil à l'endroit de la diffluence et de considérer le vecteur hydraulique comme une dérivation.

Dans la troisième catégorie, les connaissances acquises lors des investigations effectuées antérieurement sur le terrain ont permis d'interpréter certaines configurations en termes de travaux en grand, sans que ceux-ci figurent explicitement sur le fond de carte. Ainsi, lorsque le SCAN25® indique des levées de terre étendues longitudinalement aux cours d'eau, celles-ci sont saisies comme des digues longitudinales (fig. 4). En milieu rural, ce type de configuration indique que le cours d'eau a fait l'objet d'un recalibrage, le plus souvent avec rectification de son tracé. Dans une grande majorité des cas, les levées de terre ainsi édifiées l'ont été à partir des résidus des curages qui ont couramment été pratiqués au cours des années 1970 et 1980, dans le sud-ouest de la France.

Enfin, certaines informations sont recueillies à partir des bases de données disponibles (équipements hydroélectriques soumis à redevance, etc.) ou à la suite d'un recensement ou d'un traitement sommaire sous un système d'information géographique (SIG) (zones urbaines denses, retenues collinaires,

TABLEAU II
Liste des descripteurs inventoriés (version 2004)

ATO implantés en lit majeur	
Canaux	Canal artificiel servant de dérivation Canal artificiel sans dérivation
Digues et remblais sans transparence hydraulique	Digue longitudinale Remblai ou digue transversale
Gravières et plans d'eau artificiels	Gravière et plan d'eau issu d'une extraction Plan d'eau ceint de digues, sans extraction
Occupation du sol	Noyau urbain Zone de marais drainé
ATO implantés en lit mineur	
Modifications de la structure et de la géométrie du lit	Recouvrement, passage couvert Modification du tracé, recalibrage Transformation en canal
Protection de berge	Mur ou berge maçonnée
Gravières	Gravière Plan d'eau de gravière
Dérives	Chenal secondaire aménagé en dérivation Portion court-circuitée
Seuils et barrages	Seuil Barrage-réservoir Retenue de seuil ou barrage Retenue collinaire
Ouvrages de franchissement	Pont, passerelle, viaduc
ATO implantés sur un autre cours d'eau du bassin versant	
Barrages	Barrage-réservoir Barrage anti-marée Retenue collinaire

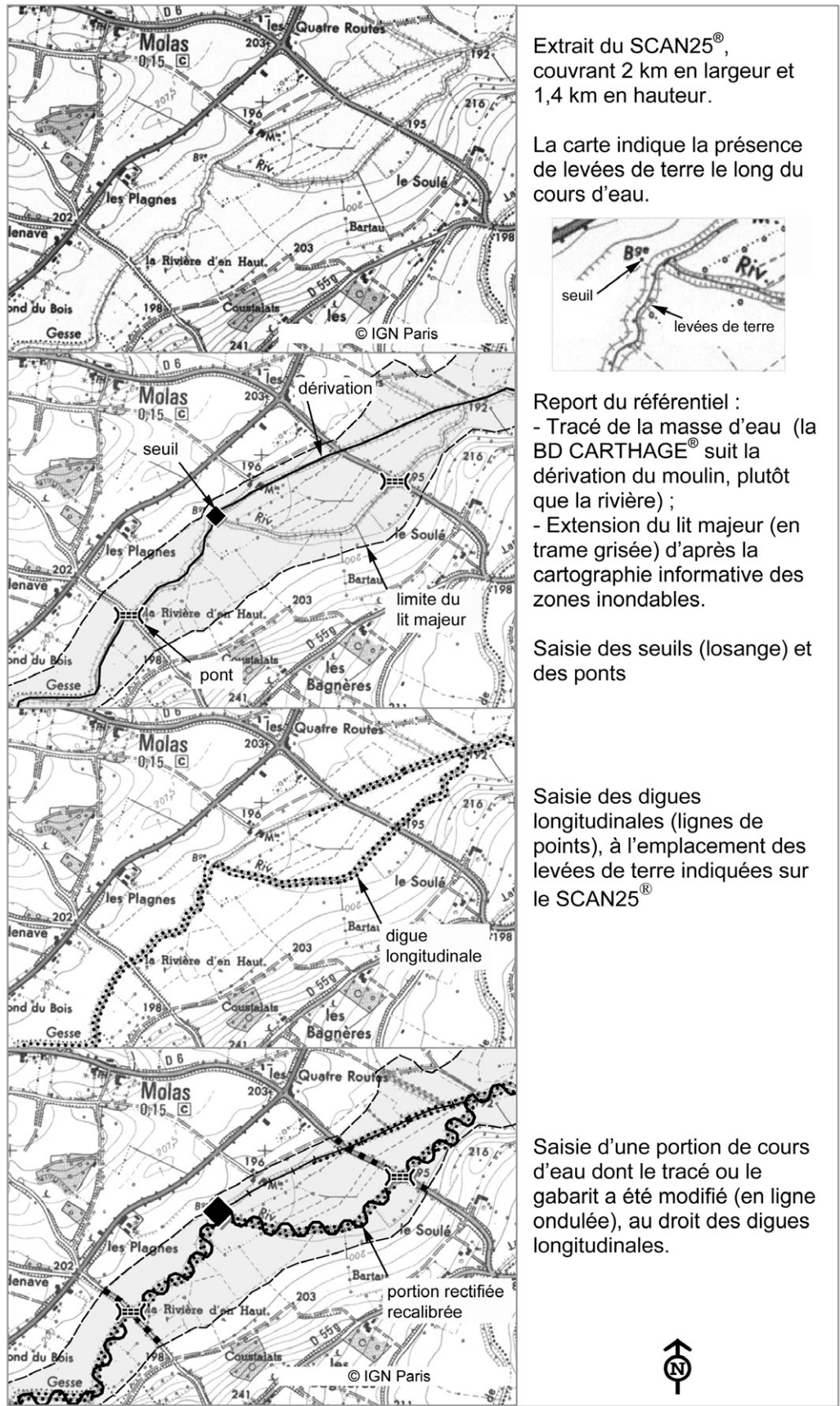


FIGURE 4. Exemple de saisie directe d'ATO sous un système d'information géographique (source : reproduit avec la permission de l'Institut Géographique National).

Example of direct data input of Modifications, Works and Buildings with a geographical information system (Source: reproduced with the permission of the Institut Géographique National).

etc.). Concernant les retenues associées aux seuils, elles ne sont pas saisies car rarement identifiables sur les cartes. Cependant, une retenue est rattachée à chacun des ouvrages saisis et sa longueur automatiquement déterminée, parmi trois classes, en fonction du rang et de la pente longitudinale du cours d'eau.

Protocole retenu

Le mode d'inventaire retenu est la saisie directe sous SIG des ATO identifiables sur les cartes SCAN25® selon un protocole normalisé. Les objets sont saisis à l'intérieur de l'enveloppe du lit majeur. Celle-ci est reprise sur les cartographies disponibles ou sommairement déduite de l'analyse croisée avec les cartes géologiques (alluvions récentes).

Les opérateurs sont formés à la lecture de carte, à l'utilisation du SIG et au respect du protocole de saisie. Il s'agit donc de les familiariser avec les représentations utilisées sur les cartes topographiques et de traduire correctement les informations cartographiques lues en fonction de la nomenclature normalisée des descripteurs à inventorier.

Un contrôle de qualité est mis en place, comprenant trois étapes : une relecture des éléments déjà saisis par un second opérateur, une analyse des incertitudes signalées et un contrôle aléatoire régulier par un expert hydromorphologue, et un contrôle de conformité topologique par le responsable de la maintenance du SIG et de la base de données.

