



Restauration et Entretien du lit de la Loire et de ses affluents

Guide méthodologique 1^{ère} partie

Décembre 2002



Photo de couverture
Exemple de travaux d'entretien du lit:
enlèvement d'encombre en Maine-et-Loire
lors des Journées techniques du Club
des gestionnaires du lit de la Loire (1999)
Cl. Ph Auclerc - Loire & terroirs

Conception :

André Bachoc, Samuel Guillou DIREN Centre - Service de bassin ; **Lucien Maman** Équipe pluridisciplinaire d'assistance aux maîtres d'ouvrage Plan Loire Grandeur Nature ; **Michel Bacchi, Jean-Pierre Berton** IMACOF ; **Jean-Marc Fauconnier** Consultant

SOMMAIRE

Contexte et objectifs *p 5*

L'hydrosystème Loire *p 6*

Principes de fonctionnement *p 6*

Les différents visages de la Loire, de la source à l'estuaire *p 7*

Quelques définitions *p 9*

Biodiversité et richesse écologique: des données incontournables *p 11*

Évolution du lit et des usages *p 13*

Dysfonctionnements et conséquences *p 15*

Hydrauliques, sédimentaires, biologiques *p 15*

Sur le plan des paysages; des usages perturbés *p 17*

Pourquoi intervenir? *p 18*

Les outils du diagnostic *p 19*

Les acquis des études hydrauliques par modélisation; le Système d'Information sur l'Évolution du Lit *p 19*

Une étude préalable *p 21*

Les indicateurs *p 28*

La définition des travaux *p 35*

Restauration ou entretien? *p 35*

Une nouvelle approche: la gestion patrimoniale *p 36*

Définition des interventions *p 37*

Opportunité et adaptation des interventions *p 40*

Planification de l'opération; les grandes étapes d'une opération de restauration *p 42*

Calage de la période des travaux *p 43*

Des partenaires techniques et financiers *p 44*

Le suivi dans le temps *p 45*

Établir un tableau de bord; des outils de mesure: les indicateurs; choix des indicateurs *p 45*

Capitalisation des données *p 46*

Des retours d'expérience *p 47*

Table des figures *p 48*

Glossaire *p 49*

Bibliographie *p 52*

Annexes *p 53*

Annexe 1: Fiche de recueil des données pour l'évaluation des travaux de restauration et d'entretien du lit *p 54*

Annexe 2: Légende à utiliser pour les cartes de localisation des travaux *p 61*

Annexe 3: C.C.T.P. type d'état initial et de suivi du milieu biologique du lit de la Loire *p 62*

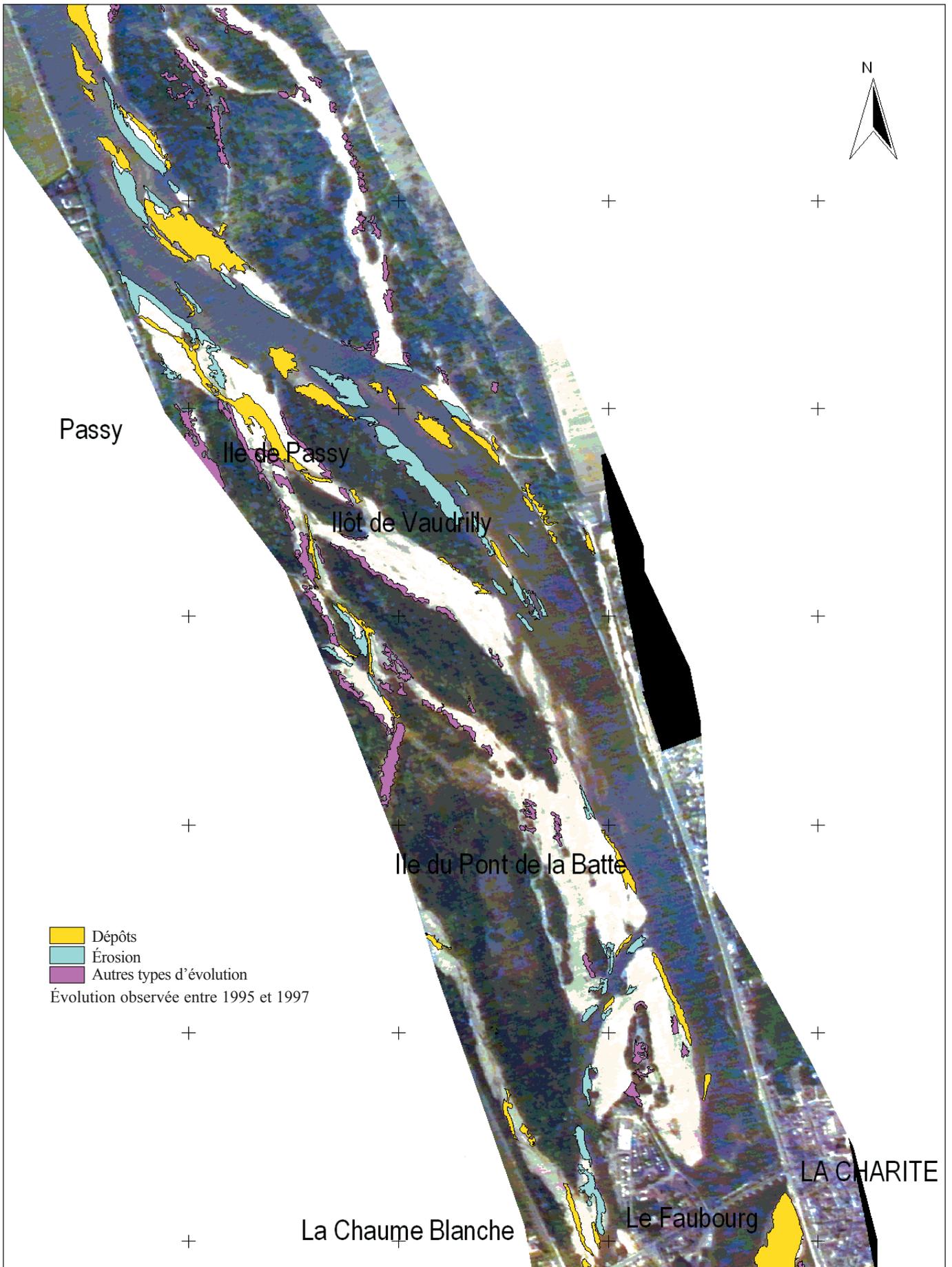


Fig. 1 : Exemple de carte de suivi de l'évolution du lit de la Loire à La Charité-sur-Loire entre 1995 et 1997 (SIEL, DIREN Centre)

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Pendant de nombreuses années, le domaine public fluvial de la Loire et de ses principaux affluents a été délaissé et le volume des crédits destinés à son entretien restreint, ce dernier se réduisant à quelques espaces fluviaux limités.

Depuis 1994, la mise en place du Plan Loire Grandeur Nature a permis d'attribuer des budgets conséquents au programme de restauration et d'entretien du lit, principalement sur la Loire, puis étendu ensuite à l'Allier, la Vienne et le Cher. Ces interventions ont contribué à effectuer un rattrapage d'entretien, communément appelé "restauration" du lit.

Rattachés au volet "sécurité des populations face au risque d'inondation" du Plan Loire, les travaux dans le lit du fleuve visent en particulier à :

- améliorer la capacité d'écoulement en crue ;
- enrayer l'enfoncement de la ligne d'eau à l'étiage ;
- préserver ou restaurer la diversité et la richesse biologique des milieux ;
- préserver ou restaurer la qualité des paysages.

Il est important de souligner que, dans l'esprit du Plan Loire, même lorsque la finalité du projet n'est pas écologique, on intègre comme contrainte préalable à toute intervention celle de ne pas endommager les fonctions des écosystèmes considérés.

Pour répondre au mieux à ces objectifs, le service de bassin Loire-Bretagne de la DIREN Centre anime depuis 1996 un club des gestionnaires du lit de la Loire. Avec l'appui technique de l'Équipe pluridisciplinaire Plan Loire, les réunions régulières de ce groupe de travail sont l'occasion d'échanges fructueux entre services, ainsi qu'avec les autres partenaires du Plan Loire Grandeur Nature. C'est dans ce cadre qu'ont été élaborés les principes d'un guide méthodologique en deux volets pour la restauration et l'entretien du lit de la Loire :

- Le 1^{er} volet, destiné aux chefs de service et de subdivision, vise à sensibiliser ces responsables à la meilleure prise en compte des milieux naturels fluviaux, de manière à intervenir dans l'esprit patrimonial du Plan Loire.
- Le 2^{ème} volet [1] décrit les différentes méthodes et techniques d'intervention sur la végétation et les sédiments. Il s'adresse au personnel des subdivisions surveillant ou réalisant les travaux d'entretien et de restauration du lit.

Ce premier volet du guide méthodologique se veut ainsi une aide à la décision pour les responsables de service, en proposant :

- une présentation générale de l'hydrosystème Loire, de son évolution et des dysfonctionnements constatés ;
- une justification scientifique simple des interventions et les principaux objectifs recherchés dans le cadre d'une opération de restauration ou d'entretien du lit ;
- une méthodologie de définition des travaux et de leur suivi sur la base d'indicateurs physiques et biologiques adaptés à l'hydrosystème ligérien.

[1] BACCHI M., BERTON J.-P., 1997 - Guide méthodologique d'entretien du lit de la Loire - 2^{ème} partie. DIREN Centre, classeur de 105 p. avec fiches et cartes.

L'HYDROSYSTÈME LOIRE



Un principe de base : Connaître avant d'agir !

Principes de fonctionnement

La Loire est un hydrosystème fluvial, c'est-à-dire un système complexe physique et biologique comprenant un ensemble de communautés vivantes (ou biocénoses) aquatiques, semi-aquatiques et terrestres, soumises à la présence d'une nappe aquifère (de cours d'eau) [14].

Son équilibre dynamique repose sur :

- des échanges de tous types entre ces milieux ;
- une variété de milieux physiques et biologiques qui s'interpénètrent ;
- un fonctionnement en trois dimensions (longitudinale, transversale et verticale), variant dans le temps principalement sous l'influence des conditions hydrologiques (débits) et morphologiques (dynamique du fleuve).



Trois notions complémentaires à retenir

- **Aspect fonctionnel** : Tout écosystème procède d'une dynamique espace - temps dans laquelle l'action correctrice doit s'inscrire.
- **Biodiversité** : La richesse biologique d'un territoire est d'autant plus élevée qu'il comporte différents milieux d'accueil (habitats). Ces habitats variés abritent alors une grande diversité d'espèces.
- **Aspect patrimonial** : Les espèces ou les milieux rares (qui font souvent l'objet d'une protection réglementaire) ont une valeur particulière qui est également à prendre en compte car elle est d'intérêt général et considérée comme patrimoine commun de la nation, au sens de la loi sur l'Eau de 1992.

[14] PIREN Rhône, 1982 - Cartographie polythématique appliquée à la gestion écologique des eaux. Étude d'un hydrosystème fluvial : le Haut Rhône français. Ouvrage collectif. Ed. du CNRS-Lyon, 113 p.

Les différents visages de la Loire, de la source à l'estuaire

La Loire présente différentes formes de vallées, appelées secteurs géomorphologiques :

La Loire des montagnes

De sa source au mont Gerbier de Jonc, jusqu'à Villerest, la Loire présente deux visages ou faciès morphologiques très différents [12] :

- l'unité amont est composée d'une succession de gorges et de petits bassins alluviaux. Elle court sur environ 150 km des sources jusqu'à la retenue de Grangent. Dans la section en gorges, les principaux éléments de cette première partie du guide ne s'appliqueront pas, bien entendu. Des documents spécifiques ont été établis dans le même objectif, à l'initiative de la DDE de la Haute-Loire et du SICALA de ce département [2] ;
- l'unité aval comporte la plaine du Forez, sur 50 km environ, à laquelle succèdent des gorges jusqu'au barrage de Villerest. La plaine du Forez comporte une Loire surexploitée pour ses matériaux alluvionnaires, avec un enfoncement du plancher alluvial de 1 à 2 mètres, mais de nombreuses berges non endiguées. Dans cette plaine, cette première partie du guide pourra être utilisée.

La Loire bourguignonne

De Villerest au bec d'Allier, le fleuve parcourt, sur 200 km, une vaste plaine inondable de 1 à plus de 4 km de large, en dessinant de vastes méandres. La Loire y conserve encore un espace de divagation conséquent qu'il faut préserver, car ces alluvions sont indispensables pour enrayer l'enfoncement de la ligne d'eau plus en aval. Cette politique nécessite des mesures de gestion de l'espace et de maîtrise foncière, concertées avec les riverains [6].

La Loire moyenne

Entre le bec d'Allier et le bec de Maine, le fleuve s'écoule majoritairement dans un lit majeur endigué (fig. 2), c'est-à-dire bordé par des hautes levées de terre datant de plusieurs siècles, qui protègent une vaste plaine alluviale (les vals). Ces vals sont très exploités par l'agriculture et assez urbanisés, notamment autour des principales agglomérations : Nevers, Orléans, Blois, Tours et Saumur. Ces vals aménagés représentent actuellement de considérables enjeux économiques soumis aux risques d'inondations [11].

La Loire estuarienne

L'estuaire de la Loire, situé sur la façade atlantique, en Loire-Atlantique, s'étire schématiquement sur plus de 90 km depuis Saint-Nazaire.

Il occupe une vaste dépression enclavée entre deux coteaux : le sillon de Bretagne et le coteau de Saint-Père-en-Retz. Il s'ensuit une succession d'étranglements et d'élargissements qui complexifient notablement la configuration des courants et contraignent les chenaux du lit à divaguer successivement entre les deux rives de l'estuaire.

D'un point de vue granulométrique, les sols sont majoritairement argileux à l'aval mais, dans les zones proches du fleuve et vers l'amont, la texture devient plus sableuse. Ponctuellement, on observe dans des zones riches en matière organique, un sol tourbeux. Le taux de matière organique s'élève rapidement en s'éloignant de la bordure de la Loire. (Il est à noter que le marnage quotidien, sous l'influence de la marée, peut rendre certaines préconisations de ce guide moins applicables sur le terrain, notamment à cause de l'envasement).

[2] BOYER M., 1996 - Définition d'un programme de restauration et entretien de la ripisylve de la Loire entre Vorey et Aurec. Rapport et fiches d'entretien, pour la DDE de la Haute-Loire.

[6] EPTEAU, HORIZONS, 1996 - Étude de la Loire entre Villerest et le Bec d'Allier : document de synthèse. DIREN Centre (Service de bassin Loire-Bretagne), 40 p. + annexes.

[11] HYDRATEC, 1998 - Étude de la propagation des crues et des risques d'inondation en Loire moyenne : modélisation de la Loire moyenne. Étude réalisée pour l'Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature, 23 p. + modèle mathématique.

[12] HYDRATEC, 2001 - Étude globale de gestion des crises hydrologiques et de restauration environnementale du haut bassin de la Loire. EPALA, Programme Interrégional Loire Grandeur Nature.

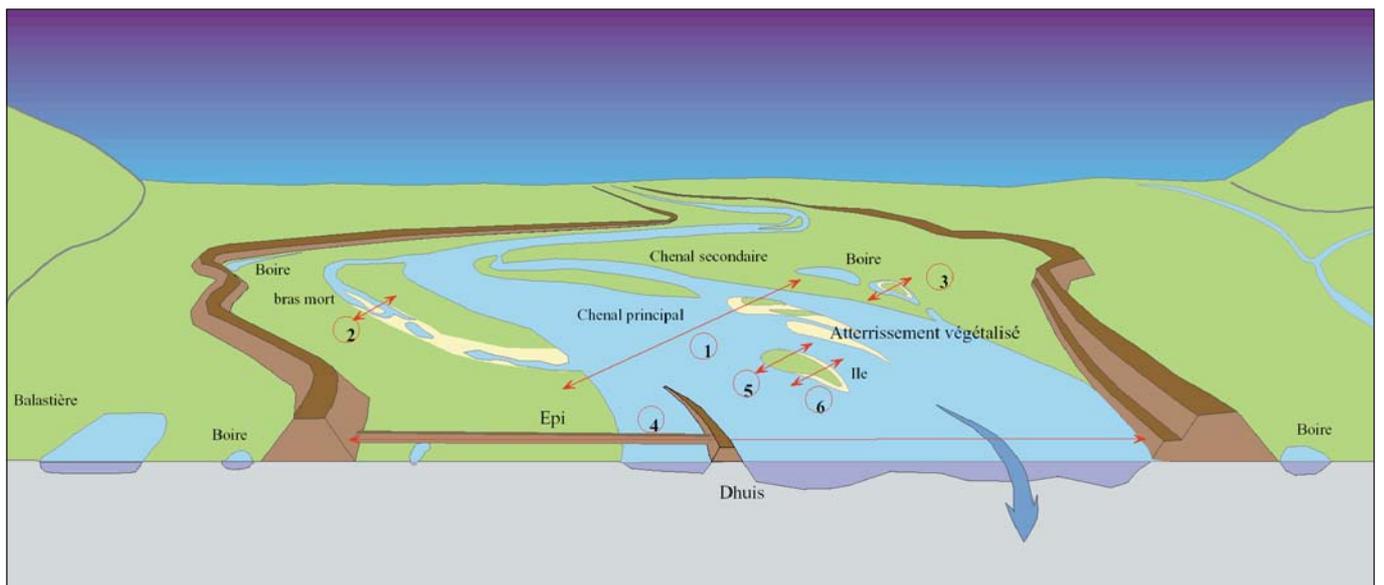


Fig. 2 : L'hydrosystème de la Loire moyenne (Bacchi et Berton, 1998)

Quelques définitions

(On peut également se reporter au glossaire en fin de document)

Chenal principal (ou lit principal, lit vif ou chenal d'étiage) : en eau toute l'année, section où transite environ plus des deux tiers du débit.

Chenal secondaire (ou bras secondaire) : en eau une grande partie de l'année ou toute l'année, section où transite environ moins d'un tiers du débit.

Boire ou bras mort : annexe hydraulique déconnectée du lit principal par l'aval et/ou l'amont. Sur le plan hydraulique, ce type d'annexe ne participe à l'écoulement des eaux qu'en période de débit moyen ou de crue et reçoit fréquemment les eaux d'un affluent ou bien est alimenté par la nappe alluviale.

À noter que ces sites constituent, du fait de leur isolement avec le chenal principal, des milieux propices à l'implantation des plantes spécialisées - hydrophytes et héliophytes - favorisées par des eaux plus calmes et propices à la reproduction des poissons. C'est pourquoi ces annexes sont fréquemment qualifiées de "frayères à brochets" sur la Loire comme sur ses principaux affluents, bien que cette espèce ne soit pas la seule à les fréquenter.

Île : les îles se sont formées selon la dynamique du fleuve, par engraissement progressif des atterrissements. Elles sont de ce fait séparées des rives (ou francs-bords) par de l'eau répartie plutôt inégalement entre le chenal principal et un bras secondaire [3]. Toutefois, la nature des activités et des usages dont elles peuvent faire l'objet a induit très souvent leur rattachement à la rive par des gués plus ou moins consolidés au fil du temps à l'initiative des riverains (ou usagers) de l'île. Leur exhaussement historique à une cote supérieure voisine de celle de la berge rend possible l'implantation d'une végétation typique du lit majeur (prairies et forêts de bois dur). Le remaniement sédimentaire par les crues est en conséquence de plus en plus difficile. Il s'effectue principalement par l'érosion des berges et des têtes d'îles, lorsqu'elles ne sont pas consolidées par des empièvements.

Atterrissement végétalisé : atterrissement dont la hauteur est très inférieure à celle du lit majeur (ou plaine alluviale), ce qui rend possible l'installation d'une végétation typique du lit mineur (saulaie, saulaie - peupleraie pionnière arbustive, groupement des sables et vases exondés à souchets, par exemple). Il se compose de sédiments grossiers (essentiellement des sables et galets sur la Loire) sur lesquels aucun sol évolué ne s'est développé. L'atterrissement est donc plus souvent remanié que les îles lors des crues fréquentes. À noter que ces sols minéraux sont qualifiés "d'alluviaux bruts" selon les classifications actuelles des sols (d'après Cornier, 2002 [5])

Épi : ouvrage édifié dans le lit à partir d'un ancrage en berge, en général perpendiculairement ou presque à l'écoulement, pour maintenir une profondeur suffisante dans le chenal principal.

Dhuis, chevrette : ouvrage de navigation (petite digue submersible) édifié dans le lit mineur, parallèlement ou obliquement à l'écoulement.

Hydrophyte : plante aquatique, vivant dans l'eau, dont l'appareil végétal (racines, tiges et feuilles) est soit entièrement submergé, soit flottant ; exemples : nénuphars, myriophylles, élodées, jussies, renoncules aquatiques...

