

**Appui scientifique à la mise en œuvre de la
Directive Cadre européenne sur l'Eau**

SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau

PRINCIPES ET METHODES

Version V 3.1

**André CHANDESRIS, Nicolas MENGIN,
Jean-René MALAVOI, Yves SOUCHON,
Hervé PELLA, Jean-Gabriel WASSON**

Département Milieux Aquatiques, Qualité et Rejets
Unité de Recherche Biologie des Ecosystèmes Aquatiques
Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative

Groupement de Lyon
3 bis Quai Chauveau, CP 220
69336 Lyon cedex 09
Tél. 04 72 20 87 87 - Fax 04 78 47 78 75

Janvier 2008

Département Milieux Aquatiques, Qualité et Rejets
Unité de Recherche Biologie des Ecosystèmes Aquatiques
Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative
3bis quai Chauveau - CP 220
69366 Lyon Cedex 09
Tél. 04 72 20 87 87 - Fax 04 78 47 78 75

Titre : SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau. Principes et méthodes (Version V 3)

Auteurs : André CHANDESRIS, Nicolas MENGIN, Jean-René MALAVOI, Yves SOUCHON, Hervé PELLA, Jean-Gabriel WASSON

Résumé :

La mise en œuvre de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau et le besoin récurrent de disposer d'un outil d'analyse du fonctionnement et de l'état physique des cours d'eau sont à l'origine de l'élaboration de méthodes permettant la caractérisation à large échelle du fonctionnement physique des milieux aquatiques dans un objectif de mise en œuvre d'actions pour l'atteinte du bon état écologique.

La complexité et la diversité des processus de fonctionnement physique, leurs sources d'altération souvent combinées, les effets hérités de logiques passées d'aménagement du territoire ont orienté les réflexions vers une approche « descendante », (« top-down »), appuyée sur l'organisation hiérarchique du fonctionnement des milieux aquatiques au sein de leur bassin versant. Cette approche est centrée sur l'appréciation du risque d'altération du fonctionnement des processus physiques à l'échelle du tronçon géomorphologique, doublée d'une appréciation cartographique des traces probantes d'aménagements passés à l'échelle du tronçon.

L'audit SYRAH_CE s'inscrit dans une chaîne de causalités où l'origine des altérations physiques des cours d'eau se situe au niveau de l'occupation de sols et des activités humaines, qui se déclinent ensuite en usages du sol et aménagements physiques. Leur description et leur évaluation est possible aujourd'hui grâce aux outils numériques de cartographie et aux bases de données géographiques existantes à large échelle.

Ces altérations du fonctionnement physique peuvent à leur tour être à l'origine d'altération des habitats, influençant in fine l'état écologique du cours d'eau.

Les différents types d'altérations du fonctionnement hydromorphologique les plus fréquentes sont développées, et associées avec les aménagements et usages qui en sont à l'origine.

Deux échelles de travail sont proposées :

- un premier niveau qui permet d'agréger des informations issues de couches géographiques disponibles au niveau national en fournissant des éléments d'appréciation pour l'ensemble des aménagements et usages retenus comme présentant un risque potentiel d'altération du fonctionnement physique. Le niveau élémentaire de l'information, limité, se situe au niveau de la « zone hydro » de la BD Carthage®.

- un niveau complémentaire à l'échelle des tronçons, qui autorise une description plus fine des aménagements et usages à l'origine des altérations physiques d'ordre morphologique (tracé, occupation du lit majeur, contraintes latérales et longitudinales). Les informations fournies par la BD TOPO® IGN permettent d'atteindre une meilleure précision.

Syrah_CE est conçu comme un cadre général d'analyse, capable d'asseoir l'audit France entière de l'hydromorphologie, mais aussi d'enrichir toutes les évaluations plus locales existantes ou à mettre en œuvre pour définir avec pertinence les actions de correction de la situation physique du cours d'eau nécessaires pour atteindre le bon état écologique.

<u>CONTRAT</u>	<u>PROGRAMME DE RECHERCHE</u>	<u>DATE</u>	<u>DIFFUSION</u>
	HYDRECO (LHQ)	Janvier 2008	tous publics <input checked="" type="checkbox"/> interne <input type="checkbox"/> confidentielle <input type="checkbox"/>

TABLES DES MATIERES

I - QUEL « OUTIL » POUR L'AUDIT DE L'HYDROMORPHOLOGIE ?	5
I.1 - Principes et partis pris	5
I.1.1 - Les questions posées	5
I.1.2 - Choix et partis pris	6
I.2 - Conception d'un système d'audit	9
I.2.1 - Proposition d'un schéma conceptuel	9
I.2.2 - Organisation du système d'audit – projet	11
I.3 - Quelle forme pour ce système d'audit ?	14
II - METHODE	17
II.1 - les Altérations de processus et de structure	17
II.1.1 - Flux sédimentaires	17
II.1.2 - Flux liquides	17
II.1.3 - Morphologie	18
II.2 - Aménagements et usages	19
II.2.1 - Flux sédimentaires	19
II.2.1.1. - <i>Pratiques agricoles favorisant l'érosion des sols vulnérables</i>	19
II.2.1.2. - <i>Déficit de transport solide : barrages et gravières</i>	20
II.2.2 - Flux liquides	23
II.2.2.1. - <i>Imperméabilisation des sols</i>	23
II.2.2.2. - <i>Barrages et plans d'eau de stockage</i>	24
II.2.2.3. - <i>Prélèvements d'eau en étiage : irrigation</i>	25
II.2.2.4. - <i>Dérivation</i>	25
II.2.2.5. - <i>Drainage agricole</i>	25
II.2.3 - Morphologie	25
II.2.3.1. - <i>Digues et talus en lit majeur</i>	26
II.2.3.2. - <i>Suppression de ripisylve</i>	27
II.2.3.3. - <i>Stabilisation : voies de communication dans le corridor</i>	28
II.2.3.4. - <i>Rectification</i>	29
II.2.3.5. - <i>Recalibrage</i>	29
II.2.3.6. - <i>les seuils</i>	30
II.2.4 - Aménagements et usages : conclusion	31
III - LES OUTILS	33
III.1.1 - Flux solides	33
III.1.1.1. - <i>Les pratiques agricoles favorisant l'érosion des sols vulnérables</i>	33
III.1.1.2. - <i>Barrages et blocage du transit sédimentaire</i>	35
III.1.1.3. - <i>Les gravières</i>	36
III.1.2 - Flux liquides	37
III.1.2.1. - <i>Imperméabilisation des sols</i>	37
III.1.2.2. - <i>Stockages et barrages</i>	38
III.1.2.3. - <i>Prélèvement d'eau aux bas débits : drainage, irrigation</i>	39
III.1.3 - Morphologie	41
III.1.3.1. - <i>Suppression de ripisylve</i>	41
III.1.3.2. - <i>Stabilisation : voies de communication dans le corridor</i>	42
III.1.3.3. - <i>Rectification : occupation des sols dans le corridor</i>	42
III.1.3.4. - <i>Recalibrage : occupation des sols dans le corridor et voies navigables</i>	44

III.1.3.5. - <i>Ralentissement des écoulements : les seuils</i>	44
III.1.4 - Conclusions.....	45
III.2 - Bassin versant et tronçon géomorphologique	46
III.2.1 - La sectorisation : pourquoi ?	46
III.2.2 - Principe des entités emboîtées.....	46
III.2.3 - La sectorisation : comment ?.....	47
III.2.3.1. - <i>Dissocier variables de contrôle et variables de réponse</i>	47
III.2.3.2. - <i>Discrimination des secteurs et des unités</i>	47
III.2.3.3. - <i>Discrimination des tronçons</i>	47
III.2.3.4. - <i>Postulat d'interprétation</i>	47
III.3 - Analyse à l'échelle du tronçon	48
III.3.1 - Flux solides	49
III.3.1.1. - <i>Le déficit sédimentaire : les gravières</i>	49
III.3.2 - Flux liquides	50
III.3.2.1. - <i>Altération des débits : dérivation</i>	50
III.3.3 - Morphologie	50
III.3.3.1. - <i>Les digues et talus en lit majeur</i>	51
III.3.3.2. - <i>Suppression – altération du corridor végétal</i>	52
III.3.3.3. - <i>Stabilisation : voies de communications dans le lit majeur</i>	54
III.3.3.4. - <i>Rectification du tracé en plan</i>	56
III.3.3.5. - <i>Les seuils transversaux</i>	56
III.4 - Les outils d'évaluation : synthèse et perspectives	57
III.4.1 - Evaluation des risques d'altération – résultats et compléments à envisager	59
III.4.2 - Evaluation des risques d'altération - conclusion	62
IV - CONCLUSION	63
V - BIBLIOGRAPHIE	64

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Emboîtement des échelles physiques {Wasson, 1998 #16859}.....	7
Figure 2 : Lien entre les différents compartiments au sein d'un hydrosystème {Souchon, 2002 #10478}	8
Figure 3 : Cadre conceptuel de travail. SYRAH-CE	10
Figure 4 : Logique DPSIR (Causes, Pressions, Etat, Impact, Réponses) et Audit de l'Hydromorphologie.....	11
Figure 5 : Origines et causes des altérations hydromorphologiques	12
Figure 6 : Relations entre aménagements & usages et altérations hydromorphologiques	13
Figure 7 : Etapes d'élaboration du projet d'audit SYRAH-CE	16
Figure 8 - Effet de la mise en place d'un barrage sur une rivière alpine : métamorphose fluviale de l'Isar (Geretsried, Allemagne)	21
Figure 9 - Cartes des hydroécorégions de montagne (<i>pententes médianes supérieures ou égales à 4%</i>).....	22
Figure 10 : Apparition du substratum rocheux (marnes oligocènes) sur l'Allier à gauche, la Loire au centre (photos JR Malavoi)	22
Figure 11 - Effets de l'imperméabilisation en milieu urbain (Greg Jennings, PhD, North Carolina State University)	24
Figure 12 : Vue aérienne d'un système à double endiguement : étroit pour les crues fréquentes et large pour les crues plus rares (photo JR Malavoi).....	26
Figure 13 : Exemple de digue en enrochements + remblai (photo JR Malavoi)	26
Figure 14 : Exemples de portions de cours d'eau sans ou avec faible ripisylve (photos C. Thévenet)	27
Figure 15 : Secteur à fortes contraintes latérales (routes, ponts, etc.) (photo M. Pucci – vallée de la Toce - Italie).....	28
Figure 16 - Exemple de rectification de cours d'eau en zone rurale (photo JR Malavoi)	29
Figure 17 : Exemple de projet de recalibrage généralisé d'un cours d'eau. En blanc le profil actuel, en gris le profil à créer	30
Figure 18 : Secteur naturel de l'Ognon et effet d'une retenue (photos JR Malavoi)	31
Figure 19 : Carte INRA d'érosion des Sols (Montier et al., 1998).....	34
Figure 20 : Carte des Orientation Technico-Economique des EXploitations agricoles, OTEX, (RGA, 2000)	34
Figure 21 : Gravières en lit majeur extraits de la BD CARTHAGE® « thème hydrographie zonale »	36
Figure 22 : Application sur le réseau hydrographique de la proportion de surfaces artificialisées dans le bassin versant amont (Corine Land Cover 2000)	37
Figure 23 : Descripteur de pression sur le fonctionnement hydrologique des cours d'eau - Ratio capacité utile sur volume annuel écoulé (Agence de l'Eau Adour Garonne, 2003)	39
Figure 24 : Carte de la proportion de surface drainée (RGA, 1988).....	40
Figure 25 : Carte de la proportion de surface irriguée (RGA, 1988)	41
Figure 26 : Le Gier (69) : une pression d'occupation du sol de type urbain, Corine Land Cover, 2000	43
Figure 27 : L'Ouche : pression d'occupation du sol de type agricole à l'aval, Corine Land Cover, 2000	43
Figure 28 : Voies navigables présentes dans le lit majeur (10 x largeur estimée pour les CE de rang de Strahler>3).....	44
Figure 29 : Densité de seuils par zone hydro de BDCarthage® sur le bassin Loire Bretagne (AREA 2006)	45
Figure 30 : Entités emboîtées {Malavoi, 2000 #18600}.....	46

Figure 31 : Identification de sous-tronçons au sein de tronçons géomorphologiques homogènes.....	48
Figure 32 : Evaluation des surfaces en eau dans le lit majeur (plan d'eau et sur largeurs) ...	49
Figure 33 : Dérivation de cours d'eau	50
Figure 34 : Digue et levées en lit majeur.....	52
Figure 35 : Ripisylve et zone arborée en lit majeur	53
Figure 36 : Voies de communications dans le lit majeur	55
Figure 37 : Sinuosité des cours d'eau.....	56
Figure 38 : Exemple de profil en long altéré par les seuils (IGN, 1943)	57

Tableau 1 : Comparaison des bassins versants Durance et Doubs – Données grands barrages	35
Tableau 2 : Liste des variables décrivant les aménagements et usages.....	58
Tableau 3 : Modalités de description de la granulométrie	61

SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE)

A la demande du MEDD et des Agences de l'Eau, le Cemagref a été mandaté en 2006 pour l'élaboration d'un système permettant d'apprécier le niveau d'altération hydromorphologique des cours d'eau, tant sur le plan des processus que de la morphologie. L'objectif principal est de disposer d'un outil de caractérisation hydromorphologique des milieux et d'aide au diagnostic pour les futures politiques de restauration.

Les besoins exprimés demandent une réponse dans un délai d'autant plus rapide que le calendrier de la Directive Cadre sur l'Eau impose la mise en œuvre d'actions dans un phasage contraint et relativement court.

Par ailleurs, la variété actuelle des méthodes et pratiques de diagnostic, d'évaluation et des stratégies d'actions relative à l'hydromorphologie implique d'engager une réflexion permettant une harmonisation au niveau national, en conformité avec le cadre de mise en œuvre de la DCE.

Ce rapport, qui fait suite à celui sur l'état de l'art scientifique et opérationnel au niveau international, est consacré aux propositions de méthodes permettant de répondre à la question posée.

Au final, le projet sera constitué d'une part d'un ensemble de principes et de guides d'interprétations, et d'autre part de couches d'informations géographiques, de prescriptions techniques d'acquisition et de traitement de données, ainsi que d'autres supports plus concrets d'aide à la décision. Cet ensemble devra nécessairement avoir une structure modulaire permettant l'adaptation au contexte évolutif tant des pressions sur les milieux aquatiques (lié notamment à la mise en œuvre de programmes de mesures) que des connaissances des relations entre pressions physiques et état écologique.

I - QUEL «OUTIL» POUR L'AUDIT DE L'HYDROMORPHOLOGIE ?

I.1 - Principes et partis pris

I.1.1 - Les questions posées

L'évaluation de la qualité des milieux aquatiques a d'abord été réalisée, pendant les dernières décennies du vingtième siècle, au travers de la qualité chimique qui a constitué un outil efficace d'aide à l'action de restauration. Elle a été progressivement complétée par une évaluation de la qualité biologique, reprise dans le concept d'« état écologique » affiché dans la Directive Cadre sur l'Eau, en complément d'un « état chimique » lié à un panel de substances identifiées comme indésirables dans le milieu.

Parallèlement, et au fur et à mesure d'une reconquête de la qualité chimique, on a constaté que la réponse biologique ne suivait pas toujours la trajectoire de la restauration. Cette amélioration globale de la qualité chimique des eaux courantes a permis de mettre en évidence que d'autres paramètres pouvaient influencer de manière significative leur qualité biologique. On admet aujourd'hui qu'un facteur majeur

d'explication des dégradations se situe au niveau de l'habitat physique des communautés aquatiques.

L'atteinte d'un « bon état écologique » au sens de la Directive Cadre sur l'Eau repose donc également sur la conservation, voire souvent la restauration de la dynamique naturelle des cours d'eau, qui permet la construction, l'entretien et la régénération des habitats des communautés biologiques.

Une qualification de l'altération de ces processus, en relation avec ses incidences sur la biologie, apparaît donc nécessaire pour se donner les moyens d'atteindre les objectifs visés par la Directive Cadre sur l'Eau.

Il convient de préciser que ce besoin d'audit de l'hydromorphologie est assorti de contraintes opérationnelles fortes dictées par les délais courts de mise en œuvre et les objectifs de résultats imposés par la Directive : l'identification de leviers d'actions efficaces permettant de cibler les problèmes et de démarches à engager impose une approche pragmatique valorisant au maximum les connaissances acquises à des échelles spatiales dépassant le cadre de l'habitat local et jusqu'à présent peu explorées.

I.1.2 - Choix et partis pris

Certains principes de cadrage ont été retenus pour guider la construction de ce système d'audit au vu de l'expérience des systèmes d'évaluation existants, des éléments recueillis lors de l'analyse bibliographique, et de l'expérience acquise par le CEMAGREF et ses partenaires.

Précisions de vocabulaire

Le sens de certains termes utilisés dans ce texte a besoin d'être précisé afin d'éviter les malentendus.

Altération : modification, changement de l'état d'un objet, d'un processus dans un sens négatif (à la différence de la littérature anglo-saxonne qui emploie aussi ce terme dans le sens positif¹).

Altération de processus physiques : changement dans les caractéristiques dynamiques du cours d'eau (flux solides, flux liquides, processus d'érosion latérale et verticale, processus de sédimentation) à l'origine des formes physiques du cours d'eau (c'est à dire de ses caractéristiques géomorphologiques).

Altération de structure : changement des caractéristiques géomorphologiques du cours d'eau (géométrie en plan, en travers et en long, granulométrie, etc...).

Variable : paramètre directement mesurable.

Indicateur : variable (ou agrégation de variables) interprétée, en général par rapport à un fonctionnement attendu.

Hiérarchie emboîtée

L'intégration de niveaux d'échelle différents permet de prendre en compte :

- l'organisation hiérarchique des systèmes : les déterminants primaires à l'échelle régionale (relief, climat, géologie) formatent les variables de contrôle (régime hydro-sédimentaire, structure de la végétation rivulaire, connectivité latérale du cours d'eau et connectivité verticale). De celles-ci dépendent les facteurs clés du fonctionnement écologique des cours d'eau (habitat physique, climat aquatique et réseaux trophiques, Figure 1) ;

¹ Ainsi « flow alteration » est communément utilisé pour qualifier une augmentation de débit réservé

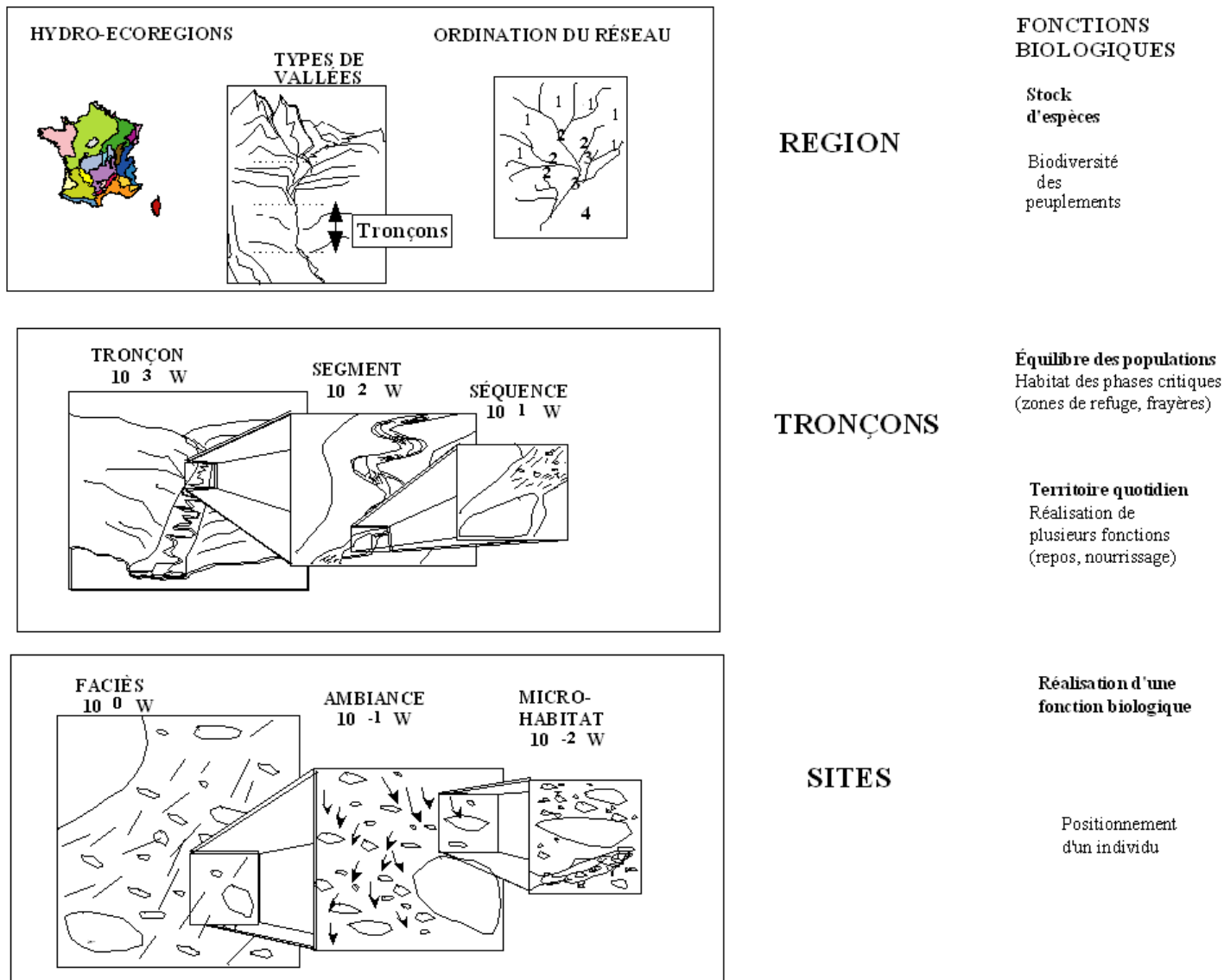


Figure 1 : Emboîtement des échelles physiques {Wasson, 1998 #16859}

- et les mécanismes d'altération des milieux : de l'activité humaine sur un bassin versant à la réponse de la communauté biologique au niveau de son habitat, en passant par l'altération des processus hydromorphologiques sur un tronçon de cours d'eau (Figure 2).