Descripteurs typologiques du cours d'eau

Les caractéristiques structurelles et fonctionnelles du cours d'eau, utilisées comme éléments de pondération par l'outil de calcul du système-expert EVACE, sont déterminées, par expertise, en fonction des données cartographiques et hydrologiques disponibles (tabl. III). Selon l'unité spatiale choisie pour la restitution de l'évaluation, cette détermination peut nécessiter la réalisation d'une sectorisation morphologique des cours d'eau.

SYSTÈME-EXPERT EVACE

Principes du système-expert

Chaque ATO inventorié est réputé d'être potentiellement à l'origine d'altérations concernant l'hydromorphologie du cours d'eau.

La nature et l'importance de ces altérations potentielles varient en fonction du type d'ATO, de sa configuration et selon les caractéristiques structurelles et fonctionnelles du cours d'eau à évaluer. Chaque ATO génère, de fait, un écart par rapport à l'état non influencé par les activités humaines. Cet écart sera d'autant plus important que les ATO inventoriés seront nombreux ou étendus et que leurs impacts cumulés seront intenses et pérennes.

Dans le protocole utilisé, l'évaluation des impacts potentiels revient au système-expert EVACE. À partir de la quantification des ATO, il évalue, en continu, le niveau des perturbations de

TABLEAU III
Caractéristiques fonctionnelles renseignées

Caractéristiques fonctionnelles	Puissance spécifique	
	<35 W/m ²	>35 W/m ²
Lit majeur	Absent	Présent
Lit mobile (substrat)	Non	Oui
Nappe d'accompagnement	Absent	Présent
Transport solide/charriage	Non	Oui
Influences marines	Non	Oui
Zones de marais	Absent	Présent

tout ou d'une partie d'un cours d'eau, pour chaque compartiment (lit mineur, lit majeur) et pour chaque fonction naturelle de la rivière (écoulement, érosion, transport solide, sédimentation), en s'adaptant à la diversité des caractéristiques fonctionnelles rencontrées.

Pour le cours d'eau à évaluer, les altérations potentielles d'origine anthropique déterminées par famille d'ATO inventoriée sont cumulées. Les altérations potentielles sont évaluées sans jugement de valeur quant à leur caractère néfaste ou bénéfique pour tel usage du cours d'eau. Le système-expert caractérise uniquement le fait que l'anthropisation puisse avoir modifié l'hydromorphologie d'un cours d'eau à des degrés divers.

Architecture du système-expert

Le système-expert EVACE comprend trois modules : un module préparatoire, la base de données et l'outil de traitement (fig. 5).

La phase préparatoire est conduite par les experts (hydromorphologue ou géomaticien). Elle permet d'optimiser l'exploitation des données déjà disponibles et de réduire les investigations ultérieures au strict nécessaire, en fonction du niveau de précision recherché. Ce module concerne la normalisation du référentiel cartographique, avec la définition du linéaire de cours d'eau à évaluer, la délimitation du lit mineur, quand celle-ci est rendue nécessaire par l'évolution rapide de son tracé, et la délimitation du lit majeur.

Elle repose sur la collecte des données disponibles, notamment des supports cartographiques qui permettent la sectorisation des cours d'eau et la description des caractéristiques structurelles et fonctionnelles de l'unité spatiale à évaluer, ou encore la détermination des modifications d'origine anthropique en grand (travaux de rectification, etc.).

Cette phase est également consacrée aux traitements automatiques des données déjà disponibles sous la forme de base de données. Enfin, elle sert à former les opérateurs de terrain ou de saisie informatique et à préparer les supports cartographiques et les légendes normalisées.

La base de données cartographique est constituée à partir des ATO inventoriés, soit sur le terrain, soit à partir de données disponibles.

L'évaluation des altérations potentielles repose sur une quantification des ATO rapportée à l'unité spatiale d'évalua-

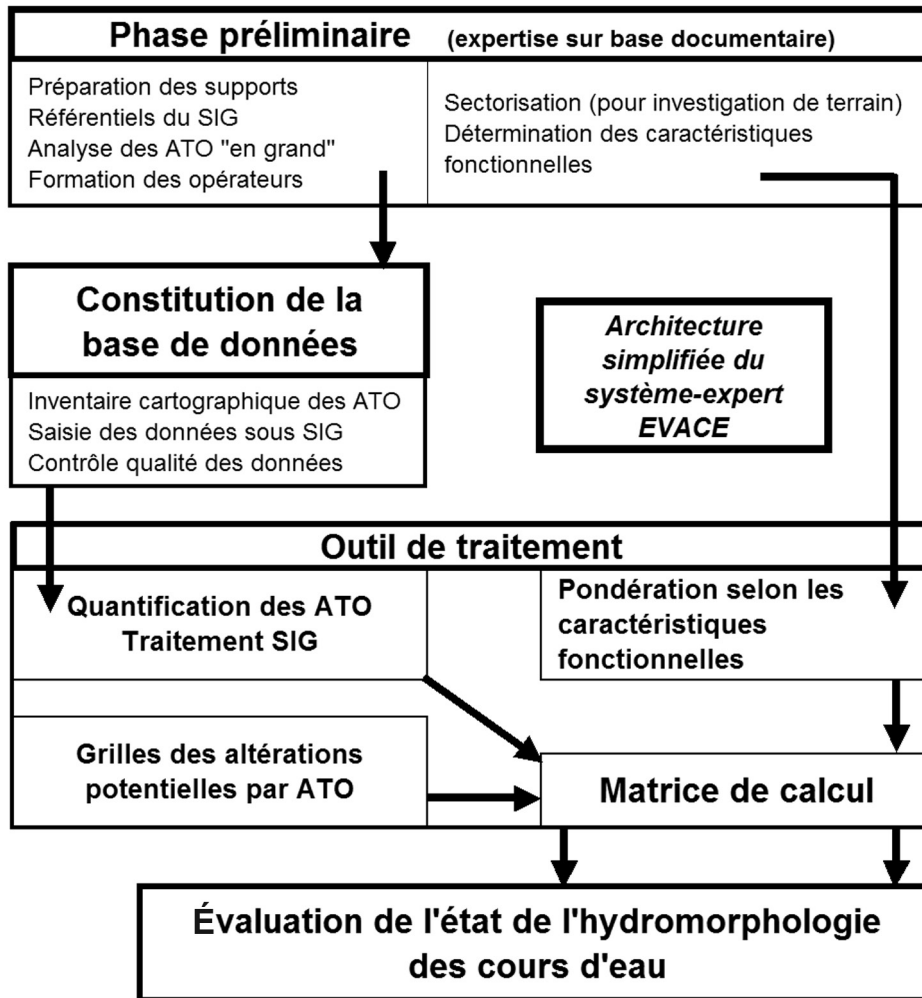


FIGURE 5. Architecture simplifiée du système-expert EVACE.
Simplified architecture of the EVACE assessment system.

tion. Elle s'appuie également sur une liste d'ensembles fonctionnels altérables permettant de décrire la structure et le fonctionnement d'un cours d'eau, en tant que milieu physique. Les trois critères fondamentaux de la DCE (conditions morphologiques, conditions hydrologiques et d'écoulement, continuité) sont décrits à l'aide de 17 ensembles fonctionnels qui regroupent 73 éléments fonctionnels altérables.

Fonctionnement de l'outil de traitement

L'outil de traitement fonctionne comme une boîte noire, dont les constituants peuvent être modifiés, en fonction de l'expertise acquise au fil des expérimentations. Pour chaque type d'ATO, les altérations potentielles maximales sont préalablement estimées pour chaque élément fonctionnel altérable, à dire d'expert et en fonction d'une grande diversité de cas connus. L'ensemble de ces coefficients constitue la grille dite des altérations potentielles maximales (tabl. V). Chaque altération potentielle est évaluée sur une échelle allant de 0 à 5 et en combinant quatre critères : son intensité, son extension, sa réversibilité et sa durée.

