Ouvrage collectif piloté par l'Astee sous la coordination de Freddy Rey, et soutenu par l'Agence française pour la biodiversité

VOLUME 2

Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques

POUR QUI ? POUR QUELS BÉNÉFICES ?

Mai 2018

astee association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement

irstea

AGENCE FRANÇAISE POUR LA BIODIVERSITÉ
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

CONTRIBUTEURS

Coordinateur :

Freddy Rey (Irstea)

Animateurs du groupe de travail :

Adeline Clifford (Astee), Solène Le Fur (Astee) et Freddy Rey (Irstea). Avec le soutien d'Arsène Mawunu

Rédacteurs (par ordre alphabétique) :

Pierre Boissery (Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse)

Pascal Breil (Irstea)

Sylvain Chamaillard (Pôle DREAM Eau & Milieux)

Bernard Chocat (INSA Lyon)

Aurélien Daloz (AFB)

Jérémy Devaux (Commissariat Général au Développement Durable)

Benoit Fribourg-Blanc (OIEau)

Julien Gauthey (AFB)

Philippe Lenfant (Université de Perpignan)

Thierry Maytraud (ATM - Agence Thierry Maytraud)

Jacques Mery (Irstea)

Stéphanie Moussard

Christine Poulard (Irstea)

Freddy Rey (Irstea)

Laurent Schmitt (Université de Strasbourg)

Kémi Seriki (Veolia Environnement Recherche & Innovation)

Romain Talva (Aquasys)

Julien Tournebize (Irstea)

Johanna Van Herrenthals (AFEPTB)

Anne Vivier (AFB)

Porteurs de fiches (par ordre d'apparition) :

Freddy Rey (Irstea)

Camille Simon (Parc naturel régional du Golfe du Morbihan)

Frédéric Laval (Bureau d'études BURGEAP), Emmanuel Guilmin (Bureau d'études BURGEAP), Vincent Koulinski (Bureau d'études ETRM), Bertrand Breilh (Syndicat Mixte de la Communauté Locale de l'Eau du Drac Amont (CLEDA)), Guillaume Brousse (PRODIG / Université Paris Diderot)

Lisa Largeron (Syndicat du Bassin de l'Ouche)

Frédéric Moinot (EPIDOR – EPTB Dordogne)

Grégory Moirin (Syndicat Intercommunal de la Choisille et de ses Affluents)

Valérie Lorenski (Union Syndicale d'Aménagement hydraulique du Nord), Stéphane Parmentier (Agence de l'Eau Artois-Picardie)

Rodrigue Barjon (Communauté d'Agglomération Loire Forez)

Blandine Goussebayle (Phytorestore), Thierry Jacquet (Phytorestore)

Luc Brient (Université Rennes 1), Yves Le Medec (Minyvel Environnement), Jean-Francois Lebas (Département d'Ille et Vilaine), Gabrielle Thiébaut (Université Rennes 1)

Paul Simon (Syndicat mixte d'études et d'aménagement de la Garonne)

Ywann Penru (Suez), Thierry Polard (Suez – LyRe)

Yves Le Medec (Minyvel Environnement), Nathalie Keravec (Atlantic'Eau)

Julien Tournebize (Irstea)

Stellio Casas (Veolia)

Aurélien Mathevon (Syndicat Mixte des Vallées de la Veyre et de l'Auzon)

Philippe Lenfant (Université de Perpignan)

Relecteurs :

Manuel De Matos (AGéBio)

Sarah Feuillette (Agence de l'Eau Seine Normandie)

Ghislain Huyghe (Biotec)

Michel Lafforgue (Suez Consulting)

Daniel Villessot (DV Consulting)

Avec le soutien financier du Ministère de la Transition écologique et solidaire

Ouvrage collectif piloté par l'Astee sous la coordination de Freddy Rey, et soutenu par l'Agence française pour la biodiversité

VOLUME 2

Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques

POUR QUI ? POUR QUELS BÉNÉFICES ?

Mai 2018

SOMMAIRE

INTRODUCTION 8

1 Contexte et problématique p. 8
2 Objectif et portée de l'ouvrage p. 9
3 Structure de l'ouvrage p. 9

Chapitre 1

Les bénéfices et les bénéficiaires dans les projets d'ingénierie écologique 10

1 GRANDS PRINCIPES DE L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE 12

1 Définitions p. 12
2 Milieux et domaines d'application p. 13
3 Services écosystémiques concernés p. 13
4 Une gestion de plus en plus intégrée des milieux p. 15

2 MIEUX IDENTIFIER LES BÉNÉFICES ET LES BÉNÉFICIAIRES DES PROJETS, UN LEVIER POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE 16

1 Bénéfices et bénéficiaires : de quoi parle-t-on ? p. 16
2 Une analyse élargie pour maximiser les bénéfices et les bénéficiaires des projets d'ingénierie écologique p. 17
3 L'identification et l'évaluation des bénéfices p. 18
4 L'identification, la caractérisation et la priorisation des bénéficiaires p. 19

Chapitre 2

Les projets d'ingénierie écologique : des actions multi-bénéfices

20

1 RESTAURATION DU LIT D'UN COURS D'EAU ET LUTTE CONTRE LES INONDATIONS — 23

1 Contexte — p. 23
2 Exemple type d'action multi-bénéfices — p. 26
3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices (retours d'expériences) — p. 28

2 GESTION DES EAUX PLUVIALES EN MILIEU URBAIN ET PÉRI-URBAIN — 68

1 Contexte — p. 68
2 Exemple type d'action multi-bénéfices — p. 70
3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices (retours d'expériences) — p. 72

3 AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES MILIEUX AQUATIQUES À L'INTERFACE PÉRI-URBAIN/AGRICOLE — 75

1 Contexte — p. 75
2 Exemple type d'action multi-bénéfices — p. 77
3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices (retours d'expériences) — p. 78

4 CRÉATION D'HABITATS EN ZONE PORTUAIRE LE LONG DES PETITS FONDS CÔTIERS — 115

1 Contexte — p. 115
2 Exemple type d'action multi-bénéfices — p. 119
3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices (retours d'expériences) — p. 120

CONCLUSION ET PERSPECTIVES — 128

1 L'ingénierie écologique pour concilier différents objectifs au sein des projets : vers une approche multi-bénéfices — p. 128

2 L'évaluation des projets d'ingénierie écologique — p. 129
1. Évaluation de la réussite des projets
2. Évaluation socio-économique des projets

3 Ingénierie écologique et solutions fondées sur la nature — p. 131

BIBLIOGRAPHIE — 133

INTRODUCTION

1 Contexte et problématique

L'ingénierie écologique, aujourd'hui en plein essor dans de nombreux pays et en particulier en France, repose sur un **principe d'utilisation du vivant, animal et végétal, et plus globalement de moyens et de processus naturels, pour préserver, restaurer ou gérer les écosystèmes, en répondant de manière efficace à divers objectifs écologiques, économiques et sociaux**. L'amélioration des connaissances sur les services rendus par les écosystèmes permet de les utiliser en conciliant les besoins de l'Homme et des milieux. L'ingénierie écologique, mettant en avant des solutions fondées le plus possible sur la nature, représente ainsi un levier d'action pour atteindre plusieurs des vingt objectifs de la Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB) 2011-2020, en particulier en ce qui concerne la restauration des écosystèmes et de leur fonctionnement, mais aussi ceux de la Directive Cadre sur l'eau, la Directive Inondation ou encore la Directive Cadre Stratégie milieu marin.

Fin 2013, après un travail de près de trois ans, un groupe de travail inter associatif animé par l'Astee a produit un ouvrage intitulé « Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques : pourquoi ? comment ? ». Son objectif était d'apporter aux décideurs de la gestion de l'eau et des milieux aquatiques un cadre permettant de clarifier les concepts et les pratiques de l'ingénierie écologique, et de les illustrer au moyen d'exemples concrets.

À l'issue de ce travail, il est apparu que **les projets impliquant l'ingénierie écologique étaient la plupart du temps mono-objectifs, alors que répondre à plusieurs finalités est souvent la vocation et la plus-value de l'ingénierie écologique**. Le changement d'approche, et notamment la prise en compte de plusieurs fonctions au sein d'un même projet, représente à la fois :

- une opportunité, parce que l'ingénierie écologique vise des projets plus intégrés, plus résilients et potentiellement moins coûteux sur les fonctions visées,
- une difficulté, parce qu'elle a besoin d'une diversité de compétences mais aussi de financement pour sa réussite.

Mettre en avant l'ensemble des bénéfices induits par les projets d'ingénierie écologique doit permettre de convaincre les décideurs et les porteurs de projets de la grande utilité de ce type de projets. Leurs plus-values, tant qualitatives que quantitatives, écologiques, économiques et sociales sont multiples. Les bénéfices peuvent être monétaires mais également toucher bien d'autres aspects, par exemple en termes d'attractivité du territoire. L'identification de projets réussis doit également montrer qu'une ingénierie écologique bien conduite s'intègre mieux dans les espaces et n'est pas forcément plus complexe ou moins efficace.

Ces plus-values sont à mettre en regard de la difficulté à évaluer l'efficacité des projets. Il faut par ailleurs être transparent sur les préjudices potentiels liés à ces projets et à la variabilité et l'incertitude – inhérentes à tout système naturel – sur la trajectoire écologique et sa maitrise par des actions d'entretien, ainsi que sur la performance environnementale des actions, qui peuvent aussi conduire à un risque d'échec.

Mettre en avant l'ensemble des bénéfices induits par les projets d'ingénierie écologique doit permettre de convaincre les décideurs et les porteurs de projet de la grande utilité de ce type de projets

Il s'agit d'abord et avant tout d'induire des modifications ou évolutions des caractéristiques biophysiques du milieu (qualité de l'eau, transport solide, communauté biologique…). De ces modifications résulteront des améliorations de ces caractéristiques biophysiques, elles-mêmes générant des bénéfices pour des bénéficiaires

2 Objectif et portée de l'ouvrage

Ce nouvel ouvrage s'adresse aux décideurs de la gestion de l'eau et des milieux aquatiques. **Son objectif est de mettre en évidence, pour les projets d'ingénierie écologique appliqués aux milieux aquatiques, les bénéfices, ainsi que les bénéficiaires associés, en mettant l'accent sur le caractère multi-bénéfices de ces projets.**

Tout projet consiste en l'application d'une ou généralement plusieurs techniques sur un espace (urbain, agricole, forestier, aquatique) pour en orienter le comportement, en général pour remédier à un changement de son fonctionnement. Il s'agit donc d'abord et avant tout d'induire des modifications ou évolutions des caractéristiques biophysiques du milieu (qualité de l'eau, transport solide, communauté biologique…). De ces modifications résulteront des améliorations de ces caractéristiques biophysiques, elles-mêmes générant des bénéfices pour des bénéficiaires (**FIGURE 1**).

LIEN ENTRE INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE, IMPACTS, BÉNÉFICES ET BÉNÉFICIAIRES

FIGURE 1

L'ouvrage s'intéresse aux projets d'ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Toutefois, la nécessaire gestion intégrée des bassins versants impose la prise en considération des interconnections entre les milieux : milieux aquatiques, milieux terrestres et leurs interfaces.

3 Structure de l'ouvrage

L'ouvrage est structuré en 2 chapitres.

Le CHAPITRE 1 porte sur les bénéfices et les bénéficiaires dans les projets d'ingénierie écologique. Après un rappel des grands principes de l'ingénierie écologique, il explique en quoi une meilleure identification des « publics » (au rang desquels la Nature elle-même *via* les services écosystémiques) concernés par d'éventuels bénéfices ou préjudices de ces projets, et des relations entre eux et avec l'écosystème, peut constituer un levier pour le développement de l'ingénierie écologique.

Le CHAPITRE 2 met en avant le caractère potentiellement multi-bénéfices des projets d'ingénierie écologique à travers quatre grands types d'actions, correspondant chacun à un domaine d'application de l'ingénierie écologique :

- la restauration du lit d'un cours d'eau et la lutte contre les inondations,
- la gestion des eaux pluviales en milieu urbain et péri-urbain,
- l'amélioration de la qualité de l'eau des milieux aquatiques à l'interface péri-urbain/agricole,
- la création d'habitats en zone portuaire le long des petits fonds côtiers.

Il détaille comment aborder cette question de l'identification des bénéfices et des bénéficiaires des projets au sein de ces quatre grands types d'action.

Pour chaque domaine abordé, une réflexion est portée sur d'une part les principaux bénéfices (voire préjudices) inhérents au type d'action d'ingénierie écologique, d'autre part les autres bénéfices qui pourraient être générés. Elle est présentée au travers d'un **exemple type d'action**, suivi par des **illustrations concrètes de projets multi-bénéfices, présentées sous forme de retours d'expériences.**

Après une conclusion, l'ouvrage donne des perspectives concernant l'évaluation des projets d'ingénierie écologique et les solutions fondées sur la nature.

Chapitre 1

Les bénéfices et les bénéficiaires dans les projets d'ingénierie écologique

1 GRANDS PRINCIPES DE L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE 12

1 Définitions p. 12
2 Milieux et domaines d'application p. 13
3 Services écosystémiques concernés p. 13
4 Une gestion de plus en plus intégrée des milieux p. 15

2 MIEUX IDENTIFIER LES BÉNÉFICES ET LES BÉNÉFICIAIRES DES PROJETS, UN LEVIER POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE 16

1 Bénéfices et bénéficiaires : de quoi parle-t-on ? p. 16
2 Une analyse élargie pour maximiser les bénéfices et les bénéficiaires des projets d'ingénierie écologique p. 17
3 L'identification et l'évaluation des bénéfices p. 18
4 L'identification, la caractérisation et la priorisation des bénéficiaires p. 19

Chapitre 1

1

GRANDS PRINCIPES DE L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE

1 Définitions

Plusieurs groupes de travail se sont récemment constitués pour mieux définir les contours et les buts de l'ingénierie écologique. Une définition consensuelle a émergé, définissant ce concept comme une ingénierie faite pour l'essentiel « par et pour le vivant » (Rey et al. (coord.), 2014). Le terme « par » le vivant est là pour inciter les chercheurs et praticiens à utiliser les principes de l'écologie, la connaissance du vivant et plus largement du fonctionnement des écosystèmes pour atteindre leurs objectifs. L'expression « pour » le vivant indique quant à elle que la finalité est bien souvent écologique, la restauration d'un milieu dégradé par exemple, mais également au service de l'Homme, donc aussi économique et sociale.

De manière plus précise, dans l'ouvrage « Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques : pourquoi ? comment ? » de l'Astee, Chocat (coord.) (2013) a proposé d'identifier l'ingénierie écologique comme une ingénierie calée à la fois sur : 1/ une finalité : améliorer, restaurer, conserver, ne pas dégrader la qualité d'un écosystème ; 2/ une démarche : basée sur les principes de l'ingénierie, à savoir une approche technique rigoureuse dans la conception, la réalisation et l'évaluation des projets, basée sur des règles de l'art partagées et des connaissances scientifiques solides ; 3/ des outils : utilisant les processus naturels des écosystèmes (**FIGURE 2**).

L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE VUE COMME UNE FINALITÉ ET/OU UN MOYEN D'ACTION

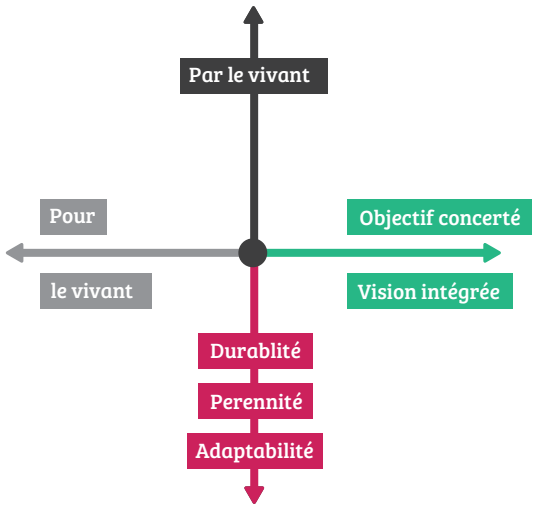


FIGURE 2

Les grands principes qui permettent de qualifier l'ingénierie écologique sont les suivants :

- elle s'appuie autant que possible sur des mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques (« par » le vivant),
- elle contribue autant que possible au maintien et/ou à la restauration du bon fonctionnement des milieux aquatiques, par la prévention des pressions et/ou altérations potentielles, ou bien la réduction des pressions en place (« pour le vivant »),
- elle s'inscrit autant que possible dans une politique territoriale intégrant gestion écosystémique et développement socio-économique (objectifs concertés),
- elle garantit sur le long terme le bon fonctionnement de l'écosystème et l'atteinte des objectifs associés au projet (durabilité),
- elle s'applique autant que possible à la bonne échelle spatiale, c'est-à-dire à l'échelle du territoire ou bien au bon niveau d'organisation (vision intégrée).

2 Milieux et domaines d'application

L'ingénierie écologique peut concerner autant les milieux terrestres et aquatiques, que ceux à l'interface entre les deux, et s'appliquer à divers types de milieux (naturels, anthropisés, interfaces entre les deux), types de climat (montagnard, méditerranéen, de plaine…), niveaux d'organisation (cellule, individu, population, communauté, écosystème, paysage) et types d'espèces (végétales et animales) (**FIGURE 3**). Dans cet ouvrage, seuls les milieux aquatiques seront abordés.

OUVRAGE D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE (GÉNIE VÉGÉTAL) LE LONG D'UN COURS D'EAU

FIGURE 3 F. REY

D'après plusieurs auteurs (Chapuis et al., 2002 ; Barnaud et Chapuis, 2004 ; Dutoit, 2012, 2013 ; Chocat (coord.), 2013), les domaines d'application couverts par l'ingénierie écologique, correspondant à des grands types d'actions que l'ingénieur-conseil peut préconiser, sont divers. Citons par exemple :

- la prévention des inondations,
- la restauration de milieux dégradés, comprenant la réhabilitation et la renaturation de ces milieux, ainsi que la création de nouveaux milieux,
- la dépollution et l'épuration des sols et des eaux pollués,
- la conservation des milieux et de la biodiversité,
- plus généralement la gestion durable des milieux quel que soit leur niveau d'artificialisation : naturels, ruraux, péri-urbains ou même urbains.

L'ingénierie écologique permet d'agir sur les écosystèmes et d'accroître les services rendus par ces derniers, tant en nombre qu'en niveau de services déjà présents

3 Services écosystémiques concernés

Si l'intérêt de l'ingénierie écologique peut être purement écologique, il peut également l'être pour les activités économiques, les individus et divers groupes sociaux. En effet, l'ingénierie écologique agit sur les écosystèmes et, en conséquence, sur leur capacité à délivrer des biens et services aux êtres humains. Les actions d'ingénierie écologique peuvent ainsi permettre la bonne ou meilleure expression des biens et services écosystémiques. En France, l'Évaluation française des écosystèmes et des services (EFESE, 2016) définit les biens et services écosystémiques comme des « avantages socioéconomiques retirés par l'homme de son utilisation durable des fonctions écologiques des écosystèmes ».

L'ingénierie écologique permet d'agir sur les écosystèmes et d'accroître les services rendus par ces derniers, tant en nombre qu'en niveau de services déjà présents. Il existe aujourd'hui une Classification internationale commune des services écosystémiques (CICES), répartis en 3 grands groupes : services de régulation et de soutien, services socio-culturels et services d'approvisionnement (AEE, 2015) (**FIGURE 4, PAGE SUIVANTE**).

EXEMPLES DE SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE

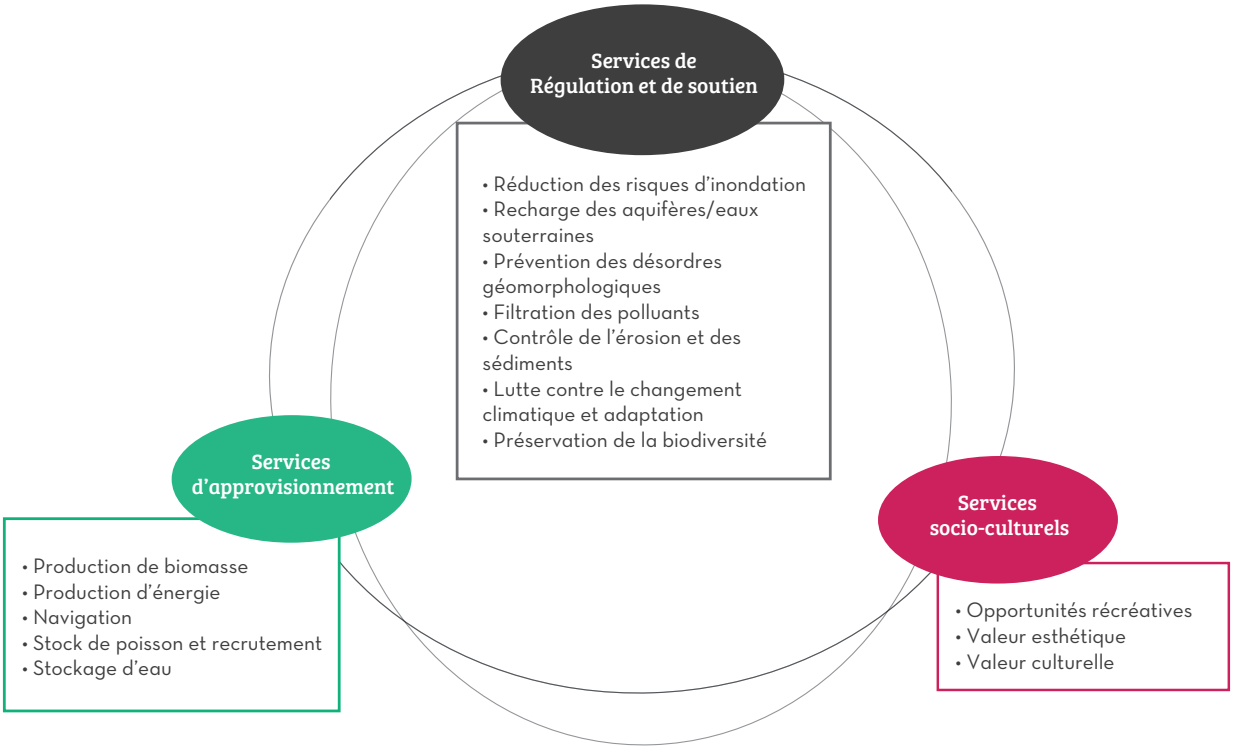


FIGURE 4

Une première évaluation de ces services et de l'état des écosystèmes a été réalisée par l'ONU en 2005 (Millenium Ecosystem Assessment). En France, l'EFESE (2016) a permis de dresser un état des lieux de l'état et de l'évolution des écosystèmes français et de leur biodiversité.

L'ingénierie écologique peut surtout permettre d'accroître le niveau de services de régulation et de soutien rendus par les écosystèmes. Il s'agit en effet d'un des objectifs majeurs de nombre de projets d'ingénierie écologique. L'amélioration de la qualité des eaux est l'un de ces objectifs, lorsqu'on restaure des écosystèmes dans l'optique qu'ils assurent ensuite, de manière autonome, une épuration des eaux aboutissant à une meilleure qualité. Les zones de rejet végétalisées, espaces aménagés entre une station d'épuration et le milieu récepteur , et plus globalement les actions en lien avec la qualité de l'eau ou sa quantité, peuvent être conçues à différentes échelles spatiales, du plan d'eau jusqu'à la rivière et au bassin versant. La gestion de l'érosion des sols dégradés et de leur couverture végétale, en particulier sur les berges de rivières et plus globalement à l'échelle du bassin versant, mais également celle des évolutions dans le lit majeur des cours d'eau, représentent également tout un volet de l'ingénierie écologique qui vise à améliorer les services de régulation fournis par les écosystèmes. Enfin, les actions d'ingénierie écologique cherchent à préserver, restaurer ou gérer des milieux, pour la fourniture d'habitats pour les communautés animales et végétales et/ou de prévention des désordres. Elles correspondent par exemple à la restauration de la continuité de cours d'eau, à la création de zones d'expansion de crue ou d'autres actions redonnant un espace de liberté au cours d'eau, ou encore à la création d'un îlot reposoir pour les oiseaux (Rey et al. (coord.), 2015).

L'ingénierie écologique peut aussi permettre d'accroître le niveau des services à caractère social et culturel rendus par les écosystèmes. On pense souvent à l'effet de ces actions sur les paysages, en oubliant parfois le cadre de vie plus proche (abord du cours d'eau, environnement urbain…), sans oublier les aspects éducatifs. C'est le cas de toute action de restauration écologique de sites dégradés, les écosystèmes restaurés alliant souvent la fourniture de services socio-culturels avec celle de services de régulation ou de soutien.

Enfin, **des services d'approvisionnement peuvent également être rendus par des écosystèmes visés par les actions d'ingénierie écologique**. Le ralentissement de l'eau ou sa rétention permettent de disposer de volumes utilisables pour l'approvisionnement en eau, mais les actions entreprises peuvent aussi être à même de viser des systèmes de production basés sur la valorisation de processus naturels, caractérisés par des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

4 Une gestion de plus en plus intégrée des milieux

Dans un contexte de changement climatique de plus en plus contraignant, les politiques publiques environnementales incitent et obligent à envisager une gestion de plus en plus intégrée des activités humaines et des risques naturels, permettant de dépasser les approches sectorielles et de croiser les différents enjeux des espaces et des territoires. Cette vision intégrative s'applique aussi bien à l'échelle d'espaces fonctionnels que de territoires administratifs et de projets. D'un côté, les espaces fonctionnels sont liés aux écosystèmes (versants, bassins versants, massif forestier…) ou aux activités humaines (sites touristiques, couronnes périurbaines…). De l'autre, les territoires sont des lieux d'expression de régulations et de modalités de gouvernances locales des activités et des risques naturels (collectivités territoriales, Parcs Naturels Régionaux…).

Par exemple, en ce qui concerne les milieux marins, des « schémas territoriaux » se mettent en place et mettent en avant la complémentarité des projets, permettant d'identifier ceux qui relèvent d'un caractère prioritaire. Un autre exemple concerne la mise en place des SDAGE (Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux) à l'échelle des grands bassins hydrographiques, qui présentent une forte connotation de préservation et de restauration des milieux. Celle des PGRI (Plans de gestion des risques d'inondation) lui a succédé dans le temps avec un volet inondation prépondérant, mais avec la nécessité affichée de mettre en cohérence les deux approches. D'où l'émergence de besoins nouveaux tant en gouvernance qu'en gestion et ingénierie. Au sein du « Grand cycle de l'eau », la compétence GEMAPI, qui regroupe la Gestion des milieux aquatiques (GEMA) et la Prévention des inondations (PI) en les confiant toutes deux aux Établissements publics de coopération intercommunale à Fiscalité propre (EPCI-FP) depuis le 1er janvier 2018, illustre bien ces approches nouvelles. Ces regroupements de compétences ne s'arrêteront pas là. Ainsi, les compétences « Eau et assainissement », composant le « Petit cycle de l'eau », rejoindront celles de la GEMAPI au niveau des EPCI-FP au 1er janvier 2020. Et il reste encore tout un pan des compétences liées au Grand cycle de l'eau et aux milieux terrestres qui devraient logiquement être considéré pour une approche intégrée de la gestion des milieux aquatiques, telles que celles liées au ruissellement (et la question des eaux pluviales, urbaines ou non), à l'érosion des sols ou encore à la dépollution des sols et des eaux.

Ces multi-compétences nécessaires vont se traduire par un besoin accru de savoir-faire pour la réalisation d'actions multi-objectifs et optimisées au sein des projets des collectivités.

2

MIEUX IDENTIFIER LES BÉNÉFICES ET LES BÉNÉFICIAIRES DES PROJETS, UN LEVIER POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE

1 Bénéfices et bénéficiaires : de quoi parle-t-on ?

Dans cet ouvrage, nous posons la question des « bénéfices » des projets d'ingénierie écologique appliqués aux milieux aquatiques. En effet, les actions d'ingénierie écologique peuvent répondre à divers objectifs d'ordres écologique, social ou économique (**FIGURE 5**). Ces actions pourront alors engendrer divers **bénéfices**, c'est-à-dire des gains, des profits ou des **avantages**, qui seront eux-mêmes d'ordres écologique, social ou économique, et qui peuvent participer à « décrire un service écosystémique » (EFESE, 2016). Les actions d'ingénierie écologique peuvent en effet s'apparenter à des services environnementaux en restaurant par exemple des fonctionnalités des écosystèmes. En retour, ces actions d'ingénierie peuvent permettre un maintien ou un accroissement des services écosystémiques. Des exemples de bénéfices par service écosystémique rendu sont décrits dans le **TABLEAU 1**.

> Les actions d'ingénierie écologique peuvent engendrer divers bénéfices, c'est-à-dire des gains, des profits ou des avantages d'ordres écologique, social ou économique

La seconde question que nous posons est celle de savoir « pour qui ? » sont réalisés ces projets. En d'autres termes, nous nous interrogeons sur l'identification des personnes ou groupes de personnes (physiques ou morales) **bénéficiaires** de ces projets : « qui bénéficie du service rendu » ? Bien entendu, les actions d'ingénierie écologique, définies comme des actions « par le vivant » et « pour le vivant », concernent également l'amélioration de la qualité des milieux pour le monde animal et le monde végétal (le biote), l'homme en étant bien souvent aussi un bénéficiaire.

Exemples de bénéfices par service écosystémique

Actions	Services écosystémiques		
	Régulation	Socio-culturel	Approvisionnement
Restauration de plaine d'inondation	Prévention des inondations	Amélioration de la santé de la population	Stockage d'eau, amélioration de la reproduction des poissons
Restauration du lit mineur d'un cours d'eau	Augmentation de la capacité d'autoépuration de l'eau	Eau de meilleure qualité, valeur paysagère du lit mineur	Amélioration de la qualité écologique du lit mineur
Restauration de ripisylve	Rôle de couloirs écologiques	Augmentation de la valeur du milieu	Production de biomasse
Réhabilitation de zone humide	Augmentation de la résistance des écosystèmes	Création d'emplois	Production de biomasse, épuration des eaux

TABLEAU 1 Commission européenne, 2014, modifié

L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE : DES ACTIONS AUX OBJECTIFS DIVERS

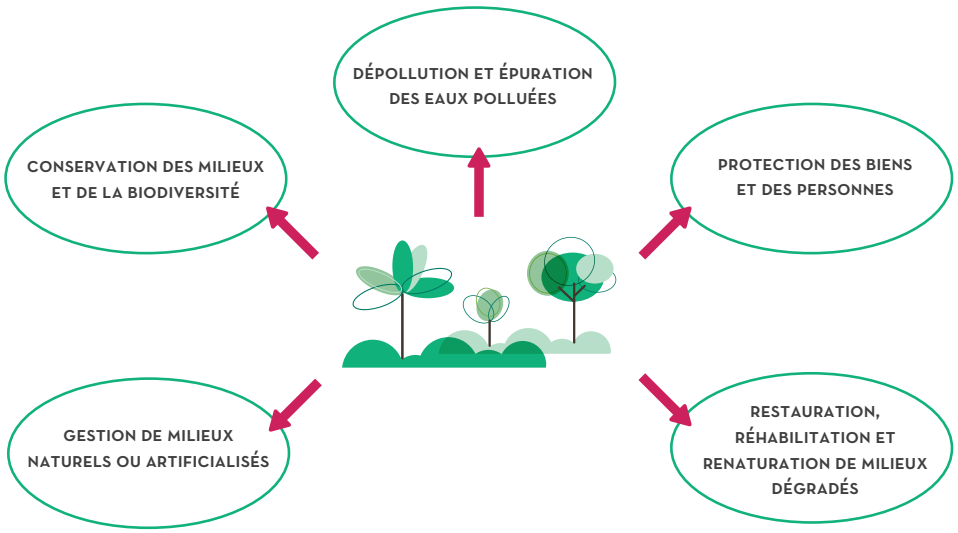


FIGURE 5

Il faut toutefois noter que ces mêmes actions pourront parfois engendrer des **inconvénients** pour certains, que nous appellerons « lésés » dans cet ouvrage.

2 Une analyse élargie pour maximiser les bénéfices et les bénéficiaires des projets d'ingénierie écologique

Afin d'optimiser les opérations d'aménagement ou de gestion des milieux aquatiques à l'échelle d'un bassin versant, d'une zone côtière ou d'un territoire, il apparaît opportun de chercher à identifier, caractériser voire estimer les bénéfices des actions envisagées, ainsi que les bénéficiaires associés, sur les trois plans écologiques, économiques et sociaux.

Les projets d'ingénierie écologique sont multifonctionnels. Ils génèrent ainsi plusieurs bénéfices d'ampleurs différentes pour plusieurs bénéficiaires qui peuvent chacun contribuer au financement des bénéfices qu'ils recherchent.

Cette analyse globale d'un projet doit permettre, en comparaison des coûts des travaux engagés pour des chantiers donnés ciblant des bénéficiaires et des bénéfices circonscrits, d'aider les donneurs d'ordres, gestionnaires et financeurs à faire des choix d'investissement dans des travaux d'ingénierie écologique. Cela permet aussi de mieux définir leurs objectifs au regard des plus-values attendues à différentes échelles spatiales et temporelles (local, bassin versant, territoire… ; temps de réalisation du projet, de stabilisation de l'écosystème, des effets notables du changement climatique…).

Les projets d'ingénierie écologique sont multifonctionnels. Ils génèrent ainsi plusieurs bénéfices d'ampleurs différentes pour plusieurs bénéficiaires qui peuvent chacun contribuer au financement des bénéfices qu'ils recherchent

3 L'identification et l'évaluation des bénéfices

Lors de la conception d'un projet d'ingénierie écologique, **l'identification des bénéfices** (et des inconvénients) qui pourront être développés par la solution préconisée, qu'ils soient écologiques, sociaux ou économiques, est importante (**FIGURE 6**). Il faut cependant être en mesure d'identifier qui peut dire qu'il s'agit d'un bénéfice ou d'un inconvénient, et pour qui ! Parallèlement, se posent les questions de quantification et monétarisation des bénéfices non marchands, et de l'incertitude des résultats concernant l'ensemble des bénéfices.

ENJEUX HUMAINS À PROTÉGER DES RISQUES NATURELS À L'EXUTOIRE D'UN BASSIN VERSANT TORRENTIEL DE MONTAGNE

FIGURE 6 F. REY

Ces bénéfices peuvent en effet être **qualitatifs ou quantitatifs**. Ils peuvent également être **évalués monétairement ou non**. Sur la question de la quantification, il apparaît rapidement que certains bénéfices sont plus facilement visibles ou quantifiables que d'autres. Dans le cas de l'aménagement d'une rivière par exemple, une action de reméandrage se voit relativement bien et son impact sur les vitesses d'écoulement peut se calculer. Les bénéfices sur le transport sédimentaire et les crues peuvent se mesurer à diverses échelles géographiques. Mais ceux sur la qualité chimique de l'eau ou la biodiversité du fond sont souvent moins visibles. La caractérisation qualitative des bénéfices, bien argumentée, expliquée et repositionnée dans son contexte, peut tout aussi bien s'avérer très riche en informations, en pistes d'interprétation ou en nouveaux questionnements, et mérite très largement d'être prise en considération. Cependant le qualitatif reste plus facilement critiquable et il faut donc qu'il repose sur des méthodes robustes, des argumentaires et des explications qui sachent rappeler ses limites. Dans tous les cas, l'investissement en temps et en argent dans une évaluation de bénéfices quantifiés, mérite d'être réfléchi avant de s'engager dans une telle démarche.

Par ailleurs, **l'estimation *ex ante* de rapports coûts-bénéfices, ou mieux encore par rapport aux difficultés de monétarisation des bénéfices non marchands, l'analyse multi-critères (qui n'oblige pas à tout traduire en unité monétaire), peuvent s'avérer un moyen puissant pour convaincre les donneurs d'ordres d'utiliser l'ingénierie écologique.** Par exemple, dans le cadre de la GEMAPI évoquée plus avant dans cet ouvrage, la mise en œuvre de la PI dans le cadre d'un Plan d'action et de prévention des inondations (PAPI) exige une évaluation de la pertinence de l'intervention *via* une analyse coûts-bénéfices, indispensable pour comparer des projets (les projet GEMA n'ayant pas cette obligation de monétariser les bénéfices). Pour cela, au sein d'un projet, une réflexion peut avantageusement s'appuyer sur un outil d'aide à la décision multicritères, sachant qu'il ne s'agit pas d'agréger tous les bénéfices (et inconvénients) dans une fonction économique globale, mais au contraire de chiffrer chacun des bénéfices avec sa propre échelle d'évaluation. Cela doit permettre de proposer diverses stratégies d'intervention, avec différents scénarii d'actions selon les bénéficiaires pris en compte. Pour chaque scénario d'intervention, il s'agit alors de mettre en balance les coûts et les bénéfices qualitatifs et quantitatifs voire monétarisés de l'opération d'ingénierie écologique envisagée, à l'échelle du bassin versant ou du territoire concernés, voire aussi comparer une solution d'ingénierie écologique avec une solution de génie civil, ceci pouvant se faire *via* la valeur actuelle nette comparée des deux solutions quand celle-ci est calculable. Au final, une prise en compte des effets biophysiques, des services écosystémiques et des enjeux locaux doivent permettre d'identifier qui pourrait le plus bénéficier ou être impacté par tel ou tel aspect du projet, et participer ainsi (financièrement ou non), voire freiner, la réalisation du projet. Le fait de ne pas tout traduire en unité monétaire permet d'éviter l'effet « boîte noire » d'une analyse coût-bénéfice classique et d'expliciter au décideur les différents bénéfices à attendre du projet, en les mettant en regard des

La mise au point et l'utilisation d'outils d'évaluation des bénéfices et des inconvénients du projet, si possible quantifiés et/ou monétarisés, peuvent permettre de mieux mettre en valeur les projets

coûts. Notons également que des retours d'expériences ont montré que l'analyse coûts-bénéfices n'était pas forcément appropriée pour chiffrer les bénéfices non marchands (Feuillette et al., 2015). Certaines actions présentent d'ailleurs un bilan avantages – inconvénients si positifs qu'elles sont qualifiées de « sans regret » et une évaluation apparait alors comme peu utile.

Dernière étape, la réalisation d'une **évaluation *ex post* de la réussite** (ou non) des projets d'ingénierie écologique apparaît nécessaire, face aux incertitudes sur certains bénéfices, notamment quantifiés en phase *ex ante* sur la base de modélisations. La mise au point et l'utilisation d'outils d'évaluation des bénéfices et des inconvénients du projet, si possible quantifiés et/ou monétarisés, peuvent ainsi permettre de mieux mettre en valeur les projets (valeurs écologique, économique et sociale, aménités...). Elle peut avantageusement s'appuyer sur des retours d'expériences et des indicateurs d'évaluation, existants ou à mettre au point. Outre de permettre une optimisation du projet, elle peut fournir des références utiles pour éclairer les choix dans le cadre de futurs projets.

La question du délai de « restitution » des bénéfices d'un projet reste importante. L'échelle temporelle de l'évaluation des bénéfices relève en effet d'une importance capitale, notamment pour les financeurs qui exigent parfois des résultats mesurables rapidement.

4 L'identification, la caractérisation et la priorisation des bénéficiaires

L'identification des bénéficiaires potentiels d'un projet passe tout d'abord par une **identification des changements de fonctionnement du milieu, à l'origine des préjudices** subis par des personnes, ces dernières étant d'ailleurs parfois à l'origine du projet d'ingénierie écologique. Il s'agit de réaliser un diagnostic initial, partagé et validé par tous les acteurs, afin d'identifier les causes à l'origine des changements, de décider ou non d'intervenir, de définir les bons objectifs et d'y associer les actions d'ingénierie écologique avec l'efficacité attendue. Pour cela, une grille de lecture et de description des changements de fonctionnement peut être opportune pour ne rien oublier. Le problème n'est pas forcément le même selon l'échelle spatiale et temporelle à laquelle on s'attache et selon les personnes touchées par ces changements, qui correspondent aux bénéficiaires de l'action d'ingénierie écologique à envisager.

Parmi l'ensemble des bénéficiaires, l'objectif peut être, tout en cherchant à concilier différents objectifs, de **définir le ou les plus importants pour les décideurs**. Si on peut rarement satisfaire tout le monde, on pourra dans tous les cas tenter d'entendre, de discuter des arguments des uns, des autres bénéficiaires et des porteurs de projet, afin d'essayer de tendre vers un maximum de bénéficiaires. Cette définition des priorités pourra être réalisée à partir d'une analyse des conséquences possibles, positives et négatives, des projets d'ingénierie écologique, ou bien selon l'urgence d'une intervention. Par ailleurs, à l'échelle géographique d'un projet d'ingénierie écologique (bassin versant ou territoire, local à régional), voire au-delà du territoire de projet, il peut, dans les cas où des objectifs économiques et sociaux sont définis, s'avérer opportun de cartographier les bénéficiaires. L'élaboration concertée d'une telle cartographie doit permettre de distinguer différentes zones regroupant des bénéficiaires locaux et globaux de différentes natures.

Enfin, il est nécessaire d'évaluer **les préjudices liés aux changements de fonctionnement** posant problème (sachant que les préjudices des uns peuvent aussi s'avérer les bénéfices des autres et inversement) pour anticiper les non-bénéficiaires ou lésés, et les associer également au projet. Les scénarii d'évolution qui seront proposés aux acteurs sont liés à un rétablissement du fonctionnement du milieu, qui peut être défini de différentes manières (modélisation par exemple).

Chapitre 2

Les projets d'ingénierie écologique : des actions multi-bénéfices

1 RESTAURATION DU LIT D'UN COURS D'EAU ET LUTTE CONTRE LES INONDATIONS — 23

1 Contexte p. 23
2 Exemple type d'action multi-bénéfices p. 26
3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices p. 28

1 Végétalisation de ravines érodées : pour conjuguer restauration écologique de milieux dégradés et prévention des inondations a l'echelle d'un grand bassin versant p.28
2 Recréation du matelas alluvial d'un cours d'eau pour restaurer ses fonctionnalités hydrologiques p.32
3 Restauration d'une rivière en tresses incisée dans les argiles par élargissement et recharge sédimentaire p.37
4 Restauration de l'espace de liberté d'un cours d'eau alluvial p.43
5 Restauration et renaturation écologiques d'une gravière p.48
6 Restauration de la continuité écologique par création d'une rivière de contournement d'un plan d'eau et son barrage p.54
7 Création de zones d'expansion des crues pour limiter les risques d'inondation p.60
8 Confortement de berges de rivière par des techniques végétales comme alternative durable aux protections minérales fugaces p.64

2 GESTION DES EAUX PLUVIALES EN MILIEU URBAIN ET PÉRI-URBAIN — 68

1 Contexte p. 68
2 Exemple type d'action multi-bénéfices p. 70
3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices p. 72

1 Gestion des eaux pluviales d'une zone d'aménagement concerté via un projet urbain innovant p.72

3 AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES MILIEUX AQUATIQUES À L'INTERFACE PÉRI-URBAIN/AGRICOLE — 75

1 Contexte p. 75
2 Exemple type d'action multi-bénéfices p. 77
3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices p. 78

1 Mise en assec partielle et progressive d'un étang pour lutter contre l'eutrophisation p.78
2 Création de roselières fluviales pour réhabiliter les plans d'eau p.82
3 Amélioration du traitement des rejets localisés par des zones de rejet végétalisées et pour des services plus intégrés p.88
4 Régulation des transferts de matières organiques via le réseau racinaire d'une ripisylve indigène restaurée p.94
5 Réduction des transferts de pollution diffuse d'origine agricole par une zone tampon humide artificielle p.97
6 Création d'une zone accélératrice de biodiversité autour d'une station d'épuration p.103
7 Réhabilitation et aménagement d'une zone humide p.108

4 CRÉATION D'HABITATS EN ZONE PORTUAIRE LE LONG DES PETITS FONDS CÔTIERS — 115

1 Contexte p. 115
2 Exemple type d'action multi-bénéfices p. 119
3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices p. 120

1 Réhabilitation de la fonction « nurserie » dans le cycle de vie des poissons marins au sein des ports de Méditerranée p.120

Dans ce chapitre, nous souhaitons montrer comment une seule et même intervention d'ingénierie écologique, même si elle cible un objectif prioritaire (recherche d'un bénéfice), peut avoir plusieurs autres bénéfices (écologiques, économiques, sociaux), avec l'Homme comme bénéficiaire « à tous les étages ».
Pour cela, on peut illustrer le propos par quatre grands types d'actions, correspondant chacun à un domaine d'application de l'ingénierie écologique, que l'on peut représenter à l'échelle d'un bassin versant comprenant plusieurs zones, reliées par les ruissellements de versant et les écoulements de surface (cours d'eau) ou souterrains (nappe) (FIGURE 7) :

- la restauration du lit d'un cours d'eau et la lutte contre les inondations (zone amont A, peu anthropisée mais dégradée),
- la gestion des eaux pluviales en milieu urbain et péri-urbain (zone intermédiaire B),
- l'amélioration de la qualité de l'eau des milieux aquatiques à l'interface péri-urbain/agricole (zone intermédiaire C, à l'interface entre un milieu agricole et une zone péri-urbaine),
- la création d'habitats en zone portuaire le long des petits fonds côtiers (zone aval D, à l'interface avec la mer – embouchure estuarienne).

ZONES D'APPLICATION DES 4 GRANDS TYPES DE PROJETS MULTI-BÉNÉFICES D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE DÉVELOPPÉS DANS CET OUVRAGE

FIGURE 7

Une telle représentation permet d'appréhender la nécessaire cohérence de différents types d'actions d'ingénierie écologique, à envisager selon une gestion intégrée à l'échelle du bassin versant, avec des relations amont-aval et latérales fortes. Nécessairement co-construites avec les acteurs du milieu (décideurs, gestionnaires, concepteurs, citoyens...), réalisées à un endroit précis du bassin, chacune d'elles cible un bénéfice principal, mais aussi d'autres bénéfices, parfois sur d'autres zones du bassin (FIGURE 8).

LES PROJETS D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE : UNE CO-CONSTRUCTION NÉCESSAIRE AVEC L'ENSEMBLE DES ACTEURS DU MILIEU

FIGURE 8 F. REY

Pour chaque domaine abordé, une réflexion est apportée sur d'une part les principaux bénéfices (voire préjudices) inhérents au type d'action d'ingénierie écologique, d'autre part les autres bénéfices qui pourraient être générés. Elle est présentée au travers d'un **exemple type d'action**, suivi par des **illustrations concrètes de projets multi-bénéfices, présentées sous forme de retours d'expériences.**

Chapitre 2

1

RESTAURATION DU LIT D'UN COURS D'EAU ET LUTTE CONTRE LES INONDATIONS

1 Contexte

Avec la GEMAPI, qui invite à concilier la gestion des milieux aquatiques – dont leur restauration – et la lutte contre les inondations, de nouvelles obligations incombent aux collectivités et génèrent d'importantes demandes d'accompagnement et de conseils, ainsi que des besoins méthodologiques, à différents niveaux : gouvernance, accompagnement de la gestion de milieux aquatiques et des ouvrages hydrauliques, assistance à l'ingénierie, participation à l'élaboration, la coordination, la mise en œuvre et le suivi des dispositifs et des procédures d'aménagement existants : Plan d'action et de prévention des inondations (PAPI), Plan grands fleuves (PGF), Contrat de rivières, Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), Stratégie locale de gestion du risque d'inondation (SLGRI)... Cependant, si elle peut être source de contraintes, la GEMAPI et ses obligations réglementaires représentent une opportunité de valorisation des territoires, tant au niveau de la gestion intégrée de l'eau à l'échelle d'un bassin versant, grâce à une nouvelle gouvernance des compétences locales de l'eau, que du développement de nouvelles compétences en ingénierie au sein des entreprises.

Pour les collectivités compétentes, il va s'agir de définir et financer des projets pluridisciplinaires, appliqués à l'échelle de bassins versants et conjuguant protection et écologie

Pour les collectivités compétentes, il va s'agir de définir et financer des **projets pluridisciplinaires, appliqués à l'échelle de bassins versants et conjuguant protection et écologie**. Or, les élus n'ont que rarement des connaissances et des compétences tant en écologie aquatique et végétale que dans la prévention des crues et des inondations. Ils s'en remettent volontiers aux bureaux d'études, grâce à leur savoir-faire dans la gestion hydrologique et écologique des rivières et des versants. Aujourd'hui, les actions de GEMA et de PI sont souvent planifiées à différents endroits dans le bassin versant, alors que désormais, une même action devra s'envisager pour permettre une gestion plus intégrée de l'eau par bassin versant, avec des questions de solidarité amont-aval et/ou rive droite-rive gauche. Par ailleurs, les études étant aujourd'hui majoritairement conduites dans le cadre de programmes d'aménagement de protection contre les inondations (PAPI, PSR, etc.), elles restent dans une logique séquentielle comprenant une première étape de « définition et dimensionnement d'ouvrages de protection » suivie de celle d'« évaluation de l'impact des infrastructures projetées sur le milieu et de définition de mesures compensatoires », alors que l'approche GEMA-PI vise à favoriser l'émergence et le développement, dans nos territoires, d'aménagements réellement « intégrés GEMA+PI » dès leur phase de conception.