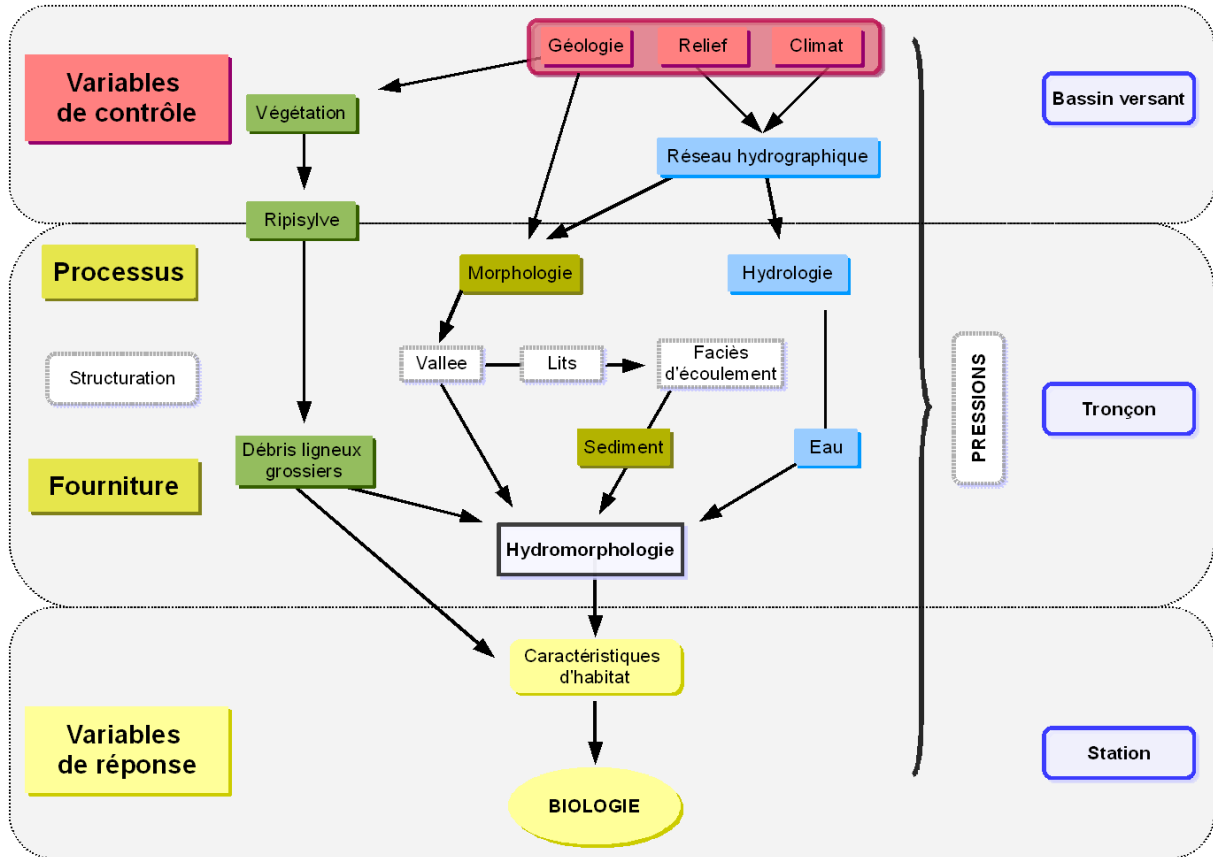


Figure 2 : Lien entre les différents compartiments au sein d'un hydrosystème {Souchon, 2002 #10478}

Recherche de facteurs de risques

Dans la mesure où les contraintes de délais, de moyens à mobiliser et d'efficacité empêchent une investigation exhaustive, le concept de hiérarchie emboîtée permet d'employer une analyse de type descendante (« top-down »), en renforçant l'analyse là où des risques d'altération importants ont été identifiés au niveau supérieur.

L'identification générale des tronçons les plus susceptibles de présenter des altérations d'ordre physique, feront l'objet d'un échantillonnage stratifié ciblé sur le terrain, visant d'une part à valider l'approche descendante, d'autre part à compléter les informations.

Il va sans dire que la démarche de validation s'appuiera sur toutes les données acquises antérieurement selon les différentes démarches.

L'approche SYRAH-CE, à large couverture spatiale, apparaît donc comme le complément contextuel multiscalaire indispensable pour hiérarchiser les risques d'altération et améliorer la mise en situation de toutes les démarches relevant d'approches ascendantes (bottom-up).

Evaluation de processus

Les types de classification physique de cours d'eau proposés par la littérature scientifique reposent soit sur les formes, soit sur les processus de fonctionnement (*cf. volume 1*). L'objectif du présent travail étant la recherche et l'identification de leviers d'action, une approche orientée sur les processus de fonctionnement apparaît plus prometteuse en terme de rapport coût/efficacité, voire de résilience de l'action, tout en la doublant d'un premier niveau de repérage cartographique des éléments de structure susceptible d'altérer la morphologie. Il convient toutefois de ne pas négliger l'existence de difficultés méthodologiques importantes.

Cette approche fondée sur les processus induit la construction d'un cadre d'analyse adapté, qui se traduit par un découpage du réseau hydrographique en tronçons géomorphologiques. En effet, le fonctionnement hydromorphologique varie selon les contraintes exercées le long du cours d'eau par les déterminants primaires (débits liquide et solide, forme et pente de la vallée).

Valorisation des systèmes d'information géographiques

L'utilisation des couches d'information SIG (souvent déjà disponibles dans des bases nationales homogènes et standardisées) et des logiciels dédiés permet également de constituer la des bases de données spatialisées.

Celles-ci ouvrent de plus la possibilité d'interactions avec d'autres informations nécessaires à la gestion, la programmation, la décision et l'évaluation des actions de restauration.

Limitation, réduction du nombre de descripteurs

La majorité des approches opérationnelles existantes se caractérise par un nombre important de descripteurs d'état dont la redondance, la pertinence individuelle et la nature du phénomène réellement décrit (cause ou conséquence, altération de processus ou forme d'habitat) interrogent quant à leur efficacité.

La recherche d'indicateurs sera orientée en fonction d'altérations hydromorphologiques clairement identifiées en réduisant au maximum la possibilité de redondance.

I.2 - Conception d'un système d'audit

I.2.1 - Proposition d'un schéma conceptuel

Il convient de rappeler en préalable que l'objet de cet audit est de distinguer les altérations induites par l'homme des caractéristiques naturelles, résultant de l'équilibre dynamique des cours d'eau.

Le premier niveau analysé concerne les « **Activités et occupations des sols** », (urbain, agriculture, transport, énergie). Celles-ci interagissent selon leur nature avec le fonctionnement des cours d'eau à plusieurs échelles spatiales différentes (le bassin versant, le lit majeur, le lit mineur).

Elles se matérialisent concrètement en « **Aménagements et Usages** », objets identifiables et souvent quantifiables, exerçant des effets directs sur le fonctionnement du cours d'eau. Ces effets se traduisent par des **altérations de processus** du fonctionnement physique **et de la structure** du milieu physique.

Ces altérations induisent des modifications des formes naturelles du cours d'eau, supprimant ou transformant des habitats (structure physique perçue par les êtres vivants

– les habitants – recouvrant une dimension spatiale à l'échelle de la taille et de la mobilité des organismes, et une dimension temporelle en fonction de leur durée de vie).

Un schéma (Figure 3) résume la chaîne de causalité, et positionne les deux niveaux d'analyse proposés dans l'audit :

- un niveau à large échelle, privilégiant l'utilisation de données facilement disponibles à l'échelle de l'ensemble du territoire national, mais dont la précision reste limitée (le niveau de définition est la zone hydrologique de la BDCARTHAGE®) ;
- un niveau d'analyse à l'échelle du tronçon géomorphologique qui permet d'appréhender des variables dont le niveau de résolution est bien meilleur, mais plus limitées en nombre (à l'aide d'outil de type BDTopo IGN®).

Cette chaîne de causalité est appuyée sur une approche de type « risque » (Cf. volume1) car fondée sur des hypothèses dans l'articulation des mécanismes et dans les relations sous leurs aspects quantitatifs (relations non systématiquement linéaires).

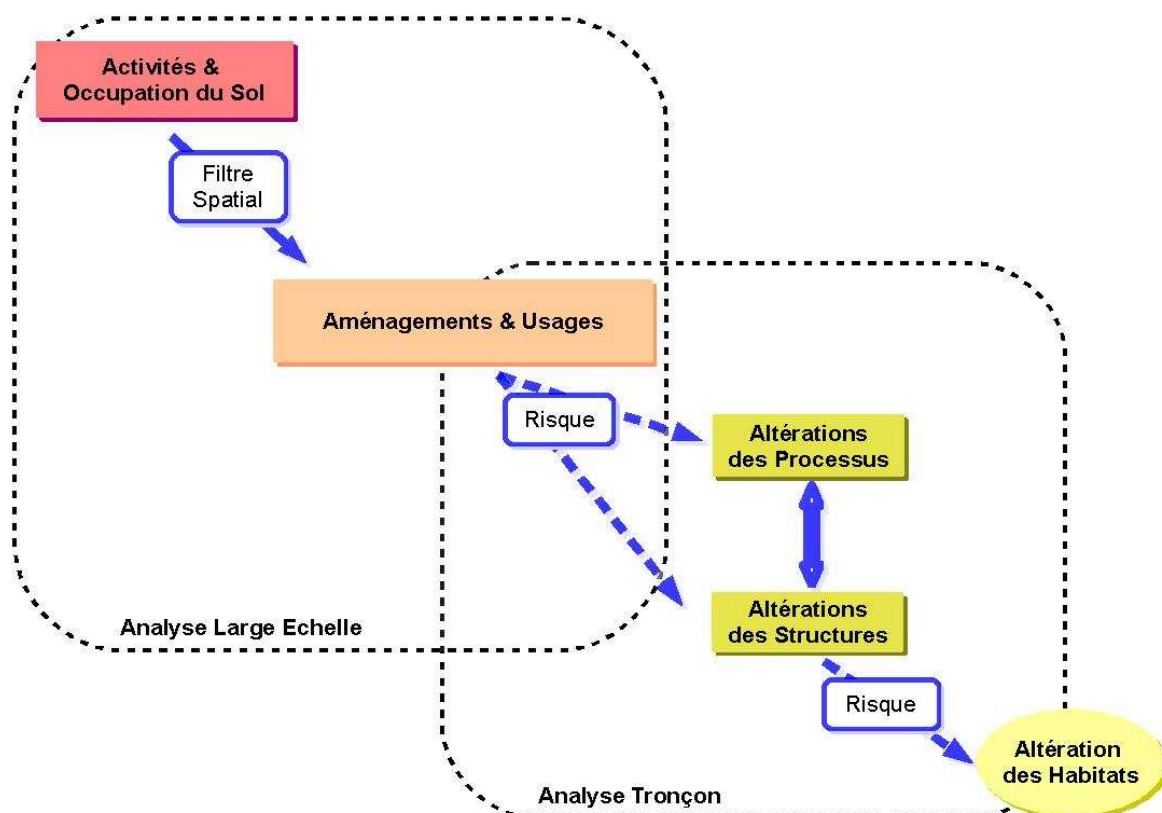


Figure 3 : Cadre conceptuel de travail. SYRAH-CE

Ce schéma s'insère dans une logique DPSIR (Driving forces – Pressures – State – Impact – Response) (Figure 4) développée par l'EEA (European Environmental Agency), respectant les recommandations de l'OCDE avec, comme premier niveau, les **Causes** (ou activités humaines et occupations de sols à l'origine de la dégradation) qui induisent les Pressions (Aménagements et usages). Le deuxième niveau peut être assimilé à l'**Etat** du fonctionnement physique (altérations des processus et des structures morphologiques), que l'on peut représenter par les **ouvrages** (barrages, seuils, renforcement de berges), voire par les **travaux** (stabilisation, recalibrage) ou les **activités** (prélèvements).

Le troisième niveau d'« altération écologique » représente la résultante locale de l'altération des processus (donc de l'**impact**) dans ses effets sur les modifications des habitats, facteurs majeurs des altérations écologiques.

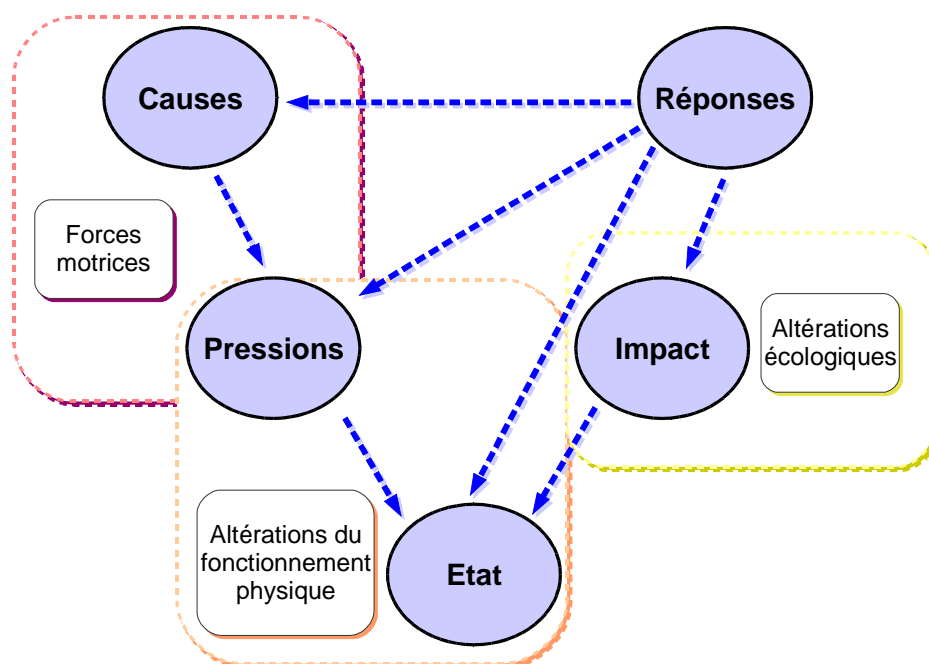


Figure 4 : Logique DPSIR (Causes, Pressions, Etat, Impact, Réponses) et Audit de l'Hydromorphologie

Le lien entre ce deuxième et troisième niveau est constitué par un changement d'échelle important, qui suppose une sélection de types d'altérations physiques dont l'influence sur l'état écologique est validée ou reconnue (ce dernier point constitue encore un champ d'investigation ouvert pour combler les manques de connaissances actuels ; rappelons qu'il s'agit de couvrir un spectre complet de réponses biologiques reposant sur des groupes végétaux, poissons et macro-invertébrés benthiques).

En résumé, le volet « Impact » de l'approche DPSIR est développé dans la relation de causalité entre les altérations de processus physiques et les altérations écologiques à effet direct sur l'« Etat écologique ». C'est bien celui-ci qui constitue l'objectif central de la Directive Cadre sur l'Eau.

I.2.2 - Organisation du système d'audit – projet

L'audit peut ainsi être décomposé en plusieurs grandes phases de réalisation dont certaines sont susceptibles d'être, dès à présent, décrites précisément. D'autres nécessiteront des mises au point techniques et organisationnelles.

Le but de l'audit est de détecter les altérations, c'est à dire les changements, dont l'origine est non naturelle et qui peuvent être associés à des changements de l'« Etat écologique ».

Dans un premier temps, la question principale est d'évaluer les altérations de processus de fonctionnement et de structure physique des cours d'eau à l'origine des perturbations possibles des habitats (Figure 5), lien majeur entre fonctionnement physique et état écologique d'un cours d'eau.

Pour les altérations de processus (flux solides et liquides), s'ajoute une notion de durée nécessitant le recours à des chroniques d'informations temporelles.

Le réseau de stations hydrologiques (moins de 2 000 stations pour 250 000 km de cours d'eau) pourrait en partie remplir ce rôle pour les flux liquides, mais rien n'existe actuellement pour les flux solides.

Les altérations de structures (morphologie en grande partie) concernent le plus souvent des « formes » (granulométrie, géométrie du lit mineur, altération de la dynamique latérale, succession de faciès,...), nécessitant des descriptions et/ou mesures par observations directes de terrain.

Evaluer directement les altérations est donc difficile (nécessité de parcourir le réseau hydrographique), voire impossible (dispositifs de mesures trop compliqués et volumineux à mettre en œuvre et à actualiser), il faut donc recourir à des moyens d'appréciation indirects.

L'objectif étant l'aide à la mise en œuvre d'actions permettant dans la mesure du possible de corriger l'origine des dysfonctionnements, il est pertinent de proposer des méthodes d'évaluation dès l'«amont» de la chaîne de causalité, donc de s'intéresser aux « Aménagements et Usages ».

Une liste d'aménagements et usages susceptibles de générer des altérations est donc établie (Figure 5) en tenant compte des diverses échelles spatiales au niveau desquelles interviennent activités humaines et occupations des sols, notamment bassin versant (agriculture, zone urbaine), lit majeur (agriculture, zone urbaine, transport), lit mineur (transport, énergie, voire tourisme).

La liste d'aménagements et usages proposée n'a pas prétention à l'exhaustivité dans cette chaîne de causalité mais permet d'identifier la plupart des dysfonctionnements susceptibles d'être rencontrés et leur origine.

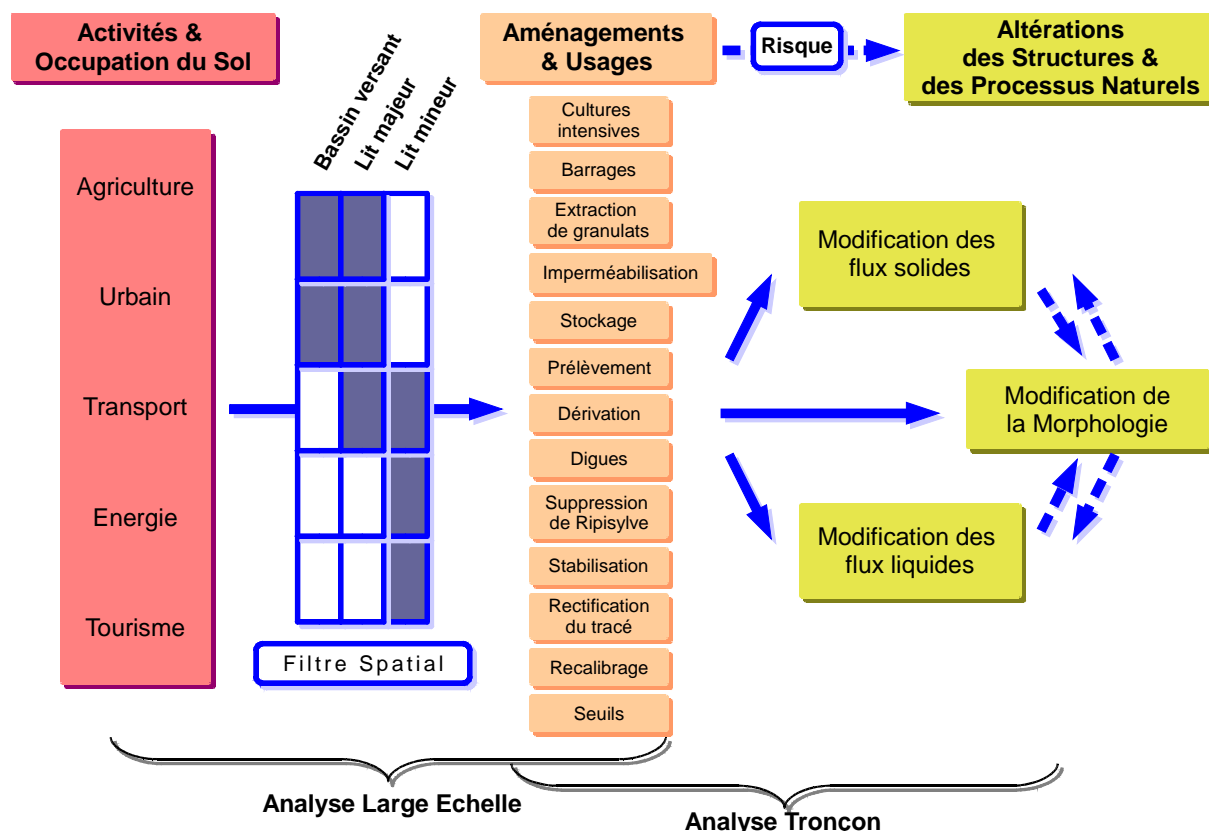


Figure 5 : Origines et causes des altérations hydromorphologiques

Il est nécessaire, pour suivre la logique du raisonnement proposé, d'identifier les liens entre ces « aménagements et usages » et les « altérations » fréquemment rencontrées dans les cours d'eau

La liste et la définition des altérations proposées reposent sur les situations pour lesquelles des incidences sur le fonctionnement des communautés biologiques sont fortement probables.

Trois ensembles regroupent les altérations de processus (flux solides et flux liquides) et les altérations de structures (modification de la morphologie) (Figure 6).

Sont identifiés, pour chacune de ces altérations, les aménagements et usages susceptibles d'en être responsables.

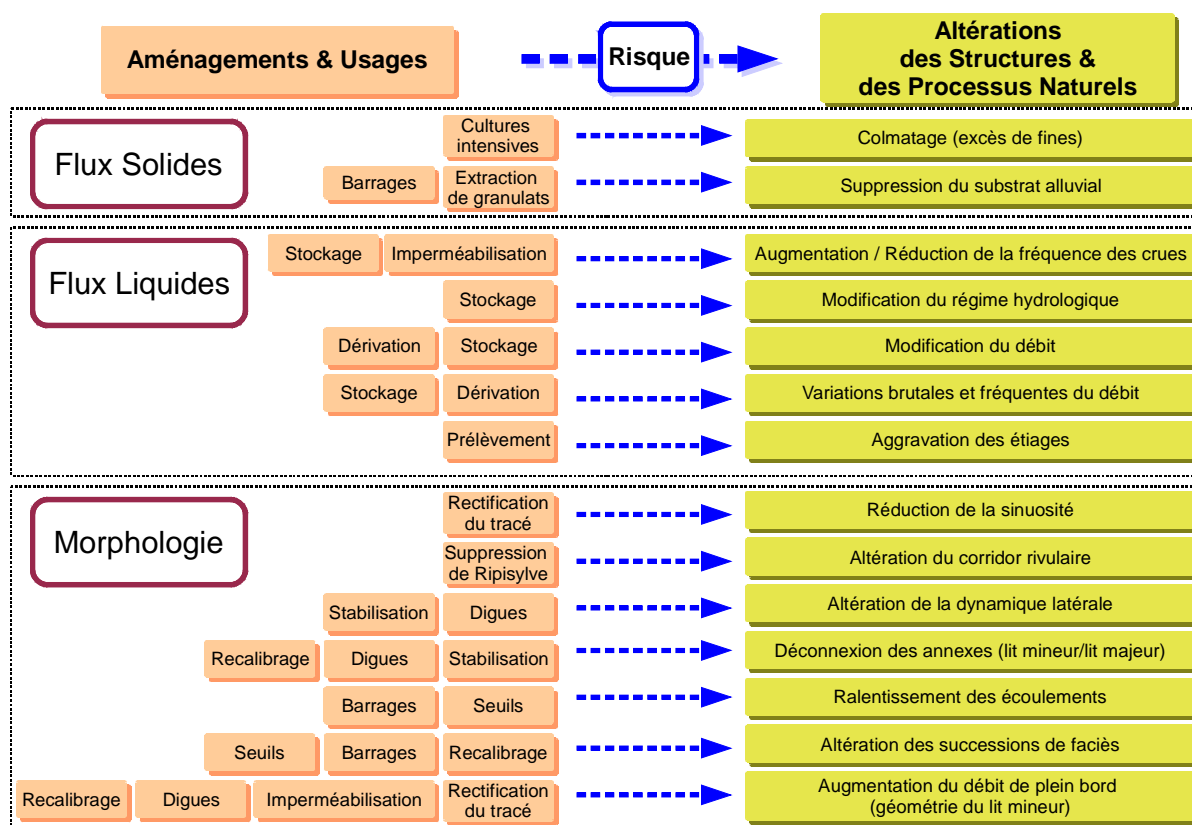


Figure 6 : Relations entre aménagements & usages et altérations hydromorphologiques

Dans la mesure où la description et/ou la quantification directe des altérations est difficile à mettre en œuvre, l'outil d'audit de l'hydromorphologie utilise en première approche les moyens disponibles permettant de décrire et de quantifier à large échelle et à l'échelle du tronçon les aménagements et usages intervenant dans ces relations.

Il est possible de couvrir l'ensemble des aménagements et usages identifiés à large échelle à l'aide de bases de données géographiques disponibles à une échelle nationale, mais la précision reste limitée, ce qui, notamment pour les aspects morphologiques souvent plus localisés, est parfois insuffisant pour poser un diagnostic précis des dysfonctionnements et concevoir des mesures de restauration.

L'analyse à l'échelle des tronçons géomorphologiques valorisant la BDTopo IGN® permet une description de ces aménagements à un niveau de précision plus compatible avec la recherche de causes de dégradation de l'état écologique observable.

Le tableau récapitulatif de l'analyse des aménagements et usages est présenté au paragraphe III.4 - Tableau 2.