Héliophyte : plante herbacée semi-aquatique, vivant dans les zones humides, c'est-à-dire subissant chaque année l'alternance entre immersion et émergence, disposant de racines souvent submergées et de tiges aériennes, parfois émergées pendant les mois secs. Exemples : roseaux, joncs, laïches (Carex), baldingère faux roseau ou phalaris, massettes...

[3] Conservatoire régional des rives de la Loire et de ses affluents, 2001 - *Étude des îles de la Loire entre Orléans et Nantes*. DIREN Centre.

[5] CORNIER T., 2002 - *La végétation alluviale de la Loire entre le Charolais et l'Anjou : essai de modélisation de l'hydrosystème*. Thèse de doctorat, Université de Tours, 227 p. + annexes.

Des espèces emblématiques

... éléments du patrimoine et témoignages de la biodiversité :

Les grands poissons migrateurs amphihalins

Anguille européenne. Espèce vulnérable contribuant à la diversité des peuplements piscicoles du bassin. (Photothèque CSP)



Saumon de l'axe Loire-Allier. Dernière souche européenne de Saumon atlantique, caractéristique des grands systèmes fluviaux (Photothèque CSP)

Lamproie marine. Une espèce largement répandue sur les grands axes de migration du bassin. (Photothèque CSP)



Grande alose : Espèce cible retenue pour le rétablissement de la transparence migratoire. (Ph. Auclerc)

Le Castor d'Europe (réintroduit avec succès depuis 1974)

Réfectoire de Castor (J.-L. Senotier)



Castor d'Europe. Il a été réintroduit dans le Loir-et-Cher en 1974 et a depuis colonisé une grande partie du fleuve. (J.-P. Jolivet)

La Loutre (en recolonisation des hauts bassins)

Loutre d'Europe en nage. La queue large sert de propulseur et de gouvernail (Ch. Bouchardy)



Loutre d'Europe en train de manger: Les proies les plus grosses sont amenées sur la berge avant d'être dévorées (Ch. Bouchardy)

La Sterne

Sterne pierregarin. Elle se distingue de la Sterne naine par la couleur de son bec (M. Dumas)



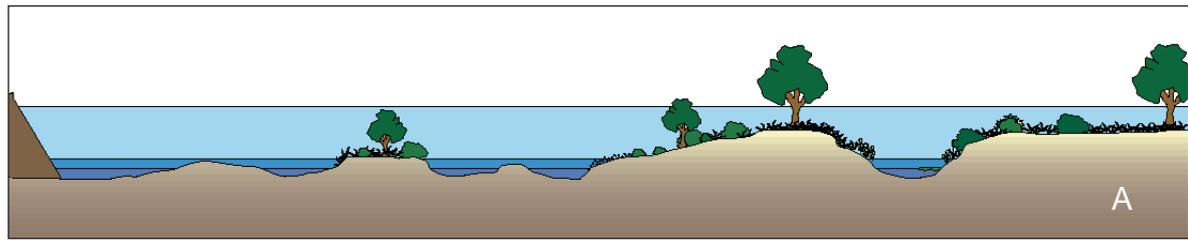
L'essentiel de la population française est sur la Loire. Une présence due à l'existence des grèves sur lesquelles la sterne édifie son nid. (Ph Auclerc)

Biodiversité et richesse écologique: des données incontournables

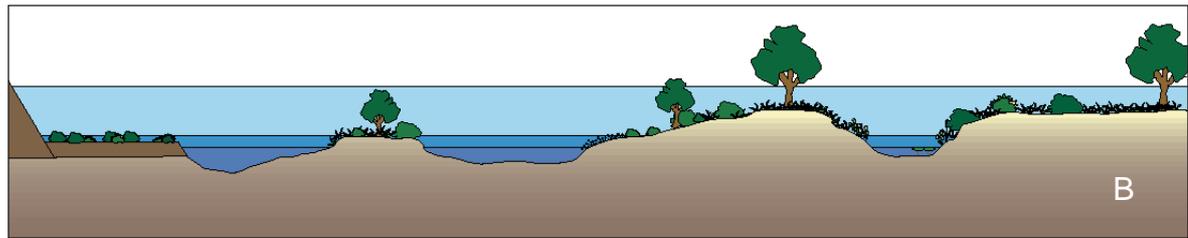
De nombreuses espèces animales et végétales (y compris d'invertébrés benthiques dont dépendent les populations de poissons et d'oiseaux), habituellement rares ou moins présentes sur des fleuves de cette importance, peuvent encore être trouvées sur la Loire.

Ceci s'explique par :

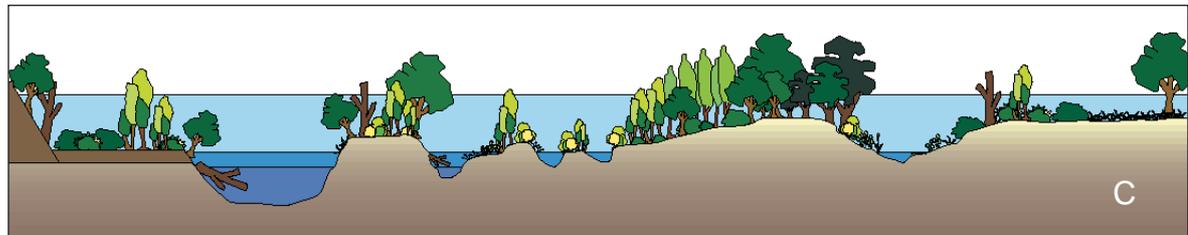
- un fonctionnement global qui s'apparente encore à celui d'un fleuve naturel malgré les perturbations liées aux activités humaines (levées, anciens ouvrages de navigation, extractions de granulats, grands barrages);
- peu de pollutions toxiques, même si les pollutions diffuses d'origine agricole et les rejets urbains sont de plus en plus marqués (concentrations en nitrates et phosphates élevées);
- un microclimat spécifique et une situation géographique intermédiaire permettant l'installation d'espèces méditerranéennes, voire subtropicales ;
- une bonne diversité d'habitats, même si la chenalisation du lit et l'enfoncement de la ligne d'eau contribuent à leur raréfaction (augmentation des courants dans le lit vif à l'étiage, déconnexion progressive des annexes hydrauliques, emprise excessive de la végétation).



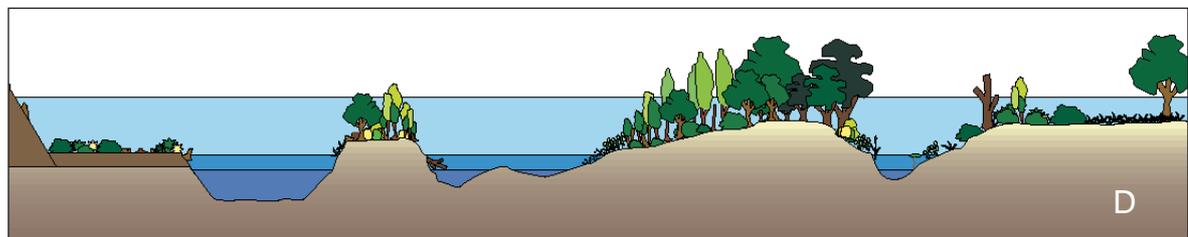
1750 : État du lit avant l'implantation des ouvrages de navigation



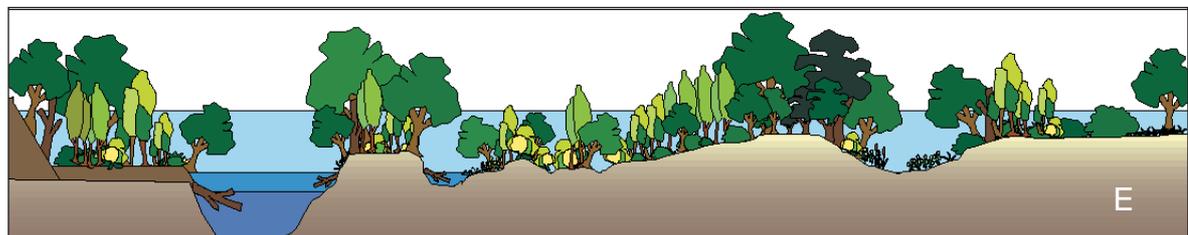
1850 : Implantation des ouvrages destinés à favoriser la navigation



1993 : État du lit de la Loire avant le Plan Loire Grandeur Nature



1998 : Le lit de la Loire après les travaux de restauration et d'entretien



État du lit de la Loire sans action d'entretien

Fig. 3 : L'évolution du lit de 1750 à nos jours (d'après Bacchi et Berton, 1998)

ÉVOLUTION DU LIT ET DES USAGES

Bien que procédant d'une hydrologie capricieuse, la Loire a été pendant longtemps le support d'une navigation de commerce importante (la marine de Loire). Celle-ci devait se maintenir de Saint-Just - Saint-Rambert (42) à Briare (45) jusqu'au milieu du XIX^e siècle (époque de l'avènement des canaux de Roanne à Digoin et du Latéral à la Loire) et dans une très faible proportion jusqu'à la fin des années 80 à l'aval des Ponts-de-Cé (49). En Loire moyenne, passé la guerre de 1914-1918, seuls les bateaux des extracteurs de granulats effectuaient encore quelques rotations, mais leurs mouvements étaient très limités géographiquement.

Le maintien d'un chenal navigable, notamment au pied des ports et des écluses de jonction avec les canaux, justifiait un entretien continu du fleuve, mais l'intérêt global de cette pratique devait être oublié au fur à mesure de la disparition de la batellerie. Seules les principales levées devaient encore être entretenues. L'arrêt devait être d'autant plus marqué que le pacage ou la coupe du bois étaient tombés en désuétude. Cette absence d'intervention devait cependant s'avérer très pénalisante avec le temps. Combinée avec les conséquences induites par les ouvrages de navigation (dhuis et chevrettes) et une forte augmentation du volume des extractions en lit mineur entre la fin de la Seconde Guerre mondiale et les années 90, celle-ci a interféré notablement et durablement sur l'équilibre du fleuve conduisant aux phénomènes d'enfoncement du lit, de végétalisation des chenaux et des annexes hydrauliques.

A - 1750 : État du lit de la Loire avant l'implantation des ouvrages de navigation :

Dans son lit endigué, le fleuve en Loire moyenne dispose d'un espace de mobilité assez étendu (en valeur relative à la largeur du lit principal) avec une vaste surface en eau, même en étiage. Dans cette configuration de relative transparence, les crues sont plus facilement écrêtées pour des niveaux de débit fréquents, évalués récemment comme inférieurs ou égaux à la crue décennale.

B - 1850 : Implantation des ouvrages destinés à favoriser la navigation :

Lorsqu'ils sont présents, les ouvrages de navigation ont progressivement chenalisé le fleuve et modifié de ce fait sa section mouillée. L'essentiel du débit se concentre sur une largeur réduite et une profondeur accrue. Les vitesses d'écoulement et l'énergie plus forte qui en résultent ont occasionné un surcreusement des chenaux et un abaissement de la ligne d'eau.

C - 1993 : État du lit avant le Plan Loire Grandeur Nature :

La section chenalisée a augmenté par surcreusement, réduisant en conséquence d'autant la durée et la fréquence de submersion des milieux annexes et des chenaux secondaires. Les surfaces exondées et les périodes d'à sec augmentent alors dans le lit principal, facilitant l'installation d'une végétation de plus en plus abondante. Les vitesses d'écoulement réduites favorisent de la même façon la création des atterrissements, à leur tour colonisés, principalement par des arbres et des arbustes.

D - 1998 : Le lit de la Loire après les travaux de restauration et d'entretien :

Axés en particulier sur la gestion de la végétation, les travaux de restauration du lit dans le cadre du Plan Loire, puis les travaux d'entretien, permettent un rééquilibrage des écoulements entre chenal principal et chenaux secondaires, ainsi que le maintien des connexions entre lit vif et annexes hydrauliques (boires).

E - État du lit de la Loire sans action d'entretien :

Sans intervention de restauration puis d'entretien, ce dysfonctionnement de l'hydrosystème - initié par la construction des ouvrages de navigation au XIX^e siècle et accentué par les extractions de granulats au XX^e siècle - entraîne un abaissement continu de la ligne d'eau dans les chenaux ainsi qu'un comblement et un fort développement de la végétation dans la majeure partie du lit.

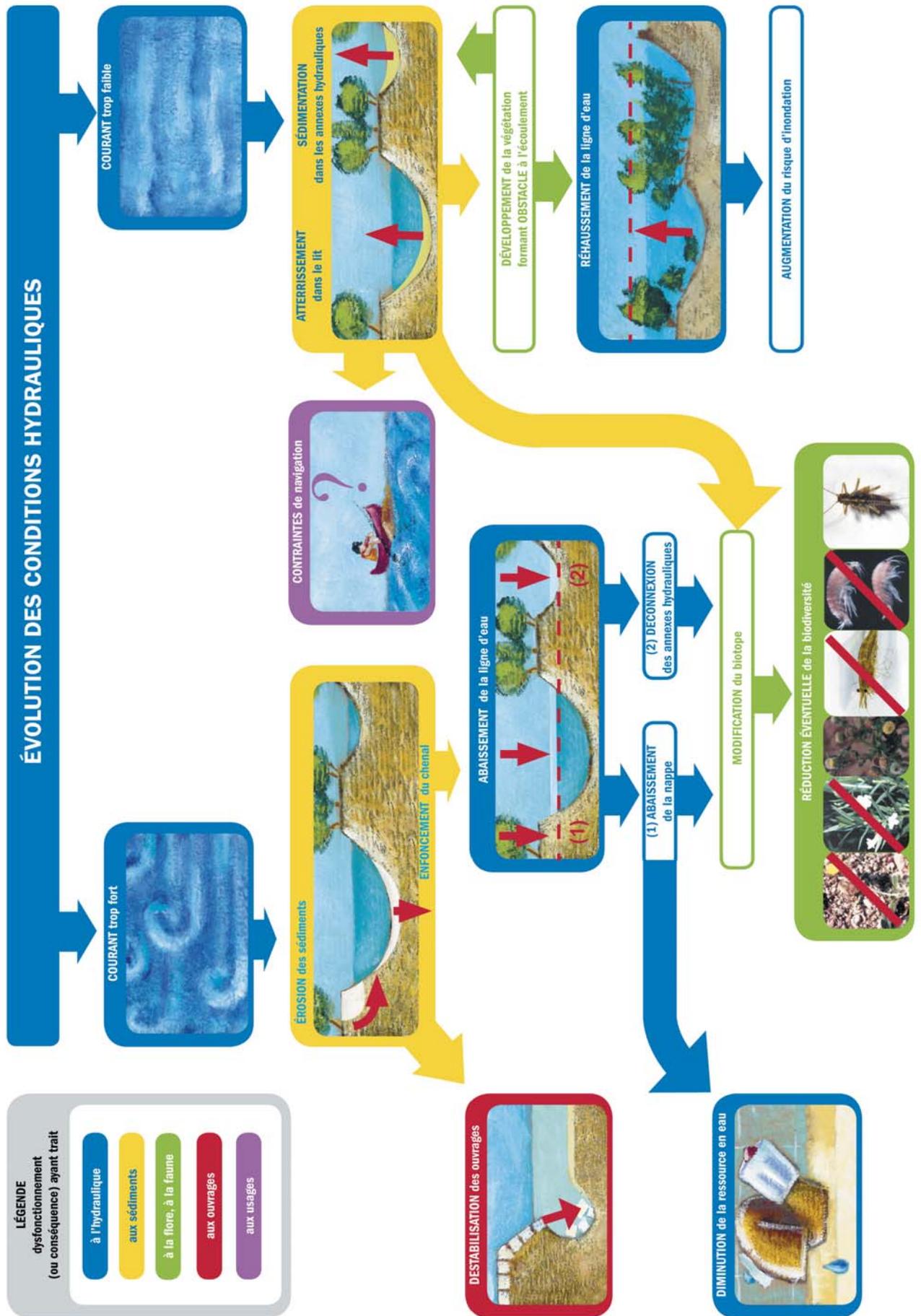


Fig. 4: Exemple de dysfonctionnements d'origine hydraulique et sédimentaire

DYSFONCTIONNEMENTS ET CONSÉQUENCES

Hydrauliques

En étiage et moyennes eaux, l'érosion "concentrée" dans les chenaux génère l'abaissement de la ligne d'eau puis celui des nappes associées. Les fondations des ouvrages en contact avec le lit mineur sont déchaussées (pied de levée, radier de barrage ou de pont, pile de pont...) et deviennent vulnérables.

En hautes eaux, la réduction de la section hydraulique par les zones de dépôt et la végétation entraîne la rétention des écoulements, le rehaussement de la ligne d'eau et augmente ainsi les risques d'inondations.

Sédimentaires

La vitesse d'écoulement, ralentie dans les zones fortement végétalisées ou par les ouvrages de navigation, favorise les dépôts dans le lit principal (grèves, îles) ou dans les annexes hydrauliques (bras morts, boires). Les surfaces exondées progressent dans l'espace et dans le temps.

La végétation densifiée (arbres et arbustes) contribue à l'instabilité des ouvrages et des berges et favorise localement les processus d'érosion. Cela génère des résidus ligneux (encombres) ainsi que de nouvelles zones de dépôt.

Biologiques

La végétation se développe et se densifie sur les zones exondées. Les milieux se ferment et tendent à s'uniformiser, entraînant une réduction de la diversité des habitats, donc de la biodiversité végétale et animale.

Les défauts d'alimentation en eau des annexes hydrauliques (déconnexion précoce ou abaissement de la nappe) et le colmatage conduisent à la disparition d'habitats patrimoniaux.



Limicoles *VERSUS* Arboricoles

Dans leur étude *Diversité et valeur patrimoniale des peuplements d'oiseaux nicheurs de la Loire sur l'ensemble du cours*, B. Frochot, J. Roche et al. (1993) [9] ont mis en évidence la diminution des limicoles (oiseaux liés à l'eau) au profit des arboricoles, en raison de la chenalisation du lit et de l'augmentation des surfaces fortement végétalisées par les arbres et arbustes.

[9] FROCHOT B., ROCHE J. et al., 1993 - *Diversité et valeur patrimoniale des peuplements d'oiseaux nicheurs de la Loire sur l'ensemble du cours - De l'écologie à la conservation - Université de Bourgogne, pour le ministère de l'Environnement.*

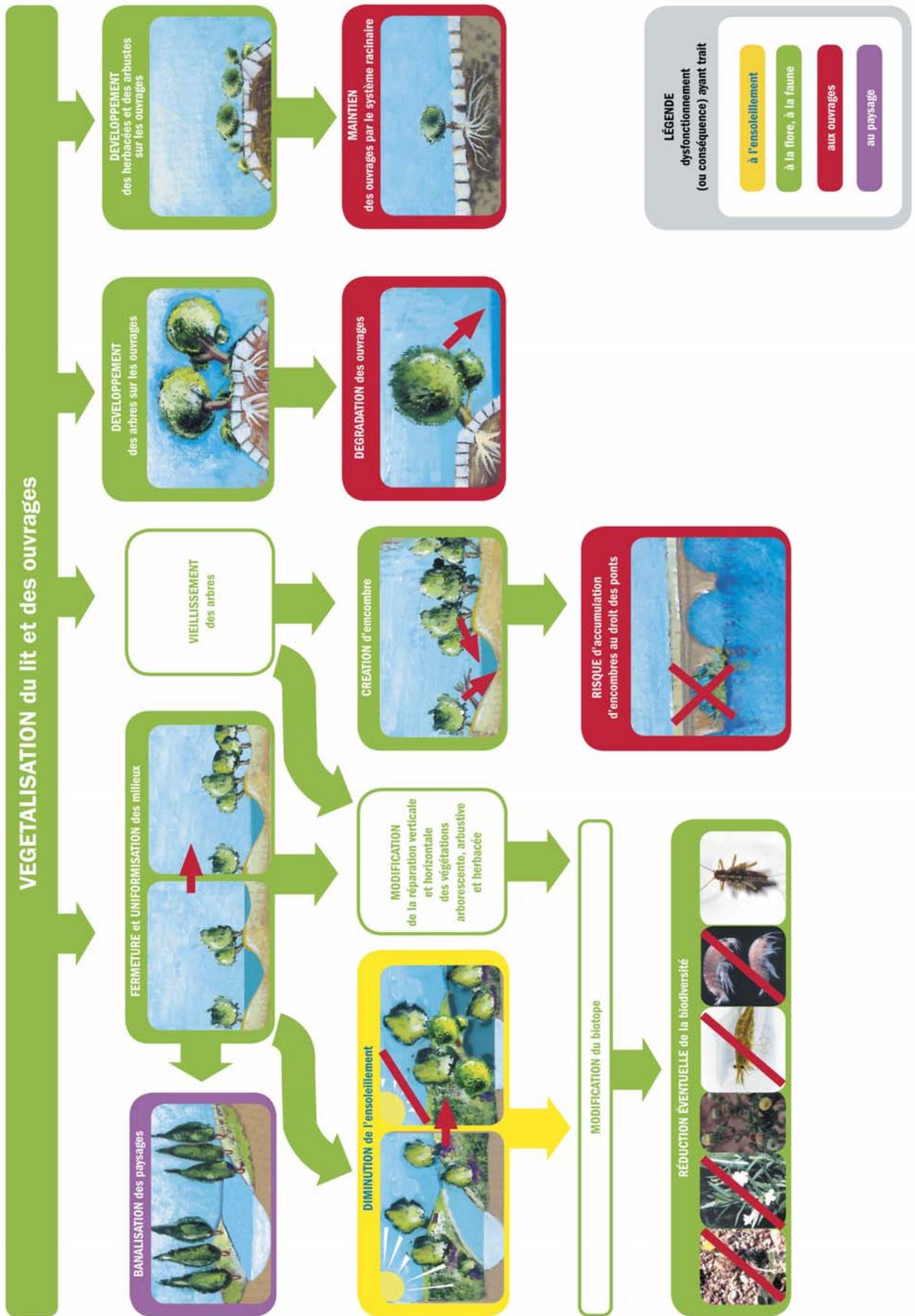


Figure 5: Exemple de dysfonctionnements d'origine végétale

Sur le plan des paysages

Depuis longtemps, la mosaïque d'unités paysagères de la vallée de la Loire est caractérisée par une grande variété d'interfaces entre l'eau, le sable et les espaces terrestres.