Il s'ensuit des besoins nouveaux en ingénierie, qui concernent essentiellement la quantification des interventions et les bénéfices induits, pour des actions qui concilient la GEMA (vision écologique et biocentrée des projets) avec la PI (vision socio-économique et anthropocentrée des projets) sur un même site (**FIGURE 9**). Dans ces cas, pour quelles interventions opter ? Comment les dimensionner ? A quel coût, pour quelle efficacité et quelle durabilité ? Avec quels ordres de priorité ? Et qui a les compétences ? Ainsi, au niveau de l'ingénierie, il s'agit d'aider les bureaux d'études à la conception de telles interventions, ainsi qu'à leur réalisation, leur priorisation et leur optimisation.

Pour savoir « comment » gérer les inondations, il faut savoir « pourquoi », pour quels types d'inondation et quels objectifs et ne pas hésiter à combiner plusieurs formes d'interventions à des échelles différentes (ex : toitures végétalisées, infiltration au sol par des surfaces végétalisées et des chaussées filtrantes, noues, bassins végétalisés de stockage, zones humides…). Bien évidemment, les inondations ne posent problème que par leurs éventuelles conséquences négatives sur notre activité, nos biens, notre santé voire notre vie. On distingue donc :

- l'aléa, qui est le phénomène physique, aléatoire, que l'on doit représenter sous une forme synthétique pour pouvoir l'appréhender et raisonner : extension d'une crue historique et des plus hautes eaux connues, quantiles de débit en un point donné (valeurs de débit décennal, centennal…), cartographie de la zone inondée pour une période de retour donnée, souvent issue d'une modélisation hydraulique d'un scénario de crue supposé représentatif de cette période de retour… ;
- le risque, qui dépend de l'aléa et de la vulnérabilité du territoire : il représente les conséquences dommageables de l'aléa inondation, et peut par exemple être quantifié *via* les dommages moyens annualisés.

La plupart des actions de prévention des inondations « structurelles » (*via* des ouvrages ou actions physiques) ont pour objet de réduire le risque en modifiant l'aléa. Le chapitre 5 de l'ouvrage sur l'« Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques : pourquoi ? comment ? » (2013), consacré aux crues et inondations, rappelait que l'« efficacité » doit être définie par toutes les variables pertinentes (réduction de hauteur d'eau et surface inondée puis dommages aux biens, sans oublier les effets sur l'érosion, les rejets de polluants au milieu naturel…) et calculée aux bonnes échelles spatiale (toutes les zones impactées) et temporelle. Ainsi, la littérature scientifique montre qu'il est imprudent de dire *a priori* que telle ou telle action diffuse est « efficace contre les crues » : il faut préciser si on s'intéresse à des problèmes d'érosion, d'inondations locales, ou de réduction des dommages sur le bassin.

OUVRAGES D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE UTILISÉS POUR RESTAURER UN COURS D'EAU DÉGRADÉ (GEMA) TOUT EN CONTRIBUANT À PROTÉGER DES HABITATIONS CONTRE LES INONDATIONS (PI)

FIGURE 9 F. REY

De plus, les résultats obtenus sont valables dans un contexte donné (sol, pentes, topologie du réseau et horloge des crues…). Par contre, fournir quelques clefs « hydrologiques » de compréhension apparaît très important (Poulard et al., 2015). Pour interpréter un résultat, il convient d'être vigilant sur les hypothèses des études, notamment le(s) types d'événement(s) étudié(s) et leur périodes de retour estimées, ainsi que sur les méthodes de mesure, de simulation et d'analyse. Il est ainsi recommandé de :

- ne pas généraliser l'effet d'une occupation du sol ou des petits ouvrages d'une intensité de pluie à une autre, ni *a fortiori* à l'échelle du bassin entier, ni d'un cas à un autre ;
- dans le cas d'analyse de mesures de terrain : être prudent sur l'attribution des différences observées à ce qui est étudié. Deux bassins voisins ne sont pas exactement identiques ; sur un même bassin avant et après un changement, les événements de pluie sont différents, et les fortes crues sont en petit nombre ;
- caractériser l'effet global du système d'actions, ce qui est bien plus compliqué que de caractériser chaque action individuellement (Poulard et al., 2017).

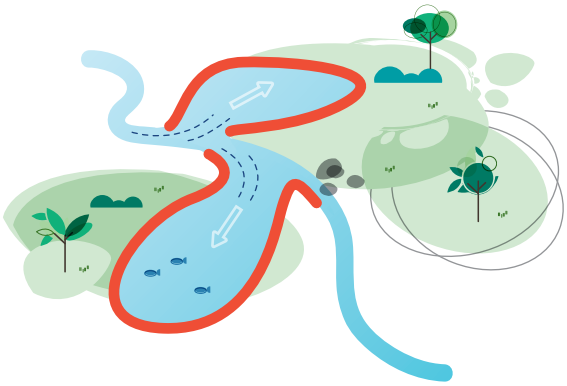
Définir explicitement la plage d'efficacité (crues extrêmes *vs* crues courantes, effet local *vs* contribution à un effet plus à l'aval) est indispensable non seulement pour bien décrire le fonctionnement « hydrologique », mais aussi pour préparer les éléments nécessaires à une analyse économique (analyse coûts-bénéfices), telle que demandée pour une labellisation PAPI (MTES, 2018). Des cartes d'extension des inondations pour différentes périodes de retour sont nécessaires pour établir la courbe dommage-fréquence puis calculer les Dommages moyens annualisés (DMA), ou plus simplement pour calculer le Nombre de personnes inondées en moyenne chaque année (NEMA).

Ainsi, la quantification des bénéfices est entrée dans la culture de « prévention des inondations », en particulier sous l'impulsion conjointe de la Directive Inondation et du programme PAPI, et pour les projets les plus importants elle doit être intégrée à une analyse multicritères. Or, si l'efficacité d'un ouvrage « assimilé génie civil » peut être évaluée, les actions d'ingénierie écologique, « diffuses », et faisant appel à des processus fins (ralentissement locaux, infiltration…) sont d'évaluation beaucoup plus difficile, surtout si on raisonne avec un ensemble d'actions réparties sur le bassin versant. On aimerait qu'il existe des modèles numériques travaillant sur un grand domaine à pas de temps fin et estimant l'infiltration en fonction de l'état de saturation du sol, ainsi que les écoulements de subsurface… Les chercheurs y travaillent, mais il reste difficile de tout concilier, et de toutes manières ce type de modélisation nécessite un gros travail de calage et d'expertise. L'autre challenge pour la réussite de l'intégration GEMAPI sera de concilier des objectifs différents (réduction des dommages et préservation/amélioration de la biodiversité), en s'appuyant par exemple sur des analyses multicritères (graphes en radar), dont la conduite sera sans doute le challenge majeur pour l'esprit GEMAPI : comment comparer et classer des projets ayant des « scores » très différents sur des axes très différents (quantitatifs/qualitatifs, GEMA/PI…).

L'essentiel est que les élus et financeurs puissent prendre leur décision en toute connaissance de cause, sans a priori sur les types d'actions possibles en ingénierie et génie, qu'ils soient écologiques ou civil

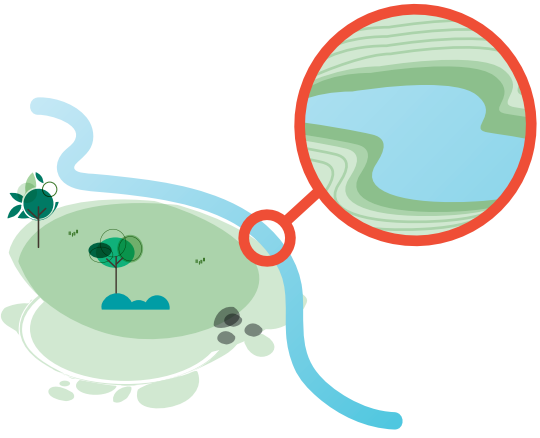
2 Exemple type d'action multi-bénéfices

1. DESCRIPTIF DE L'ACTION TYPE



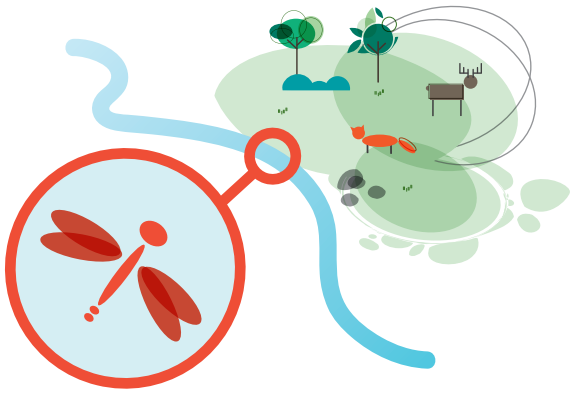
ZONES D'EXPANSION DES CRUES

Le long d'une rivière à méandres, des zones d'expansion de crue (ZEC) servant de déversoirs en cas de débordement au niveau du lit majeur de la rivière, ont été créées ou restaurées par la suppression d'un merlon (ou de la création de déversoirs dans ces merlons à la cote à partir de laquelle un laminage est souhaitable), et la réhabilitation d'une occupation du sol compatible avec l'inondation temporaire de la zone. Il peut s'agir de parcelles enherbées (plus ou moins humides) gérées par exemple par pâturage extensif adapté (espèces adaptées aux milieux humides) ou fauche, dans lesquelles ont été aménagées des mares en points bas, de la restauration de milieux humides, ou la reconnexion du cours d'eau avec les bras morts.



ÉROSION LATÉRALE

Le cours d'eau peut se déplacer latéralement par érosion des berges au sein de son « espace de liberté ». Ce processus alimente le lit mineur en sédiments grossiers, ce qui entraîne en son sein la formation de dépôts grossiers (bancs latéraux ou médians), lesquels peuvent atténuer une éventuelle incision.



BIODIVERSITÉ

Cela participe à maintenir la biodiversité.

OUVRAGES DE PROTECTION

Dès que le cours d'eau rencontre des zones d'activités humaines plus denses, son espace de liberté se trouve réduit et les activités humaines doivent être protégées par des aménagements de protection locale faisant appel au génie civil et à l'ingénierie écologique : digues, ripisylves arborés, berges consolidées par techniques végétales, ou caissons végétalisés.

2. BÉNÉFICES

Cet exemple théorique fait apparaître les bénéfices principaux (locaux) suivants :

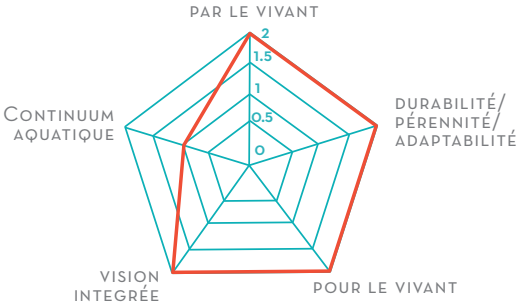
- protection des habitations contre l'érosion des berges et les inondations,
- fourniture de sédiments grossiers à la rivière,
- formation d'habitats dans lesquels s'installent diverses espèces qui circulent et interagissent les unes avec les autres,
- accroissement de la biodiversité et renforcement de la résilience des écosystèmes face au changement climatique,
- recharge de la nappe phréatique en eau purifiée (si la zone inondable est occupée par de la végétation permanente),
- services paysagers et récréatifs.

Mais il met également en avant un bénéfice supplémentaire (à l'aval), à savoir une réduction des niveaux d'eau pour des crues dans une certaine gamme, définie dans le projet, donc une réduction du risque inondation, en ville et sur les infrastructures.

3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices (retours d'expériences)

1

Végétalisation de ravines érodées : pour conjuguer restauration écologique de milieux dégradés et prévention des inondations à l'échelle d'un grand bassin versant



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE
RÉGION : PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le transit et les dépôts sédimentaires fins dans la rivière Durance et ses affluents ont toujours été très importants (Balland et al., 2002). Leur dépôt est responsable de dommages d'ordres :

- écologique : colmatage des frayères, problèmes d'équilibre sédimentaire des rivières, envasement de l'Etang de Berre
- économique : envasement et perturbation du fonctionnement des barrages hydro-électriques
- socio-économique : inondations.

Les pouvoirs publics cherchent ainsi des remèdes efficaces rapidement, économiques et durables à ces problèmes.

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

Ces matériaux proviennent en partie de l'érosion des ravines torrentielles inscrites dans des marnes du bassin versant de la Durance, sous climat montagnard et méditerranéen (Balland et al., 2002). Ces terrains représentent près de 40 000 ha (en considérant uniquement l'aval du barrage de Serre-Ponçon).

MOTEUR DU PROJET

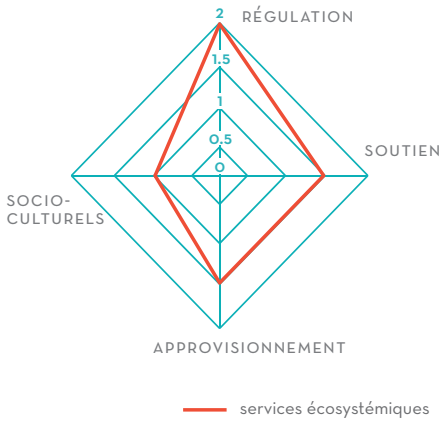
Les premiers objectifs du Plan Durance Multi-Usages (PDMU) sont d'augmenter la sécurité face au risque d'inondation. Ce plan identifie également le problème de l'envasement des retenues hydro-électriques et de l'Etang de Berre. Le Contrat de rivière Durance affiche quant à lui prioritairement des objectifs de restauration écologique de la rivière. Il cherche à répondre aux orientations du SDAGE du Bassin Rhône-Méditerranée & Corse (RM&C). Il identifie en particulier le problème du colmatage de frayères. Pour le Syndicat mixte d'aménagement de la vallée de la Durance (SMAVD), l'envasement de l'Etang de Berre représente également un problème majeur. Pour le Syndicat mixte d'aménagement de la Bléone (SMAB), les sédiments sont responsables du bouchage de buses. La problématique inondation est également prise en compte à travers la Stratégie locale de gestion du risque d'inondation (SLGRI) de la Durance.

PRÉSENTATION DU PROJET

Il s'agit d'un projet de recherche finalisée (Rey et al., 2015). Les recherches, menées entre 1998 et 2013, ont prouvé l'efficacité d'une solution de génie végétal (Crosaz et al., 2014) pour diminuer la sédimentation fine dans la Durance et ses affluents, avec une bonne estimation de son coût et de son efficacité. L'application de cette solution d'ingénierie écologique permet, dans des milieux montagnards et méditerranéens, de : 1/ contrôler l'érosion et la sédimentation fine tout en restaurant une couverture végétale sur les terrains dégradés, avec une diversification attendue dans le temps, tout ceci à l'amont du grand bassin versant de la Durance ; 2/ contribuer à la restauration de la qualité physique naturelle des cours d'eau ; 3/ contribuer à protéger les enjeux contre les inondations le long des cours d'eau et à l'aval (Schmitt et al., 2013).

Ainsi, depuis 1998, le projet a consisté à accroître les connaissances sur le rôle de la végétation et l'efficacité des techniques de génie végétal sur les processus d'érosion et de sédimentation sur marnes. Ces recherches, menées à différentes échelles spatiales (du lit de ravine au grand bassin versant, de la plante au paysage), ont porté sur un total de 1 578 ouvrages de types « cordons simples et cordons avec garnissage de boutures sur seuils en bois mort », permettant le développement d'une couverture végétale. On a étudié la résistance de ces ouvrages et de cette végétation aux crues (épisodes pluvieux extrêmes), dans des ravines de diverses tailles (0,1 à 3 ha), l'aptitude des boutures de saule et de peuplier à rejeter et survivre sous ce climat contraignant, la dynamique de la végétation spontanée sur les ouvrages, la capacité de la végétation à piéger et fixer des sédiments marneux, en montrant notamment la durabilité et l'augmentation dans le temps de ces processus, enfin les réponses hydro-sédimentaires des bassins végétalisés *via* la réduction des flux de sédiments marneux, ceci à différentes échelles spatiales au sein du bassin de la Durance. Outre l'étude de la performance des ouvrages, ces recherches grandeur nature ont également permis de constater la diminution des coûts d'intervention liés à des chantiers réalisés à de vastes échelles, ainsi que leur faisabilité technique, administrative et opérationnelle.

L'application des nouveaux savoirs et savoir-faire a alors débouché sur l'établissement d'un Plan d'aménagement au meilleur rapport coûts-bénéfices, établi à l'échelle du grand bassin versant de la Durance, pour une réduction de la sédimentation fine dans la rivière Durance et ses affluents (Rey et al., 2015). Ce plan repose sur une typologie et une carte des ravines à végétaliser, ainsi que l'identification et la cartographie des enjeux locaux et globaux, réalisés à l'échelle du bassin versant de la Durance. Il comprend : 1/ une hiérarchisation des terrains en Zones d'interventions prioritaires (ZIP) ; 2/ des règles pour le choix du type d'ouvrages à utiliser en fonction des caractéristiques et des contraintes de terrain. Ainsi, sur les quelque 40 000 ha de terrains marneux érodés aujourd'hui présents dans le grand bassin de la Durance, on a pu établir une première typologie permettant de caractériser les ravines érodées à végétaliser. Environ 26 300 ravines ont été ciblées pour une intervention par génie végétal, car elles répondent aux critères indispensables de pente du lit (< 40 %), de taille (< 3ha), de lithologie (marnes noires et autres marnes) et de couverture végétale (marnes nues ou marnes avec couvert végétal hétérogène), mis en évidence pour s'assurer de la réussite de telles actions. Cela correspond à un linéaire de lit de plus de 1000 km. Ce plan constitue ainsi un outil opérationnel visant à aider les décideurs, élus, financeurs et gestionnaires, notamment le SMAVD et la Région PACA, à décider des travaux de génie végétal à réaliser à l'échelle du grand bassin versant de la Durance.



BÉNÉFICIAIRES

Le projet a été initié dans le cadre du PDMU. Ainsi, le premier bénéficiaire identifié a été les populations, les habitations et les infrastructures soumises au risque d'inondation, représentant un enjeu social (et économique). De par l'existence d'une procédure de Contrat de rivière sur la Durance, et des objectifs divers des Syndicats (SMAVD et SMAB notamment), d'autres bénéficiaires principaux ont été identifiés, à savoir : 1/ les propriétaires de barrages hydroélectriques (EDF), ces derniers représentant des enjeux économiques importants ; 2/ les gestionnaires de cours d'eau, ces derniers étant notamment concernés par des enjeux écologiques. Au total, ce sont près de 40 enjeux qui ont été identifiés. Un travail de cartographie et de priorisation de ces enjeux a été initié. Une hiérarchisation des terrains érodés, basée sur la prise en compte de ces enjeux, a également été élaborée.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les services concernés par les actions de ce projet sont des services :

- de régulation : contrôle des crues des rivières et de l'érosion des sols (+++),
- de soutien : production d'habitats végétaux (++),
- d'approvisionnement : évitement de la perte de production d'énergie hydro-électrique (++),
- socio-culturels : amélioration de la qualité paysagère (+).

ÉVALUATION DU PROJET

Un modèle spatio-temporel (logiciel Simulfascine) a été bâti spécifiquement pour les besoins de cette étude (Lavandier et al., 2010). Cet outil interactif, développé à l'attention des praticiens, gestionnaires et décideurs, permet de simuler des opérations de génie végétal, d'évaluer leur impact en termes de rétention de sédiments, enfin d'estimer des rapports coûts-bénéfices, tout ceci à l'échelle du grand bassin versant de la Durance. Plusieurs scénarii d'opérations de génie végétal ont ainsi été simulés à cette échelle, permettant de déterminer la solution la plus rentable économiquement (meilleur rapport coûts-bénéfices). Ainsi, en prenant en compte une hauteur moyenne annuelle de stockage de sédiments dans les ouvrages de 10 cm, les scénarii apparaissent optimisés pour une durée de 15 ans. Ces opérations seraient largement positives en termes de volume total piégé et de rapport coûts/bénéfices, pour les ravines allant jusqu'à 2 ha. D'après les premières estimations, elles conduiraient en effet à une réduction moyenne des apports de matériaux fins marneux dans la Durance d'environ 30 %, ce qui apparaît comme un objectif significatif pour les gestionnaires. Il serait environ 10 fois plus avantageux économiquement d'intervenir par du génie végétal à l'amont plutôt que de curer régulièrement des retenues de barrages sur 100 ans. Un suivi dans le temps pourra être planifié pour vérifier la justesse des résultats du modèle. Enfin, cet outil est potentiellement transposable et pourrait être utilisé dans d'autres milieux présentant des lithologies proches de celles des marnes (alluvions fluvio-glaciaires par exemple), ainsi que sous d'autres conditions climatiques, moyennant une adaptation des espèces végétales utilisées et des modalités d'érosion.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Le projet suit son cours, l'objectif suivant étant de découper le grand bassin versant de la Durance en sous-bassins, et d'identifier ceux qui seraient prioritaires. Il s'agira alors d'identifier les maîtres d'ouvrage potentiels afin d'engager des travaux.

FINANCEMENT

Cette étude a été financée à hauteur de 1 470 000 € par le Ministère de l'écologie, EDF, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée & Corse, la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, l'Union européenne avec le programme « l'Europe s'engage en PACA avec le FEDER », et Irstea.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

BALLAND P., HUET P., LAFONT E., LETEURTROIS J.P., PIERRON P. 2002. Rapport sur la Durance – Propositions de simplification et de modernisation du dispositif d'intervention de l'Etat sur la gestion des eaux et du lit de la Durance – Contribution à un plan Durance. MEDD, MAAPAR, METLTM, 93 p.

CROSAZ Y., REY F., HUYGHE G., CASSOTTI F., DE MATOS M., DEHAYE J.M., CADIERE F., BERT V. 2014. Règles professionnelles. Travaux de génie végétal. Paris : UNEP-AGéBio, 32 p.

LAVANDIER G., DANGLA L., BRUCIAMACCHIE M., REY F. 2010. Modélisation spatio-temporelle et approche économique du piégeage de sédiments dans des ravines marneuses végétalisées par génie biologique : le modèle Simulfascine. Revue forestière française, n°5, pp.525-540.

REY F., LABONNE S., BRETON V., LOUIS S., TALASKA N., ERKTAN A., DUMAS A., BURYLO M., DANGLA L., LAVANDIER G. 2015. Utilisation innovante du génie végétal pour le contrôle de l'érosion et de la sédimentation à l'échelle du territoire de la Durance. Sciences, eaux et territoires, n° spécial « L'ingénierie écologique au service de l'aménagement du territoire », pp. 28-35.

SCHMITT L., BRAVARD J.J., REY F. 2013. Maîtriser les évolutions du lit des cours d'eau (incision, atterrissement, ...) et mieux gérer les formes fluviales. In B. Chocat (coord.), Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques : Pourquoi ? Comment ? Astee, pp. 84-93.

ILLUSTRATIONS

Sédimentation fine dans une retenue de barrage hydroélectrique (Lac de Chaudanne sur le Verdon)

PHOTO 1 F. Rey

Ouvrage de génie végétal utilisé pour piéger des sédiments dans une ravine marneuse érodée

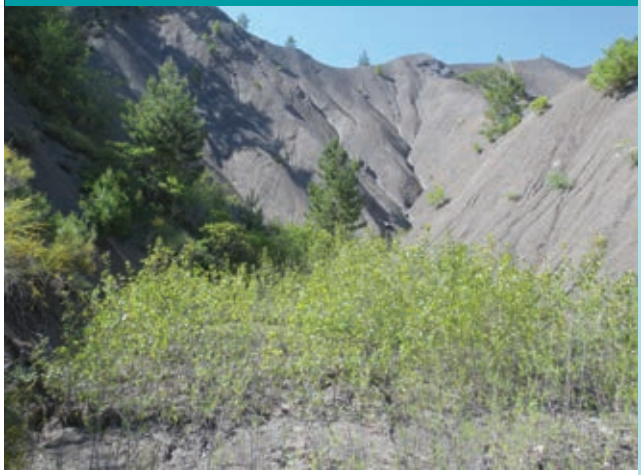
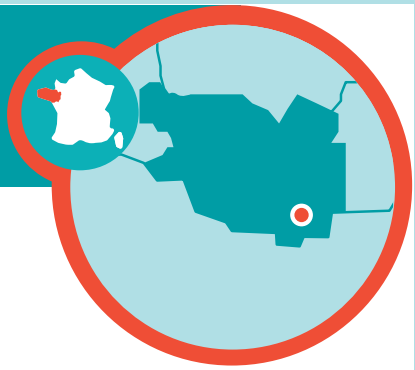
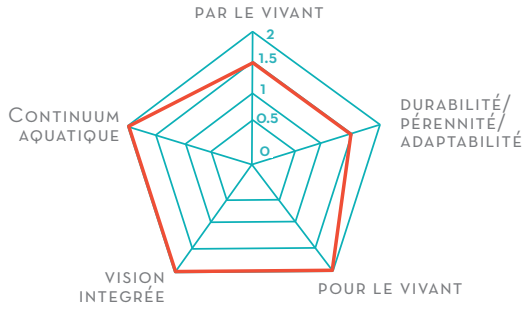


PHOTO 2 F. Rey

2

Recréation du matelas alluvial d'un cours d'eau pour restaurer ses fonctionnalités hydrologiques





SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

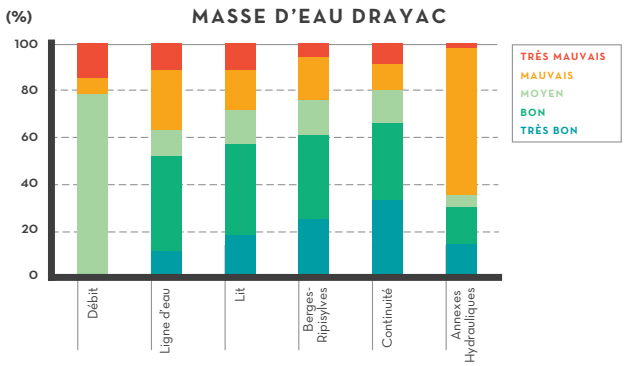
BASSIN : LOIRE-BRETAGNE
RÉGION : BRETAGNE
DÉPARTEMENT : MORBIHAN (56)
COMMUNE : AMBON

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Depuis 2005, le bassin versant de la rivière de Pénerf a bénéficié de 3 contrats de bassin versant. Animés par le Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Golfe du Morbihan, ces contrats visent la mise en place d'opérations pilotes (pour l'atteinte du bon état écologique sur la masse d'eau de Pénerf, le non dépassement des seuils de qualité pour les eaux brutes et pour la qualité des eaux littorales) dans le cadre des actions de préfiguration du Parc Naturel Régional (PNR) du Golfe du Morbihan, et la concrétisation de la concertation conduite en amont sur les 30 communes du territoire. Cette démarche entamée dès 1994 fédère les volontés locales en matière de préservation et d'aménagement du territoire, de la biodiversité, de la maîtrise de l'urbanisation, de l'amélioration de la qualité de l'eau et de l'adaptation aux effets du changement climatique pour accompagner les activités économiques vers un développement durable.

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

L'étude préalable au CTMA de la rivière de Pénerf réalisée en 2008 est basée sur la méthode – Réseau d'Evaluation des Habitats (REH) – sur l'ensemble du bassin versant. Une seule masse d'eau a été définie par l'Agence de l'eau : La Drayac et ses affluents (FRGR1611).



Les compartiments qui composent les cours d'eau dégradés sur la masse d'eau Drayac sont :

- le compartiment « Débit » avec 100% du linéaire dégradé,
- le compartiment « Ligne d'eau » avec 48% du linéaire dégradé,
- le compartiment « Lit » avec 44% du linéaire dégradé,
- le compartiment « Berges – Ripisylve » avec 48% du linéaire dégradé,
- le compartiment « Continuité » avec 34% du linéaire situé après trois ouvrages infranchissables,
- le compartiment « Annexes hydrauliques » avec 69% du linéaire.

Les compartiments les plus dégradés (« Débit » et les « Annexes hydrauliques ») sont liés car le surcreusement du lit des cours d'eau a entraîné un drainage latéral des zones humides adjacentes limitant ainsi leur capacité au soutien d'étiage. Par ailleurs, les usages professionnels et de loisirs situés dans l'estuaire de Pénerf sont impactés par les variations subites d'eau douce.

BÉNÉFICIAIRES

Les premiers bénéficiaires du projet identifiés sont les activités économiques (d'ostréiculture et de pêche à pied sur l'aval du bassin) ainsi que la qualité des eaux de baignade.

Les riverains sont également bénéficiaires étant donné que le Parc s'est substitué aux devoirs des propriétaires et/ou agriculteurs (Article L 215-14 du code de l'environnement) au travers d'une Déclaration d'Intérêt Général pour entreprendre les travaux de restauration sur les parcelles privées des riverains concernés, tout en maintenant leur droit d'usage.

Le projet vise donc des objectifs écologiques, mais aussi économiques et sociaux.

MOTEUR DU PROJET

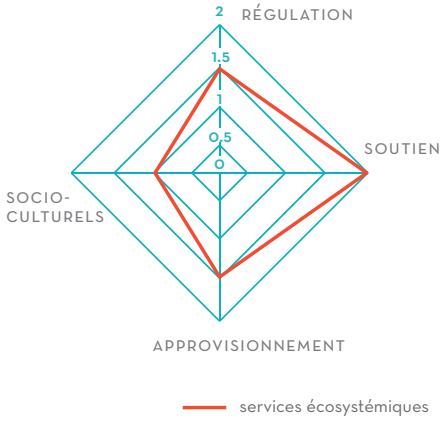
Les élus du territoire ont décidé, en 2008, d'élaborer un programme d'actions pour répondre aux échéances de la Directive Cadre sur l'Eau et aux enjeux du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Loire-Bretagne : retrouver un bon état écologique au regard de la dégradation des débits, de la ligne d'eau et des habitats, sur plus de 23 km de cours d'eau, dès 2015 pour la rivière de Pénerf et mener des interventions innovantes sur les « têtes de bassin versant », en programmant des travaux de restauration hydromorphologique de la source jusqu'à la confluence de chacun des affluents au cours d'eau principal, La Drayac.

Un arrêté préfectoral délivré le 30 août 2011, autorise, au titre du code de l'Environnement (art. L214.1 à L214.6), le Contrat Territorial sur les Milieux Aquatiques (CTMA) du bassin versant de la rivière de Pénerf sur une durée de 5 ans (2011-2015).

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les services concernés par les actions de ce projet sont des services :

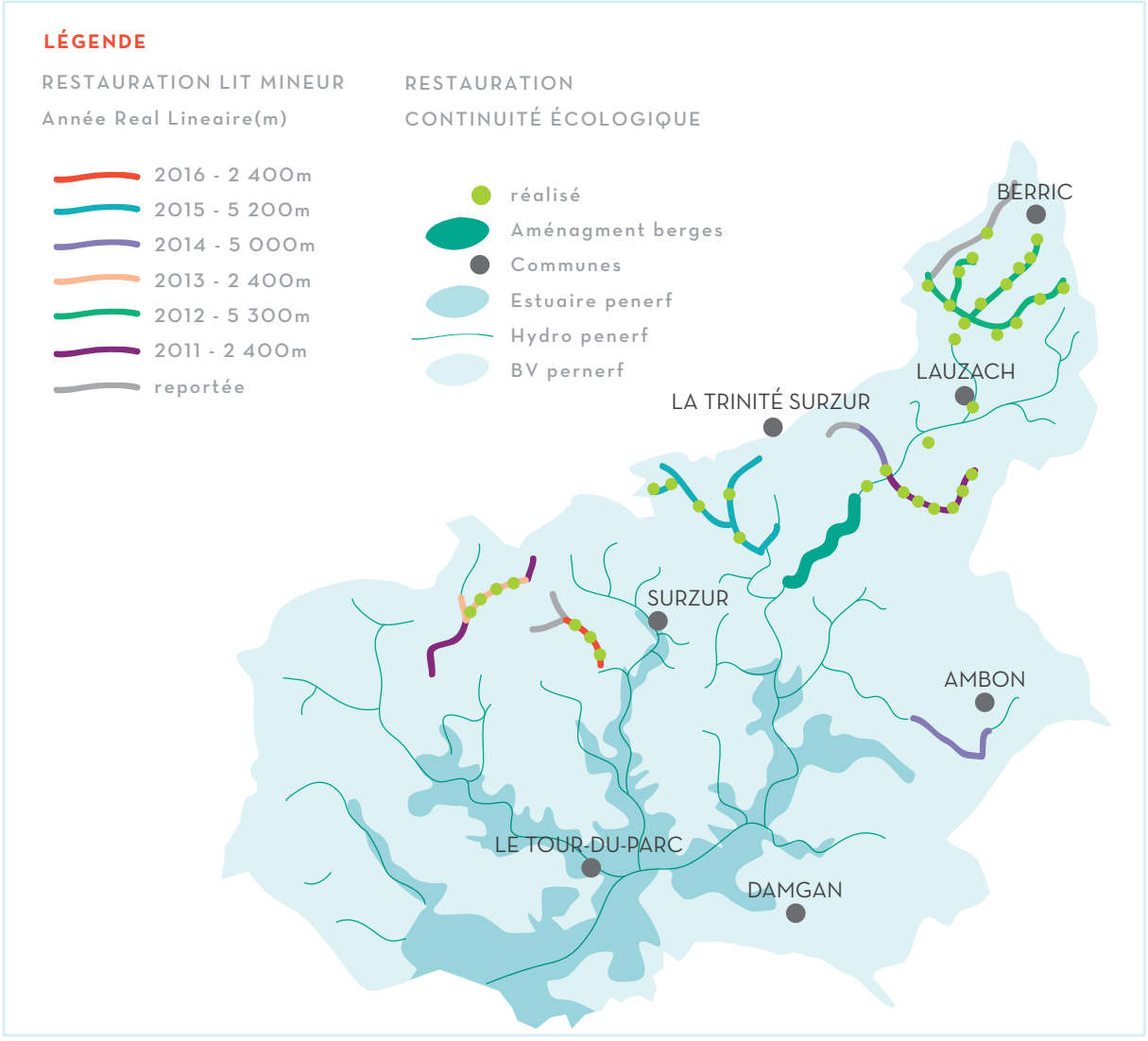
- de régulation : restauration de la continuité écologique et qualité des milieux (macro-invertébrés) (++)
- de soutien : régimes hydrologiques des cours d'eau (+++)
- d'approvisionnement : fréquentation de la communauté piscicole (++)
- socio-culturels : activité conchylicole et pédagogie, éducation (+).



PRÉSENTATION DU PROJET

Durant les 4 premières années du programme, plus de 16 km de cours d'eau ont été restaurés avec la remontée de fond du lit par de la recharge sédimentaire en plein, sur 7 entités hydrologiques, de leurs sources jusqu'à leurs confluences. 40 passages busés ont été aménagés (c'est-à-dire supprimés, recalés ou transformés) pour restaurer la continuité écologique. 3 étangs situés sur cours d'eau ont été supprimés et 11 abreuvements directs au cours d'eau ont été supprimés et aménagés avec des pompes de prairie ou des bacs gravitaires.

Le matelas alluvial du cours d'eau a été recréé à une hauteur permettant de restaurer les fonctionnalités hydrologiques du milieu[2], avec un apport de blocs (250mm > 800mm) sur lequel est posé un habillage composé d'un mélange de galets, graviers et sable. Ce procédé permet de remonter la ligne d'eau et de diversifier les écoulements pour réguler les flux hydrologiques, notamment en hiver pour favoriser les débordements en zones d'expansion de crues et de soutenir les débits d'étiage par la suite.



Synthèse de l'étude évaluative du Contrat Territorial sur les Milieux Aquatiques de la rivière de Pénerf - 2011 – 2016, Parc naturel régional du Golfe du Morbihan

[2] Il s'agit des connexions avec les prairies humides adjacentes qui participent à la régulation des débits.

Le programme d'actions concerne principalement 4 compartiments de travail sur la base du REH et du cahier des charges départemental et inclut des indicateurs de suivi pour évaluer l'impact global et l'efficacité des actions entreprises.

Le programme de restauration participe également à l'adaptation aux effets du changement climatique, grâce aux modifications bénéfiques des régimes hydrologiques des cours d'eau, vis-à-vis de la résilience des habitats, favorable au développement et au maintien de la faune et de la flore inféodés aux milieux aquatiques.

ÉVALUATION DU PROJET

Afin d'évaluer les améliorations biologiques, l'Indice Poissons de Rivière (IPR) a révélé une amélioration de la fréquentation de la communauté piscicole après travaux de restauration. Lors de ces pêches scientifiques, la présence de civelles sur les têtes de bassins versants atteste la bonne continuité écologique pour cette espèce cible et permet de répondre également aux objectifs de la Directive cadre sur l'eau. Les Indices Biologiques Globaux Normalisés (IBGN-DCE) démontrent pour les macro-invertébrés aquatiques que les milieux sont favorables à leur accueil et retrouvent leur bon état.

La diversification des écoulements fait redescendre les températures estivales excessives enregistrées avant travaux sur des milieux auparavant stagnants et envasés. Des suivis sur les températures vont perdurer dans le temps.

La station hydrologique enregistre des volumes d'eau annuels plus conséquents, témoignant que les pluies qui tombent sur le bassin redeviennent efficaces et alimentent le cours d'eau naturellement du fait de la reconnexion des zones humides avec le cours d'eau.

Les indicateurs biologiques, conformes au cahier des charges départemental, sont utilisés pour évaluer les bénéfices de ces actions de restauration et attester de l'état du milieu.

Pour réaliser des mesures d'Indice Biologique Global adapté à la Directive Cadre sur l'Eau (IBG/DCE), des IPR, des Indices Biologique Diatomées (IBD), un suivi de la température des eaux de la Drayac et de son hydrologie, il a été dépensé sur la durée globale du programme 23 700 euros.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Une étude d'évaluation du CTMA de la rivière de Pénerf a été planifiée, une fois le programme quinquennal achevé conformément à l'arrêté préfectoral autorisant le Parc à réaliser les travaux (30 août 2016).

L'évaluation sera validée au prochain comité technique du CTMA, réunissant notamment les financeurs (AELB et département du Morbihan), les services de la Police de l'eau (DDTM et AFB), la fédération départementale de la pêche et des milieux aquatiques, le SAGE Vilaine.

Cette étude portera sur :

- l'efficacité et l'efficience des actions de restauration mises en place dans le cadre du CTMA : analyse technique (méthode REH),
- l'analyse financière,
- la perception des usagers, propriétaires, élus... par l'élaboration de questions évaluatives, pour mener des enquêtes individuelles lors de l'étude bilan du CTMA auprès des acteurs,
- le bilan et les conclusions de l'évaluation.

FINANCEMENT

Bilan financier / travaux CTMA 2011-2015			
	PRÉVISIONNEL	RÉALISÉ	% NON DÉPENSÉ
2011	140 406 €	80 527 €	- 43
2012	251 012 €	195 979 €	- 22
2013	209 165 €	115 566 €	- 45
2014	266 928 €	228 203 €	- 15
2015	228 023 €	184 772 €	- 19
2016	-	197 093 €	-
TOTAL	**1 095 534 €**	**1 002 138 €**	**- 9**

Le budget d'investissement prévisionnel concernant le programme quinquennal se chiffre à 1 200 000€.
Il est accompagné par :

- l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (50%),
- le Département du Morbihan (30%),
- et les 8 communes de la rivière de Pénerf (20%).

Le coût spécifique lié aux travaux de restauration hydro-morphologique, concernant la remontée du fond du cours d'eau, est de 30€TTC le mètre linéaire.

ILLUSTRATIONS

Restauration de la continuité écologique

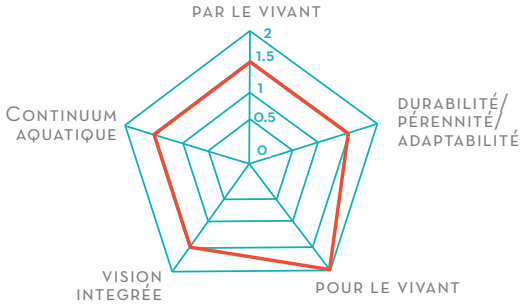
PHOTO 1

Restauration du lit mineur par décharge sédimentaire

PHOTO 2

3

Restauration d'une rivière en tresses incisée dans les argiles par élargissement et recharge sédimentaire



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : RHÔNE-MÉDITERRANÉE ET CORSE
RÉGION : PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR
DÉPARTEMENT : HAUTES-ALPES
COMMUNE : SAINT-BONNET-EN-CHAMPSAUR

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Le bassin versant dit du « Drac amont » correspond à la partie du bassin appartenant au Département des Hautes-Alpes, en amont du Barrage du Sautet. Dans ce territoire, sur un linéaire de 3,6 km, le lit du Drac a connu ces dernières années une très forte incision dans le substratum argileux.

Cette évolution avait pour origine une modification de l'équilibre géomorphologique consécutive à diverses extractions de sédiments, anciennes et récentes, en amont et en aval, dans un contexte où le substratum argileux tendre est situé à faible profondeur. Ce phénomène d'érosion régressive s'est vu aggravé par un endiguement localisé du Drac au droit du lac du Champsaur et par le calage d'un seuil aval trop bas en altimétrie par rapport au profil en long d'équilibre. Les dernières crues significatives (2006, 2008, 2011) ont accéléré le processus avec une incision du lit jusqu'à 3 à 4 m entre 2005 et 2012 et un risque de propagation de l'incision vers l'amont par érosion régressive.

DYSFONCTIONNEMENTS AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

Cette évolution irréversible du lit n'était pas acceptable par les acteurs locaux. En effet, l'incision du lit a des conséquences de premier ordre sur le plan écologique et sur les usages.

Au sein du lit mineur, le torrent auparavant en tresses sur une large bande active (50 à 200 m) s'était concentré dans un lit étroit (20 à 30 m), devenu banal et de faible intérêt écologique : perte d'un style fluvial patrimonial en tresses, pavage de la granulométrie, faible diversité des faciès d'écoulement, colmatage des frayères, déconnexion des affluents, peuplements piscicoles dégradés.

Dans le lit majeur, l'ancienne bande active avait été progressivement colonisée par une forêt alluviale. Cependant, la nappe alluviale a chuté brutalement avec l'incision du lit, conduisant à l'assèchement des zones humides, des bras secondaires et des adoux (cours d'eau à alimentation phréatique) et au dépérissement progressif des boisements. Cette forêt alluviale constituait un corridor écologique dont la fonctionnalité était mise en danger par le dépérissement des boisements humides.

Dans un contexte peu anthropisé et favorable a priori, le Drac n'atteignait pas le bon état écologique demandé par la DCE et le SDAGE.

Enfin, de nombreuses activités socio-économiques subissaient les conséquences de la dégradation de la rivière. En premier lieu, le plan d'eau touristique du Champsaur était menacé et posait un enjeu de sécurité car sa digue était affouillée sous 3 m d'incision. Des milieux riverains (agriculture, chênes truffiers, captage agricole, etc.) étaient directement menacés par l'érosion et les glissements de terrain, tout comme, à terme, la route nationale RN85, principal axe de circulation entre Grenoble et Gap, un camping et quelques habitations isolées.

MOTEURS DU PROJET

Devant cette situation urgente et irréversible, la Communauté Locale de l'Eau du Drac Amont (CLEDA), sous l'impulsion de ses élus et de son Président, a souhaité engager une opération ambitieuse de restauration du lit du Drac et a profité de l'existence d'un SAGE et d'un Contrat de Rivière pour la mettre en œuvre. Cette volonté a été suivie techniquement et financièrement par le Conseil Départemental des Hautes Alpes, la Région PACA, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse et l'Union européenne. Les obligations réglementaires liées au bon état écologique ont été dépassées par cette volonté locale d'agir durablement pour le torrent, symbole de la vallée.

La démonstration a été rapidement faite que les techniques classiques ne suffiraient pas à contrecarrer l'évolution du lit : seuils de stabilisation du fond du lit, ou épis pour favoriser la recharge latérale, auraient été des techniques coûteuses et n'auraient que partiellement répondu à l'objectif de restauration durable du lit et de ses composantes écologiques.

L'orientation technique retenue a consisté à s'appuyer sur le fonctionnement naturel torrentiel du Drac : l'opération de restauration du lit a été basée sur une recharge sédimentaire et sur la restauration d'une bande active de largeur suffisante pour recouvrer le style fluvial en tresses. Cette restauration physique constituait l'essentiel du « travail » de restauration écologique puisque, ce faisant, le Drac disposait d'un espace de bon fonctionnement connecté, avec une nappe peu profonde, pour développer de façon spontanée ses fonctionnalités. Pour accompagner le projet et accélérer la reconquête biologique, des actions de restauration écologique ont été menées spécifiquement : restauration des corridors biologiques sur les marges du lit restauré (techniques végétales de stabilisation de versant, replantations d'arbres, d'arbustes et d'hélophytes) ; recréation de zones humides et de mares ; restauration et remise en eau d'adoux ; dépôts de bois mort, etc.

PRÉSENTATION DU PROJET

Le projet a été construit sur la base de 3 orientations complémentaires visant à restaurer le fonctionnement physique et écologique de la rivière (**SCHÉMA 1** et **PHOTO 1**) :

- La reconstitution, par recharge sédimentaire, du profil en long (rehaussé de 3 m en moyenne) et de la largeur du lit (80 m au minimum, jusqu'à 200 m). La pente moyenne est de 1 % et le profil en travers moyen est en V très évasé, permettant à la rivière de recomposer un faciès en tresses après la survenue de plusieurs crues morphogènes. Le panel granulométrique réinjecté est conforme à la granulométrie de référence. Les zones d'emprunt pour la recharge sédimentaire sont constituées par les terrasses alluviales du lit majeur du Drac, par des terrasses plus anciennes et par des matériaux externes issus d'opérations d'entretien de torrents.
- Le rétablissement d'un transit sédimentaire non perturbé depuis l'amont (20 000 à 40 000 m^3/an environ). Cette orientation est obtenue d'une part par l'arrêt des extractions en amont et d'autre part par la suppression d'un seuil bloquant le transit.
- La restauration par génie végétal de milieux humides et terrestres : protection des marges du lit majeur par génie végétal avec la mise en œuvre de fascines de saules en pied de berges, rehaussées par une géogrille ensemencée avec un mélange grainier issu d'essences locales ; restauration d'adoux, recréation de zones humides, mares et zones de bois mort.

Les travaux ont été menés dans un contexte d'urgence durant l'hiver 2013-2014 (novembre 2013 à avril 2014) de façon à bénéficier de l'étiage du cours d'eau et en-dehors de la période estivale touristique (**PHOTO 2**).

QUELQUES CHIFFRES CLÉS : 3,65 km de linéaire restauré, 355 000 m^3 de matériaux terrassés, dont 67 000 m^3 d'apports externes ; un espace de bon fonctionnement restauré sur une superficie de 59 ha, avec acquisition de l'ensemble des terrains privés par la collectivité (59 ha incluant 61 parcelles et appartenant à 33 terriers) ; 3 km de fascines, 6 400 boutures de saules, 500 pieds d'hélophytes, 13 ha de zones humides et adoux créés, 8 000 m^2 d'anciennes zones humides et adoux réactivés, 6 affluents avec une connexion biologique rétablie ; et des moyens humains dimensionnés pour la réalisation du chantier : 7 entreprises, jusqu'à 80 agents sur site, 60 engins de chantier, jusqu'à 15 000 m^3/jour de sédiments travaillés, un délai de réalisation du chantier réduit à 5,5 mois. Il s'agit de l'un des chantiers de recharge sédimentaire les plus importants jamais réalisés en Europe et le premier concernant une rivière en tresses de cette importance.