Sur un plan opérationnel, on peut résumer comme suit les tâches élémentaires nécessaires à la mise en oeuvre de l'audit.

- un **cadre d'analyse** adapté, constitué d'un réseau hydrographique de tronçons élémentaires, qui doit être construit. En effet, les processus hydromorphologiques dépendent de contraintes liées aux structures géomorphologiques (géologie, pente de la vallée, forme de la vallée) et les résultats de l'évaluation des altérations ont une valeur différente selon le type de processus concerné (par exemple, on ne peut comparer les valeurs brutes des variables entre un cours d'eau s'écoulant dans une gorge étroite à forte pente et une rivière dans un large lit majeur avec une faible pente) ;
- des **données géographiques**, bases des indicateurs d'aménagements et usages (acquisition des couches nécessaires, constitution ou compléments de jeux de données) ;
- des méthodes de **traduction de l'information géographique** brute en indicateurs de risque d'altération de processus géomorphologiques, qui sont à construire, valider et standardiser ;
- **l'interprétation de ces indicateurs** doit, pour envisager une utilisation fiable et efficace, être adaptée aux types de fonctionnement des cours d'eau (ainsi la densité de seuils ou barrages n'aura pas le même sens pour un cours d'eau à forte pente et à transport solide important et pour un cours d'eau de plaine à faible transport solide).

Certaines altérations de processus ne pouvant être décrites par les méthodes employant des bases de données géographiques seront à collecter par d'autres moyens (collecte de documents d'archives, mesures de terrain, ...). Ceux-ci restent à élaborer dans un contexte de délais et de coûts à optimiser.

1.2.3 - Quelle forme pour ce système d'audit ?

Dans cette première phase de construction du système, il s'agit d'établir des éléments méthodologiques, mais également d'envisager des aspects techniques pour une mise en oeuvre opérationnelle à l'échelle du territoire métropolitain.

Dans un délai court (2 ans), il est envisageable de mettre à disposition les moyens pratiques pour organiser :

- l'évaluation globale de risques d'altération (utilisation de données existantes relatives aux Aménagements et Usages) ;
- la collecte des données (acquisition des variables) ;
- des méthodes et protocoles de mesures pour répondre aux besoins de connaissances avant et après restauration.

Une telle démarche devrait permettre aux partenaires des différents niveaux d'engager les actions opérationnelles de préservation ou de restauration les plus adaptées dans le cadre de la mise en oeuvre de la Directive Cadre sur l'Eau.

Afin de tenir compte des perfectionnements possibles en terme d'acquisition et de précision des données, mais aussi en terme d'amélioration des connaissances scientifiques, et enfin pour répondre de façon progressive aux différents besoins :

- le système sera amené à évoluer ;
- la possibilité d'ajouter des modules complémentaires sera ménagée ;

La forme du système d'audit s'apparente à un ensemble d'éléments méthodologiques enrichi d'éléments techniques permettant un usage concret immédiat.

En résumé, la démarche SYRAH permet d'envisager à ce jour deux formes de « productions » (Figure 7) :

- des documents écrits de référence répondant à l'une des sous-problématiques (analyse bibliographique, principes et méthodes, interprétation des données, ...) ;
- des « outils » opérationnels destinés à être utilisés par des opérateurs maîtres d'ouvrage, voire des opérateurs techniques. Ces outils peuvent être du type cahier des charges d'acquisition des informations, atlas interactif d'informations géographiques ciblées ou cadre d'analyse et d'interprétation des évaluations.

Les problématiques de recherche contribuant à la progression des connaissances constituent le socle des éléments qui enrichiront à terme le système.

La caractérisation et le suivi des éléments hydromorphologiques est envisagée sur les réseaux de mesures mis en œuvre en application de la Directive Cadre sur l'Eau.

Cette démarche, plus locale mais également plus précise que l'approche SYRAH-CE (mesures et observations sur le terrain), contribuera à caractériser les manifestations visibles de l'altération des processus ou de la structure physique des cours d'eau et à améliorer la connaissance des liens entre biologie et hydromorphologie.

Ce suivi fin est tout à fait complémentaire de la méthodologie SYRAH, mais il importe de ne pas le confondre avec cette dernière, dont l'échelle de diagnostic se situe, rappelons-le, à l'échelle du tronçon géomorphologique, échelle la plus pertinente de représentation du fonctionnement (ou du dysfonctionnement) physique du cours d'eau.

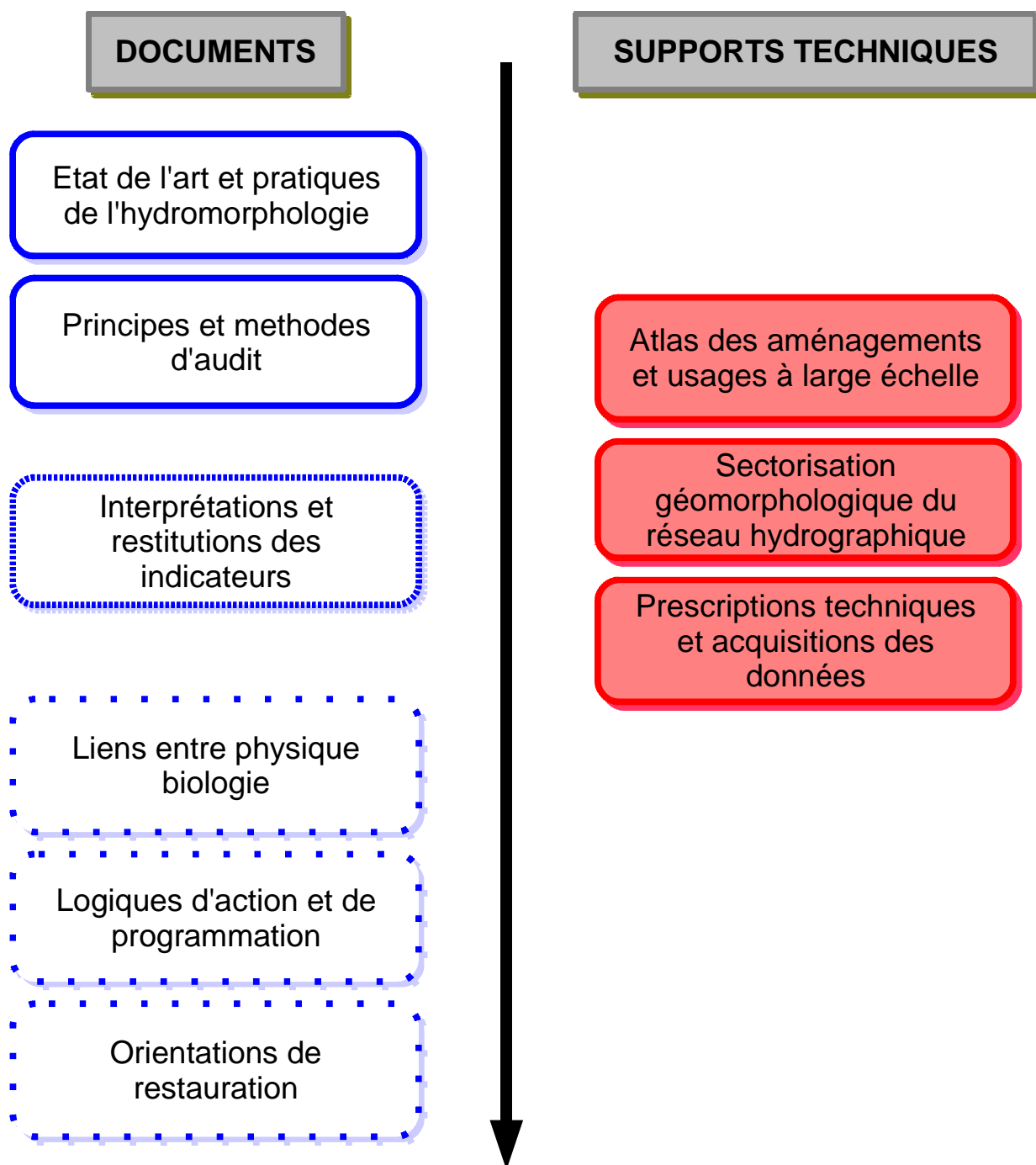


Figure 7 : Etapes d'élaboration du projet d'audit SYRAH-CE

II - METHODE

L'approche utilisant l'emboîtement hiérarchique des entités géomorphologiques des cours d'eau doit permettre d'identifier les dysfonctionnements des processus et des structures physiques à l'origine d'une altération possible de l'état écologique.

Le cadre d'étude de ces dysfonctionnements est construit sur la base des facteurs géomorphologiques contrôlant ces processus physiques et leur résultante en terme de structure (morphologie globale, habitat).

II.1 - les Altérations de processus et de structure

L'analyse des altérations retenues est organisée en trois ensembles. Les deux premiers, flux solides et flux liquides, correspondent aux aspects dynamiques et variables du fonctionnement, le troisième, la morphologie, résulte, le plus souvent, du déséquilibre entre flux solides et liquides.

II.1.1 - Flux sédimentaires

Les altérations du transport solide se traduisent par un excès ou un déficit des flux solides par rapport à un fonctionnement naturel.

Deux types d'altérations majeures peuvent être identifiées à l'échelle française :

- **le colmatage du plancher alluvial** souvent consécutif à un apport diffus et permanent de sédiments fins, lié à certaines **pratiques agricoles** sur des sols propices à **l'érosion** responsable du colmatage {Lenat, 1994 #4416}. Ils peuvent également faire suite à des vidanges occasionnelles de barrages ;
- la **disparition** (ou réduction drastique) **du matelas alluvial** résultant soit du blocage du transit sédimentaire (barrages, seuils), soit d'une exportation de la charge sédimentaire hors du système fluvial (extractions, curages).

NB : la réduction de la production de charge sédimentaire grossière, conséquence d'équipements et/ou de reboisements de grands bassins versants (par exemple dans les Alpes et Préalpes du Sud), est volontairement exclue de l'analyse. Il s'agit, en effet, de processus dont l'échelle spatiale et temporelle dépasse le cadre de l'audit proposé.

II.1.2 - Flux liquides

Les *altérations majeures* concernant les flux liquides sont de plusieurs types et peuvent avoir des conséquences sur le fonctionnement physique du cours d'eau, voire directement sur les habitats biologiques.

La principale altération des flux liquides, susceptible d'avoir des conséquences sur la morphologie du cours d'eau, est la **modification (augmentation/diminution) des débits de crues fréquentes** (entre un et trois ans). Ces crues, dites « morphogènes », sont à l'origine de la construction de la géométrie « moyenne » du cours d'eau et de la régénération des formes fluviales {Leopold, 1964 #16726}.

Les aménagements et usages anthropiques à l'origine de cette altération sont : soit le **stockage de grande dimension** (réduction de la fréquence des crues « morphogènes »), soit **l'imperméabilisation des surfaces** de bassins versants (augmentation de la fréquence des crues « morphogènes », à l'origine d'ajustements morphologiques non désirables).

La **modification du régime hydrologique** (modification de l'hydrogramme annuel naturel) constitue un second type d'altération.

Cette altération est essentiellement due au **stockage de volumes conséquents** permettant de différer l'écoulement dans un but énergétique, ou, moins fréquemment, pour soutenir les étiages.

La **modification du débit**, souvent plus localisée et liée à des aménagements précis (dérivations de cours d'eau), peut se décliner sous deux formes :

- une **modification continue** et quasi-constante, induisant une modification permanente de l'habitat, (par exemple sur des tronçons en débit réservé) ;
- une **succession de variations brutales et fréquentes du débit**, (fonctionnement dit « en éclusées »), induisant un état permanent de modification soudaine de la géométrie hydraulique, créant des conditions de stress pénalisantes pour les biocénoses aquatiques.

Ces deux types d'altérations sont liées à la présence de **stockages** et d'équipements de **dérivation du cours d'eau**.

L'aggravation des étiages, période hydrologique critique pour les biocénoses aquatiques et rivulaires, constitue également une altération du fonctionnement physique du cours d'eau (augmentation des températures et des concentrations des polluants divers, réduction de la quantité et de la qualité de l'habitat disponible).

Cette altération est associée **aux prélèvements d'eau dans le milieu aquatique**, en particulier ceux centrés sur les périodes de basses eaux.

II.1.3 - Morphologie

Les altérations décrites ci-après concernent les aspects hydromorphologiques résultant soit de l'altération de la balance flux liquides/flux solides, soit d'interventions directes et/ou de pressions permanentes qui influent sur la forme du chenal d'écoulement (profil en long et en travers, tracé en plan, bancs alluviaux, faciès d'écoulement) et sur sa dynamique naturelle.

La **réduction de la sinuosité** naturelle, dont les caractéristiques suivent des lois géomorphologiques clairement établies {Leopold, 1957 #3196; Richards, 1982 #3496}, constitue, pour les cours d'eau de style méandrique en vallée alluviale, une altération significative générant d'autres altérations morphologiques et géodynamiques (augmentation des vitesses, homogénéisation des faciès), ayant un impact direct sur la qualité et la diversité des habitats aquatiques. Cette altération est le plus souvent le résultat d'actions volontaires de **rectification du tracé** du cours d'eau (lutte contre les inondations, gain d'espace exploitable en fond de vallée, protection d'installation riveraine).

Le corridor rivulaire est composé généralement d'une végétation arborée (hors contextes particuliers liés à l'altitude ou à la pédologie). La **réduction de cette végétation, voire sa suppression** a des effets directs sur les caractéristiques des habitats aquatiques et rivulaires, sur le fonctionnement de certaines composantes de l'écosystème (production de matière organique) et sur un ensemble de fonctions annexes garantissant l'équilibre de l'hydrosystème (interface avec écosystème terrestre, continuité longitudinale pour les communautés animales, réduction des pollutions diffuses).

La réduction de la dynamique latérale du cours d'eau constitue une altération très fréquente résultant d'une compétition entre l'utilisation du sol en fond de vallée à différentes fins (urbaines, voies de communication et autres infrastructures), nécessitant une stabilité temporelle, et la divagation naturelle caractéristique des rivières mobiles en vallée alluviale. Cette compétition se traduit par la réalisation d'aménagements de deux types principaux :

- **les digues**, destinées à cantonner l'écoulement dans un espace déterminé lors des crues ;
- **les ouvrages de stabilisation**, visant à bloquer l'érosion de berges, processus élémentaire de la migration du chenal.

La déconnexion des annexes latérales du lit majeur telles que bras morts, méandres rescindés ou zones humides, a également des incidences fortes sur le fonctionnement biologique global du cours d'eau. Elle résulte le plus souvent des aménagements déjà mentionnés : **digues et ouvrages de stabilisation**, mais également des usages et équipements concourant à **recalibrer** le lit du cours d'eau (changer sa forme géométrique pour permettre le passage d'un débit supérieur à celui naturel dit de « plein bord »).

Le **ralentissement des écoulements** par construction d'ouvrages transversaux, soit limités au lit mineur (**seuils**), ou de plus grande dimension (**barrages**), a pour effet de réduire la pente globale de la ligne d'eau, homogénéisant les faciès d'écoulement, composante des habitats aquatiques.

L'altération des successions de faciès (radiers/mouilles/plats), base rythmique de la morphologie du lit des cours d'eau {Leopold, 1964 #16726} et fondement de la succession et de la diversité des habitats, peut être le résultat d'interventions directes sur le lit des cours d'eau ou de déséquilibres dans le fonctionnement des processus physiques. On peut retenir comme principaux aménagements générateurs de ce type d'altération, **les seuils, barrages et les recalibrages**.

L'augmentation du débit de plein bord, qui se manifeste par la modification de la géométrie du lit mineur, constitue une résultante fréquente d'altérations de processus, induite par certains aménagements ou usages (**imperméabilisation ou rectification du tracé** dans le cas de l'incision), quand il ne s'agit pas du résultat de travaux volontairement exécutés pour réduire la fréquence des inondations (**recalibrage et digues**).

II.2 - Aménagements et usages

L'évaluation directe de chaque altération du fonctionnement physique des cours d'eau apparaît complexe, la méthode proposée consiste à identifier et décrire les « Aménagements et usages » susceptibles de générer ces altérations de processus et de structure.

Dans un premier temps, il convient de décrire les « Aménagements & Usages » retenus dans le schéma de causalité proposé (Figure 5) en précisant leurs interactions avec les risques probables d'altérations hydromorphologiques (Figure 6).

Il est proposé de les analyser en les regroupant :

- selon les grands processus de fonctionnement physique des cours d'eau :
 - flux sédimentaires (ou transport solide) ;
 - flux liquides (ou hydrologie).
- selon les altérations morphologiques résultantes sur le lit mineur.

II.2.1 - Flux sédimentaires

II.2.1.1. - Pratiques agricoles favorisant l'érosion des sols vulnérables

L'érosion des sols, aggravée par les activités humaines (par certaines pratiques agricoles en particulier), est à l'origine d'un apport diffus et permanent de sédiments fins (limons et argiles), cause principale du phénomène de « colmatage » minéral qui affecte le substrat alluvial grossier de nombreux cours d'eau sur l'ensemble du territoire.

Ce colmatage a une incidence directe sur les êtres vivants exploitant ce type d'habitat (reproduction des poissons, habitat permanent ou occasionnel de certains macro-invertébrés, enracinement de macrophytes, etc...) {Cordone, 1961 #5908; Waters, 1995 #6437; Waters, 1995 #6437; Waters, 1995 #6437; Waters, 1995 #6437; Waters, 1995 #6437; Waters, 1995 #6437} et peut également avoir des effets sur certains processus d'érosion : le colmatage important d'un substrat grossier par des fines limite, voire empêche, la mobilisation des alluvions grossières lors des crues.

Domaine géographique

Le transport et le dépôt « naturel » de sédiments fins doivent cependant être différenciés des phénomènes prenant leur source dans les activités humaines.

Il apparaît donc indispensable de distinguer les secteurs où le transport solide fin est naturellement important (zones de montagne à géologie marneuse) de ceux où il constitue une mobilisation non naturelle des couches superficielles du sol.

Nous proposons ainsi de limiter l'évaluation de l'excès diffus de sédiments fins aux zones de plaines et de collines de pentes médianes inférieures à 4% (Figure 9).

II.2.1.2. - Déficit de transport solide : barrages et gravières

Le déficit en transport solide résulte soit de blocage dans le processus de transport par les **barrages**, soit par l'existence de « pièges » constitués par les **gravières en lit majeur** (et les pratiques antérieures d'extraction de granulats en lit mineur dont les effets sont encore parfois décelables).

En terme d'incidence sur le fonctionnement hydromorphologique, le déficit peut se traduire par {Schumm, 1977 #2701}:

- un changement du style fluvial : disparition du tressage au profit du méandrage, perceptible à l'échelle du tronçon ;
- une incision plus ou moins étendue du cours d'eau : modification du profil en long et en travers par abaissement du fond du lit mineur ;
- modification de la granulométrie par mise en place d'un pavage de gros éléments en fond de lit ;
- dans certains cas extrêmes : disparition complète du matelas alluvial et affleurement du substratum, avec disparition des biocénoses aquatiques inféodées aux substrats alluviaux.

Les conséquences directes sur les compartiments biologiques sont de plusieurs ordres :

- réduction de la diversité des biocénoses par simplification du style fluvial ;
- perturbation des relations nappes/rivières, par abaissement de la nappe alluviale ;
- modifications des habitats (rythmicité des faciès, granulométrie, etc...).

La présence d'ouvrages transversaux (**barrages, seuils**) ou de gravières génère un blocage du transit sédimentaire de la charge de fond, à l'origine de modifications parfois importantes des caractéristiques du cours d'eau (Figure 8 et Figure 10).



Figure 8 – Effet de la mise en place d'un barrage sur une rivière alpine :
métamorphose fluviale de l'Isar (Geretsried, Allemagne)

Les impacts de ces ouvrages ne sont toutefois sensibles que dans les secteurs où le débit solide est naturellement important.

Domaine géographique

Il est proposé de limiter cette analyse aux zones concernées par cette dynamique de manière significative (reliefs marqués, fortes pentes) et donc aux régions de montagne et aux ouvrages structurants (barrages de hauteurs supérieures à 5 mètres).

Nous proposons donc d'analyser les secteurs dans les hydroécorégions de pentes médianes supérieures à 4% (Figure 9), les plus susceptibles d'être concernés par une érosion et un transport significatif.

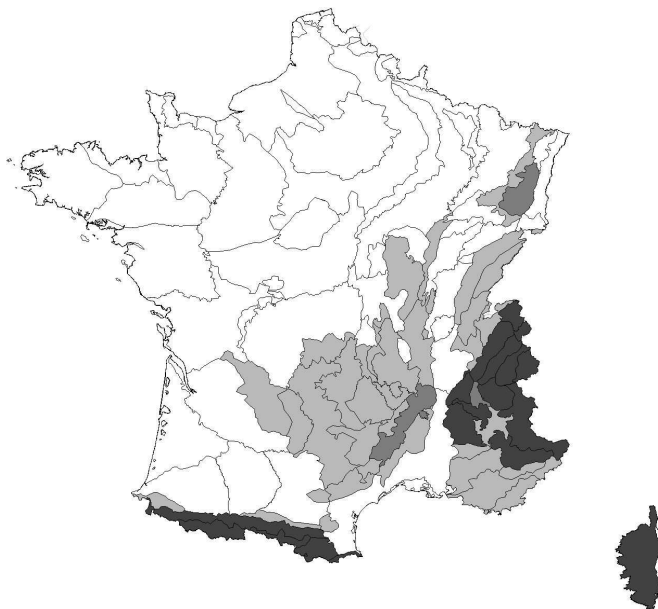


Figure 9 – Cartes des hydroécorégions de montagne (*pentes médianes supérieures ou égales à 4%*)

Les extractions de granulats en lit mineur, massives dans de nombreux cours d'eau entre 1950 et 1980, à l'origine de phénomènes d'érosion verticale (incision) entre autres, ont été interdites en 1994. Le report de ces extractions sur le lit majeur, s'il a permis de limiter l'impact direct et permanent sur le lit, n'a pas empêché la constitution de « pièges à sédiments » lors des crues, et généré d'autres dysfonctionnements notamment en ce qui concerne les relations nappes/rivières et le mitage du corridor fluvial.

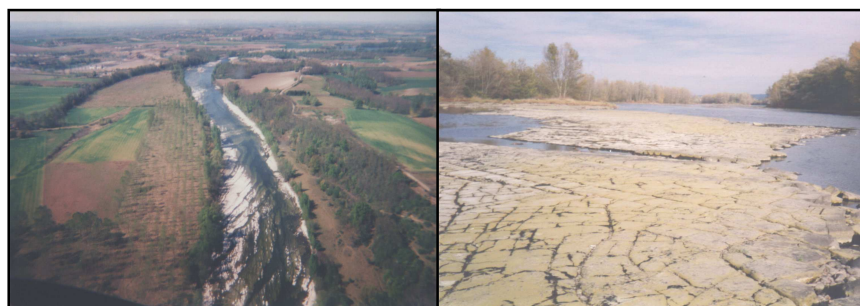


Figure 10 : Apparition du substratum rocheux (marnes oligocènes) sur l'Allier à gauche, la Loire au centre (photos JR Malavoi).

NB : Les déséquilibres géomorphologiques induits par ces pratiques ont des temps de rémanence très longs si les volumes extraits ont été importants par rapport aux apports solides naturels.

Domaine géographique

Les cours d'eau concernés sont ceux d'une certaine importance et qui disposaient d'un matelas alluvial conséquent. Il est donc proposé de se focaliser sur les cours d'eau de rang de Strahler supérieur ou égal à 4, et évoluant en fond de vallée alluviale.

NB : les cas les plus extrêmes se situent généralement à proximité des grosses agglomérations ou des infrastructures de transport importantes (autoroutes...).