La végétalisation progressive du lit entraîne cependant, avec la fermeture et l'uniformisation des milieux, une diminution de la diversité des paysages. La transparence visuelle du lit historique - lit entretenu pour la navigation, prairies maintenues ouvertes par le pâturage - est peu à peu remplacée par une barrière végétale plus ou moins continue entre les deux rives, l'accessibilité au fleuve s'en trouvant d'autant réduite. Un fort contraste s'installe entre le lit boisé et les vals très ouverts où sont les grandes cultures.



Citation

De tous les motifs d'intérêt de nos paysages, ceux de l'eau sont les seuls, avec les météores dont ils proviennent, à être doués du mouvement. C'est ce qui redouble leur grande valeur paysagère par rapport aux autres. La Loire est comme une encyclopédie de ces formes vivantes. Reine en son royaume, elle est reine des métamorphoses de l'eau, et c'est là au premier chef qu'il faut chercher sa valeur poétique et paysagère. Tant que ces métamorphoses seront préservées, favorisées, voire retrouvées, alors elle conservera l'essentiel de sa valeur paysagère unique.

(Extrait de *La typologie paysagère de la vallée de la Loire* (MAZAS A., 1999, page 70) Diren Centre)

Des usages perturbés



L'abaissement des nappes peut entraîner une moindre disponibilité de la **ressource en eau** et principalement en eau potable.



L'accroissement des zones de dépôts, l'abaissement de la ligne d'eau d'étiage ou l'instabilité des ouvrages peuvent perturber la **navigation de loisir**.



La banalisation des milieux et la réduction des habitats aquatiques, en affectant la diversité des poissons, ont un impact sur la **pêche**.



La densification excessive de la végétation, notamment sur les berges, limite les accès et les cheminements, fermant le **paysage** et diminuant son attrait visuel : *“On ne voit plus la Loire”*.

POURQUOI INTERVENIR ?

Visant globalement à rétablir une dynamique de l'hydrosystème proche de l'équilibre - aux niveaux hydraulique, sédimentaire, de la qualité de l'eau et de la biodiversité - les opérations de restauration ou d'entretien du lit envisagées par le gestionnaire doivent répondre aux dysfonctionnements constatés et à leurs conséquences, dans le respect de l'intégrité des écosystèmes concernés et des usages des lieux.

Identifiés dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature, les objectifs fonctionnels les plus courants des travaux sont :

- l'amélioration de la capacité d'écoulement des crues en limitant les obstacles au passage de l'eau, en particulier au droit des secteurs à forts enjeux urbains et d'infrastructures ;
- l'enrayement de l'enfoncement de la ligne d'eau à l'étiage en favorisant notamment la mobilisation des sédiments par le cours d'eau ;
- la préservation ou la restauration de la diversité biologique des milieux naturels : forêts alluviales, milieux associés, faunes aquatique et terrestre.

Toute intervention doit également intégrer et concilier les objectifs généraux suivants :

- la préservation ou la restauration de la variété, de la qualité et de la spécificité des paysages ligériens ;
- la préservation et la conciliation des activités socio-économiques et de loisirs : tourisme, promenade, navigation de loisir, pêche...



À gauche : exemple de réduction de la capacité d'écoulement par une encombre de bois sur le Cher (Cl. Ph. Auclerc)

À droite : un dhuit dans la traversée d'Orléans (Loiret). Partie intégrante du patrimoine ligérien, ces ouvrages n'en ont pas moins des conséquences négatives sur la dynamique du fleuve en chenalissant les écoulements et en favorisant l'incision du chenal d'étiage (Cl. Ph. Auclerc)

LES OUTILS DU DIAGNOSTIC

Les acquis des études hydrauliques par modélisation

La modélisation hydraulique réalisée par Hydratec sur la Loire moyenne [11] a permis, entre autre, par rapport à un état de référence, de définir les secteurs d'intervention et la nature des opérations de restauration du lit à entreprendre (☞ figure 6). Ce type d'étude a également été réalisé sur les départements de la Haute-Loire [10] et de la Loire [16].

Le Système d'Information sur l'Évolution du Lit

Le Système d'Information sur l'Évolution du Lit de la Loire et de ses affluents (SIEL) a été mis au point pour mesurer les transformations du lit et analyser les impacts des travaux de restauration et d'entretien. Il a été réalisé par le service de bassin Loire-Bretagne de la DIREN Centre, avec l'appui de l'Équipe pluridisciplinaire Plan Loire à partir de 1995, pour tenir compte de la complexité des situations et de l'étendue de la Loire et de ses affluents.

Le SIEL a depuis été progressivement développé autour de trois familles de données récentes :

- des relevés de ligne d'eau ;
- des relevés topographiques (principalement des profils en travers) ;
- des mosaïques de vues aériennes à l'étiage, de sections de la Loire ou de ses principaux affluents (☞ figure 1).

Ces dernières permettent d'établir :

- des cartes de situation : mosaïques aériennes restituées au 1/10.000 et revêtues d'éléments de repérage ;
- des cartes d'évolution : comparaison de deux images d'un même secteur à des années différentes (détection des zones de dépôt, d'érosion et de végétalisation) ;
- des cartes de morphologie : décomposition du lit en grandes unités fonctionnelles : chenal principal, chenaux secondaires en eau et hors d'eau à l'étiage, îles, francs bords ou bancs de sable... ;
- des cartes de végétation réalisées à partir de photo-interprétations et de reconnaissances de terrain sur la base d'une typologie spécifique au bassin ligérien.

Des données anciennes ont été également intégrées au système, à titre de référence :

- cartes du cours de la Loire au 1/20 000 éditées entre 1848 et 1854 ;
- orthophotographies de la vallée de la Loire de Nevers à Nantes réalisées dans les années 60.

Le SIEL, initialisé sur la Loire moyenne, est en cours d'extension sur le cours amont du fleuve et ses principaux affluents.

[10] HYDRATEC, 1996 - *Protections contre les inondations de la Loire en Haute-Loire - Étude de définition d'actions sur la Loire - Diagnostic et propositions*. DDE de la Haute-Loire ; 40 p. + fiches.

[11] HYDRATEC, 1998 - *Étude de la propagation des crues et des risques d'inondation en Loire moyenne : modélisation de la Loire moyenne. Étude réalisée pour l'Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature*, 23 p. + modèle mathématique.

[16] SOGREAH INGÉNIERIE & AQUASCOP, 1996 - *Étude géomorphologique de la Loire dans le département de la Loire - Caractéristiques et dynamique des milieux naturels - 3 Volets 3 + fiches + annexes*. Ministère de l'Environnement, département de la Loire, UNICEM.



Une étude préalable

Une étude détaillée conforme au “CCTP type d’état initial et de suivi du milieu biologique du lit de la Loire” [7] est nécessaire pour préciser les travaux de restauration ou d’entretien du lit à réaliser.

Dans une perspective d’efficacité opérationnelle, le but de cette étude est de définir les interventions à mener en fonction :

- de la nature et de l’ampleur des dysfonctionnements apparents (ceux qui ont déterminé le ou les objectifs à atteindre et le choix du secteur) ;
- des caractéristiques physiques et biologiques des sites ;
- de la fiabilité des données existantes utilisables ;
- des contraintes socio-économiques et paysagères.

En fonction des objectifs recherchés et compte tenu de l’état des lieux et des contraintes, cette étude préalable doit aboutir, au minimum, à la définition et à la localisation des objectifs et des interventions (☞ figures 7, 8 et 9).



Entre objectifs et contraintes : Une question d’équilibre

Un objectif favorable à l’un des compartiments de l’hydrosystème peut se trouver contrarié par une ou plusieurs contraintes à prendre en compte dans un autre. Ainsi, l’enlèvement systématique d’encombres, objectif destiné à réduire une zone de dépôt, peut se trouver en conflit avec le souhait de maintenir des habitats aquatiques...

L’éclaircie d’une saulaie ancienne sur une île, objectif hydraulique visant à améliorer les conditions d’écoulement en hautes eaux, doit se doubler d’un objectif écologique de régénération du boisement et de diversification des milieux...

Ces deux exemples montrent qu’il est nécessaire de lister et de hiérarchiser les objectifs et les contraintes selon les sites ou par grand secteur.

[7] Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature, 1998 - CCTP type d’état initial et de suivi du milieu biologique du lit de la Loire. DIREN Centre

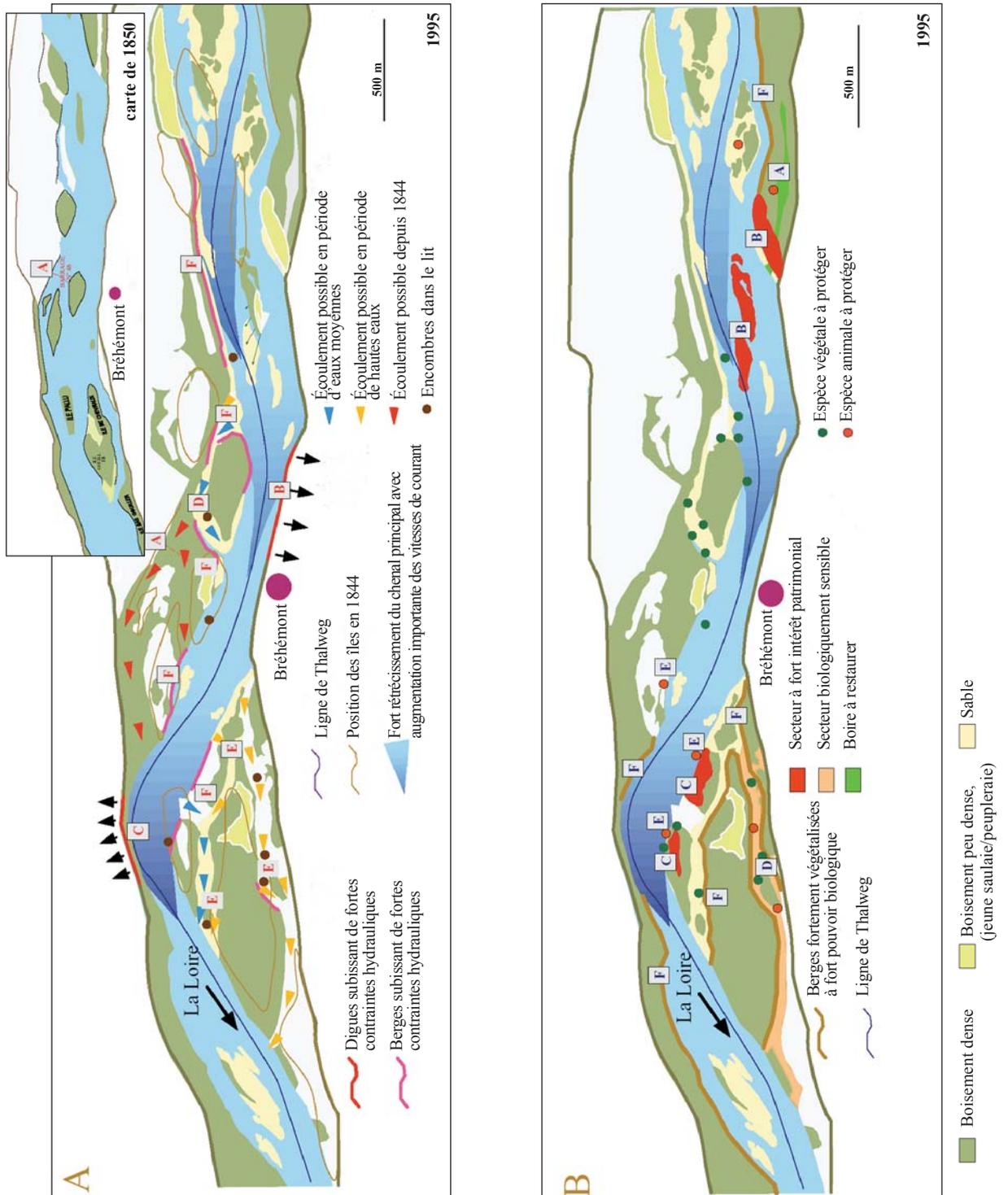


Fig 7: Carte de la situation du lit à Bréhémont en 1850, de l'état actuel (1995) et de la sensibilité du site (de Froberville, Bacchi, 1996)

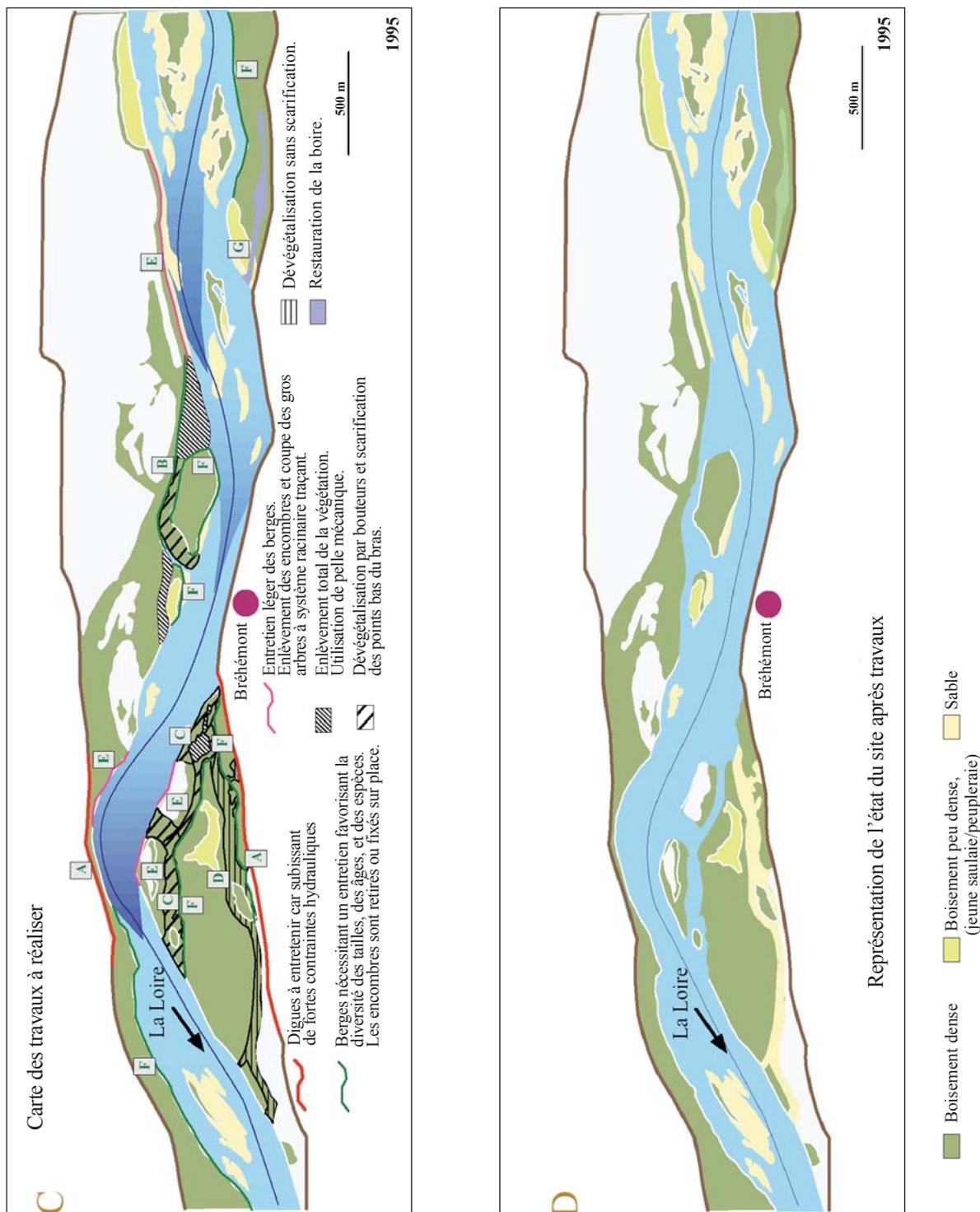


Fig. 8 : Carte des travaux à réaliser à Bréhémont (carte C) et représentation de l'état du site prévu après travaux (carte D) (de Froberville, Bacchi, 1996)

Cette étude peut être nourrie des investigations déjà effectuées :

■ Au plan général :

- cartes de végétation du SIEL (☞ figure 10) ;
- études ornithologiques [9] ;
- études écologiques, dont celles du programme “LIFE Loire-Nature” et celles relatives à la mise en place de NATURA 2000 ;
- inventaire des paysages remarquables (☞ figure 11).

■ Sur les sites de référence suivis sur la Loire :

- en Saône-et-Loire et Allier : Digoin ;
- dans la Nièvre et le Cher : bec d’Allier, La Charité-sur-Loire ;
- dans le Loiret : Ousson / Châtillon, Meung-sur-Loire / Beaugency ;
- en Indre-et-Loire : Saint-Genouph / Fondettes, Langeais / La Chapelle-aux-Naux, Bréhémont, Saint Patrice / l’Île Garaud, La Chapelle-sur-Loire ;
- en Maine-et-Loire : Montjean-sur-Loire, Saint Florent-le-Vieil ;
- en Loire-Atlantique : Oudon.



*Le site du chantier expérimental d’Oudon - Loire-Atlantique
Au premier plan, le bras mort réhabilité (Cl. F. Licoine)*

[9] FROCHOT B., ROCHE J. et al., 1993 - *Diversité et valeur patrimoniale des peuplements d’oiseaux nicheurs de la Loire sur l’ensemble du cours – De l’écologie à la conservation* - Université de Bourgogne, pour le ministère de l’Environnement.