BÉNÉFICIAIRES

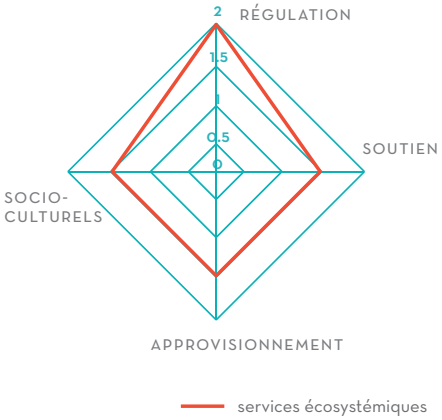
L'enjeu « sécurité » (pour le plan d'eau, les terrains riverains, la RN85, le linéaire amont, etc.), qui est lié d'une manière générale à l'enjeu touristique et territorial de la vallée, a particulièrement motivé les acteurs locaux. Par répercussion, le projet a bénéficié aux usagers de cette vocation touristique de la vallée : pêcheurs qui ont retrouvé une rivière à truites, chasseurs qui ont retrouvé des habitats terrestres diversifiés, kayakistes qui ont retrouvé une rivière typique des piémonts, promeneurs/ VTTistes / cavaliers qui peuvent bénéficier maintenant d'un cheminement en bordure du Drac alors qu'auparavant la rivière était délaissée. Ces usagers apprécient aujourd'hui la qualité du milieu qui a été ouvert à la promenade alors qu'ils ignorent bien souvent les fondements techniques du projet de restauration.

L'atteinte du bon état écologique apparaît aujourd'hui comme secondaire dans les perceptions locales. Pourtant, favorisée par l'autoépuration et les milieux naturels au sein de l'hydrosystème, elle sera bien effective dans quelques années à mesure que la composante biologique et la biodiversité se recomposeront : poissons, batraciens, oiseaux, chiroptères, odonates, etc. vont profiter *in fine* du projet de restauration.

SERVICES CONCERNÉS

Globalement, les services concernés par les actions de ce projet sont des services :

- de régulation : sol, biodiversité (habitats, faune, flore), qualité de l'eau (par autoépuration), quantité d'eau (reconstitution d'une nappe et de réserves souterraines)
- de soutien : fourniture d'habitats aquatiques et terrestres
- d'approvisionnement : agriculture, terrains agricoles, captage d'eau agricole
- socio-culturels : site touristique, paysage, récréation, éducation, axes routiers (RN85).



ÉVALUATION DU PROJET

D'un point de vue topographique, sédimentaire et écologique, un suivi scientifique a été engagé pour une durée de 10 ans en partenariat avec plusieurs organismes (CLEDA, Agence Française de la Biodiversité, Université Paris-Diderot, IRSTEA, Parc des Ecrins, CBNA, Agence de l'Eau RMC, CD05, BURGEAP, etc.). Il comprend notamment :

- un suivi hydrologique : les premières crues morphogènes, de type crue annuelle (15/11/2014 et 14/09/2015) ont permis de constater la mise en place progressive d'un style fluvial en tresses, qui se recompose progressivement par secteurs indépendants en fonction des ruptures locales de pente
- un suivi topographique et bathymétrique (LIDAR, profils en travers, orthophotoplan), un suivi morphologique comprenant un suivi granulométrique, des chaînes d'érosion, des parcelles peintes, un suivi des zones de découverture des argiles, le suivi de transpondeurs RFID, du degré de colmatage, des zones et activités des frayères, de la connectivité des affluents
- Un suivi biologique : poissons, macro-invertébrés, espèces invasives, boisements de berge, inventaires faune/flore : oiseaux, batraciens, odonates, chiroptères, etc.

Après 3 ans de suivi, certains indicateurs sont déjà très favorables. D'un point de vue politique, ce projet a permis d'apporter une réponse appropriée aux attentes des collectivités et des riverains pour la sécurisation de leurs biens et activités. Les affleurements argileux ne sont plus visibles ni interceptés par le lit du Drac (Figure 2). Les enjeux fonciers et les usages sont définitivement protégés (RN85, plan d'eau, terres agricoles, habitations, camping).

Le style fluvial en tresses se remet progressivement en place à la fois à la faveur de facteurs locaux tels que la pente et la largeur de la bande active, mais aussi grâce aux apports sédimentaires rétablis depuis l'amont. Les chenaux d'étiage se creusent après chaque crue morphogène, et leur approfondissement est conforme aux prévisions, à savoir 0,80 m sous le niveau de recharge sédimentaire. L'évolution de l'indice BRI qualifiant la santé du style fluvial en tresses laisse augurer l'atteinte d'un fonctionnement morphodynamique satisfaisant à une échéance de quelques années (2 à 5 ans selon l'occurrence des crues). Les zones humides sont fonctionnelles et se végétalisent spontanément avec de grandes surfaces d'hélophytes. Sur le plan écologique, le nombre de frayères actives est passé de 3 à plus de 40 et un retour immédiat des truites et chabots a été constaté ; la continuité piscicole est rétablie tant sur le cours du Drac qu'au niveau des connexions avec les affluents ; les espèces avicoles sont passées de 10 à 40 avec le retour du martin pêcheur et d'autres espèces emblématiques des cours d'eau en tresses, les annexes hydrauliques sont reconnectées et fonctionnelles.

FINANCEMENT

Le coût total du projet est de 4,6 M € HT incluant 250 000 € HT pour les modalités foncières (acquisition des terrains) et 220 000 € HT pour le suivi scientifique.

Les partenaires financiers sont les suivants :

- Agence de l'Eau Corse Méditerranée : 47 %
- CLEDA / Communauté de Communes du Champsaur : 20 %
- Conseil Général des Hautes-Alpes : 10%
- Conseil Régional PACA : 14 %
- Union européenne (FEDER) : 9 %

RÉFÉRENCES PRINCIPALES

BURGEAP (2012) Avant-projet de restauration du lit du Drac en amont de St-Bonnet en Champsaur par recharge sédimentaire. CLEDA

BURGEAP (2013) Etude d'impact du projet de restauration du lit du Drac en amont de St-Bonnet en Champsaur par recharge sédimentaire. CLEDA

BURGEAP (2017) Restauration d'une rivière en tresses. Le Drac à St-Bonnet-en-Champsaur. Retour d'expérience 3 ans après travaux grâce à l'exploitation de données LIDAR. Communication au colloque Transport Solide et Morphodynamique des Rivières des 8-9/11/2017

ETRM / CCEau (2010) Plan de gestion et d'entretien du lit du Drac et de ses principaux affluents

GEOLITHE (2012) Sondages de reconnaissances et mesures géophysiques

CLEDA (2012) SAGE du Drac amont – Plan d'aménagement et de gestion durable

CLEDA (2010) Contrat de Rivière du DRAC AMONT

Malavoi (2008) Le DRAC et ses principaux affluents - Synthèse des données sur le fonctionnement hydromorphologique et le transport solide

SOGREAH (2001) Etude complémentaire pour le SAGE du Haut Drac – Gestion des milieux physiques et naturels

SOGREAH (2009) Plan d'eau du Champsaur – Définition d'un schéma d'aménagement post-crue d'Octobre 2006

Géomètres Toulemonde-Bontoux (2013) Analyse foncière dans le cadre de la restauration du DRAC

VISU 2013 Etude d'impact faune/flore du projet de restauration du lit du Drac en amont de St-Bonnet en Champsaur par recharge sédimentaire

VISU 2013b Dossier de demande de dérogation auprès du CNPN pour destruction d'espèce protégée. Projet de restauration du lit du Drac en amont de St-Bonnet en Champsaur par recharge sédimentaire

ILLUSTRATIONS

(A) SCHÉMA DE PRINCIPE DES TERRASSEMENTS (EN JAUNE : DÉBLAI, EN ROUGE : REMBLAI)

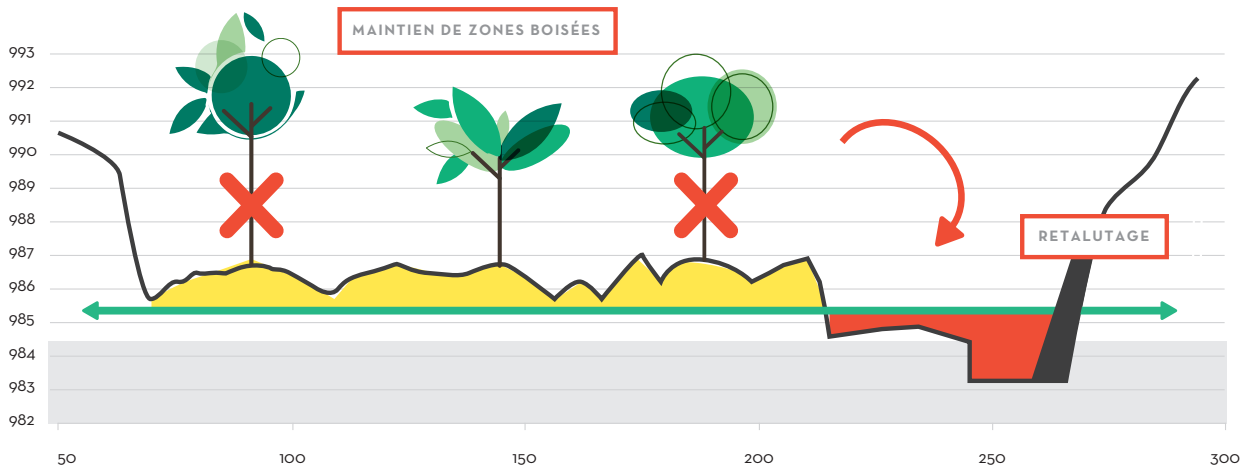


SCHÉMA 1

VUES AÉRIENNES AVANT (B), PENDANT (C) ET APRÈS TRAVAUX (D)

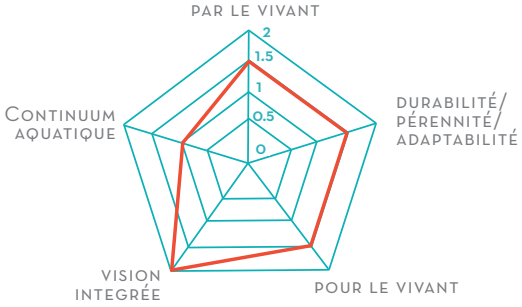
PHOTO 1

LE DRAC RESTAURÉ SUR 2 SITES : (A1) LE LIT UNIFORME 6 MOIS APRÈS TRAVAUX ET (A2) EN TRESSES 3 ANS APRÈS TRAVAUX ; VUE D'UN SECTEUR INCISÉ DANS L'ARGILE AVANT (B1) ET APRÈS TRAVAUX (B2)

PHOTO 2

4

Restauration de l'espace de liberté d'un cours d'eau alluvial



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : RHÔNE-MÉDITERRANÉE-CORSE
RÉGION : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ
DÉPARTEMENT : CÔTE-D'OR
COMMUNE : VARANGES

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

En Côte d'Or, le cours de l'Ouche en aval de Dijon a fait l'objet d'aménagements conséquents après la guerre (1953-1962) pour limiter les débordements fréquents dans la plaine de Saône et ainsi faciliter l'exploitation agricole. Les travaux ont consisté à rectifier et à endiguer le lit mineur de l'Ouche. Il en découle une homogénéisation du cours d'eau et une accélération des écoulements vers l'aval, réduisant fortement le potentiel écologique et épurateur de la rivière, et repoussant vers l'aval l'aléa inondation.

Cette configuration du lit mineur est aujourd'hui remise en cause par les élus locaux qui souhaitent retrouver le caractère naturel de la rivière afin de redévelopper des activités liées à l'eau et la rendre accessible et visible par les promeneurs. Par ailleurs, les berges rehaussées grâce aux alluvions extraites du lit mineur se dégradent au fil des années, exposant les riverains à des risques de débordements ponctuels par l'ouverture de brèches à chaque montée des eaux. Les pouvoirs publics cherchent ainsi des solutions efficaces répondants aux enjeux écologiques et sociaux sans pour autant aggraver l'aléa inondation actuel dans ces territoires exploités et habités.

MOTEUR DU PROJET

Le Syndicat du Bassin de l'Ouche (SBO) s'est engagé depuis 1988 dans l'acquisition foncière de délaissés de l'Ouche afin de faciliter l'acceptation locale des érosions de berges et de favoriser la renaturation physique de la rivière à moindre coût.

En 2012, le SBO inscrit dans le contrat de Bassin Ouche l'objectif de concevoir la restauration morphologique de l'Ouche en aval de Dijon en prenant en compte l'aléa inondation. En effet, toute réouverture de l'Ouche à son espace de liberté expose les riverains à une augmentation du risque inondation.

En première partie de contrat, une étude hydraulique a permis d'étudier : 1/ la régulation dynamique des crues à l'échelle du bassin versant selon les principes de rétention dynamique en amont de l'agglomération dijonnaise, et 2/ la restauration des champs d'inondation en aval en prenant en compte la protection rapprochée des lieux habités. Cette étude a abouti à la définition sommaire, d'une part, de scénarios d'aménagements de rétention dynamique en amont (dont l'ampleur et les contraintes techniques les rendent non souhaitables), et d'autre part, de scénarios de restauration des champs d'inondation en aval pour lequel l'incidence sur les aléas et leur acceptation par les riverains sont connus grâce à leur modélisation. Plusieurs possibilités d'arasement des merlons existants ont été trouvées grâce à cette étude hydraulique, dont la plus facilement réalisable à Varanges, en raison de la maitrise du foncier par le syndicat.

La seconde partie du contrat se concrétise avec la conception d'un projet de restauration de l'espace de liberté naturel de l'Ouche, sur environ 1 200 m linéaires de friches et anciens méandres.

4

PRÉSENTATION DU PROJET

Le projet consiste en :

- la suppression du merlon existant situé sur la berge (pointillés rouges, **PHOTO 1**),
- la construction d'un nouveau merlon à 80 m en moyenne du lit mineur (trait bleu, **PHOTO 1**) raccordé à l'aval au merlon existant (trait vert, **PHOTO 1**).

La philosophie du projet est de reconnecter l'Ouche à son lit majeur afin de recouvrer un fonctionnement alluvial. Le syndicat a donc pour objectif de minimiser son intervention à l'effacement du merlon, pour laisser la rivière créer des bras secondaires ou déplacer son lit, aucune intervention visant à déplacer l'Ouche dans son ancien lit n'étant prévue. Le reméandrage, s'il a lieu, sera donc uniquement le fait de la dynamique du cours d'eau.

L'Ouche a démontré sa capacité de reméandrement sur la commune de Fauverney, juste en amont de Varanges dans un secteur où les méandres avaient été scindés en 1963, et ce à partir du moment où les enrochements de pied de berge ont été démobilisés par érosion. Le SBO y a mesuré un déplacement latéral de 40 mètres (2 fois la largeur de son lit mineur) depuis 2006 vers son ancien lit.

Le projet a été défini après analyse de la dynamique de l'Ouche sur photos aériennes entre 1940 et 1960 (**PHOTO 2**) qui a permis de révéler les secteurs naturellement les plus mobiles et où les anciens méandres n'ont pas encore été comblés. Sur ces secteurs, la topographie permet d'être assuré qu'une simple suppression des contraintes sera suffisante pour que l'Ouche retrouve sa mobilité. Sur ces bases, le scénario d'aménagement a été modelé en fonction de la concertation locale avec les propriétaires riverains, des contraintes hydrauliques et des coûts. La nécessité en particulier de reproduire les conditions de débordement existantes a permis de caler la cote et la largeur du déversoir du nouveau merlon.

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

Les impacts écologiques de la rectification du lit mineur de l'ouche peuvent se résumer comme suit :

<table>
<tr><th>Aménagements</th><th colspan="2">Impacts hydrauliques et morphologiques</th><th>Impacts écologiques</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Recalibrage du profil en travers = élargissement du fond du lit de 10-15 m à 20 mètres[3]</td><td colspan="2">Étalement de la lame d'eau en étiage</td><td>Réchauffement des eaux</td></tr>
<tr><td colspan="2">Homogénéisation des faciès d'écoulement</td><td>Banalisation des habitats</td></tr>
<tr><td>Recalibrage du profil en long (disparition de 6,2 km sur l'Ouche aval par suppression des méandres)</td><td>Réduction de la longueur
> augmentation de la pente du cours d'eau induisant des écoulements plus rapides et spasmodiques</td><td rowspan="2">Augmentation de la puissance de la crue
> accentuation du risque de rupture des merlons provoquant des débordements ponctuels
> chenal préférentiel plus dévastateur qu'un débordement étalé</td><td rowspan="2">Disparition des habitats et zones humides annexes

Perte de biodiversité inféodée aux systèmes alluviaux

Diminution du pouvoir épurateur de l'Ouche
> Hypertrophisation et disparition du cortège d'espèces de première catégorie piscicole</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Endiguement (avec des matériaux alluvionnaires extraits du lit)
> Déconnexion du lit majeur</td><td>Réduction de la section d'écoulement et du rayon hydraulique du champ d'inondation
>augmentation de la vitesse d'écoulement et des aléas en aval</td></tr>
<tr><td colspan="2">Obstacle au ressuyage des zones inondées lors de la décrue (impacts aggravés sur les cultures)</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Pas de débordement biennal</td><td>> Réduction du débit solide
> Pas de rajeunissement des formes fluviales</td><td>Pas de rajeunissement de la végétation associée à la migration du chenal vif
> Baisse de la diversité des milieux et de la biodiversité associée (faune et flore inféodée aux milieux alluviaux mobiles)</td></tr>
<tr><td>> Enfoncement du lit mineur lié à l'augmentation des forces tractrices
> Enfoncement associé de la nappe</td><td>Dépérissement de la forêt alluviale et remplacement par un cortège d'espèces à bois durs (déjà présentes en dehors de la zone)</td></tr>
<tr><td>Réduction de l'espace de liberté</td><td>Déconnexion / abandon des bras morts ou latéraux</td><td>Cet espace de liberté a un rôle écologique fondamental pour la reproduction de certaines espèces de poissons, de zones de refuge en période de crue.</td></tr>
</table>

[3] La largeur du lit mouillé « naturel » antérieure aux travaux d'aménagements oscillait vraisemblablement entre 10 et 15 m au maximum (Epteau, 1995)

L'objectif de restauration du fonctionnement du milieu est de réduire ces impacts en supprimant, dans la mesure du possible, la pression exercée par les endiguements.

La restauration de la dynamique de dépôt et d'érosion des matériaux alluvionnaires devra permettre de diversifier les écoulements, de resserrer le lit d'étiage par la formation de banquettes alluvionnaires et ainsi de rendre à l'Ouche un fonctionnement écologique favorable. L'Ouche dont le biocénotype de référence est B7 sur ce secteur, recense un nombre et une abondance d'espèces inférieurs à ceux théoriquement attendus. L'ensemble des espèces étant pénalisé par les conditions écologiques, aucune espèce particulière n'est visée par le projet.

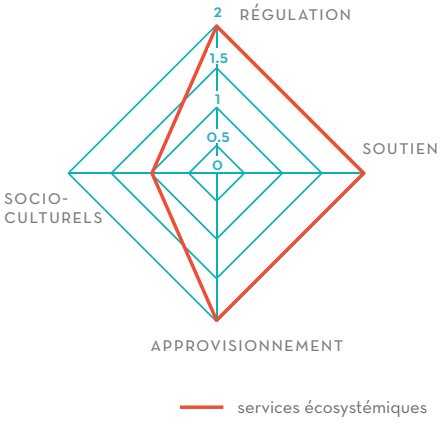
BÉNÉFICIAIRES

Les premiers bénéficiaires identifiés sont les gestionnaires de cours d'eau, la Commission Locale de l'Eau de l'Ouche et les associations de défense de l'environnement, ces derniers représentants les enjeux écologiques. En second lieu, on trouve la commune de Varanges et les exploitations agricoles directement impactées par le risque d'inondation par rupture du merlon existant, aujourd'hui très fragile. Les habitations et les infrastructures soumises à ce risque représentent un enjeu social et économique. Ces enjeux sont à l'origine de l'adhésion locale au projet, bien que celui-ci prenne un peu d'espace sur des parcelles exploitées. Enfin, les riverains de l'Ouche situés en aval de Varanges bénéficieront indirectement de l'amélioration de la qualité de l'eau et d'une régulation des crues de faible occurrence. En effet, la ligne d'eau monte régulièrement par à-coup en sortie de l'agglomération dijonnaise, posant des problèmes pour la gestion des barrages.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les services concernés par les actions de ce projet sont des services :

- de régulation : biodiversité (+++), qualité de l'eau (++) et contrôle des crues des rivières (++),
- de soutien : fourniture d'habitats aquatiques liés au cours d'eau par la recréation d'une forêt alluviale (+++),
- d'approvisionnement : amélioration du potentiel piscicole de la rivière (+++),
- socio-culturels : amélioration de la qualité paysagère, support éducatif (+).



ÉVALUATION DU PROJET

Un suivi avant et après travaux à court et long terme du peuplement piscicole et de la morphologie de l'Ouche sera réalisé : protocole CARHYCE, cartographie des faciès d'écoulement, échantillonnages hydrobiologiques (poissons, macroinvertébrés, végétation et diatomées), physico-chimie, macropolluants et température en continue. Le projet consistant à lever les contraintes physiques sur le lit mineur de l'Ouche, son reméandrement se réalisera au fur et à mesure des crues morphogènes, sans intervention.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

D'autres sites identifiés par l'étude hydraulique sur l'Ouche en aval de Dijon pourront faire l'objet de projets similaires.

FINANCEMENT

Le total des acquisitions pour ce projet s'élève à 8,2 ha pour 25 000 € (frais de notaires inclus) et a été financé à 80% par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.

L'étude hydraulique de gestion des crues à l'échelle du bassin versant, qui a permis de définir la faisabilité des projets de reconnexion de l'Ouche à son lit majeur, sous maîtrise d'ouvrage du SBO, s'est élevée à 69 000€ TTC. Elle a été financée par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et les Fonds Européens de Développement Régional à hauteur de 80%.

Le montant des études de projet et des travaux ont été de l'ordre de 800 000 €TTC. Le financement par l'Agence de l'eau RMC dans le cadre du Contrat de Bassin Ouche reste à préciser.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

EPTEAU-HORIZON, 1995. Volet Géomorphologique de l'étude globale d'aménagement et de gestion de l'Ouche et de ses affluents - SMEABOA.

HYDRATEC, 2015. Gestion des crues de l'Ouche sur l'ensemble du bassin versant - SBO.

HYDRATEC, 2017. Etude d'avant-projet définitif pour la restauration d'un espace de liberté de l'Ouche à Varanges - SBO

ILLUSTRATIONS

PROJET DE RECONNEXION DE L'OUCHE À SON LIT MAJEUR EN RIVE DROITE

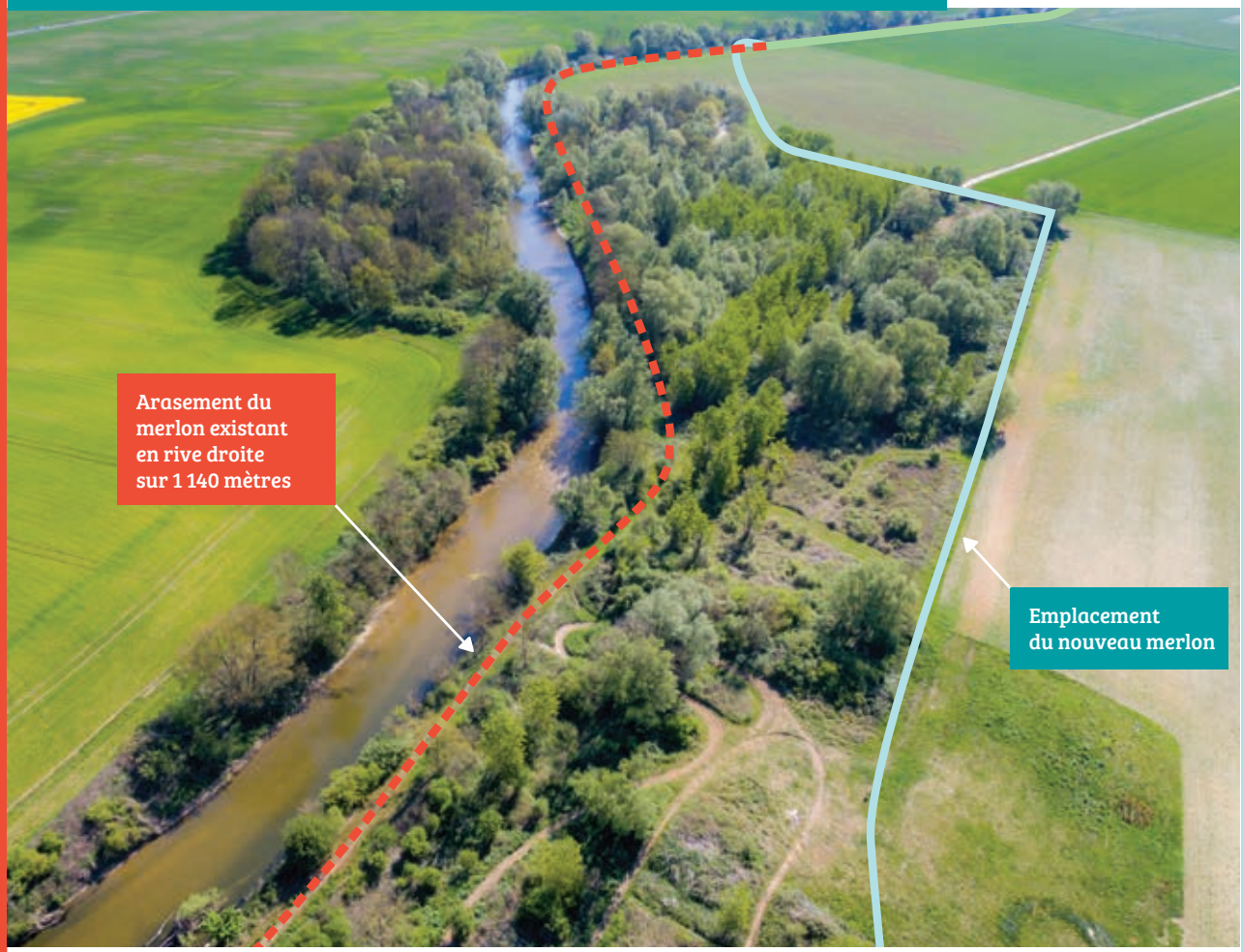
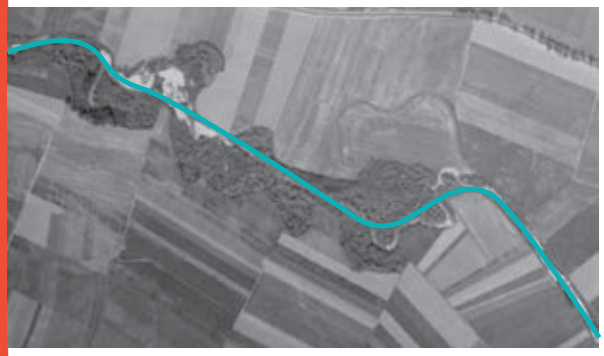


PHOTO 1

IMAGE AÉRIENNE: GEOCAPTURE SBO, 2016

Photos aériennes montrant l'évolution du cours de l'Ouche à Varanges suite aux travaux de rectifications

1940 : ouche méandriforme et ouche actuelle en bleu



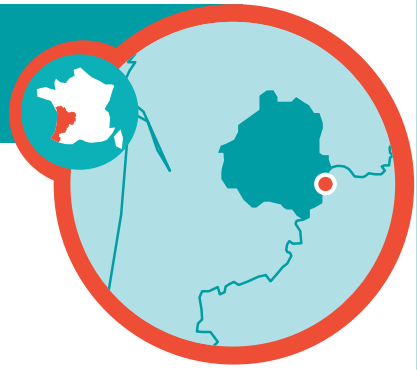
1953 : Déplacement des méandres

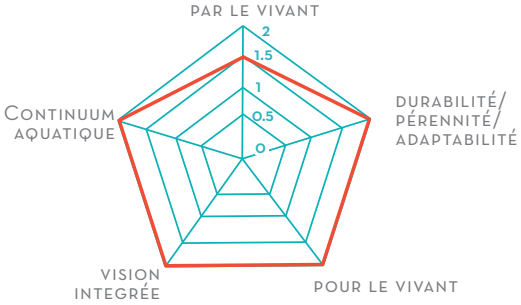
1962 : Première rectification, déconnexion des méandres

PHOTO 2

GEOPORTAIL.GOUV.FR

5 Restauration et renaturation écologiques d'une gravière





SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : ADOUR-GARONNE
RÉGION : NOUVELLE AQUITAINE
DÉPARTEMENT : LA DORDOGNE
COMMUNE : VEYRIGNAC

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

La rivière Dordogne appartient au domaine public fluvial (DPF). Cette rivière abrite un patrimoine exceptionnel sur le plan piscicole, en particulier à travers ses poissons migrateurs (esturgeon, saumon, alose, Lamproie marine, etc.). La vallée de la Dordogne conserve de plus des milieux naturels devenus rares en Europe (lit graveleux avec bancs et îlots, bras morts, boisements alluviaux, prairies, grèves sablo-graveleuses, herbiers aquatiques, etc.), qui ont justifié le classement de la vallée au titre de Natura 2000 et qui ont sous-tendu l'entrée du bassin de la Dordogne dans le réseau des Réserves de Biosphère de l'UNESCO.

La rivière Dordogne enregistre cependant des impacts hydromorphologiques importants sur tout son cours résultant de trois types de pression : (1) une dérégulation des débits morphogènes, (2) une réduction des apports sédimentaires amont liés à la présence et au fonctionnement d'une chaine de grands ouvrages hydroélectriques et (3) des incisions et un rétrécissement du lit mouillé, résultant à la fois des extractions de granulats en lit mineur et de travaux hydrauliques importants, principalement curages et protections de berges.

En tant que gestionnaire du domaine public fluvial et en tant qu'animateur de la réserve de Biosphère, l'EPTB EPIDOR (Établissement public territorial du bassin de la Dordogne) a engagé un travail de programmation d'actions de travaux de restauration-renaturation écologique à l'échelle de la vallée de la Dordogne. Entre 2013 et 2016, ces actions se sont structurées dans le programme « Initiative Biosphère Dordogne » issu d'une collaboration entre EPIDOR et EDF. Ce programme comprend des actions d'acquisition foncière, de restauration de frayères par apport de granulats, de restauration de bras mort et de renaturation d'anciens sites industriels.

La restauration de l'ancienne gravière de Veyrignac constitue l'une des opérations les plus importantes et les plus emblématiques de ce programme. Elle a permis de mener une renaturation complète d'un ancien site industriel de concassage et d'extraction de graviers sur une superficie de 16 hectares.

Un important travail d'appropriation sociale a été mené impliquant les acteurs locaux : la communauté de communes qui a procédé à l'acquisition des terrains, les associations locales et la population.

DYSFONCTIONNEMENTS AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

La construction de nombreux barrages dans la haute vallée de la Dordogne (Bort Les Orgues, Marèges, l'Aigle, Chastang et le Sablier) mais aussi sur les affluents (Cère, Maronne), a définitivement bloqué les derniers maigres apports de charge alluviale grossière au cours d'eau, accélérant ainsi l'incision du lit (mécanisme d'érosion progressive). Ces barrages ont parallèlement réduit la fréquence des débits dits « morphogènes » (crues annuelles à quinquennales en moyenne) du fait de l'écrêtement de ces petites crues dans les retenues. La réduction de ces débits a permis une végétalisation plus prononcée et plus durable des bancs alluviaux, autrefois très peu végétalisés car fréquemment remaniés. Cette végétalisation entraîne alors deux processus ayant un effet synergique sur l'aggravation de l'incision du lit mineur :

- elle bloque le transit de la charge alluviale, de plus en plus difficile à remettre en mouvement du fait de l'augmentation de la rugosité due aux parties aériennes des végétaux (troncs…) qui réduit les vitesses, et par leur système racinaire qui limite leur arrachement hydraulique. Ce piégeage plus ou moins long de la charge de fond se traduit généralement par un déficit en aval entraînant une incision (sauf si le substratum est mis à l'affleurement…) ;
- elle favorise l'incision localisée en concentrant l'écoulement (donc en augmentant les vitesses) sur une largeur de lit moyen plus faible qu'auparavant.

Les extractions en lit mineur sont venues parachever les effets de cet ensemble de mécanismes en amputant directement la Dordogne d'une partie du reliquat de son stock alluvial grossier en transit.

A partir des années 1950, des extractions massives de granulats en lit mineur et en lit majeur, associés aux impacts des barrages hydroélectriques (blocage sédimentaire et suppression des débits morphogènes) ont engendré une régression de la dynamique fluviale ainsi qu'une incision du lit de la rivière Dordogne de près de 2 mètres localement.

Le site de Lilot à Veyrignac (24), pédoncule de méandre de la rivière Dordogne, a ainsi été profondément modifié et s'est retrouvé perché au-dessus du lit de la Dordogne. Héritages de l'activité d'extraction, les remblais de l'ancienne gravière limitaient l'inondabilité du site. Des plans d'eau aux berges verticales et des friches industrielles avaient remplacé les zones de frayères et les zones humides connexes. Un enrochement de 400 mètres, le long de la plateforme industrielle, contraignait de plus les écoulements et la dynamique latérale du cours d'eau.

MOTEUR DU PROJET

Le site de l'ancienne gravière de Veyrignac qui a fait l'objet d'une restauration a été identifié dès 2003 dans une analyse concernant les carrières alluvionnaires de la vallée de la Dordogne. Cette analyse réalisée par le bureau d'étude Ecosphère (Kowacs et al., 2003) a porté sur :

- la définition des enjeux et des principales pistes de travail afin de promouvoir une valorisation des carrières dans le cadre d'une gestion intégrée de la plaine alluviale ;
- l'évaluation des possibilités de requalification des sites en cours d'activité ou abandonnés en précisant leurs fonctions hydraulique, paysagère, écologique et socio-économique.

Parmi les carrières alluvionnaires créées en lit majeur, l'analyse a permis de caractériser plusieurs types de carrières parmi la centaine présente :

- certaines carrières profondes situées en bordure de la Dordogne sont susceptibles de capturer le fleuve et pourraient dans ce cas contribuer au piégeage des sédiments grossiers et donc à l'aggravation de l'incision de la rivière ;
- inversement, d'autres carrières peuvent être connectées à la rivière et aménagées de manière à constituer de nouvelles annexes hydrauliques fonctionnelles, afin de restaurer la capacité d'accueil de la Dordogne pour les espèces végétales et animales associées à ces milieux très riches.

EPIDOR, en tant qu'EPTB, a pour ambition la restauration-renaturation de milieux sur l'espace alluvial de la Dordogne. Cette ambition est traduite dans un schéma directeur de gestion du lit et des berges de la rivière Dordogne établi par BIOTEC en 2011 pour le compte d'EPIDOR. Ce schéma fixe comme objectifs l'accompagnement de la dynamique fluviale puis la préservation d'un nécessaire espace de fonctionnalité (lit mineur et ses marges), tout en veillant à gérer opportunément le risque de capture de la rivière par l'ancienne gravière de Veyrignac.

Dès 2011, EPIDOR mobilise la communauté de communes du Pays de Fénelon pour acquérir la maîtrise foncière de l'ancien site industriel. L'acquisition foncière sera effective avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Adour Garonne et de l'association IBD en 2013.

Sous la maîtrise d'ouvrage d'EPIDOR et la maitrise d'œuvre du bureau d'étude BIOTEC, les travaux ont été réalisés par l'entreprise GARRIGOU TP, la société INNEXENCE et DINGER Environnement entre 2015 et 2016.

PRÉSENTATION DU PROJET

Le site industriel de concassage de l'ancienne gravière de Veyrignac est situé sur les bords de la rivière Dordogne dans le département de la Dordogne en Région Nouvelle Aquitaine et concerne 4 communes (Veyrignac, Carsac-Aillac, Calviac et Sainte Mondane) et une communauté de communes (la Communauté de communes du Pays de Fénelon). La rivière évolue dans ce secteur dans un relief karstique avec une vallée alluviale qui présente un lit mineur de 150 mètre de large. La gravière est située sur une banquette alluviale en intérieur de méandre.

Le projet consiste en une restauration de l'espace de fonctionnalité de la Dordogne dans un secteur menacé par un risque de capture de la rivière par une ancienne gravière alluvionnaire.

Le projet correspond à des travaux de renaturation du site industriel de concassage de Veyrignac (ancienne gravière) en un espace naturel alluvial de 16 hectares.

Les travaux se sont déroulés sur 7 mois entre septembre 2015 et avril 2016. Le matériel industriel a été démonté et évacué du site. Les buses, les passerelles et un cordon d'enrochement de 400 m de long ont été démontés afin d'ouvrir l'espace à la dynamique fluviale. Une grande partie des terrains a été décaissée sur une épaisseur allant de 50 cm à 2 m avec l'objectif de reconstituer deux niveaux de terrasse. Les anciennes fosses d'extraction ont été en partie comblées par les matériaux issus du décaissement afin de constituer une terrasse basse alluviale. Ces travaux réalisés en déblais/remblais ont représenté 150 000 m^3 de matériaux gravelo-terreux à déplacer à l'intérieur du site. Aucun autre matériau graveleux n'a été importé. Un boisement alluvial à bois tendre a été reconstitué sur les surfaces travaillées. Deux niveaux de terrasse alluviale ont ainsi été constitués, ce qui permettra d'augmenter le champ d'expansion des crues dans un secteur sans enjeu anthropique. Un plan d'eau a été connecté à la rivière afin de constituer une nouvelle annexe hydraulique fonctionnelle (bras mort). Les berges ont été travaillées afin de constituer des hauts fonds propices à la fraie piscicole et à l'implantation d'une ceinture d'hélophytes (mégaphorbiaies - roselière). Des mares ont été créées (habitats à Alyte et grenouille verte). Il a été porté une attention particulière au remodelage des formes et à la végétalisation du site afin de gérer opportunément le risque de capture de la rivière par la gravière.

L'ensemencement des surfaces travaillées a été réalisé au moyen de mélanges grainiers adaptés. Les espèces utilisées sont de type « sauvage » et il a été privilégié les écotypes récoltés et cultivés dans des conditions similaires (même bassin versant ou zone écologique proche) à celles du site. Les boutures utilisées (saules) ont pu être en partie prélevées à proximité du site. Des peupliers noirs (espèce patrimoniale) ont pu être réimplantés par bouturage. Des mottes de plantes d'hélophytes, issues des prélèvements conduits sur site, sous forme de massifs et en des endroits choisis ont été réimplantées.

Il a été tenu compte de la présence d'espèces protégées dans la mise en œuvre des travaux, notamment le Carex pseudobrizoïdes (Laiche fausse brise) et la Pulicaire vulgaire. Des techniques de décapage sur 20/30 cm d'épaisseur avec réimplantation/régalage en des secteurs favorables ont été mises en œuvre. Concernant les Carex

pseudobrizoides qui se trouvaient sur le cordon d'enrochement qui a été démonté, il a été choisi de recréer des conditions d'habitats favorables à leur émergence. Ainsi, près de 500 mètres d'ourlet à une côte similaire à l'implantation des stations initiales ont été libérés par les opérations de terrassement en déblai/remblai. Cependant en raison d'une écologie méconnue, et d'une répartition sporadique, il n'est pas possible de prévoir ni confirmer son expansion sur le site. Par ailleurs, il a été proposé, à titre expérimental et en lien avec le conservatoire botanique national sud Atlantique (CBNSA), la transplantation des pieds susceptibles d'être détruits par les travaux. Les pieds ont donc été prélevés par décapage du sol au godet de pelle sur une profondeur de 20/30 cm et replacés puis arrosés dans leur station de destination.

BÉNÉFICIAIRES

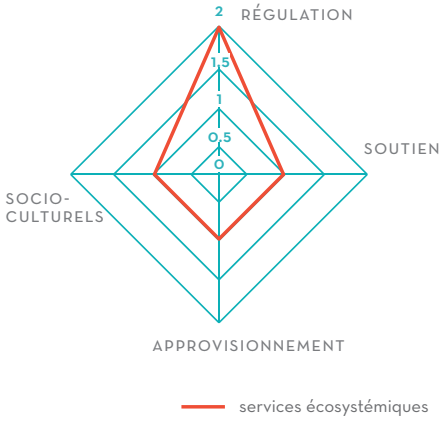
Le projet de renaturation et de restauration a été initié dans le cadre du schéma directeur de gestion du lit de la Dordogne réalisé par EPIDOR dès 2011.

Ainsi, le 1er bénéficiaire identifié est l'écosystème rivière et la qualité écologique du domaine public fluvial (DPF), en second lieu la population résidente et touristique représentant un enjeu social (et économique). Le territoire de la vallée de la Dordogne, très touristique, mise en effet sur une image de marque tournée autour de la naturalité de la rivière. Le label « Réserve de biosphère », accordé par l'UNESCO en 2012, vient renforcer cette image à l'international. Des actions qui visent à améliorer la naturalité aux abords de la rivière viennent améliorer l'attractivité paysagère de ce territoire. Plus localement, cette restauration bénéficie aux pêcheurs, chasseurs, et aux habitants. Dès le départ, la Communauté de communes du Pays de Fénelon a aussi initié un travail pédagogique tourné vers les scolaires et la population pour que ce lieu serve à l'éducation à l'environnement.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les services concernés par les actions de ce projet sont des services :

- de régulation : amélioration de la capacité épuratoire des milieux (extension des peuplements de macrophytes), régulation des crues des rivières et de l'érosion des sols (++), biodiversité, cycle nutritif, géodynamique fluviale (+++),
- de soutien : fourniture habitats végétaux et aquatiques (++),
- d'approvisionnement : amélioration du potentiel piscicole de la rivière (++),
- socio-culturels : amélioration de la qualité paysagère, support récréatif et éducatif (++).



ÉVALUATION DU PROJET

Au final, sur les 16 hectares, la restauration-renaturation du site permettra de disposer de :

- 4 hectares de boisements alluviaux,
- 5,3 hectares de milieux ouverts sur substrat graveleux-terreux de type terrasse basse,
- plus de 600 mètres de linéaires de berges propices aux habitats de grèves (habitats de la Pulicaire vulgaire),
- 1 000 m^2 de mares,
- 7 hectares de bras morts.

Les suivis des populations d'alyte, du développement des gazons amphibies (à Eleocharis ovata, Cyperus michelianus et Lindernia palustris) et végétation des grèves (à Pulicaria vulgaris) et ourlet (à Carex pseudobrizoides) seront réalisés pendant la période de suivi des aménagements post-travaux par le maître d'œuvre et après 5, 10 et 20 ans par le maître d'ouvrage.

Les principales attentes vis-à-vis du projet concernent une restauration de l'espace de fonctionnalité de la Dordogne. Le suivi de la recolonisation par les habitats et espèces d'intérêt communautaire et l'évaluation de leur typicité et état de conservation sera réalisé.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Ce projet s'insère dans une volonté locale affichée de restauration de l'espace fluvial à l'échelle des deux rives de la Dordogne. La commune de Carsac-Aillac procède à l'acquisition régulière de boisements alluviaux à proximité du site au titre des espaces naturels sensibles (ENS). Un ensemble de 40 à 50 hectares sera à terme sous maîtrise foncière des collectivités. Une réflexion pour la création d'une Réserve naturelle régionale pourrait s'engager.

Ce site constitue aussi d'ores et déjà un site pilote pour promouvoir la restauration d'anciens sites de carrières dans l'espace alluvial. Onze autres sites présentent un potentiel de restauration similaire pour l'espace alluvial de la Dordogne (3 en Corrèze, 4 dans le Lot, 4 en Dordogne). Le site de Veyrignac constitue un site témoin pour tous les porteurs de projets de ce type.

Des suivis sont envisagés et ce site intéresse les universitaires pour leurs travaux en génie écologique et biologie des espèces.

Localement, le site est valorisé pour un programme de long terme sur l'éducation à l'environnement et aux principes du développement durable. Ainsi un animateur nature employé par la communauté de communes utilise le site pour des projets pédagogiques avec les écoles du territoire. Un journal local a été créé et des articles sont rédigés par les scolaires.

FINANCEMENT

Ce projet a été financé par l'Agence de l'eau Adour Garonne et l'association IBD (Association regroupant EDF et EPIDOR). Le montant des études et des travaux, réalisés sous maîtrise d'ouvrage EPIDOR, s'est élevé à 30 000 € (Etude) 754 000 € (Travaux) et 20 000 € (évaluation). L'acquisition foncière réalisée par la Communauté de communes du Pays de Fénelon a représenté un montant de 93 000 € (16 hectares de site industriel, frais notariés inclus).

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

DEBIAIS N., HUYGHE G, LACHAT B. BIOTEC. 2011. Schéma directeur de gestion du lit de la Dordogne entre Girac et le barrage de Mauzac - note de synthèse et annexes – EPIDOR, 41 p.

GUERRI O., MOINOT F., 2013. Document de synthèse – Documents d'objectifs Natura 2000 FR 7200660, La Dordogne en Aquitaine – EPIDOR, 203 p

KOVACS JC., MALAVOI J.R., MICHELOT J.L., THAURONT M., 2003. Carrières alluvionnaires de la vallée de la Dordogne, enjeux et politique d'intervention – ACVF, 40 p.

ILLUSTRATIONS

Le site de l'ancienne gravière de Veyrignac avant travaux, juillet 2009

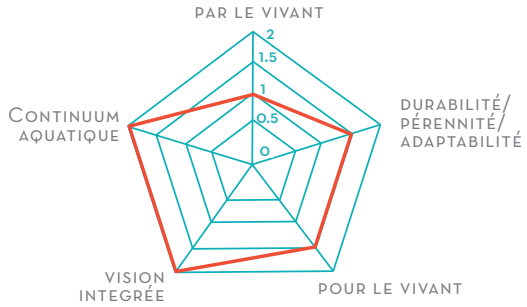
PHOTO 1 EPIDOR-EPTB Dordogne

Le site de l'ancienne gravière de Veyrignac renaturé après travaux, mai 2017

PHOTO 2 EPIDOR-EPTB Dordogne

6

Restauration de la continuité écologique par création d'une rivière de contournement d'un plan d'eau et son barrage



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : LOIRE-BRETAGNE
RÉGION : CENTRE VAL DE LOIRE
DÉPARTEMENT : L'INDRE ET LOIRE
COMMUNE : CÉRELLES

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

La plupart des cours d'eau de plaine situés au sud du bassin parisien ont été impactés par de nombreux aménagements depuis des siècles : moulins, ouvrages hydrauliques, plans d'eau et plus récemment des opérations de curage, de recalibrage et de rectification des cours d'eau.

Une étude diagnostique, réalisée en 2007 sur le bassin versant de la Choisille, affluent de rive droite de la Loire à l'aval immédiat de la Ville de Tours, avait pour objectif d'aboutir à l'élaboration du premier contrat territorial de restauration de la morphologie du cours principal de la Choisille et de ses affluents. Cette étude préalable a mis en évidence les altérations que subissent les cours d'eau sur le secteur d'étude, d'un linéaire total de 144 km pour un bassin versant d'une superficie de 290 km^2.

Cette étude a montré que la continuité écologique, et plus largement le lit mineur des cours d'eau, étaient les plus impactés. En conséquence, le programme d'actions du contrat territorial 2011 – 2015 a été principalement orienté sur les actions de restauration de la continuité écologique et du lit mineur des cours d'eau, sur les secteurs définis comme prioritaires au regard de leur potentiel et des espèces repères prises en compte selon le contexte (truite fario, anguille).

Une étude complémentaire pour la restauration de la continuité écologique sur une sélection d'ouvrages et de sites prioritaires a débuté en 2012, et a permis d'élaborer le projet de contournement du plan d'eau de Châtenay sur la commune de Cérelles.

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

La création du plan d'eau de Châtenay d'environ 4 ha, régulièrement autorisée en 1973 par arrêté préfectoral, a été réalisée en barrage du cours de la Choisille de Beaumont, classée comme réservoir biologique. Il se situe à son extrémité aval et à proximité immédiate de la confluence avec le drain principal de la Choisille.

Une population de truite fario subsiste à 1 km à l'amont du plan d'eau sur un secteur favorable à la reproduction naturelle, à la croissance et à la biologie de l'espèce. Une autre population de truites fario est présente sur l'extrémité aval d'un cours d'eau voisin (Choisille de Chenusson), lui-même classé en réservoir biologique.

Ce plan d'eau constitue un point de blocage de la continuité écologique, depuis plus de 40 ans, puisqu'il sépare physiquement ces deux populations et qu'il piège les alluvions charriées par le cours d'eau.

Le déficit en matériaux alluvionnaires du cours d'eau à l'aval du site a engendré des phénomènes d'incision verticale du lit et une diminution de la diversité des habitats aquatiques.

MOTEUR DU PROJET

Le Syndicat Intercommunal de la Choisille et de ses Affluents (SICA) est maître d'ouvrage de la mise en œuvre du programme d'actions du contrat territorial 2011-2015.

Le programme de travaux, les documents cartographiques et l'atlas des ouvrages sont issus de l'étude préalable réalisée en 2007 par le bureau d'études HYDRO CONCEPT, dont la restitution a eu lieu dans le courant de l'année 2008.

Le technicien rivière du syndicat, recruté en août 2009, a actualisé et finalisé les documents, en concertation étroite avec les partenaires techniques et financiers associés à la mise en place du Contrat territorial.