Le système-expert comprend deux grilles des altérations potentielles maximales, élaborées en fonction de la valeur de

la puissance spécifique (tabl. III). Cette distinction prend en compte les différences fonctionnelles connues qui distinguent les cours d'eau à résilience forte (réversibilité naturelle) et ceux pour lesquels les capacités de réajustements morphologiques sont faibles ou nulles (Brookes, 1990).

À l'échelle de l'unité spatiale d'évaluation, la valeur de la puissance spécifique permet de sélectionner automatiquement la grille correspondante. Ensuite, les autres caractéristiques structurelles et fonctionnelles, renseignées lors de la phase préliminaire, permettent d'adapter automatiquement la liste des éléments fonctionnels altérables que l'outil de calcul doit prendre en compte. Ainsi, dans le cas d'un cours d'eau en gorge, l'absence de lit majeur implique que les altérations potentielles concernant ce compartiment de l'hydrosystème sont automatiquement considérées comme nulles.

Les sommes combinées de la quantification des ATO, des caractéristiques fonctionnelles et des altérations potentielles maximales permettent d'obtenir une matrice de scores. Pour chaque unité spatiale évaluée, ces scores définissent le niveau d'altération potentielle de chaque ensemble fonctionnel altérable. Le niveau de perturbation de l'état de l'hydromorphologie du cours d'eau évalué est défini par la somme des scores obtenus pour l'ensemble des éléments fonction-

nels altérables concernés et pour l'ensemble des ATO impliqués (fig. 6).

RÉSULTATS

CARTOGRAPHIE DES ATO SUR LE TERRAIN

Les tests effectués par plusieurs équipes sur différents types de cours d'eau (en tresses, à méandres, anastomosés, etc.) concernent un linéaire total d'environ 250 km. La cartographie descriptive permet des progrès substantiels sur la plupart des points problématiques mis en évidence lors des tests effectués à l'aide de fiches descriptives : la collecte des données sur le terrain est plus facile, fiable et stable ; la vérification des données collectées est possible grâce à une géolocalisation précise ; la saisie informatique des données sous un SIG permet de constituer une base de données et de produire des restitutions cartographiques à différentes échelles ; le contrôle des données saisies, à partir des cartes d'inventaire, est plus facile et plus sûr ; la quantification et le traitement des données peuvent être automatisés et adaptés à l'unité spatiale d'évaluation souhaitée.

La vitesse d'avancement pour une cartographie complète (bureau et terrain, lit majeur et lit mineur) est en moyenne de l'ordre de 12 à 15 km par jour, soit environ le double de ce que demande une cartographie d'état des lieux d'une étude diagnostic pour l'élaboration d'un schéma d'aménagement et de restauration. Cela permet un coût moyen de l'ordre de 100 euros H.T. par kilomètre (hors acquisition des supports cartographiques et hors frais liés aux déplacements).

CARTOGRAPHIE DE LA RIPISYLVE

L'acquisition des données décrivant la ripisylve conduit à un quasi doublement des coûts pour les investigations de terrain et à une grande fatigabilité des opérateurs. Elle exige des compétences ne correspondant pas à une réalisation en routine par des techniciens non spécifiquement formés. Dans une majorité des cas, les altérations touchant la ripisylve recourent les informations déjà fournies par l'inventaire des ATO.

Ce bilan indique que ce domaine doit être réservé à une approche stationnelle ou faire l'objet d'investigations spécifiques permettant de compléter la base de données déjà constituée à partir des ATO. Dans le cadre d'une évaluation de l'état de l'hydromorphologie en routine, une simplification des descripteurs de la végétation ligneuse semble souhaitable, à partir de données telles que la présence ou l'absence, l'épaisseur du cordon rivulaire, les espèces dominantes (allochtones ou non). Par ailleurs, une cartographie sommaire, à partir des photographies aériennes, est possible pour les deux premiers critères, avec une mise en œuvre moins onéreuse.

ÉTAT DES LIEUX À PARTIR DES DONNÉES DISPONIBLES

Près de 20 000 km de cours d'eau ont pu être évalués pour un coût inférieur à 5 euros H.T. par kilomètre. Les résultats

obtenus sont validés à deux niveaux, l'inventaire des ATO et l'évaluation de la qualité de l'hydromorphologie des rivières.

Inventaire des ATO

Au total, plus de 50 000 objets cartographiques constituent la base de données des causes potentielles d'altération de l'hydromorphologie des rivières évaluées pour le bassin Adour-Garonne.

L'inventaire des ATO est confronté aux informations issues du terrain. Il est comparé avec les données recueillies lors des tests de terrain ou soumis à des acteurs locaux réputés pour bien connaître les cours d'eau évalués. Cette confrontation confirme les faiblesses attendues pour l'inventaire partiel, réalisé essentiellement à partir des cartes topographiques SCAN25®.

Elle indique que les portions de cours d'eau équipées de seuils ou ayant fait l'objet d'importants travaux de recalibrage ou de rectification sont plus étendues que celles inventoriées. Elle conduit cependant les acteurs locaux à ouvrir leur champ de vision, au-delà des portions de cours d'eau qu'ils connaissent bien. D'une manière indirecte, cela permet à certains d'entre eux de se familiariser avec une approche intégrée, à l'échelle d'un bassin-versant.

Du fait des contraintes opérationnelles, un certain nombre d'ATO reconnus comme utiles, voire nécessaires, ne peuvent pas faire l'objet d'un inventaire complet. Ainsi, les protections de berges sont largement sous représentées par rapport à la réalité. C'est également le cas pour les portions de cours d'eau recouvertes ou dont le fond a été bétonné. Les épis et les jetées ne sont pas inventoriés.

Enfin, pour certains ATO, l'inventaire réalisé n'est pas complet du fait de l'ancienneté du fond des cartes topographiques. C'est notamment le cas pour les seuils, les retenues collinaires ou les barrages-réservoirs de soutien d'étiage, dont certains ont moins de 20 ans d'existence. De fait, les quantifications et les évaluations réalisées à partir de cet inventaire sans investigation de terrain doivent généralement être considérées comme des « valeurs planchers ».

Évaluation de la qualité de l'hydromorphologie des cours d'eau

Le diagnostic rendu par le système-expert EVACE se compose d'une note en continu, s'étalant de 0 à plus de 4 000 pour les 20 000 km de rivières évalués (fig. 7). Elle représente la somme des altérations potentielles imputables aux ATO inventoriés sur la portion évaluée.

Chaque cours d'eau constitue sa propre référence (USEPA, 2000) et le niveau de perturbation potentiel de son hydromorphologie est évalué dans l'absolu. En comparant les résultats obtenus pour l'ensemble des cours d'eau, il est possible d'identifier ceux qui représentent un état peu ou pas modifié, proche de l'état dit de référence, ou, au contraire, ceux qui sont les plus fortement modifiés. Les notes les plus élevées, supérieures à 2 500, correspondent soit à des portions présentant une succession d'ouvrages hydroélectriques,