II.2.2 - Flux liquides

Les aménagements et usages retenus comme étant à l'origine des divers types d'altérations des flux liquides sont :

- l'imperméabilisation des sols ;
- le stockage de volume d'eau ;
- les prélèvements d'eau sans restitution au milieu ;
- les dérivations ;
- le drainage agricole.

II.2.2.1. - Imperméabilisation des sols

L'imperméabilisation peut être la conséquence d'aménagements bien identifiés (routes, zones urbaines denses), mais également le résultat d'interactions complexes entre des usages de sols et des situations climatiques (certains sols, cultivés dans certaines conditions météorologiques provoquant une saturation, peuvent se comporter comme des surfaces imperméables).

L'imperméabilisation des sols est à l'origine d'une augmentation des débits des crues fréquentes provoquant une perturbation de l'équilibre débit liquide/débit solide : l'augmentation du débit liquide associé à un maintien, voire une réduction du débit solide induit des phénomènes importants d'érosion, et souvent une incision du cours d'eau avec son cortège de conséquences sur les habitats aquatiques (Figure 11) :

- augmentation fréquente des contraintes physiques (vitesses, hauteurs d'eau) ;
- réduction des alternances naturelles « radiers/mouilles » à l'origine d'une banalisation des habitats, de déconnexions des annexes quand elles existent.



Figure 11 – Effets de l'imperméabilisation en milieu urbain (Greg Jennings, PhD, North Carolina State University²)

NB : les effets géomorphologiques de l'imperméabilisation des bassins versants sont inversement proportionnels à la surface de ceux-ci. Ils deviennent généralement assez peu sensibles sur les grands bassins.

Par souci de simplification et pour valoriser les bases d'informations existantes, ce type d'usage (ou de conséquence d'usage) sera limité aux territoires artificialisés, à l'origine de rejets d'eaux pluviales, générateurs de risques importants de modification de débits de crues fréquentes.

II.2.2.2. - Barrages et plans d'eau de stockage

Ces aménagements, de grandes dimensions, recouvrent deux types :

- retenues hydroélectriques conçues pour utiliser les apports saisonniers hivernaux et printaniers tout au long de l'année (barrages de montagne par exemple) ;
- retenues destinées au soutien d'étiage (ex : barrage de Naussac sur le haut Allier) et à la régulation des crues (ex : barrages réservoirs du bassin de la Seine).

A l'inverse de l'imperméabilisation, ces aménagements réduisent souvent la fréquence des crues morphogènes (ex : barrage de Vouglans sur l'Ain) avec des effets géomorphologiques négatifs tels que la réduction de la capacité de transport des sédiments nécessaire à l'« entretien » naturel des habitats, le colmatage des substrats grossiers, la végétalisation excessive des bancs alluviaux autrefois mobiles, etc...

Ces aménagements permettent parfois une augmentation des débits d'étiage, provoquant une situation artificielle susceptible de présenter un risque pour des communautés adaptées aux étiages naturels marqués (avec notamment des températures plus fraîches ou plus chaudes suivant la position de la prise d'eau de restitution).

Cas particuliers des retenues collinaires

Ouvrages généralement conçus pour la rétention d'eau à vocation d'irrigation, leurs impacts peuvent se traduire de façon diverse selon les usages envisagés (exportation brute, stockage différé dans le temps, dérivation puis restitution), les volumes stockés, la position des ouvrages sur le bassin versant, les types de cultures sur le bassin concerné (risques de relargage de nutriments).

A ce stade d'analyse (grand bassin versant), les descripteurs quantitatifs pertinents seraient plutôt du type cumul de volume.

² <http://www.bae.ncsu.edu/workshops/constructiontraining/fundamentals.pdf>

Mais le problème actuel se situe au niveau de la mobilisation des données : il n'existe pas de base de données exhaustive de retenues collinaires à large échelle.

Par ailleurs, l'évaluation du lien entre altération physique de cours d'eau (réduction des étiages) et présence de retenue collinaire est complexe.

En effet, si la présence de ce type d'ouvrage constitue un risque de dysfonctionnement hydrologique, des études complémentaires seront nécessaires pour préciser les ordres de grandeur du niveau d'altération direct induit par ces ouvrages (voir note en annexe 1).

II.2.2.3. - Prélèvements d'eau en étiage : irrigation

Les pompages d'irrigation sont des prélèvements directs dans le milieu en période de déficit pluviométrique.

Ils aggravent notablement les étiages naturels avec des effets directs sur les communautés biologiques par augmentation des facteurs de stress (température, habitats, concentration de polluants) dans des situations où, naturellement, le débit d'étiage constitue le facteur limitant de développement des communautés aquatiques.

II.2.2.4. - Dérivation

La dérivation des débits est associée à des ouvrages généralement identifiables localement (seuils), et concerne la plupart du temps un usage énergétique (il existait autrefois des dérivations à vocation agricole, notamment pour l'irrigation gravitaire de champs et de prés. Ces dérivations sont peu fréquentes aujourd'hui).

Dans la majeure partie des cas, une partie du débit est maintenue dans le cours d'eau « naturel », l'autre renvoyée dans des aménagements (canaux, conduites, ...) de longueur variable avant restitution au cours d'eau.

Cet usage induit deux types d'altérations physiques :

- la modification du débit le plus fréquent, en le réduisant à un débit de base dit « débit réservé » ;
- pour certains aménagements, le fonctionnement par « éclusées » provoque des variations fréquentes et brutales du débit.

La réduction du débit naturel à un « débit réservé » a pour conséquence principale la réduction d'habitat utilisable par les communautés, se traduisant en terme de hauteur, vitesse et de valeur d'habitat.

Le fonctionnement par éclusées a des incidences fortes sur les caractéristiques hydrauliques de base, se traduisant par des contraintes physiques fréquentes imposées aux communautés (vitesse, hauteur, marnage).

II.2.2.5. - Drainage agricole

Le drainage des sols a des incidences hydrologiques qui font encore débat aujourd'hui. Il semble généralement aggraver les crues du fait de la concentration des écoulements en surface et leur canalisation dans des collecteurs larges et rectilignes. Il est vraisemblable aussi qu'il réduise le soutien naturel des étiages du fait d'un ressuyage des sols beaucoup trop rapide. La durée des étiages serait donc allongée et leur sévérité augmentée.

II.2.3 - Morphologie

On constate que les aménagements et usages des sols sont souvent à l'origine de plusieurs altérations différentes et que ces altérations ont elles-même de multiples origines (Figure 6).

II.2.3.1. - Digues et talus en lit majeur

De nombreux cours d'eau sont concernés par ce type d'aménagement, conçus le plus souvent dans un objectif de protection contre la submersion, en zone urbaine et en zone péri-urbaine, avec des déclinaisons de formes et de configurations multiples, selon les natures des enjeux protégés, la morphologie du lit majeur, le fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau et les moyens techniques et financiers mis en oeuvre.

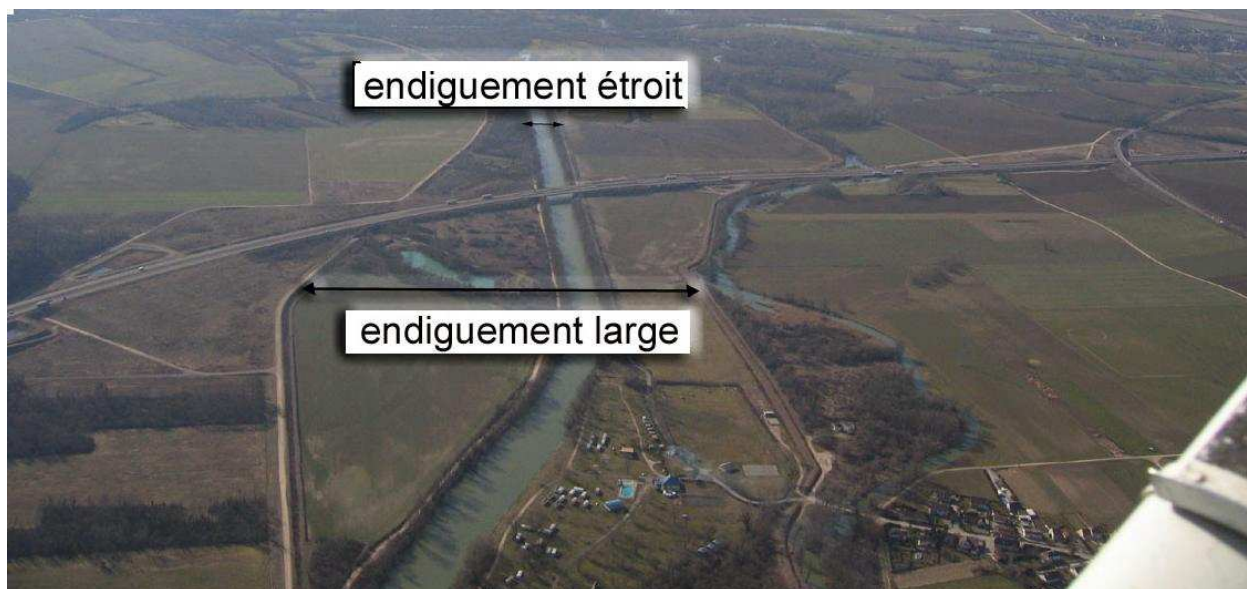


Figure 12 : Vue aérienne d'un système à double endiguement : étroit pour les crues fréquentes et large pour les crues plus rares (photo JR Malavoi)



Figure 13 : Exemple de digue en enrochements + remblai (photo JR Malavoi)

Ces aménagements induisent une déconnexion entre lit mineur et lit majeur, et provoquent une augmentation du débit de plein bord (objectif initial) à l'origine de phénomènes d'incision.

La déconnexion avec les annexes hydrauliques peut être permanente ou temporaire avec des effets plus ou moins importants et réversibles sur les milieux :

- appauvrissement des milieux humides du lit majeur (associé souvent à une mise en culture de ces espaces) ;
- appauvrissement des biocénoses inféodées à ces milieux humides ;
- appauvrissement de certains compartiments de biocénoses aquatiques dont une partie du développement dépend de ces connexions (reproduction de certaines espèces de poissons).

L'incision résultante s'accompagne d'effets sur les niveaux d'équilibre de nappes alluviales et de conséquences diverses de la modification géométrique du lit mineur.

Ces aménagements restent ponctuels, même si, sur certains cours d'eau, ils prennent parfois des dimensions longitudinales importantes.

II.2.3.2. - Suppression de ripisylve



Figure 14 : Exemples de portions de cours d'eau sans ou avec faible ripisylve (photos C. Thévenet).

Située à l'interface entre les milieux terrestres et aquatiques, la végétation rivulaire ou ripisylve joue un rôle très important au sein des écosystèmes d'eau courante :

- le rôle de "corridor" sous la forme d'un cordon assure une continuité écologique entre des milieux souvent fragmentés, facilitant les échanges et les déplacements entre les différentes communautés ;
- les racines des arbres, les troncs tombés dans l'eau, les débris végétaux (ou embâcles) créent une diversité d'habitats favorables à la faune aquatique, en faisant office successivement de lieux de cache, de supports de ponte ou de source de nourriture pour de nombreux poissons et invertébrés ;
- la végétation des berges, par son ombrage, permet également de maintenir une température des eaux fraîche ;
- à long terme, un surcroît de lumière peut être source de sur-développement d'algues aquatiques, néfaste à la vie des organismes vivants ;
- les formations végétales riveraines garantissent un apport constant en matière organique (feuilles mortes, insectes tombant des arbres). De plus, beaucoup d'insectes « aquatiques » ont besoin des tiges de la végétation riveraine pour se développer (éphémères, libellules) ;
- les ripisylves participent à l'élimination de pollutions diffuses, en réduisant la teneur des eaux en nitrates et phosphates et en diminuant la concentration en pesticides (une certaine largeur est alors nécessaire pour assurer cette fonction).

II.2.3.3. - Stabilisation : voies de communication dans le corridor

Les infrastructures de transport sont, selon leur proximité avec le cours d'eau, associées avec la réalisation d'aménagements de protection, soit pour leur propre protection, soit pour les zones bâties qu'elles desservent. Cette protection contre l'érosion latérale, rendue nécessaire par le caractère pérenne de l'aménagement concerné, est le plus souvent à l'origine des perturbations du fonctionnement hydraulique lors des crues morphogènes, bloquant la capacité du cours d'eau à migrer librement dans le fond de vallée en dispersant son énergie.



Figure 15 : Secteur à fortes contraintes latérales (routes, ponts, etc.)
(photo M. Pucci – vallée de la Toce – Italie)

Les exemples les plus marquants sont les vallées des Alpes, voies de communication, où le cours d'eau doit souvent « laisser la place » aux différentes infrastructures de transport dans un lit majeur contraint en largeur (Tarentaise, Maurienne, Arve...). Mais de nombreuses vallées alluviales sont également concernées ailleurs.

Les processus d'érosion, transport de sédiments, dépôt, recoupement de méandre, ont pour effet de créer, détruire, recréer, à une échelle de temps comprise entre 10 et 100 ans en moyenne (fréquence extrêmement variable selon les cours d'eau), une diversité de milieux dont la grande richesse écologique tient justement à leur fréquence de régénération et à leur assemblage sous forme de mosaïques sur une surface relativement restreinte (parfois seulement quelques milliers de m²).

Le blocage des processus géodynamiques se traduit donc par un appauvrissement général de la quantité d'habitats potentiels et de la qualité fonctionnelle du corridor fluvial.

L'absence de processus d'érosion latérale entraîne de surcroît une baisse de la « production » de sédiments grossiers par reprise du stock alluvial disponible sur les berges. Or, l'équilibre débit liquide/débit solide est un élément essentiel de la dynamique fluviale. Cet effet est d'autant plus sensible sur les cours d'eau à dynamique active et coulant dans des alluvions non cohésives.

II.2.3.4. - Rectification

La modification volontaire du tracé en plan résulte le plus souvent d'une utilisation de l'espace en fond de vallée alluviale, que l'on peut identifier par les occupations de sols (urbanisation, agriculture à fort impact) pour lesquelles la sinuosité naturelle du cours d'eau constitue une gêne.

Il s'agit également d'aménagements de protection contre les inondations par une modification des caractéristiques géométriques du cours d'eau qui permettent d'augmenter la capacité d'écoulement du chenal en modifiant sa pente.



Figure 16 – Exemple de rectification de cours d'eau en zone rurale (photo JR Malavoi)

La navigabilité des grands cours d'eau a également engendré ce type d'aménagements.

Poussée à l'extrême et associée à des ouvrages de stabilisation, la rectification des cours d'eau se traduit par :

- une homogénéisation des faciès d'écoulement et des substrats, donc une réduction de la diversité des habitats ;
- une incision du lit mineur, avec une déconnexion des annexes hydrauliques et un abaissement de la nappe ;
- la mise en œuvre d'aménagements (les seuils) destinés à réduire l'augmentation de pente générant eux-mêmes d'autres impacts.

La gravité des conséquences de la rectification dépend de la puissance spécifique du cours d'eau et de son débit solide : un cours d'eau de plaine à faible transport solide sera plus pénalisé.

II.2.3.5. - Recalibrage

Il s'agit ici de la modification volontaire du profil géométrique par approfondissement et élargissement du lit mineur en vue d'augmenter la capacité d'écoulement du chenal, lors des inondations fréquentes, ou pour améliorer la navigabilité.

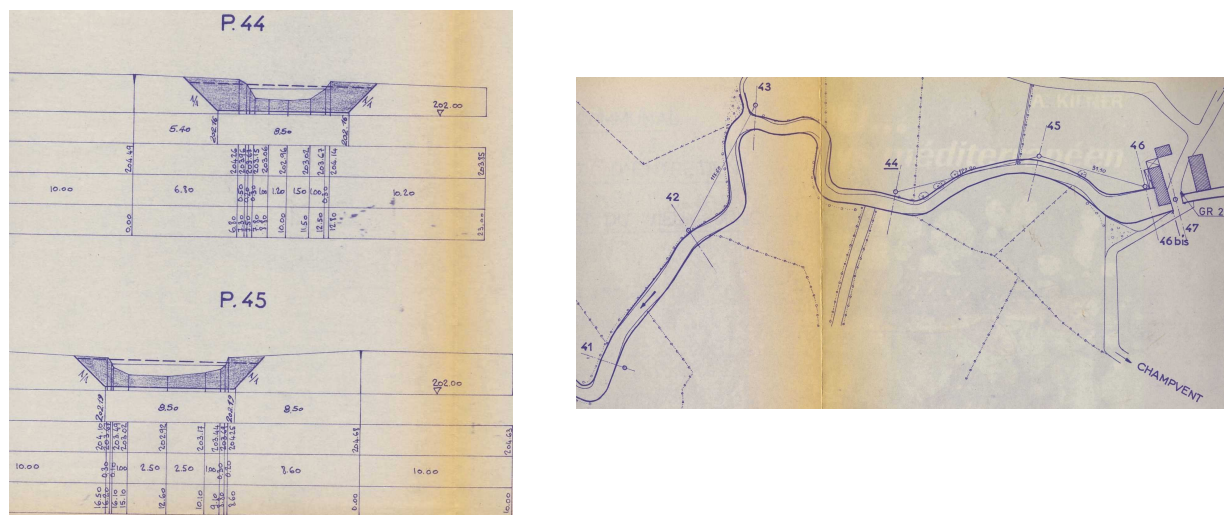


Figure 17 : Exemple de projet de recalibrage généralisé d'un cours d'eau.
En blanc le profil actuel, en grisé le profil à créer.

Ce type d'aménagement affecte de nombreux cours d'eau, aussi bien en zone urbaine qu'en zone rurale.

Les impacts directs de ce type d'aménagements sont soit de nature hydromorphologique :

- déconnexions des annexes hydrauliques ;
- altérations des successions de faciès.

soit de nature « écologique » :

- diminution des capacités d'accueil des habitats (limitation de la hauteur d'eau par sur-élargissement, augmentation des contraintes hydrauliques en crue) ;
- réchauffement de l'eau à l'étiage.

II.2.3.6. - les seuils

Ces ouvrages, fréquents sur l'ensemble du réseau hydrographique, résultent dans la majorité des cas d'équipements historiques de production d'énergie (moulin ou micro-centrales), de prélèvements d'eau et, dans une moindre mesure, d'ouvrages de stabilisation du profil des cours d'eau.

Ces seuils, outre les perturbations qu'ils provoquent au niveau de l'équilibre morphodynamique du cours d'eau (modification des flux liquides et solides, ralentissements des écoulements, « point dur » limitant les processus naturels d'érosion), ont des effets assez directs sur certains aspects du fonctionnement biologique du cours d'eau.

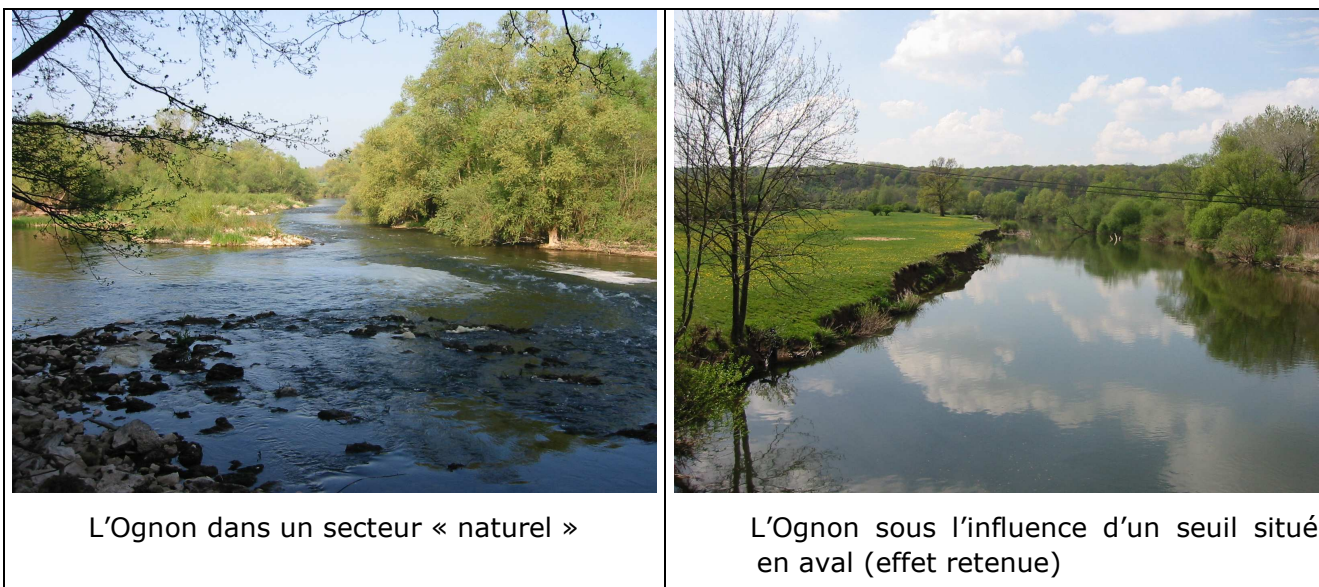


Figure 18 : Secteur naturel de l'Ognon et effet d'une retenue (photos JR Malavoi)

En fonction de leur cumul et de leur densité sur le réseau, ils sont susceptibles de provoquer des altérations physiques de plusieurs types {Malavoi, 2003 #14279} classable en trois catégories :

- effet « retenue » se traduisant par un remous à l'amont à l'origine de faciès d'écoulements lenticules et profonds en lieu et place de séquences naturelles alternées (radiers/plats/mouilles) ;
- modification des flux longitudinaux : hydrogramme, charge solide, continuité biologique ;
- point dur de blocage des processus naturels d'érosion perturbant les processus d'équilibrage géodynamique.

Ces aménagements ont un effet marqué sur l'ensemble des **cours d'eau de pentes moyennes à faibles** (annexe 3).

II.2.4 - Aménagements et usages : conclusion

La description des aménagements et usages et de leurs effets montre que :

- la relation avec les altérations physiques est très rarement binaire, mais il est indispensable de simplifier pour s'affranchir d'une complexité naturelle peu compatible avec la mise en œuvre d'outils d'audit ;
- la liste est volontairement limitée aux cas généraux les plus fréquents à l'échelle nationale ;
- ces aménagements et usages ont des liens parfois directs avec des altérations d'habitats, parfois ne sont à l'origine que d'altérations hydromorphologiques, parfois les deux ;
- les altérations hydromorphologiques ont des relations entre elles.

La construction d'un modèle permettant d'expliquer la totalité des relations de causalité en expliquant l'origine des altérations écologiques ne paraît pas réaliste à l'heure actuelle.

En revanche, cette revue permet d'entrevoir des origines de dysfonctionnement plus importantes, soit en terme d'incidence sur le fonctionnement physique, ou sur les habitats, soit en proportion de cours d'eau concernés.

Il apparaît donc envisageable de proposer une analyse permettant de hiérarchiser les facteurs de risque d'altérations du fonctionnement physique.

Compte tenu des moyens techniques existants, deux niveaux d'analyse sont proposés qu'il conviendra dans un deuxième temps de compléter pour améliorer la qualité de l'audit.

III - LES OUTILS

L'approche retenue consiste à définir des variables permettant de décrire, voire quantifier les aménagements et usages ciblés dans le chapitre précédent.

Deux niveaux d'analyses sont proposés :

- une large échelle correspondant à une disponibilité de données géographiques exploitables facilement au niveau national ;
- l'échelle des tronçons géomorphologiques, plus adaptée pour effectuer le lien aménagement – altération, mais limitée aux données suffisamment précises au niveau local.

Le présent chapitre propose un ensemble d'indicateurs de pressions à fort pouvoir d'altération hydromorphologique pour lesquels l'origine de la donnée est mobilisable sous forme de couches d'informations géographiques de niveau national, et analysable à large échelle. L'échelle de restitution envisagée est la zone hydrologique BDCARTHAGE®, soit plusieurs dizaines de km².