Compatibles avec les objectifs du SDAGE et en conformité avec la Directive Cadre Européenne sur l'Eau, les travaux, situés sur des terrains privés, ont fait l'objet d'un financement public qui a nécessité la demande de Déclaration d'Intérêt Général et d'autorisation Loi sur l'Eau des travaux, prononcée par l'arrêté préfectoral du 9 mai 2011. Les incidences des travaux ont été préalablement étudiées au titre du Code de l'environnement.

PRÉSENTATION DU PROJET

Le contournement du plan d'eau de Châtenay a été évoqué pour la première fois avec le propriétaire en 2007, lors de l'étude préalable à la préparation du contrat territorial.

L'étude complémentaire du projet et les travaux ont été inscrits au programme d'action avec l'accord de principe du propriétaire puis ont été déclarés d'intérêt général le 9 mai 2011 par arrêté préfectoral.

Les premiers levés topographiques réalisés en 2012 ont montré que les contraintes étaient nombreuses (emprise foncière limitée, fortes pentes des versants, alimentation d'un moulin fondé en titre par le plan d'eau). Malgré tout, le projet a pu aboutir une fois que les différentes parties ont convenu d'un compromis concernant la répartition des débits de projet, permettant de rendre la rivière de contournement fonctionnelle et attractive tout en alimentant le moulin en dérivation de façon satisfaisante.

Une réunion de mise au point du dossier détaillé du projet a été nécessaire pour finaliser les éléments du point de vue de l'hydromorphologie. Ayant obtenu un avis favorable en juillet 2015, la consultation des entreprises a permis d'attribuer le marché de travaux.

Du point de vue technique, le projet consiste à aménager un ouvrage de répartition des eaux sur le cours d'eau à l'amont du plan d'eau pour alimenter la rivière de contournement. Il permettra de respecter le débit réservé, de privilégier l'alimentation en période d'étiage de façon à assurer un bon fonctionnement écologique et de limiter l'alimentation en période de crue pour éviter des désordres hydrauliques et maintenir des conditions de circulation piscicole acceptables (vitesses d'écoulements compatibles avec les capacités de nage des espèces cibles).

La géométrie du lit a été dimensionnée en configurant des lits emboîtés permettant des débordements au-delà de la crue biennale.

L'objectif est d'éviter un surdimensionnement du lit qui entrainerait une sédimentation, une altération du régime des crues et des étiages, de la recharge des nappes phréatiques et des capacités auto-épuratoires du lit mineur.

La section d'écoulement du lit à l'étiage permettra de maintenir une lame d'eau suffisante pour les débits faibles, une largeur de lit suffisamment restreinte pour maintenir une dynamique sédimentaire active malgré les faibles pentes.

La configuration du lit limitera les risques de submersion de la digue maintenue entre la rivière de contournement et le plan d'eau pour des débits de crues inférieurs ou égaux à la crue décennale. Le coefficient de sinuosité retenu est de 1,1 et les pentes varient entre 0,2 à 0,7 %. La largeur du lit d'étiage est de 1,80 m pour des hauteurs de berges de 0,50 m, le lit de débordement aura une largeur de 6 m avec des pentes de raccordement au terrain naturel de 3L/2H. Une armature de fond de lit sera reconstituée après terrassement par recharge de grave issue de carrières locales. Elle sera effectuée par mise en place d'une couche de matériaux alluvionnaires roulés 0-200 mm non lavés. Des blocs de 200-400 mm seront dispersés pour améliorer la diversité des habitats aquatiques et piscicoles de la rivière de contournement. Les faciès d'écoulements (alternance seuils-mouilles) sont espacés d'une longueur environ égale à 6 fois la largeur à plein bords, les mouilles étant principalement creusées aux pieds des berges concaves.

La succession des sinuosités offre une large palette granulométrique des sédiments grossiers de surface, des vitesses, des hauteurs, des pentes du fond du lit et des berges. Tous ces éléments offrent des supports d'habitats variés que l'on ne retrouve pas dans les portions rectilignes.

La sinuosité est une variable d'ajustement principale de la pente en fonction des apports solides et liquides (les variables secondaires étant la nature des berges et la présence de végétation essentiellement, ici arbustive). Les cours d'eau ayant fait l'objet de recoupements artificiels de méandres, tendent, par les phénomènes de dépôts-érosions, à reconstituer des sinuosités autour d'une moyenne correspondant à leurs conditions hydro-sédimentaires naturelles.

Aussi, pour permettre une bonne reconstitution des habitats et la durabilité des aménagements, les travaux devront permettre de restaurer ces sinuosités, quand l'emprise foncière le permet.

Parmi les caractéristiques physiques des sinuosités naturelles, doivent être également reproduites, dans la mesure du possible :

- les longueurs d'ondes de méandres,
- l'amplitude des méandres, qui peut se traduire également par la définition d'une enveloppe de méandrage correspondant à l'espace de liberté, restreint ou non, pour la divagation latérale du cours d'eau.

Neuf seuils ennoyés de blocage vont être aménagés sur le fond de la rivière de contournement pour limiter les phénomènes d'érosion régressive et la remobilisation massive de matériaux.

Le secteur le plus problématique au regard du relief oblige à aménager une digue dans l'emprise du plan d'eau sur une centaine de mètres, pour conserver les proportions de la rivière de contournement, ainsi que le chemin de service qui permet de faire le tour du plan d'eau.

Un pont cadre en béton de 6,7 m de longueur pour 3 m de large et 2 m de hauteur (dimensions intérieures) va être mis en place au droit de la digue de retenue du plan d'eau pour assurer le passage de la rivière de contournement. Il supportera la buse d'alimentation du bief du moulin situé à l'aval, qui traversera la digue nouvellement créée.

Les travaux se sont déroulés de juin à septembre 2016.

BÉNÉFICIAIRES

Le principal bénéficiaire est le propriétaire de l'ouvrage puisque le syndicat assure la maîtrise d'ouvrage du projet et son financement pour accompagner la mise en conformité du plan d'eau avec la règlementation.

Le portage de ce projet a été décidé en 2010 lors de la demande de déclaration d'intérêt général et de l'élaboration du contrat territorial soit avant que le cours d'eau ne figure en liste 2 de l'arrêté de classement des cours d'eau du 10 juillet 2012, au titre de l'article L. 214-17 CE. Cet arrêté oblige les propriétaires d'ouvrages concernés à les gérer, les entretenir ou les équiper pour assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs dans un délai de 5 ans après sa publication.

Le propriétaire du moulin fondé en titre situé à l'aval est également bénéficiaire car il est alimenté par dérivation *via* le plan d'eau. Le compromis retenu concernant la répartition des débits dans le cadre du projet doit permettre d'améliorer sensiblement la situation actuelle tout en étant conforme à la règlementation et en garantissant de bonnes fonctionnalité et attractivité de la rivière de contournement.

Enfin, le bénéfice le plus important concerne le milieu puisque le projet doit permettre de rétablir les fonctionnalités du cours d'eau après plus de 40 ans, par la restauration de la continuité écologique au droit de l'ouvrage.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Services de soutien :

Du point de vue morphologique, la restauration permet le transit de la charge de fond. Les matériaux étaient auparavant piégés par le plan d'eau, ce qui occasionnait un déficit sédimentaire à l'aval de l'ouvrage, lui-même responsable d'une incision et d'une altération des habitats pour la faune aquatique. Du point de vue physico-chimique, il est attendu une amélioration de la qualité de l'eau en réduisant l'augmentation de la température de l'eau par la mise en place d'une rivière de contournement du plan d'eau. Ce paramètre avait été pris en compte dès le départ de l'étude puisqu'un suivi de la thermie réalisé entre l'amont et l'aval de plans d'eau a été réalisé. Les résultats montrent des modifications de régime thermique de l'ordre de 4,3 °C en moyenne pour les températures moyennes journalières, et de l'ordre de 4,1 °C en moyenne pour les températures instantanées. La présence d'un plan d'eau perturbe le fonctionnement écologique d'un cours d'eau car la température est un facteur fondamental pour les écosystèmes aquatiques. Une augmentation des températures en été diminue la solubilité de l'oxygène, modifie l'équilibre nitrate-ammonium, favorise le développement de parasites et de bactérioses, etc. Une augmentation trop importante de la thermie, notamment dans le cas du cumul des plans d'eau le long d'une rivière, est incompatible avec les exigences biologiques des espèces présentes, notamment de la truite fario.

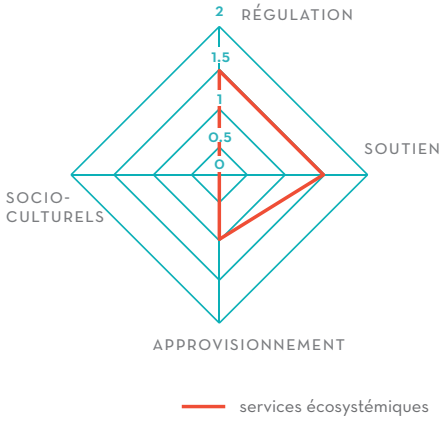
Services d'approvisionnement :

- la restauration de la circulation piscicole de certaines espèces (truite fario, anguille) sur un linéaire de plus de 7 km,
- la reconnexion des populations d'espèces piscicoles isolées depuis plus de 40 ans.

Les objectifs de continuité piscicole semblent atteints. En effet, la colonisation de la rivière de contournement ne fait plus de doute, puisqu'un agent de l'Agence Française pour la Biodiversité a observé deux nids de ponte de truite fario au début du mois de décembre 2017.

Services de régulation : le projet permettra de réduire l'incidence des crues du cours d'eau sur la localité située à l'aval du fait du maintien du plan d'eau.

L'effet « tampon », pour les crues de durée de retour supérieure à 10 ans, est issu de la répartition des débits entre la rivière de contournement et le plan d'eau, qui a été préconisé par l'Onema. Cette répartition vise à recréer les fonctions hydromorphologiques similaires aux conditions naturelles, à savoir obtenir un écoulement dans le lit mineur à pleins bords pour des crues de récurrence 1,5 à 2 ans. Le lit majeur recréé selon le principe de lit emboîté, viendra se raccorder au terrain naturel et permettra de faire transiter des débits de crue de récurrence 5 à 10 ans. Cet enjeu avait été pris en compte au moment de la validation du scénario de projet en cours d'étude.



ÉVALUATION DU PROJET

Le site a été retenu pour la mise en œuvre d'un protocole de suivi hydromorphologique faisant référence au niveau du bassin Loire-Bretagne. L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et l'Onema assurent le financement et le suivi de plusieurs paramètres et indicateurs depuis 2011. La particularité du site est qu'il a été possible de réaliser un état initial 5 ans avant d'entreprendre les travaux sur deux stations positionnées à l'aval et à l'amont à la limite de la zone d'influence du plan d'eau créant un remous sur le cours d'eau. Les stations ont été étudiées selon le protocole CARHYCE (Caractérisation Hydromorphologique des Cours d'Eau) et seront de nouveau expertisées 3 ans après travaux (2019). Des thermomètres enregistreurs ont été mis en place depuis 2011 pour suivre l'évolution de la thermie.

Les indicateurs biologiques sont essentiellement hydrobiologiques sur les supports suivants : macroinvertébrés (IBG DCE), diatomées (IBD) et poissons (IPR). Mis en œuvre chaque année depuis 2011, ils seront reconduits de 2019 à 2021, soit de N+3 à N+5 après travaux.

L'ensemble des données collectées permettra de suivre l'évolution du site vis-à-vis de la morphologie, de la thermie et de la biologie. L'objectif est de pouvoir apprécier l'efficacité des travaux réalisés en mesurant les améliorations apportées du point de vue quantitatif et qualitatif, notamment au travers du rétablissement des peuplements piscicoles et de leur migration, du transport sédimentaire, de la réduction de l'impact sur la température du cours d'eau et de l'amélioration de la qualité de l'eau.

FINANCEMENT

Les actions de ce programme ont été subventionnées par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne (modalités du Xème programme), le Conseil Régional du Centre-Val de Loire, le Conseil Départemental d'Indre-et-Loire, la Fédération des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique du département de l'Indre et Loire et la Fédération Nationale pour la Pêche en France.

Au préalable, les crédits non utilisés auprès des partenaires ont fait l'objet de demandes de réaffectation pour le financement de l'opération. Le montant prévisionnel des travaux qui s'élevait à 100 000 € TTC en 2008 est passé à 274 000 € TTC en 2015 après étude complémentaire. La consultation des entreprises a permis de contractualiser le marché pour un montant de 219 000 € TTC, l'offre de l'entreprise Vinci Construction Terrassement était économiquement et techniquement la plus avantageuse. Les calculs réalisés par l'entreprise pour le VISA des documents d'exécution donnent une estimation affinée à environ 203 000 € TTC.

Les études préalables et les éléments de mission de maîtrise d'œuvre pour l'ensemble de l'opération s'élèvent à environ 37 000 € TTC. Une mission complémentaire a été nécessaire pour réaliser des levés topographiques supplémentaires et des modélisations pour le dimensionnement de la digue pour 7 980 € TTC.

ILLUSTRATIONS

Vues aériennes pendant et après les travaux d'aménagement

PHOTO 1

ROMAIN BELLIER, FDAAPPMA 37 ET MICHEL BRAMARD, AFB

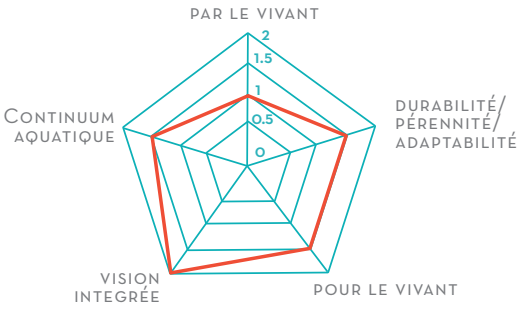
Vue de l'aval du plan partiellement vidangé laissant apparaître l'ancien lit de la Choisille de Beaumont

PHOTO 2

GRÉGORY MOIRIN, SICA

7

Création de zones d'expansion des crues pour limiter les risques d'inondation



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : ARTOIS - PICARDIE
RÉGION : NORD PAS DE CALAIS - PICARDIE
DÉPARTEMENT : NORD
COMMUNES : BORRE, HAZEBROUCK, VIEUX-BERQUIN

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

La Borre Becque (amont de la Bourre) est l'un des affluents les plus importants en rive gauche de la Lys. Suite aux inondations récurrentes sur l'aval du bassin versant de la Bourre, notamment à Merville (commune de 9 000 hab.), le Syndicat Mixte du SAGE de la Lys (SYMSAGEL[4]) a lancé en 2002 un plan de gestion global et équilibré des écoulements et des crues des canaux de la Bourre. Au terme de cette étude, le scénario retenu s'est basé sur un principe de ralentissement dynamique des crues. L'une des préconisations majeures de l'étude était la réalisation de Zones d'Expansion de Crues (ZEC) sur l'amont du bassin versant dans le secteur d'Hazebrouck.

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

Les aménagements sont dimensionnés et optimisés pour des crues longues (4 jours) de fréquence décennale, vicennale et centennale et des crues courtes (1 jour) de fréquence décennale et centennale. Ces crues sont considérées comme les plus pénalisantes sur ce bassin versant.

Sur les inondations, l'influence principale correspond à l'évènement d'occurrence centennal de type « pluie courte » (durée 1 jour) pour lequel les débordements sont diminués de 35 cm sur Caudescure – hameau de Merville - (débordement annulé) et de 20 cm sur Merville – bourg – avec en outre une amélioration de la situation juste en aval des ZEC créées.

En parallèle du travail hydraulique, une réflexion a été engagée dès l'étude de faisabilité du projet afin d'intégrer une dimension écologique forte à cet aménagement. Le bassin versant de la Bourre est occupé en grande partie par l'agglomération d'Hazebrouck. De nombreux axes de communication (autoroute, RD, voie ferrée, TGV) segmentent les espaces naturels et les espaces agricoles. Seule la forêt domaniale de Nieppe constitue un milieu naturel remarquable en aval d'Hazebrouck. Les cours d'eau ont été fortement remaniés depuis plusieurs siècles : chenalisation, endiguement, recalibrage... L'aménagement des ZEC de Borre a été l'occasion de concevoir la restauration écologique d'un milieu naturel alluvial. Pour ce faire, des zones humides, des frayères à brochets (espèce repère sur le bassin versant) et des boisements alluviaux ont été créés.

[4] Le SYMSAGEL est un Etablissement Public Territorial de Bassin (EPTB) qui a pour mission la mise en œuvre du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de la Lys. Le territoire du SYMSAGEL concerne l'ensemble du bassin versant de la Lys. L'USAN est une structure adhérente au SYMSAGEL et représente la structure opérationnelle pour le territoire de la Lys situé dans le département du Nord.

MOTEUR DU PROJET

En 2004, l'USAN, maître d'ouvrage local, a débuté les études de réalisation d'un projet de ZEC d'environ 550 000 m^3 sur le linéaire de la Borre Becque entre Borre, Hazebrouck et Vieux Berquin, dans le champ d'inondation naturel des crues où le cours d'eau avait été endigué par le passé.

La création de cette ZEC répond à elle seule à 50% des objectifs de réduction du risque d'inondations sur ce bassin versant, avec un volume de stockage optimal de 547 200 m^3.

Ce projet s'est inscrit dans le cadre de la mise en œuvre opérationnelle du Programme d'Actions pour la Protection contre les Inondations (PAPI) de la Lys (programme 2007-2013), porté par le SYMSAGEL.

La création de cette ZEC répond à une stratégie de prévention des crues en accord avec les principaux documents cadres tels que la Directive Inondations, le SDAGE Artois-Picardie et le SAGE de la Lys.

Les partenaires (maître d'ouvrage, financeurs, élus...) ont souhaité que ce projet ne soit pas uniquement à vocation hydraulique mais également une opération de restauration écologique exemplaire sur le territoire, en restaurant les fonctionnalités écologiques du champ naturel d'expansion des crues.

PRÉSENTATION DU PROJET

Le projet est un système de 4 ZEC situées le long de la Borre Becque. Le principe de ces aménagements est basé sur le ralentissement de la dynamique des crues par la rétention d'eau dès l'amont du bassin versant, ce qui permet d'écrêter les pics de crues et ainsi de diminuer le risque d'inondation pour les activités et enjeux en aval. Le fonctionnement des ZEC s'apparente à un fonctionnement naturel de débordement dans le lit majeur avec une optimisation des volumes de rétention, notamment grâce à l'implantation de 2 ouvrages de régulation. L'objectif de stockage du projet est d'atteindre 547 200 m^3 en optimisation totale pour des crues longues (4 jours) de fréquence décennale, vicennale et centennale et des crues courtes (1 jour) de fréquence décennale et centennale.

Avant les travaux, le site était composé de champs cultivés et endigués sur toute la longueur du cours d'eau. Les 4 zones ont d'abord été terrassées sur des profondeurs limitées (en raison de la présence de la nappe phréatique). Cette étape a permis de créer la base des nouveaux milieux : frayères, zones humides, roselières... en différenciant plusieurs profondeurs. 2,13 ha de frayères à Brochet ont ainsi été créés.

Ensuite, les digues au niveau du cours d'eau ont été arasées complètement au niveau des 4 ZEC, ce qui a permis de rétablir les connexions latérales sur un linéaire d'environ 1,6 km. L'expansion des crues peut donc se faire naturellement. Les berges de la ZEC n°3 ont été retalutées en pente douce pour favoriser le remplissage et la colonisation par des espèces hygrophiles.

Afin d'améliorer le stockage de l'eau et maîtriser le champ d'inondation, des nouvelles digues de pourtour de l'ouvrage ont été réalisées et les digues de protection du cours d'eau ont été rénovées à certains endroits pour la mise en sécurité de l'ouvrage. Deux ouvrages de régulation viennent compléter le dispositif du projet en aval des ZEC 1/2/3 et de la ZEC 4 pour un remplissage optimal des 4 ZEC lors des grandes occurrences de crues. Ces ouvrages, entièrement automatisés, sont transparents vis-à-vis du lit mineur actuel pour la continuité écologique. Une manœuvre fine de ces ouvrages est également prévue en faveur du remplissage des frayères.

Enfin, une attention particulière a été portée à l'intégration paysagère du projet. Les 4 ZEC sont ceinturées par des haies sur 3,21 km avec une mixité d'essences locales. La ripisylve a été implantée sur les secteurs de berges rénovées ainsi que des Saules conduits en têtard (technique de taille), symbole du patrimoine paysager local.

Des boisements alluviaux (2510 m^2) ont été créés dans les ZEC n°1, 2 et 3 pour renforcer l'attrait des ZEC pour la biodiversité. Dans la ZEC n°4, des vestiges de fossés agrémentés de haies arbustives ont été maintenus dans le projet et seront restaurés. Ces fossés sont riches en espèces végétales et animales (batraciens en particulier). Ils jouent un rôle important les premières années pour la colonisation des nouveaux espaces par la biodiversité locale.

BÉNÉFICIAIRES

Les bénéficiaires principaux et immédiats du projet sont les populations locales en aval de l'aménagement, en particulier le hameau de Caudescure et le bourg de Merville. L'étude d'impact du projet a mis en avant les enjeux principaux protégés au travers d'une cartographie, ce qui a permis d'estimer à environ 500 personnes la population directement protégée en aval de l'aménagement.

Des bénéfices secondaires sont apparus pour le quartier à proximité en raison de la rénovation des digues associées au projet. Cela a permis de sécuriser les digues existantes par leur remise à niveau et l'installation de clapets au niveau des drainages.

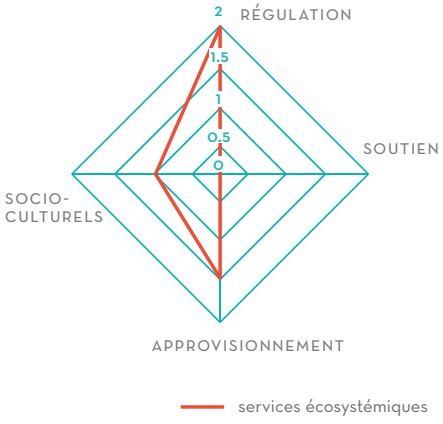
Le projet visait également à enrichir la biodiversité locale. Les effets sont notamment déjà visibles sur l'avifaune. Le site est désormais perçu comme une réserve importante de biodiversité par la population locale qui souhaite en tirer des bénéfices au niveau récréatif (ce qui n'était pas forcément intégré au départ du projet).

Enfin, les espaces de prairies font l'objet de conventions avec des agriculteurs locaux pour une valorisation en fauche exportatrice, ce qui permet d'intégrer le projet dans le tissu économique local fortement dominé par l'agriculture.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les services concernés par les actions de ce projet sont des services :

- de régulation : prévention des crues (+++), enrichissement de la biodiversité par la création de nouveaux milieux alluviaux (+++), restauration des connexions latérales entre le cours d'eau et des zones humides (++)
- d'approvisionnement : réservoir de lavifaune (++), frayères à Brochets (++)
- socio-culturels : soutien de l'agriculture locale (+), amélioration de la qualité paysagère (+), soutien d'activités connexes (chasse, pêche, randonnée) (+).



ÉVALUATION DU PROJET

Un plan de gestion a été réalisé à la suite des travaux pour assurer les opérations d'entretien et de suivi des espaces naturels. Les opérations d'entretien sont définies en fonction des milieux et des objectifs fixés pour chacun d'eux. Par exemple, sur les digues de pourtour des ZEC, l'arrêté préfectoral préconise pour des raisons de sécurité, une fauche 3 fois par an. Mais dans les ZEC elles-mêmes, la fauche pratiquée est une fauche tardive avec exportation. Deux fauches sont possibles entre juillet et octobre. Concernant les zones humides, la gestion concerne davantage la maîtrise des ligneux qui envahissent les espaces. Ils sont retirés vivants et réutilisés dans les haies ou les boisements.

D'un point de vue strictement hydraulique, les dernières crues subies sur le bassin versant (mai/juin 2016, novembre 2016, janvier 2017, mars 2017, janvier 2018) ont montré l'efficacité du dispositif. Le remplissage des bassins a été constaté sur place et les ouvrages automatisés ont fonctionné. Un contrôle du fonctionnement normal des ouvrages dans le cadre d'un protocole de gestion des ouvrages est également mis en place. Le suivi des niveaux d'eau permet d'évaluer la rétention réalisée lors de chaque épisode de crues.

D'un point de vue écologique, des indicateurs ont été définis dans le cadre de l'instruction du dossier de financement FEDER, et ils servent de base pour l'évaluation du projet au niveau des objectifs écologiques. Ces indicateurs reposent sur des données quantitatives (nombre de linéaires de haies créés, nombres d'espèces inféodées aux milieux humides…) et sur des données intégratrices du milieu (diversité spécifique piscicole).

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Le plan de gestion établi sur une durée de 5 ans permet d'organiser les principales actions à mener. Pour l'instant les milieux prairiaux sont gérés sous forme de conventionnement avec les agriculteurs locaux. L'USAN envisage la pérennisation de cette gestion par la mise en place de baux à clauses environnementales.

FINANCEMENT

Organisme	Taux	Montant
USAN (maître d'ouvrage)	20,6%	1 285 483 €
Agence de l'Eau Artois-Picardie	10%	624 021 €
FEDER	49,8%	3 107 624 €
Conseil Régional NPDC	5,8%	361 932 €
DREAL NPDC	13,8%	861 149 €
TOTAL		6 240 209 € HT

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

SOGREAH. 2006. Modélisations hydrologiques et hydrauliques des écoulements de la Bourre.

SOGREAH. 2009. Etudes d'impact et d'environnement.

ILLUSTRATIONS

Vue aérienne de la zone d'expansion des crues n°4 (35ha) et de l'ouvrage hydraulique n°2

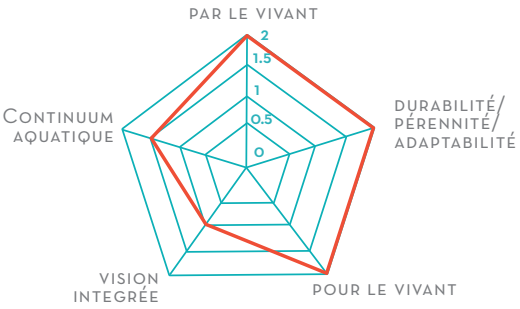
PHOTO 1

Zone de frayère dans la zone d'expansion des crues n°1

PHOTO 2

8

Confortement de berges de rivière par des techniques végétales comme alternative durable aux protections minérales fugaces



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : LOIRE-BRETAGNE
RÉGION : AUVERGNE RHÔNE ALPES
DÉPARTEMENT : LOIRE
COMMUNE : SAINT MARCELLIN EN FOREZ

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Dans la nouvelle région Auvergne Rhône Alpes, le Fleuve Loire prend sa source et s'écoule ensuite jusque dans le département éponyme, la Loire. Dans ce département, plusieurs affluents viennent alimenter le fleuve, depuis les monts du Forez jusque dans la plaine du même nom. La rivière Mare en fait partie. Avec ses 43 km de longueur et son bassin versant d'une superficie de 245 km², elle est un affluent typique de la Loire dans ce secteur. Après quelques kilomètres sur un plateau forestier à plus de 1 100 mètres d'altitude, leur vallée s'encaisse brutalement dans des gorges granitiques aux versants pentus (entre 2 et 10%) et majoritairement boisés. En aval de ce profil à forte pente sur une vingtaine de kilomètres, la vallée s'ouvre à Saint Marcellin en Forez (400 m d'altitude) où se situe le projet. En aval, la Mare entame un important méandre et place son axe d'écoulement parallèle à celui de la Loire. Son cours devient plus lentique puisque sa pente atteint des valeurs de l'ordre de 0,3%, en passant par des segments urbanisés où elle est contrainte à se plier au désir des hommes (chenalisation, endiguement...). C'est dans ce contexte précis que le projet est né.

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

La configuration du site est importante pour comprendre l'utilité du projet. Il y a tout d'abord le fait que l'enrochement vieillissant et déséquilibré par les diverses crues met en péril les fondations de l'habitation construite en berge, mais également le fait que cet enrochement se trouve à l'aval immédiate d'un pont contraignant les écoulements sous sa voute et les libérant sur cette même berge, avec des vitesses importantes. Ces vitesses élevées sont dues à l'absence de rugosité mécanique sous le pont stabilisé par un radier en béton particulièrement lisse. La chute des blocs de l'enrochement s'effectuait progressivement dans le lit mineur de la rivière pouvant entrainer, à terme, un déplacement des écoulements compromettant la stabilité des berges attenantes.

MOTEUR DU PROJET

Le bassin versant de la Mare est géré par la Communauté d'Agglomération Loire-Forez (aujourd'hui dénommé Loire Forez Agglomération) dans le cadre d'un Contrat de Restauration et d'Entretien avec l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, et d'une Opération Coordonnée avec le Conseil départemental de la Loire. À partir du pro-

gramme d'action défini lors de l'établissement de ces différents contrats, les cours d'eau du territoire de la communauté d'agglomération ont été découpés en tronçons homogènes afin de caractériser les travaux à entreprendre en fonction des besoins identifiés. En 2012, lors de la réalisation de travaux d'entretien de la ripisylve dans le secteur concerné, il a été constaté une détérioration des aménagements minéraux situés sur une berge en aval immédiat d'un pont sur 25 mètres de linéaire. En effet, la berge, composée d'enrochements désorganisés, chute progressivement dans le cours d'eau, mettant à mal la stabilité des fondations de l'habitation attenante.

La Communauté d'Agglomération Loire-Forez a pris la décision d'agir sur cette berge, dans le cadre de ses actions de restauration et d'entretien des cours d'eau. Grâce à la présence en interne d'une équipe «rivière» disposant des compétences nécessaires pour intervenir à l'aide de techniques issues du génie végétal, cette solution a été privilégiée.

PRÉSENTATION DU PROJET

À première vue, des travaux de génie civil consistant à garnir et rééquilibrer les blocs d'enrochements sur la berge érodée pouvaient paraitre suffisants. Mais c'était sans compter les difficultés d'accès du fait de la présence du mur de l'habitation sur la berge gauche.

Le fait de devoir traverser la rivière depuis la berge droite avec des engins lourds de terrassement n'était pas non plus une solution adéquate, étant données les contraintes réglementaires (travaux dans le lit mineur très réglementé) et la préparation de terrain que cela impose (création d'une rampe d'accès, abattage d'arbres pour le passage...).

Il a donc été décidé d'intervenir plus « finement et manuellement » afin de préserver l'état des berges et travailler seulement avec des techniques dites « douces » de génie végétal. L'objectif était simple : maintenir et préserver l'enrochement en lui apportant de la stabilité avec le système racinaire de végétaux adaptés en bord de cours d'eau.

Dans un premier temps, des pieux d'Acacia ont été battus en pied de berge devant les enrochements ainsi qu'en retrait dans la berge, afin de créer des points d'ancrage qui permettent le soutien des pieux situés dans l'eau en y tendant du fil galvanisé. Puis, en raison de la hauteur importante sur les 15 premiers mètres, un tunage bois a été préféré aux techniques de fascinage. Les planches du tunage ont été réalisées à même le site à l'aide d'arbres préalablement abattus en berge opposée. Les différents sujets ont été soigneusement sélectionnés afin de favoriser une luminosité maximale pour la reprise des végétaux implantés en rive gauche (boutures de saules essentiellement). De la terre végétale a ensuite été disposée derrière le tunage bois, sur les 15 premiers mètres, afin de créer une banquette en berge recouvrant intégralement les enrochements.

Sur les dix mètres restants, un tressage de branches de saules vivantes, susceptibles de rejeter, a été réalisé avec, là aussi, un apport de terre végétale. Cette technique de génie végétal permet de disposer immédiatement d'une protection et stabilisation mécanique de la berge grâce aux branches de saules tressées manuellement entre des pieux. Ensuite, grâce au mode de multiplication végétative caractéristique des saules, que l'on appelle communément le bouturage, les branches en contact avec la terre végétale humide forment de nouveaux végétaux et un système racinaire stabilisateur.

Suite au remplissage de terre végétale derrière le tunage bois et le tressage, l'ouvrage a été entièrement recouvert par un treillis (géotextile) biodégradable de coco afin de stabiliser la terre et retenir des semences de graminées et légumineuses préalablement semées. Le treillis est maintenu au sol par la présence du fil galvanisé auparavant tendu entre les pieds battus en pieds de berge et ceux installés le long du mur, en haut de la berge. Enfin, des boutures de saules arbustifs locaux (*Salix caprea* et *Salix viminalis*) ont été mis en place à travers le géotextile afin de multiplier les chances de reprise végétative au printemps.

BÉNÉFICIAIRES

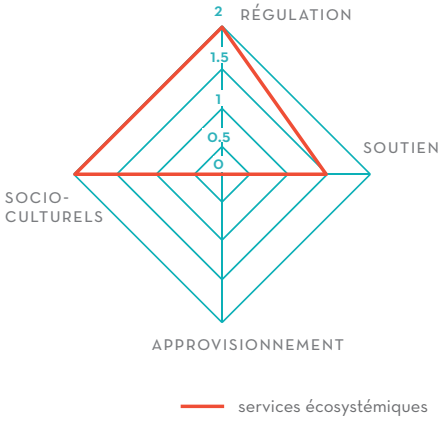
Même si, de prime abord, les principaux bénéficiaires de ce projet semblent être l'*homo sapiens*, par le fait qu'il puisse maîtriser la stabilité de ce qu'il a créé, en réalité le premier bénéficiaire est le milieu naturel.

Le fait d'installer une terre fertile et des végétaux sur des blocs minéraux démultiplie indéniablement le potentiel biologique et écologique du secteur. Les végétaux choisis comme les saules permettent, grâce à leur feuillage, de limiter la luminosité solaire et ainsi le réchauffement des eaux en période estivale. En complément de ce dernier aspect, la faune piscicole bénéficie également de caches sous berge créées grâce à la superposition dense de branchage au préalable du remplissage de la terre végétale, ce qui laisse libre les interstices entre les blocs, sous le niveau de l'eau.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les services concernés par ce projet sont des services :

- de régulation : 4 ans après la fin des travaux, les techniques végétales employées répondent à la toute première préoccupation ; une meilleure stabilité de la berge (+++)
- de soutien : ce chantier a permis de transformer une berge pauvre écologiquement parlant à un milieu en constante évolution au fil des saisons sans mettre à mal son objectif premier (+++)
- socio-culturels : amélioration de la qualité paysagère du secteur, accrue par la présence d'un axe de circulation à proximité (+).



ÉVALUATION DU PROJET

Les méthodes d'évaluation de ce type de projet ne sont pas chiffrées. Les principaux bénéfices sont évaluables par la stabilité avérée de cette berge, et l'amélioration de l'aspect visuel paysager qu'il représente.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Pour approfondir les interventions initiées sur la Mare et ses affluents, la Communauté d'agglomération Loire Forez et le Pays de Saint-Bonnet-le-Château se sont engagés dans un Contrat de rivière en 2015 visant à :

- gérer l'eau de façon équilibrée,
- préserver, restaurer et valoriser les milieux aquatiques,
- prévenir les inondations,
- améliorer la qualité des eaux.

Cette démarche ambitieuse se traduit par un programme d'actions concerté et cohérent sur 5 ans (2015-2020) et un investissement de 35 millions d'euros (avec des financements allant de 25% à 80% suivant les actions, grâce aux partenariats avec l'Agence de l'eau Loire Bretagne, la Région Rhône-Alpes et le Conseil départemental de la Loire).

FINANCEMENT

Les coûts globaux de ce projet se sont élevés à 5 000€, main d'œuvre et fournitures comprises. L'Agence de l'eau Loire-Bretagne a subventionné 50% des coûts (le reste fut autofinancé).

Une reprise de la berge à l'aide d'une technique de génie civil en enrochements aurait représenté un coût deux à trois fois supérieur.

Ce projet a été mené entièrement en interne (CALF), autant sur la phase projet que sur la phase de réalisation. Les travaux ont représenté 7 jours de travail de l'équipe interne avec 4 agents.

ILLUSTRATIONS

Berge avant intervention avec son enrochement en déséquilibre

PHOTO 1

Berge stabilisée en génie végétal après intervention

PHOTO 2

Chapitre 2

2

GESTION DES EAUX PLUVIALES EN MILIEU URBAIN ET PÉRI-URBAIN

1 Contexte

Le mode actuel le plus généralisé de gestion des eaux pluviales urbaines consiste encore à les évacuer le plus rapidement possible de la ville par un vaste système de tuyaux. Ce mode de gestion pose de multiples problèmes listés ci-après.

Augmentation des risques d'inondation par ruissellement pluvial : les centres villes sont le plus souvent situés en bordure d'une rivière ou d'une côte, c'est-à-dire dans un point bas. Le développement urbain se fait vers la périphérie en remontant les pentes et les eaux pluviales sont concentrées par le système d'évacuation vers le centre historique. Les inondations par ruissellement urbain ou débordement du réseau d'assainissement représentent ainsi près de 50% des dossiers de catastrophes naturelles.

Augmentation des débits de crue dans les rivières : le mode d'évacuation rapide raccourcit les temps de concentration des bassins versants, ce qui a deux conséquences : un écrêtement moindre des hydrogrammes de crue et une sensibilité accrue à des pluies plus courtes et plus intenses.

Pollution des milieux aquatiques : les eaux pluviales se chargent en contaminants, d'une part par ruissellement sur les surfaces urbaines, et d'autre part, dans le cas des réseaux unitaires, car elles sont mélangées aux eaux usées. Les débits produits par temps de pluie peuvent être très supérieurs aux débits de temps sec et dépassent souvent la capacité de traitement de la station d'épuration et la capacité d'évacuation du réseau. Une partie du mélange eau usée / eau pluviale est alors rejetée au milieu naturel par les déversoirs d'orage, sans aucun traitement. Les rejets urbains de temps de pluie constituent ainsi l'une des causes majeures de la difficulté à atteindre le bon état écologique pour de nombreux milieux aquatiques de surface.

Coût excessif : du fait de l'accroissement des surfaces imperméables et par voie de conséquence des débits de pointe à évacuer, la taille des ouvrages nécessaires devient de plus en plus grande et leur coût de réalisation dans un milieu urbain de plus en plus important. Le coût de 1 km de collecteur de grande taille en centre-ville peut ainsi être du même ordre de grandeur que le coût de 1 km d'autoroute.

Gâchis d'une ressource précieuse : l'eau est considérée comme une ressource précieuse et de plus en plus rare. Les quantités annuelles d'eau de pluie précipitée sur la plupart des villes françaises sont généralement 5 à 10 fois supérieures à celles consommées. Cette eau est par ailleurs de très bonne qualité si on excepte le fait qu'elle est peu minéralisée. Elle pourrait donc être utilisée pour de nombreux usages (irrigation, nettoyage des voiries et mobiliers urbains…), y compris, moyennant quelques précautions, à l'intérieur des immeubles. Or le système actuel transforme, par une gestion inadaptée, cette ressource précieuse en un déchet et en une menace !

L'ensemble des citadins, même ceux situés à l'écart des zones équipées de ces nouvelles solutions, pourraient bénéficier d'une gestion plus durable des eaux pluviales urbaines. Les bénéficiaires potentiels d'une action d'ingénierie écologique sont de divers ordres :

L'ensemble des citadins, même ceux situés à l'écart des zones équipées de ces nouvelles solutions, pourraient bénéficier d'une gestion plus durable des eaux pluviales urbaines

SOCIAUX :

• **diminution des risques d'inondation :** En France, sur la période 1995-2010, 62% des communes ayant fait l'objet d'un sinistre au titre du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles ont déposé un dossier suite à une inondation. Près des 2/3 de ces sinistres ont été causés par le débordement d'un système d'assainissement pluvial ou celui d'une petite rivière urbaine. Ces inondations ont le plus souvent lieu dans les centres historiques des villes, loin des quartiers en développement.

• **amélioration des paysages urbains (présence de l'eau et amélioration de la végétation) :** Ce type de bénéfice touche davantage les personnes qui vivent dans les zones en développement utilisant ce type de solutions. Il est à noter qu'il est possible de réintroduire de la végétation en ville en association avec une gestion plus durable des eaux pluviales même dans les zones denses.

• **lutte contre les ilots de chaleur urbains :** En France, les épisodes de canicule constituent de très loin la cause principale de mortalité associée aux catastrophes naturelles : près de 20 000 victimes en Aout 2003, plus de 2 000 en juillet 2006, autant lors des deux épisodes de l'été 2015 et plus de 600 en 2017 (source base de données CATNAT). Or les ilots de chaleur urbains qui aggravent le risque caniculaire dans les agglomérations pourraient être efficacement combattus en utilisant mieux l'eau et la végétation.

ÉCONOMIQUES :

• **diminution des dépenses, donc des impôts :** les dispositifs de gestion des eaux pluviales sont financés sur le budget général des collectivités. Les solutions alternatives permettent de faire des économies sur ce budget de deux façons différentes : d'une part, pour les nouvelles zones à urbaniser le coût global des VRD est généralement plus faible pour la collectivité (avec il est vrai parfois un transfert de la collectivité vers le particulier) ; d'autre part ce type de solution évite d'augmenter les flux produits et évite donc d'avoir à renforcer les infrastructures situées à l'aval.

• **économie d'eau :** Le volume annuel d'eau de pluie directement précipitée sur les territoires urbains représente, selon les villes, entre 5 et 10 fois la consommation totale d'eau. Cette ressource abondante est totalement gâchée par les technologies actuelles de tout tuyau et transformée en déchets ou en menace. Sans remettre en cause les solutions collectives d'alimentation en eau potable qui ont fait leurs preuves, il serait cependant possible de récupérer une partie de cette eau de pluie pour des usages ne nécessitant pas une qualité garantie de la ressource : arrosage des espaces publics et privés, rafraichissement de la ville, nettoyage des rues, réserve anti-incendie, etc.

• **développement de nouvelles technologies innovantes :** La croissance verte constitue probablement l'une des pistes les plus prometteuses pour le développement économique de demain. Au-delà des innovations technologiques (nouveaux matériaux, nouveaux dispositifs) que nécessitent les solutions durables de gestion des eaux pluviales urbaines, ce type de solution va impliquer un développement d'emplois de service, en particulier dans la gestion des parcs, des jardins et plus généralement des espaces extérieurs, qu'ils soient publics ou privés.

ÉCOLOGIQUES :

• diminution de la pollution apportée aux milieux aquatiques : L'un des bénéfices majeurs que l'on peut attendre des solutions durables de gestion des eaux pluviales concerne l'amélioration de la qualité des milieux aquatiques de surface. L'impact des rejets urbains de temps de pluie constitue l'une des causes principales qui limite l'atteinte du bon état pour ce type de milieu. La plupart des réseaux urbains sont en effet de type unitaire et les déversoirs d'orage rejettent, par temps de pluie, un mélange d'eau usée et d'eau pluviale extrêmement pollué. Les solutions alternatives au réseau prennent en charge les eaux pluviales avant qu'elles ne se soient contaminées par un long trajet dans des caniveaux ou dans un réseau souterrain. Elles contribuent ainsi à limiter la pollution rejetée de deux façons différentes : en diminuant les apports au réseau collectif, elles diminuent les volumes d'eau unitaire rejetés par les déversoirs d'orage ; en gérant l'eau de pluie au plus près de l'endroit où elle est précipitée, elles évitent sa contamination.

• recharge des nappes phréatiques : Beaucoup de solutions durables de gestion de l'eau de pluie reposent sur son infiltration délocalisée. Infiltrer l'eau de pluie dans la ville présente deux avantages majeurs : recharger la nappe phréatique et reconstituer une réserve d'eau utilisable aussi bien pour l'alimentation en eau potable que pour soutenir les débits d'étiage des cours d'eau ; humidifier les sols urbains qui souffrent de plus en plus de la sécheresse, laquelle fait souffrir la végétation et provoque de plus en plus souvent des dégâts aux immeubles du fait des tassements différentiels qu'ils subissent.

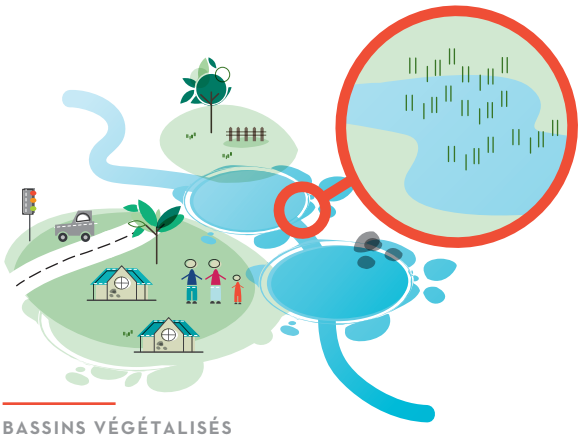
• meilleure imbrication de la nature et de la ville (trame verte et bleue) : Les politiques actuelles de développement urbain tentent de concilier deux impératifs : limiter l'étalement urbain, donc densifier la ville, et en même temps y réintroduire la nature. L'eau, par les corridors naturels qu'elle trace est un puissant lien entre la nature et la ville. Ce lien peut être étendu jusqu'au cœur des ilots urbains par la mise en œuvre de solutions adaptées de gestion des eaux pluviales.

POLITIQUES : les acteurs politiques de la ville peuvent bénéficier de la mise en place de ce type de solutions dans la mesure où ils sont capables d'en montrer les effets positifs. Malheureusement ces effets positifs ne sont pas toujours immédiatement visibles et valorisables. Il est donc sans doute préférable pour eux de s'appuyer sur des projets réussis plus anciens. Par exemple pour Lyon Métropole, le succès de l'opération « Porte des Alpes », qui existe maintenant depuis une vingtaine d'années, est souvent cité pour promouvoir la mise en place d'autres projets.

2 Exemple type d'action multi-bénéfices

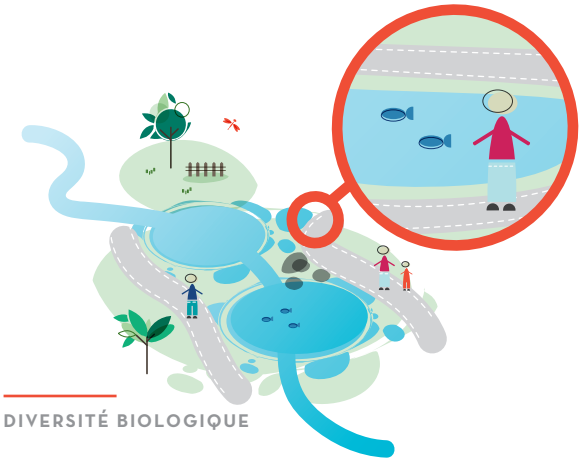
1. DESCRIPTIF DE L'ACTION TYPE

Une gestion plus durable des eaux pluviales constitue un enjeu pour les villes. L'utilisation systématique des réseaux est source d'inondations et de pollution. Or il existe d'autres modes possibles pour gérer les eaux pluviales urbaines. Ceux-ci reposent sur le stockage, l'infiltration et l'évapotranspiration. Le principe commun de ces actions consiste à rendre la ville transparente pour l'eau, c'est-à-dire à faire en sorte que le cycle naturel de l'eau soit le moins affecté possible par la présence de la ville.



BASSINS VÉGÉTALISÉS
Recharge les nappes / Filtration de l'eau

Au sein d'une ville, un vallon amène les eaux pluviales dans des bassins végétalisés disposés en cascades. Cet aménagement filtre l'eau, désengorge les réseaux d'assainissement et recharge les nappes.



DIVERSITÉ BIOLOGIQUE

Il contribue à développer la diversité biologique et paysagère, favorise l'évaporation et permet de lutter contre les ilots de chaleur urbains, tout en présentant une certaine qualité pédagogique (des chemins piétonniers circulant entre les différents éléments valorisent cet espace). En cas de fortes pluies, il diminue les débits rejetés dans les rivières et limite le risque d'inondations.

2. BÉNÉFICES

Cet exemple théorique fait apparaître les bénéfices principaux (locaux) suivants :

- Développement de la biodiversité : création d'habitats diversifiés, amélioration des déplacements d'espèces *via* une meilleure continuité écologique entre les habitats (trames vertes et bleues), amélioration de la qualité de la végétation du fait de l'augmentation de la disponibilité en eau.
- Bénéfices paysagers et récréatifs pour la population : création d'espaces végétalisés et présence de l'eau en surface.
- Amélioration du confort thermique d'été : réduction des ilots de chaleur urbains du fait d'une évapotranspiration plus importante.
- Recharge des nappes phréatiques : préservation de la ressource en eau, maintien des débits d'étiage dans les rivières.
- Mise en place d'une pédagogie du cycle de l'eau en milieu urbain (intrinsèque au projet), et aussi plus globalement d'une pédagogie de la nature en ville.
- Positionnement de l'eau comme une ressource et non plus comme un déchet dans la perception du citadin.
- Mise en valeur de l'eau en donnant du sens à un espace urbain par la mise en scène du cheminement des écoulements.
- Diminution des risques d'inondation par débordement des réseaux.