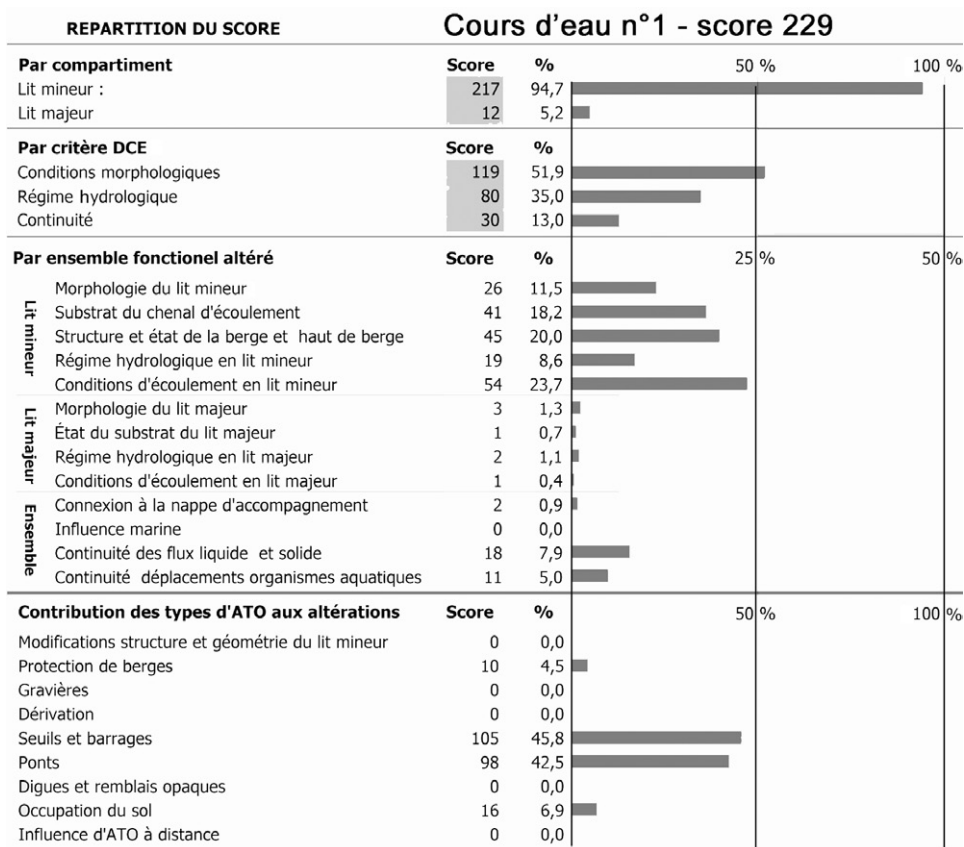
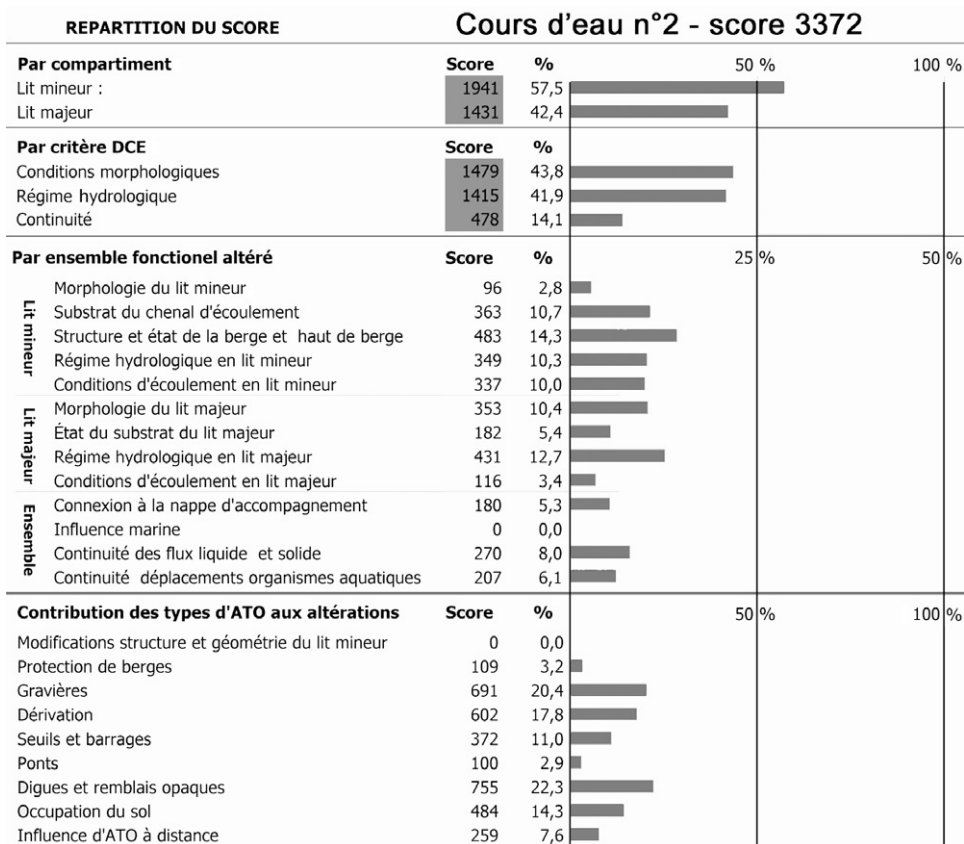


FIGURE 6. Exemple de résultats restitués pour deux cours d'eau.
Example of results given for two water courses.



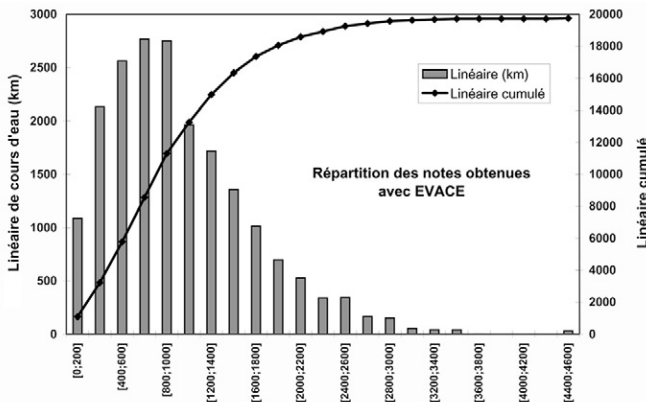


FIGURE 7. Répartition des scores EVACE.
EVACE's scores distribution.

soit à la traversée de grandes agglomérations, comme Toulouse. Les notes les plus basses, inférieures à 200, appartiennent principalement à des têtes de bassin montagnard. L'évaluation réalisée confirme la relative rareté des conditions potentiellement de référence, qui concerneraient, au mieux, moins de 15 % du linéaire évalué.

Confrontée aux diagnostics des principaux acteurs locaux, l'évaluation de la qualité de l'hydromorphologie est conforme à celle issue du terrain dans plus de 90 % des cas. Les écarts constatés peuvent avoir plusieurs origines. Ils se révèlent être liés à une sous-évaluation tantôt due au protocole utilisé, tantôt attribuée aux acteurs locaux. Certains écarts sont directement liés au caractère partiel de l'inventaire des ATO, un nombre restreint d'entre eux ayant pu être pris en compte pour réaliser l'évaluation. *A contrario*, dans certains cas, les acteurs locaux sont amenés à réviser leur évaluation initiale, après s'être rendu compte que leur connaissance n'est que partielle à l'échelle des cours d'eau évalués.

Identification des altérations et de leur origine

Le diagnostic porte également sur l'identification des éléments structurels ou fonctionnels altérés. Ainsi, sur la figure 6, on constate que les altérations touchant le lit mineur contribuent respectivement pour 94,7 % et 57,5 %. Dans le cas n° 1, les conditions d'écoulement en lit mineur constituent l'ensemble fonctionnel le plus altéré (23,7 % de la note) alors que c'est la structure et l'état de la berge (14,3 %) pour le cas n° 2. Il est également possible de connaître la contribution respective des principaux types d'ATO aux altérations évaluées. Dans le cas n° 1, quelques ouvrages transversaux (pont, seuil) altèrent le fonctionnement du cours d'eau alors que dans le cas n° 2, les gravières et les endiguements représentent les principales causes de modification.