L'intérêt de l'analyse à cette échelle (outre la limitation des coûts) est de garantir une homogénéité d'approche sur l'ensemble du territoire national, point essentiel de la cohérence du système d'audit proposé, et de couvrir la majorité des aménagements et usages retenus.

III.1.1 - Flux solides

Les aménagements et usages décrits ici concernent soit l'excès de sédiments fins (se traduisant par un colmatage du substrat), soit la réduction, voire suppression de la charge alluviale grossière (se traduisant par une incision de lit mineur), ou même une disparition totale du substrat alluvial.

III.1.1.1. - Les pratiques agricoles favorisant l'érosion des sols vulnérables

Données disponibles

Deux documents de portée nationale sont susceptibles d'être utilisés :

- la carte INRA d'aléas d'érosion des sols, {Montier, 1998 #16754} ;
- la carte des orientations technico-économiques des exploitations agricoles (OTEX), dont les données sont issues du dernier Recensement Général de l'Agriculture (RGA 2000).

Le premier (0) décrit à large échelle le risque d'érosion, sur la base d'une combinaison d'informations : battance et érodabilité des sols, pente des terrains, occupation des sols, hauteur et intensité des précipitations.

Le croisement avec le deuxième document (0) permet de mieux cerner les liens avec l'usage agricole des sols, en particulier pour les cultures sollicitant les couches superficielles du sol (permanentes ou terres labourées).

Descripteurs envisagés

Les descripteurs retenus sont :

- les zones à aléas notés « moyen », « fort » ou « très fort » dans l'étude INRA ;
- les pourcentages d'OTEX dominants.

Ces données sources sont d'accès libre et facilement mobilisables.

❑ **Altérations hydromorphologiques probables**

➤ ➤ **Colmatage des substrats alluviaux grossiers**

Un parcours rapide de ces deux cartes permet d'identifier en première approche les contextes géographiques où le phénomène de colmatage des substrats par excès de fines d'origine agricole présente une forte probabilité (Artois, Bretagne Ouest, Coteaux Aquitains, avant-pays Dauphinois...).

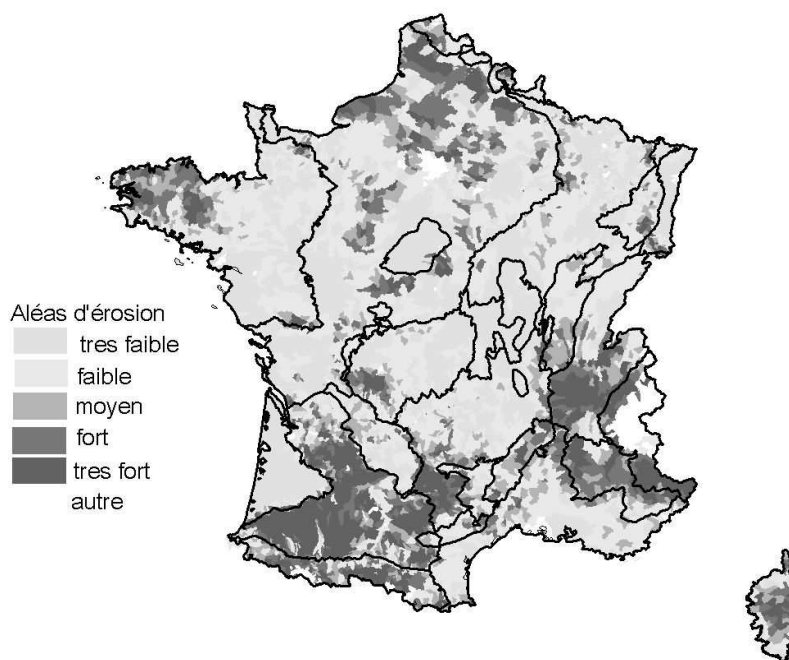


Figure 19 : Carte INRA d'érosion des Sols (Montier et al., 1998)

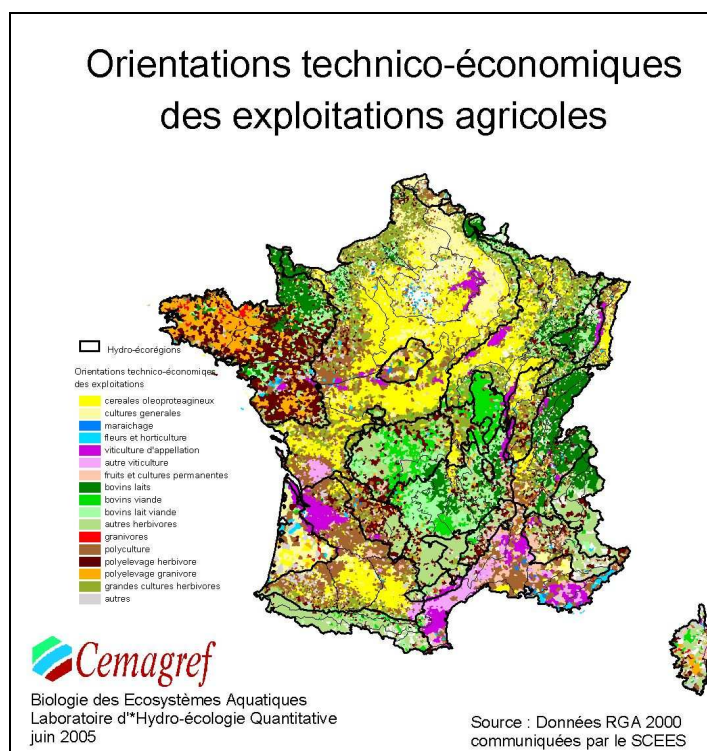


Figure 20 : Carte des Orientation Technico-Economique des EXploitations agricoles, OTEX, (RGA, 2000)

III.1.1.2. - Barrages et blocage du transit sédimentaire

❑ Données disponibles

Les données sources mobilisables sont essentiellement les bases de données d'« ouvrages » existantes (CEMAGREF Lyon 2005, Agences...), à compléter par des données quantitatives (hauteurs, volumes, surfaces, longueurs,...).

La constitution et la gestion d'une base nationale pour les gros ouvrages (hauteur > 5 m) apparaissent indispensables et pourraient être menées de pair avec l'élaboration des bases « plans d'eau », en cours de constitution dans le cadre de la mise en oeuvre de la Directive Cadre sur l'Eau.

❑ Descripteurs envisagés

Les indicateurs proposés sont:

- le cumul de volume stocké (Mm^3) rapporté à la surface de bassin versant analysé ;
- le ratio des surfaces des sous-bassins amont interceptés par la surface totale du bassin versant étudié.

Ces indicateurs permettent d'obtenir une évaluation globale du risque d'altération des processus de transport solide.

Exemple

Un exemple comparant le bassin du Doubs et de la Durance permet de fixer quelques ordres de grandeur.

Tableau 1 : Comparaison des bassins versants Durance et Doubs – Données grands barrages

	Bassin versant	Durance	Doubs
	Surface	14 400 km ²	7 700 km ²
Descripteurs envisagés	Cumul volumes	164 000 m ³ /km ²	20 000 m ³ /km ²
	Ratio de surface interceptée	0.48 %	0.12 %
Eléments d'information complémentaires	Densité d'ouvrages	3.1 ouvrages / 1000km ²	2.4 ouvrages / 1000km ²
	Hauteurs cumulées (p.m.)	896 m	241 m

L'échelle de la zone hydrologique permet d'approcher plus précisément les ordres de grandeur des pressions exercées sur le milieu par les ouvrages.

En première approche, et sous réserve de validation, l'ordre de grandeur du ratio de surface intercepté de 50% serait indicateur de forte pression, et 10%, seuil à partir duquel le risque d'altérations physiques serait à prendre en compte.

❑ Altérations hydromorphologiques probables

- Incision généralisée du lit mineur en aval des ouvrages ;
- Réduction de la quantité de substrat alluvial grossier disponible (habitat majeur des biocénoses aquatiques) ;

- Disparition complète du substrat alluvial.

III.1.1.3. - Les gravières

Données disponibles

Les documents homogènes et disponibles à l'échelle globale, permettant de décrire ce type d'objet, sont essentiellement les couches géographiques d'occupation de sol (Corine Land Cover) ou de description d'objets hydrographiques (thème hydrographie zonale de la BD CARTHAGE® Figure 21).

La constitution de bases complémentaires d'information ou le recours à des documents plus « fins » de description (de type BD Topo IGN®) pourraient éventuellement être envisagés pour obtenir une meilleure quantification de cette pression.

Descripteurs envisagés

Les indicateurs les plus pertinents pourraient être :

- la surface cumulée (ha/km), dans un corridor d'une largeur de 10 fois celle du cours d'eau {Malavoi, 1998 #6432} ;
- ou a minima leur nombre.

Une validation préalable, sur la base de cas connus, de ces descripteurs et de la qualité des couches d'information disponibles est néanmoins nécessaire.

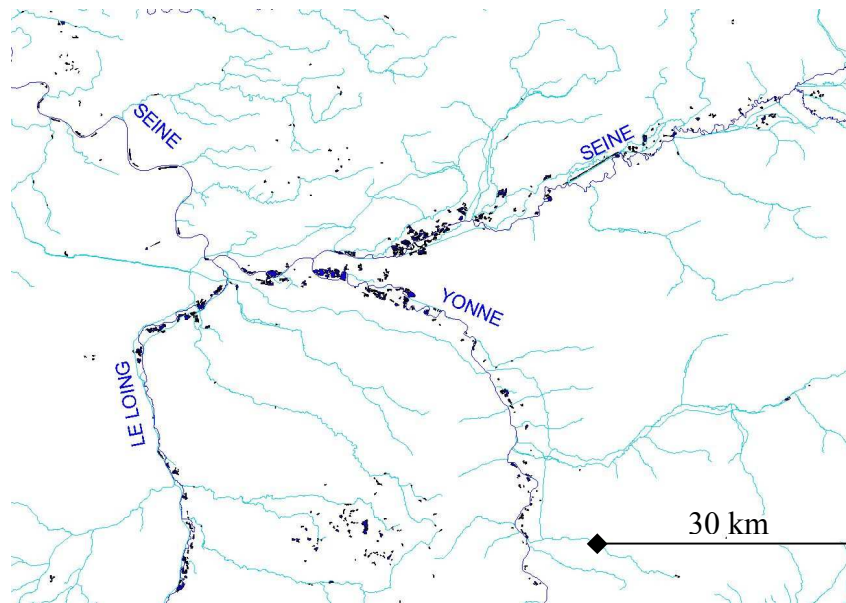


Figure 21 : Gravières en lit majeur extraits de la BD CARTHAGE® « thème hydrographie zonale »

Les cours d'eau, transformés en voies navigables (traités dans le paragraphe III.1.3.4. -) sont également à l'origine de perturbations du transport solide, mais les nécessités techniques de stabilité de gabarit sont à l'origine d'altérations encore plus significatives.

Altérations hydromorphologiques probables

- Incision généralisée du lit mineur en aval des ouvrages ;
- Réduction de la quantité de substrat alluvial grossier disponible (habitat majeur des biocénoses aquatiques) ;

- Disparition complète du substrat alluvial.

III.1.2 - Flux liquides

Les altérations concernées par les modifications des flux liquides ont des liens plus complexes avec les aménagements et usages développés dans ce paragraphe ; elles concernent soit les processus hydromorphologiques (modification des débits de crues fréquentes), soit la structure géomorphologique et hydrodynamique (régime hydrologique, débit dominant, variations de débits fréquentes, étiages).

III.1.2.1. - Imperméabilisation des sols

□ Données disponibles

A large échelle, la source de données homogènes d'occupation des sols est Corine Land Cover.

Pour cette analyse, il est proposé de se limiter à l'interprétation de l'information globale au type « Territoires artificialisés » de la nomenclature de Corine Land Cover.

□ Descripteurs envisagés

Le descripteur proposé est le ratio de surface de « Territoires artificialisés » (classe 1 de Corine Land Cover) par rapport au bassin versant concerné.

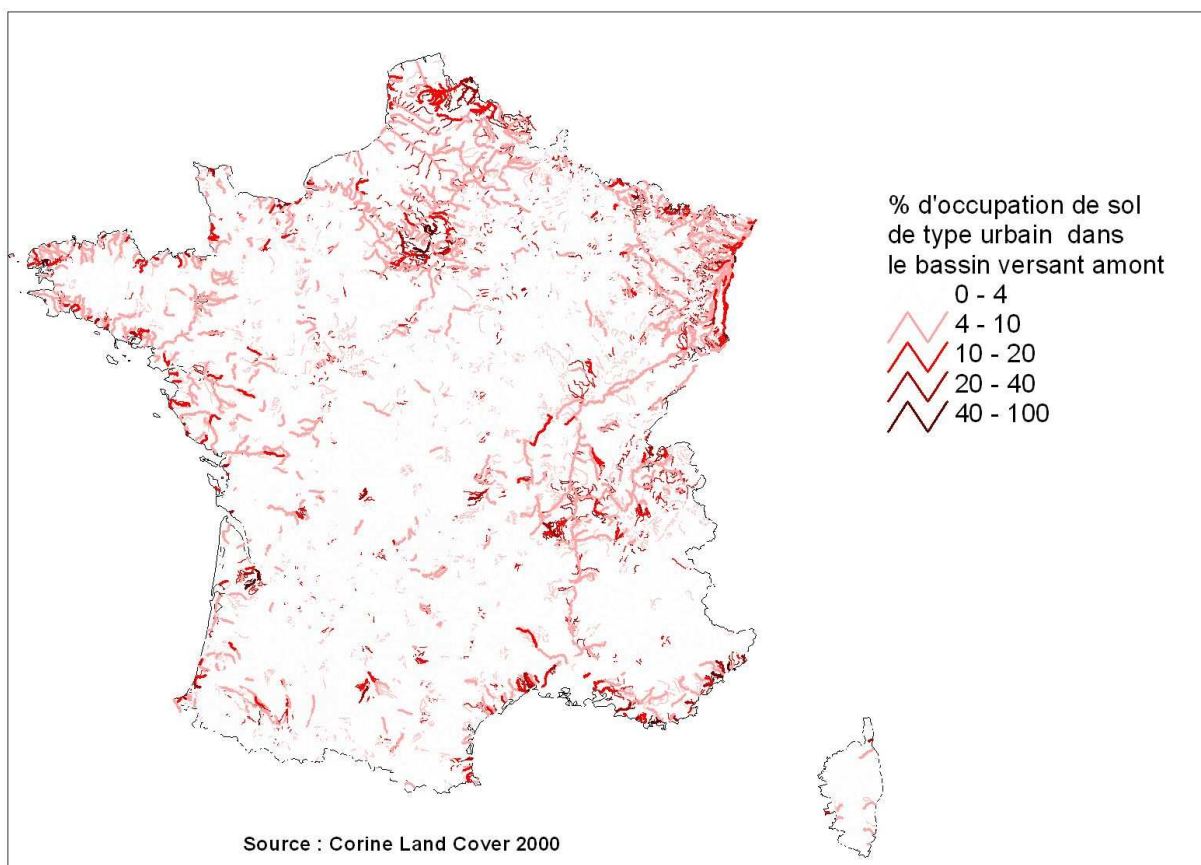


Figure 22 : Application sur le réseau hydrographique de la proportion de surfaces artificialisées dans le bassin versant amont (Corine Land Cover 2000)

❑ **Altérations hydromorphologiques probables**

- Augmentation des débits de crue (effet sensible sur les crues fréquentes)
- Réduction du temps de concentration

NB : Les phénomènes décrits ci-dessus concernent le plus souvent des bassins versants limités en surface, mais fortement imperméabilisés (agglomérations, concentrations d'infrastructures).

Ceci implique la prise en compte de seuils de vigilance bas dans cette analyse dont l'échelle est globale, sachant que le risque sera plus important pour les petits cours d'eau.

III.1.2.2. - Stockages et barrages

❑ **Données disponibles**

Les données exploitables sont les bases de données « barrages » décrites ci-dessus, et les cartes de modules inter-annuels naturels reconstitués (Sauquet 2005).

La comparaison des régimes naturels reconstitués en cours de définition à l'échelle nationale (Sauquet, 2006), par rapport aux hydrogrammes observés, permettrait de valider les ordres de grandeur des perturbations induites.

NB : ces ordres de grandeurs ont une signification à large échelle, et ne concernent en général que les grands axes du réseau hydrographique (les données disponibles de régimes reconstitués ne concernent qu'une partie du réseau hydrographique : l'« axe » des zones hydrographiques de la BDCarthage®).

Aménagements déjà évoqués plus haut (transit des débits solides), les barrages sont pris en compte ici sous l'angle du stockage de l'eau, susceptible de générer une modification du fonctionnement hydrologique.

❑ **Descripteurs envisagés**

Le premier descripteur retenu est le ratio du volume de stockage (capacité utile) de la ou des retenues par rapport au volume annuel écoulé.

Un indicateur de cumul de volume stocké par rapport au volume écoulé naturellement (module naturel reconstitué) dans le bassin versant amont constituerait un complément utile pour l'évaluation de l'activité « stockage » sur les cours d'eau, déjà utilisée dans l'approche des flux solides.

Le report de cette information sur les zones hydrologiques élémentaires de la BDCarthage® permettra de préciser l'organisation spatiale de ce type d'aménagement, tout en le relativisant par rapport à la dimension des cours d'eau concernés.

Exemple

Ce descripteur a déjà été utilisé dans le bassin Adour Garonne (0) dont une étude, réalisée par Agence de l'Eau propose 0.5% comme seuil à partir duquel la pression est significative.

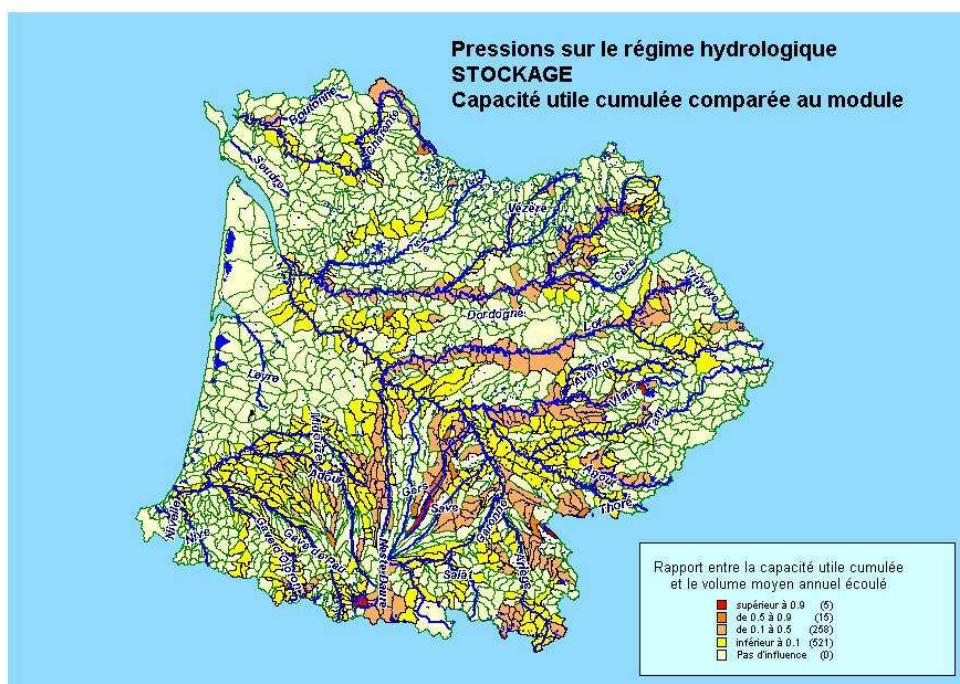


Figure 23 : Descripteur de pression sur le fonctionnement hydrologique des cours d'eau – Ratio capacité utile sur volume annuel écoulé (Agence de l'Eau Adour Garonne, 2003)

❑ Altérations hydromorphologiques probables

- réduction des débits de crues fréquentes à l'aval des ouvrages
- modification du régime hydrologique (déplacement de l'hydrogramme annuel)
- modification du débit moyen (dans le cas de dérivations)
- variations fréquentes de débits (pour certains cas de fonctionnements hydro-électriques)

III.1.2.3. - Prélèvement d'eau aux bas débits : drainage, irrigation

❑ Données disponibles

Deux types de documents sont utilisables à large échelle à partir de données dérivées du Recensement Général Agricole (RGA) : les surfaces drainées et les surfaces irriguées, (les données utilisées ici sont celles du RGA 1988, homogènes et disponibles à l'échelle cantonale, une comparaison partielle avec les données de 2000 est proposée en annexe 2).

❑ Descripteurs envisagés

Une traduction de cette information est une carte de la proportion de surface concernée drainée (et/ou irriguée) par rapport à la surface totale étudiée (0, 0).

NB : Il convient de prendre en compte, pour l'information « irrigation », le fait que la ressource sollicitée peut correspondre à des nappes, non directement connectées aux cours d'eau (Tables Calcaires, Alsace), ou à une ressource abondante constituée par de grands cours d'eau à débits élevés en été (vallée du Rhône, Durance).

En première approche globale, le Grand Sud-Ouest semble le plus concerné à l'échelle nationale.

□ **Altérations hydromorphologiques probables**

➤ **Réduction des débits, notamment à l'étiage :**

- modification pénalisante des conditions hydrodynamiques, donc des habitats aquatiques (réduction des profondeurs, réduction de la quantité d'habitat disponible et donc de la capacité d'accueil) ;
- aggravation de la thermie et augmentation de la concentration en polluants divers.

drainage 1988

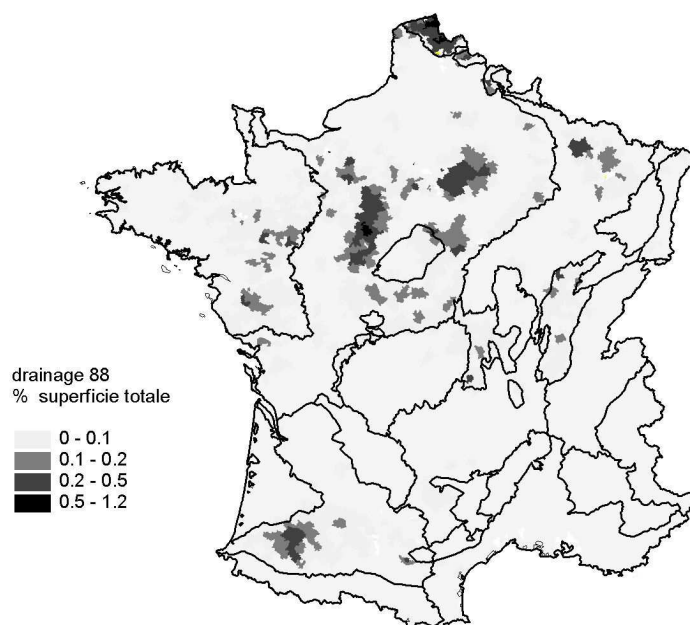


Figure 24 : Carte de la proportion de surface drainée (RGA,1988)

superficie irriguée 88

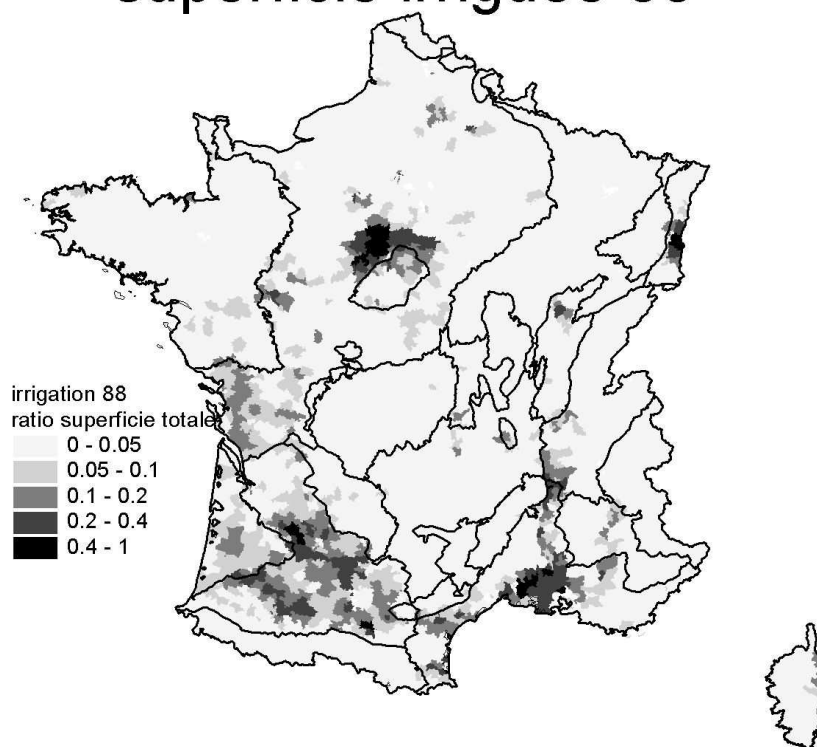


Figure 25 : Carte de la proportion de surface irriguée (RGA, 1988)

III.1.3 - Morphologie

La description des aménagements ayant une incidence sur la morphologie est proposée aux deux niveaux d'échelle.