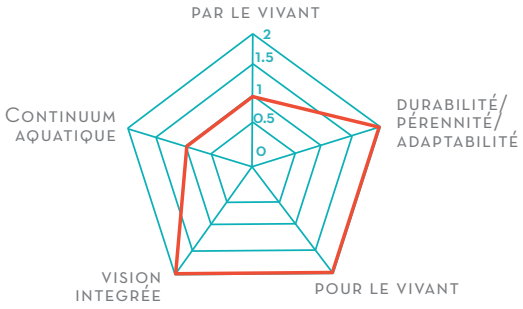
Il met également en avant les bénéfices supplémentaires (à l'aval) suivants :

- Contribution à la diminution des crues des rivières (réduction des volumes rejetés et des débits de pointe).
- Réduction de l'érosion sur le bassin versant entraînant une diminution des apports en sédiments fins dans les rivières, associée à une diminution des pointes de débits rejetés et donc des risques d'érosion à l'aval immédiat des points de rejet. Ces deux éléments permettent de diminuer les impacts négatifs sur l'hydromorphologie du cours d'eau et de diminuer le colmatage des frayères.
- Diminution de la pollution des milieux aquatiques, en particulier du fait de la réduction des rejets urbains de temps de pluie (déversoirs d'orage).

3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices (retours d'expériences)

Voir aussi les retours d'expériences du Volume 1

1 Gestion des eaux pluviales d'une zone d'aménagement concerté via un projet urbain innovant



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : SEINE NORMANDIE
RÉGION : ÎLE-DE-FRANCE
DÉPARTEMENT : SEINE-SAINT-DENIS
COMMUNES : SAINT-OUEN

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Dans le cadre de la réalisation d'une zone d'aménagement concerté (ZAC) située sur les Docks de la ville de Saint Ouen, le projet prévoit la création d'un grand parc paysager permettant de gérer toutes les eaux pluviales de la ZAC avant leur rejet dans la Seine, avec un objectif de qualité de type "Bon état écologique".

Les orientations du projet s'axent principalement sur :

- les liens renoués avec la Seine
- la gestion alternative des eaux de pluie comme attitude essentielle de gestion économe de la ressource en eau,
- la création d'espaces diversifiés où foisonnement, richesses végétale et animale sont présents pour promouvoir la biodiversité,
- l'usage de matériaux recyclables,
- la création de zones de jeux appropriables par les enfants et les habitants du quartier.

Le projet des Docks a été initié en 2003 et se poursuivra au-delà de 2020 : il porte sur la reconquête d'un quartier industriel de Saint-Ouen. La ville veut reprendre ses droits sur la Seine.

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

La mise en place d'un quartier urbain à proximité de la Seine peut avoir un impact sur le milieu récepteur, à savoir la Seine. Cette dernière a un objectif de très bon état écologique et le volume des eaux pluviales induit par l'imperméabilisation des sols de la ZAC ne doit pas perturber les caractéristiques biologiques, chimiques et de biodiversité du site.

MOTEUR DU PROJET

Le projet d'aménagement de la ZAC des Docks à Saint Ouen s'étend sur une superficie totale de 105,4 hectares. Ce projet a pour objet la création d'une zone d'aménagement concertée entre le quai de Seine et un boulevard urbain. La maitrise d'ouvrage de cette opération est assurée par la ville de Saint Ouen déléguée à SEQUANO Aménagement. Les services de Navigation de la Seine ont également suivi ce projet pour le Plan de prévention des risques d'inondations (PPRI) qui s'appliquait sur cette zone.

Un des objectifs du projet est de réaliser la reconquête des berges de la Seine et de réaliser la dépollution d'anciens sites industriels pour les rendre aux habitants (Mairie, région...).

Il constitue un projet de grande ampleur à l'échelle du département Seine Saint Denis et à l'échelle de la région Ile de France. Il permet d'installer la nature en ville en le liant à la Seine.

Il constitue un projet d'innovation et de démonstration pour la gestion des eaux pluviales à l'échelle d'un quartier soutenu par les services de gestion de l'eau du conseil départemental du 93 (assistant maitre d'ouvrage sur l'opération).

PRÉSENTATION DU PROJET

Le parc a ouvert le 7 décembre 2013. Il a une surface de 12 hectares, dont 1,2 hectare de zones humides.

On distingue 2 types d'aménagements :

- Grand bassin planté de 1 ha intégrant une cascade pour la réoxygénation de l'eau
- Jardins Filtrants® d'une surface de 0,2 ha : ils sont au nombre de trois permettant de traiter les eaux du parc (eaux grises de bâtiment, eaux pluviales issues de voiries, eaux des bassins).

Les orientations innovantes en matière de développement durable de l'ensemble de la réalisation sont axés sur :

- le respect du Plan de Prévention des Risques d'Inondation et la prise en compte d'un volume de compensation supplémentaire des secteurs urbanisés environnants de la ZAC ;
- la gestion alternative des eaux de pluie comme attitude essentielle de gestion économe de la ressource en eau : les eaux sont gérées sur la parcelle par la mise en place de zones humides qui permettent leur stockage et leur réutilisation au sein du parc pour l'irrigation. Cette gestion alternative permet de réaliser un zéro rejet dans la Seine (sauf pour les pluies exceptionnelles) ;
- la création d'espaces diversifiés pour promouvoir la biodiversité, les richesses végétale et animale ;
- l'usage de matériaux recyclables ;
- la création de bâtiments basse consommation énergétique et fonctionnant à partir d'énergies renouvelables ;
- l'aménagement d'un bassin de 13 000m^3 étanche permettant le stockage des eaux de ruissellement produites par des pluies décennales sur la ZAC. Ces eaux seront réutilisées en arrosage, notamment dans des jardins maraichers dans le parc : « les jardins partagés » ;
- une cascade est prévue pour permettre la recirculation des eaux du bassin et conserver ainsi toute l'année une qualité d'eau conforme pour l'arrosage des pelouses du parc ;
- des Jardins Filtrants sont également prévus pour le traitement complémentaire des eaux pluviales en vue d'une réutilisation pour l'arrosage des jardins partagés. Le traitement est réalisé au contact de la rhizosphère (association des racines des plantes et des bactéries). Les plantes sont donc choisies pour leur capacité de traitement et de développement racinaire. Il a été mis en place différents types de carex, iris, joncs ;
- le stockage permet ainsi l'arrosage automatique de 32 000m^2 (pelouses, jardins partagés...) ;
- le traitement des eaux est prévu pour respecter le niveau de qualité des eaux "Bon État Écologique de la Seine", grâce à la démarche des Jardins Filtrants® ;
- les eaux grises produites par la maison du parc et le restaurant sont également traitées par jardins filtrants pour disposer d'une ressource en eau toute l'année et maintenir les plans d'eau permanents.

Ce projet est conçu de façon à gérer les pluies exceptionnelles générées par la ZAC dans un aménagement paysager vert. Des prairies inondables ont été créés pour gérer des pluies exceptionnelles supérieures à 10 ans et peuvent ainsi limiter le rejet dans la Seine pour des pluies de retour de 20 ou 50 ans. Le parc est alors dans ce cas totalement inondé.

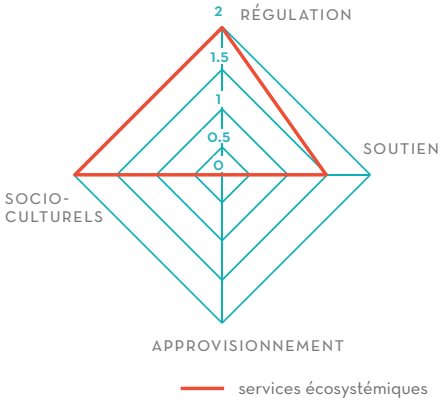
Cet aménagement permet une gestion quantitative et qualitative des eaux. Une étude appropriée des ouvrages de gestion et de traitement des eaux pluviales du site permettant de garantir un "zéro rejet" pour les pluies décennales et en cas de rejet, une qualité de l'eau rejetée conforme aux critères du « bon état écologique ». Cette infrastructure permet ainsi de lutter contre les inondations dans ce quartier de la zone tout en valorisant une zone urbaine dense.

1

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les services concernés par les actions de ce projet sont des services :

- de régulation : contrôle des pluies décennales (+++),
- de soutien : fourniture habitats végétaux (++),
- d'approvisionnement : réutilisation et économie d'eau (++),
- socio-culturels : amélioration de la qualité paysagère, loisir (+++).



ÉVALUATION DU PROJET

Les indicateurs de suivis sont :

- la hauteur de pluviométrie,
- la hauteur des bassins,
- la qualité des eaux en sortie des ouvrages de traitement des eaux qui sont ceux d'un bon état écologique, à savoir : DBO5 < 6 mgO/l, MES<35 mg/l, DCO<30 mgO/l, NTK<2 mg/l, PT<0,2 mg/l.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Le projet suit son cours avec un développement de la ZAC prévu jusqu'à horizon 2020.

FINANCEMENT

Le montant des travaux est de 1 150 000 € HT. L'agence de l'eau a participé au projet.

ILLUSTRATIONS

GESTION DES EAUX PLUVIALES : BERGES PLANTÉES AVEC UN MÉLANGE D'HÉLOPHYTES (CAREX, PHRAGMITE, EQUISETUM, SALICAIRE)

PHOTO 1

GESTION DES EAUX PLUVIALES : NÉNUPHARS POUR L'AIDE À L'OXYGÉNATION DU BASSIN

PHOTO 2

Chapitre 2

3

AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES MILIEUX AQUATIQUES À L'INTERFACE PÉRI-URBAIN/AGRICOLE

1 Contexte

L'activité agricole engendre le plus souvent une dégradation de la qualité de l'eau et des milieux liée aux usages d'intrants, tels que les fertilisants et les produits phytosanitaires, mais aussi à l'érosion des sols due au retournement de prairies et à la suppression des haies. Si d'un côté, ces intrants contribuent à optimiser le potentiel de rendement des exploitations agricoles et à simplifier les pratiques, d'un autre côté ils se transfèrent depuis les parcelles vers le milieu aquatique. La dégradation de la ressource en eau induite par ces transferts génère pour les gestionnaires de l'eau potable des surcoûts de traitement liés aux développements de techniques pour rendre la qualité de l'eau compatible avec la consommation humaine ou substituer le captage dégradé par une autre ressource. Les flux d'azote et de phosphore d'origine agricole sont par ailleurs à l'origine du développement des phénomènes d'eutrophisation dans les milieux aquatiques y compris en mer, où ils peuvent également provoquer des blooms algaux toxiques. Par ailleurs les rectifications de cours d'eau et leur colmatage du fait de l'érosion détériorent le fonctionnement du cours d'eau et diminuent la biodiversité mais aussi la beauté du cours d'eau. Les phénomènes d'érosion peuvent en outre provoquer des dégâts par coulées de boues.

Dans ce contexte, il convient de bien garder à l'esprit que la gestion préventive de la pollution apparait souvent comme moins coûteuse que les solutions curatives. Il faut donc veiller à réduire le plus possible à la source les pressions polluantes (agricoles, urbaines…) et en complémentarité, réduire les transferts par les actions à la source et les zones tampons.

Les zones tampons sont des éléments du paysage en interface entre les parcelles agricoles et le milieu aquatique (**FIGURE 10**). Elles peuvent être aménagées en complément d'actions à la source du type évolution des pratiques et des systèmes permettant de limiter l'apport d'intrants, d'améliorer le rôle des sols et de limiter l'érosion (ex : choix de cultures et variétés adaptées, mélanges de variétés, rotations longues, agroforesterie, restitution de la matière organique au sol, semis sous couvert, travail du sol superficiel…). Deux types principaux de zones tampons ont été définis au sein du Groupe Technique Zone Tampon (AFB/Irstea, www.zonestampons.onema.fr) : les zones tampons dites « sèches » comme les bandes enherbées, les dispositifs végétalisés permanents, les haies, les talus, et les zones tampons dites « humides » comme les prairies de bas fond, les ripisylves, les micro-bassins de rétention et les zones tampons humides artificielles.

L'intérêt des zones tampons pour réduire les flux de polluants d'origine agricole en complément des réductions à la source a été validé pour certains types de zones tampons : bande enherbée, micro-bassin de rétention, ripisylve, zone tampon humide artificielle. Dans le cas des autres, l'expérimentation est difficile à mettre en place. Le principe de fonctionnement s'appuie sur la capacité de ces zones à transformer biogéochimiquement les polluants transférés des agrosystèmes. Le choix du type de zones tampons doit être motivé par un diagnostic de territoire identifiant les pressions (diagnostic agricole), les voies de transfert et le chemin de l'eau (diagnostic hydrologique et étude géotechnique de faisabilité). Le dimensionnement dépend alors des objectifs de qualité des eaux attendus dépendant du fonctionnement hydrologique du bassin versant amont. Des abaques de dimensionnement pour les cas des bandes enherbées et des zones tampons humides artificielles sont disponibles à partir des guides techniques (Catalogne et al. 2016 ; Tournebize et al., 2015). L'efficacité des haies et fascines dépend de leur disposition dans le paysage et de leur densité (Richet et al., 2017).

L'implantation est quant à elle à co-construire avec les acteurs du territoire associant les agriculteurs, les collectivités locales, les associations environnementales et fédérations de chasse ou pêche par exemple. Cette démarche de co-construction assurera le partage des objectifs prioritaires de l'aménagement d'ingénierie écologique et des co-bénéfices associés. La mutualisation du foncier pour répondre à plusieurs objectifs environnementaux est un argument qui, à première vue, divise les acteurs, mais après un effort pédagogique, permet de les rassembler pour une vision commune du territoire.

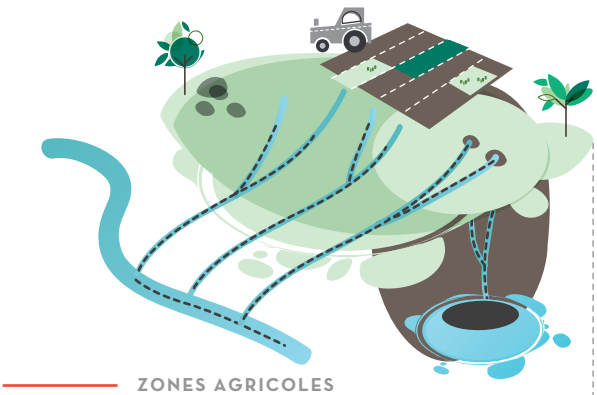
L'interception des écoulements par une zone tampon humide végétalisée favorise les processus naturels de sédimentation pour les matières en suspension, de dénitrification pour la forme nitrique de l'azote, de dissipation des produits phytosanitaires (sorption, dégradation). L'efficacité est dépendante de deux paramètres principaux : le temps de séjour de l'eau assurant un contact avec le biote et la température stimulant l'activité biologique. Le potentiel épuratoire est d'autant plus élevé que la zone tampon humide artificielle est écologiquement active (faune et flore). Les résultats des expérimentations en cours montrent qu'il est réaliste de considérer une réduction des flux annuels de 30 à 50% selon le dimensionnement retenu.

DEUX VUES DE ZONES TAMPONS EN MILIEU AGRICOLE (INDRE ET LOIRE ET SEINE ET MARNE)

FIGURE 10 C. CHAUMONT/IRSTEA

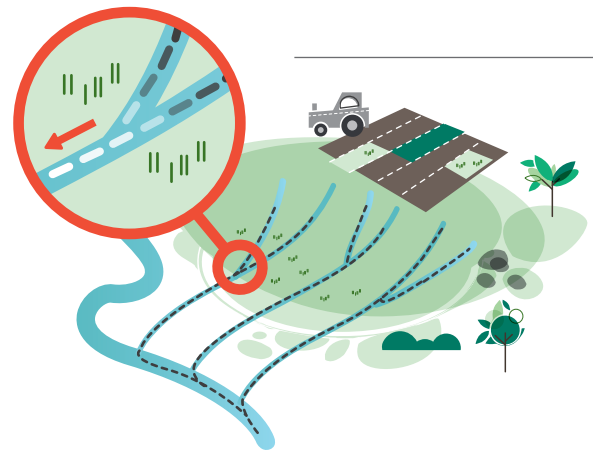
2 Exemple type d'action multi-bénéfices

1. DESCRIPTIF DE L'ACTION TYPE



ZONES AGRICOLES

Les zones agricoles peuvent parfois générer des pollutions. Le ruissellement des eaux amène pesticides et engrais dans les rivières et les nappes phréatiques. Elles peuvent y entraîner des déséquilibres écologiques. En complément des efforts entrepris dans les pratiques agricoles, ainsi que dans la préservation ou la restauration des zones humides existantes, il existe des solutions d'ingénierie écologique qui peuvent réduire encore de moitié la pollution. A l'aval de parcelles agricoles sources de contamination par des pesticides et des engrais (azote, phosphore), le ruissellement et le drainage agricole transfèrent les eaux variablement polluées en éléments chimiques et des matières en suspension.



ZONES "TAMPONS" VÉGÉTALISÉES

Entre plusieurs parcelles agricoles et le cours d'eau en aval, des zones "tampons" végétalisées ont été créées pour épurer l'eau de ruissellement. Le concept est de stimuler les processus naturels épuratoires en laissant le temps à l'écosystème de les transformer (ou digérer ou dégrader). L'eau ainsi épurée s'écoule ensuite vers un petit cours d'eau aux berges végétalisées.

2. BÉNÉFICES

Cet exemple théorique fait apparaître les bénéfices principaux (locaux) suivants :

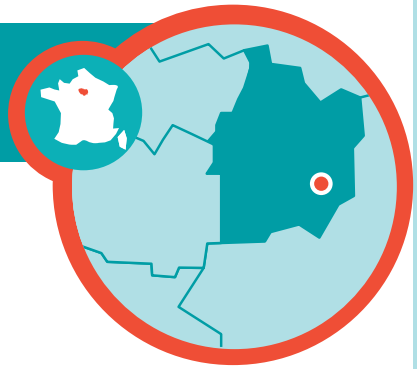
- régulation des flux de contaminants par épuration des eaux issues de surfaces agricoles
- protection de la ressource en eau
- préservation de la qualité des milieux aquatiques et de l'eau
- augmentation de la biodiversité aquatique (surtout si ripisylve) grâce à une amélioration de la qualité de l'eau et de la biodiversité au niveau des zones tampons et des rives, mais aussi de la biodiversité terrestre
- interaction des acteurs sur le territoire
- augmentation de la diversité paysagère (haies)
- résilience face aux risques climatiques.

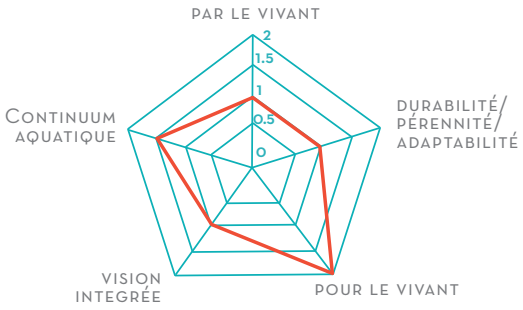
Mais il met également en avant les bénéfices supplémentaires (à l'aval) par mutualisation des enjeux environnementaux suivants :

- protection de la qualité des eaux douces superficielles et souterraines, et des eaux marines
- intégration avec les schémas de cohérence régionale écologique (trames verte et bleue)
- interaction possible avec les activités de pêche et de chasse (augmentation des stocks de poisson exploitable...)
- activité récréative et culturelle (randonnée, éducation par parcours pédagogique du cycle de l'eau, de la connaissance de la biodiversité).

3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices (retours d'expériences)

1 Mise en assec partielle et progressive d'un étang pour lutter contre l'eutrophisation





SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : LOIRE-BRETAGNE
RÉGION : RÉGION BRETAGNE
DÉPARTEMENT : ILLE-ET-VILAINE
COMMUNES : MARCILLÉ-ROBERT

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Situé à la confluence de l'Ardaine et de la Seiche cet étang du Moyen Age, situé sur la commune de Marcillé-Robert (35), a été agrandi jusqu'à une surface de près de 105 ha dans les années 1970 pour favoriser le développement de l'agriculture intensive (1.8 millions de m^3). Sa gestion hydraulique en a été modifiée et a marqué le début de son eutrophisation. Depuis 2004, suite aux nouvelles recommandations pour la baignade en eau douce faites par la Direction Générale de la Santé (DGS) et concernant le paramètre cyanobactéries, ce plan d'eau fait l'objet d'interdictions récurrentes des activités nautiques et récréatives (pêche).

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

Depuis au moins 2004, l'étang de Marcillé-Robert (35) est confronté à de fortes proliférations de cyanobactéries dont la densité dépasse les seuils sanitaires (100 000 cellules par ml) de la période printanière jusqu'à l'automne, obligeant les gestionnaires à interdire les activités nautiques ainsi que la consommation de poisson. Ces interdictions sont très gênantes car l'étang est un lieu destiné à la pêche à la carpe. La régression d'herbiers de macrophytes aquatiques submergées et le développement d'herbiers à *Nuphar lutea* sont les indicateurs du dysfonctionnement de cet étang classé en hyper-eutrophe.

MOTEUR DU PROJET

L'action qui a amené cette expérimentation était d'abaisser le niveau d'eau pour permettre des ouvrages conformes à la sécurité des crues par des ouvrages automatiques et aussi de pouvoir réguler les masses d'eau vis-à-vis du bon état écologique. C'est un espace naturel sensible géré par le Département d'Ille et Vilaine depuis 1982 et qui abrite une forte communauté d'oiseaux migrateurs. La proposition d'utiliser des assecs partiels a été basée sur des expériences menées sur les étangs des Dombes. Dans ces expériences, l'assec suivi d'une remise en eau a initié une succession des communautés de plantes aquatiques submergées et de plantes des eaux claires (Arthaud, 2011). L'assec constituerait une étape clef de cette succession, permettant la reproduction des espèces des berges exondées. L'alternance de communautés d'espèces strictement aquatiques et de communautés des berges générées par les assecs augmente la diversité floristique comparativement à un étang qui reste en permanence en eau (Riis et Hawes 2002 ; Van Geest et al., 2005).

PRÉSENTATION DU PROJET

Les cyanobactéries sont des organismes pionniers et producteurs de cyanotoxines diverses susceptibles d'affecter, par toxicité aigüe ou chronique, l'ensemble des organismes. Ces micro-algues sont présentes massivement dans certaines rivières et plans d'eau quelles que soient leurs morphologies et hydrodynamismes. Elles génèrent des biomasses importantes favorisant l'anoxie du milieu et dans certains cas provoquent la mortalité des animaux et la disparition des macrophytes aquatiques par des molécules dites « biologiquement actives ». Depuis l'intégration en 2004 en France du paramètre cyanobactéries dans les suivis sanitaires (eaux récréatives et production d'eau potable), certaines collectivités sont contraintes à interdire la baignade ou les activités nautiques dans leurs plans d'eau quand ces cyanobactéries dépassent le seuil de plus de 100 000 cellules par ml ou encore quand il y a des efflorescences. Ces interdictions représentent un coût social pour le gestionnaire qui doit déplacer certaines activités, voire renoncer à les proposer. Les collectivités essayent donc de trouver des solutions curatives pour contrer le développement des cyanobactéries, mais en vain pour la plupart d'entre elles. Certaines des méthodes utilisables sont coûteuses pour la collectivité, éventuellement toxiques pour l'environnement comme l'utilisation du sulfate de cuivre ou les aluns de fer et/ou d'aluminium. L'enjeu est donc social, écologique, économique et politique. L'exemple qui est proposé et testé sur quelques plans d'eau collinaires hyper-eutrophes de 20 à 200 ha dans le grand Ouest de la France est la mise en assec partielle et progressive sur plusieurs mois, voire sur plusieurs années. C'est une méthode peu onéreuse qui n'agit que sur la gestion du niveau de l'eau été/hiver, avec pour objectif de laisser le niveau monter lors des fortes pluviométrie puis de l'abaisser à un niveau suffisamment bas pour assécher les zones amont tout en laissant un volume d'eau conséquent sur son ensemble. Le but pour ces plans d'eau connaissant des développements récurrents de cyanobactéries est de limiter leur développement en réduisant le phosphore disponible. L'objectif final est de permettre des usages notamment récréatifs et de retrouver une qualité d'eau moins eutrophe (bénéfices/services). Pour ce faire, nous récréons les zones humides initiales par ce marnage à l'amont du plan d'eau, là où sont stockés les éléments fertilisant en provenance du bassin versant. L'élément phosphore, facteur limitant des algues, est le premier visé. Il s'accumule en hiver dans la partie amont du plan d'eau qui est envasé et subit ensuite un assec lors de la baisse de niveau de l'eau au printemps. La dessiccation du sédiment entraine la chélation de l'ortho-phosphate avec d'autres éléments ioniques. Le phosphore piégé en hiver dans les sédiments très riches en matière organique n'est plus en contact avec la masse d'eau en été qui généralement devient très vite anoxique et libère de ce fait les éléments minéraux dont l'azote ammoniacal et les phosphates indispensables aux micro-algues. Nous nous sommes appuyés sur les travaux de l'impact des changements de cycles (humide/sec) des sédiments affectant la chélation et minéralisation du phosphore (Golterman, 2004 ; Schönbrunner et al., 2012).

<u>À partir de ces différentes expériences sur les plans d'eau plusieurs changements ont été observés :</u>

Sur le phytoplancton :

- la très forte diminution des concentrations de cyanobactéries sur l'ensemble du plan d'eau. Cette observation s'est répétée sur les 4 années de suivi avec des seuils en dessous des 100 000 cellules/ml. N'ayant pas eu d'actions préventives sur le bassin versant très agricole ni d'actions référencées à proximité du plan d'eau, ce résultat pourrait être provoqué par le renouvellement plus rapide de la masse d'eau du fait d'un marnage plus faible. Le groupe de phytoplancton dominant a été les diatomées. Le lessivage des zones amont et berges a permis de maintenir la silice dans la masse d'eau, facteur limitant pour ces diatomées.

Sur le sédiment :

- une minéralisation de la matière organique des sédiments mis en assec la première année avec une anoxie moindre des sédiments voire une absence d'anoxie sur la troisième année d'expérimentation sur les berges et sur la partie amont.

Sur les végétaux :

• Le développement d'une végétation terrestre plus ou moins abondante en fonction des plans d'eau dans la partie amont créant ces zones humides.

• L'assec a permis l'expression de la banque de graines du sédiment. Une espèce rare et pionnière des berges exondées Pulicaria vulgaris (espèce protégée nationalement) a été observée. Pulicaria vulgaris Gaertn est présente dans les groupements herbeux humides nitrophiles, et surtout dans les gazons ouverts. La pratique de l'assec dans des systèmes eutrophes favorise la création de niches au sein desquelles la pression de compétition est faible, ce qui expliquerait la présence des espèces rares et pionnières comme Pulicaria vulgaris. Le milieu se caractérise aussi par une dynamique rapide de la végétation terrestre herbacée et une forte colonisation par les ligneux tels que les saules et les aulnes. Les fortes pluies de l'année 2012 et les teneurs élevées en nutriments dans les sédiments ont stimulé le développement de la végétation (herbacée et ligneuse) notamment dans la partie la plus amont de l'étang. L'assec prolongé a favorisé la fermeture du milieu suite à l'avancée des ligneux dans le lit de l'étang et le développement des roselières en queue d'étang. L'impact de cette fermeture sur l'avifaune n'a pas été étudié mais la présence de Butor étoilé dans ces roselières a été signalée.

La zone amont de l'étang se caractérise par des herbiers importants de nénuphars et l'absence d'herbiers de plantes submergées. Les plantes à feuilles flottantes telles que Nuphar lutea, peuvent prospérer dans des eaux de faible transparence (Gopal et Sharma 1990) mais requièrent pour leur croissance une forte concentration de nutriments dans l'eau (Scheffer et al. 2003). Les hydrophytes enracinés submergés requièrent davantage de lumière, mais sont moins sensibles à la charge trophique de l'eau, car ils peuvent puiser les nutriments dans le sédiment. En général, les conditions de faible luminosité dans les zones littorales peu profondes favorisent la colonisation par les hélophytes, tandis que les eaux plus profondes ont tendance à être colonisées par des hydrophytes à feuilles flottantes, au détriment des espèces submergées (Squires et al. 2002). Ainsi Paillisson et Marion (2011) ont montré que la gestion du niveau d'eau permettait de réguler les herbiers à Nénuphars. L'assec suivie d'une remise en eau pourrait initier une succession des communautés des plantes aquatiques submergées et des eaux claires. Un assec temporaire et partiel pourrait constituer une étape clef de cette succession, permettant la reproduction des espèces amphiphytes, et le maintien des espèces pionnières rares.

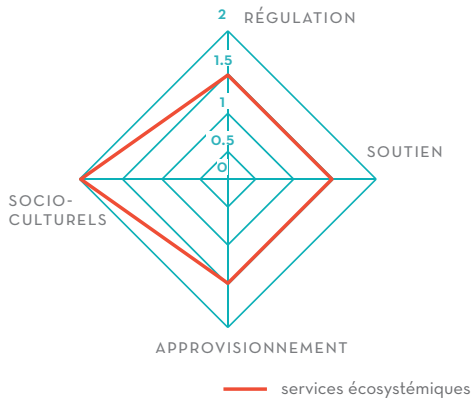
BÉNÉFICIAIRES

En raison de la présence pluri-annuelle des cyanobactéries et de leurs toxines, un des objectifs a été de favoriser la biodiversité en diminuant les apports d'éléments nutritifs en provenance des zones amont pour retrouver une végétation lacustre. D'une façon indirecte de diminuer la biomasse phytoplanctonique en limitant les apports en ortho-phosphates disponibles par l'anoxie de ces zones très riches en matière organique en provenance du bassin versant. Retrouver une meilleure qualité d'eau était aussi un des objectifs de cette action en concertation avec différentes institutions : AFB, ARS, DREAL, fédération de Pêche, fédération des chasseurs, les élus locaux dans le but d'élaborer un plan de gestion du niveau des eaux sur ces trois années. Une étude sociologique a permis de connaitre l'appréhension des usagers à la baisse de la surface en eau.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les services concernés par les actions de ce projet sont des services :

• de régulation : qualité des eaux continentales ; contrôle biologique de l'eau (cyanobactéries),
• de soutien : cycle des nutriments ; production primaire (végétation terrestre),
• d'approvisionnement : maintien des ressources piscicoles,
• socio-culturels : biodiversité patrimoniale (espèces végétales), activités récréatives et nautiques.



1

ÉVALUATION DU PROJET

Ce projet a été évalué par la diminution drastique des cyanobactéries permettant à nouveau des activités récréatives et nautiques. La minéralisation de la matière organique des zones amont et aussi celle proche des berges a favorisé la mise en place d'une autre biodiversité végétale, par un fonctionnement de zone humide dans ces zones et de l'intérêt scientifique par la mise en place d'ateliers et de parcours pédagogiques. Abaisser la hauteur d'eau après la période de reprise des débits par les ouvrages automatiques c'est augmenter la vitesse de l'eau et diminuer fortement la stagnation de la masse d'eau laquelle entraine une anoxie, la solubilisation des ortho phosphates disponibles au phytoplancton pour son développement. Cette expérience a amené en conséquence un cahier des charges lié aux usages de l'eau régulant la hauteur d'eau afin de favoriser la minéralisation de la matière organique apportée chaque année par le bassin versant et de permettre les activités liées à l'eau devenue d'une qualité sanitaire acceptable vis-à-vis des activités récréatives. Action à moindre frais.

SUITE ÉVENTUELLE DU PROJET

Le marnage, lors de cette période expérimentale, a répondu aux objectifs du gestionnaire et de l'ensemble des acteurs. Il est apparu que renouveler cette action de mise en assec partielle implique que les élus locaux informent au plus près les usagers de l'eau dans un souci de l'intérêt sociétal et écologique apporté par le marnage naturel, ce que ne peut accomplir un état de maintien de niveau d'eau élevé en période estivale.

FINANCEMENT

Cette étude a été financée par le Département d'Ille et Vilaine à hauteur de 30 000 € sur les 3 ans ne concernant que l'étude écologique à titre expérimentale. La rénovation de l'ouvrage était quant à lui fixé à 130 000 €.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

ARTHAUD F., (2011). Fonctionnement des étangs en réponse aux stress et perturbations d'origine anthropique : diversité, structure et dynamique des communautés végétales. Thèse Université Lyon 1, 209p

BALDWIN DS, MITCHELL AM (2000) The effects of drying and re-flooding on the sediment and soil nutrient dynamics of lowland river-floodplain systems: a synthesis. Regulated Rivers : Research & Management 16:457-467

DE BACKER S., TEISSIER S., TRIEST, L. (2012), Stabilizing the clear-water state in eutrophic ponds after biomanipulation: submerged vegetation vs. fish recolonization. Hydrobiologia 689:161-176

PAILLISSON J.-M., MARION L. (2011.) Water level fluctuations for managing excessive plant biomass in shallow lakes. Ecological Engineering, 37 : 241-247

RIIS T, HAWES I (2002) Relationships between water level fluctuations and vegetation diversity in shallow water of new Zealand lakes Aquat Bot 74:133-148.

ILLUSTRATIONS

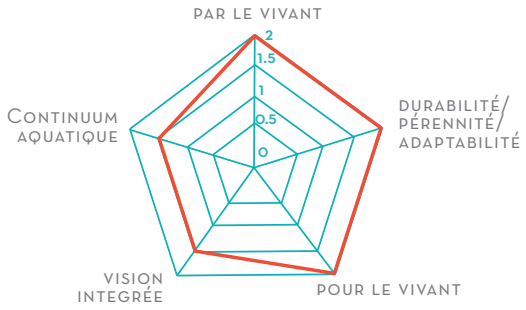
Prise de vue sur la Seiche le 29/03/2011 période de mise en assec partielle

PHOTO 1 Luc Brient

Prise de vue de la Seiche le 16/03/2012 avec le visuel du niveau d'eau restant avec un développement des végétaux terrestres

PHOTO 2 Luc Brient

2 Création de roselières fluviales pour réhabiliter les plans d'eau



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : ADOUR-GARONNE
RÉGION : OCCITANIE
DÉPARTEMENT : HAUTE-GARONNE

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Dans le piémont pyrénéen (Haute Garonne), la Garonne forme sur 32 km une succession de trois grands plans d'eau créés par des barrages hydroélectriques (Saint Vidian, Labrioulette et Manciès). Ces vastes étendues d'eau possèdent un potentiel écologique et touristique important. En effet, la Garonne est ici inscrite au Réseau européen Natura 2000 à double titre – au titre de la Directive Habitat pour sa faune et pour sa flore (comme sur tout son cours), et plus spécifiquement, au titre de la Directive Oiseaux, en particulier pour divers hérons (héron bihoreau, aigrette garzette, grande aigrette,...) qui fréquentent ces plans d'eau. Ces retenues accueillent également six bases nautiques et mises à l'eau qui permettent la pratique de la voile, du motonautisme et de la pêche en barque. Ces sites touristiques bénéficient d'une fréquentation notable, touristique et par la population locale et toulousaine.

Mais ces plans d'eau sont fragiles. Le système fluvial barré connaît ici un envasement très important, et favorise le développement d'herbiers de plantes exotiques envahissantes. Ces deux phénomènes combinés impactent fortement l'utilisation des bases nautiques.

De plus, les roselières bien présentes autrefois ont aujourd'hui disparues. Plus récemment, suite à la crue exceptionnelle de 2013 sur la Garonne amont les herbiers ont également disparu, affectant l'intérêt piscicole et l'attrait halieutique des sites.

Enfin, même si la qualité des eaux est satisfaisante, on enregistre une légère pollution historique des sédiments, ainsi que quelques rejets d'eaux usées incomplètement traitées.

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

Situé en aval immédiat du bassin montagnard de la Garonne, ce secteur possède une vocation de zone de transfert des matériaux, qui est toutefois perturbée par la présence des retenues favorisant le stockage alluvionnaire. Au droit des plans d'eau, l'envasement a affecté l'ensemble des anciennes terrasses fluviales immergées par les retenues. La cartographie des zones d'envasement établie en 2010 indiquait des épaisseurs de vases jusqu'à 2m, voire plus. L'envasement a été encore amplifiée par la crue exceptionnelle de 2013 apportant des sédiments en quantité en provenance de la Garonne amont (+ 70 cm d'épaisseur mesurés par endroits).

Au regard des usages, la situation était telle qu'elle compromettait le maintien des activités nautiques, du fait de l'obstruction des mises à l'eau et de la réduction des zones de navigation. Au droit du plan d'eau de Manciès, réputé comme le plus poissonneux, la raréfaction des herbiers aquatiques a entrainé une baisse nette des populations piscicoles. Elle a conduit a annulé le challenge bisannuel Esox de pêche aux carnassiers qui réunissait les autres années une centaine de compétiteurs.

D'un point de vue écologique, il est à noter que paradoxalement l'envasement important des plans d'eau, avec des bancs de vases affleurant, ne s'accompagne pas d'une végétalisation spontanée en plantes hélophytes. À l'inverse, les roselières, qui constituaient encore dans les années 1990 la richesse écologique de ces plans d'eau, ont depuis totalement disparu (inventaire 2012). De fait, la restauration de roselière est inscrite dans le Document d'objectif Natura 2000 de ce site comme une action prioritaire.

De plus, des herbiers de plantes aquatiques envahissantes (lagarossiphon, jussie, myriophylle du brésil,...) se sont développés localement de façon très importante. Le plan d'eau de Saint Vidian constitue le principal foyer de jussie de tout le secteur. La formation d'herbiers denses monospécifiques génère une banalisation écologique du fleuve. Elle provoque également une gêne pour les activités nautiques. La cartographie de localisation des herbiers d'espèces invasives établie en 2010 indiquait que quatre des six mises à l'eau étaient envahies par ces plantes.

MOTEUR DU PROJET

C'est en premier lieu la limitation des activités nautiques, et dans une moindre mesure, la réduction de l'attrait halieutique et écologique des plans d'eau, qui ont été signalées aux collectivités locales, interpellant alors les partenaires institutionnels. C'est dans ce contexte que les collectivités, en partenariat avec les institutions et les acteurs du fleuve (communes, SIVOM des plaines et coteaux du Volvestre, Syndicat Mixte d'Etudes et d'Aménagement de la Garonne, Etat, Agence de l'eau, associations nautiques et environnementales,...), ont ainsi décidé de réhabiliter ces trois plans d'eau, dans le cadre du programme d'actions global pour une gestion durable de la Garonne de Boussens à Carbonne, piloté aujourd'hui par le SIVOM des plaines et coteaux du Volvestre.

Le projet a ainsi visé le désenvasement des mises à l'eau, la limitation des plantes invasives et la création de roselières.

Enfin, le passage à l'action a été déclenché grâce à la possibilité de financements attractifs. En particulier, deux outils financiers ont été sollicités, le FNADT dans le cadre du Plan Garonne de l'Etat, volet réappropriation du fleuve, ainsi que le FEADER via Natura 2000 pour la biodiversité d'intérêt européen. La roselière de Cazères/Garonne est ainsi le premier Contrat Natura 2000 sur toute la Garonne.

PRÉSENTATION DU PROJET

Le projet d'ingénierie combine des travaux de transfert de vases en excès depuis les bases nautiques vers des sites propices à proximité pour servir de support de plantation aux roseaux et à une quinzaine d'autres espèces d'hélophytes typiques de Garonne. Ainsi, l'originalité de l'opération a été de répondre simultanément à deux objectifs par une solution unique, à savoir la réhabilitation des bases nautiques à certains endroits, combinée à la création de roselières à d'autres endroits.

Plus précisément, le principe technique innovant retenu est basé sur la réutilisation des vases au sein de l'écosystème fluvial (pas d'export, ni stockage temporaire) via l'aménagement de casiers, délimités par des bottes de pailles fixées directement dans le lit du fleuve par des pieux en robinier faux acacia, afin de contenir les vases dans des hauteurs d'eau favorisant le développement des hélophytes. Cet effet de sur-envasement est apparu nécessaire, étant donné qu'en condition naturelle aucune végétalisation spontanée des vasières n'est observée. La plantation est réalisée à partir d'une liste d'une quinzaine d'espèces d'hélophytes, adaptée au cas par cas selon la configuration des roselières. Au total, cinq roselières fluviales ont été recréées sur les trois retenues entre 2012 et 2015.

BÉNÉFICIAIRES

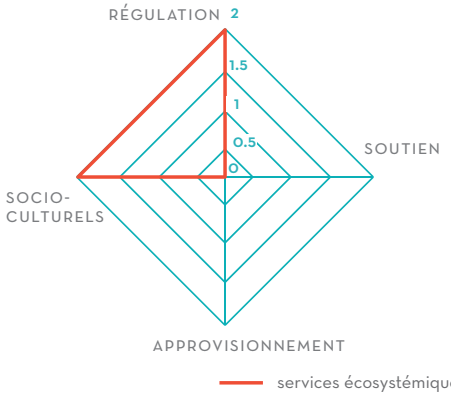
Les deux principaux bénéficiaires visés étaient initialement tout à la fois les usagers des plans d'eau et l'écosystème fluvial, dans un esprit de développement durable.

En effet, le désenvasement et la limitation des plantes exotiques répondaient directement aux attentes des associations utilisatrices des bases nautiques. La restauration écologique des plans d'eau était davantage impulsée par les partenaires institutionnels en conformité avec les documents cadre (SDAGE Adour Garonne, Docob Natura 2000 Garonne amont, Schéma Directeur d'Entretien coordonné de la Garonne porté par le SMEAG).

De façon globale, ce projet répondait également aux attentes des collectivités locales soucieuses d'améliorer l'image d'un territoire de qualité propice au développement touristique, s'appuyant sur la réhabilitation des bases nautiques et la préservation d'un environnement remarquable. Cet enjeu était souligné par les offices de tourisme du territoire.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Le choix des sites d'implantation des roselières résulte d'une analyse multicritères des enjeux en lien avec les services rendus par ces zones humides, afin de prioriser les sites possibles d'implantation de roselières en fonction de leurs utilités. Cette analyse a ainsi croisé les différents rôles joués par les roselières avec les problématiques du fleuve suivantes :



- Rôle de diversification des habitats naturels. De façon générale, les roselières créées sont amenées à devenir des éléments importants pour l'écologie du fleuve, très attractifs pour une faune multiple (libellules, amphibiens, oiseaux aquatiques, poissons,...). Plus particulièrement, les roselières assurent un rôle de support de biodiversité pour l'avifaune aquatique inféodée aux roselières, et les oiseaux patrimoniaux (Natura 2000) en particulier (hérons) comme sites de reproduction et/ou d'alimentation. On soulignera également leur rôle de « pouponnière » pour les alevins des poissons du plan d'eau qui y trouvent des zones de refuge contre les prédateurs, des températures élevées, et une source de nourriture abondante (invertébrés, phytoplancton) propices à leur grossissement. De façon plus générale,
- Rôle de limitation des plantes envahissantes dans des zones de prolifération par compétition interspécifique
- Rôle d'auto-épuration du fleuve au droit de rejets polluants et pour les sédiments plantés, par effet de filtre grâce aux nombreuses hélophytes favorisant l'oxygénation et l'activité bactérienne (comme pour les lits plantés de roseaux).
- Rôle de diversité paysagère au droit de sites récréatifs
- Rôle d'espace pédagogique, comme support pertinent de découverte de l'environnement
- Rôle de confortement des pieds de berge au droit de zones d'instabilité de falaise menaçant des lieux habités. (non exploité dans le cadre de ce projet)

Cette analyse a permis de cartographier des sites d'intérêt fort à proximité de chacune des bases nautiques. Ainsi, de par leur localisation, les roselières créées dans le cadre de ce projet peuvent assurer des services :

- de régulation par la diversification des habitats naturels et l'auto-épuration du fleuve,
- socio-culturel par la diversification paysagère et comme espaces pédagogiques.

ÉVALUATION DU PROJET

Les premiers résultats enregistrés depuis 2012 sont très encourageants. Dès la première année, la végétalisation avoisine 100% de la couverture des casiers, avec une importante diversité spécifique (développement de toutes les espèces plantées + colonisation spontanée d'autres espèces typiques de Garonne). Cet excellent taux de réussite s'explique notamment d'une part par la fertilité des vases de Garonne, et d'autre part par le fait de planter dans le lit du fleuve qui permet de s'affranchir du problème récurrent d'assèchement des zones humides de Garonne.

Il est intéressant de noter que la maîtrise technique acquise avec les premières roselières a fait évoluer le principe d'aménagement pour les trois suivantes, en permettant la constitution de casiers ouverts afin d'accroître la continuité écologique entre le fleuve et la roselière, pour la faune piscicole en particulier.

Les roselières bénéficient d'un suivi pluriannuel de la végétation en place, basé sur le relevé des espèces et l'évaluation du taux de recouvrement végétal. À partir d'une plantation initiale au tiers de la surface des roselières, on observe un taux de recouvrement de près de 80 à 100% après un an de développement.

Le principal frein à la végétalisation semble être la pression de broutage exercée par le ragondin ou les anatidés qui peut toucher une proportion élevée de plants. Afin de limiter cette pression, différentes méthodes ont été testées. Une roselière a bénéficié d'une campagne de piégeage lors de la première année. Les résultats semblent être concluants avec 160 individus capturés et une végétalisation très dense qui s'est maintenue les années suivantes sans nouvelles campagnes de piégeage. Pour trois autres roselières, des clôtures ont été installées mais ne semblent pas avoir donné de résultats probants. Enfin, la roselière qui n'a fait l'objet d'aucune action particulière présente pourtant un végétalisation importante et diversifiée.

Après trois ans et un début de désagrégation des bottes de pailles, le développement des réseaux racinaires des hélophytes prend le relais en fixant les vases et éviter leur dissipation dans le fleuve. Au regard des plantes exotiques envahissante, on constate que, grâce à l'importante densité de végétalisation, les roselières limitent d'autant l'étendue des plantes envahissantes.

Concernant la faune, des observations visuelles régulières permettent de rendre compte de l'attrait des roselières pour tous les groupes faunistiques (invertébrés, poissons, reptiles, oiseaux, mammifères). De plus, des bancs d'alevins ont été observés au sein des roselières confirmant leur rôle de pouponnière. Des brochets et silures ont été pêchés à l'entrée des roselières ouvertes, témoignant de l'effet positif global sur la faune piscicole. En 2016, un inventaire piscicole sera réalisé dans une roselière en collaboration avec la Fédération de pêche de la Haute Garonne. Cet effet piscicole a également des répercussions positives sur l'attrait halieutique des plans d'eau.

Enfin, un des trois plans d'eau abritant trois roselières bénéficie d'un suivi ornithologique avec la collaboration de l'Association Régionale Ornithologique Midi Pyrénées. Il a déjà été constaté la nidification d'un couple de cygnes tuberculés sur une roselière avec l'éclosion de six poussins. Il s'agit de la première nichée constatée sur ces plans d'eau de Garonne. De façon générale, les roselières sont fréquentées comme zones de nourrissage, notamment par les anatidés (canards colvert, foulque macroule, poule d'eau,...) et les hérons (héron cendré, grande aigrette, aigrette garzette), espèces ciblées dans le Document d'objectif Natura 2000 Garonne amont.

Au plan de la satisfaction des usages, les opérations ont permis de désenvaser près de 5000 m^3 de vases au droit des bases nautiques pour les transférer à proximité dans un esprit de développement durable (limitation des transports). Au dire des usagers, ces opérations ont été salutaires pour le maintien des mises à l'eau pour quatre des six mises à l'eau. Elles ont contribué à une augmentation de fréquentation des bases nautiques. Il est intéressant de noter que les casiers ont été dimensionnés pour pouvoir recevoir dans le futur des vases supplémentaires en provenance d'éventuelles opérations de désenvasement, si besoin.

De plus, l'engouement suscité autour de ces opérations a montré que ces sites réhabilités et valorisés répondent à une demande sociale forte de réappropriation du fleuve, dépassant largement les principaux intéressés par la réhabilitation des bases nautiques. En effet, la participation active des différentes associations (nautisme, pêche, protection de la nature, chasseurs de gibiers d'eau, office du tourisme,...) aux réunions de concertation et aux chantiers citoyens démontre l'intérêt partagé par les acteurs du fleuve pour les roselières en elles-mêmes, leur attrait paysager et également pour les possibilités d'actions participatives concrètes. Les acteurs locaux ont été associés dès l'amont des projets. En effet, trois comités de pilotage ont été organisés à l'initiative du SMEAG afin d'identifier l'ensemble des problématiques prioritaires et définir les stratégies d'action liées du secteur. Cette démarche globale a débouché notamment sur les projets de réhabilitation des plans d'eau et de création des roselières. Ces projets portés par le SIVOM des plaines et coteaux du Volvestre ont fait l'objet de cinq réunions de concertation et de cinq réunions de suivis des chantiers. À chaque occasion, l'ensemble des associations d'usagers a affiché une participation assidue.