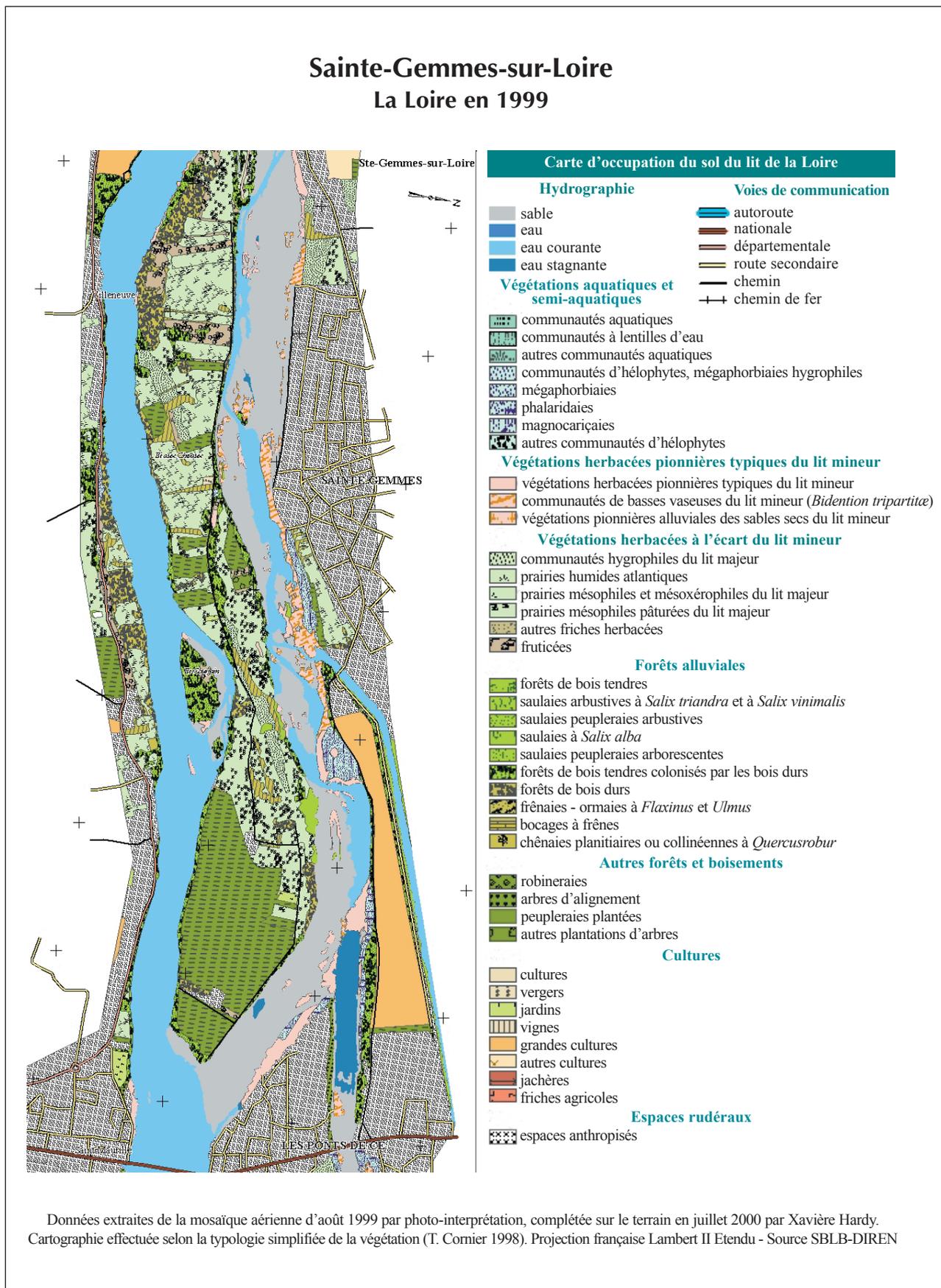


Fig. 10 : Exemple de carte de végétation dans le cadre du SIEL



Fig. 11 : Carte du territoire inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO au titre des paysages culturels (Extrait du fascicule "Le Val de Loire Patrimoine mondial de l'UNESCO")

Les indicateurs

Le choix des indicateurs

L'analyse d'un dysfonctionnement et la validité d'une action correctrice dépendent du choix des indicateurs. Il faut par exemple, pour la restauration d'une annexe hydraulique, tenir compte des potentialités de frayère existantes (en fonction des caractéristiques écologiques des sites) notamment pour la reproduction du brochet, considéré comme espèce "repère". Il est de façon générale important de prendre en compte un maximum de compartiments biologiques tels que la végétation, les amphibiens, les oiseaux et les insectes aquatiques, pour faire en sorte que l'action atteigne son optimum écologique, au bénéfice de la biodiversité de l'ensemble de l'hydrosystème.

Les indicateurs permettent de :

Diagnostiquer	<ul style="list-style-type: none"> ● caractériser le fonctionnement de l'hydrosystème ; ● identifier les dysfonctionnements ; ● apprécier la sensibilité du milieu.
Définir	<ul style="list-style-type: none"> ● définir une stratégie ; ● préciser les travaux de restauration ou d'entretien.
Évaluer	<ul style="list-style-type: none"> ● qualifier la performance ou les impacts des travaux ; ● apprécier l'évolution du milieu par rapport à un état de référence.

Reproductibilité des indicateurs

Quel que soit l'indicateur utilisé, il est essentiel de s'assurer de la reproductibilité de la méthode. Il s'agit, par exemple, d'accompagner chaque inventaire d'une fiche descriptive du biotope associé et de localiser très précisément les stations d'étude (par GPS et cartographie aux échelles convenables). Seule cette rigueur opérationnelle permettra d'éclairer le décideur et d'établir des comparaisons significatives dans l'espace ou dans le temps.

Les indicateurs du milieu physique

Le recueil et le suivi des paramètres physiques prépondérants : topographie/bathymétrie, lignes d'eau et morphologie, sont effectués par les services gestionnaires ou le service de bassin de la DIREN Centre dans le cadre du SIEL.

Outre l'étude de l'évolution physique du lit, ces données sont également nécessaires à l'analyse du fonctionnement de l'hydrosystème en servant de support aux indicateurs du milieu biologique.

■ Relevé de ligne d'eau

Des relevés de ligne d'eau à l'étiage sont effectués tous les ans par le service de bassin de la DIREN Centre. La date de cette campagne est choisie en fonction du débit afin de réaliser les mesures dans des conditions hydrologiques comparables d'une année sur l'autre. Des mesures sont également faites lors des crues, de l'amont vers l'aval, en suivant l'avancée du maximum (le pic de crue) ainsi que pour des débits intermédiaires. Les résultats des mesures ainsi que le descriptif du réseau sont stockés dans la base de données BDHE (Base de Données de Hauteurs d'Eau) développée par le service de bassin de la DIREN Centre et partie intégrante du SIEL. Des valeurs de débit peuvent y être associées à partir des données des stations de jaugeage.

Autant que faire se peut, tous les relevés de ligne d'eau réalisés par les services gestionnaires doivent s'inscrire dans le cadre de la BDHE.

■ Topographie et bathymétrie

La topographie et la bathymétrie du lit de la Loire (plan topographique, profils en travers et en long) doivent respecter le format de données RIVICAD* afin de pouvoir être intégrées ultérieurement dans la base de données BD Bathy-Topo du service de bassin de la DIREN Centre (partie intégrante du SIEL).

* RIVICAD : logiciel de topographie développé par les services du ministère de l'Équipement et certains de ses partenaires (ministère de l'Environnement, EDF, CNR, VNF, SOGREAH et CEMAGREF) issu de AUTOCAD, permettant de cartographier le lit des cours d'eau ; c'est là que sont stockées toutes les données sur la géométrie du lit en Loire moyenne. RIVICAD permet d'échanger de manière standard des données entre services pour l'hydraulique fluviale.

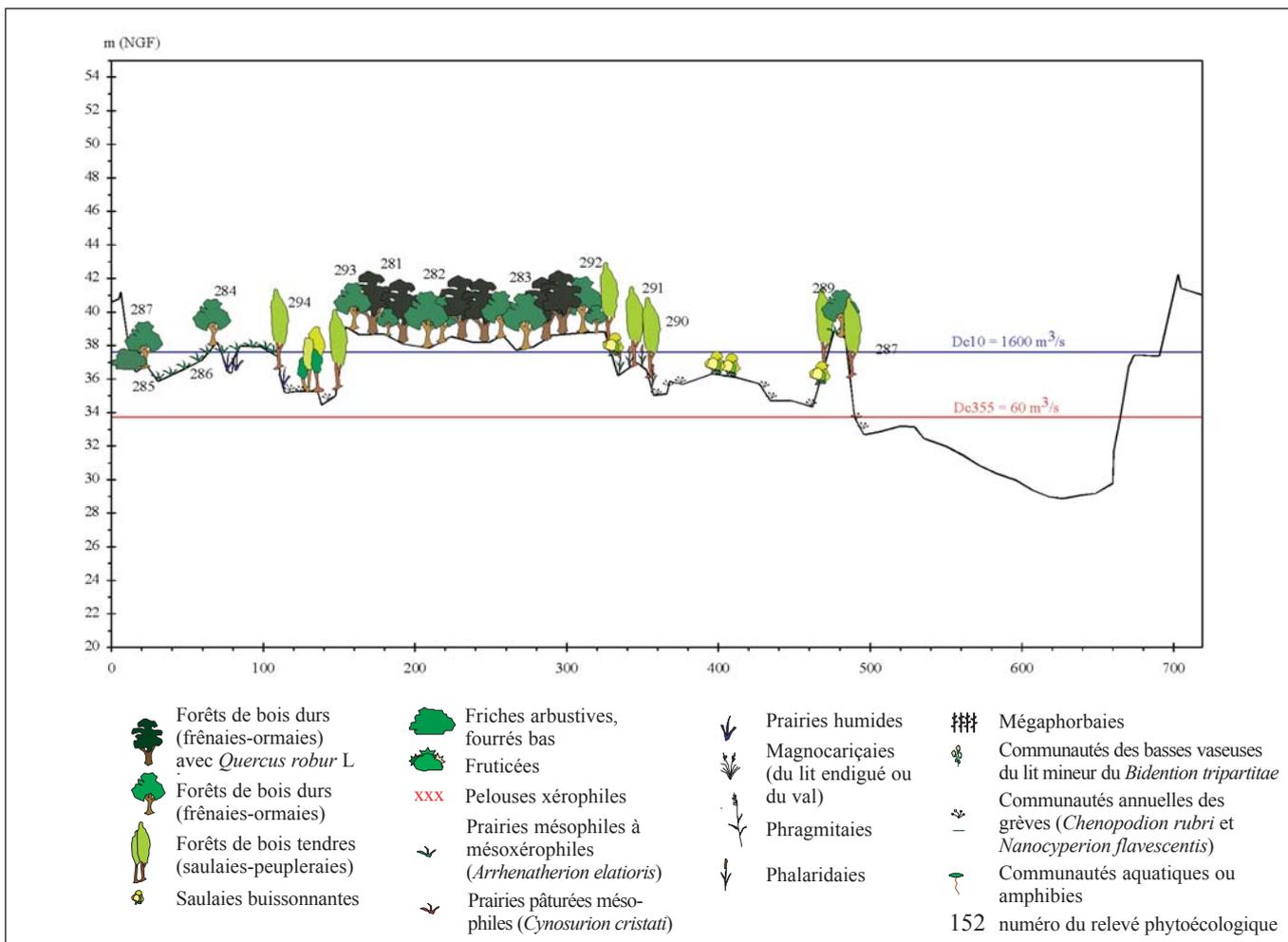


Fig. 12 : Transect de végétation réalisé sur le site de Bréhémont - communes de Bréhémont, Saint-Michel-sur-Loire, Saint-Patrice (Indre-et-Loire). Profil en travers topographique PK 217 localisé en 1995 (d'après Th. Cornier)

Les indicateurs du milieu biologique

■ La végétation

● Cartographie (☞ figure 10)

Une typologie simplifiée des communautés végétales du lit endigué de la Loire a été établie (44 faciès identifiés par T. Cornier [4]), à partir de laquelle peuvent être réalisées des cartes de végétation telles que celles du SIEL.

● Transects (☞ figure 12)

Il s'agit de profils en travers schématiques permettant de visualiser la structure des groupements végétaux en fonction des caractéristiques morphodynamiques du lit (topographie, lignes d'eau, débits...).

Dans la mesure où la structure de la végétation et les caractéristiques morphodynamiques interagissent, les transects doivent orienter les actions à entreprendre tant sur la végétation que sur le milieu physique (hydraulique, sédimentaire).

● Relevés phytosociologiques

Ces relevés qualitatifs et semi-quantitatifs des groupements végétaux permettent de mesurer l'évolution d'un milieu en fonction du temps.

Il est alors possible, par exemple, d'évaluer l'efficacité d'une opération de dévégétalisation en suivant la vitesse de recolonisation par la végétation du secteur concerné.

[4] CORNIER T., 1998 - Typologie simplifiée des communautés végétales du lit endigué de la Loire. DIREN Centre.



L'Anodonte est un mollusque bivalve inféodé aux zones calmes de la Loire (proximité des berges et des annexes)



*Theodoxus (Gastéropode)
Le Theodoxus est un gastéropode présent dans les zones courantes de la Loire où la granulométrie est importante*



*Caridine (Atuæphyra desmarestii)
La Caridine est une petite crevette d'eau douce très abondante dans les zones calmes du fleuve, en basse Loire*



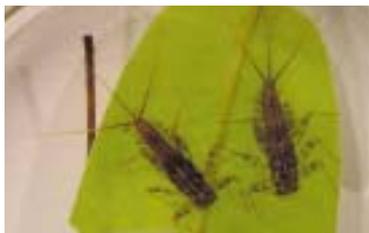
Les Gammares (Crustacés amphipodes) sont représentés par plusieurs espèces qui colonisent tous les milieux du fleuve (zone lotique de chenal, zone lenticule des rives et des annexes)



L'Ephoron (Ephoron virgo) est un Éphéméroptère abondant sur la Loire. La larve se développe pendant l'été, en zone de courant, dans le sédiment du fleuve



Les Émergences (passage au stade adulte) chez cette espèce d'éphéméroptère (Ephoron virgo) sont synchrones et donnent lieu à des phénomènes spectaculaires de "manne blanche"



Heptagenia flava est un Éphéméroptère dont les larves se rencontrent dans les faciès lenticules de la Loire



Stade larvaire d'un Odonate (Ophiogomphus cecillia) présent dans la faune de la Loire moyenne. Cette espèce est protégée au plan national et figure dans l'annexe II de la directive Habitat.



Stade larvaire d'un Plécoptère du genre Tæniopteryx, deux espèces sont présentes à la fin de l'hiver; le long des berges de la Loire

Fig. 13 : Quelques éléments représentatifs de la faune benthique ligérienne (DIREN Centre - SEMA)

■ Les invertébrés benthiques (☞ figure 13)

Plus ou moins fixés sur les fonds, ces invertébrés (mollusques, crustacés et larves aquatiques d'insectes) sont inféodés aux milieux qu'ils occupent et en sont donc révélateurs de l'état.

L'IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) est un indicateur normalisé utilisé depuis de nombreuses années pour apprécier la qualité biologique des petits et moyens cours d'eau. À partir de cette méthode a été développé un nouvel indice appelé IBGA (Indice Biologique Global Adapté aux grands cours d'eau). Cette nouvelle méthode est actuellement en phase de test sur les grands bassins français (Étude inter-agences de l'Eau).

Une autre approche de l'échantillonnage de la macrofaune benthique augmentant la diversité des milieux prospectés a également été développée sur la Loire dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature (Cf. C.C.T.P. type d'état initial et de suivi du milieu biologique du lit de la Loire [7]). En raison du caractère intégrateur des organismes étudiés et du protocole d'échantillonnage privilégiant différents couples substrat - vitesse, ces méthodes sont adaptées au suivi de l'impact des travaux et plus particulièrement à la problématique des milieux naturels de la Loire.

■ Les oiseaux (☞ figure 14)

L'inventaire des espèces d'oiseaux présentes sur la Loire, réalisé par Frochot et son équipe [9], constitue une base de connaissances très précieuse. Il est à noter que ces relevés initiaux de l'Université de Bourgogne ont été renouvelés sur les mêmes points d'écoute tous les cinq ans environ, constituant ainsi un suivi très pertinent des populations d'oiseaux.

Localement, ces données peuvent être complétées par des relevés utilisant la méthode des IPA (Indices Ponctuels d'Abondance), reconnue au niveau national. Les observations associées à cette méthode permettront une approche plus fonctionnelle en identifiant les zones d'étape (pour les migrateurs), les sites de nourriture et de nidification.

■ Les poissons

Les populations de poissons sont significatives de l'état fonctionnel du milieu et de l'intégrité des habitats aquatiques, de la qualité des habitats aquatiques.

À l'échelle du bassin de la Loire, l'évaluation des niveaux d'abondance et de la diversité des peuplements de poissons est réalisée dans le cadre du Réseau Hydrobiologique et Piscicole (RHP) par des campagnes annuelles d'échantillonnage par pêche électrique. Sur la Loire et la Vienne, ce réseau est complété par les stations de référence du suivi piscicole des centres nucléaires de production électrique.

Localement, compte tenu des moyens importants nécessaires aux inventaires piscicoles, les seuls paramètres échantillonnables de manière significative sont les habitats piscicoles.

■ Les espèces et les sites protégés (☞ figure 15)

Les espèces et les sites protégés, ou concernés par une réglementation (NATURA 2000, ZNIEFF, ZICO...) en raison de leur sensibilité et/ou de leur rareté, doivent être identifiés et cartographiés.

Ces données constituent des indicateurs de sensibilité des milieux fluviaux et sont autant de facteurs à prendre en compte pour définir les travaux.

[7] Équipe pluridisciplinaire plan Loire Grandeur Nature, 1998 - *CCTP type d'état initial et de suivi du milieu biologique du lit de la Loire*. DIREN Centre.

[9] FROCHOT B., ROCHE J. et al., 1993 - *Diversité et valeur patrimoniale des peuplements d'oiseaux nicheurs de la Loire sur l'ensemble du cours - De l'écologie à la conservation* - Université de Bourgogne, pour le ministère de l'Environnement.



Barge rousse

Sterne naine

Chevalier aboyeur
Chevalier Gambette

Mouette
Vanneau huppé

Sterne pierregarin

Martin-pêcheur

Chevalier Gambette

Chevalier guignette

Bergeronnette grise

Petit Gravelot



- Aigrette garzette*
- Grand Cormoran*
- Héron cendré*
- Canard colvert*
- Balbusard pêcheur*
- Goéland Leucopnée*

Fig. 14 : Quelques oiseaux de la Loire (Denis Chavigny)

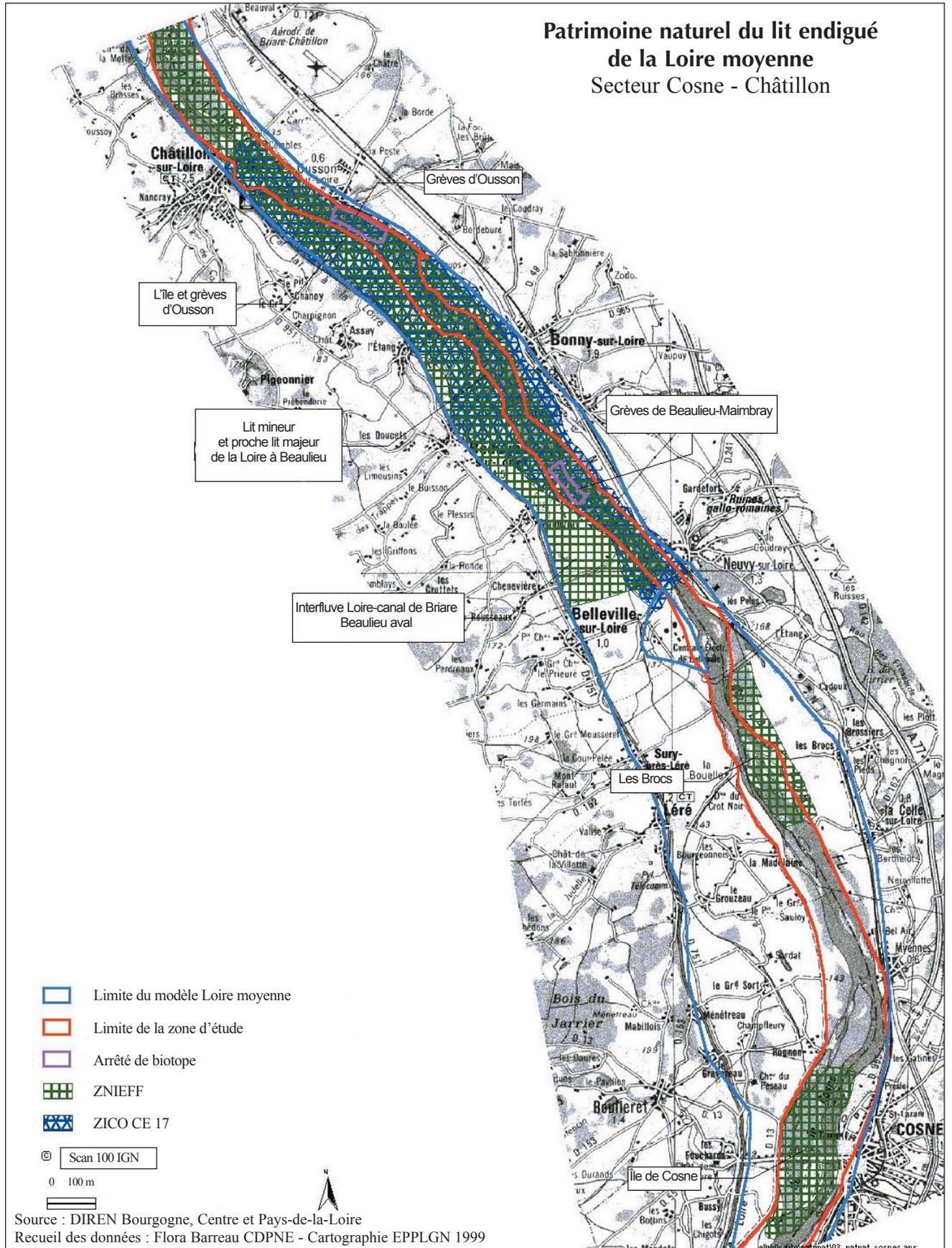


Fig. 15 : Carte de zones d'intérêt écologique reconnu (CDPNE, 1999)

LA DEFINITION DES TRAVAUX

Restauration ou entretien ?