L'objectif est de pouvoir disposer d'éléments d'évaluation couvrant l'ensemble des aménagements identifiés dans un délai rapide, pour permettre une approche globale des probabilités d'altérations.

Cette approche très macroscopique sera complétée progressivement par une approche plus précise à l'échelle des tronçons, susceptible de répondre à des besoins plus exigeants de quantifications et d'analyses pour les gestionnaires.

Les aménagements concernés ont des liens complexes avec les altérations physiques qui, elles-mêmes, interagissent entre elles.

III.1.3.1. - Suppression de ripisylve

A cette échelle de travail, on peut approcher ce type de situation en terme de risque induit par certains types d'occupations de sols, dans l'espace du « lit majeur » du cours d'eau.

□ Données disponibles

La source de données homogènes d'occupation de sols est Corine Land Cover 2000 {IFEN, 2005 #18599}.

□ Descripteurs envisagés

Dans un espace limité à un corridor de part et d'autre de cours d'eau (10 fois la largeur estimée, correspondant au lit majeur naturel théorique), il est proposé d'évaluer la

surface relative des occupations de sols de type « artificiels » (urbain dense et discontinu, et agriculture à fort impact). L'indicateur obtenu permet d'évaluer un « risque » sur l'état de la préservation de la ripisylve.

III.1.3.2. - Stabilisation : voies de communication dans le corridor

Données disponibles

A l'échelle de travail considérée, les données mobilisables sont celles diffusées par l'IGN, en particulier, le produit ROUTE500[®] dérivé de la BD CARTO[®].

Descripteurs envisagés

Le descripteur de ce type de pression peut se résumer à une densité linéaire de voies de communication (en km/km) dans un corridor de largeur proportionnelle à la dimension du cours d'eau.

III.1.3.3. - Rectification : occupation des sols dans le corridor

A cette échelle de travail, l'analyse se traduit par une évaluation du risque de la présence de rectification, en décrivant le niveau supérieur : occupation du sol générant ce type d'aménagement (Figure 5).

Données disponibles

Le croisement de la couche d'information géographique Corine Land Cover 2000 avec le réseau hydrographique permet d'identifier l'ensemble des tronçons susceptibles d'être affectés (Figure 26, Figure 27).

Descripteurs envisagés

Les surfaces relatives, dans chaque zone hydro de la BDCarthage[®], d'occupation des sols des types agrégés de Corine Land Cover 2000, en retenant les zones urbanisées et l'agriculture à fort impact dans le corridor défini ci-dessus, permettent d'identifier à large échelle les zones où le réseau hydrographique est susceptible d'être affecté par ces pressions.

Pour les petits cours d'eau, l'intersection de l'occupation de sols avec le réseau hydrographique est envisagée pour tenir compte de la précision limitée de Corine Land Cover à l'échelle de trop petits corridors.

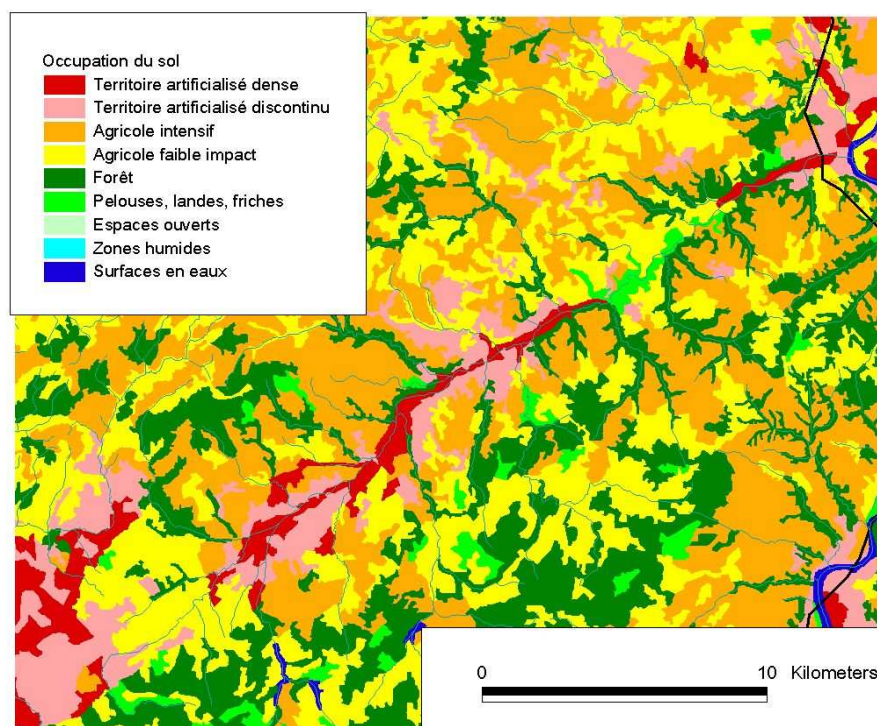


Figure 26 : Le Gier (69) : une pression d'occupation du sol de type urbain, Corine Land Cover, 2000

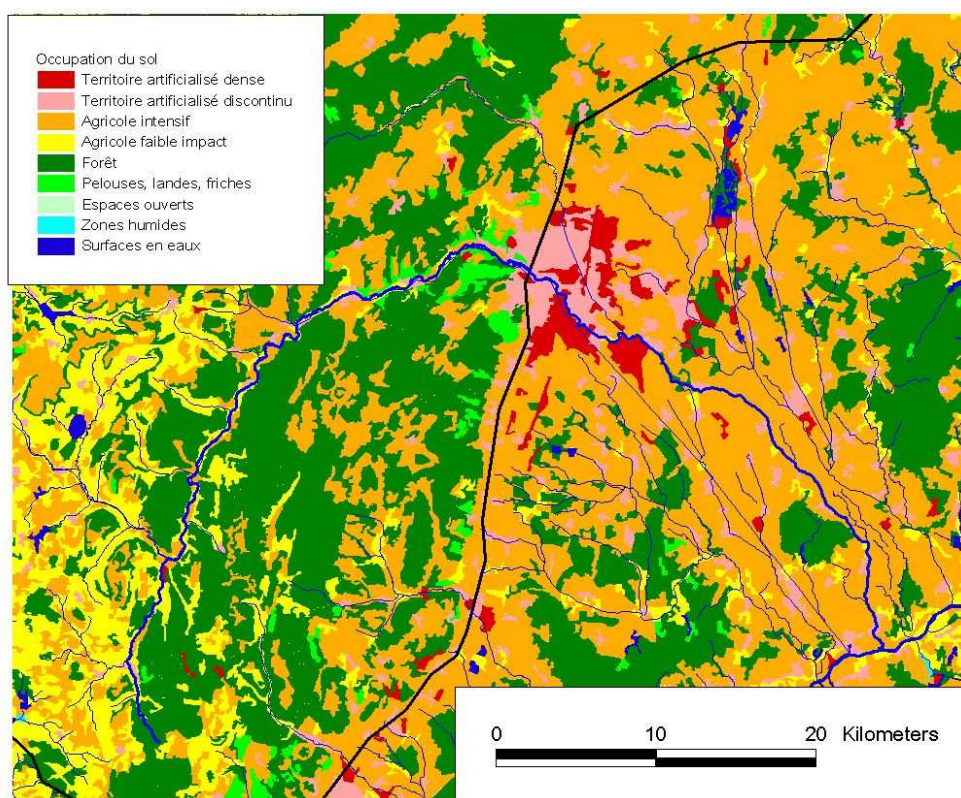


Figure 27 : L'Ouche : pression d'occupation du sol de type agricole à l'aval, Corine Land Cover, 2000

III.1.3.4. - Recalibrage : occupation des sols dans le corridor et voies navigables

Bien que le lien soit moins direct pour la rectification, les occupations des sols retenues constituent également un facteur de risque de la présence de ce type d'usages. Données et descripteurs seront les mêmes que ceux concernant la rectification.

Le maintien de chenal d'écoulement pour la navigation constitue également une origine évidente de ce type d'usage.

❑ Données disponibles

Cette information est mobilisable de manière générique à partir de la BD CARTHAGE®.

❑ Descripteurs envisagés

Le descripteur de pression peut, à ce stade, se limiter au caractère navigable des voies d'eau existantes dans le lit majeur (Figure 28).

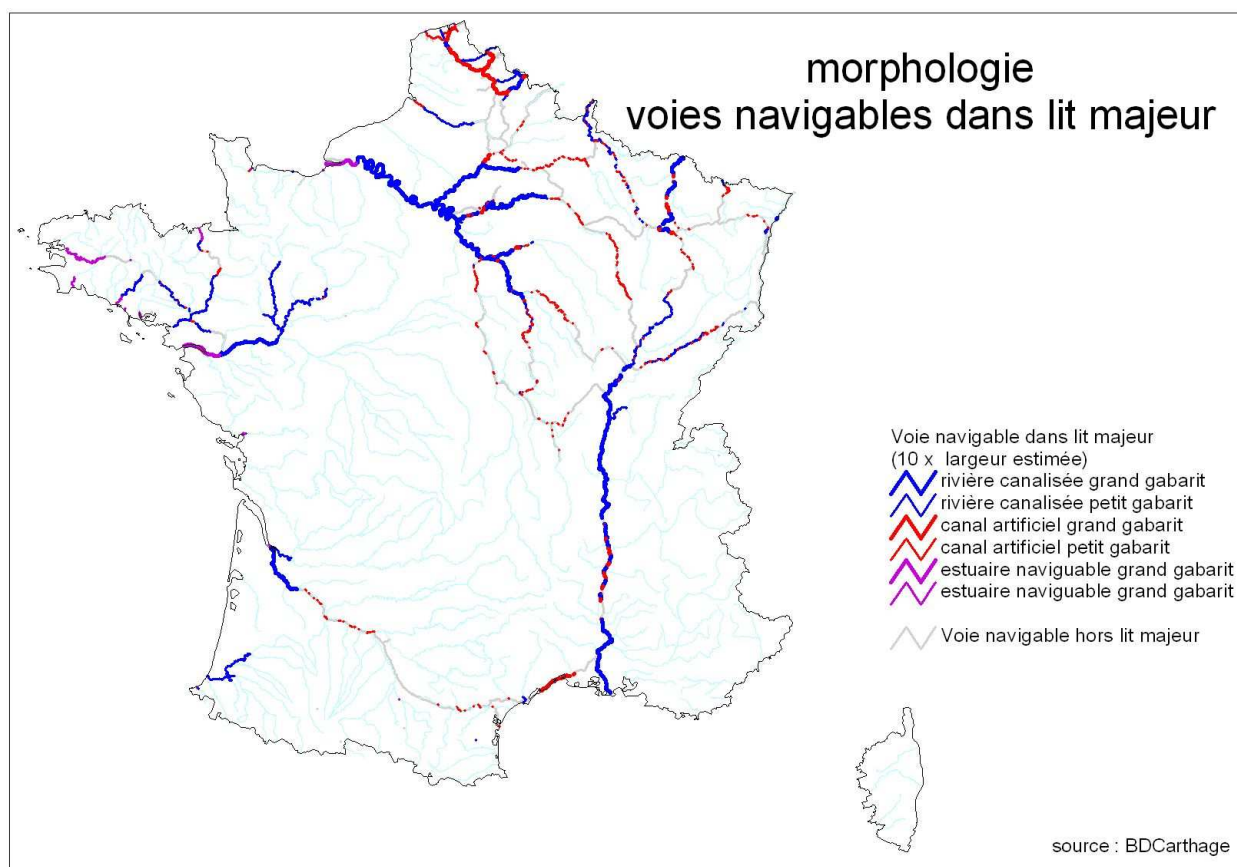


Figure 28 : Voies navigables présentes dans le lit majeur (10 x largeur estimée pour les CE de rang de Strahler > 3)

III.1.3.5. - Ralentissement des écoulements : les seuils

❑ Données disponibles

Actuellement, hormis les Schémas Départementaux de Vocation Piscicole, renseignés dans l'objectif d'identifier des impacts sur les communautés piscicoles, seules des études réalisées dans certains bassins peuvent permettre d'appréhender cette pression.

Ces données sont de nature, de densité renseignée et de qualité variables selon les études entreprises dans les bassins.

□ Descripteurs envisagés

A l'échelle de travail considérée, la densité d'ouvrages (Nb/km) est un indicateur déjà efficace pour sélectionner les secteurs où une analyse plus fine des altérations physiques induites par ce type d'aménagement est nécessaire.

Seule une exploitation des bases de données estimées fiables semble réaliste pour rendre compte dans un premier temps de cette pression physique sur le fonctionnement du cours d'eau.

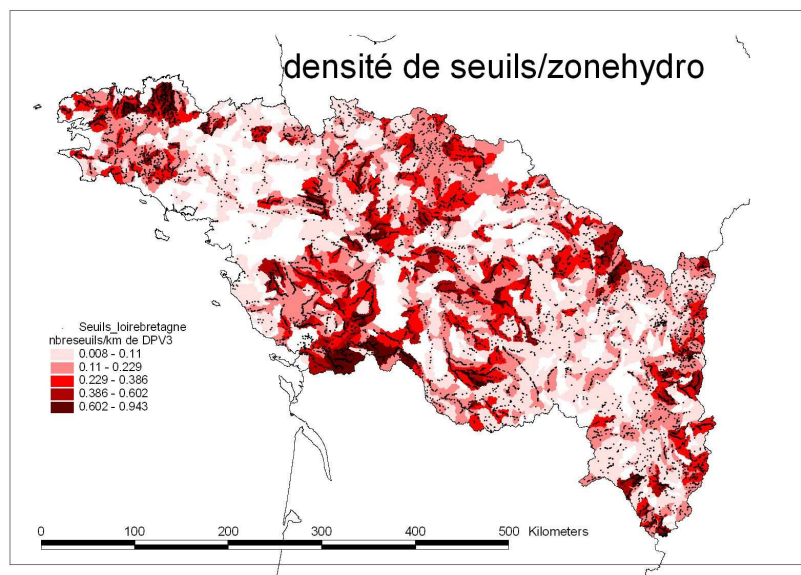


Figure 29 : Densité de seuils par zone hydro de BDCarthage® sur le bassin Loire Bretagne (AREA 2006)

III.1.4 - Conclusions

L'évaluation des aménagements et usages, réalisée à large échelle, en respectant la logique de causalité avec les altérations physiques qu'elles sont susceptibles de générer, permet de pré-identifier des sous-ensembles de cours d'eau susceptibles d'être affectés.

Cette méthode, si elle permet d'identifier les secteurs où l'investigation et l'analyse des altérations plus poussées sont pertinentes, reste dépendante des données mobilisables, parfois de qualité incertaine et hétérogène, parfois à construire (ex. bases de données « seuils »).

Une phase complémentaire d'investigation, sur la base de tests sur situations connues, permettra de préciser les ordres de grandeur des indicateurs en deçà desquels les altérations physiques restent peu probables et au delà desquels les altérations existent de manière significative et certaine.

Ce premier niveau d'analyse à large échelle aide à hiérarchiser et à situer les principaux risques de dysfonctionnement physique des cours d'eau. Toutefois, il apparaît indispensable de qualifier plus précisément les risques d'altération, à l'échelle même du niveau de leur expression : le tronçon géomorphologique.

III.2 - Bassin versant et tronçon géomorphologique

Le fonctionnement physique des cours d'eau est contrôlé par les processus d'érosion/transfert/dépôt de sédiments. Ces processus engendrent des formes fluviales en plan, en travers et en long que l'on est capable aujourd'hui de corrélérer à certains fonctionnements écologiques. La passerelle la plus utilisée pour établir ces corrélations est basée sur le **concept d'« habitat » des communautés biologiques**.

III.2.1 - La sectorisation : pourquoi ?

La sectorisation géomorphologique d'un cours d'eau a pour objet de distinguer, au sein d'un cours d'eau entier, des entités spatiales emboîtées présentant un fonctionnement naturel homogène.

L'évolution amont-aval de la physionomie et du fonctionnement physique d'un cours d'eau peut être brutale (lors d'un passage brusque de la montagne à la plaine, ou de gorges à un vaste lit majeur) ou douce (augmentation progressive de la largeur de la vallée, réduction progressive de la pente).

Il est donc nécessaire, tant dans un objectif d'étude que de gestion, de tenir compte de cette évolution.

A une échelle plus opérationnelle, ces tronçons pourront aussi être utilisés comme entités de gestion (programmation de travaux, évaluations financières ...).

III.2.2 - Principe des entités emboîtées

* secteur (quelques milliers de fois la largeur du lit (L))

* tronçon (plusieurs centaines de fois L)

* sous-tronçon (quelques centaines de fois L)

* faciès (quelques dizaines de fois L)

Figure 30 : Entités emboîtées {Malavoi, 2000 #18600}

Le terme "tronçon" utilisé dans la démarche et les développements SYRAH-CE correspond au terme "reach" de la norme CEN_TC230-WG2-TG5-N32 de mai 2002 « *A GUIDANCE STANDARD FOR ASSESSING THE HYDROMORPHOLOGICAL FEATURES OF RIVERS* » (CEN 2002).

Les limites de cette entité sont déterminées par :

- la géologie,
- la forme de la vallée,
- la pente,
- le débit,
- l'occupation de sol,
- le transport de sédiment.

Nous proposons que les premiers niveaux de sectorisation soient déterminés de manière précise et définitive sur l'ensemble des cours d'eau français afin d'obtenir une base

homogène de découpage qui sera utilisée dans le cadre de l'audit mais qui servira aussi de canevas spatial « de base » pour diverses études ultérieures.

III.2.3 - La sectorisation : comment ?

III.2.3.1. - Dissocier variables de contrôle et variables de réponse

Pour discriminer ces 3 premiers niveaux de sectorisation (secteurs, unités, tronçons) il nous semble important de **n'utiliser que des variables de contrôle de la dynamique fluviale**. En effet, si ces variables (et leurs modalités) sont bien choisies, elles doivent permettre d'identifier des **entités géomorphologiquement homogènes, donc au sein desquelles les valeurs des variables de réponses devraient être théoriquement homogènes**. Ce postulat s'applique essentiellement aux tronçons.

III.2.3.2. - Discrimination des secteurs et des unités

Les secteurs géomorphologiques peuvent être identifiés sur la base de leur appartenance à une hydroécorégion de niveau 1 (HER1) et de niveau 2 (HER2). Ces hydro-écorégions (Wasson et al., 2002) sont en effet calées sur des *variables de contrôle* majeures que sont principalement la *géologie* puis le *relief* et enfin le *climat*.

III.2.3.3. - Discrimination des tronçons

La largeur du fond de vallée alluvial est une des variables de contrôle essentielles des processus géodynamiques. On peut l'assimiler à l'enveloppe des couches géologiques d'alluvions récentes, notées Fz et Fy sur les cartes géologiques au 1 :50 000 éditées par le BRGM. La sectorisation du réseau hydrographique en **tronçons homogènes** s'appuie sur cette variable à laquelle sont ajoutées des paramètres discriminants complémentaires : les confluences avec des cours d'eau de rang n-2 représentatives de l'hydrologie et des changements morphologiques associés. Les phénomènes d'inondation, voire les pressions socio-économiques sont assez bien corrélées à ce découpage.

III.2.3.4. - Postulat d'interprétation

Notre postulat d'interprétation, expliquant l'intérêt majeur de la notion de tronçon géomorphologique homogène, est alors le suivant :

un tronçon homogène, tel qu'identifié par les critères exposés ci-dessus, doit en théorie, selon les lois de la géomorphologie fluviale, présenter des **caractéristiques géomorphologiques homogènes** : géométrie (largeur, profondeur), pente, sinuosité, style fluvial. Si un tronçon homogène présente des portions de son linéaire manifestement différentes les unes des autres, on peut alors suspecter une ou plusieurs altérations hydromorphologiques.

En effet, le tronçon constitue le niveau élémentaire de fonctionnement du processus géomorphologique naturel, pouvant se traduire par des caractéristiques morphologiques.

C'est donc sur ce niveau que se focalisera l'analyse des altérations des processus ou de la structure physique, tout en ménageant la possibilité de renforcer l'étude à un niveau inférieur pour détecter des altérations affectant une partie de celui-ci.

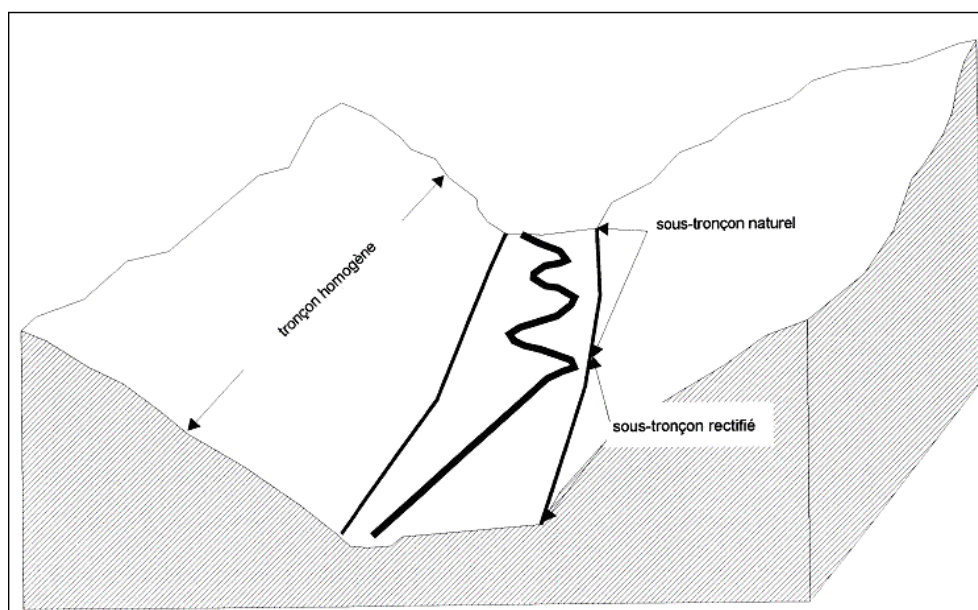


Figure 31 : Identification de sous-tronçons au sein de tronçons géomorphologiques homogènes

Le principe d'analyse est alors le suivant : si un tronçon géomorphologiquement homogène présente des sous-tronçons à style fluvial, pente ou largeur du lit mineur notablement différents, c'est que :

- soit le tronçon n'est pas totalement homogène sur le plan des variables de contrôle et des modalités choisies (auquel cas il faudra revoir le découpage);
- soit des interventions humaines ont modifié directement ou indirectement les valeurs des variables de réponse. Il s'agit alors d'identifier les sous-tronçons « naturels » et évaluer les altérations dues aux aménagements sur les sous-tronçons « altérés ».