Enfin, les roselières constituent des sites propices de découverte et de sensibilisation à l'environnement. Situées à proximité des bases nautiques, elles bénéficient d'une accessibilité et d'un lieu de passage qui permet à un public non initié de rencontrer ces espaces naturels. Les chantiers citoyens de plantation ou d'entretien, à la portée de tous avec un minimum d'encadrement, sont également autant d'occasions pour sensibiliser les participants à l'environnement du fleuve. Un même engouement est enregistré avec les animations pédagogiques de découverte de l'écosystème réalisées auprès des scolaires. Depuis 2015, quatre classes élémentaires ont déjà été accueilli sur site.

De fait, ces zones humides sont devenues des supports pertinents d'éducation à l'environnement dont les participants sont des bénéficiaires non identifiés initialement.

FINANCEMENT

Le coût moyen des opérations combinées s'élève à environ 50 000 €HT pour 1 000 m^3 de vases transférées et 1 500 m^2 de roselières créées.

Les étapes les plus onéreuses ont été les opérations de constitution des casiers et le désenvasement, qui représentent à elles-deux 80 % du coût total des travaux (40% du coût chacune), car elles ont nécessité pour travailler en plan d'eau l'utilisation d'engins spécifiques tels que barge, pelles mécaniques et suceuses amphibies. On notera toutefois que l'opération optimise le curage/transfert puisqu'il répond à un double objectif de désenvasement/création de roselières.

De plus, dans le cadre de ce projet, les casiers ont été volontairement surdimensionnés afin de pouvoir recevoir des vases supplémentaires en provenance d'éventuelles futures opérations de désenvasement. Cette capacité paraît nécessaire dans un contexte où le système fluviale est amené à se ré-envaser à plus ou moins moyen terme selon les crues de la Garonne. De fait, si besoin, il pourra être procédé à un transfert des vases dans les casiers existants, soit une économie de 40% du coût des travaux. À noter qu'à ce jour, il n'a pas été prévu de nouvelle opération de désenvasement.

Plans de financement							
Roselières	années	FNADT (Plan Garonne)	FEADER (Natura 2000)	Agence de l'eau Adour Garonne	Région Occitanie	EDF	Part communale
Roselière de Boussens (Saint Vidian)	2012	50%	/	/	/	/	50%
Roselière de Cazères (Labrioulette)	2013	30%	50%	/	/	12%	8%
Roselières de Rieux Volvestre, Salles/Garonne, Carbonne (Manciès)	2015	50%	/	15%	15%	12%	8%

Concernant l'entretien des roselières, les retours d'expérience indiquent que les premières années n'ont pas nécessité d'intervention lourde. En effet, les casiers en bottes de pailles se maintiennent durant trois ans ou plus, permettant aux hélophytes et à leur puissant réseau racinaire de prendre le relais pour fixer les vases. C'est dans le cas d'un plan d'eau accueillant du motonautisme que le batillage particulièrement important accélère notablement la disparition des bottes de pailles. Pour pallier à ce désagrément, une simple opération de bouturages de saules a été réalisée, à partir de matériaux vivants prélevés directement dans la roselière. Les saules plantés simplement en rideau ou en fascine ont ainsi consolidé les bordures existantes et aussi permis l'extension du casier.

Les autres interventions ont porté sur l'arrachage de plantes invasives (jussie) et arrachage ou coupe de ligneux (jeunes peupliers ou saules). Toutes les opérations d'entretien ont été réalisées à l'occasion de chantiers citoyens bénévoles qui ont donné toutes satisfactions.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

SMEAG/Geodiag, Eccel Environnement, 2012. Propositions pour une gestion durable de la Garonne hydroélectrique de Bousssens à Carbonne

SMEAG/mairie de Boussens, 2012. Projet de restauration expérimentale, écologique et touristique de la Garonne au lac de Boussens

SMEAG/mairie de Cazères/Garonne, 2013. Projet de restauration expérimentale, écologique et touristique de la Garonne au lac de Boussens

SIVOM des plaines et coteaux du Volvestre, 2015. Projet de réhabilitation des plans d'eau de la Garonne hydroélectrique de Boussens à Carbonne – Gestion des roselières fluviales au plan d'eau de Manciès

SIVOM des plaines et coteaux du Volvestre, 2015. Programme Pluriannuel de Gestion de la Garonne de Boussens à Carbonne 2015/2018

Émission Des Racines et des Ailes, 2014. – Passion Patrimoine – « Sur les rives de la Garonne » ; .

ILLUSTRATIONS

Aménagement d'un casier en bottes de pailles dans le lit de la Garonne

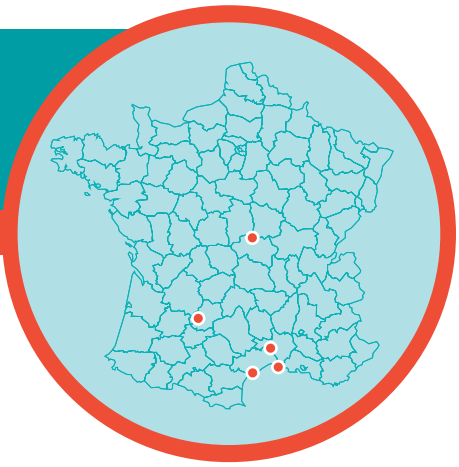
PHOTO 1 D.Taillefer/SMEAG

Plantation avec le maire de Cazères/Garonne et la population

PHOTO 2 D.Taillefer/SMEAG

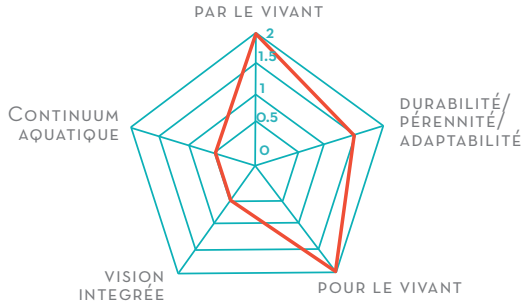
3

Amélioration du traitement des rejets localisés par des zones de rejet végétalisées et pour des services plus intégrés



Localisation des cinq sites audités dans le cadre du projet

FIGURE 1



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

Le projet a été mené sur la base de l'étude conjointe de cinq sites d'audit (FIGURE 1) et d'expérimentations en conditions contrôlées.

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Un accroissement des exigences de qualité de nos ressources en eau a eu lieu ces dernières années. La Directive Cadre Européenne (DCE) sur l'eau vise la reconquête de la qualité des milieux aquatiques et impose que de nouveaux polluants, même à faible concentration, disparaissent de nos eaux dans les décennies à venir. Ces micropolluants présents dans les eaux usées, sont issus de diverses sources (effluents hospitaliers, rejets domestiques, industries, eaux pluviales). Même si une partie de ce flux de polluants est éliminée par les stations de traitement des eaux usées, celles-ci ne sont pas conçues pour les traiter, et une part significative de ces flux se retrouve dans les milieux naturels.

Depuis une dizaine d'années, des Zones de Rejet Végétalisées (ZRV) sont fréquemment proposées, lorsqu'il reste du foncier disponible, comme un espace aménagé entre la station de traitement des eaux usées et le milieu récepteur (définition de l'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif). Même si les ZRV ne sont pas considérées aujourd'hui comme faisant partie du dispositif de traitement des eaux usées, celles-ci apporte une protection complémentaire au milieu, via les processus écologiques à l'œuvre dans les zones humides (régulation hydraulique, filtration mécanique, diversification des mécanismes de transformation de la matière, sédimentation, mobilisation et assimilation...). Ces ouvrages peuvent aussi apporter d'autres services touchant à la biodiversité, aux paysages et aux aspects socio-territoriaux de développement local ou d'appropriation par les riverains des zones humides.

Toutefois, il est rare que de tels objectifs soient explicités dans les cahiers des charges, et les installations existantes sont très hétérogènes - il n'existe pas de règles de conception ni de dimensionnement permettant d'assurer les diverses fonctionnalités de ce type de zones. De plus, le suivi et l'entretien de ces zones ont souvent été sous-estimés et/ou délaissés et bien qu'identifiés a priori les bénéfices attendus de tels aménagements, ne sont que très rarement mesurés, notamment sur l'épuration des micropolluants. Par conséquent les services attendus ne sont pas toujours pérennisés, qu'ils soient d'ordre épuratoire (ex : dégradation de la qualité de l'eau vs. amélioration), de biodiversité (ex : espèces envahissantes...) ou sociaux (attrait pour le site à long terme).

MOTEUR DU PROJET

En 2009, la construction de la Zone Libellule® à Saint-Just (34) traduisait la prise en compte d'un besoin de conception spécifique des ZRV pour que celles-ci soient adaptées aux services annoncés tels que l'élimination des micropolluants ou l'accueil de la biodiversité. Le principe de conception reposait sur le passage des effluents au travers d'une succession de compartiments aux profils hydromorphologiques différents (bassin profond à macrophytes, méandre et delta par exemple). Chacun d'entre eux visait à favoriser un ou des processus auto-épuratoires naturellement à l'œuvre dans les zones humides. Ce site a fait l'objet d'un suivi scientifique pendant 3 ans jusqu'en 2012. Le suivi a mis en lumière des résultats prometteurs en termes de performances épuratoires, en particulier en ce qui concerne les micropolluants. À cette date, les résultats confirmaient le potentiel des ZRV en tant que dispositif utile dans le contexte de la DCE, mais de nombreuses inconnues subsistaient. En effet, les observations réalisées sur ce seul site ne pouvaient permettre d'en déduire des règles de conception à même de répondre à des demandes précises des maîtres d'ouvrage, notamment en termes de garanties épuratoires.

C'est pour faire face aux différents enjeux soulevés par cette première expérience que le projet ZHART (Zones Humides Artificielles) a été construit. L'enjeu était de progresser suffisamment dans la connaissance des voies physiques, chimiques et biologiques qui régissent le devenir des molécules transitant par ces zones, pour être en capacité d'anticiper les performances d'abattement de certains micropolluants dans la phase eau - et d'en proposer des garanties. Dans le même temps, c'est l'ensemble de la démarche projet qui a été optimisée, depuis la phase de conception jusqu'à la gestion en passant par l'implantation. Au côté des enjeux épuratoires, l'objectif était de favoriser l'intégration sociale et paysagère, l'accueil de la biodiversité inféodée aux zones humides ainsi que de faciliter le suivi et l'exploitation de la zone dans le temps.

En bref, le projet a été conçu pour faire franchir un palier à ces dispositifs d'ingénierie écologique afin qu'ils puissent répondre à des objectifs concrets et précis dans un contexte d'exigence croissante de protection des milieux récepteurs tant du point de vue technico-économique que sociétal.

PRÉSENTATION DU PROJET

Porté par SUEZ, le projet ZHART a été sélectionné lors l'appel à projet FUI 14. Entre 2013 et 2016, 6 autres partenaires ont été impliqués dont des entreprises privées et des centres de recherche publics : Nymphea, RIVE, Eurofins IPL, UMR CITERES (Université Francois Rabelais de Tours), LERES (EHESP) et EPOC – LPTC (Université de Bordeaux). Les compétences complémentaires des partenaires ont permis de répondre à l'objectif de *« développer et d'industrialiser l'aménagement des zones de rejet végétalisées en sortie de station de traitement des eaux usées afin qu'elles puissent rendre de nouveaux services en termes de garanties de traitement complémentaires sur les micropolluants, le maintien de la biodiversité et d'insertion territoriale/ ou intégration socio-économique »*.

Pour y parvenir, un certain nombre d'axes ont été investigués à partir de l'étude de cinq sites répartis sur le territoire national :

- Le fonctionnement **hydraulique** des sites, révélant notamment les temps de séjour et les contributions relatives des processus d'infiltration et évaporation, a été caractérisé ;
- La **réception sociale** des sites en place et les précautions à prendre pour favoriser celle des sites à venir, ont été explorés ;
- L'**intégration paysagère** dans la cadre des Trames Vertes et Bleues (TVB) a été évaluée ;
- De nouveaux outils ont été développés pour permettre un suivi optimisé des **micropolluants** présents dans l'eau (capteurs passifs) et la faune (analyse d'exuvies) ;
- Un **modèle prédictif de biodiversité** a été construit, permettant de prédire la présence ou l'absence de certains groupements des peuplements macrobenthiques en fonction du design de la ZRV ;

• Le devenir des micropolluants et les caractéristiques des zones associées aux **capacités épuratoires** ont été investigués au travers d'audits réalisés sur les cinq sites existants et de tests en microcosmes menés sous serre expérimentale. Les résultats obtenus pour chacune des trente-trois molécules (analyses chimiques dans l'eau, les sédiments et le végétal) ont mis en évidence les processus impliqués dans le devenir de certaines d'entre elles, ainsi que leurs importances et les conditions limites. Il en résulte la possibilité d'associer des garanties d'épuration à des propositions de conception et de dimensionnement.

BÉNÉFICIAIRES

La réalisation des ZRV a pour objectif principal de répondre aux attentes et aux besoins du maître d'ouvrage face aux contraintes les plus souvent réglementaires (gestion de l'eau). Il est donc le premier bénéficiaire des services de la ZRV.

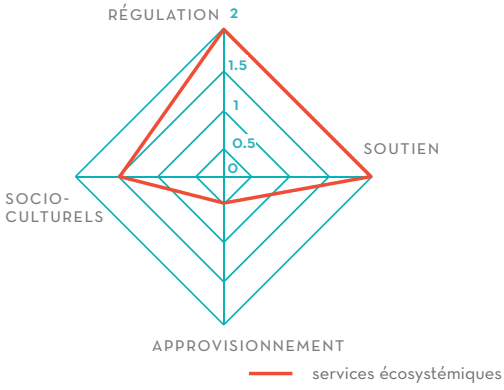
Les retours d'expérience de SUEZ ont mis en évidence d'autres acteurs. En effet, la conception des ZRV vise aussi à favoriser le gain écologique, l'initiation à l'environnement, le développement local et la sensibilisation pédagogique, élargissant ainsi les bénéfices au-delà d'une stricte réponse à la réglementation. L'ensemble des usagers profitant de ces services écosystémiques sont également des bénéficiaires : association naturaliste locale, école, universités, riverains, institution porteuse du suivi de la qualité du milieu récepteur....

Au cours des dernières années, nous avons identifiés des difficultés lors de la gestion et le suivi des ZRV (accès mal adaptés pour l'entretien, absence de protocole de gestion...). Le projet ZHART a permis de définir des solutions pour encadrer et faciliter l'exploitation des ZRV afin de pérenniser leurs fonctionnalités. En plus du cadre de vie offert par la ZRV, l'exploitant du site de la STEP bénéficie de ces solutions.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Avec le projet ZHART, le potentiel des ZRV à offrir de nombreux types de services a été validé. Leur mise en place et leur maintien dans le temps demande toutefois une prise en compte dès la conception et le dimensionnement de l'ouvrage mais aussi un suivi avec des outils et des indicateurs adaptés.

La réalisation de bilans hydrauliques sur cinq sites d'audit variés ainsi que le suivi d'un site multi-compartiments sur un an et demi ont permis de vérifier la fonction de régulation hydraulique des ZRV. Il a toutefois été mis en avant que ce rôle n'est possible que pour des sites ayant une conception et un dimensionnement adaptés à cet objectif, pour lesquels un suivi de flux entrant et sortant est réalisé afin d'anticiper des actions de gestion et d'entretien, seul moyen à-même d'assurer la pérennité de ce service.



En ce qui concerne le service d'épuration, la réalisation d'étude en conditions contrôlées (microcosmes) a permis d'étudier les voies d'élimination des micropolluants recherchés dans le projet. Ces résultats ont été consolidés par un état de l'art de la littérature scientifique. Ensuite, les performances épuratoires des différentes ZRV auditées ont été analysées à la lumière de ces premières informations. Ceci a permis de définir, en fonction des conditions de fonctionnement de chaque ZRV (débit, temps de séjours, vitesse d'écoulement, condition météorologique...) des critères de conception et dimensionnement des nouvelles ZRV afin d'assurer des garanties d'épuration des micropolluants.

Le projet a également permis de confirmer les services rendu pour la biodiversité par le concept de ZRV composée d'habitats typiques des milieux humides en s'appuyant sur des partenaires qualifiés et la norme AFNOR relative au génie écologique. Cette spécificité permet de favoriser la colonisation d'espèces faunistiques et floristiques inféodées à ces espaces. À ce titre, le premier objectif est de s'assurer d'un gain écologique par rapport à l'état initial. Pour cela, la réalisation d'habitats naturels les moins représentés (abondance ou répartition) à proximité de la ZRV est privilégiée. En concertation avec les partenaires du projet ZHART, une liste de plantes et d'habitats locaux est proposée lors de la réalisation d'un projet. Le cortège floristique est choisi en fonction de leur caractéristique autoécologique. Diversifier les habitats permet d'accroitre la richesse spécifique de la ZRV par l'accueil d'espèces qui y trouveront des conditions favorables à leur développement et à leur maintien. Ainsi, au sein même de la zone, les associations végétales permettent la nidification, la reproduction et l'alimentation de la faune. Certaines espèces végétales protégées peuvent également s'implanter spontanément. Le second objectif est de renforcer les continuités écologiques (Trames Vertes et Bleues).

Pour progresser au regard de l'insertion sociale et territoriale d'une ZRV, le projet ZHART a développé une méthodologie d'étude en deux temps. Dans un premier temps, la méthode a consisté à évaluer quinze critères, relevant de cinq dimensions fondamentales (technique, spatiale, sociale, environnementale, institutionnelle), permettant ainsi de qualifier l'insertion territoriale de huit ZRV existantes en France. Dans un second temps, l'étude fine des représentations sociales d'un panel d'individus résidants dans les communes de deux ZRV a permis de mettre en lumière la forte valeur ajoutée attribuée au processus épuratoire et le relatif questionnement concernant la plus-value écologique parmi les habitants. Les résultats montrent qu'il est nécessaire d'identifier dès l'amont du projet d'une nouvelle ZRV les principaux enjeux locaux (sur le plan économique, mais aussi d'après les priorités politiques et institutionnelles des acteurs du territoire ainsi qu'en fonction des usages dominants, des considérations paysagères, culturelles et sociales répertoriés dans les communes et intercommunalités concernées) afin de mettre en œuvre un plan d'action adapté et un dispositif de suivi de l'insertion socio-territoriale.

ÉVALUATION DU PROJET

Le projet ZHART s'est appuyé sur près de vingt audits hydrauliques, épuratoires ou écologiques (biodiversité, paysage - TVB) dont un suivi continu d'un an et demi du site atelier. L'étude en conditions contrôlées a conduit à la réalisation de trente-deux tests en microcosmes répartis en quatre séries. Sur l'ensemble du projet (audits et microcosmes), ce sont plus de dix mille résultats d'analyses de micropolluants dans les matrices eau, sédiments, substrats et végétaux. Quarante-neuf acteurs du domaine de l'eau et de la biodiversité et trente-huit usagers ont été interviewés et six échelons administratifs ont été considérés.

Un nouveau concept de Zones de Rejet Végétalisées est proposé, avec des services variés et quantifiables grâce aux outils et à la méthodologie développés. Pour assurer la réalité de ces services, ils doivent être définis, avant même la phase de conception, lors d'une première étape de concertation et de collecte de données, permettant d'identifier le besoin du maître d'ouvrage et d'intégrer les principales contraintes à la mise en œuvre du projet local.

Pour l'aspect traitement, cette solution est par exemple applicable pour l'élimination de certains micropolluants pharmaceutiques (ciprofloxacine) ou métalliques (zinc, cuivre). Cependant, suivant les débits d'effluents à traiter elle peut nécessiter une surface assez importante, ce qui n'est pas compatible avec des stations d'épuration urbaines de grande taille (> 20 000 EH). Pour un coût similaire, il existe des solutions de traitements intensifs (ozonation) qui permettent d'éliminer aussi des micropolluants organiques. Toutefois si leur emprise au sol est plus faible et leur performance plus élevée pour certaines substances, ces solutions intensives n'apportent pas certains services épuratoires (micropolluants inorganiques, azote) que proposent ces ZRV mais aussi et surtout les autres services liés à la biodiversité et aux aspects socio-territoriaux.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Prévues initialement pour l'exploitation des futurs projets, certaines solutions de gestion et de suivi des ZRV, développées dans le cadre du projet ZHART, peuvent être appliquées aux sites existants. En effet, elles permettent de faciliter les missions du gestionnaire du système d'assainissement et de pérenniser les fonctionnalités de la ZRV.

La mise en œuvre de ces solutions dépend des caractéristiques du site existant (espace entre les compartiments, distance vis-à-vis du milieu récepteur, pente du terrain…) et du contexte environnemental. Dans le cadre de nouveaux projets, la conception intègre les contraintes de gestion et limite les différentes pressions ayant des incidences sur l'équilibre du système, dont l'alimentation par un rejet de station de traitement des eaux usées. Le suivi et le plan de gestion sont adaptés à chaque ZRV et leur révision est fonction de l'évolution du site. Le cahier des charges, fourni à l'exploitant, détaille les opérations à mettre en place et la surveillance doit permettre au gestionnaire de contrôler plusieurs paramètres clefs.

Le projet ZHART a ouvert la possibilité d'une application du concept pour la gestion des eaux pluviales strictes et des eaux issues des déversoirs d'orage. Dans ces cas de figure, le dimensionnement et le design des zones tampons doivent être adaptés aux variations des débits (gestion des pics de crues). En effet, lors des épisodes pluvieux, courants ou exceptionnels suivant les objectifs recherchés, le marnage est relativement important au sein de l'aménagement. Ainsi, la régulation des débits entrants, ou en sortie de certains compartiments, est nécessaire pour favoriser les voies d'élimination des polluants et éviter les à-coups hydrauliques impactant le temps séjour. L'incidence de cette variation du niveau d'eau sur les végétaux est également prise en compte lors de la phase de conception écologique du projet.

FINANCEMENT

Le budget total du projet ZHART est de 2,2 millions d'euros, dont 56% porté par les grands groupes partenaires du projet (SUEZ et sa filiale Eau France et Eurofins IPL), 19% par des PME (RIVE et Nymphéa) et 25% pour des établissements publics de recherche (Université François Rabelais de Tours et l'Ecole des hautes études de santé publique). Ce projet, labellisé et accompagné par les pôles de compétitivité DREAM et AQUA-VALLEY, a fait l'objet d'un soutien financier (30% du budget total du projet) de la part du Fonds Unique Interministériel (FUI), du Fonds Feder Languedoc Roussillon, du Conseil Régional du Centre, du Conseil Régional de la Région Occitanie et de l'Agglomération de Tours, notamment pour le financement des activités des entités publiques partenaires du projet (jusqu'à 100%).

Le projet ZHART a permis d'affiner les coûts de réalisation d'une ZRV présentant des garanties de diversité écologique et d'abattement de certains micropolluants. Un montant de 180-210k€ HT/ha, comprenant l'ingénierie de conception, les travaux et le suivi travaux, est nécessaire. Concernant la gestion et le suivi, les coûts par ha oscillent entre 20-30 k€ HT/an.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

Amalric M., C. Cirelli et C. Larrue, 2015. « Quelle réception sociale pour l'ingénierie écologique industrielle ? », VertigO - La revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 15 Numéro 3.

Boutin C., S. Prost-Boucle, 2012. Les zones de rejet végétalisées. Sciences Eaux et Territoires, pp. 36-43.

Penru et al. 2017. L'ingénierie écologique appliquée aux zones de rejet végétalisées : élimination de micropolluants, biodiversité et intégration socio-territoriale. TSM (12), p.157-187.

Projet ZHART, 2016. Recommandations pour la conception, le suivi et la gestion de nouveaux concepts de zones de rejet végétalisées. Application en sortie de stations de traitement des eaux usées municipales. Rapport public du projet de recherche ZHART (lauréat FUI 14), 64 p.

Prost-Boucle S., C. Boutin, 2013. Etat des lieux national sur les zones de rejet végétalisées. Villeurbanne: IRSTEA.

ILLUSTRATIONS

Illustration du delta de la Zone Libellule® (La Zone de Rejet Végétalisée selon SUEZ) de Saint-Just (34)

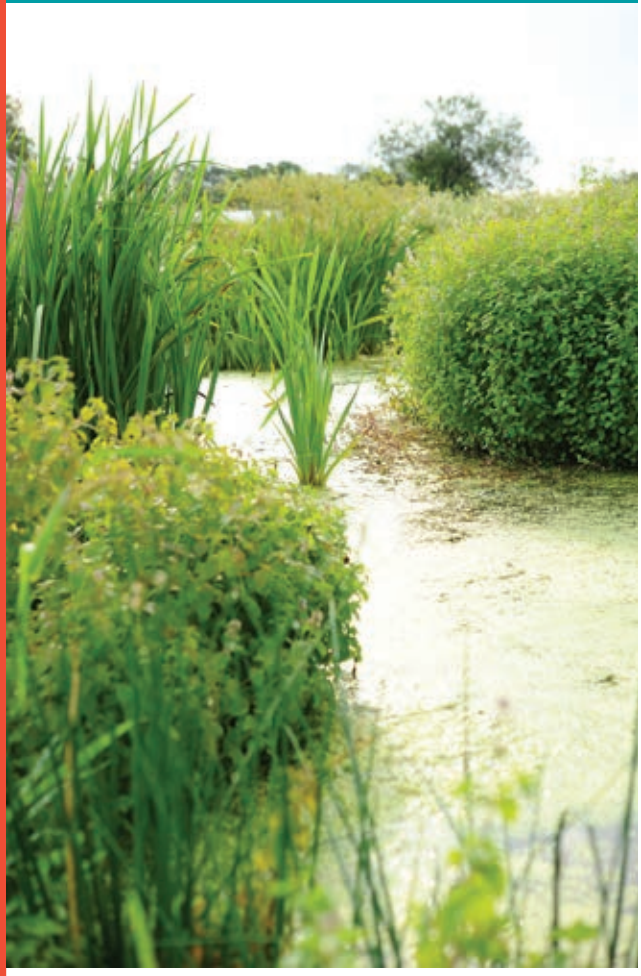


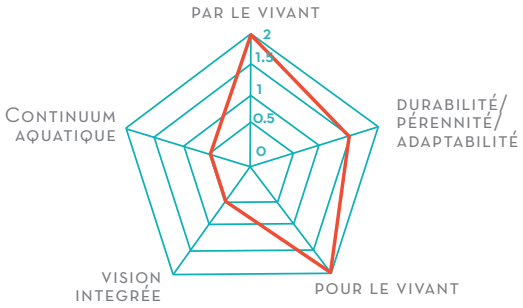
PHOTO 1

Illustration des suivis des microcosmes mis en place dans les serres du partenaire Nymphéa

PHOTO 2

4

Régulation des transferts de matières organiques via le réseau racinaire d'une ripisylve indigène restaurée



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : LOIRE-BRETAGNE
RÉGION : PAYS DE LA LOIRE
DÉPARTEMENT : LOIRE-ATLANTIQUE
COMMUNES : PORNIC ET SAINT-MICHEL-CHEF-CHEF

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Au Sud de Nantes, une des principales ressources en eau potable du sud du département de Loire Atlantique, en l'occurrence le bassin versant de l'étang de Gatineaux, est marquée par une augmentation de 40 % des teneurs en Carbone Organique Dissous (COD) dans ses eaux superficielles sur les vingt dernières années. Ces matières organiques dissoutes en dépassant l'objectif des 10 mg/l dans les eaux brutes impactent la filière de traitement et pourraient, dans les cas extrêmes, présenter des risques sanitaires. Elles ont également un impact économique : le coût de la potabilisation des eaux pourrait être diminué si en amont du processus de traitement des eaux, l'eau de surface conserve une qualité satisfaisante vis-à-vis de ce paramètre organique.

L'origine de ce COD est essentiellement liée à sa libération par les sols puis son transport par ruissellement et lixiviation.

La mise en place récente d'un périmètre de protection rapproché de l'ensemble du réseau hydrographique du bassin versant via une bande enherbée de 10 m de large permet de tester une nouvelle méthode de régénération de la ripisylve («premier rempart» entre le COD dissous des sols et l'eau de la rivière). Cet essai a aussi bénéficié du volontariat de l'agriculteur pour ce changement de nature de la bande enherbée.

DYSFONCTIONNEMENTS AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

Les recalibrages qui ont mené au surcreusement des zones d'écoulement primaires en têtes de bassins versants et la diminution relative du linéaire de haies ont favorisé le transfert du COD vers la nappe puis le réseau hydraulique superficiel. Par ailleurs, le sous-sol extrêmement imperméable de la région cantonne les eaux souterraines dans une nappe d'eau peu profonde. Le réseau racinaire d'une ripisylve semble un moyen écologique d'interagir dans le transfert des eaux superficielles et souterraines.

MOTEUR DU PROJET

Cette zone test bénéficie de l'aval de la Région des Pays de la Loire en devenant un territoire d'expérimentation et une zone test pour une meilleure qualité de l'eau (600 mètres de rives sont concernés en tête de bassin versant).

L'expérimentation s'est déroulée sur trois ans (2015-2017), et a fait suite à un diagnostic mené en 2012 et une concertation avec les riverains et agriculteurs en 2013. Un suivi prolonge l'opération pour mesurer les effets sur le long terme de cet aménagement.

PRÉSENTATION DU PROJET

La méthode testée vise à restaurer les berges par la génération d'une ripisylve indigène via une restauration passive (concrètement, les plantules s'implantant spontanément sont protégées du pâturage et du fauchage). En effet, le système racinaire des végétaux ligneux stabilise les berges et peut jouer un rôle de filtre des matières organiques dissoutes, seul frein connu à ce jour comme moyen de limiter les transferts de carbone organique dans les eaux de surface (GEPMO, 2007).

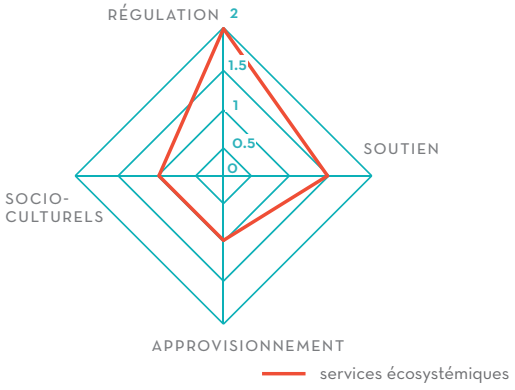
BÉNÉFICIAIRES

Le bénéficiaire principal de cette action d'ingénierie écologique en fond de vallée est le Syndicat d'Eau d'Alimentation en Eau potable du Val Saint Martin (44). Si l'objectif de 10 mg/L de COD est atteint, la filière de traitement sera plus efficace et économique : les charbons actifs verront leur durée de vie augmentée. L'implantation de cette ripisylve est aussi un support de vie pour une biodiversité indigène et adaptée en servant notamment de corridor écologique.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Le premier service attendu est le retour d'une eau de meilleure qualité.

La biodiversité se retrouve augmentée par l'aménagement d'une trame verte et bleue renforcée localement. Ce même aménagement influe sur le paysage (boisement, mise en valeur du cours d'eau). Au long terme, cet aménagement peut aussi rendre un service économique par la production d'une biomasse valorisable en énergie renouvelable ou en bois d'œuvre, si l'opération est répétée sur le bassin versant



ÉVALUATION DU PROJET

Un suivi sur cinq ans est proposé pour évaluer la recolonisation des espèces herbacées et ligneuses sur la zone où la berge a été protégée du piétinement et du pâturage du bétail par une simple rangée de fils. La bibliographie montre que les ligneux apparaissent au bout de la troisième année. Aussi, il convient de mener l'évaluation sur cinq ans : les trois ans de l'expérimentation puis au moins deux ans, le temps que la ripisylve s'installe définitivement. Les transects au nombre de douze coupent le ruisseau en son milieu et s'étendent de part en part de cinq mètres de ce cours d'eau pour l'évaluation en 3D de la zone (voir ci-dessous) et en leur milieu, des quadras (carrés de 50 cm de côté) au nombre de 120 (relevés botaniques) sont posés à la perpendiculaire du cours d'eau.

Il est probable que le surcreusement ancien du cours d'eau handicape le développement des plantes (accès à l'eau). Aussi la zone test comprend une zone où un matelas alluvial est installé pour relever le niveau de l'eau dans le cours d'eau et favoriser l'accès à l'eau pour les plants installés ou à venir sur les berges. Il s'agit aussi de réaliser un profil en long pour mesurer l'évolution du cours d'eau (zone relevée par les granulats ou non, zone modifiée par les racines des arbres) et notamment l'impact des crues (mesures à la reprise des eaux puis l'année suivant lors du tarissement des eaux).

Ce profil est complété par un profil en long et en travers très précis (maillage de dix centimètres) sur douze faciès différents (témoin, risbermes, etc.) afin d'illustrer l'évolution du milieu par des vues au-dessus des zones étudiées.

La zone est par ailleurs suivie pour sa qualité des eaux (suivi bimensuel : de sa source à son exutoire), elle est équipée sur la zone test d'une station limnimétrique et d'un pluviomètre.

Au terme de deux ans de suivi, l'évolution la plus importante est le retour d'une forte diversité de la strate herbacée. Aux quinze plantes opportunistes observées avant la protection du site, soixante espèces leur ont succédées. Comme attendu, l'implantation de nouveaux ligneux est plus long. Toutefois, les plants déjà en place de frêne (Fraxinus excelsior) et de chêne (Quercus robur) du fait de la protection ont pu cette fois poursuivre leur développement (environ 3 m de hauteur). Les peupliers (Populus) et les saules roux (Salix atocinerea) ont été contenus par une coupe sélective.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Selon les informations recueillies lors de l'évaluation, l'expérimentation pourra se reproduire dans un premier temps sur les 6 kms de bandes enherbées du périmètre de protection rapproché non arborées en berges. À moyen terme, ce retour d'expérience peut bénéficier aux nombreux bassins versants où la teneur en carbone organique dissous atteint les 10 mg/l.

FINANCEMENT

Le projet de restauration des 600 m de rives, porté financièrement par le maitre d'ouvrage Atlantic'eau, coute 4000 € HT (hors recharge en granulats dans le cours d'eau) tout en incluant 4 ans d'entretien de cet espace (sélection des arbres apparus, poursuite des activités pastorales, etc.). Il reste 6000 m de rives qui pourraient être protégées de cette façon, le cout global de l'opération serait alors de 40 000 € HT. Les relevés botaniques et cartographiques (7000 € HT/an) sont portés conjointement par Minyvel Environnement et Atlantic'eau.

La qualité de l'eau actuelle rend nécessaire la mise en place d'un traitement tertiaire pour la potabilisation de l'eau : le prototype (charbon actif) est couteux du fait de son caractère unique (évalué à 2 000 000 € d'investissement et 100 000 €/an de fonctionnement). Le retour à une qualité satisfaisante de l'eau brute (inf à 10 mg/l de COD) aura pour intérêt d'augmenter la durée de vie du procédé et diminuer ses couts de fonctionnements.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

Travaux du GEPMO (Groupe d'études sur la Pollution des Eaux par les Matières organiques), dont le rapport « Facteurs expliquant la présence de matière organique dans les eaux superficielles en Bretagne : analyse des données existantes (F.Brigand, E.Novince, T.Boiteau, G.Gruau) » qui rappelle le rôle des zones ripariennes.

ILLUSTRATIONS

Pose de la clôture

PHOTO 1

Vue aérienne des actions

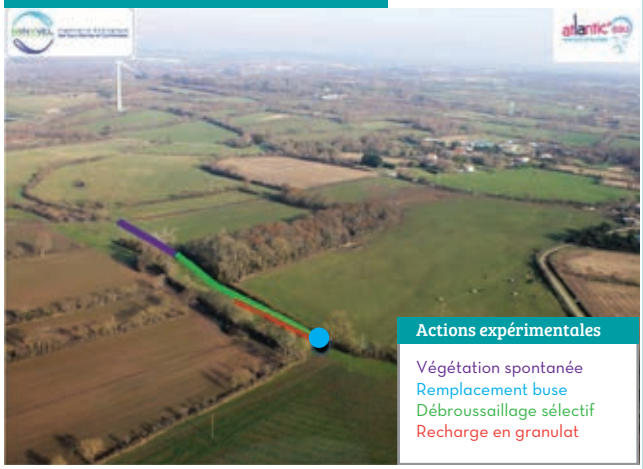
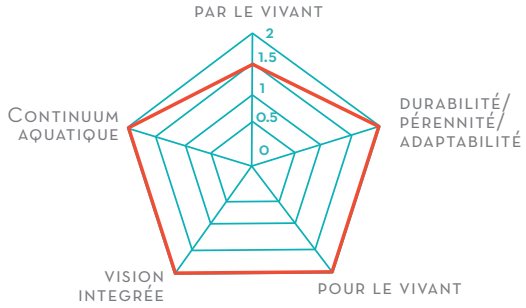


PHOTO 2

5

Réduction des transferts de pollution diffuse d'origine agricole par une zone tampon humide artificielle



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : SEINE-NORMANDIE
RÉGION : ILE DE FRANCE
DÉPARTEMENT : SEINE ET MARNE
COMMUNE : RAMPILLON

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Dans le département de la Seine et Marne, sur la zone de l'aquifère du Champigny, les terres agricoles sont drainées à hauteur de 50%. La particularité de ce secteur est une connexion directe des eaux issues du drainage agricole avec la nappe du Champigny par l'intermédiaire d'un système karstique localisé généralement dans les cours d'eau. 42 points noirs d'infiltration préférentiels ont été recensés sur le territoire du Champigny. Récupérer les eaux de drainage pour les traiter avant ré-infiltration dans la nappe constitue l'objectif du projet pour réduire les transferts de polluants d'origine agricole (nitrate et pesticides). Une démarche de co-construction impliquant tous les partenaires a été menée depuis 2005 pour aboutir à la réalisation de 4 aménagements tampons sur le bassin versant, inaugurés en 2012.

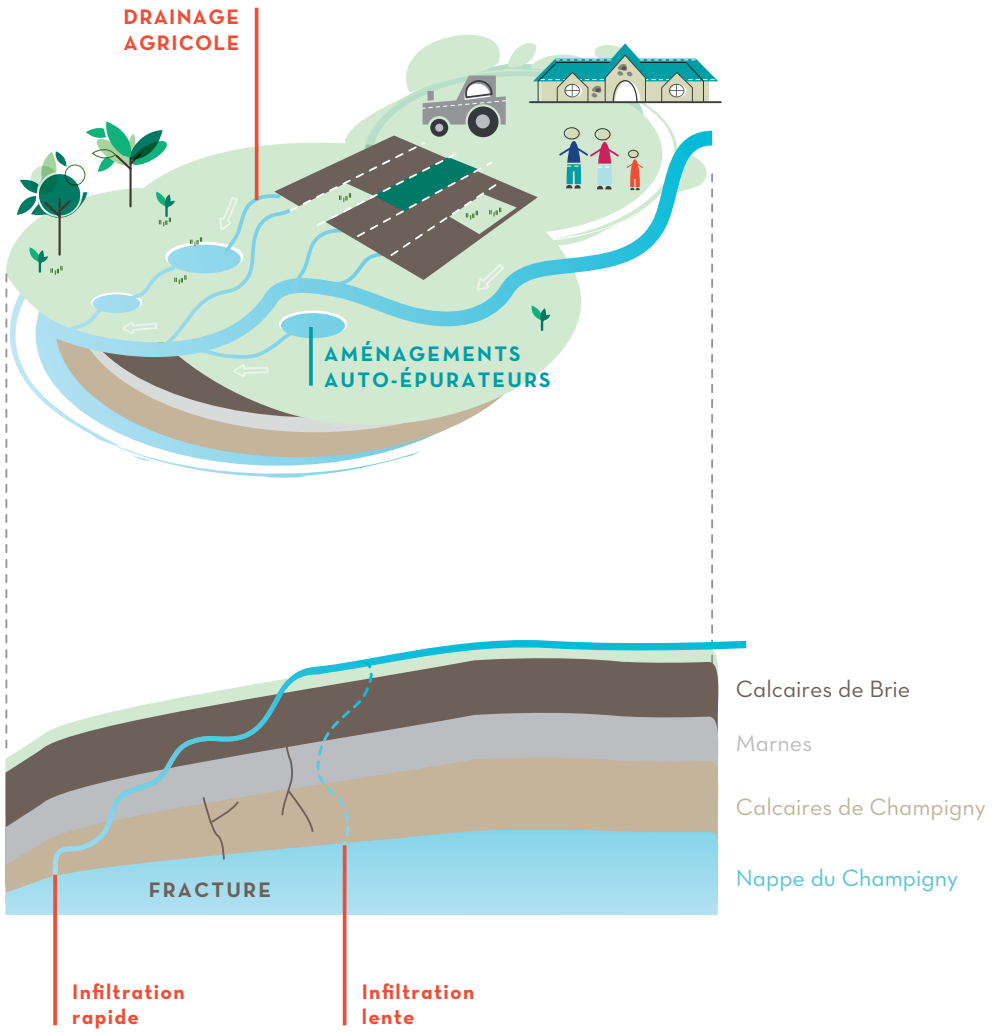
La démarche du projet s'appuie sur la complémentarité des actions pour réduire les transferts de pesticides : 1) une action pour sécuriser les aires de remplissage des pulvérisateurs ; 2) une action pour réduire l'usage des pesticides, en application du plan EcoPhyto 2018 ; et 3) une action de réduction des transferts de pesticides par l'implantation de zones tampons humides artificielles.

Une zone tampon humide artificielle (ZTHA) en milieu agricole est une interface mimant un milieu naturel (sur la base d'un bassin de rétention ou d'une mare existante, de profondeur et de hauteur d'eau variables, végétalisée ou pas) entre une source de pollution et une masse d'eau. Dans le respect des concepts d'ingénierie écologique, la zone tampon humide artificielle ne subit pas d'intervention humaine pour laisser le système évoluer selon sa propre trajectoire écologique. Seuls les processus naturels de fixation, dégradation, rétention des polluants sont mis en avant. C'est la position dans le bassin versant qui lui confère la propriété « tampon ». Des études récentes (Braskerud & Haarstad, 2003; Maillard et al., 2011; Passeport et al., 2013, Tournebize et al., 2013 et 2017),ont démontré le réel potentiel de ces systèmes tampons pour réduire les flux de pesticides (de 60% en moyenne) et de nitrate (50% en moyenne) depuis les parcelles agricoles jusqu'au versant. Dans l'optique d'un objectif de réduction des transferts de pesticides, la stratégie retenue pour intercepter le maximum de flux de pesticides dans le minimum de flux d'eau consiste à gérer hydrauliquement les arrivées d'eau à la ZTHA, située en parallèle du collecteur de drainage ou du fossé d'assainissement agricole, en manœuvrant une vanne lors des périodes post applications (novembre, à partir de fin mars).

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

Le projet a pour objectif de réduire les transferts de polluants d'origine agricole au sein d'un bassin versant drainé, remembré dans les années 1960 et 2000, dont toutes les structures du paysage (aujourd'hui appelées éléments fixes du paysage) ont été détruites. Le projet a donc pour vocation à restaurer le service écosystémique de régulation des flux en rétablissant la fonctionnalité auto-épuratrice au sein du bassin versant.

Schéma de fonctionnement hydrologique du territoire du Champigny.



Sur le versant de Rampillon, sur l'infiltration préférentielle des flux d'eau drainée de 800 000 m^3/an, l'objectif est de réduire de 75% les flux de pesticides pour être en-dessous des 0.1·g/L en concentration moyenne de flux annuel, répartie par une réduction conjointe des pratiques agricoles et des transferts.

MOTEUR DU PROJET

En collaboration avec AQUI'Brie et avec les soutiens de l'Agence de l'Eau Seine Normandie et du département de Seine et Marne, le site pilote de Rampillon a fait l'objet d'un développement spécifique entre acteurs locaux (incluant la collectivité, les agriculteurs) et chercheurs, pour constituer un canevas méthodologique, reproductible plus largement à l'ensemble des points noirs.

La problématique qui intéressait AQUI'Brie portait sur la mise en œuvre d'une opération pilote de protection de la qualité de l'eau de recharge par infiltration directe à la nappe de Champigny, par l'intermédiaire des zones d'engouffrement. À ce titre, AQUI'Brie a proposé à Irstea de travailler en étroite collaboration sur le bassin versant de Rampillon, en tant qu'exemple représentatif des 42 zones d'engouffrement réparties sur l'ensemble du territoire de la Seine et Marne.

PRÉSENTATION DU PROJET

Les caractéristiques du bassin versant sont classiques en Seine et Marne. D'une superficie de 355 ha totalement drainé, la moyenne des écoulements de surface se ré-infiltrant dans l'aquifère s'élève à 800 000 m^3 par an. Après une phase de diagnostic partagé entre tous les acteurs, la réflexion sur l'implantation des ZTHA a abouti à la construction en 2010 de 4 ouvrages répartis sur le bassin versant en se basant non seulement sur des aspects techniques mais aussi socio-économiques. L'ensemble des ZTHA représente 0,25% de la surface contributive, la surface de chaque ZTHA varie de 2 000 à 14 000m^2. 3 ZTHA concernent directement des agriculteurs qui restent maîtres d'ouvrage et 1 ZTHA gérée collectivement par le Syndicat du Ru d'Ancoeur. Après deux années de suivi métrologique de la performance et écologique de la ZTHA, les conclusions opérationnelles montrent une efficacité réelle réduction de 30% des concentrations en nitrate et de 50% pour les pesticides) avec une forte variabilité selon la saison et les épisodes drainants. Par exemple, la rétention de pesticides comme Napropamide, Métazachlor, Epoxyconazole s'élève entre 60 et 100%, alors que des molécules comme bentazone, boscalid, propyzamide, imidaclopride ou chlorotoluron, la rétention est inférieure à 40%. L'efficacité est fortement dépendante des propriétés des molécules, des périodes de transfert et surtout du temps de séjour de l'eau dans la ZTHA.

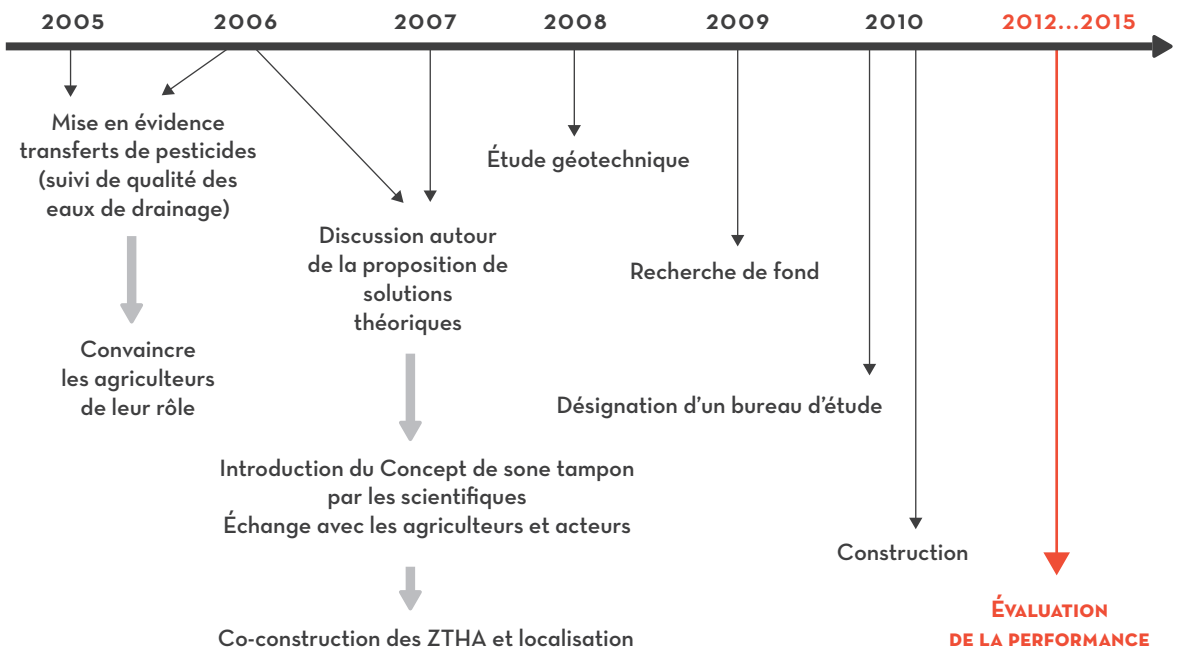
La méthodologie et les étapes significatives de l'opération ont été les suivantes :

- À partir de 2005, commande à IRSTEA d'une synthèse bibliographique et sensibilisation des acteurs à la problématique (10 agriculteurs, 1 commune, 1 syndicat de rivière [19 communes], un grand nombre de propriétaires foncier) – début de la concertation
- 2006-2007 Diagnostic hydrologique - cartographie du réseau de drainage, propositions et discussions de solutions d'interception et de traitement des flux polluants. Co-construction du projet entre les parties prenantes

Solution retenue : Série de 4 bassins auto-épurateurs en dérivation du ru ou du réseau de drainage

- 2008 Étude pédologique complémentaire (profil pédologique sur les 3 sites de réalisation d'aménagements) – Dimensionnement des bassins (réalisation par un bureau d'études) – Validation des choix techniques
- 2008-2009 Validation du projet, constitution des dossiers administratifs (dossiers loi sur l'eau) et recherche de financement
- 2010-2011 Réalisation du projet - Terrassement, végétalisation, mise en eau – Réalisation deux étés successifs – végétalisation hiver-printemps suivants
- 2012-2015 Évaluation scientifique par IRSTEA, financée par AESN
- 2016-2019 Évaluation long terme par Irstea, financée par ONEMA
- 2016-2020 Projet PSDR 4 BRIE'EAU, piloté par Irstea, associer les enjeux Eau et Biodiversité

CHRONOLOGIE DES ÉTAPES DEPUIS LES PREMIERS ÉCHANGES EN 2005 À L'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE EN 2015.