Ne pas confondre :

- **Entretien** : désigne depuis le XIV^e siècle l'action de maintenir quelque chose en état, puis, par extension : les soins, les réparations... qu'exige cette action.
- **Restauration** : la restauration, appelée couramment "rattrapage d'entretien", consiste à favoriser le retour à l'état antérieur d'un écosystème dégradé, par abandon ou contrôle raisonné de l'action anthropique (E. Lefloch et J. Aronson, in colloque "Recréer la Nature", EGPN / Ministère de l'Environnement, 1994).

La restauration

La restauration dans le lit de la Loire et de ses principaux affluents est une opération souvent assez lourde car elle doit s'appuyer sur la dynamique des courants et le déplacement des sédiments pour favoriser leur remise en suspension et leur charriage. Elle aboutit à une meilleure répartition des eaux sur toute la largeur du lit.

Elle s'impose dans les zones où :

- la réduction de la section mouillée par les zones de dépôts et l'envahissement du lit par la végétation ligneuse élèvent localement le niveau de l'eau lors des crues ;
- l'enfoncement de la ligne d'eau peut déstabiliser le pied des levées ou d'autres ouvrages ;
- la chenalisation excessive du lit provoque une irrégularité de la répartition des courants, soit par l'augmentation des vitesses en entraînant l'incision du lit ou l'érosion des berges, soit par leur ralentissement en générant des atterrissements.

L'entretien

L'entretien est une action plus légère qui s'inscrit dans le temps, par des passages réguliers devant prolonger durablement les effets de la restauration. Cet entretien s'applique plus spécialement à la végétation et aux grèves. Il permet de lutter contre la stabilisation des sédiments, favorisant ainsi la dynamique fluviale.

Ces actions permettent ainsi de réguler le développement excessif de la végétation, source d'obstacles à l'écoulement des eaux et de banalisation des milieux naturels fluviaux.

Une nouvelle approche: la gestion patrimoniale

Depuis la fin des années 80, et plus particulièrement depuis la parution de la loi sur l'Eau de 1992, la plupart des services compétents s'attachent à mettre en œuvre sur les milieux aquatiques et les cours d'eau une démarche que l'on peut qualifier de "gestion patrimoniale" ou "gestion intégrée", en partenariat avec les agences de l'Eau.

Le terme "patrimonial" est employé dans le sens "d'intérêt général". C'est pourquoi, dans l'esprit de cette loi, cette démarche tend à intégrer la richesse biologique, la fonctionnalité des hydrosystèmes et la satisfaction des usages.

Il s'agit de favoriser le retour à un équilibre dynamique de l'hydrosystème, c'est-à-dire une véritable restauration des écosystèmes fluviaux.

Cela peut se traduire par les quelques principes suivants :

- **Amortir les effets de la dynamique fluviale sur les différentes unités du cours d'eau** : berges à pentes naturelles absorbant les submersions ; végétation plus transparente au passage des crues ; refuges nombreux pour la faune lors des hautes eaux ;
- **Permettre l'érosion naturelle des berges sur certains secteurs** soumis aux débits morphogènes (c'est-à-dire qui font et défont les formes fluviales), afin de maintenir l'équilibre débit solide - débit liquide du cours d'eau ;
- **Maîtriser la densité et le vieillissement des boisements**, pour éviter chutes et déracinements d'arbres, causes de loupes d'érosion et d'obstacles de bois mort (ou encombres). Cela limite ainsi l'élévation de la ligne d'eau en crue.
- **Maintenir un équilibre biologique "sol - racines - végétaux - faune associée"** favorable à la tenue mécanique des berges par les racines et aux échanges d'eau et de matière. Cet espace de transition (ou écotone) capte et épure fortement les pollutions, grâce notamment à la ripisylve.
- **Favoriser la diversité des âges, des espèces et des strates de la ripisylve** en agissant sur la succession d'espèces végétales adaptées aux différentes configurations du cours d'eau (saules, aunes, frênes, chênes...) et sur sa structure "verticale" qui s'organise en strates (herbacées, arbustives, arborescentes).
- **Préserver la faune associée au cours d'eau en agissant sur :**
 - la diversité des habitats aquatiques : herbiers aquatiques et semi aquatiques, les arbres et les arbustes enracinés dans les berges créant abris, supports et caches pour les invertébrés, les poissons et les amphibiens ;
 - la variété des strates végétales pour favoriser la nidification des oiseaux, les abris pour les mammifères, y compris dans l'eau (castor, loutre), les habitats pour les petits mammifères (chauves-souris, musaraignes...) et les insectes, proies des précédents ;
 - la régulation des végétaux exotiques envahissants (renouée, jussie, ailante, robinier faux acacia, érable negundo...) en maîtrisant leur biomasse, limitant ainsi les opérations d'entretien, l'étouffement de la végétation spontanée et la banalisation des milieux, source d'appauvrissement de la biodiversité.

Définition des interventions

Les travaux sont définis :

- selon la nature du lit ;
- selon le type de dysfonctionnement à traiter ;
- en considérant l'ensemble de l'hydrosystème et en recherchant son fonctionnement optimum ;
- en respectant les usages.

Définition des interventions selon la configuration du lit [8]

Le lit en tresse avec une ou plusieurs îles

Diagnostic et dysfonctionnements :

L'enfoncement du lit accentue la différence des écoulements entre les différents chenaux contournant les îles. Un bras principal se creuse, surélevant par contraste les autres bras qui s'ensablent plus facilement. La végétalisation des bancs de sable par les arbres et arbustes aggrave ce processus par obstruction des bras secondaires et rattachement des îles aux rives.

Intervention :

L'intervention consiste à lutter contre l'assèchement des bras en facilitant leur remise en eau par dévégétalisation et scarification du sommet des bancs de sable. L'objectif est de favoriser le déplacement des sédiments en aval dans le chenal principal. Ce type de restauration minimise les dépôts, du fait de leur charriage plus aisé par les crues fréquentes.

Le lit avec ouvrages

Diagnostic et dysfonctionnements :

Les ouvrages anciennement destinés à la navigation (chevrettes, dhuis, épis) et les restes de vieux ponts constituent des obstacles aux écoulements. Ils engendrent des dépôts susceptibles d'amasser des encombres, notamment lors des crues. La végétation qui s'y est implantée pose parfois un réel problème d'entretien, car elle est un facteur d'instabilité ou à l'inverse de maintien de l'ouvrage, selon les cas.

Intervention :

Plusieurs possibilités peuvent se conjuguer :

- nettoyage et dévégétalisation des dépôts ;
- modification éventuelle de l'ouvrage pour rééquilibrer les écoulements si une étude hydraulique et sédimentaire en a démontré la pertinence, comme celles réalisées sur Givry-Fourchambault (Nièvre), Ousson-sur-Loire, Châtillon-sur-Loire et Orléans (Loiret).

Les bras secondaires

Diagnostic et dysfonctionnements :

Ces sous-systèmes permettent de décharger le chenal principal d'une partie du débit lors des hautes eaux. En raison de l'enfoncement de la ligne d'eau, ils sont moins souvent connectés au lit principal, et de ce fait ne jouent plus leur rôle.

Intervention :

- Rétablir les connexions avec le lit principal et créer les conditions d'un auto-curage par dévégétalisation et scarification ;
- Suivre l'évolution des processus d'érosion et de sédimentation qui peuvent remettre en cause les travaux réalisés ;
- Agir avec précaution en raison notamment de la faune riche associée à ces milieux.

[8] Équipe pluridisciplinaire plan Loire Grandeur Nature, 1998.- "Restaurer et entretenir le lit de la Loire". Plaquette en couleurs, 6 volets.

Les boires ou bras morts

Diagnostic et dysfonctionnements :

Ces annexes hydrauliques, moins fréquemment connectées avec le lit principal, sont aussi affectées par l'abaissement de la ligne d'eau d'étiage. Ce sont principalement des zones de sédimentation de vases ou de limons. Elles sont particulièrement sensibles sur le plan écologique et sont le siège d'une forte biodiversité.

Intervention :

Pour rétablir une fonctionnalité équilibrée avec les autres sous-systèmes :

- caler les travaux selon le fonctionnement hydraulique du site (le plus souvent pour les débits dépassés de 5 à 6 mois par an);
- éviter les ouvertures systématiques;
- préférer des actions ponctuelles au bénéfice de tous les compartiments biologiques de l'hydrosystème avec un suivi pluriannuel.

Les îles

Diagnostic et dysfonctionnements :

L'abandon de ces territoires qui, dans le passé, faisaient souvent l'objet d'un pâturage extensif, génère des boisements naturels (saulaie, jusqu'à la chênaie) ou artificiels (peupleraie) qui sont source d'encombres.

Intervention :

- Essayer de maintenir ou réintroduire le pastoralisme sur ces îles;
- Rajeunir et entretenir les boisements pour éviter les encombres et les phénomènes d'érosion excessifs;
- Ne pas systématiser les interventions sur les îles, car bon nombre d'entre elles ne posent pas de problème et contribuent beaucoup à la biodiversité du lit.

Définition des interventions selon les types de dysfonctionnement

☞ tableaux A, B, C

Tableau A - Traiter les dysfonctionnements hydrauliques et sédimentaires

Objectif : Supprimer les obstacles à l'écoulement et favoriser l'expansion des hautes eaux pour réduire les risques de crue

Critère de décision : Importance des obstacles à éliminer et des enjeux situés à proximité

Origine du dysfonctionnement	Type de dysfonctionnement	Type d'action possible	Modalités opératoires et fiches du volet 2 du guide
Végétation	Végétation excessive	Dévégétalisation totale ou partielle	n° 3, 4, et 5
	Encombres	Enlèvement total ou partiel	n° 10
Sédimentation - Érosion	Atterrissements dans le lit (obstacle à l'écoulement)	Dévégétalisation et scarification éventuelle	n° 7
	Comblement des annexes hydrauliques (rehaussement de la ligne d'eau)	Rétablissement des connexions	n° 7 et 8
		Curage partiel sous réserve	
Ouvrages	Le corps de l'ouvrage fait obstacle	Modification de l'ouvrage (génie civil)	Études hydrauliques à mener préalablement à toute intervention
	La végétation sur l'ouvrage fait obstacle	Dégagement total ou partiel	n° 6

Tableau B - Traiter les dysfonctionnements sédimentaires

Objectif: Remettre les sables en mouvement pour arrêter l'enfoncement de la ligne d'eau d'étiage
Critères de décision: Morphologie du lit et nature des matériaux, stabilité des ouvrages et nature des courants

Origine du dysfonctionnement	Type de dysfonctionnement	Type d'action possible	Modalités opératoires et fiches du volet 2 du guide
Végétation	Fixation des atterrissements et des grèves par les végétaux	Dévégétalisation totale ou partielle	n° 3, 4, et 5
	Érosion des berges	Coupe des arbres instables	n° 1
	Érosion des îles	Régénération des peuplements ligneux vieillissants	Fiche "entretien des îles"
	Encombres créant des zones de dépôt	Enlèvement total ou partiel	n° 10
Sédimentation - Érosion	Atterrissements dans le lit	Scarification, si la dévégétalisation n'est pas suffisante pour mobiliser les sédiments	n° 7
	Instabilité des berges et des ouvrages	Confortement par Génie civil ou végétal	Étude à mener et fiche n° 9
		Entretien de la végétation	n° 2
	Colmatage des annexes hydrauliques	Rétablissement des connexions Curage partiel sous réserve Favoriser le curage naturel	n° 7 et 8

Tableau C - Traiter les dysfonctionnements écologiques

Objectif: Favoriser la diversité des habitats (donc la biodiversité) - Préserver les ripisylves
Critères de décision: Respect des équilibres et des fonctionnalités de l'écosystème - Prise en compte des sites protégés

Origine du dysfonctionnement	Type de dysfonctionnement	Type d'action possible	Modalités opératoires et fiches du volet 2 du guide
Végétation	Uniformisation - banalisation	Dégagement sélectif de la végétation pour retrouver un équilibre des strates	n° 11
	Densification Fermeture du milieu	Éclaircie - débroussaillage	
	Vieillessement des peuplements	Éclaircie - régénération	
Sédimentation - Érosion	Colmatage des habitats par la sédimentation	Reconstitution des habitats par curage doux	n° 8
		Reconstitution des habitats en rétablissant les conditions hydrauliques d'auto-curage (scarification)	n° 7 et 8
	Déstructuration des substrats par érosion	Fixation localisée d'encombres	n° 10
		Confortement de berges ou d'ouvrages par techniques végétales	n° 9
		Restitution de conditions hydrauliques favorables	n° 7 et 8

Opportunité et adaptation des interventions



Rappel!

La Loire est un hydrosystème fluvial, c'est-à-dire un système complexe physique et biologique (écosystème) dont il faut préserver les équilibres.

Toute action, quelle que soit sa nature (restauration ou entretien), doit donc être précédée d'une solide réflexion sur son intérêt, son efficacité et ses effets indirects.

L'opportunité d'une action s'apprécie en tenant compte de l'ensemble de ses impacts, positifs ou négatifs, sur le fonctionnement global du milieu naturel. Par exemple, la présence d'un encombre n'implique pas nécessairement son élimination : il s'agit d'estimer les risques hydrauliques liés à sa présence en fonction de sa situation sur le cours d'eau (☞ figure 16), en regard de son potentiel écologique, notamment en tant qu'habitat piscicole.

Une fois les objectifs principaux de l'opération définis ainsi que leur mode opératoire, il convient d'évaluer les incidences négatives possibles sur l'ensemble de l'hydrosystème et les usages afin d'adapter, en conséquence, les interventions, voire les objectifs.

Objectif / Intervention	Incidence potentielle	Action préventive ou correctrice
Ensemble des travaux de restauration ou d'entretien	Suppression d'habitats d'intérêt général	Identification et localisation précise des espèces à protéger (et piquetage des stations préalablement aux travaux, si nécessaire)
Amélioration des écoulements afin de diminuer le risque d'inondation	Augmentation du risque d'érosion du chenal et des berges sur le secteur d'intervention et au-delà	Modélisation hydraulique pour apprécier le risque et étude de différents scénarios d'aménagement; phasage des travaux sur plusieurs années pour apprécier l'évolution du lit et adapter les travaux au fur et à mesure
Nettoyage d'une berge afin d'éliminer une espèce envahissante (la renouée du Japon par exemple)	Érosion de la berge en l'absence de la protection d'un couvert végétal	Végétalisation adaptée de la berge, voire protection par géotextile biodégradable
Modification d'un ouvrage ou des écoulements entre les différents chenaux du lit	Perturbation des conditions de navigation, de libre circulation piscicole ou modification des conditions d'accès à un site	Information des usagers et concertation préalable à la définition de travaux; modification du niveau d'objectif

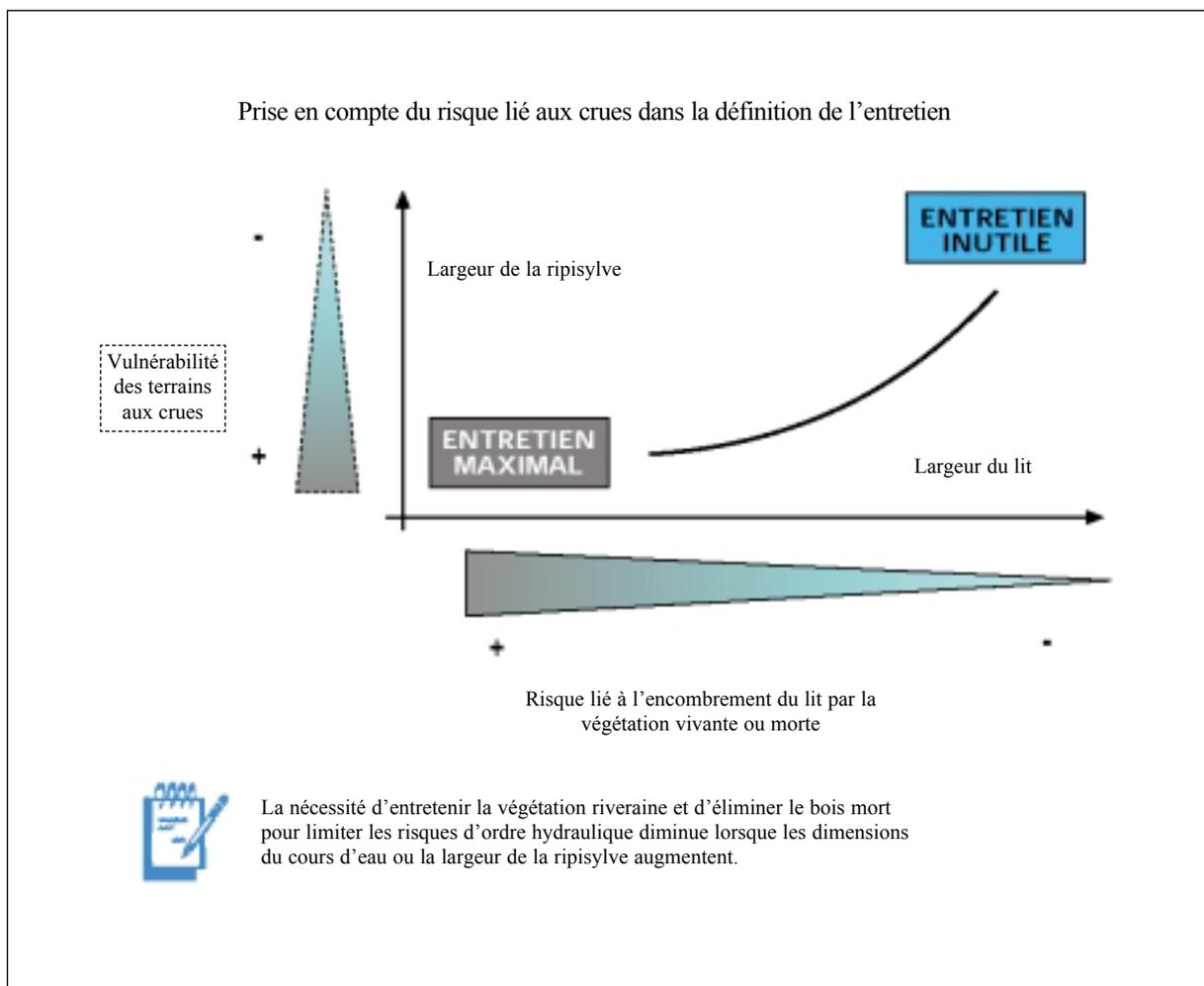
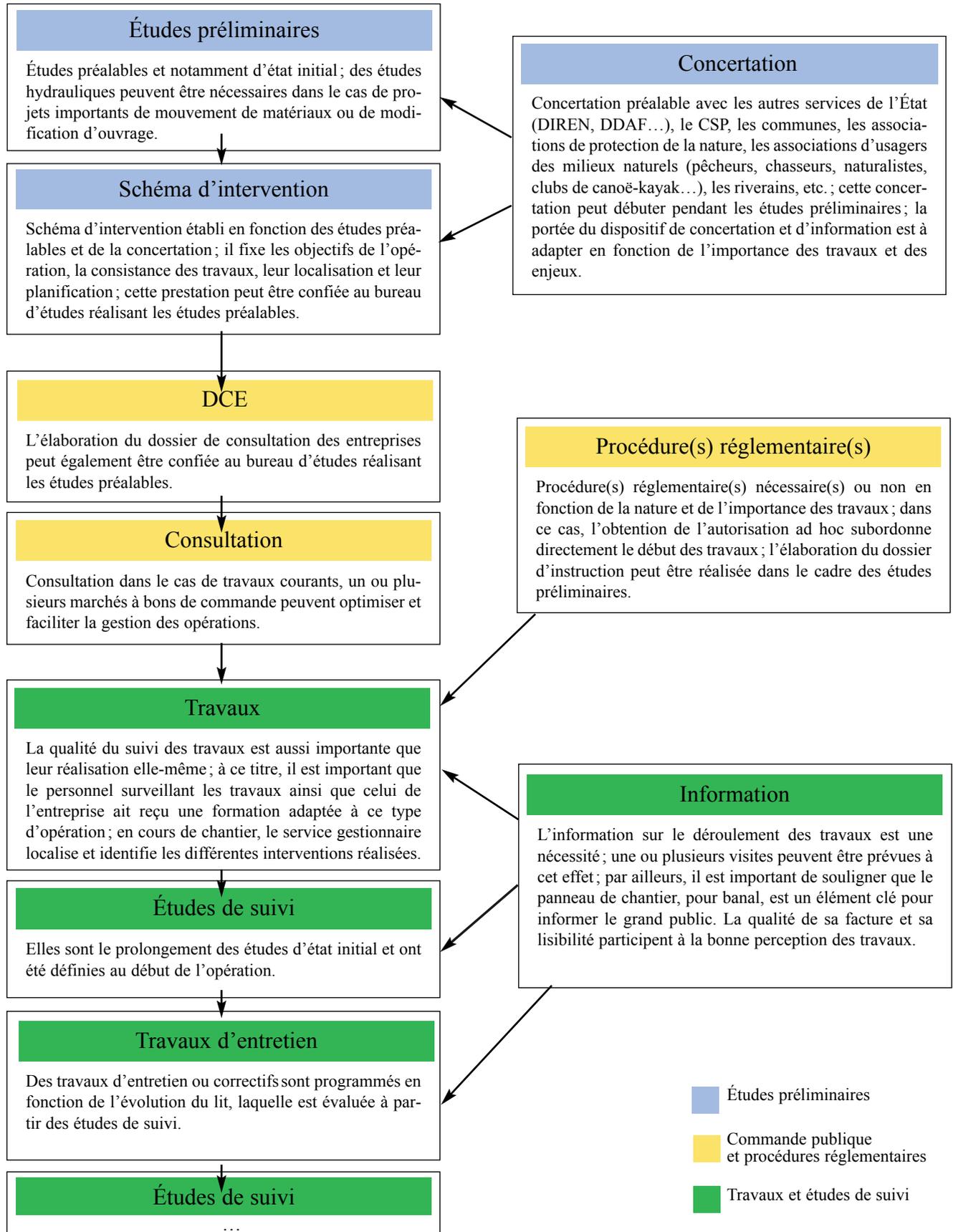


Fig. 16 : Diagramme de prise en compte du risque lié aux crues dans la définition de l'entretien (d'après guide technique n° 1 - SDAGE RMC "La gestion des boisements de rivières" - fascicule n° 1 - page 28)

Planification de l'opération

☞ Exemple de planning pour une opération de restauration du lit

Les grandes étapes d'une opération de restauration



Calage de la période des travaux

La programmation d'une opération de restauration ou d'entretien du lit est subordonnée aux cycles naturels et à la saisonnalité des usages au droit du site.