D'une manière générale, les altérations potentielles mises en évidence sont conformes à l'expertise des acteurs de terrain, sauf dans le cas où l'inventaire des causes anthropiques est manifestement incomplet. Pour une unité spatiale donnée (portion de cours d'eau, cours d'eau ou réseau hydrographique d'un bassin-versant), le système-expert permet de dis-

tinguer les ATO responsables d'une même famille de modifications aussi bien que les divers impacts associés à chaque type d'ATO présent. Cela permet de fournir aux gestionnaires une vision systémique du fonctionnement du cours d'eau qu'ils ne possédaient généralement pas auparavant.

DISCUSSION

ÉVALUER SPÉCIFIQUEMENT L'HYDROMORPHOLOGIE POUR MIEUX EXPLIQUER LA BIOLOGIE

En centrant notre expérimentation sur l'évaluation de l'état de l'hydromorphologie, nous avons évité certains écueils découlant directement de l'objectif de la DCE, qui est l'état de l'écologie des cours d'eau. La prépondérance du point de vue écologique peut orienter le diagnostic, en fonction d'un domaine donné (piscicole, sylvicole) sans décrire l'état et le fonctionnement du cours d'eau en tant que milieu physique (Beaufrière et Simon, 2002). Un outil, comme le Réseau d'Observation des Milieux utilisé par l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques, évalue les cours d'eau en fonction de leur capacité à satisfaire toutes les phases du cycle de vie (reproduction, éclosion, croissance) de l'espèce indicatrice (truite, ombre, brochet) d'un domaine donné (à salmonidés, à cyprinidés ou intermédiaire). Il ne fournit pas d'information précise et en continu sur le fonctionnement ou les dysfonctionnements hydromorphologiques des rivières puisque seules sont inventoriées les altérations physiques supposées avoir un impact sur la biologie des poissons. Par ailleurs, même si cette dernière peut être indicatrice du fonctionnement de l'écosystème, elle n'est pas toujours représentative de son état écologique.

La biologie peut être directement modifiée, notamment par l'élimination d'espèces dites nuisibles ou l'introduction d'espèces exogènes, sans que le milieu physique soit préalablement perturbé. Dans d'autres cas, des critères biologiques jugés comme positifs, telle la présence d'une espèce ou d'un niveau de biodiversité, se révèlent être directement liés à une modification anthropique du milieu et s'écarter des conditions naturelles.

Cela confirme que l'établissement de liens de causalité suffisamment clairs et avérés entre l'état de l'hydromorphologie et la qualité écologique n'est pas encore acquis (Penning, 2002; Parsons *et al.*, 2002). Des *a priori* abusifs sont possibles, comme celui qui consiste à considérer qu'une biodiversité élevée est toujours la règle et doit se retrouver au niveau des habitats aquatiques. Ce n'est pourtant pas le cas de certains types de cours d'eau où le milieu physique non perturbé est peu propice aux espèces aquatiques (cours d'eau sur fond sableux des Landes, par exemple). En orientant les protocoles d'acquisition sur l'objectif écologique, des informations précieuses concernant l'hydromorphologie risquent d'être négligées ou oubliées. Ce manque à connaissance peut ensuite faire défaut pour analyser les liens entre le milieu physique et les peuplements biologiques des cours d'eau.

LIMITER LE RÔLE DES DESCRIPTEURS TYPOLOGIQUES DANS L'ÉVALUATION

Le système-expert EVACE et le protocole utilisés évitent le recours à une typologie tout en utilisant des descripteurs typologiques comme éléments de pondération du système d'évaluation (tabl. III et fig. 5). Les caractéristiques fonctionnelles sont renseignées de manière indépendante. Leur définition repose en partie sur le modèle conceptuel établi par Schumm (2003), qui pondère les réponses potentielles d'un cours d'eau en fonction de la prédominance des processus d'érosion, de transport solide et de sédimentation. Tout en restant descriptif, son niveau de détail peut être adapté à la précision recherchée et au mode d'acquisition adopté, avec ou sans investigation de terrain. Ainsi, quelle que soit l'évolution de l'outil, les données collectées restent utilisables, l'une de leur utilisation pouvant être de définir une typologie *a posteriori*, si nécessaire.

Si l'inventaire des descripteurs était dépendant d'une typologie des cours d'eau pré-établie ou si celle-ci servait de système de pondération de l'outil de traitement, il faudrait deux phases d'acquisition de données. La première serait dédiée à l'élaboration de la typologie, la seconde serait nécessaire pour caractériser les cours d'eau et préciser leur appartenance typologique. Cela entraînerait des délais plus longs et un surcoût significatif.

Le fait d'utiliser une typologie pré-établie peut influencer la seconde phase d'acquisition, par exemple en introduisant un certain déterminisme dans les descripteurs utilisés. Ceci peut conditionner le travail de l'opérateur en l'incitant à faire rentrer absolument chaque cours d'eau évalué dans l'une des classes prédéfinies au détriment d'une restitution descriptive de la diversité des cas rencontrés. C'est l'un des principaux défauts mis en évidence dans le bilan des tests du prototype du système d'évaluation de la qualité physique des cours d'eau (Beaufrère et Simon, 2002).

CONSTRUIRE UNE TYPOLOGIE EXPLICITE DES DESCRIPTEURS

La nécessaire dissociation à respecter entre le simple inventaire cartographique et l'expertise conduit à construire une typologie des descripteurs qui tienne compte de cette contrainte.

D'une manière synthétique, quatre niveaux d'investigation apparaissent : l'identification avec la localisation des descripteurs, la description sommaire, la description détaillée et l'expertise.

L'identification des descripteurs relève de l'observation immédiate. L'observateur constate qu'il y a un ouvrage (pont, seuil, etc.). Pour l'identifier et le reporter sur la carte, il dispose d'une nomenclature et de définitions précises. Celles-ci l'aident à éviter les confusions. Un questionnement opérationnel a conduit l'élaboration de cette nomenclature et des définitions l'accompagnant. Par exemple, comment l'opérateur fait-il la différence entre un seuil et un barrage ? À partir de quelle hauteur d'ouvrage est-il en présence d'un seuil ?

C'est en répondant de manière pragmatique à ce type de question et en testant à plusieurs reprises les supports explicatifs utilisés que nous sommes parvenus, d'une part, à une assimilation rapide des définitions proposées, et d'autre part, à limiter les erreurs et les confusions commises par les opérateurs.

La description sommaire consiste à indiquer certaines des caractéristiques évidentes de l'ATO observé. Deux options sont possibles : soit ces caractéristiques sont indiquées comme variables secondaires associées à l'ATO cartographié, soit elles sont intégrées directement dans la typologie des descripteurs, conduisant ainsi à décliner un même ATO selon diverses classes pour un même critère.

Ainsi, les seuils sont distingués en fonction de la hauteur relative de l'ouvrage, par rapport à celle des berges. Trois déclinaisons sont retenues : ouvrage de hauteur relative comprise entre 0 et 1/3, entre 1/3 et 2/3 ou entre 2/3 et 1. Sur le terrain, l'opérateur peut facilement évaluer ce critère en utilisant la technique des dessinateurs pour établir les proportions d'un modèle.

La description détaillée consiste à indiquer des éléments pouvant permettre de distinguer des ATO *a priori* similaires mais qui, cependant, pourraient entraîner des impacts différents. Par exemple, un seuil est-il muni d'un dispositif de transparence pour la charge sédimentaire ou d'un dispositif de franchissement pour les poissons ?

Ce niveau de détail n'a pas été retenu dans le cadre des tests réalisés. Les investigations qu'il nécessitait apparaissent trop lourdes à mettre en œuvre et difficiles à contrôler compte tenu des moyens disponibles. Ces données (caractéristiques géométriques, équipements annexes, etc.) pourraient être recueillies au cas par cas, puis rattachées aux ATO correspondant par le biais d'un module complémentaire de la base de données déjà constituée.