BÉNÉFICIAIRES

Les objectifs et les retombées recherchés par un tel aménagement sont multiples :

Pour le bénéficiaire principal, le gestionnaire de la ressource en eau

- Réduire les transferts de pesticides entre les parcelles agricoles et la zone d'engouffrement,
- Réduire les transferts de nitrate entre les parcelles agricoles et la zone d'engouffrement;

Pour le bénéficiaire secondaire, la collectivité, les agriculteurs, les citoyens

- Augmenter la valeur paysagère et mettre en valeur le rôle des éléments fixes du paysage pour réduire les transferts de polluants diffus,
- Augmenter la valeur écologique du site en améliorant la qualité des habitats naturels par la création d'espaces diversifiés humides et en permettant le développement de végétaux variés et typiques des milieux aquatiques. Le suivi de 7 taxons des ZTHA montre une présence, sur 1ha de ZTHA restaurées, de 60% de la biodiversité totale recensée à l'échelle du territoire par les relevés du CETTIA Seine et Marne.

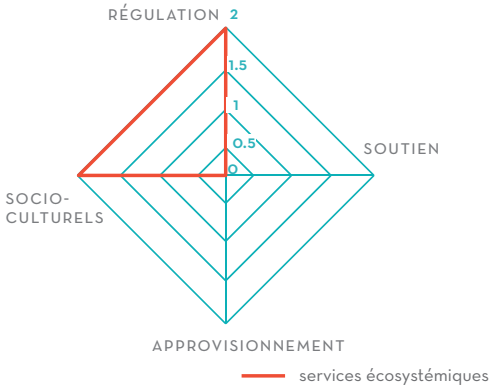
Pour le bénéficiaire secondaire, scientifique, services de l'état

- Site de démonstration et de référence national de la faisabilité d'une ZTHA, en temps qu'exemple d'ingénierie écologique : une centaine de visites par an de groupe de la profession agricole (agriculteurs, animateurs, coopératives, industriels phytopharmaceutiques, administration, publics). Depuis 2012, la fréquentation moyenne annuelle des aménagements s'élève à 100 personnes constituées majoritairement par la profession agricole, les acteurs de l'eau, es citoyens simples visiteurs n'étant pas comptabilisés.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les services concernés par les actions de ce projet sont des services :

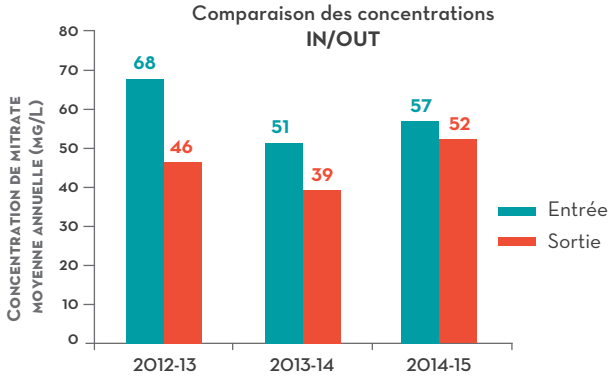
- de régulation : maintien de la qualité de l'eau (+++), favorisant la biodiversité (faune, flore) (+++),
- socio-culturels : amélioration de la qualité paysagère, pédagogiques et touristiques (+++).



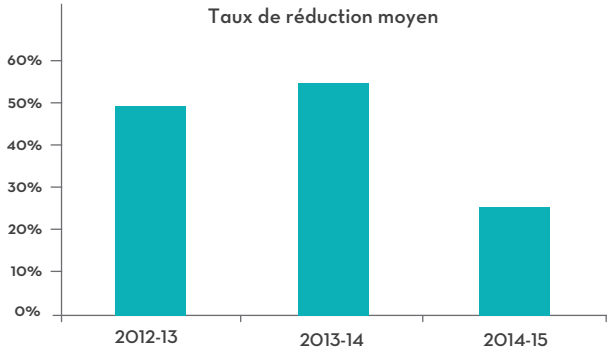
ÉVALUATION DU PROJET

- Suivi continu des débits et qualité de l'eau (sonde haute fréquence Nitrate et Turbidité ; prélèvements composites hebdomadaires pour le suivi pesticides) de la ZTHA Aval
- Station d'Eddy Covariance pour le suivi de l'évapotranspiration de la ZTHA
- Expérimentation des émissions de gaz à effet de serre (CH4, N2O, CO2)
- Expérimentation de quantification du potentiel de dénitrification
- Suivi de 7 taxons de biodiversité

COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ENTRÉE (IN) / SORTIE (OUT) EN NITRATE (mg/L)



TAUX MOYEN DE RÉDUCTION DES FLUX DE PESTICIDES (BASÉS SUR 60 MOLÉCULES) ENTRE L'ENTRÉE ET LA SORTIE



SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

- Suivi long terme de l'efficacité de la ZTHA (convention Irstea-ONEMA), pour évaluer les mécanismes de relargage et de trajectoire écologique (entretien, gestion écologique d'une ZTHA)
- Projet PSDR 4 : Brie'Eau, déploiement des ZTHA à l'échelle d'un captage Grenelle, en testant l'hypothèse de croisement des enjeux Eau et Biodiversité pour favoriser le dialogue territorial et leur acceptation

FINANCEMENT

Le coût global est élevé du fait du choix des parties prenantes de prendre toutes les garanties technique et administrative à chaque étape du projet. Par ailleurs, les études et travaux ont un coût plus élevé en Ile de France.

- Études préalables : étude géotechnique 15 650 €/ dossiers loi sur l'eau 14 400 €
- Acquisition foncière : 26 927 €
- Travaux : 233 000 € réalisation des ZTHA 1, 2 et 3 et restauration d'une mare

Soit environ un coût ramené à l'hectare cultivé de 816€/ha, soit environ l'équivalent de 5 années de subvention agricole PAC.

- Coût entretien :

ZTHA 1 aval : 1 000 € /an (par entreprise 2 fauches)

ZTHA 2 et 3 agriculteur : 1 à 2 fauches par an (si possible exportation) env. 5-7€/100 mL ou entre 30 et 70€/ha.

Fauchage des hélophytes : 1 300 € tous les 3 à 5 ans

Curage de la partie amont des bassins : 2 000 € tous les 5 à 7 ans voire 10 ans

- Partenaires financiers : Agence de l'Eau Seine Normandie (Etudes et Travaux) / Syndicat du Ru d'Ancoeur (foncier et entretien) / Conseil Départemental de Seine et Marne (entretien)
- Maître d'ouvrage : Agriculteurs et Syndicat du Ru d'Ancoeur
- Maîtres d'œuvre : CIAE
- Réalisation des travaux : SETHY
- Partenaires techniques : AQUI'Brie / Irstea

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

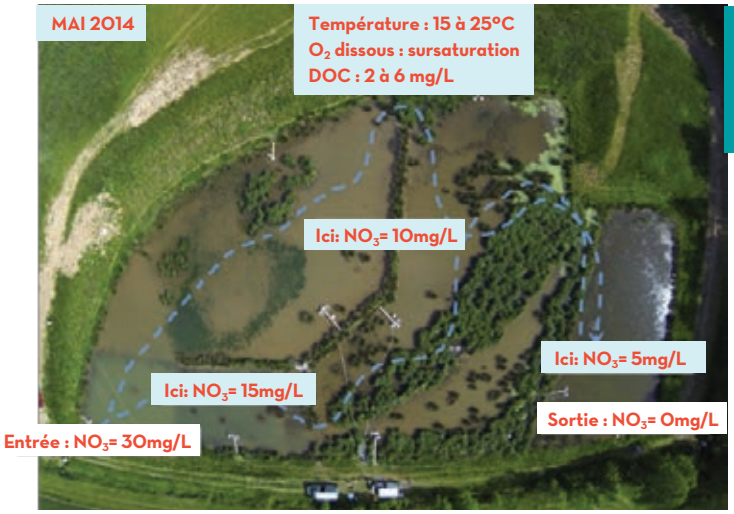
Tournebize, J., C. Gramaglia, F. Birmant, S. Bouarfa, C. Chaumont and B. Vincent (2012). "Co-design of constructed wetlands to mitigate pesticide pollution in a drained catch-basin: a solution to improve groundwater quality." Irrigation and Drainage 61: 75-86.

Tournebize J., Chaumont C., Molina S., Berthault D. 2015. Guide technique à l'implantation des zones tampons humides artificielles (ZTHA) pour réduire les transferts de nitrates et de pesticides dans les eaux de drainage : cas du département de la Seine-et-Marne. Irstea – DDT 77, ONEMA, 35 p.

Tournebize, J., C. Chaumont, E. Passeport and U. Mander (2015). "Efficacité des zones tampons humides artificielles pour la dissipation des nitrates et des pesticides dans un contexte de drainage agricole." Techniques Sciences Méthodes: 21

Tournebize, J., Chaumont, C., Mander, Ü., 2017. Implications for constructedwetlands to mitigate nitrate and pesticide pollution in agricultural drained watersheds. Ecol. Eng. 103, 415–425.

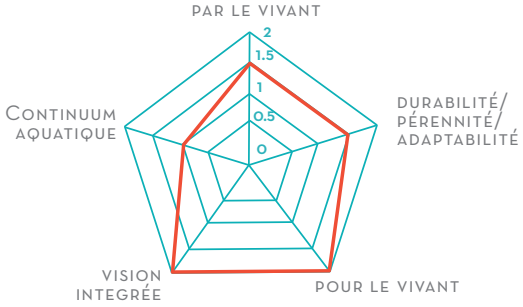
ILLUSTRATIONS



ZTHA de Rampillon (Bois des Gouffres : suivi de la concentration en nitrate pendant la période du 11 au 18 mai 2014

6

Création d'une zone accélératrice de biodiversité autour d'une station d'épuration



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : SEINE NORMANDIE
RÉGION : ALSACE-CHAMPAGNE-ARDENNE-LORRAINE
DÉPARTEMENT : MARNE
COMMUNE : CHÂLONS-EN-CHAMPAGNE

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

La Zone accélératrice de biodiversité de la station d'épuration (STEP) de la Communauté d'Agglomération Châlons-en-Champagne Agglo est un aménagement écologique situé à Châlons-en-Champagne, en bordure de la rivière Marne. Elle est alimentée par les eaux usées traitées en sortie de la station d'épuration.

La STEP est éloignée des habitations et des zones de promenade. Elle est à côté de la déchetterie. La visite de la zone accélératrice de biodiversité prend son sens dans un parcours de visite de la STEP (pris sur RDV) mais ne sera pas accessible au public en libre accès.

Dans le cadre d'un contrat de délégation de service public pour le compte de la Communauté d'Agglomération Châlons-en-Champagne Agglo, Veolia a proposé d'entreprendre une démarche volontariste afin de préserver la biodiversité alluviale de la Marne. Cette démarche vise avant tout à sensibiliser le public à la nécessité de préserver la ressource en eau, les espèces et les milieux naturels endémiques.

Ce projet a été construit en suivant 3 volets :

- Volet 1 : Connaitre le contexte et l'environnement : diagnostic et esquisse, études approfondies et pilotage d'une stratégie biodiversité en collaboration avec le bureau d'études SINBIO et la collectivité.
- Volet 2 : Protéger et développer l'existant : mise en place d'une gestion différenciée, aménagement de zones de protection de la biodiversité
- Volet 3 : Informer et sensibiliser avec des actions auprès du grand public et la mise en place de certifications volontaires.

La zone comprend une succession de milieux humides et en eau, à profondeurs variables, propices au développement de la vie aquatique animale et végétale. Les pentes des berges sont réalisées en pente douce. La sinuosité du tracé et la diversité de la microtopographie tentent de reproduire ce qui est observé dans les milieux naturels locaux. Les modelés de terrains rectilignes et uniformes, ainsi que les pentes raides, sont donc exclus. Cet aménagement, bien qu'artificiel, respecte la typologie du milieu environnant et a sa place écologiquement dans le fonctionnement naturel du lit majeur de la Marne.

DYSFONCTIONNEMENTS DU MILIEU AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

Initialement occupé par un boisement, le site a fait l'objet d'une forte artificialisation à partir de 1950. En 2006, avec la construction de la nouvelle station d'épuration (plus compacte) et la destruction de l'ancienne, un espace a été libéré en bordure de la Marne. Ce projet de zone accélératrice de biodiversité permet donc de valoriser cet espace anthropisé et de restituer le caractère proche d'un milieu naturel, en l'occurrence un milieu humide.

Aussi, il a clairement pour objectifs d'améliorer l'image, pas toujours positive, des installations de traitement des eaux usées auprès du grand public, en valorisant la qualité du rejet. Il vise également à agir sur le comportement des usagers via une démarche de sensibilisation, en expliquant l'influence de leurs gestes au quotidien sur la qualité de l'eau et des milieux aquatiques.

MOTEUR DU PROJET

Dans le cadre d'un appel d'offre pour le contrat de gestion du service d'assainissement de la Communauté d'Agglomération, Veolia a proposé à la collectivité ce projet de zone accélératrice de biodiversité sur le rejet de la station d'épuration. La collectivité, impliquée sur le contrôle des rejets et sur l'éducation à l'environnement, a souhaité le mettre en œuvre en mentionnant sa volonté claire de sensibiliser le grand public, la station faisant l'objet de nombreuses visites chaque année et étant utilisée comme un outil de sensibilisation à la protection des ressources en eau et de l'environnement.

Ainsi, dans un premier temps, un diagnostic écologique a été réalisé pendant 3 mois afin de caractériser finement le site et tenir compte de ses contraintes :

- implantation en bord de Marne, sur le site de l'ancienne station d'épuration détruite en 2006, avec de nombreuses fondations conservées de l'ancien génie civil.
- implantation en zone inondable, avec toutes les contraintes techniques et réglementaires que cela comporte.
- cohérence avec les zones humides inondables dans le lit majeur de la Marne.
- stations de Renouée du Japon purgées lors des travaux, selon une méthodologie validée par la Police de l'Eau.

L'étude a également caractérisé le milieu naturel environnant et, via la modélisation 3D du terrain visé, a permis de construire les plans du site en cohérence avec ce milieu local.

Cet aménagement rentre dans le cadre contractuel de la certification ISO 14001 de la station d'épuration de Chalons en Champagne, exploitée par Veolia Eau - Centre Bourgogne Champagne-Ardenne, et dans le cadre de l'Agenda 21 de la Communauté d'Agglomération Châlons-en-Champagne Agglo.

PRÉSENTATION DU PROJET

La zone de biodiversité comprend les aménagements suivants :

- Prise d'eau traitée en aval du canal de comptage de la STEP, à un débit constant de 250 m^3/h, sans arrêt de la station d'épuration.
- Création d'un ruisseau au tracé sinueux, alternant les faciès d'écoulements et les pentes de berges plus ou moins douces et favorables à l'implantation d'une végétation variée typique de milieux humides.
- Terrassement de trois mares et dépressions humides de profondeurs comprises entre 10 et 80 cm, sur une surface de 1700 m^2.
- Création d'une chute d'eau en fin de zone permettant une observation dynamique de l'eau traitée avant rejet dans la rivière.
- Végétalisation du site par implantation d'espèces hélophytiques locales et rustiques en berges, et plantations en bosquets d'espèces ligneuses afin de conserver un paysage ouvert.

Les espèces végétales ont été choisies selon les critères suivants : espèces autochtones, typiques de milieux humides, performantes pour la stabilisation des berges et intéressantes paysagèrement.

Liste de plantes hélophytes : Phragmite australis, Carex acutiformis, Carex gracilis, Carex riparia, Deschampsia caespitosa, Epilobium hirsutum, Eupatorium canabinum, Filipendula ulmaria, Iris pseudacorus, Lychnis flos-cuculi, Lysimachia vulgaris, Lythrum salicaire, Mentha aquatica, Molinia coerulea, Phalaris arundinacea, Saponaria officinalis, Scirpus lacustris

Liste des végétaux ligneux plantés : Salix viminalis, Salix prupurea, Sambucus nigra, Euonymus europaeus, Corylus avellana, Rosa canina, Viburnum opulus, Cornus sanguinea.

Aucune espèce animale n'est introduite sur la zone de biodiversité, le but étant de créer des milieux propices à l'installation spontanée d'espèces typiques des milieux humides locaux (insectes, batraciens, oiseaux, ...).

Les travaux ne modifient pas le fonctionnement hydraulique du secteur lors des périodes d'inondations.

En complément de cette dimension écologique, la Communauté d'Agglomération Châlons-en-Champagne Agglo a souhaité insister sur la dimension pédagogique du site. Il est ainsi prévu d'aménager :

- Un sentier balisé, afin que le public puisse accéder aux différents milieux ainsi reconstitués.
- Une palissade d'observation permettant d'observer la faune.
- Le réaménagement d'un ancien silo avec une plateforme en bois et des panneaux pédagogiques (avec le soutien de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie).

Les centaines de personnes se rendant annuellement sur la station d'épuration (272 visites en 2014, 174 visites ne 2015) peuvent ainsi compléter leur visite par l'observation de la faune et de la flore qui auront trouvé leur place sur le site et se documenter sur le cycle de l'eau et le milieu naturel environnant. Dans cette optique, un parcours pédagogique a été installé sur le site. Composé d'espaces d'observation et de panneaux explicatifs, il est accessible aux collaborateurs de Veolia (ceux présents sur le site et visiteurs) et accueille également les partenaires locaux (écoles, riverains, collectivités locales, associations, grand public) grâce à des visites régulières (nombreuses visites d'écoles, semaine du Développement Durable, Fête de la Nature, temps périscolaires...).

Les équipes locales de Veolia Eau - Centre Bourgogne Champagne Ardenne animent les visites et entretiennent le site suivant un ensemble de pratiques préconisées par SINBIO permettant une protection optimale de la biodiversité : gestion différenciée des espaces verts, mise en place de bonne pratiques d'entretien et en particulier pour le faucardage, valorisation du patrimoine arboré, création de gîtes pour la faune. L'entretien du site est intégré à l'offre globale de la DSP et n'a pas été isolé. Cependant l'entretien du site initial était déjà à notre charge. Les coûts ne devraient pas significativement évoluer avec ce nouvel aménagement. L'entretien est sous-traité à un prestataire spécialisé (ESAT local).

BÉNÉFICIAIRES

Les principaux bénéficiaires sont les usagers, par le biais des éléments suivants :

- Pédagogie autour de la biodiversité et du cycle de l'eau
- Influence sur leur geste au quotidien / actions sur le comportement des usagers
- Bénéfices sur l'image du service public avec l'illustration du bon fonctionnement de l'installation.

Les bénéficiaires secondaires sont les suivants :

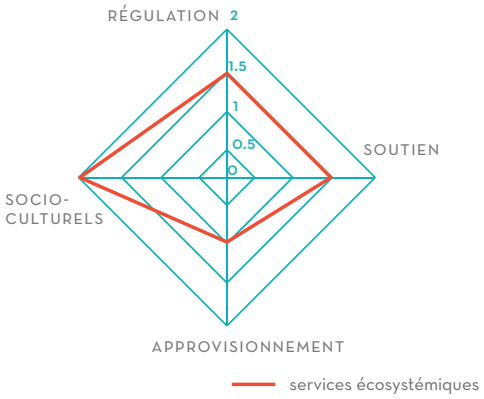
- Communauté d'Agglomération : satisfaire une volonté politique d'exemplarité et de transparence vis-à-vis des administrés
- Écologie : transformation, en 2016 d'un terrain initialement relativement pauvre sur le plan écologique en milieu humide, attractif pour la faune locale, car situé à proximité de la Marne (trame verte et bleue). L'implantation de la faune locale est constatée visuellement (insectes, oiseaux, canards, cervidés). Un inventaire de la faune par un bureau d'études spécialiste est envisagé, afin d'objectiver ce constat.
- Social : avec la volonté d'associer le milieu associatif local, des entreprises et bureaux d'études du Grand Est pour les suivis en matière de biodiversité. Le site accueille surtout des scolaires, qui sont les premiers bénéficiaires de cet aménagement.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

L'analyse des services écosystémiques aide les gestionnaires, en coordination avec les acteurs locaux, à orienter les modes de gestion d'un site. Elle permet, par la compréhension du fonctionnement écologique, de définir les enjeux et d'élaborer un programme opérationnel aux objectifs bien définis.

Les services rendus par les actions de ce projet sont des services :

- de régulation : tamponnement de l'eau usée traitée, qualité de l'eau (++)
- de soutien : patrimoine vivant, réservoir d'une biodiversité spécifique, enrichissement des sols (++)
- d'approvisionnement : eau douce (irrigation) (+)
- socio-culturels : patrimoine culturel, activités éducatives, paysage (+++).



ÉVALUATION DU PROJET

• Veolia a piloté la réalisation d'une étude d'Inventaires naturalistes, dans le cadre du projet de développement d'une ZRV sur 2 sites pilotes pour la stratégie nationale de la biodiversité. Les écologues ont caractérisé le site, établi un protocole d'inventaire dédié aux ZRV, et réalisé les inventaires de référence (avant aménagement) : inventaires floristique & habitats, odonates, chiroptères et rhopalocère. Le protocole d'inventaire permet à la collectivité et à Veolia d'évaluer, grâce à des inventaires périodiques, le bénéfice des travaux d'aménagement au regard de la biodiversité, et de tirer des enseignements sur l'intérêt relatif des différents d'aménagements. La démarche vise également à mieux suivre l'évolution des espèces envahissantes (Renouée du Japon) et l'efficacité des mesures d'éradication et de prévention sur l'ensemble du site.

• Le nombre de visites sera quantifié et la volonté du groupe est d'inscrire cette visite à l'office du tourisme local.

• Une proposition de suivi post-travaux sera faite à la CAC. À l'heure actuelle cela n'est pas inclut dans le projet. Elle pourrait comprendre : une visite annuelle pendant 3 ans. L'objectif est de constater l'évolution du site, et en particulier du développement de la végétation, et d'adapter, le cas échéant, les mesures de gestion et d'entretien.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Le projet a été livré début 2017. La collectivité conçoit actuellement des outils pédagogiques adaptés. Le plan de gestion et d'entretien prédéfini pourra être adapté annuellement sur les conseils du concepteur, sur la base de l'évolution réelle du site. Cette phase transitoire est programmée sur trois ans.

FINANCEMENT

Le coût total du chantier est de 220.000€ H.T., financés par la Communauté d'Agglomération de Châlons-en-Champagne Agglo et soutenu par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Le projet a été entièrement financé par la collectivité et son entretien est compris dans le coût d'exploitation du contrat de l'installation.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

Jost G. (SINBIO), Trassard E., Villa L. (VEOLIA), Communauté d'Agglomération de Châlons-en-Champagne (2015) Etude pour la création d'un aménagement écologique en aval de la station de traitement des eaux usées à Châlons-en-Champagne.

Jost G (SINBIO)., Arama G. Fehr R. (VEOLIA), Communauté d'Agglomération Porte de France - Thionville. (2015) Etude pour la création d'une zone de biodiversité en aval de la station de traitement des eaux usées à Thionville.

Projet AZHUREV, Reims Métropole (2015) Étude pour l'Aménagement d'une Zone Humide Artificielle à Reims pour l'Épuration et le Vivant en aval de la station d'épuration de l'agglomération rémoise.

TSM n°9 - 2015 : Jost G., Ricard B., Fraisse T., Fève H., Jund S. Veyrat A-C., Pointud C., Ingénierie écologique : évolution de la biodiversité et entretien d'un milieu aquatique artificiel finalisé en 2010, destiné à la gestion d'eaux pluviales urbaines. Revue TSM n°9 - 2015 et Guide Astee Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques - Pourquoi ? Comment ? (2013).

Réhabilitation d'une zone humide pour lutter contre l'eutrophisation d'un lac : cas du lac d'Aydat (63). Guide Astee Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques - Pourquoi ? Comment ? (2013).

ILLUSTRATIONS

Plan masse de la Zone de Biodiversité de la STEP de Châlons-en-Champagne.

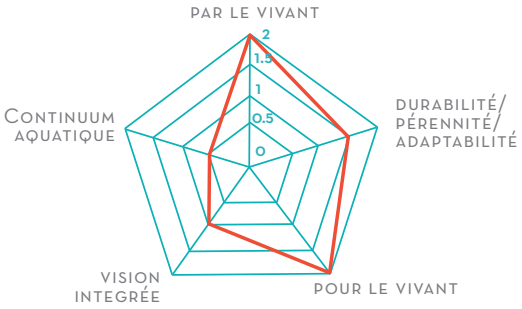
PHOTO 1

Vu de la station d'épuration de la Communauté d'Agglomération de Châlons-en-Champagne Agglo.

PHOTO 2

7

Réhabilitation et aménagement d'une zone humide



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

BASSIN : LOIRE-BRETAGNE
RÉGION : AUVERGNE-RHÔNE-ALPES
DÉPARTEMENT : PUY-DE-DÔME
COMMUNE : AYDAT

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

Le lac d'Aydat, plus grand lac naturel d'Auvergne avec une superficie d'environ 60 hectares pour une profondeur et maximale de 15 m, est aujourd'hui malheureusement réputé pour l'accélération de son eutrophisation, c'est-à-dire le développement excessif d'algues dû à l'enrichissement de l'eau par des éléments nutritifs (azote, phosphore). Ce phénomène naturel, accéléré par l'Homme, pourra devenir à terme préjudiciable pour la qualité de l'eau, le tourisme et tout l'écosystème aquatique. De nombreux usages récréatifs et touristiques ont lieu sur le lac : pêche, baignade surveillée, randonnée, nautisme (canoë, pédalo, kayak, VTT).

Aménagement inscrit dans le contrat de rivière « Vallée de la Veyre – Lac d'Aydat », l'ancienne zone humide du Lac d'Aydat, naturellement présente jusque dans les années 1960-1970 à l'entrée de la rivière « Veyre » dans le Lac, a pu revoir le jour. Après une longue phase de préparation et de concertation avec de multiples acteurs, les travaux de réhabilitation de la zone humide du lac d'Aydat, portés par le Syndicat Mixte des Vallées de la Veyre et de l'Auzon (SMVVA) ont démarré à la fin du mois de Septembre 2011 pour s'achever au mois de Mai 2012.

L'objectif principal de l'aménagement est la filtration naturelle de l'eau de la Veyre, alimentant le Lac, par sédimentation et phyto-épuration afin de limiter les apports de phosphore dans le Lac d'Aydat ;

Trois autres objectifs ont été visés :

- Augmenter la valeur écologique du site en améliorant la qualité des habitats naturels par la création d'espaces diversifiés humides et en permettant le développement de végétaux variés et typiques des milieux aquatiques ;
- Augmenter la valeur paysagère et mettre en valeur le site à l'aide d'aménagements destinés au « tout public » permettant la découverte du site. Ce site est fréquenté, tous les ans, par des écoliers, des étudiants, des professionnels en formation et des milliers de touristes ;
- Créer un pôle environnemental accueillant la biodiversité à l'amont du Lac d'Aydat en recréant une zone humide disparue en alliant écologie, tourisme et biodiversité.

DYSFONCTIONNEMENTS AUXQUELS LE PROJET SOUHAITE RÉPONDRE

Le rôle principal du complexe « zone humide » est celui d'une zone « tampon » c'est-à-dire d'épurer les eaux de « La Veyre » grâce à la présence de bassins de sédimentation et d'une végétation adaptée. L'apport d'éléments nutritifs, issus de l'activité humaine, en partie responsables de l'accélération de l'eutrophisation du lac, (détérioration d'un écosystème aquatique par la prolifération de certains végétaux) sera donc réduit. Cette évolution accélérée par l'homme est préoccupante pour la vie locale, la ressource en eau et les nombreux usages (pêche, canotage, zone de baignade,...).

MOTEUR DU PROJET

Une zone humide était autrefois présente à l'entrée du Lac d'Aydat. Elle filtrait naturellement les eaux de la rivière (la Veyre) qui alimentent le lac. Suite à l'arrêt du pâturage sur la zone, le milieu a repris son évolution naturelle et une saulaie s'est progressivement formée sur le site. Dans les années 1970, la commune d'Aydat a décidé de combler la zone humide sur 1m environ pour y réaliser des aménagements urbains (un terrain de football, un parking, une aire de jeux et un point de collecte de déchets). Parallèlement, le lit de la Veyre a été recalibré avec l'aménagement d'un bras de décharge en dérivation (bras sud) du lit principal (bras nord).

Le projet prévoyait initialement la mise en place d'une roselière mono-spécifique pour améliorer la qualité de l'eau du lac. Afin d'intégrer un volet biodiversité au projet, l'idée de la roselière a finalement été abandonnée au profit d'une zone humide diversifiée.

Ainsi, les travaux de réhabilitation ont consisté principalement à du terrassement en déblais à l'entrée du Lac d'Aydat pour retrouver et remettre en fonctionnement la zone humide naturellement présente auparavant. Deux bassins de sédimentation ont été formés. Ensuite des cheminements et des aménagements bois (platelage, ponts, observatoires naturalistes) ont permis de rendre accessible à tous ce milieu redevenu naturel. En prenant en compte ces différentes zones, on parle du complexe « zone humide » du Lac d'Aydat.

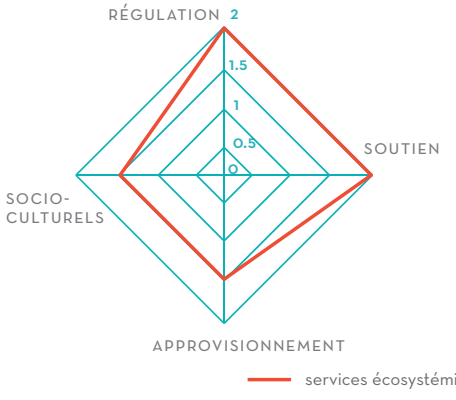
BÉNÉFICIAIRES

- Le gestionnaire du site de baignade pour la qualité de l'eau.
- Les agriculteurs qui vendent leur fromage à la ferme, la commune, la communauté de communes, le département, la région pour toutes les retombées touristiques.
- Les associations et naturalistes.
- La recherche par les universités.
- Les élus, les touristes, écoles, collèges, universités et professionnels lors de formations.

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les services concernés par les actions de ce projet sont des services :

- Régulation : maintien de la qualité de l'eau (+++) (qualité de l'eau / climat / inondations / biodiversité)
- Soutien : favorisant la biodiversité (Faune, Flore) (+++)
- Approvisionnement : refuge et nourriture pour la biodiversité
- Socio-culturel : aménagements pédagogiques et touristiques, amélioration de la qualité paysagère (+++) (éducatif, sensibilisation, paysage)



PRÉSENTATION DU PROJET

La zone humide du Lac d'Aydat s'étend sur une superficie d'environ 2.5 ha et elle est structurée de la façon suivante :

- Deux lagunes de sédimentation (0,5 ha) ;
- Une zone humide semi-naturelle (1,6 ha) ;
- Une zone humide libre (Lisière en Saulaie + banquettes sur le Lac). (0,5 ha)

Les lagunes de sédimentation servent à piéger les matières solides chargées en nutriments, elles alimentent ensuite la zone humide semi naturelle. Cette zone est composée de 9 mares qui constituent des lieux de reproduction et d'attraction pour la faune. Deux zones de frayère à brochets ont également été installées.

Une vanne a été positionnée à l'entrée de la première lagune. Cette vanne d'1,80m de large, ouverte sur 40 cm laisse passer un débit maximum de 1m^3/s. Lors d'une crue décennale (5m^3/s), un bras de décharge situé au sud des bassins se mettent automatiquement en eau et l'acheminent directement dans le lac.

L'ensemble de cette zone permettra aussi de recréer un milieu riche et important pour toutes les phases de bon développement de la biodiversité (faune, flore) du lac.

Afin de pouvoir comprendre le fonctionnement et profiter des atouts d'une telle zone humide, des aménagements « touristiques et naturalistes » ont été mis en place. En effet, un cheminement de 230 m de pontons bois parsemé de passerelles et observatoires sur mares ou ornithologiques rendent la ballade du tour du lac ludique et agréable. L'essence de bois retenue pour ces aménagements est le Mélèze des Alpes, non traité chimiquement (pour respecter la qualité des eaux) et naturellement imputrescible.

De multiples espèces (oiseaux, insectes, amphibiens, libellules, papillons, mammifères, poissons...) peuvent désormais être observées sur ce milieu nouvellement recréé.

Bien que non labellisée « Tourisme et Handicap », cette zone reste accessible aux personnes à mobilité réduite.

La réalisation d'un tel chantier a fait l'objet de nombreuses demandes administratives pour respecter les réglementations notamment environnementales (déclaration d'utilité publique, dossier loi sur l'eau...).

Les terrains du site de travaux de la zone humide ont été mis à disposition par la communauté de communes Les Cheires dans le cadre de leur compétence touristique sur le Lac d'Aydat.

Le délai de réalisation du chantier a été d'environ 6 mois.

Juste 3 km en amont de la zone humide, comme le prévoyait le contrat de rivière, la Veyre a été reméandrée sur 500m à une distance de 5km en amont du lac. Les cours d'eau amont du Lac ont été équipés de points d'abreuvements, de clôtures adaptés. Ce projet de reméandrage est en totale adéquation avec la zone humide. À savoir que d'autres travaux de reméandrage sur le même secteur plus en amont sont encore projetés pour la fin d'année 2018.

D'autres actions ont également été menées à l'échelle du bassin versant afin de diminuer les apports de polluants principalement d'origines agricole et domestique. Des travaux d'optimisation de l'assainissement collectif ont donc été entrepris et différents dispositifs permettant d'optimiser les pratiques agricoles (Mesures Agro-Environnementales Territoriales, Plan Agro-Environnemental et Climatique) ont été mises en place afin de réduire les pollutions diffuses dues aux effluents d'élevage bovins. Plus de 100 exploitations se sont engagées sur les 130 concernées et un technicien agricole a été embauché.

ÉVALUATION DU PROJET

Le complexe de la zone humide du lac d'Aydat fait l'objet de suivis afin d'évaluer à terme l'efficacité de l'aménagement réalisé en 2012 et voir son évolution. Le but est également de pouvoir, toujours à terme, mettre en place un plan de gestion pluriannuel sur le complexe zone humide en croisant ses 2 objectifs principaux, à savoir :

- Qualité de l'eau : Limiter les apports de nutriments dans le Lac d'Aydat ;
- Biodiversité : Augmenter la valeur écologique du site en améliorant la qualité des habitats naturels par la création d'espaces diversifiés humides et en permettant le développement de la biodiversité « animale et végétale » variée et typique de ces milieux aquatiques.

Le suivi du complexe de la zone humide du lac d'Aydat consiste ainsi en :

- un suivi de la qualité de l'eau transitant dans le complexe (mesures physico-chimiques) dont l'objectif principal est d'évaluer l'abattement en éléments nutritifs opéré par le complexe ;
- et un suivi écologique (suivi de la biodiversité : faune et flore) pour évaluer le potentiel d'accueil du site et son évolution. Il ne s'agit pas que d'obtenir de "simples" inventaires mais aussi d'évaluer le complexe à partir de bio-indicateurs de la qualité de l'eau et de formuler des préconisations de gestion.

Un protocole de suivi a été validé début 2013 par le groupe de travail créé à cet effet. Les prélèvements sont programmés en entrée, au milieu et en sortie de la zone humide. Il est ainsi le fruit d'une concertation entre le SMVVA et différents partenaires et/ou experts techniques.

Suivi « eau » et « résultats » :

- Première campagne : septembre 2013 à août 2014 (12 campagnes mensuelles de mesures physico-chimiques sur 5 stations de la zone humide + 6 campagnes sur 1 station du lac d'Aydat et 1 suivi du phytoplancton et de la chlorophylle.
- Seconde campagne : année 2015, (12 campagnes mensuelles de mesures physico-chimiques sur 3 stations de la zone humide). En 2015, le lac faisant l'objet du suivi DCE par l'AELB.
- Troisième campagne : année 2016, (16 campagnes mensuelles de mesures physico-chimiques sur 3 stations de la zone humide). Le point du Lac a, à nouveau, été suivi par le SMVVA en 2016.

L'interprétation des données du suivi de 2013 à 2016 de la qualité de l'eau transitant dans le complexe permet de dire que la zone humide semble réellement jouer un rôle épurateur en assimilant les orthophosphates et les nitrates pour la croissance des végétaux. Par ailleurs, le processus de dénitrification doit jouer un rôle important sur l'élimination de l'azote dans la zone humide. Un léger abattement en nitrates est également observé en 2015 en périodes printanière et estivale.

En 2015, a eu lieu le premier curage des bassins de sédimentations. 1.5 T de Phosphore pour un volume d'environ 2 000m^3 de matières organiques (vases, sables) ont pu être évacués et valorisés à proximité en épandage agricole. Un abattement significatif en phosphore par les bassins de sédimentation est donc observé au niveau des analyses réalisées sur les sédiments. Cet abattement en phosphore n'est pas visible lorsque l'on regarde les résultats des analyses de l'eau (phosphore dissous) transitant dans le complexe.

Plusieurs hypothèses ont été émises fin 2015 pour essayer d'expliquer que l'abattement significatif en phosphore dans les bassins ne soit pas visible et significatif au niveau des analyses de l'eau. La fréquence d'échantillonnage peut être mise en cause. Lors du suivi 2016, en période printanière (entre mars et juin), la fréquence d'échantillonnage a ainsi été bimensuelle.

Il est encore difficile d'officialiser des conclusions pour le moment sur un éventuel impact positif du complexe « zone humide ». Par ailleurs, il ne faut pas oublier que la concentration en phosphore total dans les eaux du lac ne dépend pas que des flux entrants mais aussi du phosphore piégé dans les sédiments du lac depuis nombreuses années et qui peut être relargué dans certaines conditions. Ce qui est sûr c'est qu'aujourd'hui une majeure partie des nutriments du bassin versant sont désormais piégés, les intrants sont diminués en espérant atteindre le seuil naturel et ne plus subir la part anthropique supplémentaire.

Suivi « biodiversité » :

Les suivis de 8 groupes ont été confiés à des experts naturalistes locaux.

- Première campagne : avril 2014 à mars 2015
- Seconde campagne : année 2016

SUIVIS	ORGANISME
BOTANIQUE ET PHYSO-ECOLOGIQUE	UNIVEGE – Herbiers universitaires Blaise Pascal
POISSONS	FDPPMA du Puy-de-Dôme
AMPHIBIENS	CPIE Clermont Dômes Observatoire des amphibiens du massif central
REPTILES	Société d'Histoire Naturelle Alcide Orbigny (SHNAO)
LEPIDOPTERES (PAPILLONS)	Société d'Histoire Naturelle Alcide Orbigny (SHNAO)
ODONATES (LIBELLULES)	Jean-Philippe Barbarin - Expert naturaliste indépendant
MAMMIFERES	Groupe Mammalogique d'Auvergne (GMA)
OISEAUX	Ligue de Protection des Oiseaux Auvergne (LPO)

Lors de la première campagne de suivi, environ 200 espèces animales et environ 150 végétaux ont été observés, traduisant les capacités d'accueil du site.

Lors de la seconde année, le potentiel d'accueil et de reproduction est confirmé avec l'apparition de nouvelles espèces et la disparition de certaines autres notamment les pionnières inféodées aux milieux jeunes. D'après les naturalistes, cela traduit l'évolution normal du milieu naturel.

Ce site est encore jeune. Il est globalement préconisé pour le moment de laisser évoluer librement, c'est à dire de ne pas intervenir sur les milieux pour ne pas perturber leur dynamique naturelle et pouvoir comparer des résultats de suivis futurs.

Suivi photographique diachronique de la zone humide d'Aydat :

L'objectif de ce suivi est de voir l'évolution de la végétation, des mares... de la zone humide d'Aydat en général.

Il s'agit d'un suivi par photo-interprétation. Trois campagnes de prises de vues aériennes à basse altitude ont été effectuées en mai 2014, mai 2015 et mai 2016.

À ce jour, le traitement des images et la production des orthophotographies réalisées ne permettent pas de voir une nette évolution en 5 ans. La reconduction dans quelques années sera plus parlante.

De plus, le SMVVA réalise aussi un suivi photographique au sol des 2 sites, afin notamment de voir l'évolution du site en général.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Dans les futurs actions « milieux aquatiques » du SMVVA est inscrit la mise en place d'un plan de gestion. Celui-ci sera réalisé sur la base des 2 objectifs principaux à croiser (qualité de l'eau / biodiversité).

Au fil des années, les bassins de sédimentation continuent de se remplir, il faudra donc procéder à nouveau à leur curage. Celui-ci est initialement prévu tous les 5 ans mais la périodicité est à affiner en fonction du taux de remplissage par des constats et suivis de terrain. Les matières exportées seront valorisées.

Les « espaces verts » continueront d'être entretenus d'une manière raisonnée afin de conserver des zones favorables à l'accueil de la biodiversité.

FINANCEMENT

• Coût :

Étude : 130 000 € TTC

Achat des bassins : 80 000 € TTC

Curage des bassins : 90 000 € TTC

Terrassement + plantation : 800 000 € TTC

Aménagement bois (pontons + ouvrages) : 183 000 € TTC

Frais annexes : 33 000 € TTC

Montant total des travaux : 1 316 000 € TTC

• Partenaires financiers : Agence de l'Eau Loire Bretagne / Conseil Régional d'Auvergne / Conseil Général du Puy de Dôme / Union Européenne par les Fonds européen de développement régional (FEDER)

• Maître d'ouvrage : Syndicat Mixte des Vallées de la Veyre et de l'Auzon (SMVVA)

• Maîtres d'œuvre : SINBIO et Agence +2PAYSAGE

• Réalisation des travaux : Travaux Publics Lyaudet, Société de Travaux de l'Environnement et Dynamique Environnement

• Partenaires techniques : Mairie d'Aydat / Établissement public à caractère industriel et commercial-Office de Tourisme LAVE / Les Cheires Communauté / Gergovie Val d'Allier Communauté / Agence de l'Eau Loire-Bretagne / Conseil Régional d'Auvergne / Conseil Général du Puy-de-Dôme / Agence Régionale de la Santé du Puy-de-Dôme / Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Auvergne / Direction Départementale des Territoires du Puy-de-Dôme / Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne / Schéma d'Aménagement de Gestion des Eaux Allier Aval / Chambre d'Agriculture du Puy-de-Dôme / Fédération Départementale de la Pêche et de la Protection des Milieux Aquatiques du Puy-de-Dôme / Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques - Brigade Départementale du Puy-de-Dôme et Délégation Interrégionale / Association de pêche du Lac d'Aydat / Association de pêche du murmure de la Veyre / Laboratoire de Biologie des Protistes des Cézeaux / Association Aquaveyre / Conservatoire des Espaces Naturels d'Auvergne / Ligue pour la Protection des Oiseaux d'Auvergne / Institut de Botanique - Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

Vidéo du SMVVA présentant la zone humide en 10 minutes : https://www.youtube.com/watch?v=05iMprFxMP4

Dossier PROJET « Aménagement d'une zone humide à l'amont du Lac d'Aydat, à l'arrivée de son ruisseau tributaire principal (La Veyre) – SINBIO/+2Paysage – Avril 2010

Trophée de l'eau AELB 2013 : http://www.eau-loire-bretagne.fr/les_rendez-vous_de_leau/trophees_de_leau/trophee_2013/02_SMVVA_T2013.pdf et http://www.prenons-soin-de-leau.fr/cms/render/default/fr/sites/prenonssoindeleau/accueil/vos-espaces/espace-multimedia/video/trophee-2013--zone-humide-daydat.html

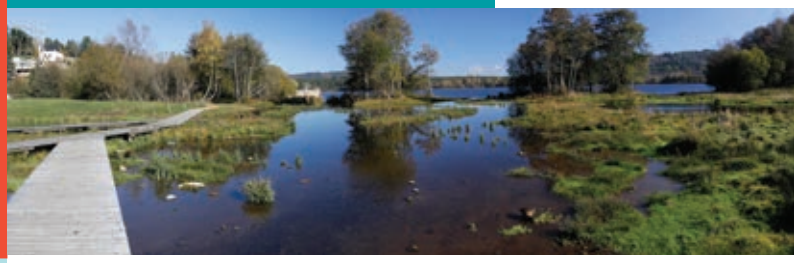
Prix CAUE : Prix régional Valeurs d'Exemples. Palmarès régional de l'architecture et de l'aménagement 2013 : https://www.youtube.com/watch?v=iFIQ0dZf0D0

Guide Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques POURQUOI ? COMMENT ? – Astee – Décembre 2013 : http://www.astee.org/site/wp-content/uploads/2014/06/ouvrageIEpageBD.pdf

ILLUSTRATIONS

Travaux de déblaiement sur la future zone humide (2012)

La zone humide restaurée (2013)



La zone humide en 2017

Chapitre 2

4

CRÉATION D'HABITATS EN ZONE PORTUAIRE LE LONG DES PETITS FONDS CÔTIERS

1 Contexte

Les politiques publiques en faveur de la protection et de la mise en valeur du littoral se caractérisent par trois grands axes. Ces axes correspondent à des périodes qui se succèdent dans le temps. Ils sont complémentaires et hiérarchisables. Le plus important porte sur la lutte contre la pollution et la réduction des apports à la mer. Cette ambition, dont les principaux fondements se situent dans les années 80, reste d'actualité même si elle a changé de cible. Après l'important effort consenti pour équiper le littoral de stations d'épuration et de réseaux d'assainissement, la réduction des apports par temps de pluie et la réduction des flux de contaminants apportés par les cours d'eau côtiers sont devenus une forte préoccupation. En complément de cette réduction de la pollution, la notion de non dégradation est apparue de façon significative car réglementaire avec les récentes directives européennes dont la DCE. Enfin depuis ces dernières années, une politique réglementaire et volontaire vient compléter les deux premières ambitions. La **restauration écologique des fonds marins émerge, en particulier celle des petits fonds côtiers.**

Il faut définir des objectifs de restauration écologique clairs au regard de la problématique écologique que l'on souhaite traiter, et disposer de techniques et d'outils opérationnels, efficaces et économiquement viables

La restauration écologique des petits fonds côtiers vient du constat simple que malgré les efforts consentis en matière de lutte contre la pollution et malgré la maitrise des pressions pouvant affecter les fonds marins, **certains secteurs côtiers présentent encore des fonctions écologiques altérées ou absentes et un état écologique dégradé** (Lenfant et al, 2015). Il convient de bien distinguer ces deux notions. Résultat des processus écologiques, les fonctions écologiques représentent le potentiel d'un écosystème à fournir des biens ou procurer un service aux sociétés humaines et aux autres espèces. Un état est une situation pour un descripteur écologique donné. Par exemple les petits fonds côtiers assurent un rôle de nurserie pour les populations de poissons. Dans ces petits fonds, nous pouvons trouver des macroalgues dont le mauvais état écologique ne remet pas forcément en cause la fonction de nurserie.