Les principaux facteurs à considérer sont :

● L'hydrologie

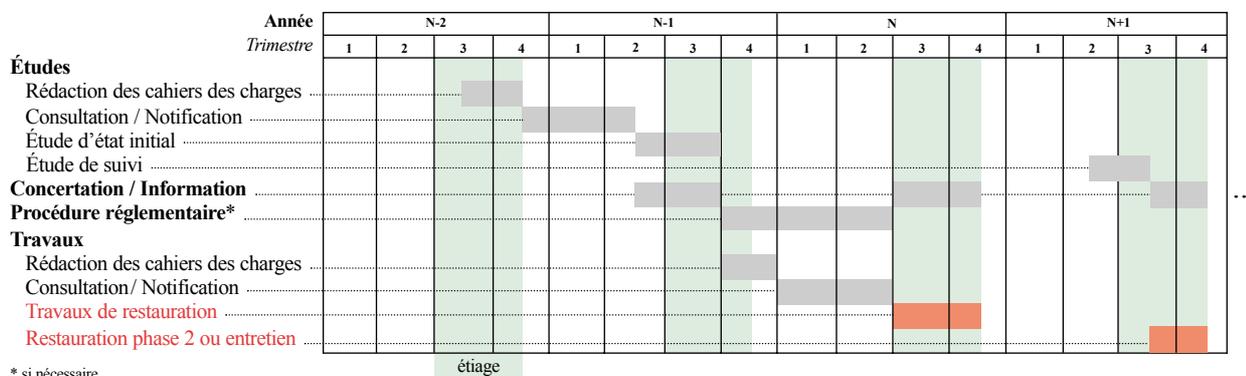
Tant pour l'accessibilité au secteur d'intervention que pour l'efficacité de l'opération et les conditions de sécurité du personnel et du matériel, beaucoup de travaux ne sont en général possibles que pendant l'étiage, situé entre les mois de juin et d'octobre.

● Les rythmes saisonniers des communautés vivantes

Les perturbations induites par les travaux sur les cycles naturels doivent être minimisées. En particulier, toute intervention devrait avoir lieu en dehors des périodes liées à la migration et à la reproduction des espèces : périodes de nidification (par exemple, la période de nidification des sternes sur les grèves sableuses de la Loire moyenne prend fin début août), de frai, de floraison... Les travaux doivent également accompagner le développement de la végétation : par exemple, la coupe des arbres est réalisée de septembre à début mars hors de la période végétative (cf. fiche n° 11 du guide - volet 2).

● Les usages

Au moment de la programmation des travaux, le service gestionnaire doit tenir compte des pratiques courantes (pêche, chasse, promenade...) et saisonnières (navigation de loisir, proximité d'un camping, événements touristiques...) liées au cours d'eau. Des mesures préventives ou compensatoires peuvent être à envisager, en particulier lorsque la période d'intervention coïncide avec la saison estivale : signalisation fluviale des travaux pour les randonneurs en canoës, arrosage des chemins ou des pistes d'accès afin de minimiser les projections de poussière lorsque des engins de chantier circulent à proximité d'une installation touristique (camping, restaurant...), etc.



Exemple de planning pour une opération de restauration du lit

Des partenaires techniques et financiers

- Conseil régional et Conseil général
- DIREN de bassin et DIREN régionale
- Mission Inter Services de l'Eau
- Conseil Supérieur de la Pêche et Fédérations des AAPPMA
- Communes
- Associations



Restauration de la frayère de la boire de Bois-Chétif - Indre-et-Loire (Cl. Ph. Auclerc)

LE SUIVI DANS LE TEMPS

Il est important de conserver la mémoire des actions réalisées, puis d'assurer une veille sur les compartiments physiques et biologiques du site concerné afin de pérenniser dans le temps le bénéfice des travaux entrepris.

L'évaluation des effets d'une intervention nécessite de répondre à certaines questions préalables :

- Quels sont les objectifs qui ont déterminé le choix des travaux ?
- Ces objectifs sont-ils atteints en totalité ou en partie ?
- Les travaux ont-ils entraîné des effets indésirables ou contraires aux objectifs ?
- Ces objectifs sont-ils durablement atteints (plusieurs années après les travaux) ?

Il s'agit donc de prendre la mesure des résultats des actions d'entretien ou de restauration pour :

- Évaluer l'efficacité du travail effectué par rapport aux objectifs souhaités (analyse coût / résultats, évaluation environnementale...);
- Programmer, s'il y a lieu, les travaux ultérieurs d'entretien ou correctifs;
- Faire évoluer, si nécessaire, les méthodes et les modes opératoires applicables sur le milieu ligérien.

Établir un tableau de bord

Le suivi dans le temps est réalisé dans le but de prolonger l'efficacité des opérations d'entretien ou de restauration. Dans cette perspective, il importe qu'un tableau de bord de l'opération soit établi dès que la décision d'engager une intervention est prise.

Des fiches de suivi de l'opération pourront alors être constituées à partir des modèles joints en annexe (SAGE, 1998 [15], annexe 1).

Des outils de mesure : les indicateurs

Choix des indicateurs

La mise en place du programme de suivi passe par la sélection de quelques indicateurs pertinents.

C'est dans le cadre de l'étude préalable (état initial) que sont choisis les différents descripteurs du milieu qui seront utilisés pour caractériser le site avant travaux. Ces indicateurs doivent, autant que possible, être réutilisés selon les mêmes méthodes pour les suivis ultérieurs.

Leur choix doit répondre à une exigence d'efficacité. Il faut ainsi privilégier les investigations permettant :

- de juger efficacement des effets des travaux par rapport aux objectifs attendus ;
- d'orienter en conséquence les travaux ultérieurs.

Les indicateurs doivent fournir des éléments aussi quantitatifs que possible, permettant d'apprécier l'évolution des différents compartiments du milieu au cours du temps.

[15] SA Gestion de l'environnement, 1998 - Évaluation des travaux de restauration et d'entretien du lit de la Loire et de l'Allier. Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature, 30 p. + annexes + fiches informatisées.

Ils sont :

- ciblés sur les compartiments du milieu les plus sensibles ;
- quantitatifs ou semi-quantitatifs ;
- reproductibles, en reposant sur une méthode et une pratique clairement définies et si possible normalisées. Ces indicateurs sont exposés au chapitre “*Les outils du diagnostic*” et développés pour la partie biologique dans le “*C.C.T.P. type d'état initial et de suivi du milieu biologique du lit de la Loire*” [7].



Du pas de temps de suivi

Les indicateurs et leur pas de temps de suivi respectif sont à définir avec les experts intervenant dans le cadre de l'étude d'état initial, en fonction de la dynamique locale d'évolution du lit et des objectifs d'intervention recherchés par les gestionnaires.

Par la suite, en fonction des évolutions constatées, un programme de suivi allégé, réduit à un nombre limité d'indicateurs et plus espacé dans le temps, peut éventuellement être suffisant.

Exemples

- Rigoureusement localisés et calés sur le site, les transects de végétation, avant et après travaux, traduisent l'évolution dynamique des communautés végétales. Ces relevés constituent un indicateur semi-quantitatif permettant d'orienter les décisions d'intervention et de diagnostiquer l'évolution dynamique du milieu.
- Dans une annexe hydraulique, sur un secteur de berge rigoureusement localisé, des relevés d'invertébrés benthiques réalisés selon la même méthode (IBGN ou IBG adapté à la Loire), la même saison et dans des conditions hydrauliques comparables, permettent de mesurer l'impact d'une intervention sur les habitats aquatiques ou hydrobiologiques (des encombres, par exemple).

Capitalisation des données

Les données recueillies dans le cadre du Système d'Information sur l'Évolution du Lit de la Loire et de ses affluents (SIEL) - relevés de ligne d'eau, relevés topographiques, prises de vue aériennes, cartes de la végétation... - procèdent de méthodes rigoureuses et peuvent être actualisées à l'échelle de chaque site ou transposées de manière plus large au niveau du bassin.

Cette démarche de standardisation et de capitalisation doit être également appliquée à l'ensemble des données collectées dans le cadre des études initiales et de suivi (cf. tableau de bord).

[7] Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature, 1998 - CCTP type d'état initial et de suivi du milieu biologique du lit de la Loire. DIREN Centre.

Des retours d'expériences

Certains secteurs complexes sensibles, ou nécessitant des interventions lourdes, ont été retenus comme sites de référence. Ils doivent donc faire l'objet de suivis approfondis pour permettre un retour d'expérience.

- en Saône-et-Loire et Allier : Digoin ;
- dans la Nièvre et le Cher : bec d'Allier, La Charité-sur-Loire ;
- dans le Loiret : Ousson / Châtillon, Meung-sur-Loire / Beaugency ;
- en Indre-et-Loire : Saint-Genouph / Fondettes, Langeais / La Chapelle-aux-Naux, Bréhémont, Saint Patrice / l'Île Garaud, La Chapelle-sur-Loire ;
- en Maine-et-Loire : Montjean-sur-Loire, Saint Florent-le-Vieil ;
- en Loire-Atlantique : Oudon.



Restauration, entretien et développement durable

- Les notions de maintenance et d'optimisation des investissements, employées naturellement pour les équipements d'infrastructures, doivent également s'appliquer aux opérations de restauration et d'entretien du lit de la Loire.
- Il faut inscrire les actions d'entretien dans la durée : dans certains cas, en raison de l'extrême réactivité du milieu (exemple : boires ou bras morts), voire de l'incertitude sur les résultats des travaux, il convient de fractionner les interventions en les espaçant dans le temps (programmation pluriannuelle). Leur adaptation en fonction de l'évolution du milieu est réalisée dans le cadre des études de suivi.

TABLE DES FIGURES

- Figure 1** : Évolution du lit de la Loire à La Charité-sur-Loire entre 1995 et 1997 (SIEL, DIREN Centre) p 4
- Figure 2** : L'hydrosystème de la Loire moyenne (Bacchi et Berton, 1998) p 8
- Figure 3** : L'évolution du lit de 1750 à nos jours (d'après Bacchi et Berton, 1998) p 12
- Figure 4** : Exemple de dysfonctionnements d'origine hydraulique et sédimentaire p 14
- Figure 5** : Exemple de dysfonctionnements d'origine végétale p 16
- Figure 6** : Extrait de la plaquette "*Restaurer et entretenir le lit de la Loire*" de l'Équipe pluridisciplinaire Plan Loire (1999) d'après les résultats du modèle Hydratec (1998) p 20
- Figure 7** : Carte de la situation du lit à Bréhémont en 1850, de l'état actuel (1995) et de la sensibilité du site (de Froberville, Bacchi, 1996) p 22
- Figure 8** : Carte des travaux à réaliser à Bréhémont et état prévu du site après travaux (de Froberville, Bacchi, 1996) p 23
- Figure 9** : Exemple de carte d'objectifs et d'entretiens sectorisés (d'après le guide technique n° 1 - SDAGE RMC "*La gestion des boisements des rivières*" - fascicule n° 2 - page 27) p 24
- Figure 10** : Exemple de carte de végétation dans le cadre du SIEL p 26
- Figure 11** : Carte du territoire inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO au titre des paysages culturels (extrait du fascicule "*Le Val de Loire Patrimoine Mondial de l'UNESCO*") p 27
- Figure 12** : Transect de végétation sur la Loire tourangelle (d'après Cornier, 1998) p 29
- Figure 13** : Quelques éléments représentatifs de la faune benthique ligérienne (DIREN Centre - SEMA) p 30
- Figure 14** : Quelques oiseaux de la Loire (D. Chavigny) pp 32 - 33
- Figure 15** : Carte de zones d'intérêt écologique reconnu (CDPNE, 1999) p 34
- Figure 16** : Diagramme de prise en compte du risque lié aux crues dans la définition de l'entretien (d'après guide technique n° 1 - SDAGE RMC "*La gestion des boisements de rivières*" - fascicule n° 1 - page 28) p 41

GLOSSAIRE

On peut également se reporter utilement au glossaire du guide volet 2.

- A -

Aléa : l'aléa est initialement défini comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel. Toutefois, on adopte usuellement une définition élargie qui intègre l'intensité des phénomènes : hauteurs et durées de submersion, vitesses d'écoulement... (inspiré du guide méthodologique d'élaboration des plans de prévention des risques d'inondation, MATE et METL, 1999).

Amphihalins : qualifie les animaux aquatiques dont le cycle biologique impose des migrations entre l'eau douce et l'eau salée, par exemple les poissons tels que le saumon, l'anguille ou la grande alose.

Annexe hydraulique (appelé aussi "milieu péri fluvial") : sous-ensemble de l'hydrosystème, adjacent au lit principal et connecté avec celui-ci seulement une partie de l'année, pour certaines conditions hydrauliques. Ces annexes sont, selon leur configuration et leur mode d'alimentation, des bras secondaires ou des bras morts (appelés boires sur la Loire).

Avifaune : ensemble des oiseaux.

- B -

Banalisation écologique ou paysagère : évolution du milieu naturel ou du paysage qui aboutit à le simplifier et l'uniformiser au détriment de la diversité. La banalisation porte atteinte à la biodiversité. Par exemple, un sous-bois de saulaie blanche entièrement couvert par des orties à cause de l'eutrophisation de l'eau.

Benthique : du fond des lacs ou des cours d'eau.

Biocénose : ensemble des communautés vivantes (d'organismes) qui vivent dans les mêmes conditions de milieu et dans un espace donné (voir habitat).

Biodiversité : caractérise la diversité des milieux vivants (des habitats) et des espèces associées. La biodiversité constitue la richesse écologique d'un territoire.

Biomasse : masse totale des organismes vivants existant dans un écosystème par unité de volume ou de surface.

Boires ou bras morts : annexes hydrauliques déconnectées du lit principal par l'aval et/ou l'amont. Sur le plan hydraulique, ce type d'annexe ne participe à l'écoulement des eaux qu'en période de débit moyen ou de crue, reçoit fréquemment les eaux d'un affluent ou est alimenté par la nappe alluviale.

Bras secondaire : annexe hydraulique où transite environ moins d'un tiers du débit (en eau une grande partie ou toute l'année).

- C -

Chevette : ouvrage de navigation (petite digue submersible) édifié dans le lit mineur, parallèlement ou obliquement à l'écoulement. Il est en général ancré en berge.

Colonisation : phénomène par lequel des populations animales ou végétales s'implantent (ou se réimplantent) spontanément dans un milieu.

- D -

Descripteur : variable ou ensemble de variables permettant de fournir des indications sur la qualité ou l'état d'un écosystème ; par exemple, les espèces d'invertébrés benthiques sont les descripteurs des milieux aquatiques. Le des-

cripteur est souvent considéré comme une des variables de l'indicateur biologique ; par exemple, les invertébrés benthiques sont des descripteurs de l'indicateur "hydrobiologie".

Dhuis : ouvrage de navigation (petite digue submersible) édifié dans le lit mineur, parallèlement à l'écoulement ; variante de "chevrette".

- E -

Écosystème : ensemble biocénose et biotope - ou habitat - formant un système régi par des échanges physiques, chimiques et biologiques.

Encombres : amas de matériaux (bois, obstacles divers, gros déchets...) qui encombrant le lit et font obstacle à l'écoulement des eaux. Termes proches : embâcles, encombrants, obstacles de bois mort.

Épi : ouvrage édifié dans le lit à partir d'un ancrage en berge, en général perpendiculairement ou presque à l'écoulement, pour fixer la forme de son lit.

Espèce envahissante : espèce végétale ou animale exotique qui devient envahissante dans un milieu dont elle n'est pas native, en dominant ou remplaçant un habitat naturel préexistant.

- F -

Fonctionnalité écologique : caractérise l'ensemble des fonctions vitales qu'un territoire donné peut offrir aux organismes vivants (pour le nourrissage, le repos, la reproduction, les couloirs de migration...).

Franc bord : partie de la rive d'un cours d'eau située entre la ligne d'eau d'étiage et le *plenissimum flumen* (limite du domaine public fluvial). En Loire moyenne et aval, ces terrains sont dans le lit endigué du fleuve.

- G -

GPS (Global Positioning System) : système de positionnement par satellites en temps réel.

- H -

Habitat : espace dans lequel vit normalement une communauté, une espèce ou un individu ; synonyme de biotope.

Hélophyte : plante herbacée semi-aquatique, vivant dans les zones humides, c'est-à-dire subissant chaque année l'alternance entre immersion et émergence, disposant de racines souvent submergées et de tiges aériennes, parfois émergées pendant les mois secs. Exemples : roseaux, joncs, laïches (*Carex*), baldingère faux roseau ou phalaris, massettes...

Hydrophyte : plante aquatique, vivant dans l'eau, dont l'appareil végétal (racines, tiges et feuilles) est soit entièrement submergé, soit flottant ; exemples : nénuphars, myriophylles, élodées, jussies, renoncules aquatiques...

Hydrosystème : ensemble des biotopes et biocénoses liés à la présence d'un cours d'eau ou d'une nappe aquifère.

- I -

IBGN (Indice Biologique Global Normalisé, AFNOR, 1992) : indice biologique basé sur des relevés d'invertébrés benthiques, permettant d'évaluer la qualité de l'eau.

Indicateur physique, chimique ou biologique : compartiment du milieu physique ou biologique permettant de caractériser ce milieu qualitativement ou quantitativement.

Invertébrés benthiques : larves aquatiques d'invertébrés (insectes, mollusques, crustacés...) qui vivent sur les substrats constituant le fond du cours d'eau.

IPA (Indice Ponctuel d'Abondance) : indice biologique, basé sur l'identification des oiseaux nicheurs selon une méthode d'écoute, permettant d'évaluer la capacité d'accueil et la richesse d'un territoire donné.

- L -

Ligne d'eau : cote de l'eau pour un certain débit; exemple : ligne d'eau d'étiage, de crue...

Lit endigué : partie du lit majeur située entre les levées.

Lit ou chenal principal : section du fleuve, en eau toute l'année, où transite plus des deux tiers du débit.

- M -

Morphodynamique : ensemble des paramètres physiques décrivant l'évolution dynamique des formes du lit (la morphologie) et des mouvements sédimentaires en fonction des caractéristiques hydrauliques d'un secteur du cours d'eau.

- P -

Patrimonial : désigne l'intérêt d'un milieu, d'un habitat ou d'une espèce vivante en raison de sa rareté, de sa fonction ou de la place qu'il occupe dans l'écosystème; exemple : les sternes ou le castor.

- R -

Restauration : la restauration consiste à favoriser le retour à l'état antérieur d'un écosystème dégradé, par abandon ou contrôle raisonné de l'action anthropique (E. Lefloch et J. Aronson, in colloque "Recréer la Nature", EGPN/Ministère de l'Environnement, 1994). La restauration est aussi appelée "rattrapage d'entretien".