L'expertise doit être évitée dans le travail de l'opérateur de terrain où les paramètres purement descriptifs sont à privilégier. Dans l'exemple des seuils, c'est une raison supplémentaire pour ne pas intégrer les dispositifs de transparence ou de franchissement sur la liste des critères. Une passe à poissons est-elle efficace en montaison ou en dévalaison ? Et pour quelles espèces ? Chaque fois que la prise en compte d'un élément fait appel à un niveau d'expertise élevé, ces informations doivent plutôt être recueillies au cas par cas, puis rattachées aux ATO déjà inventoriés, si un diagnostic plus précis est recherché.

CHOISIR LES SUPPORTS DE CARTOGRAPHIE

La cartographie de terrain est réalisée à l'échelle du 1/10 000. Ayant fait une partie des tests sur des cours d'eau de piémont à forte mobilité ou récemment métamorphosés à la suite d'extractions massives de granulats en lit mineur, la question du référentiel cartographique se posait. Les cartes topographiques au 1/25 000 (format SCAN25®) sont inadaptées dans ce cas. Le fond topographique n'ayant pas récemment été mis à jour alors que le tracé du cours d'eau s'est considérablement modifié, il ne permet pas à l'opérateur de se

localiser assez précisément ou de réaliser une cartographie suffisamment représentative de la réalité.

L'utilisation, comme support, des photographies aériennes de la BD-ORTHO®, dans une version de pixels de 1 m, permet non seulement de résoudre la plupart des problèmes de localisation sur le terrain, mais accroît considérablement l'efficacité de la phase préliminaire pour la sectorisation du cours d'eau et la description des caractéristiques fonctionnelles, pour la détermination des limites du lit mineur, de la bande active ou de l'espace de mobilité, pour l'inventaire des aménagements en grand ou de l'occupation du sol en lit majeur, pour le pré-inventaire des ouvrages transversaux et des aménagements de berge ou la détermination des accès nécessaires aux investigations de terrain. Cependant, de tels gains ne sont significatifs que pour des rivières dont le lit mineur a une largeur supérieure à 10 m.

ADAPTER LA PRÉCISION DE L'INVENTAIRE À L'ÉCHELLE D'INVESTIGATION

Les altérations potentielles sont évaluées d'autant plus précisément que l'inventaire des ATO est complet et à jour. Le système-expert est conçu pour fonctionner aussi bien à partir d'un inventaire précis et exhaustif, nécessitant des investigations de terrain, qu'à partir d'un inventaire partiel et sommaire. Il est cependant essentiel que les sources d'informations utilisées soient identiques et les données traitées homogènes sur l'ensemble du linéaire de cours d'eau à évaluer. L'approche consistant à réaliser un inventaire des ATO à partir des données déjà disponibles permet de couvrir un linéaire important de cours d'eau, rapidement et à moindre coût, tout en différant l'acquisition de données plus élaborées, si nécessaire. La cartographie de terrain permet de réaliser une sorte de « macro » où des informations plus détaillées apparaissent.

Le fait de disposer d'une quantification des ATO et de statistiques à différentes échelles représente un apport de connaissance substantiel pour nombre de gestionnaires. Cela permet d'atténuer l'impact des sensibilités personnelles, voire partisans, sur le diagnostic concernant l'hydromorphologie, donc sur les choix de traitement à mettre en œuvre. Bien qu'importants pour tous, les enjeux ne sont pas toujours perçus d'une manière identique, les sensibilités locales restant déterminantes. Par conséquent, partir d'une information aussi concrète qu'un inventaire des ATO présents sur les cours d'eau d'un bassin-versant permet d'atténuer le poids des représentations individuelles pour tendre vers un diagnostic largement partagé. Il est plus aisé de faire adhérer un non-spécialiste au fait que tel ouvrage a tels impacts que de lui faire admettre que la même portion de cours d'eau devrait normalement présenter tel état et tel fonctionnement.

IDENTIFIER LES CAUSES POUR MIEUX COMPRENDRE ET AGIR SUR LES IMPACTS

La DCE sur l'eau n'impose pas seulement l'évaluation de l'état écologique des hydrosystèmes, dont l'hydromorphologie est un compartiment clé. Elle fixe également comme objectif de diagnostiquer les causes de perturbation, les usages

impliqués et de prévoir les effets d'actions correctrices (Union Européenne, 2000). Plus largement, tout gestionnaire ayant pour objectif d'améliorer la qualité écologique des rivières dont il a la charge doit envisager leur restauration physique en agissant prioritairement sur les causes les plus dégradantes tout en prenant en compte les enjeux socio-économiques associés.

Connaître les ATO pouvant affecter l'hydromorphologie des cours d'eau est donc une étape incontournable, au même titre qu'identifier les principales sources de pollution. Plus largement, l'acquisition de ces données contribuera à l'élaboration de bilans objectifs concernant les programmes qui seront mis en œuvre pour améliorer l'état écologique des cours d'eau, en agissant notamment sur leur milieu physique.

Cependant, cette méthodologie ne permet pas de lever tous les paradoxes associés à la démarche d'évaluation de la qualité écologique des cours d'eau. Par exemple, si, du seul point de vue de l'hydromorphologie, il paraît assez évident que l'effacement des seuils d'anciens moulins contribuerait à aider une rivière à revenir vers son état non perturbé, l'intérêt d'une telle mesure n'est pas souvent admis, notamment quand il est connu que les retenues associées à ces ouvrages sont les derniers points d'eau en cas d'étiage sévère, sans évoquer les aspects patrimoniaux, paysagers et économiques également impliqués.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

PERTINENCE DE L'APPROCHE PAR L'INVENTAIRE DES ATO

Le protocole mis en œuvre pour l'Agence de l'Eau Adour-Garonne présente l'originalité de partir de l'inventaire des causes manifestement anthropiques, les Aménagements, les Travaux et les Ouvrages, pour évaluer les altérations de l'hydromorphologie d'un cours d'eau. Il permet une évaluation sans parti pris et restitue une image objective et réaliste, dont la précision peut être améliorée en adaptant le mode d'inventaire à l'analyse d'un grand bassin-versant ou d'une portion de cours d'eau.

Cette approche peut être mise en œuvre sans disposer préalablement d'un échantillon représentatif de sites de référence. Elle restreint l'inventaire aux causes (les ATO) sans chercher à faire le diagnostic des impacts réels au cas par cas. Elle s'appuie sur une séparation claire des tâches relevant de l'expertise et de celles à réaliser en routine (cartographie, saisie, etc.). Elle privilégie la qualité, l'homogénéité et la lisibilité des données plutôt que leur exploitation, par tel ou tel outil de traitement, qui, le plus souvent, reste à définir ou à développer.

Cependant, des analyses plus complètes permettront de mieux connaître les écarts induits par le choix de la stratégie d'inventaire (avec ou sans investigation de terrain) ou par le type de support exploité pour la saisie directe des données disponibles. Ainsi, dans le cadre d'une analyse à l'échelle d'un grand bassin-versant, il serait intéressant de pouvoir comparer le coût de la mise en œuvre et les résultats obtenus selon

que l'on utilise l'un des supports suivants : cartes topographiques (SCAN25®), photographies aériennes (BD-ORTHO®) ou vectorisation des photographies aériennes (BD-TOPO®).

Cette démarche permet des exploitations variées : l'identification des grands types de perturbation et de leurs causes sur un territoire donné ; un échantillonnage de sites par niveau d'altération, par type de pression, par hydroécocorégion, etc. ; une identification directe des ATO qui empêchent l'expression normale des mécanismes de réajustements et d'adaptation aux variables qui contrôlent le fonctionnement hydromorphologique d'un cours d'eau. Cependant, elle n'établit pas explicitement de lien avec l'état écologique des cours d'eau.