III.3 - Analyse à l'échelle du tronçon

Les informations disponibles, homogènes et utilisables sous forme de support cartographique à cette échelle concernent essentiellement des aménagements et usages liés aux aspects morphologiques du cours d'eau, constituant un sous-ensemble des aménagements déjà décrits à large échelle, mais avec un niveau de précision plus fin.

La base d'information principale est constituée de données topographiques de niveau national et présentant une densité d'informations et un degré de précision compatible avec l'exercice envisagé : la BDTOPPO IGN®.

La recherche d'indicateurs simples et construits à partir de bases de données homogènes de niveau national a été privilégiée.

Le recueil des informations s'effectue à une échelle inférieure à celle du tronçon géomorphologique (on parlera d'USRA (Unités Spatiales de Recueil et d'Analyse)) afin de garantir une bonne précision et une certaine homogénéité de taille à ce niveau de restitution.

III.3.1 - Flux solides

III.3.1.1. - Le déficit sédimentaire : les gravières

La **quantification des gravières** dans le lit majeur, à l'aide de bases de données géographiques existantes, constitue un descripteur assez fiable du risque d'altération de processus lié au déficit de transport solide en aval.

De plus, les **sur-largeurs de cours d'eau**, sous réserve de confirmation technique, sont susceptibles de constituer des indicateurs supplémentaires sur l'existence passée d'extraction en lit mineur dont l'influence sur le transit des débits solides est encore significative.

❑ Source des données

Les gravières et sur-largeurs de cours d'eau sont quantifiables à partir de la couche hydro de la BDTOPO® IGN, dont les informations correspondant aux surfaces en eau semblent fiables pour une évaluation efficace du risque d'altération.

❑ Indicateurs

Le ratio de surface cumulée des plans d'eau (surface en eau) par rapport à la surface théorique du cours d'eau (construite sur la base d'une largeur moyenne de lit reconstituée en fonction de la taille du cours d'eau) est un descripteur possible.

La mesure de la granulométrie du substrat nécessitera des campagnes de mesures sur le terrain qu'il conviendra de limiter aux cas ciblés nécessitant une meilleure quantification.

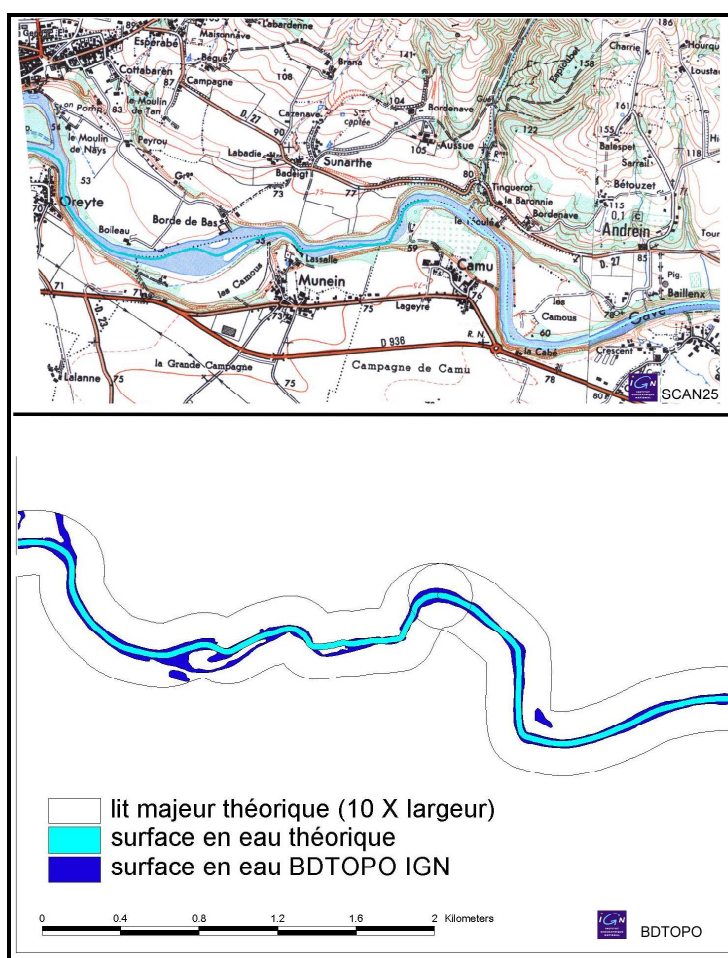


Figure 32 : Evaluation des surfaces en eau dans le lit majeur (plan d'eau et sur largeurs)

III.3.2 - Flux liquides

Parmi les différents aménagements et usages à l'origine d'altérations concernant les flux liquides, la description, à l'échelle des tronçons géomorphologiques, des dérivations peut apporter un complément utile à l'analyse large échelle.

III.3.2.1. - Altération des débits : dérivation

□ Description

Essentiellement liée aux ouvrages de prélèvements (énergie, ou autres usages), ce type d'altération a un effet direct sur l'habitat des communautés.

Il a fait l'objet de développement de modèles du type micro-habitat, permettant une évaluation relativement directe de l'impact sur la biologie (poissons et invertébrés), par l'intermédiaire de la variation des hauteurs et vitesses les plus fréquentes dans le tronçon de cours d'eau considéré.

□ Indicateurs

L'altération, très localisée, sera évaluée dans un premier temps par une approche cumulative :

- proportion relative de tronçons court-circuités ou soumis à un prélèvement ;
- proportion (par équipement) des volumes dérivés.

associée à l'évaluation du ratio volume dérivé par rapport au module inter-annuel reconstitué.

□ Sources de données

Les données de bases relatives aux équipements sont mobilisables au niveau des Agences de l'Eau, et peuvent être précisées grâce à la précision graphique de la BDTOPO® IGN.

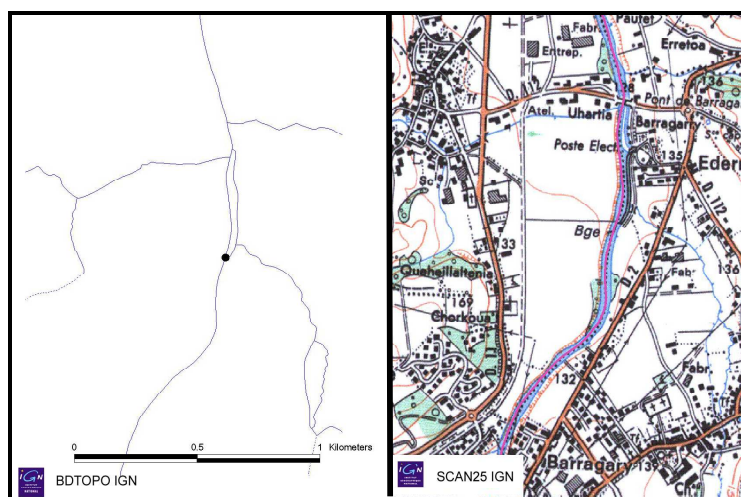


Figure 33 : Dérivation de cours d'eau

III.3.3 - Morphologie

Les évaluations des aménagements et usages associés aux altérations physiques de morphologie sont effectuées à l'échelle spatiale du tronçon géomorphologique dépassant celle du « site » (Figure 1).

III.3.3.1. - Les digues et talus en lit majeur

Ces aménagements induisent le blocage de la dynamique latérale, la déconnexion entre lit mineur et lit majeur et provoquent l'augmentation de débit « de plein bord ». Ils ont donc un effet significatif sur les processus morphologiques du cours d'eau auquel s'ajoute l'impact direct sur le fonctionnement biologique global du cours d'eau.

Ces aménagements n'ont pas été pris en compte dans l'analyse à large échelle, faute de données géographiques globales disponibles.

□ Indicateurs

Le descripteur retenu sera pour cette altération la longueur cumulée des digues présentes dans le lit majeur.

□ Sources de données

La couche « orographie » de la BDTOPPO® constitue la base d'information géographique la plus exhaustive disponible à ce jour, malgré des limites qu'il conviendra d'analyser.

Un complément/validation de terrain sera probablement, dans certains cas, à envisager.

Mais les altérations associées sont fortement dépendantes de l'occupation des sols dans le lit majeur, ce qui permettrait de s'appuyer sur les autres indicateurs obtenus pour organiser une investigation plus poussée.

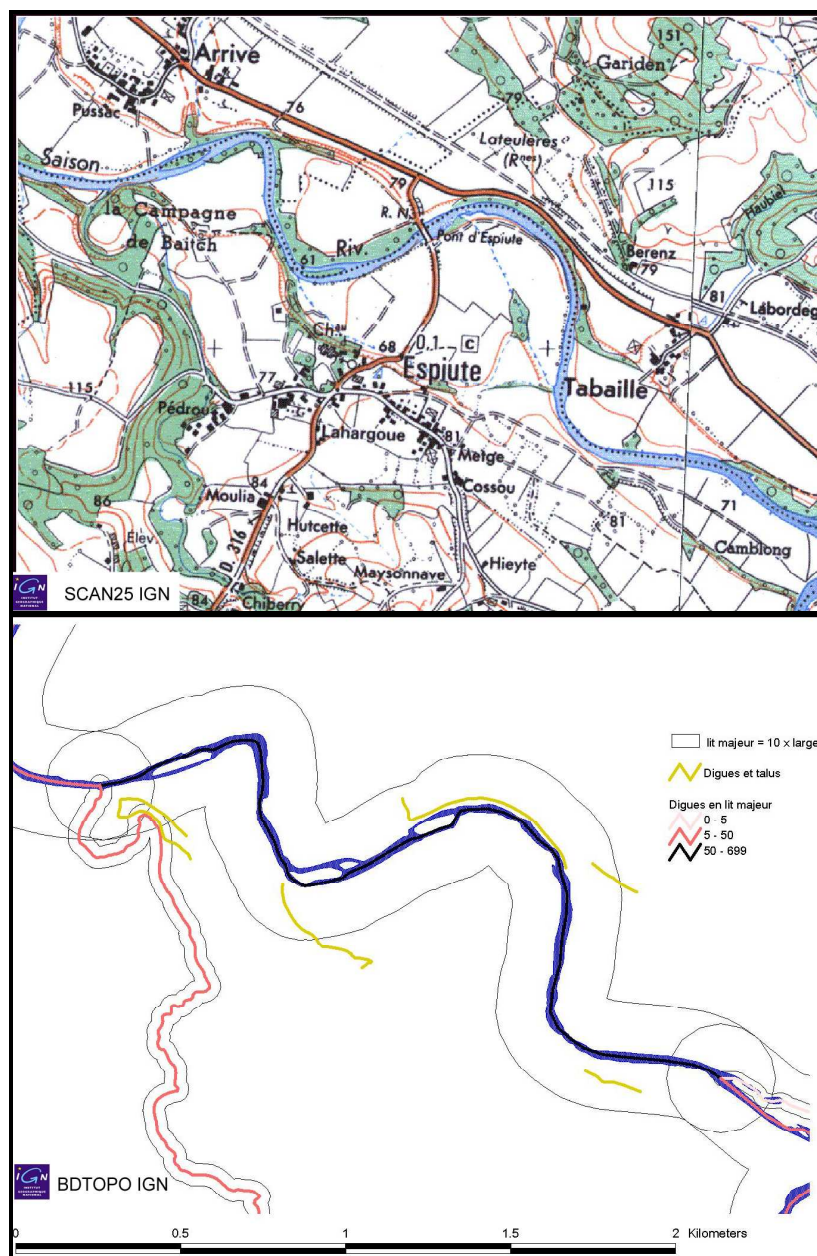


Figure 34 : Digue et levées en lit majeur

III.3.3.2. - Suppression – altération du corridor végétal

Risque d'altération décrit à large échelle par l'occupation des sols du lit majeur, la cartographie en terme de présence/absence apparaît envisageable à l'échelle du tronçon.

□ Indicateurs

Le descripteur élémentaire peut être la proportion de surface couverte par rapport à la surface de corridor ; la largeur du corridor est à définir plus précisément, selon que le choix se focalise sur l'existence ou non d'un simple corridor (alignement d'arbres, ou de formations végétales plus étoffées).

□ Sources de données

La couche « végétation » de la BDTPO® de l'IGN donne une information de qualité sur la présence/absence de la ripisylve et du corridor boisé.

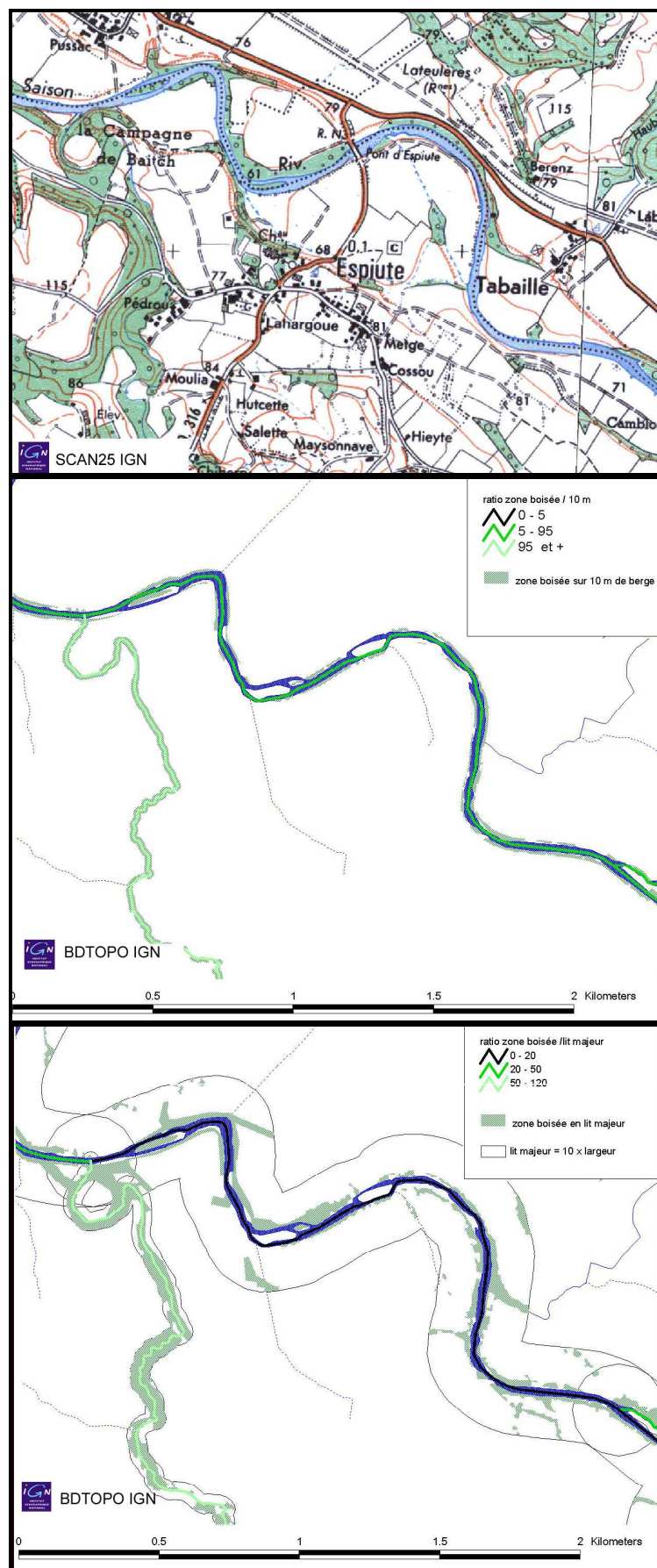


Figure 35 : Ripisylve et zone arborée en lit majeur

En revanche, une altération de sa composition spécifique (plantations) demandera une investigation plus poussée (données de l'Inventaire Forestier National, analyse de photo aérienne, investigation de terrain).

III.3.3.3. - Stabilisation : voies de communications dans le lit majeur

L'analyse à large échelle sur la base d'informations géographiques globales, le risque de stabilisation, altération hydromorphologique fréquente et susceptible de générer d'autres altérations, peut être mieux précisé, à deux niveaux :

- celui directement lié à la présence d'ouvrages ou d'équipements lourds de protection de berge, conséquence de la proximité des enjeux, par rapport au lit mineur ;
- celui lié à la présence d'enjeux dans le lit majeur, à l'origine de protections contre la divagation possible du lit mineur.

□ Indicateurs

La quantification des ponts, barrages, infrastructures en bordure immédiate du lit (routes, voie ferrée, bâtiment), et dans un couloir élargi assimilé au lit majeur (10 largeurs au minimum) permet de rendre compte de l'importance de cette altération à l'échelle d'un tronçon.

Dans certains cas particuliers, une analyse sur des cartes historiques permet parfois d'affiner la quantification de cette altération et d'identifier plus précisément les phénomènes à l'origine du processus.

□ Sources de données

La couche « voies de communication » de la BDTOPO® de l'IGN couplée à la couche « hydrographique », permet de réaliser une analyse assez fine de cette pression. La densité de voies de communication rend compte également de la présence de zones bâties à enjeux forts, qui sont desservies dans la plupart des cas.

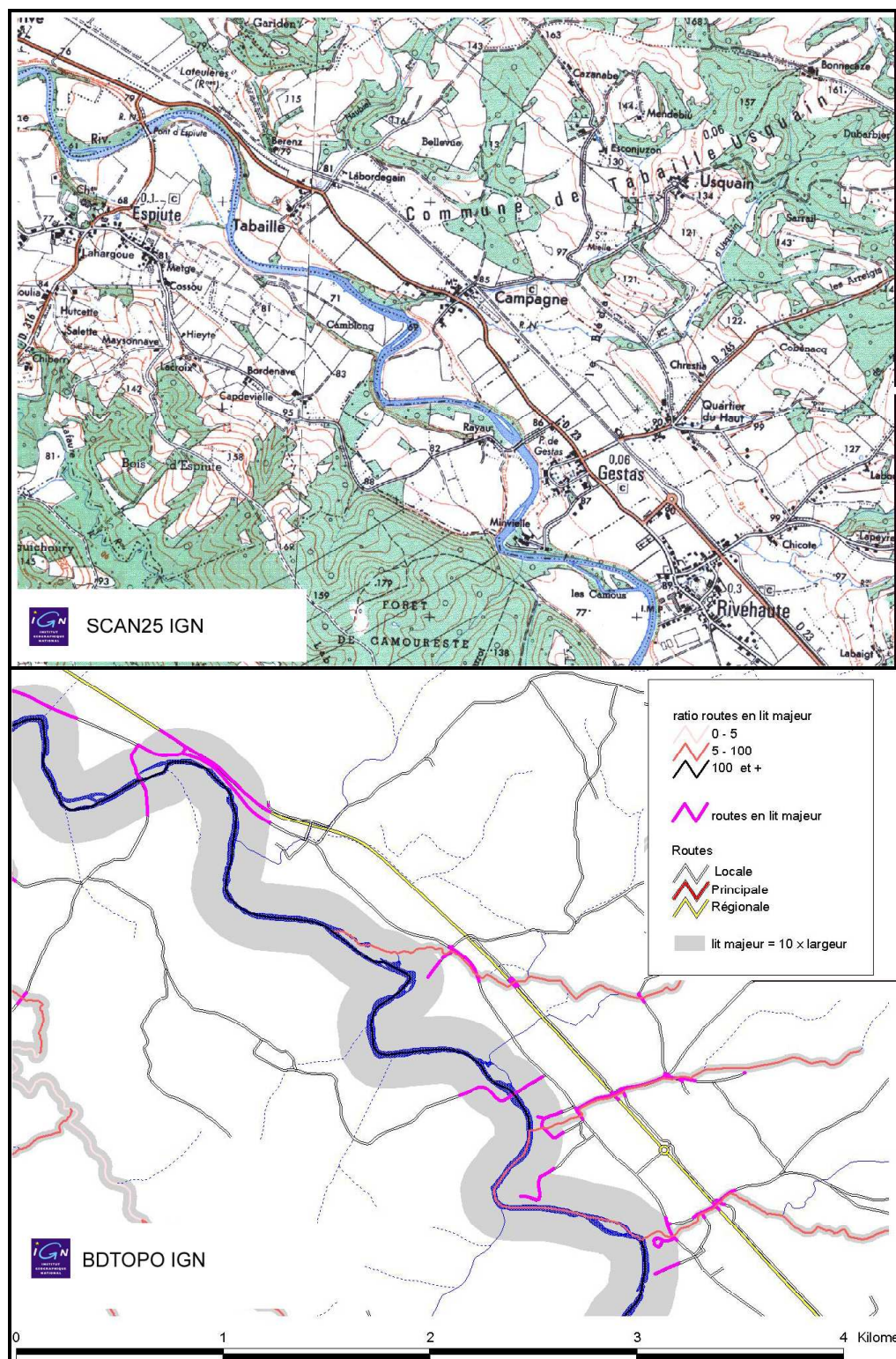


Figure 36 : Voies de communications dans le lit majeur

Cette approche ne permet toutefois pas de recenser de manière exhaustive les cas de renforcements artificiels de berges (enrochements, béton, palplanches ou autres), pénalisant pour le fonctionnement dynamique des cours d'eau.

Il semble nécessaire d'évaluer, en préalable, la proportion de cas potentiels où les évaluations à partir d'outils d'informations géographiques sont insuffisantes avant de lancer des enquêtes exhaustives sur le terrain.

III.3.3.4. - Rectification du tracé en plan

Si l'analyse à large échelle ne propose qu'une évaluation de risque, il est possible à l'échelle du tronçon de quantifier la rectitude du tracé des cours d'eau.

□ Indicateurs

Le ratio longueur totale du cours d'eau par rapport à la distance à vol d'oiseau à l'échelle du tronçon géomorphologique constitue un indicateur mobilisable à partir de couches d'informations géographiques de l'IGN (BDTopo®, couche hydrographique).

Cette mesure peut être affinée en réalisant ce calcul sur des segments de cours d'eau assez courts (50 x largeur plein bord) représentant deux longueurs d'onde pour un cours d'eau naturel.

L'analyse devra prendre en compte la possibilité naturelle de divagation du cours d'eau (fond de vallée d'une largeur d'environ 5 fois celle du cours d'eau).

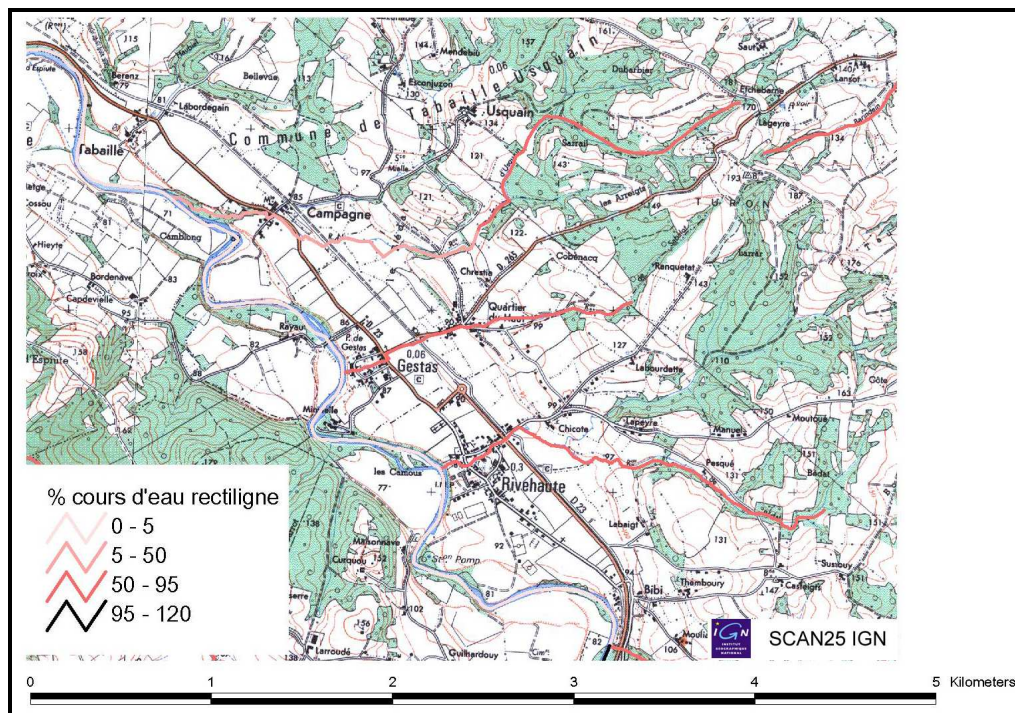


Figure 37 : Sinuosité des cours d'eau

III.3.3.5. - Les seuils transversaux

L'information prise en compte au niveau de l'analyse à large échelle pourrait être complétée, si les basses d'informations le permettent, par des éléments permettant d'évaluer plus précisément les risques d'altération.