Ripisylve : forêt bordant les cours d'eau; terme proche de forêt alluviale.

- S -

Scarification : décompactage mécanique des sédiments.

SIEL : Système d'Information sur l'Évolution du lit de la Loire et de ses affluents.

Stratification végétale : agencement vertical des différents peuplements végétaux les uns par rapport aux autres (strates herbacées, arbustive, arborescente).

Succession végétale : évolution des différentes communautés végétales dans l'espace et dans le temps.

- T -

Taxon : unité de classification des êtres vivants que l'on ne peut pas identifier précisément en famille, genre ou espèce, par exemple pour les invertébrés benthiques.

Transect : relevé sur un profil en travers du lit. Par exemple, les transects de végétation permettent de visualiser les successions végétales, depuis le niveau de l'eau jusqu'aux rives, c'est-à-dire du lit mineur au lit majeur.

- V -

Végétalisation : action de mettre en végétation, ou colonisation spontanée d'un espace par de la végétation, par exemple sur les grèves de Loire.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **BACCHI M., BERTON J.-P.**, 1997.- *Guide méthodologique d'entretien du lit de la Loire - 2^{ème} partie*. DIREN Centre, classeur de 105 p. avec fiches et cartes.
- [2] **BOYER M.**, 1996.- *Définition d'un programme de restauration et entretien de la ripisylve de la Loire entre Vorey et Aurec*. Rapport et fiches d'entretien, pour la DDE de la Haute-Loire.
- [3] **Conservatoire régional des rives de la Loire et de ses affluents**, 2001.- *Etude des îles de la Loire entre Orléans et Nantes*. DIREN Centre.
- [4] **CORNIER T.**, 1998.- *Typologie simplifiée des communautés végétales du lit endigué de la Loire*. DIREN Centre.
- [5] **CORNIER T.**, 2002.- *La végétation alluviale de la Loire entre le Charolais et l'Anjou*: essai de modélisation de l'hydro-système. Thèse de doctorat, Université de Tours, 227 p. + annexes.
- [6] **EPTEAU, HORIZONS**, 1996.- *Étude de la Loire entre Villerest et le Bec d'Allier*: document de synthèse. DIREN Centre (Service de Bassin Loire-Bretagne), 40 p. + annexes.
- [7] **Équipe pluridisciplinaire plan Loire Grandeur Nature**, 1998.- *CCTP type d'état initial et de suivi du milieu biologique du lit de la Loire*. DIREN Centre.
- [8] **Équipe pluridisciplinaire plan Loire Grandeur Nature**, 1998.- "Restaurer et entretenir le lit de la Loire". Plaquette en couleurs, 6 volets.
- [9] **FROCHOT B., ROCHE J. et al.**, 1993.- *Diversité et valeur patrimoniale des peuplements d'oiseaux nicheurs de la Loire sur l'ensemble du cours – De l'écologie à la conservation* - Université de Bourgogne, pour le ministère de l'environnement.
- [10] **HYDRATEC**, 1996.- *Protections contre les inondations de la Loire en Haute-Loire - Étude de définition d'actions sur la Loire - Diagnostic et propositions*. DDE de la Haute-Loire; 40 p. + fiches.
- [11] **HYDRATEC**, 1998.- *Étude de la propagation des crues et des risques d'inondation en Loire moyenne*: modélisation de la Loire moyenne. Étude réalisée pour l'Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature, 23 p. + modèle mathématique.
- [12] **HYDRATEC**, 2001.- *Étude globale de gestion des crises hydrologiques et de restauration environnementale du haut bassin de la Loire*. EPALA, Programme Interrégional Loire Grandeur Nature.
- [13] **MAZAS**, 1999.- *Typologie paysagère de la vallée de la Loire*. DIREN Centre.
- [14] **PIREN Rhône**, 1982.- *Cartographie polythématique appliquée à la gestion écologique des eaux*. Étude d'un hydrosystème fluvial: le Haut Rhône français. Ouvrage collectif. Ed. du CNRS-Lyon, 113 p.
- [15] **SA Gestion de l'environnement.**, 1998.- *Évaluation des travaux de restauration et d'entretien du lit de la Loire et de l'Allier*. Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature, 30 p. + annexes + fiches informatisées.
- [16] **SOGREAH INGÉNIERIE & AQUASCOP**, 1996.- *Étude géomorphologique de la Loire dans le département de la Loire* - Caractéristiques et dynamique des milieux naturels – 3 Volets 3 + fiches + annexes. Ministère de l'Environnement, département de la Loire, UNICEM.

ANNEXES

- 1 - Fiche de recueil des données pour l'évaluation des travaux de restauration et d'entretien du lit *p 54***
- 2 - Légende à utiliser pour les cartes de localisation des travaux *p 61***
- 3 - C.C.T.P. type d'état initial et de suivi du milieu biologique du lit de la Loire *p 62***

Annexe 1 - Fiche de recueil des données pour l'évaluation des travaux de restauration et d'entretien du lit [15]

Localisation

Cours d'eau	Intitulé de la section de cours d'eau (Lieux-dits, communes)	Linéaire (km)
Allier Loire (1)		

Programmation des travaux

Objectifs des travaux

(*)

Réduire les risques d'inondations des zones urbanisées	
Arrêter l'enfoncement du lit	
Restaurer la diversité biologique	
Rendre au fleuve la variabilité de son lit	
Protéger des habitations ou des installations contre l'érosion d'une berge	
Améliorer le franchissement d'un obstacle par les poissons et les embarcations	
Autres (précisez) :	

Nature des travaux

Calendrier et tranches (*)

	Calendrier et tranches (*)		
	Dates tranche I	Tranche II	Tranche III et plus
Réactivation d'un bras			
Stabilisation de berge (génie civil)			
Stabilisation de berge (génie végétal)			
Travaux sur les atterrissements			
Travaux sur ouvrages (chevrette, épis, duit, pied de levée)			
Travaux sur les berges			
Travaux sur des îles			
Dévégétalisation :			
Scarification			
Restauration d'une frayère			
Entretien de la végétation			
Amélioration du franchissement d'un obstacle			
Autres :			
Dans l'ensemble, ces travaux relèvent-ils plus de l'entretien courant ou de la restauration ?			

➡ Fournir une carte au 1/25 000 localisant les divers types de travaux réalisés (Cf. légende-type jointe)

Études préalables (*)			Coûts (€ TTC)	
milieu physique	milieu biologique	paysage et patrimoine culturel	études	travaux (assistance maîtrise d'œuvre incluse)

[15] SA Gestion de l'environnement., 1998.- *Évaluation des travaux de restauration et d'entretien du lit de la Loire et de l'Allier*. Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature, 30 p. + annexes + fiches informatisées.

Concertation

	Groupe local de suivi des études et des travaux	Groupe départemental	Comité de pilotage restreint (vocation technique)
Services de l'État et ses Établissements publics			
Collectivités territoriales			
Usagers			

Contenu des études

Appréciation de l'étude Milieu physique	Topographie	Bathymétrie	Hydrologie	Hydraulique	Géomorphologie sédimentologie	Qualité de l'eau	Analyse des impacts	Définition des travaux
	Synthèse de données (D) et/ou Relevés de terrain (R)							
Niveau de précision du cahier des charges de l'étude: L lettre de commande ou CCTP								
Prestataire								
Coût (€ TTC)								
Avancement: effectué, en cours, à réaliser (date)								

Appréciation de l'étude Milieu biologique	Flore et végétation	Hydrobiologie		Autres compartiments biologiques			Analyse des impacts	Définition des travaux
		invertébrés	poissons	oiseaux	mammifères	autres		
Synthèse de données (D) et/ou Relevés de terrain (R)								
Niveau de précision du cahier des charges de l'étude: L lettre de commande ou CCTP								
Appréciation de l'étude								
Prestataire								
Coût (€ TTC)								
Avancement: effectué, en cours, à réaliser (date)								

Appréciation de l'étude Paysage et patrimoine culturel	Paysage	Autres :	Analyse des impacts	Définition des travaux
	Niveau de précision du cahier des charges de l'étude: L lettre de commande ou CCTP			
Appréciation de l'étude				
Prestataire				
Coût (€ TTC)				
Avancement: effectué, en cours, à réaliser (date)				

Inventaire et cadre législatif et réglementaire

	(*)		(*)		(*)
Enquête loi sur l'Eau					
Site inscrit		Site classé		ZPPAUP	
ZNIEFF		ZICO			
Espace naturel sensible		Site LIFE		Parc Naturel Régional	
Réserve naturelle		Réserve naturelle volontaire		Arrêté de biotope	
Réserve nationale de chasse		Réserve de pêche		Autres (précisez) :	
Frayère répertoriée dans le Schéma départemental de vocation piscicole					
Périmètres de protection des captages AEP					

Lancement des travaux

	(*)		
Définition des travaux	à partir des études physiques		
	à partir des études biologiques		
	par assistance au maître d'œuvre		Si oui, prestataire :
	incluant une garantie et/ou entretien		durée :
Consultation des entreprises	Mode de passation du marché		
	DCE complet		
	CCTP et BPU seuls		
	Détail estimatif seul		
Entreprises ayant obtenu le marché (cf. fiche annexe pour les autres entreprises consultées)			
Critères de choix des entreprises			

		Tranche I	Tranche II	Tranche III et plus	Total des tranches
Prix des travaux (€ TTC)	estimatif :				
	effectif :				
	écart :				
	motifs :				

Nature des travaux de restauration et d'entretien	(*)	Moyens techniques (précisez en outre si un bateau a été utilisé)	Chenaux actifs (*)	Bras mort (*)
Intervention sur les atterrissements				
Dévégétalisation mécanique				
Dévégétalisation manuelle sans phytocide				
Dévégétalisation manuelle avec phytocide : dévitalisation des souches traitement des repousses				
Scarification avec dévégétalisation préalable				
Scarification sans dévégétalisation préalable				
Creusement d'un rigollet				
Entretien des berges				
Entretien sélectif de la végétation				
Enlèvement d'encombres et d'arbres morts				
Dévitalisation des souches : chimique mécanique				
Entretien d'ouvrages en génie végétal				
Entretien des îles				
Entretien des berges				
Entretien général de la végétation des îles				
Entretien des ouvrages (duits, chevrettes, épis, pieds de levées)				
Suppression de végétaux ligneux avec dévitalisation chimique des souches sans dévitalisation chimique des souches				
Fauchage				
Intervention sur les boires (frayères)				
Rescindement				
Recreusement				
Entretien de la végétation ligneuse des abords				
Stabilisation de berges				
par génie civil				
par génie végétal				
Autres travaux (précisez)				

Traitement des déchets	
Broyage	
Brulage	
Exportation	

Déroulement des travaux

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Durée effective
Année N													
Année N+1													
Année N+2													
Année N+3													

Adaptation des prescriptions du cahier des charges au site	oui / non (1)	par le maître d'œuvre par l'assistant au maître d'œuvre par l'entreprise (1)
Contrôle des travaux	limité en interne en externe (assistant au maître d'œuvre)	(1)
Résultats obtenus conformes au marché	oui / non	(1)
Réception des travaux définitive	oui / non (1)	date : / /
Concertation et communication avec les élus et les usagers		
Perception des résultats des travaux par les élus et les usagers		

Suivi des résultats

OUI/NON (1)

Milieu physique

	Topo- graphie	Bathy- métrie	Hydro- logie	Hydrau- lique	Géomorphologie sédimentologie	Qualité de l'eau	Analyse des impacts	Définition des impacts des travaux d'entretien
Précisez les paramètres suivis								
Niveau de précision du cahier des charges de l'étude: L lettre de commande ou CCTP								
Appréciation de l'étude								
Prestataire								
Coût (€ TTC)								
Avancement : effectué, en cours, à réaliser (dates)								

Milieu biologique

	Flore et végétation	Hydrobiologie		Autres compartiments biologiques			Analyse des impacts	Définition des travaux d'entretien
		invertébrés	poissons	oiseaux	mammifères	autres		
Précisez les paramètres suivis								
Niveau de précision du cahier des charges de l'étude: L lettre de commande ou CCTP								
Appréciation de l'étude								
Prestataire								
Coût (€ TTC)								
Avancement : effectué, en cours, à réaliser (dates)								

Paysage et patrimoine culturel

	Paysage	Autres :	Analyse des impacts	Définition des travaux
Niveau de précision du cahier des charges de l'étude: L lettre de commande ou CCTP				
Appréciation de l'étude				
Prestataire				
Coût (€ TTC)				
Avancement : effectué, en cours, à réaliser (dates)				

Divers et questions annexes

Mentionnez si le site a fait l'objet d'études ou de travaux d'entretien récents dans un autre cadre que celui du Plan Loire Grandeur Nature :

Un travail de topographie automatique a-t-il été réalisé ?
Que peut-on récupérer comme données ?

Sous quelle forme ?

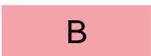
- (1) rayer la mention inutile
- (*) cocher les cases correspondantes

Nom et service du rédacteur de la fiche

Date : / /

Annexe 2 : Légende à utiliser pour les cartes de localisation des travaux [15]

Légende proposée pour renseigner les cartes des chantiers de restauration et d'entretien du lit de la Loire et de l'Allier

	Dévégétalisation d'atterrissements
	M mécanique
	m manuelle
	Entretien des berges
	S entretien sélectif de la végétation
	E enlèvement d'encombres et d'arbres morts
	D dévitalisation de souches
	Entretien des îles
	B entretien de la végétation des berges
	G entretien général de la végétation des îles
	Entretien des ouvrages (duit, épis, chevette, pied de levée)
	L suppression de la végétation ligneuse
	F fauchage
	Intervention sur les boires
	R rescindement/recreusement
	EV entretien de la végétation des abords
	Stabilisation de berges
	GC par génie civil
	GV par génie végétal

N.B. : selon le degré d'information dont on dispose, on pourra en rester à la couleur ou préciser les choses grâce aux lettres. Si le besoin s'en fait sentir, on pourra également ajouter des éléments à cette légende.

[15] SA Gestion de l'environnement., 1998 - *Évaluation des travaux de restauration et d'entretien du lit de la Loire et de l'Allier*. Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature, 30 p. + annexes + fiches informatisées.

Annexe 3 : C.C.T.P. type d'état initial et de suivi du milieu biologique du lit de la Loire

I. Contexte et objectifs

1. Contexte général des opérations
2. Contexte des principales sources de données biologiques sur la Loire
3. Objectif du C.C.T.P.

II. Champ géographique et thématique

1. Localisation
2. Champ thématique, compétences requises

III. Définition des prestations

1. État initial
 - 1.1. Analyse et synthèse des données biologiques
 - 1.2. Lien avec le milieu physique
 - 1.3. La végétation
 - 1.4. Les invertébrés benthiques
 - 1.5. Les poissons
 - 1.6. Les oiseaux
 - 1.7. Investigations sur les autres groupes animaux.
 - 1.8. Synthèse et rendu de l'état initial
2. Évaluation des impacts des travaux sur le milieu biologique
 - 2.1. Impacts de la phase de chantier
 - 2.2. Impacts des différentes interventions
3. Recommandations générales pour les travaux
 - 3.1. Recommandations générales
 - 3.2. Principes de prescriptions à mettre en œuvre
4. Suivi des conséquences des travaux
 - 4.1. Principes de suivi
 - 4.2. Modalités de suivi
5. Assistance à l'exécution des travaux (mission optionnelle)

IV. Conditions de réalisation des missions

1. Calendrier et phasage
2. Suivi des études, réunion et restitution des résultats
 - 2.1. Groupe local de suivi des études et des travaux
 - 2.2. Comité de pilotage restreint
 - 2.3. Fréquence des réunions
 - 2.4. Restitution des résultats
3. Propriété intellectuelle

À noter que le document initial comporte des annexes (dont liste) non reproduites ici, mais disponibles dans l'édition numérique du guide (1 : méthode de description et d'échantillonnage des communautés végétales ; 1 bis : essai de typologie écologique simplifiée des communautés végétales du lit endigué de la Loire ; 2 : méthode d'évaluation de la macrofaune benthique ; 3 : méthode d'évaluation des habitats piscicoles ; 4 : méthode d'échantillonnage des populations d'oiseaux ; 5 : protection des espèces et des habitats ; 6 : format numérique des données ; 7 : cahier des charges de prises de vue photographiques)

I - Contexte et objectifs

1. Contexte général des opérations

Dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature, les travaux de restauration et d'entretien du lit ont pour objectifs :

- prioritairement de réduire les obstacles à l'écoulement lors des fortes crues, de manière à limiter au mieux l'inondation des secteurs urbanisés ;
- d'enrayer l'enfoncement de la ligne d'eau à l'étiage ;
- de restaurer ou d'améliorer la diversité écologique des milieux.

Il est important de souligner que même quand l'objectif principal du projet n'est pas écologique, on intègre comme contrainte préalable à toute intervention de ne pas endommager les fonctions des écosystèmes considérés.

Pour évaluer correctement l'impact de ces interventions et pour éventuellement réorienter les démarches en cours de procédures, il convient de :

- faire le point sur les données biologiques disponibles sur le site. Les données physiques étant collectées par ailleurs par les services gestionnaires ;
- analyser de manière pertinente le fonctionnement présent du site pour permettre au service gestionnaire de définir les travaux de restauration de manière optimale ;
- évaluer ensuite les résultats et les impacts des travaux sur le milieu biologique par rapport aux objectifs assignés, puis définir les suivis à engager.

Afin d'être opérationnel et efficace, il faut que ces études répondent aussi aux questions suivantes que se posent les maîtres d'œuvre et les maîtres d'ouvrage aujourd'hui :

- comment réaliser les travaux prévus de manière optimale en respectant la sensibilité écologique des milieux concernés ?
- quelles sont les contraintes patrimoniales majeures (espèces et habitats) à respecter absolument, qui doivent guider, voire modifier le cahier des charges des travaux ?
- comment prendre en compte l'évolution annuelle du fonctionnement hydrodynamique du fleuve sans systématiquement refaire toutes les études écologiques d'état initial, lorsqu'un report des travaux d'une ou plusieurs saisons s'impose ?
- quelle méthodologie mettre en œuvre à coût limité pour suivre l'impact des travaux sur le fonctionnement biologique de l'hydrosystème ?
- quelle pérennité peut-on attendre d'une opération de restauration du lit ?
- où se situe l'optimum du rapport coût des travaux/efficacité de la protection contre les crues et de la restauration de la diversité écologique des milieux ?

2. Contexte des principales sources de données biologiques sur la Loire

Les principales sources de données biologiques sur la Loire (le fleuve et ses principaux affluents) sont relativement nombreuses, mais assez disparates et diversifiées depuis le début des années 70 jusqu'en 1983-1984 :

- plusieurs botanistes importants ont publié sur l'aspect floristique (R. Corillon, 1983 ; P. Dupont, 1984 ; J-E. Loiseau 1976-1977...), en intégrant sensiblement un aspect dynamique écologique ;
- différents ornithologues suivent les populations d'oiseaux depuis longtemps au sein d'associations de protection de la nature : Naturalistes Orléanais, Ligue de Protection des Oiseaux, Frapna, Cora... ;
- de nombreux naturalistes amateurs se sont intéressés ponctuellement aux autres compartiments biologiques : batraciens, reptiles, mammifères...

Depuis 1983-1984, une équipe de scientifiques bourguignons a engagé des études approfondies sur le milieu biologique ligérien de la région, dans les différents compartiments : sols, végétation, oiseaux (Roché et al., 1993). Ces études ont été commanditées, notamment par le ministère de l'Environnement et la Région Bourgogne. Ces investigations se sont poursuivies jusqu'à présent, en différentes phases et selon plusieurs objectifs complémentaires : réseau Natura 2000, mesures agri-environnementales, programme communautaire "LIFE Loire-Nature".

Dans les autres régions ligériennes (Rhône-Alpes, Centre, Auvergne, Pays-de-la-Loire), c'est plus récemment, en 1990-1991, depuis la création des Conservatoires d'espaces naturels, et particulièrement depuis le lancement des programmes communautaires LIFE (Ecozone du Forez, Loire-Nature, Basses Vallées Angevines), qu'ont été engagées des investigations sur le milieu biologique alluvial de la Loire et de ses principaux affluents.

Il en résulte une bonne connaissance de base des espèces végétales et de quelques populations animales (Oiseaux, Mammifères, Poissons) dans le réseau d'espaces naturels protégés.

Toutefois, de sérieuses carences sont manifestes sur le plan de la connaissance des habitats et surtout de l'aspect fonctionnement écologique des milieux : relations entre les paramètres physiques hydrodynamiques et les caractéristiques des communautés biologiques.