POUR UNE APPROCHE MULTI ÉCHELLE

Dans l'évaluation de l'état d'un cours d'eau, aucun élément ne peut être considéré isolément des autres niveaux d'analyse, en raison des interactions intervenant à toutes les échelles entre la géologie, l'hydrologie, la géomorphologie, etc. (Schumm, 2005). Pour étudier en détail une petite portion de cours d'eau, un site de référence par exemple, il faut disposer d'informations sur l'ensemble du système fluvial auquel elle appartient. La sensibilité aux modifications, le type d'ajustement et le temps d'adaptation du milieu physique sont différents selon l'échelle considérée (Penning, 2002). Chaque hydrosystème réagit d'une manière spécifique à des contraintes particulières. Chaque cours d'eau est singulier et possède ses propres capacités d'ajustement (Schumm, 2005), tout en étant en interaction avec les autres drains de son réseau hydrographique.

Les tests réalisés depuis 1998 plaident en faveur d'une approche multi échelle. En effet, il apparaît que répondre à

l'objectif de l'évaluation de la qualité de l'hydromorphologie d'un grand nombre de cours d'eau, en étant en mesure de faire le lien avec les causes de perturbation, d'une part, et l'état de l'écologie, d'autre part, implique une démarche par étapes successives à des échelles de plus en plus grandes, du grand bassin-versant à la station.

Cette démarche emboîtée peut répondre à des objectifs tels que disposer d'un état des lieux homogène et objectif pour un grand linéaire de cours d'eau, à courte échéance (<1 an) ; aider à la décision concernant les mesures nécessaires pour résoudre des problématiques récurrentes à l'échelle d'un territoire étendu et présentant cependant des spécificités locales ; cibler les mesures à mettre en œuvre dans le cadre d'un vaste programme d'amélioration, sur les cas les plus représentatifs ou des zones tests sciemment sélectionnées.

Cette approche multi échelle (fig. 8), dont le principe est désormais repris dans les propositions faites pour la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'eau (Chandesris *et al.*, 2007) peut être schématisée selon les étapes suivantes :

Étape 1 — État des lieux général à petite échelle, pour un grand bassin-versant

Cette évaluation simplifiée permet de définir une « image » d'ensemble d'un réseau hydrographique à propos d'une thématique donnée. Pour les tests réalisés, il s'agissait de faire un inventaire partiel des ATO, afin de déterminer l'état de l'hydromorphologie des cours d'eau, sans investigation de terrain.

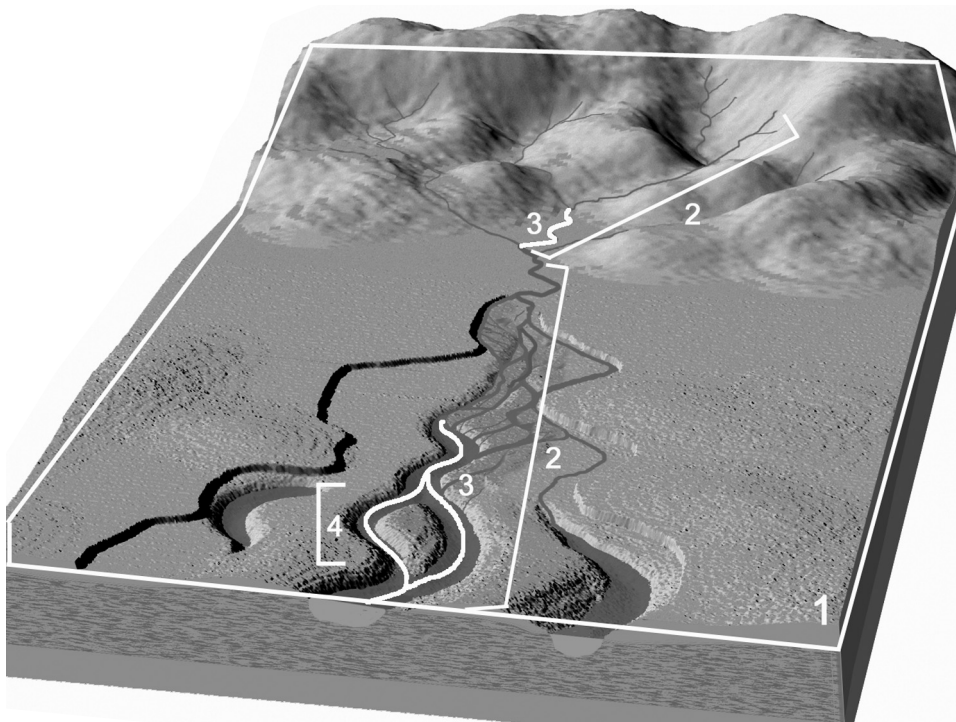


FIGURE 8. Schématisation de l'approche multi échelle (légende : 1 — bassin-versant, 2 — échantillon de cours d'eau, 3 — portion de cours d'eau, 4 — analyse stationnelle).

Multi-scale analysis diagram (legend : 1 — drainage area, 2 — water course sample, 3 — water course section, 4 — station analysis).

Étape 2 — Analyse approfondie des cours d'eau représentatifs

Cette évaluation, en continu, porte sur un échantillon représentatif ou stratégique de cours d'eau, choisis en s'appuyant sur l'état des lieux général. Elle permet de définir le réseau de stations ou de confirmer sa représentativité. Des investigations complémentaires de terrain peuvent servir à compléter et mettre à jour l'inventaire des ATO.

Étape 3 — Analyse affinée de la portion de cours d'eau encadrant chaque station

Cette évaluation ne concerne que les portions de cours d'eau sur lesquelles est implantée une station. Elle permet de valider chaque station et de définir l'environnement hydromorphologique dans lequel elle se situe, avant les investigations les plus lourdes. Par rapport à l'étape 2, de nouveaux descripteurs peuvent être inventoriés, comme les faciès d'écoulement ou la végétation rivulaire, par exemple. Cette étape est indispensable pour faire la charnière entre l'approche ponctuelle et l'analyse en continu, afin d'établir les liens entre l'hydromorphologie et les habitats ou la qualité biologique.

Étape 4 — Analyse stationnelle

Cette évaluation détaillée intéresse les stations composant le réseau de surveillance, de mesures ou de référence. Les investigations de terrain portent sur des descripteurs dont l'analyse ne peut être que ponctuelle compte tenu de leur nature (habitat, substrat, stratification de la ripisylve, etc.) et

des contraintes opérationnelles que leur acquisition impose. Elle est incontournable pour évaluer la qualité biologique et suivre son évolution, en fonction de la mise en œuvre des programmes de restauration.

POUR UNE EXPÉRIMENTATION ÉTENDUE DU SYSTÈME D'ÉVALUATION

Pour l'heure, nous avons principalement pu tester la sensibilité du système-expert EVACE à la qualité de l'inventaire des données à traiter. Aucun protocole normalisé n'a été mis en œuvre pour confronter les résultats obtenus avec ceux issus de l'utilisation d'autres sources d'information ou d'une expertise de terrain. Cependant, le traitement de la BD-TOPO® ou de la BD-ORTHO® fait l'objet d'une expérimentation en France (Chandesris *et al.*, 2007).

Ce n'est qu'à partir des résultats de telles confrontations qu'il sera possible de connaître la pertinence du protocole mis en œuvre et d'affiner sa capacité d'évaluation. Plusieurs éléments constitutifs de l'outil de calcul peuvent en effet être ajustés qu'ils s'agissent des caractéristiques fonctionnelles (tabl. III), de la liste des éléments fonctionnels altérables évalués (tabl. IV) ou de l'élaboration des grilles des altérations potentielles maximales (tabl. V). La constitution de la boîte noire de l'outil de traitement utilisé jusque-là, demeure un champ d'expérimentation ouvert à de nouvelles expertises.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les deux évaluateurs anonymes et l'éditeur invité, André Roy, pour leurs commentaires et suggestions ayant permis d'améliorer le manuscrit.