□ Indicateurs

Les descripteurs permettant de quantifier le niveau d'altération sont :

- les hauteurs de seuils cumulées ;
- le ratio pente de la ligne d'eau résultante par rapport à la pente naturelle du cours d'eau.

□ Sources de données

Comme cela a été mentionné ci dessus, la construction d'une base de données géoréférencées de ces ouvrages, en caractérisant a minima les hauteurs, est indispensable.

La base d'information existante à l'IGN constituée par les profils des cours d'eau recensés du début du vingtième siècle aux années cinquante constitue une base informative très précise permettant de compléter plus finement l'analyse de ces aménagements et des risques d'altérations physiques associés.

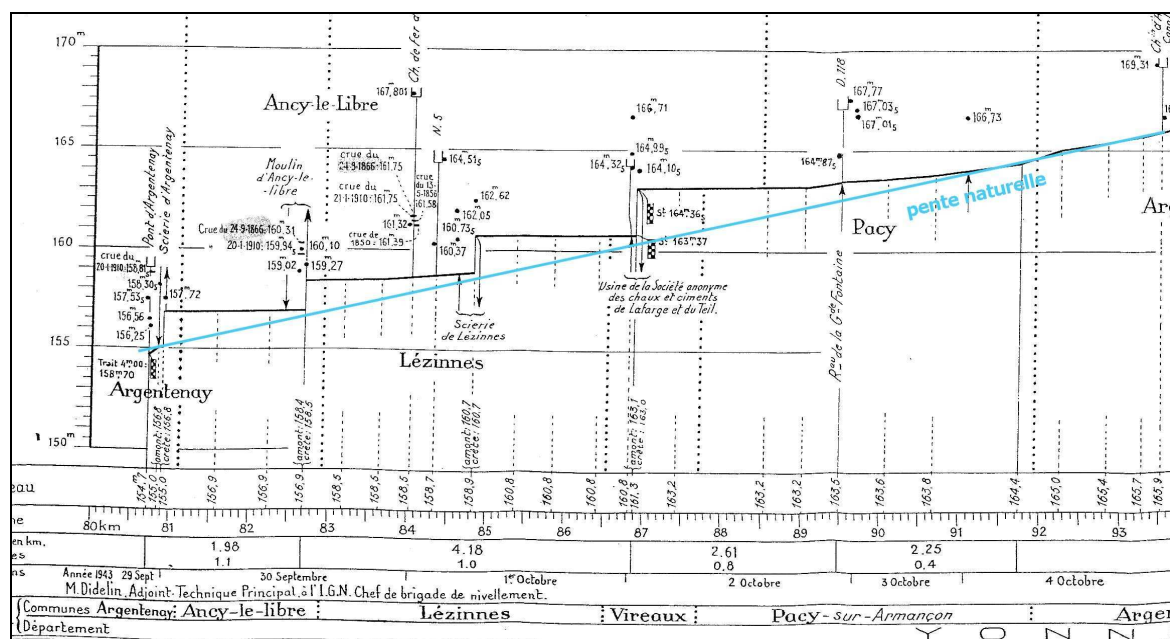


Figure 38 : Exemple de profil en long altéré par les seuils (IGN, 1943)

III.4 - Les outils d'évaluation : synthèse et perspectives

L'ensemble des analyses proposées dans le cadre de l'audit peuvent être résumées par le Tableau 2 ci-dessous, dans lesquels sont rappelés sommairement les variables et indicateurs proposés.

Les résultats obtenus pourront se traduire concrètement sous forme de bases de données et des représentations cartographiques, associant des indicateurs descriptifs des aménagements et usages (ou de leur risque de présence) à des axes de zones hydrographiques (ou des cantons), et à des tronçons géomorphologiques permettant d'affiner l'analyse de risques.

L'évaluation des risques d'altération, basée sur le schéma de relations (Figure 5) sera alors envisageable.

Tableau 2 : Liste des variables décrivant les aménagements et usages

	VARIABLES - AMENAGEMENTS & USAGES	LARGE ÉCHELLE		TRONCONS	
		INDICATEURS	Origine des données	INDICATEURS	Origine des données
FLUX SOLIDES	Culture intensive	Note de surface pondérée (Type de culture*Risque d'Erosion)	Base RGA & Carte INRA		
	Barrages	Volume stocké / Surface bassin versant	Base CEMAGREF		
		Superficie interceptée / Surface bassin versant	Base CEMAGREF		
	Extraction de granulats	Superficie plan d'eau / Surface lit majeur	BdCarthage®	Surface totale de plans d'eau	BdTopo®
FLUX LIQUIDE	Imperméabilisation	Surface urbanisée / Surface bassin versant	Corine Land Cover		
	Stockage	Volume relatif stocké / Volume annuel écoulé	Base CEMAGREF		
	Prélèvement	Surface drainée / Surface totale	Base RGA		
		Surface irriguée / Surface totale	Base RGA		
	Dérivation			Longueur totale de biefs	BdTopo®
MORPHOLOGIE RESULTANTE	Digues et talus en lit majeur			Longueur digues	BdTopo®
	Suppression de Ripisylve	Surface urbanisée et agricole / Surface Lit majeur	Corine Land Cover	Surface Ripisylve Corridor	BdTopo®
	Stabilisation	Longueur voies communication / Longueur cours d'eau	Base Route500®	Longueur voies communication	BdTopo®
	Rectification	Surface urbanisée et agricole / Surface Lit majeur	Corine Land Cover	Longueur Totale / Longueur axe	BdTopo®
		Voies navigables	BdCarthage®		
	Recalibrage	Surface urbanisée et agricole / Surface Lit majeur	Corine Land Cover		
	Seuils transversaux	Nombre / Longueur cours d'eau	Bases Agences	Nombre de seuils ou pente résultante	Bases Agences & BdTopo®

III.4.1 - Evaluation des risques d'altération – résultats et compléments à envisager

Il est possible de reconstituer la liste d'altérations physiques évaluées assez précisément par la quantification des aménagements et usages proposée :

- la modification de régime hydrologique ;
- l'augmentation/réduction de fréquence des crues
- les modifications de volumes écoulés (par dérivation du débit) ;
- la réduction de sinuosité ;
- l'altération du corridor rivulaire ;
- l'altération de la dynamique latérale ;
- la déconnexion des annexes.

Cette démarche n'exclut pas le recours à des investigations complémentaires permettant d'améliorer la précision de l'information. En revanche, le cadre d'analyse proposé présente l'intérêt de construire une information homogène sur un réseau hydrographique de bassin permettant de comparer des situations, voire de hiérarchiser les actions.

Restent néanmoins des altérations pour lesquelles le recours à cette méthode d'approche reste difficile ou pour lesquelles les liens avec aménagements et usages sont assez incertains.

Dans ce cas, le recours à des évaluations de terrain complémentaires seront indispensables.

Une méthode de stratification utilisant les analyses déjà effectuées est à affiner pour sélectionner les secteurs où les investigations sont prioritaires.

Par ailleurs, suivant les altérations concernées, les méthodes et protocoles d'évaluation restent à affiner.

Parmi les altérations ayant un lien très faible avec les aménagements et usages, on peut citer :

- le colmatage minéral (excès de sédiments fins) résultant de processus complexes ;
- la modification de profil géométrique (se traduisant par une incision) nécessitant une évaluation (mesure) de terrain ;

D'autres altérations seront aussi utilement évaluées d'une manière plus directe pour compléter l'information obtenue car les méthodes d'approche descendantes sont, pour celles-ci, susceptibles de s'avérer insuffisantes :

- réduction/suppression du plancher alluvial : granulométrie du substrat ;
- la variation fréquente et répétée des débits : la qualification plus précise des éclusées ;
- les successions de faciès ;
- le blocage de la dynamique latérale (artificialisation des berges) ;
- l'aggravation des étiages.

Quelques pistes d'investigations complémentaires peuvent être déjà proposées.

❑ **L'excès de fines source de colmatage**

Fréquemment cité pour les cours d'eau de faible dimension, sa relation avec l'état écologique est assez directe, s'agissant d'une perturbation importante de l'habitat des macro-invertébrés benthiques et hyporhéiques, des macrophytes, éléments clefs des réseaux trophiques, et compartiments nécessaires aux cycles de développement de certaines espèces.

Indicateurs

L'estimation du colmatage, en revanche, n'est possible que sur le terrain et nécessite d'être précisée par un protocole reproductible adapté.

Les voies d'amélioration envisageables résident dans la validation des liens entre pressions (type d'agriculture croisée avec la vulnérabilité des sols) et altérations observées, et devraient permettre d'alléger les investigations de terrain.

❑ **Modification de la géométrie – Incision**

La modification de la géométrie du lit mineur, que l'on peut exprimer par le profil géométrique à « plein bord », permet d'estimer de façon très grossière le débit s'écoulant dans ce lit avant le débordement en lit majeur.

Or, ce débit, avant débordement, correspond, dans une situation naturelle, au débit dit « morphogène », correspondant aux crues de période de retour de un à deux ans (Leopold et al., 1964).

Le décalage entre ce débit « morphogène » naturel et le débit « plein bord » mesuré correspond à un écart à la situation d'équilibre du fonctionnement naturel, qualifié de « chenalisation ».

Traduction principale du déséquilibre du fonctionnement morphodynamique, croisée avec une évaluation de la puissance spécifique du cours d'eau, cette mesure peut constituer un indicateur précieux de l'état de réversibilité des altérations subies par le cours d'eau.

Toutefois, la mise en œuvre d'une telle mesure implique une opération relativement importante de mesures sur le cours d'eau, dont un protocole simplifié et standardisé reste à préciser.

Le choix des sites devant faire l'objet en priorité de ce type de mesures est également à définir en fonction des éléments et indices de risques d'altération identifiés au préalable.

❑ **Granulométrie du substrat**

Par ailleurs, la **granulométrie du substrat du plancher alluvial** constitue une information majeure lorsque l'analyse des activités humaines laisse présager un déficit de transport solide. Toutefois, cette caractérisation de la granulométrie nécessite le recours à des prospections de terrain.

Pour que cette variable présente un intérêt en termes d'interprétation des fonctionnalités morphodynamiques, il semble intéressant de disposer d'au moins 6 modalités (qui pourront éventuellement être simplifiées par la suite) :

Tableau 3 : Modalités de description de la granulométrie

<i>Classes granulométriques (mm)</i>		
<i>Substratum</i>	<i>roche</i>	6
>256	<i>blocs</i>	5
64-256	<i>galets</i>	4
2-64	<i>graviers</i>	3
0.00625-2	<i>sables</i>	2
<0.00625	<i>limons et argiles</i>	1

Un protocole précis de mesure est également à adapter afin de pouvoir envisager des campagnes de mesures compatibles avec les moyens et les enjeux concernés.

La nécessité de valoriser les informations obtenues par les analyses cartographiques semble indispensable.

□ **Variations brusques et répétées des débits : les éclusées**

Typiques de certains équipements hydro-électriques, les éclusées sont à l'origine de perturbations directes des conditions d'habitat des organismes aquatiques.

Elles peuvent concerner des cours d'eau de petites tailles (micro-centrales de moyenne montagne), mais certains grands systèmes sont également affectés par ce type d'altération (cas du Rhône en amont de Lyon).

Les éléments d'information obtenus dans les analyses précédentes restent insuffisants pour qualifier cette altération. Une analyse complémentaire à partir de bases d'information des ouvrages (administratives, techniques) permettrait de compléter l'information de risque d'altération obtenue par le seul géoréférencement de l'existence d'aménagements utilisant ce type de fonctionnement.

Les descripteurs seront ceux traduisant au mieux le stress induit en terme d'habitat hydraulique, soit :

- le ratio débit maximal par rapport au débit plancher traduisant les différences de débits imposées au milieu sur un pas de temps court ;
- le ratio débit minimal par rapport au module inter-annuel reconstitué traduisant l'ordre de grandeur de la perturbation par rapport aux conditions naturelles.

Les données sont, dans ce cas d'altération, plus difficiles à obtenir car elles dépendent plus directement de l'exploitant. Mais il apparaît utile, à terme, d'engager un processus d'acquisition systématique de cette information.

□ **Altération de la succession naturelle des faciès**

L'alternance de faciès, naturelle pour l'ensemble des cours d'eau, résulte de l'équilibre dynamique du fonctionnement hydromorphologique. Les séquences rythmiques radiers/mouilles suivent une périodicité constante d'une valeur multiple de 7 fois en moyenne la largeur du lit mineur.

L'alternance de ces formes a un effet écologique direct en terme de diversité d'habitats physiques (hauteur d'eau, vitesse et substrat), donc d'incidence prévisible sur les communautés biologiques.

Indicateurs

Il est possible d'envisager un descripteur d'estimation de la périodicité mais, dans la mesure où cette estimation implique une nécessaire visite de terrain, il conviendra de concentrer les investigations là où existent des présomptions d'altération liées à la morphologie.

Les indicateurs d'altération de la morphologie, décrits lors des analyses cartographiques, sont autant d'éléments de présomption d'altération de la modification de ces successions de formes.

□ Aggravation des étiages

Il est communément admis que les usages tels que les pompages diffus et le drainage sont principalement à l'origine d'aggravation des étiages, altérations renforcées également par d'autres altérations de nature morphologique telles que la déconnexion lit mineur/lit majeur.

Ce type d'altération est mentionné pour mémoire. En effet, la quantification de cette altération semble assez difficile et nécessite des études approfondies :

- soit par une analyse exhaustive des prélèvements existants, sous réserve qu'ils soient tous connus et géoréférencés ;
- soit par une évaluation de la différence entre le débit constaté et le débit théorique. Mais compte tenu de l'incertitude de la mesure de ces faibles débits et de leurs variabilités, l'erreur relative des mesures en stations de jaugeage reste très importante.

III.4.2 - Evaluation des risques d'altération - conclusion

L'ensemble des altérations retenues est de quatorze. Certaines feront nécessairement l'objet de compléments d'investigations: mesures sur le terrain avec des modalités restant à définir.

Des redondances entre indicateurs sont encore possibles, mais la combinaison des résultats issus de l'analyse pourra être adaptée en fonction des contextes géomorphologiques et des contextes de pressions, pour améliorer la lisibilité du rendu final de l'analyse.

D'une manière globale, les modalités de descriptions retenues présentent une certaine compatibilité avec les systèmes d'évaluation déjà utilisés (Qualphy, EVACE), ce qui permet d'envisager l'exploitation d'une partie de données déjà collectées pour constituer la base géographique de l'audit.

L'exploitation des données résultant de ces analyses fera l'objet par la suite d'un autre rapport dans lequel sera notamment explicité:

- comment moduler l'interprétation des valeurs brutes en fonction des contextes géomorphologiques (régionaux et locaux) ;
- comment fixer des ordres de grandeur de valeurs selon les objectifs poursuivis, selon le niveau de risque accepté et selon l'état des connaissances des liens entre altération de processus et biologie et le contexte géomorphologique naturel du cours d'eau.

Les modalités d'acquisition d'informations sur le terrain constituent également un champ d'investigation à venir pour lequel la prise en compte de l'expérience pratique existante, des données déjà collectées, voire de tests à réaliser, est à effectuer.

Cette liste d'altérations retenues constitue un socle permettant de mettre en œuvre la collecte et l'organisation d'une base de données dont l'exploitation permettra d'envisager une connaissance améliorée de la situation des processus de fonctionnement physique.

IV - CONCLUSION

Deux niveaux de diagnostics sont ainsi proposés : le premier, à large échelle, proposant une approche globale des facteurs de risques d'altération physique, le deuxième ciblant plus précisément les risques d'altération des processus concernant les aspects morphologiques.

L'objectif a été d'éviter la redondance des variables étudiées en essayant de couvrir la plus grande part du champ des altérations retenues susceptibles d'avoir une influence sur l'état écologique.

Ceci n'exclut pas la possibilité de l'existence d'altération écologique d'origine « physique », non identifiée par ce processus d'analyse descendant. Il conviendra donc de compléter l'étude par un contrôle rétro-actif ascendant, avec une expertise locale à organiser, compatible avec l'échelle de l'analyse effectuée.

L'analyse globale à large échelle est susceptible de permettre une première approche (en terme de risques d'altération) des problèmes dominants à un niveau régional (de bassin), ce qui peut constituer un appui aux besoins d'orientations, de définition d'objectifs, voire de pré-programmation d'actions.

L'analyse des altérations, plus complexe et nécessitant l'acquisition de données, constitue un chantier au terme plus long.

Les éléments complémentaires à ce rapport seront :

- un atlas des aménagements et usages générant des risques d'altérations physiques à large échelle ;
- un cahier de prescriptions techniques pour l'acquisition de données à partir des couches d'information géographiques nationales (BDTOPO®) afin de constituer la base de données des risques d'altérations physiques à l'échelle des tronçons ;
- un guide d'aide à l'interprétation des variables collectées permettant de préciser les niveaux de risques selon le contexte géomorphologique.

Parmi les questions qui restent à explorer, on peut noter :

- l'amélioration de la connaissance générale des liens entre biologie, habitats et altérations de processus physiques, en particulier pour les compartiments biologiques explicitement identifiés par la DCE pour qualifier l'état écologique ;
- la définition de procédures et protocoles pour l'acquisition des données nécessitant une investigation de terrain ;
- la définition et l'encadrement du suivi des actions de restauration engagées de façon à valoriser l'efficacité de celles-ci.

V - BIBLIOGRAPHIE

- CEN, (2002), A guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers. CEN TC 230/WG 2/TG 5: N32 Comité européen de Normalisation, mai 2002, 21 p.
- Cordone, A.J. and Kelley, D.W. (1961). The influences of inorganic sediment on the aquatic life of streams. California Fish and Game. 189-229.
- Ifen. (2005). CORINE land cover 2000 for France. Final report, 2003.CE.16.0.AT.029, 23 p.
- Lenat, D.R. and Crawford, J.K. (1994). Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams. Hydrobiologia. 294(3): 185-199.
- Leopold, L.B. and Wolman, M.G. (1957). River channel patterns: braided, meandering, and straight. professional paper, 282-B, U.S. Geological Survey, 39-85 p.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. and Miller, J.P. (1964). Fluvial processes in Geomorphology. Freeman and Co., San Francisco. 522 p.
- Malavoi, J., Area and Strategis. (2000). Typologie et sectorisation des cours d'eau du bassin Loire-Bretagne. 98016, 79 p.
- Malavoi, J.R. (2003). Stratégie d'intervention de l'Agence de l'Eau sur les seuils en rivière. Document de travail, Agence de l'Eau Loire Bretagne, AREA, 125 p.
- Malavoi, J.R., Bravard, J.P., Piégay, H., Hérouin, E. and Ramez, P. (1998). Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau. SDAGE, Rhône-Méditerranée-Corse. Guide technique n°2, Agence de l'Eau R.M.C. / DIREN Rhône Alpes, Lyon. 39 p.
- Montier, C., Le Bissonais, Y., Daroussin, J. and King, D. (1998). Cartographie de l'aléa « Erosion des sols » en France. INRA, Orléans. 56 p. + cartes p.
- Richards, K. (1982). Rivers. Form and process in alluvial channels. Methuen, New York. 361 p.
- Schumm, S.A. (1977). The Fluvial System. Water Ressources Publications, New-York. 338 p.
- Souchon, Y., Andriamahefa, H., Breil, P., Albert, M.B., Capra, H. and Lamouroux, N. (2002). Vers de nouveaux outils pour l'aide à la gestion des hydrosystèmes: couplage des recherches physiques et biologiques sur les cours d'eau. Natures Sciences Sociétés. 10(Suppl. 1): 26-41.
- Wasson, J.G., Malavoi, J.R., Maridet, L., Souchon, Y. and Paulin, L. (1998). Impacts écologiques de la chenalisation des rivières. Editions Cemagref, 14: 158 p.
- Waters, T.F. (1995). Sediment in streams: Sources, biological effects, and control. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 251 p.

RÉSUMÉ :

La mise en œuvre de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau et le besoin récurrent de disposer d'un outil d'analyse du fonctionnement et de l'état physique des cours d'eau sont à l'origine de l'élaboration de méthodes permettant la caractérisation à large échelle du fonctionnement physique des milieux aquatiques dans un objectif de mise en œuvre d'actions pour l'atteinte du bon état écologique.

La complexité et la diversité des processus de fonctionnement physique, leurs sources d'altération souvent combinées, les effets hérités de logiques passées d'aménagement du territoire ont orienté les réflexions vers une approche « descendante », (« top-down »), appuyée sur l'organisation hiérarchique du fonctionnement des milieux aquatiques au sein de leur bassin versant. Cette approche est centrée sur l'appréciation du risque d'altération du fonctionnement des processus physiques à l'échelle du tronçon géomorphologique, doublée d'une appréciation cartographique des traces probantes d'aménagements passés à l'échelle du tronçon.

L'audit SYRAH_CE s'inscrit dans une chaîne de causalités où l'origine des altérations physiques des cours d'eau se situe au niveau de l'occupation de sols et des activités humaines, qui se déclinent ensuite en usages du sol et aménagements physiques. Leur description et leur évaluation est possible aujourd'hui grâce aux outils numériques de cartographie et aux bases de données géographiques existantes à large échelle.

Ces altérations du fonctionnement physique peuvent à leur tour être à l'origine d'altération des habitats, influençant in fine l'état écologique du cours d'eau.

Les différents types d'altérations du fonctionnement hydromorphologique les plus fréquentes sont développées, et associées avec les aménagements et usages qui en sont à l'origine.

Deux échelles de travail sont proposées :

- un premier niveau qui permet d'agréger des informations issues de couches géographiques disponibles au niveau national en fournissant des éléments d'appréciation pour l'ensemble des aménagements et usages retenus comme présentant un risque potentiel d'altération du fonctionnement physique. Le niveau élémentaire de l'information, limité, se situe au niveau de la « zone hydro » de la BDCarthage®.

- un niveau complémentaire à l'échelle des tronçons, qui autorise une description plus fine des aménagements et usages à l'origine des altérations physiques d'ordre morphologique (tracé, occupation du lit majeur, contraintes latérales et longitudinales). Les informations fournies par la BDTOPO® IGN permettent d'atteindre une meilleure précision.

Syrah_CE est conçu comme un cadre général d'analyse, capable d'asseoir l'audit France entière de l'hydromorphologie, mais aussi d'enrichir toutes les évaluations plus locales existantes ou à mettre en œuvre pour définir avec pertinence les actions de correction de la situation physique du cours d'eau nécessaires pour atteindre le bon état écologique.



Direction générale

Parc de Tourvoie

BP 44, 92163 Antony cedex

Tél. 01 40 96 61 21 - Fax 01 40 96 62 95

Web : <http://www.cemagref.fr>