Depuis 1992, plusieurs équipes ont engagé un travail scientifique plus approfondi sur le milieu biologique, c'est le cas de l'équipe universitaire dirigée par le Pr Berton (Centre universitaire de Chinon, Université de Tours), de l'université de Bourgogne (Cellule d'application de l'écologie, Frochot et al, 1995) et du CEMAGREF (Wasson et al., 1993), à l'initiative du ministère de l'Environnement et de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

Enfin, c'est en 1996 que l'Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire a commandité deux synthèses bibliographiques sur l'écologie ligérienne, qui ont tenté de récapituler toutes ces principales données biologiques (Cornier, 1996; 1997, Barreau, 1996). Ces synthèses bibliographiques ont été complétées, dès 1996, par une analyse fonctionnelle des peuplements végétaux dans des secteurs d'hydrosystème Loire encore peu étudiés selon cette approche (Cornier, 1996, 1997; Barreau, 1996, 1997).

Lors de l'état initial d'un site avant travaux, le bureau d'études devra établir au préalable une synthèse de toutes les données disponibles sur le milieu biologique de cet espace, à partir notamment de ces sources déjà recensées.

3. Objectifs du C.C.T.P.

Le présent C.C.T.P. a pour objectifs de définir les investigations qui devront être réalisées pour :

- **établir l'état initial du milieu biologique** pour le (ou les) site(s) concernés par les travaux nécessaires à la restauration du lit de la Loire ;
- **prévoir l'impact de ces travaux** sur ces compartiments biologiques ;
- **proposer des recommandations générales pour les travaux** à entreprendre ;
- **évaluer les hypothèses et définir les suivis à engager**, pour analyser la réponse du milieu biologique aux travaux réalisés pendant au moins 3 saisons successives ;
- **assister le maître d'œuvre pour l'exécution des travaux** (mission optionnelle).

Le bureau d'étude fournira tous les éléments pour rédiger les parties relatives à l'écologie, la faune et la flore d'une éventuelle étude d'impact qui n'est pas incluse dans la prestation.

II - Champ géographique et thématique

1. Localisation

La localisation du secteur d'étude sera comprise entre :

-en amont,
- et en aval.

2. Champ thématique, compétences requises

Le champ thématique des études à engager est le milieu biologique. Les domaines de compétence concernés sont les suivants, pour leur approche fonctionnelle et patrimoniale :

- l'écologie végétale, pour caractériser la végétation alluviale ;
- l'hydrobiologie, pour évaluer les habitats et les populations d'invertébrés benthiques ;
- l'ichtyologie, pour les habitats et frayères piscicoles ;
- l'ornithologie ;

puis si cela s'avère nécessaire la mammalogie, l'herpétologie, l'entomologie...

À partir des données recueillies sur ces domaines, les résultats de cette mission devront expliciter le fonctionnement de l'hydrosystème du secteur d'étude, pour évaluer les impacts probables des travaux sur le milieu biologique et définir ainsi les hypothèses de suivi.

Dans cet esprit, l'équipe d'étude devra nécessairement inclure un écologue confirmé, disposant d'une bonne connaissance des milieux aquatiques continentaux.

III - Définition des prestations

1. État initial

1.1. Analyse et synthèse des données biologiques

Au préalable, le bureau d'étude devra collecter et synthétiser les données biologiques spécifiques au site d'étude. Cette synthèse des données sera restituée sous la forme d'un chapitre spécifique de l'état initial, faisant ressortir les sources bibliographiques.

En plus des sources de données indiquées au paragraphe I, le maître d'ouvrage fournira au prestataire une liste de contacts pour se procurer des données utiles.

1.2. Lien avec le milieu physique

1.2.1. Données hydrologiques

Le bureau d'études recueillera, auprès des services gestionnaires, les données hydrologiques nécessaires à l'analyse du secteur considéré afin de caler le mieux possible les données biologiques dans leur contexte dynamique évolutif dans l'espace et dans le temps.

1.2.2. Lignes d'eau, topographie et morphologie

Le recueil et le suivi des paramètres physiques prépondérants, topographie, lignes d'eau et morphologie, sont effectués par les services gestionnaires dans le cadre du S.I.E.L. (Système d'Information sur l'Évolution du Lit). Le recueil des données biologiques devra s'appuyer sur le suivi de ces paramètres physiques, pour permettre l'analyse du fonctionnement de l'hydrosystème et l'évaluation de sa richesse patrimoniale. Le rendu cartographique et numérique des données biologiques devra donc être compatible avec le S.I.E.L. pour permettre le meilleur suivi de ces paramètres. De même, la restitution cartographique des données physiques sera établie à l'échelle du 1/10 000 pour permettre la meilleure cohérence avec la cartographie des peuplements et des habitats (cf. annexes techniques).

Les prescriptions relatives à la compatibilité des données à fournir avec les données physiques existantes sont définies dans l'annexe 6 (cf. chapitre IV, paragraphe 2.4.).

1.3. La végétation

1.3.1. Analyse fonctionnelle

Les espèces et les communautés végétales alluviales sont d'excellents indicateurs du fonctionnement de l'hydrosystème. Le bureau d'études s'appuiera sur leur composition et leur répartition pour en évaluer la dynamique potentielle.

Pour les espèces, un inventaire floristique sera réalisé pour établir leur répartition sur tout le secteur d'étude.

Pour les communautés, l'étude sera basée sur des transects de végétation, calés sur les profils-en-travers topographiques (cf. 1.2.2.) complétés par des relevés phytosociologiques, selon la méthode définie par Braun-Blanquet (annexe 1) ainsi que par des transects longitudinaux, si nécessaire. Le bureau d'études devra justifier de tels transects longitudinaux dans son offre, s'il les propose.

Ces transects seront fixes et matérialisés in situ, de manière à pouvoir y effectuer le suivi, par la suite. Les méthodes de description et d'échantillonnage des communautés végétales sont exposées en annexe 1.

Pour la désignation des communautés végétales identifiées, on se guidera grâce à la typologie donnée en annexe 1 bis.

1.3.2. Analyse patrimoniale

Le bureau d'études fera ressortir, de son analyse fonctionnelle, la taille et la situation des espèces remarquables ou visées par les textes réglementaires en vigueur, sur le plan local, national ou européen. La nomenclature de référence des habitats sera celle du code CORINE.

Annexe 1 : Méthodes de description et d'échantillonnage des communautés végétales.

1.4. Les invertébrés benthiques

1.4.1. Analyse fonctionnelle

Dans le lit mineur, la variabilité des habitats de la macrofaune benthique est corrélée à la variabilité des paramètres hydrauliques (vitesse, débits, coefficient de rugosité), géomorphologiques, chimiques et sédimentologiques. Il s'agit donc d'indicateurs très fiables du milieu aquatique, à condition d'en tirer des enseignements aisés à exploiter.

Le diagnostic sera réalisé en des points représentatifs du secteur d'étude selon le protocole défini en annexe 2.

Toutefois, le maître d'ouvrage pourra choisir de fournir pour analyse au bureau d'étude les données recueillies suivant le protocole décrit en annexe 2 (Méthode d'évaluation de la macrofaune benthique).

1.4.2. Analyse patrimoniale

Le bureau d'études fera ressortir, de son analyse fonctionnelle, la situation des populations remarquables ou visées par les textes réglementaires en vigueur, sur le plan local, national ou européen.

1.5. Les poissons

1.5.1. Analyse fonctionnelle

Les populations de poissons et surtout leurs zones de reproduction (frayères) sont significatives de la qualité des biotopes aquatiques.

Le bureau d'étude caractérisera les habitats piscicoles de grossissement et de reproduction à partir des différents sous-systèmes hydrauliques représentés dans le secteur d'étude (Annexe 3 : Méthode d'évaluation des habitats piscicoles).

1.5.2. Analyse patrimoniale

Le bureau d'études fera ressortir de son analyse fonctionnelle, les aspects patrimoniaux pour les espèces et les espaces remarquables ou protégés au titre des textes réglementaires en vigueur, sur le plan local, national ou européen.

1.6. Les oiseaux

1.6.1. Analyse fonctionnelle

Plusieurs études ornithologiques scientifiques ont déjà été réalisées sur le cours de la Loire (Muselet 1982, 1983, 1984 ; Roché et al., 1993 ; Frochot et al, 1995). En fonction de ces données, le bureau d'études caractérisera les populations d'oiseaux nicheurs sur le secteur étudié selon la méthode définie en annexe 4 (Méthode d'échantillonnage des populations d'oiseaux).

1.6.2. Analyse patrimoniale

Il s'agit de recenser, à partir de l'analyse fonctionnelle ou selon les données existantes, les espèces nicheuses et migratrices recensées sur le site et incluses dans l'annexe 1 de la Directive Oiseaux (CE n° 79/409), principalement en raison de leur rareté aux plans national et européen. En outre, les lieux d'accueil des populations d'oiseaux migrateurs (hivernants ou de passage) seront repérés et cartographiés.

1.7. Investigations sur les autres groupes d'animaux

1.7.1. Analyse fonctionnelle

Si la nécessité de compléter des données manquantes est impérative selon la sensibilité spécifique des sites, d'autres groupes d'animaux seront échantillonnés à l'aide des méthodes reconnues par les experts scientifiques, à partir d'une méthodologie à définir. Toutefois, l'analyse devra toujours être orientée vers une approche fonctionnelle des populations étudiées sous l'action de la dynamique fluviale et en prévision de l'impact des travaux. L'exemple-type est le castor, dont les gîtes et les lieux de nourrissage devront être connus ou échantillonnés afin d'évaluer l'effet des travaux.

1.7.2. Analyse patrimoniale

L'état initial concernera surtout les biotopes où des espèces sensibles ont été recensées (castor, loutre...) afin de les connaître pour, selon le cas, les protéger ou en suivre l'évolution.

Pour des groupes plus mobiles (Reptiles) ou très inféodés à la végétation (Insectes), on recensera essentiellement les habitats propices à ces populations animales (Annexe 5 : Protection des espèces et des habitats).

1.8. Synthèse et rendu de l'état initial

Cet état initial devra faire l'objet d'un rapport intermédiaire pour récapituler les données essentielles. Ce mémoire de synthèse récapitulera, au préalable, les données bibliographiques ayant permis d'aboutir à cet état initial.

Ce rapport intermédiaire devra tenir lieu de chapitre "faune - flore" d'une éventuelle étude d'impact.

1.8.1. Documents graphiques et cartographiques

En complément de ce rapport intermédiaire, les documents graphiques suivants seront établis, au minimum :

- carte de l'organisation spatiale de la végétation au 1/10 000 ;
- carte des mosaïques d'habitats du macrobenthos au 1/10 000 ;
- carte des habitats piscicoles au 1/10 000 ;
- carte de sensibilité patrimoniale et des contraintes réglementaires au 1/10 000.

Ces documents seront restitués sous deux formes : un exemplaire papier et des fichiers numériques. (cf. chapitre "IV (2.4) Restitution des résultats" et annexe 6).

1.8.2. Photographies

Les investigations relatives à chaque compartiment biologique seront illustrées par quelques photographies réalisées en des points fixes et repérées in situ, selon les prescriptions de l'annexe 7.

Cela permettra d'effectuer un suivi photographique des stations d'étude par la suite.

2. Évaluation des impacts des travaux sur le milieu biologique

Remarque préalable.

L'analyse des impacts des travaux devra être développée dans le respect des règles et des prescriptions définies par la loi sur l'Eau (n° 92-3 du 3 janvier 1992) et du décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 modifié (relatif notamment aux études d'impact).

2.1. Impacts de la phase de chantier

En fonction de l'analyse de l'état initial, le bureau d'étude prévoira les impacts de la phase chantier des travaux, notamment aux périodes les plus traumatisantes pour le milieu :

- lors de l'installation de chantier ;
- lors du démarrage des travaux, notamment pour tous les déplacements d'engins ;
- pour tous les accès au site qui devront être limités, matérialisés et fixés précisément sur le terrain durant toute la durée du chantier.

2.2. Impacts des différentes interventions

Chaque opération, définie par les prescriptions du marché de travaux, devra être analysée par ses conséquences spécifiques, positives ou négatives sur les divers compartiments du milieu biologique :

- la végétation ;
- la faune ;
- les mosaïques d'habitats.

En outre, les impacts à moyen terme seront prévus selon l'approche fonctionnelle des conséquences de ces travaux sur la végétation et les principaux indicateurs animaux étudiés précédemment.

Ces informations seront synthétisées sur une carte de sensibilité au 1/10 000 au format numérique compatible avec les données physiques (cf. chapitre IV).

3. Recommandations générales pour les travaux

En fonction de l'état initial et de l'analyse des impacts, le bureau d'études proposera des recommandations générales permettant de réduire les effets négatifs des travaux, tout en respectant leur objectif.

3.1. Recommandations générales

Le bureau d'étude synthétisera sous la forme de recommandations générales, les conseils et précautions à prendre en compte pour limiter au maximum les impacts des travaux sur le milieu biologique, notamment :

- pendant l'installation du chantier ;
- durant l'exécution des travaux dans les secteurs définis comme sensibles dans l'état initial.

3.2. Principes de prescriptions à mettre en œuvre

En fonction des recommandations établies, le bureau d'étude proposera des prescriptions techniques précises à mettre en œuvre pour l'exécution des travaux, notamment :

- pour les travaux de restauration physique du lit : de manière à rendre compatibles les travaux définis par les services gestionnaires avec les recommandations relatives au milieu biologique ;
- pour les opérations de restauration biologique : ces prescriptions techniques seront intégrables directement dans le DCE du gestionnaire et illustrées par des schémas explicatifs et des plans de travaux.

Ce type de mission peut se limiter à des fiches techniques, réutilisables dans un DCE. Mais, en cas de besoin, un CCTP spécifique peut être réalisé.

4. Suivi des conséquences des travaux

4.1. Principes de suivi

Les résultats des travaux sur le milieu biologique seront à apprécier selon un pas de temps plus ou moins long en fonction de deux paramètres importants :

- le régime hydrologique du fleuve ;
- les cycles biologiques des espèces.

Le bureau d'étude proposera donc le suivi des résultats des travaux en fonction de ces deux paramètres, c'est-à-dire :

- après chaque événement hydraulique significatif (d'un certain niveau de débit ou de hauteur à déterminer) succédant aux travaux, de l'automne au printemps ;
- au cours de la saison biologique suivante, selon les calendriers définis pour chaque compartiment biologique.

À partir des stations de l'état initial, le chargé d'étude devra disposer judicieusement quelques stations fixes de référence pour suivre l'évolution dans le temps de la réponse des communautés vivantes aux modifications induites par les travaux.

4.2. Modalités de suivi

Le bureau d'étude indiquera, au vu des résultats du chapitre 2, les peuplements pour lesquels un suivi doit être mis en place.

La durée de ce suivi, sur au moins trois années, sera précisée, ainsi que la périodicité des observations, régulières ou liées à des événements hydrologiques.

Sauf indications contraires et dûment justifiées, ce suivi devra être réalisé avec les mêmes méthodes que l'état initial, mais simplifiées chaque fois que cela sera pertinent.

5. Assistance à l'exécution des travaux (mission optionnelle)

Le bureau d'étude chiffrera en mission optionnelle l'assistance au service gestionnaire, maître d'œuvre, jusqu'à l'exécution des travaux sur le terrain. Pour la phase d'exécution des travaux, l'assistance du bureau d'études sera proposée selon les modalités suivantes, aux phases clés du chantier, complétées par une intervention hebdomadaire, soit :

- 1 journée lors du démarrage du chantier ;
- 1 journée par semaine pendant son déroulement avec communication du journal de chantier et état de l'avancement des travaux ;
- 1 journée lors de la réception de fin des travaux.

IV - Conditions de réalisation des missions

1. Calendrier et phasage

La durée des missions est conditionnée par les cycles biologiques et le régime hydrologique du fleuve. En outre, l'état initial devra être réalisé suffisamment longtemps avant les travaux pour pouvoir mettre en œuvre les recommandations préconisées. Dans la mesure du possible, il est donc souhaitable de réaliser ces missions l'année précédant les travaux. Le calendrier suivant est donné à titre indicatif: État initial et évaluation de l'impact des travaux: durée minimale de 7 mois, phasée de la manière suivante, l'année précédant les travaux:

- recueil, analyse et synthèse des données, premiers relevés: floristiques, du benthos et ornithologiques, d'avril à juin: 3 mois;
- études de terrain, analyse d'impacts et premières recommandations, de juillet à fin septembre (étiage) 3 mois;
- concertation et remise des documents définitifs: 1 mois.

Suivi des conséquences des travaux: suivi sur au moins 3 années successives.

2. Suivi des études, réunions et restitution des résultats

L'étude sera pilotée par un groupe d'étude restreint et un groupe local de suivi des études et des travaux.

2.1. Groupe local de suivi des études et des travaux

Ce groupe local est composé des principaux services de l'État, des représentants des collectivités, des associations d'usagers et de protection des milieux: chasseurs, pêcheurs, conservatoires d'espaces naturels, naturalistes et sportifs... Le bureau d'études contactera la plupart des membres de ce groupe local lors de sa phase de recueil des données. Puis, à la demande du maître d'œuvre, le bureau d'étude devra présenter les principaux résultats de ses investigations devant ce groupe local, lors d'une réunion.

2.2. Comité de pilotage restreint

Le Comité de pilotage restreint est composé de représentants du maître d'ouvrage, du maître d'œuvre et de certains services techniques prescripteurs. Ce Comité de pilotage restreint suivra les missions du bureau d'étude régulièrement. Le bureau d'étude devra donc rester en contact permanent avec un correspondant désigné de ce Comité de pilotage restreint et présenter ses résultats au cours des réunions détaillées plus loin.

2.3. Fréquence des réunions

Le bureau d'étude devra prévoir 4 réunions, dont:

- 3 réunions avec le groupe de pilotage restreint;
- une première réunion de démarrage de l'étude;
- une deuxième réunion de présentation du rapport intermédiaire, cette réunion sera ensuite élargie, le même jour, au groupe local d'étude et de suivi;
- une troisième réunion de présentation des documents définitifs pour une concertation préalable à la réunion avec le groupe local de suivi;
- une dernière réunion pour la présentation des résultats et la concertation avec le groupe local d'étude et de suivi.

2.4. Restitution des résultats

La restitution des résultats devra permettre au maître d'ouvrage de centraliser ces données avec le reste des données physiques et biologiques recueillies sur l'hydrosystème Loire. Le format de rendu des documents sera donc de trois types:

- sous forme informatique, selon les prescriptions définies dans l'annexe 6 (Format numérique des données);
- sous forme papier;
- un original reproductible de tous les documents;
- 10 copies couleurs;
- sous forme photographique, selon les prescriptions définies dans l'annexe 7 (Cahier des charges de prises de vue);
- les originaux de tous les clichés illustrant les études;
- les tirages papiers nécessaires à l'illustration des documents reproduits en copies couleurs.

3. Propriété intellectuelle

Pour tous les résultats des études réalisées en état initial et en suivi du milieu biologique du lit de la Loire, conformément au présent C.C.T.P., documents originaux et données au format numérique, la propriété intellectuelle appartient à l'État, maître d'ouvrage.

L'État et ses représentants pourront en disposer, les réutiliser à leur convenance et les mettre à disposition de tout demandeur, selon des modalités à établir selon les cas.

Restauration et Entretien du lit de la Loire et de ses affluents

Guide méthodologique 1^{ère} partie

Depuis 1994, le Plan Loire Grandeur Nature a doté les services gestionnaires du lit de la Loire de moyens conséquents pour l'entretien et la restauration du lit du fleuve. Lors des réunions du club des gestionnaires du lit de la Loire, animées par le service de bassin Loire-Bretagne de la DIREN Centre avec l'appui technique de l'Équipe Pluridisciplinaire Plan Loire, la nécessité d'une transcription écrite des méthodes les plus appropriées d'intervention sur le milieu fluvial s'est logiquement et rapidement imposée, donnant ainsi naissance au guide méthodologique de restauration et d'entretien.

Ce guide s'articule en deux parties :

Le 1^{er} volet, destiné aux chefs de service et de subdivision, vise à sensibiliser ces responsables à la meilleure prise en compte des milieux naturels fluviaux, de manière à intervenir dans l'esprit patrimonial du Plan Loire.

- Le 2^{ème} volet décrit les différentes méthodes et techniques d'intervention sur la végétation et les sédiments. Il s'adresse plus particulièrement au personnel des subdivisions surveillant ou réalisant les travaux d'entretien et de restauration du lit.

Venant chronologiquement après le second volet paru dès 1997, le pragmatisme ayant voulu que ce dernier soit le plus urgent des deux, ce premier volet se veut une aide à la décision pour les responsables de service, en proposant :

- une présentation générale de l'hydrosystème Loire, de son évolution et des dysfonctionnements constatés ;
- une justification des interventions et les principaux objectifs recherchés dans le cadre d'une opération de restauration ou d'entretien du lit ;
- une méthodologie de définition des travaux et de leur suivi sur la base d'indicateurs physiques et biologiques adaptés à l'hydrosystème ligérien.