TABLEAU IV
Liste simplifiée des ensembles fonctionnels altérables

Lit majeur	
Conditions morphologiques	Morphologie État du substrat
Régime hydrologique et conditions d'écoulement	Régime hydrologique Conditions d'écoulement Influence marine Connexion à la nappe d'accompagnement
Continuités	Flux liquides et solides Déplacement des organismes aquatiques
Lit mineur	
Conditions morphologiques	Morphologie Substrat du chenal d'écoulement Structure et état de la berge
Régime hydrologique et conditions d'écoulement	Régime hydrologique Conditions d'écoulement Influence marine Connexion à la nappe d'accompagnement
Continuités	Flux liquides et solides Déplacement des organismes aquatiques

TABLEAU V
Extrait d'une grille des altérations potentielles maximales

	Ensembles et éléments fonctionnels altérables	Tracé modifié			
		Intensité	Extension	Réversibilité	Durée
Conditions morphologiques	Morphologie du lit mineur				
	Tracé en plan : sinuosité	5	5	4	5
	Tracé en plan : nombre de chenaux actifs	5	5	5	5
	Pente longitudinale du chenal d'écoulement	5	5	4	5
	Pente longitudinale de la ligne d'eau	5	5	4	5
	Largeur à pleins bords (chenal, bande active, etc.)	5	5	5	5
	Profondeur à pleins bords	5	5	5	5
	Substrat du chenal d'écoulement				
	Végétation aquatique (nature, diversité, abondance)	2	5	2	5
	Rugosité, régularité du fond du lit, topographie locale	3	4	3	5
	Matériaux du fond du lit (nature, granulométrie, diversité)	3	4	3	5
	Mobilité des matériaux du fond du lit (dont les atterrissements)	3	3	3	5
	Stock de matériaux solides mobilisables (en volume)	3	4	4	5
	Sédimentation (conditions de dépôt, formation d'atterrissement)	4	5	5	5
	Érosion verticale (fond du lit, régressive ou progressive)	5	5	5	5
Érosion et remaniement des atterrissements	5	5	5	5	

RÉFÉRENCES

- Agence de l'Eau RMC, 1999. Les outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau — principes généraux. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et de Corse, Lyon, Études des Agences de l'Eau 72, 11 p.
- Amoros, C. et Petts, G.E., édit., 1993. Hydrosystèmes fluviaux. Masson, Paris, 330 p.
- Aquascope, 1997. Système d'évaluation de la qualité du milieu physique : typologie simplifiée des cours d'eau français. Agences de l'Eau, Rapport de présentation, 55 p.
- Baril, D., 2000. Milieu aquatique : état initial et prévision d'impact dans les documents d'incidences. Conseil Supérieur de la Pêche, Fontenay sous Bois, 316 p.
- Beaufrère, C., 1999. Application de l'outil d'évaluation de la qualité physique des cours d'eau du bassin Adour-Garonne : rapport d'expertise des études test. Agence de l'Eau Adour-Garonne, Toulouse, 10 p.
- Beaufrère, C. et Dabos, P., 2003. Évaluation de l'anthropisation et de l'état hydromorphologique des cours d'eau du bassin Adour-Garonne : rapport d'étude. Agence de l'Eau Adour-Garonne, Toulouse, 41 p.
- Beaufrère, C. et Dabos, P., 2005. Réalisation de la base de données concernant la pré-désignation des Masses d'Eau Fortement Modifiées (MEFM) : rapport d'étude. Agence de l'Eau Adour-Garonne, Toulouse, 31 p.
- Beaufrère, C. et Gross F., 1999. Système d'évaluation de la qualité physique des cours d'eau : rapport de synthèse. Agence de l'Eau Adour-Garonne, Toulouse, 15 p.
- Beaufrère, C. et Simon, P., 2002. Bilan des tests nationaux réalisés sur la version expérimentale du SEQ-Physique : rapport de phase I. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Paris, 25 p.
- Bravard, J.P. et Petit, F., 1997. Les cours d'eau. Armand Colin, Paris, 222 p.
- Brookes, A., 1990. Restoration and enhancement of engineered rivers channels : some European experiences. Regulated Rivers : Research and Management, 5: 45-56.
- Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J.R., Souchon, Y. et Wasson, J.G., 2007. Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau : principes et méthodes. CEMAGREF, Lyon, 38 p.
- Charrier, P., 1997. River Habitat Survey : manuel de relevés de terrain (traduction en français). Environment Agency, Bristol, 39 p.
- Environment Agency, 2002. RHS Applications Manual Version 1.1. Environment Agency, Bristol, 71 p.
- Goodwin, C.N., 1999. Fluvial classification : Neanderthal necessity or needless normalcy ?, p. 229-236. In D.S. Olson et J.P. Potyondy, édit., Wildland Hydrology. American Water Resources Association, Herndon.
- Harrelson, C.C., Rawlins, C.L. et Potyondy, J.P., 1994. Stream channel reference sites : an illustrated guide to field technique. United States Department of Agriculture, Fort Collins, General Technical Report RM-245, 61 p.
- Juracek, K.E. et Fitzpatrick, F.A., 2003. Limitations and implication of stream classification. Journal of American Water Resources Association, 39 : 659-670.
- Kondolf, G.M., Montgomery, D.R., Piégay, H. et Schmitt L., 2003. Geomorphic classification of rivers and streams, p. 171-204. In M.G. Kondolf et H. Piégay, édit., Tools in Fluvial Geomorphology. John Wiley and Sons, Chichester, 688 p.
- Parsons, M., Thoms, M. and Norris, R., 2002. Australian river assessment system : review of physical river assessment methods. A biological perspective. Commonwealth of Australia and University of Canberra, Canberra, Monitoring River Health Initiative Technical Report 21, 65 p.
- Penning, W.E., 2002. ENFRAIM Review. Delft Cluster Foundation et Ministry of Transport, Public Affairs and Water Management, Netherlands, 20 p.
- Rosgen, D., 1996. Applied River Morphology. Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, 390 p.
- Schumm, S.A., 2003. The Fluvial System. Blackburn Press, Caldwell, 338 p.
- Schumm, S.A., 2005. River Variability and Complexity. Cambridge University Press, New York, 198 p.
- Souchon, Y., Andriamahefa, H., Cohen, P., Breil, P., Pella, H., Lamouroux, N., Malavoi, J.R. et Wasson, J.G., 2000. Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire. Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Orléans, 291 p.
- Union Européenne, 2000. Directive 2000-60-CE du parlement européen et du conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Journal Officiel des Communautés Européennes, 72 p.

- Raven, P.J. et al., 1998. River habitat quality : the physical character of rivers and streams in the UK and Isle of Man. Environment Agency, Bristol, River Habitat Survey Report 2, 83 p.
- USEPA, 2000. Principles for the Ecological Restoration of Aquatic Resources. United States Environmental Protection Agency, Washington D.C., EPA841-F-00-003, 4 p.
- Wasson, J.G., Malavoï, J.R., Maridet, L., Souchon, Y. et Paulin, L., 1998. Impacts écologiques de la chenalisation des rivières. CEMAGREF, Lyon, 158 p.
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H. et Blanc, L., 2002. Les hydro-écorégions de France métropolitaine : approche régionale de la typologie des eaux courantes pour la définition des peuplements de références des peuplements d'invertébrés. CEMAGREF, Lyon, 190 p.