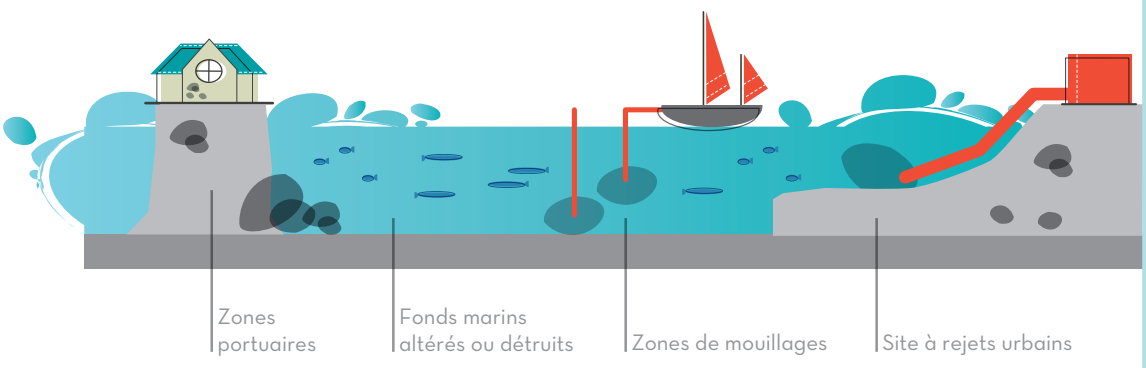
Comment alors définir une politique ? La définition d'une politique passe par la prise en compte de plusieurs composantes. Il faut 1/ définir des objectifs de restauration écologique clairs au regard de la problématique écologique que l'on souhaite traiter (ex. surfaces d'habitats fonctionnels pour la nurserie des poissons marins, accessibilité permanente des habitats fonctionnels de nurserie), 2/disposer de techniques et d'outils opérationnels, efficaces et économiquement viables. Ces outils doivent être financés, autorisés sur le plan réglementaire et appropriés par des maitres d'ouvrage qui acceptent la responsabilité d'agir pour engager des actions réparatrices.

Sur la base d'un objectif clair, la principale difficulté porte sur l'absence d'outils opérationnels, efficaces et économiquement viables pour réaliser les opérations d'ingénierie écologique. Si l'on admet que les récifs artificiels sont une solution connue depuis des années pour restaurer un habitat rocheux altéré, force est de constater que nous ne disposons pas ou très peu de solutions techniques opérationnelles pour les autres problématiques écologiques que nous rencontrons sur notre littoral côtier et pour lesquels il conviendrait de disposer de solutions (**FIGURE 11**). Nous avons :

- les zones portuaires et les aménagements littoraux dont l'impact est notable sur le fonctionnement des petits fonds côtiers
- les zones côtières ayant fait l'objet d'une destruction des fonds par comblement ou dépôt de matériaux solides. L'exemple le plus parlant est celui de la rade sud de Marseille dont les fonds ont été détruits par les remblais de la station d'épuration, du métro et des plages urbaines
- les zones d'herbier de Posidonie altérés par les ancres des bateaux de plaisance et de haute plaisance
- les zones côtières sous l'influence d'un rejet urbain où de façon historique l'habitat a été détruit par un rejet peu ou mal épuré. Aujourd'hui, la qualité des eaux au droit de ces rejets s'est nettement améliorée au point qu'il ne semble plus qu'elle soit un élément limitant. Dès lors la question de la restauration des habitats détruits et des fonctions perdues se pose.

En Méditerranée, les cinq dernières années ont été mises à profit pour définir des solutions techniques permettant de restaurer les habitats de nurserie de poissons marins, les tester dans des pilotes de recherche et développement et, si les conclusions s'avèrent suffisantes, les déployer.

TYPOLOGIE DES CAS ÉTUDIÉS EN MÉDITERRANÉE CONCERNANT LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE



GUIDE DES OPÉRATIONS DE RESTAURATION DES PETITS FONDS CÔTIERS, AGENCE DE L'EAU, 2014

RÉCIFS ARTIFICIELS DE L'OPÉRATION PRADO 2006

©LAURENT BALLESTA, ANDROMÈDE OCÉANOLOGIE

FIGURE 11

La **FIGURE 12** présente les principaux pilotes de R&D. Ils sont positionnés sur les types de zones altérées auxquels ils essaient de répondre. Le code couleur correspond à l'état d'opérationnalité actuelle du pilote.

LISTE DES PILOTES DE R&D

FIGURE 12 GUIDE DES OPÉRATIONS DE RESTAURATION DES PETITS FONDS CÔTIERS, AGENCE DE L'EAU, 2014

Ce cas de R&D met en évidence deux éléments de la situation actuelle de recherche d'efficacité dans l'ingénierie écologique appliquée à la restauration de fonctions écologiques des milieux marins.

Le premier confirme les **efforts de recherche de solutions techniques** pour l'ensemble de la typologie de situations rencontrées (dégradation d'espèces, d'habitat ou de fonction écologique), ce qui illustre une réelle volonté pour travailler sur ces questions. La variété des solutions techniques et le nombre d'opérations expérimentales sont importants.

Le second point qu'il convient de souligner porte sur le **niveau d'efficacité et d'opérationnalité** des solutions testées. À ce stade et compte tenu des éléments d'évaluation disponibles, seules deux solutions présentent des résultats consolidées. Elles concernent la restauration des habitats supports aux fonctions écologiques de protection et garde-manger.

La **FIGURE 13** caractérise des éléments de faisabilité et de mise en œuvre de ces solutions. Le dispositif d'habitat artificiel dans les ports de type « Biohut » répond à la restauration des nurseries des zones portuaires. Ce sont des solutions techniques faciles à déployer et qui ne nécessitent pas de gros moyens financiers. À l'opposé, l'utilisation des récifs artificiels en zone côtière est beaucoup plus complexe, coûteuse et longue à déployer car elle nécessite un volet administratif et réglementaire beaucoup plus important. Cette solution concerne des habitats marins altérés ou détruits en mer ouverte.

Représentation schématique des solutions considérées comme opérationnelles à ce jour

Plus le chiffre est important, plus la note est bonne

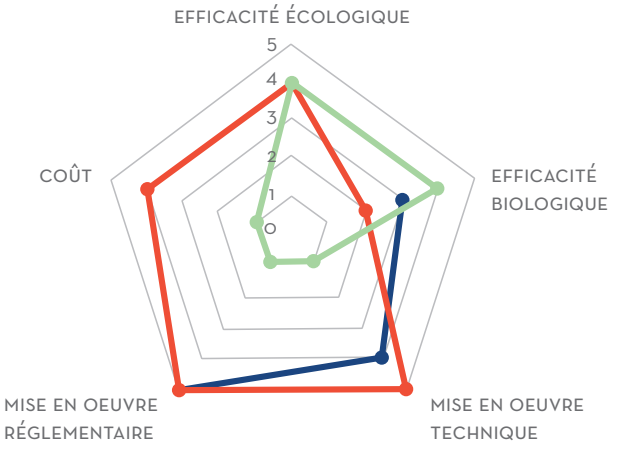


FIGURE 13

> Si l'on prend du recul et que l'on considère l'ensemble des solutions testées en trois catégories pour se donner une autre lecture, on peut qualifier la situation actuelle décrite dans le **TABLEAU 2**.

Types de solutions de restauration des petits fonds côtiers

Types de solutions de restauration	Opérationnalité	Lien approche écosystémique
Création d'habitats artificiels pour les larves et juvéniles de poissons marins dans les zones portuaires	Démontrée	Démontré, lien avec l'économie de la pêche aux petits métiers
Création d'habitats artificiels dans les zones côtières	Démontrée	Démontré, lien avec l'économie de la pêche aux petits métiers
Compensation à l'absence de nurseries fonctionnelles ou dysfonctionnement de la colonisation larvaire (capture de post-larves et nurseries en laboratoire)	À consolider	Démontré, lien avec l'économie de la pêche aux petits métiers
Restauration des peuplements végétaux	À consolider	Non démontré

TABLEAU 2

L'analyse des dernières années passées à développer des solutions techniques et à impulser cette nouvelle politique en faveur des eaux côtières permet de tirer les conclusions listées ci-après.

D'une façon générale, seuls les partenaires qui ont fait preuve d'innovation et qui ont accepté une bonne évaluation technique de la solution qu'ils proposaient sont passés aujourd'hui à une phase de déploiement. Nous avons actuellement une vingtaine de ports qui se sont engagés dans une opération de restauration de la fonction nurserie perdue lors de la construction du port. Cela illustre l'appropriation par les maitres d'ouvrage du littoral et le début d'une politique ambitieuse d'équipement. À l'inverse, cette mobilisation crée un appel d'air en matière d'économie et d'ingénierie côtière. Il faudra être particulièrement vigilant pour éviter de voir fleurir des solutions techniques inadaptées pour lesquelles l'efficacité écologique n'a pas été démontrée.

La restauration écologique pose de nouvelles questions sur le fonctionnement des petits fonds, la compréhension du cycle de vie des poissons, le comportement des post-larves, les facteurs d'attirance. De nouveaux enjeux apparaissent en matière de recherche. Les réponses qui seront apportées dans les années à venir permettront de mieux connaitre et de mieux comprendre les phénomènes mis en jeu et ainsi de mieux agir.

Le contexte économique, réglementaire et financier évolue chaque jour. Les directives européennes comme la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin et plus particulièrement sa déclinaison opérationnelle en Méditerranée (le Plan d'Action pour le Milieu Marin) identifient des obligations spécifiques en matière de restauration écologique. Ces obligations viennent consolider et renforcer les initiatives prises ces dernières années. À ce titre et sous l'impulsion de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, la définition d'un Schéma territorial de restauration écologique (STERE) est en cours. À l'image des schémas directeurs d'assainissement, le STERE doit permettre à une échelle territoriale cohérente de définir, coordonner et engager l'ensemble des actions de restauration écologique pertinentes sur un secteur donné. Cette programmation doit permettre d'assurer une meilleure cohérence et une meilleure complémentarité notamment avec les actions de non dégradation et plus particulièrement celles liées à l'or-

ganisation des usages en mer et des mouillages de bateaux. Forte du succès de l'installation des habitats artificiels et de l'évolution des autres méthodes consacrées aux habitats, la définition de STERE doit permettre de créer une dynamique de coopération multi-acteurs sur la question de la restauration écologique et en complément des actions de lutte contre la pollution et de non dégradation du milieu marin.

Pour autant, il est important de rappeler que la plus belle des ambitions pour la mer est de ne pas la dégrader. La restauration écologique des petits fonds côtiers reste une politique récente, fragile du fait de son jeune âge, prometteuse mais qui ne peut être positionnée qu'en complément des deux piliers que sont la lutte contre la pollution et la non-dégradation des milieux naturels.

2 Exemple type d'action multi-bénéfices

1. DESCRIPTIF DE L'ACTION TYPE

HABITATS ARTIFICIELS

Sur des infrastructures maritimes portuaires ou bien des ouvrages de protection des côtes de type brises lames au niveau de petits fonds côtiers, des habitats artificiels ont été installés pour mimer et augmenter les habitats disponibles pour les juvéniles de poissons. L'objectif est de restaurer la fonction écologique de nurserie dégradée par l'artificialisation du littoral lié à la création des ports.

2. BÉNÉFICES

Cet exemple théorique fait apparaître les bénéfices principaux (locaux) suivants :

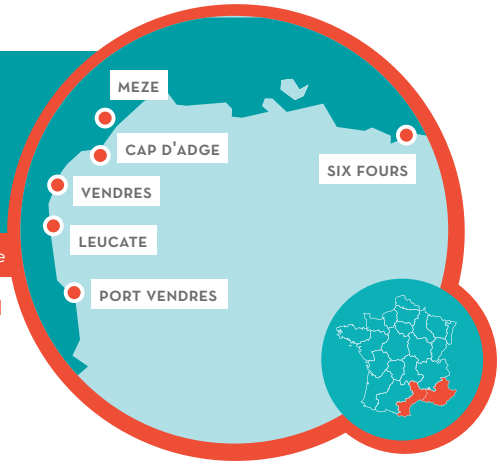
- restauration écologique de la fonction nurserie et soutien à la biodiversité marine utilisant ces habitats dans leur cycle de vie (ex : poissons côtiers comme les sars ou des espèces remarquables comme le mérou), par la création d'habitats artificiels augmentant la complexité des quais et pontons flottants présents dans les zones calmes et abritées,
- augmentation de la valeur écologique des ouvrages maritimes et amélioration des continuités écologiques,
- développement de la faune fixée et mobile autre que les juvéniles de poissons (invertébrés et poissons cryptiques),
- modification de la perception sociologique des zones portuaires : ce ne sont pas que des zones fermées polluées mais aussi des zones littorales qui peuvent avoir un rôle dans le fonctionnement écologique des petits fonds côtiers.

Mais il met également en avant les bénéfices supplémentaires suivants :

- renforcement des actions de gestion de lutte contre la pollution des eaux portuaires par le renforcement des initiatives « ports propres », grâce à l'installation des nurseries artificielles dans les ports. La politique « ports propres » devient d'ailleurs une politique renforcée en affichant une logique de « ports propres et restaurés ». Le label « ports propres » est d'ailleurs en cours d'évolution dans ce sens.

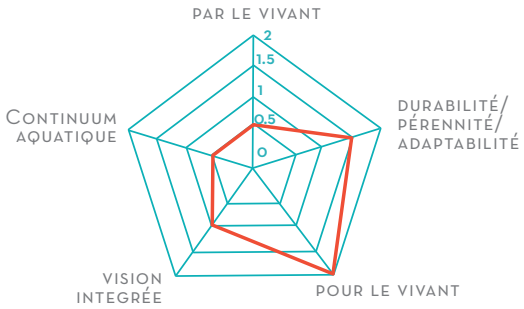
3 Illustrations concrètes de projets multi-bénéfices (retours d'expériences)

1 Réhabilitation de la fonction « nurserie » dans le cycle de vie des poissons marins au sein des ports de Méditerranée



Localisation des sites ayant bénéficiés des solutions de restauration écologique marine

FIGURE 1



SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

Le projet a été mené sur la base de l'étude conjointe de 5 sites bénéficiant de l'installation de solutions de restauration (FIGURE 1)

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET

En 2004, la France, conformément à l'article 6 de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) de 1992 à Rio, a adopté une Stratégie Nationale pour la Biodiversité (SNB) qui doit se traduire par :

1- le maintien de la diversité génétique et spécifique,

2- le maintien des habitats et du bon fonctionnement des écosystèmes

3- l'amélioration de la trame écologique (continuité écologique)

4- la définition de nouveaux indicateurs de suivi.

Par ailleurs, la Directive Cadre européenne « Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM) fixe les principes selon lesquels les États membres doivent agir en vue d'atteindre le bon état écologique de l'ensemble des eaux marines dont ils sont responsables d'ici 2020. La transposition de cette stratégie dans le droit français s'effectue par des Plans d'Action pour le Milieu Marin (PAMM) (art L 219-9 du code de l'environnement).

Les collectivités locales et les autorités portuaires du littoral méditerranéen, au cœur de nombreux enjeux du domaine marin, prennent de plus en plus conscience de l'intérêt à participer à la gestion environnementale. À terme, les ports devront adapter leurs infrastructures afin de les rendre positivement favorables au bon état écologique des milieux dans lesquels ils sont implantés. Dans ce contexte, l'implication des autorités portuaires dans l'amélioration des connaissances des conditions environnementales des zones côtières qu'ils utilisent, apparait être un bon moyen d'atteindre les objectifs de la DSCMM.

MOTEUR DU PROJET

Les post-larves de poissons sont le dernier stade larvaire pélagique du cycle de vie qui se termine, pour la majorité des espèces de poissons marins côtiers, par une phase de colonisation de ces habitats littoraux peu profonds.

CYCLE DE VIE DE LA MAJORITÉ DES ESPÈCES MARINES CÔTIÈRES

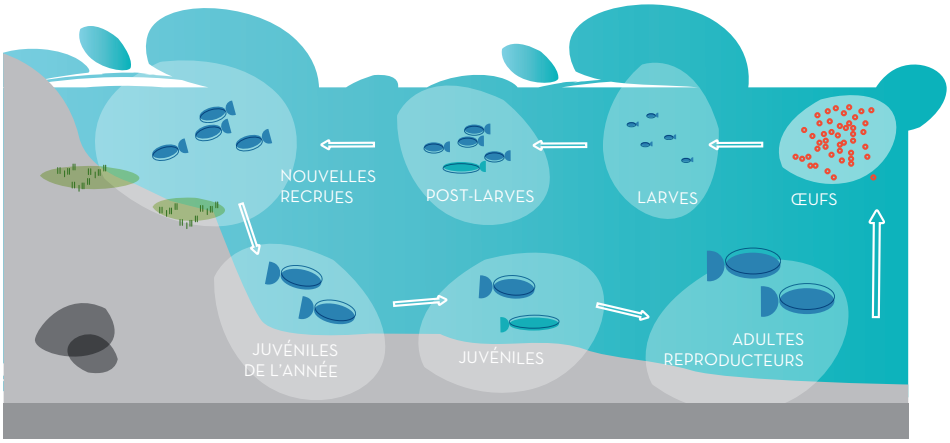


SCHÉMA 1 GUIDE DRIVER, ORIENTATIONS ET PRINCIPES, AVRIL 2015

L'anthropisation du littoral et la conception des ports constitués de quais droits font de ces endroits des lieux inadaptés pour le développement des recrues qui se retrouvent face aux prédateurs (loups, sars, labres, muges) qui les dévorent sans rencontrer de résistance.

IMPACT DE L'ANTHROPISATION DU LITTORAL SUR LE CYCLE DE VIE DES POISSONS

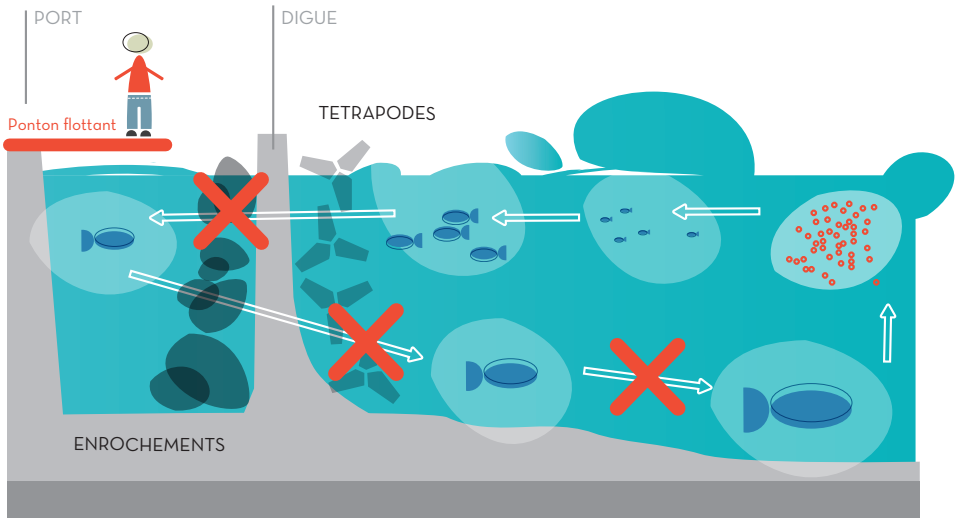


SCHÉMA 2 GUIDE DRIVER, ORIENTATIONS ET PRINCIPES, AVRIL 2015

Ecocean a conçu les Biohut pour améliorer les taux de persévérance dans ces ports et permettre à une plus grande majorité de recrues d'atteindre une taille refuge à partir de laquelle elles n'ont que peu de chance de se faire « prédater ».

PRÉSENTATION DU PROJET

Avec l'ouverture de nouvelles voies de transports maritimes, le développement des énergies marines renouvelables, la demande en anneaux dans les ports de plaisance, les projets d'extensions portuaires sont en pleine expansion. Tous ces projets vont obliger les aménageurs à rechercher des mesures compensatoires bientôt rendues obligatoires dans le dimensionnement de ces aménagements.

Les post-larves et jeunes recrues de poissons côtiers qui reviennent coloniser nos côtes, se retrouvent souvent dans le fond des ports et des marinas, zones qui étaient généralement autrefois des fonds de baie constitués de petits fonds côtiers, habitats essentiels du cycle de vie des poissons côtiers. Ces zones portuaires calmes et riches en matières organiques semblent, à première vue, être favorables au développement des jeunes poissons. Pourtant, le manque d'habitats diversifiés et la pollution de ces zones en font de véritables pièges pour les jeunes recrues.

En partant du constat que les gestionnaires de ports ont besoin de nouveaux outils opérationnels, le projet avait comme objectif de contribuer à réduire l'impact des aménagements portuaires sur la fonction de nurserie des petits fonds côtiers, par la mise en place d'habitats artificiels dédiés et brevetés par Ecocean : les Biohut®.

Dans ce projet, les Biohut se présentent sous deux formes :

- les Biohut Quai, composés d'un compartiment rempli de coquilles d'huitres et installé contre le quai auquel est accolé un second compartiment, vide celui-ci. Les dimensions d'un module quai sont les suivantes : deux cages accolées de 12,5 cm de profondeur (soit 25 cm au total) x 50 cm de largeur sur 80 cm de hauteur. Les modules quai sont fixés par quatre sur des treillis fixés sur le quai le plus proche de la surface possible
- les Biohut ponton sont composés d'un compartiment aménagé rempli de coquilles d'huitres et de deux compartiments vides positionnés latéralement. Ils sont installés sous les pontons grâce à des suspentes. Les dimensions des modules sous-pontons sont les suivantes : 3 cages accolées de 12,5 cm (soit 34,5 cm de large) x 50 cm de largeur x 80 cm de hauteur chacune.

BIOHUT « QUAI » (À GAUCHE) ET BIOHUT « PONTON » (À DROITE)

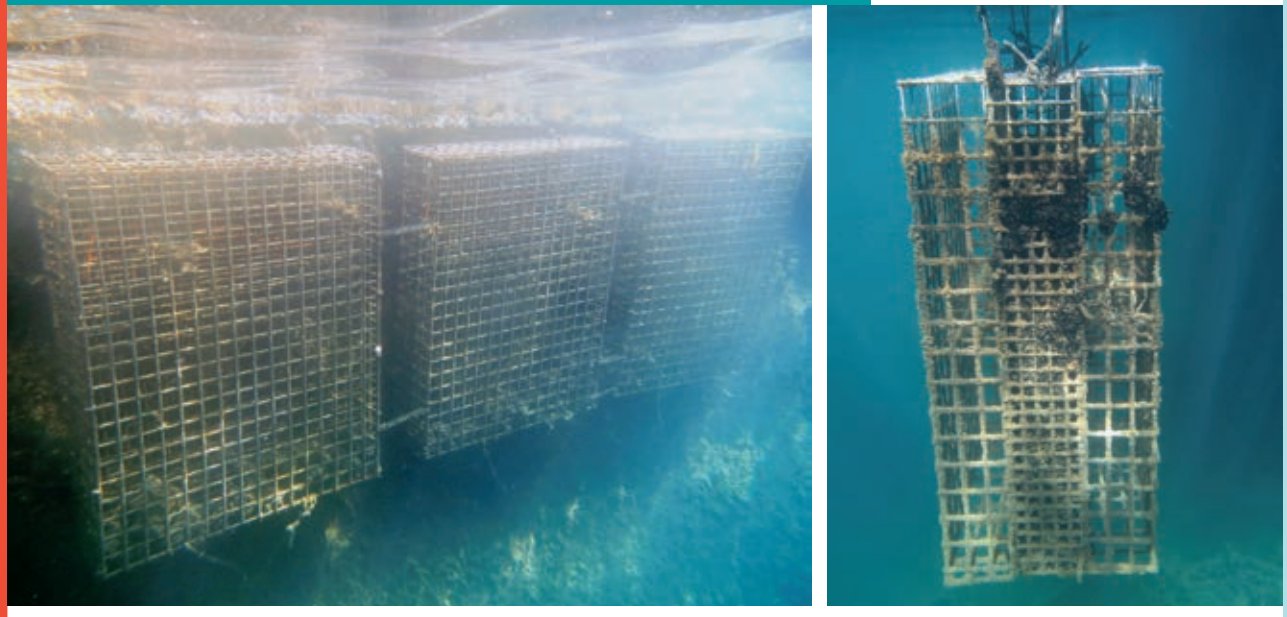


PHOTO 1

Dans les deux types de modules, les cages vides font office de zone protectrice pour les jeunes stades de poissons face aux prédateurs et peuvent être enlevées facilement pour procéder à leur nettoyage

La fixation de ces modules ne nécessite pas d'intervention d'engins de chantier type grosse barge, ni de personnels qualifiés de type classe 1A. La pose se déroule en apnée. La réglementation est alors très allégée.

Ces habitats permettent ainsi de protéger les post-larves pendant un temps donné, pour leur permettre d'atteindre une taille refuge, et ainsi mieux éviter la prédation.

Outre l'installation de ces habitats, le projet a proposé la mise en place d'un suivi biologique sur ces aménagements artificiels, positionnés sur les quais ou sous les pontons dans plusieurs ports de la côte méditerranéenne, pour faciliter l'analyse spatio-temporelle du recrutement tout en permettant d'estimer de façon plus précise et efficace les périodes et les lieux plus ou moins favorables de nurseries côtières. Ce suivi devait donc apporter des informations qualifiées sur les recrutements en zone portuaire tant sur un plan quantitatif (nombre d'individus) que qualitatif (nombre d'espèces, identification des périodes et lieux de recrutement…). Par ailleurs, il devait également permettre une acquisition de connaissances sur la variabilité temporelle (interannuelle) et spatiale de ces recrutements.

BÉNÉFICIAIRES

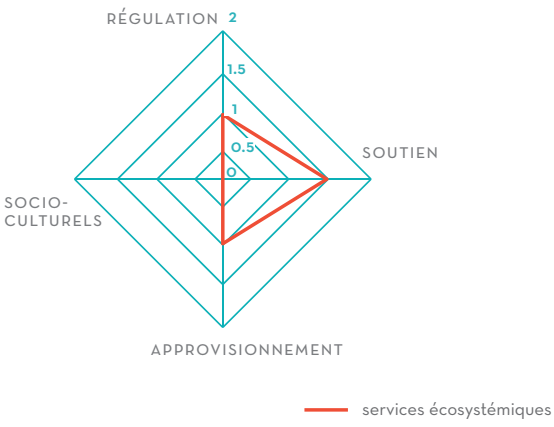
La réalité des ports de plaisance en Méditerranée est très hétérogène tant au niveau du nombre d'anneaux, du tonnage, du type de plaisance pratiquée, que du type de gestion. Ces rencontres ont mis en évidence le fait que la plupart des gestionnaires de ports sont intéressés par le principe du Biohut. En effet, sous l'impulsion de l'État et de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse notamment, des investissements importants ont été menés (et financés) afin de réduire l'impact des ports sur l'environnement (gestion des déchets, aires de carénages sans rejets, réductions des pollutions, traitements des eaux grises & noires, sensibilisation des usagers sur les bonnes pratiques, labellisation port propre etc.). Le procédé Biohut s'adresse prioritairement aux ports déjà engagés dans une démarche environnementale de type certification (36 ports sont engagés dans la démarche « port propre ») et qui ont pris en compte et solutionné tout ou partie des enjeux de pollutions et de rejets au sein même de leurs infrastructures. Le procédé Biohut constitue donc un nouvel outil qui permet aux gestionnaires d'aller plus loin en intégrant la gestion de la biodiversité dans leur démarche environnementale globale.

Les retours d'expérience d'Ecocean à travers l'ensemble des projets mis en place ont mis en évidence d'autres acteurs. Au-delà du fait d'augmenter le gain écologique, il a été associé dès le début à chaque démarche d'installation de Biohut dans les ports le développement d'action de sensibilisation à l'environnement, d'action pédagogique auprès des structures scolaires, tout en aidant au développement local. Ces actions ont élargi le spectre des bénéfices au-delà d'une stricte réponse écologique. L'ensemble des usagers profitant des services écosystémiques marins sont des bénéficiaires indirects : association, école, universités, riverains… Cela a également conduit à la mise en place de journées d'échange sur la restauration écologique des petits fonds côtiers réunissant services de l'État, Agences nationales, scientifiques, gestionnaires…

SERVICES CONCERNÉS PAR LES ACTIONS DU PROJET

Les suivis scientifiques menés dans le cadre du projet Nappex, mais également dans le cadre du projet GIREL-3R réalisé dans le Grand Port Autonome de Marseille, ont permis de mettre en évidence que la présence de Biohut a un effet positif en termes d'abondance moyenne et de richesse moyenne dans les zones portuaires équipées : en effet, le projet Nappex montre qu'il y a eu globalement plus d'observations sur les Biohut que sur les témoins et que la richesse moyenne a été également globalement supérieure dans les zones de Biohut que dans les zones témoins. Ce qui est confirmé par le programme GIREL-3R (Port de Marseille) où cela se traduit, en moyenne, par 9 individus/10 mètres de linéaire dans les Biohut contre 2,4 individus sur les quais témoins et 4 individus sur les enrochements (le facteur multiplicateur pouvant même être supérieur à 10 dans certaines zones du port de Marseille).

Si l'on considère donc, suite aux observations « poissons » et « flores et faunes vagiles »:



- que le signal est beaucoup moins marqué au niveau des zones non-équipées que dans les zones de Biohut,
- que l'on observe des séries temporelles (arrivées d'espèces) comparables aux zones d'enrochement témoins,
- que pour les 4 espèces de sars étudiées, on observe l'utilisation préférentielle des Biohut lors de leur phase d'installation (pour 3 d'entre elles, il n'y a peu ou pas d'observations qui ont été faites sur les zones non-équipées),
- que l'on observe dans les zones de Biohut ou à proximité (pour une même espèce) des classes de tailles croissantes qui se succèdent dans le temps,
- que l'on note au sein des zones équipées, pour certaines espèces, des successions dans l'espace et dans le temps comparables à ce qui peut être observé en milieu naturel.

Alors il est permis de penser :

- que les zones portuaires peuvent fonctionner effectivement comme des zones de nurseries,
- que cela confirme l'utilisation préférentielle, par les post-larves, d'habitat présentant une complexité plus importante qu'un simple quai vertical, le Biohut montrant ainsi tout son intérêt pour cette phase critique du cycle de vie de ces espèces. Il accompagne la croissance des juvéniles jusqu'à atteindre une taille refuge, et même au-delà pour certaines espèces.
- que les Biohut améliorent donc effectivement les fonctions écologiques (nurserie) du port.

Cependant, il convient de noter également que richesses et abondance observés lors des différentes campagnes peuvent varier en fonction :

- du port : le port de Mèze, par exemple, semblant moins propice au recrutement larvaire que Port-Vendres. Ce qui nécessite aujourd'hui d'améliorer nos connaissances en termes de variabilité spatiale et temporelle (annuelle et interannuelle) de la colonisation larvaire.
- des différentes zones à l'intérieur d'un même port. Ce qui nécessite, préalablement à toute installation, de bien valider avec les autorités portuaires les caractéristiques des quais (usages, fréquentations, qualité des quais, qualité des eaux,...), afin d'anticiper un certain nombre de contraintes et d'éléments défavorables.
- de l'espèce : on observe en effet des différences entre les espèces et parfois même au sein même d'une espèce.
- du temps : il y a ainsi globalement plus d'observations en 2013 qu'en 2014.

Ce qui confirme donc que l'espace portuaire semble réagir comme les nurseries naturelles où nous savons que l'efficacité des différentes zones est variable dans l'espace (lieux plus ou moins propices) et dans le temps (en fonction des années).

ÉVALUATION DU PROJET

Une évaluation haute fréquence a été mise en place avec une intervention tous les 15 jours pendant 6 mois autour de la période la plus propices à l'installation des post-larves de poissons sur le littoral (avril à août, en 2013 et 2014). L'équipe de terrain était composée de trois personnes : deux plongeurs à l'eau et une personne assurant la sécurité depuis la surface. Les observations ont été faites par des comptages en apnée en point fixe d'une durée de 3 minutes :

- le long des quais : pour chaque Biohut observé, une portion de quai de surface équivalente a été considérée comme zone témoin.
- sous les pontons : pour chaque Biohut observé, une portion de duc-d'Albe (pieu permettant l'arrimage des pontons flottants) de surface équivalente a été considérée comme zone témoin.

Seuls les poissons compris entre 0 et 100 mm, c'est-à-dire les post-larves fraichement arrivées ainsi que les juvéniles de l'année ou YOY (« Young Of the Year »), ont été suivis. Toutes les espèces rencontrées ont toutes été comptabilisées.

Tous les individus entrant en interaction évidente avec la zone observée au cours des 3 minutes ont été recensés (nombre d'individus par espèce et par taille). C'est-à-dire les individus qui étaient présents à l'intérieur ou dessus, se nourrissaient sur la zone, tournaient autour ou se cachaient derrière. Les individus « de passage » ou ne montrant pas un intérêt évident pour la zone observée n'ont pas été retenus.

Les observations incertaines étaient filmées ou photographiées dans la mesure du possible afin de pouvoir affiner le comptage a posteriori.

En plus des comptages prévus, 3 transects de 20 mètres ont été réalisés sur les digues d'entrées de port lors de chaque passage. Ces observations systématiques permettent d'avoir une idée de la situation à l'extérieur du port ou à son entrée. Généralement, les juvéniles étaient observés au niveau des digues avant d'être vus dans le port même. Cela a donc aidé à surveiller les arrivées et à mieux comprendre et interpréter les observations intra-portuaires.

Les comptages ont pu être annulés ponctuellement sur certaines zones si la visibilité ou la qualité de l'eau étaient insuffisantes.

SUITES ÉVENTUELLES DU PROJET

Le calcul plus précis du gain écologique du recrutement des juvéniles nécessite désormais une phase de marquage d'individus et de suivis avec comptage en dehors de la zone des Biohut puis de test de prédation quand les individus sont installés sur les Biohut.

Cela sera conduit dans le cadre d'une thèse CEFREM / Université de Perpignan intitulée : « Restauration écologique des nurseries au sein des infrastructures portuaires : rôle sur l'écosystème marin et le maintien des populations de poissons » qui va se terminer début 2018.

Par ailleurs, une autre thèse en cours au sein du CEFREM (menée par Marc Bouchoucha et soutenue en décembre 2017) porte plus spécifiquement sur le rôle des ports dans le cycle de vie des poissons et notamment par l'observation des recrutements de post-larves sur des zones de Biohut. Ce travail devrait pouvoir également contribuer à apporter des éléments sur les variations spatiales et annuelles/interannuelles de la colonisation larvaire, mais également sur les espèces.

Enfin un troisième travail de doctorat s'est également mis en place en 2015 (partenariat entre l'Université de Rabat, l'INRH, l'Université de Perpignan), dans la lagune de Nador (Maroc), pour évaluer le rôle de nurserie de cet espace lagunaire. La présence de 50 Biohut dans le Port d'Atalayoum, suivis durant 3 années par le doctorant, va contribuer à ce travail et enrichir également les données de l'observatoire de la lagune.

Le projet « RESPIRE - (« RESeau Pour le suivI du Recrutement »), dédié aux jeunes stades de poissons côtiers inféodés aux zones littorales méditerranéennes, doit permettre de disposer de documents de référence sur l'état du recrutement icthyque du pourtour littoral méditerranéen. Il permet de suivre de façon pluriannuelle les stades de poissons installés sur des habitats artificiels de types Biohut ponton dans une trentaine de ports du pourtour Méditerranée du LR, PACA et Corse. Il s'inscrit dans la ligne prioritaire « Restauration et mise en valeur du milieu aquatique » de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.

Si l'on considère que les Biohut, permettent à grande échelle de restituer la fonction de nurserie des zones côtières aménagées (Cf. supra), ils peuvent également jouer le rôle d'unité de suivi (outil d'observation standardisées et reproductibles) commune à tous les ports. Cette standardisation du référentiel d'observation facilite ainsi la comparaison entre les ports et peut permettre de s'affranchir de l'hétérogénéité des zones naturelles. Quatre paramètres seront pris en compte (la diversité spécifique, l'abondance, la taille, les caractéristiques abiotiques). Un suivi complémentaire est mis en place sur les digues d'entrée du port. En effet, d'après la littérature (Mercader et al., 2017 et Pastor et al., 2013), et les observations faites dans le projet NAPPEX, les enrochements côtiers artificiels rempliraient leur fonction de nurserie, probablement au même titre que les habitats côtiers peu profonds naturels. Ce réseau ne vise pas l'évaluation exhaustive des assemblages de jeunes poissons mais, à l'image d'autres dispositifs de surveillance, permet d'avoir une représentation, la plus pertinente possible, d'éléments biologiques, les post-larves et juvéniles de l'année, dont l'écologie reste peu connues et fait actuellement l'objet de nouvelles recherches plus approfondies.

La création du réseau RESPIRE vise donc plusieurs objectifs :

- Acquérir des données permettant de caractériser le cycle de vie des jeunes poissons pour, in fine, se projeter sur la dynamique de population des espèces adultes en zone côtière,
- Disposer de supports de connaissance et de recherche, ainsi que des documents de référence sur l'état du recrutement ichthyque du pourtour littoral méditerranéen,
- Identifier les zones préférentielles (puits) afin de mieux préparer la mise en place de solutions de restauration écologique,
- Contribuer à l'évaluation de l'efficacité des opérations de restauration de la fonction nurserie en zone côtière,
- Contribuer aux objectifs de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin ainsi qu'à ses réseaux de surveillance.

Vingt-deux ports sont actuellement équipés de 3 réplicats de 3 Biohut (9 Biohut par ports), et 8 ports complémentaires (Corse) seront équipés en 2015. Ils seront tous suivis 3 fois par an dès le mois de mars 2014. Certains (Port-Vendres, le Barcarès, Le Brusc, La Seyne sur Mer, Saint-Mandrier et Calvi) seront suivis, en phase de démarrage du réseau, tous les 15 jours par les équipes scientifiques du CREM, de l'IFREMER ou de la Stareso.

FINANCEMENT

Le projet NAPPEX a été soumis initialement dans le cadre de l'appel à projets pour la mise en œuvre de la SNB 2011-2020 « Projets innovants dans le domaine de l'ingénierie écologique », Volet 2 - Développement de techniques innovantes de restauration écologique de milieux littoraux et marins. Il a été financé conjointement par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et le Conseil Général de l'Hérault. Dans le cadre de son développement commercial, Ecocean était le maître d'ouvrage de ce projet sur toute la période.

L'aide accordée dans le cadre de l'AAP de la SNB a permis de financer de manière significative la recherche et le développement des modules et ainsi d'accélérer le déploiement de la solution Biohut dans d'autres ports en Méditerranée.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

Bouchoucha M., Darnaude A., Gudefin A., Neveu R., Verdoit-Jarraya M., Boissery P., Lenfant P., 2016. Potential use of marinas as nursery grounds by rocky fishes: insights from four Diplodus species in the Mediterranean. Marine Ecology Progress Series, 547: 193-209.

Mercader M., Fontcuberta A., Mercière A., Saragoni G., Boissery P., Bérenger L., Dubas R., Lecaillon G., Pastor J. et Lenfant P., 2016. Observation of juvenile dusky groupers (Epinephelus marginatus) in artificial habitats of North-Western Mediterranean harbors. Marine Biodiversity 47(2).

Mercader M., Mercière A., Saragoni G., Cheminée A., Crec'hriou R., Pastor J., Rider M., Dubas R., Lecaillon G., Boissery P., Lenfant P., 2017. Small artificial habitats to enhance the nursery function for juvenile fish in a large commercial port of the Mediterranean. Ecological Engineering, 105: 78-86.

Pastor J., Koeck B., Astruch J., Lenfant P., 2013. Coastal man-made habitats: potential nurseries for an exploited fish species, Diplodus sargus (Linnaeus, 1758). Fisheries Research, 148: 74-80.

Projet NAPPEX, 2015. Nurseries artificielles pour port exemplaires. Rapport public du projet de recherche NAPPEX, 137 p.

ILLUSTRATIONS

Espèces patrimoniale ou protégées présentes sur les Biohut (hippocampe à gauche et mérou à droite)

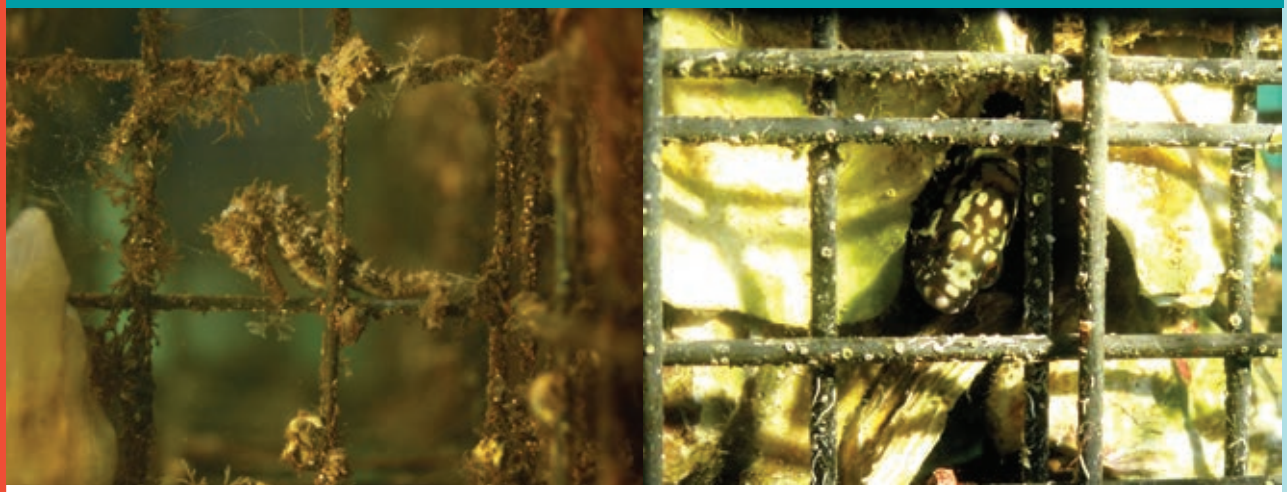


PHOTO 2

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

1 L'ingénierie écologique pour concilier différents objectifs au sein des projets : vers une approche multi-bénéfices

Comme nous l'avons vu tout au long de cet ouvrage, **l'ingénierie écologique peut contribuer à répondre à plusieurs objectifs au sein d'un même projet**. Un questionnement plus large sur les services rendus par l'action, au-delà du rétablissement du fonctionnement du milieu perturbé, doit ainsi permettre de valoriser au mieux le projet par la mise en avant de son caractère multi-bénéfices.

Les bénéfices qui ressortent de l'utilisation de l'ingénierie écologique sont en effet souvent plus nombreux qu'ils n'y paraissent. Ainsi, la finalité des actions peut être écologique, par exemple la restauration d'un milieu dégradé. Elle peut aussi être économique et sociale, par exemple la consolidation des berges d'une rivière. Un enjeu important pour l'ingénierie écologique reste aujourd'hui de mettre en avant l'ensemble des bénéfices induits par les projets l'utilisant, et liés aux services rendus par les écosystèmes recréés ou réparés. Il faut donc chercher à mettre en avant l'ensemble des plus-values écologiques, économiques et sociales, tant qualitatives que quantitatives, des projets impliquant l'ingénierie écologique. Par exemple, comparée à l'utilisation du génie civil, l'ingénierie écologique, au-delà de son coût bien souvent moindre, demeure plus intéressante car elle va permettre aux écosystèmes restaurés de produire plus (en qualité et en quantité) de services et, *in fine*, de bénéfices, que s'ils avaient été restaurés *via* des techniques plus traditionnelles ou s'ils n'avaient pas été restaurés.

La conception de tels projets interdisciplinaires, souvent appliqués à l'échelle de versants ou de bassins versants, doit permettre de mieux concilier différents objectifs. Il s'agit de tendre vers un milieu résilient, qui absorbe ou corrige ses propres dégradations, ou déséquilibres (naturels ou anthropiques) comme le laminage des crues, l'amélioration de la qualité de l'eau, la restauration écologique… Reprenons le cas de la dépollution des eaux. On cherche à dépolluer avec une certaine quantité et qualité d'intrants. L'efficacité de l'opération est généralement jugée en termes de dépollution effective ou non, ou bien selon un certain gradient de dépollution, tout en acceptant une certaine variabilité de l'efficacité de la dépollution, et en évaluant la capacité de l'écosystème à digérer cette pollution dans le temps long. S'interroger plus largement sur les services rendus par l'action, au-delà de la dépollution elle-même (par exemple, quels impacts de l'action en termes de « restauration écologique » au sens large ?), permet de valoriser au mieux un projet d'ingénierie de dépollution des eaux.

Un enjeu important pour l'ingénierie écologique reste aujourd'hui de mettre en avant l'ensemble des bénéfices induits par les projets l'utilisant, et liés aux services rendus par les écosystèmes recréés ou réparés

2 L'évaluation des projets d'ingénierie écologique

1. EVALUATION DE LA RÉUSSITE DES PROJETS

Le suivi et l'évaluation des projets d'ingénierie écologique restent rares, soit parce qu'ils ne sont pas planifiés, soit parce que l'on ne dispose pas des moyens permettant leur évaluation. L'évaluation de la réussite des projets est dans tous les cas toujours un exercice délicat. En l'occurrence, les évaluations restent bien souvent « locales ». Or, si un compartiment mesuré subit une évolution positive ou négative, on peut alors avoir tendance à conclure hâtivement sur la réussite ou l'échec du projet d'ingénierie écologique alors que le bénéfice peut être plus global, ce qui est plus difficile à quantifier. On pourrait pourtant tirer un certain nombre de leçons du suivi approfondi des sites où des techniques d'ingénierie écologique ont été mises en œuvre, des échecs comme des réussites. Des méthodes d'évaluation existent, comme celles du suivi de la restauration des cours d'eau ou de la qualité des habitats piscicoles. Il existe notamment de nombreux indicateurs permettant d'évaluer les bénéfices d'une intervention de restauration d'un milieu aquatique, mais les méthodes d'évaluation restent à parfaire. Au final, on manque de méthodes qui permettraient d'évaluer tous les bénéfices d'une opération d'ingénierie écologique (mais voir Jaunatre et al., 2017).

On pourrait tirer un certain nombre de leçons du suivi approfondi des sites où des techniques d'ingénierie écologique ont été mises en œuvre, des échecs comme des réussites

2. ÉVALUATION SOCIO-ÉCONOMIQUE DES PROJETS

Comme tout projet d'ingénierie, une évaluation comptable *ex ante* doit se faire afin de planifier et maîtriser la trésorerie, et garantir la pérennité financière du maître d'ouvrage. Toutefois, si le maître d'ouvrage est public ou est fortement impliqué dans les aspects environnementaux comme c'est le cas de l'activité agricole par exemple, l'évaluation d'un projet se doit de tenir compte de l'ensemble de ses conséquences, volontaires comme involontaires, y compris pour d'autres acteurs. En analyse économique, on qualifie les conséquences involontaires sur les autres acteurs d'externalités, positives si elles accroissent le bien-être des autres acteurs, négatives sinon. L'évaluation socio-économique des projets se distingue donc de leur seule évaluation financière (et donc leur rentabilité, au sens usuel du terme) par la prise en compte des effets, positifs comme négatifs, que le projet induit sur son environnement, proche comme lointain, dans le temps et dans l'espace, et les parties intéressées. Une première difficulté consiste donc à identifier ces effets et ces parties intéressées. Il y a ainsi certes les effets désirés justifiant le projet, qui induisent un coût marchand (le coût des travaux et les éventuels coûts de maintenance) et un bénéfice - et donc un bénéficiaire - objet direct justificatif du projet. Ce bénéfice peut être marchand (réduire la probabilité de dommages, de crues par exemple) comme non marchand (améliorer un paysage local par exemple ou accroitre la biodiversité ou la résilience d'un écosystème). Ce dernier cas rend impossible l'évaluation socio-économique, sauf à monétariser ce bénéfice de manière artificielle, par exemple à travers l'évaluation d'un consentement à payer. On peut bien sûr se contenter d'une analyse coût-efficacité où l'on cherche simplement à atteindre un objectif, exprimé en termes physiques et non monétaires, au moindre coût. Théoriquement, un chiffrage de tous les bénéfices permet d'objectiver la hiérarchisation.

Cependant, le manque de robustesse et les critiques faites à la monétarisation des bénéfices non marchands poussent un certain nombre d'économistes praticiens à préconiser, pour les projets environnementaux, de préférer l'analyse multicritères, qui tout en se basant sur le chiffrage de certains bénéfices, permet également de ne pas forcément devoir les chiffrer tous, et donc de se laisser la possibilité, pour les bénéfices non marchands, de seulement les décrire qualitativement. Cela permet en outre, pour le décideur, de conserver une visibilité de l'ensemble des bénéfices du projet au lieu de dissoudre les différents avantages en un chiffre "boîte noire". Les critères d'évaluation conduisant à une éventuelle hiérarchie des projets doivent alors être transparents pour les parties prenantes du projet et de préférence définis ou négociés préalablement aux résultats de l'analyse.

Ce principe d'analyse socio-économique générale étant posé, les projets d'ingénierie écologique présentent précisément la particularité d'avoir un bénéfice pas toujours monétarisé d'emblée, tel que la mobilisation de services écosystémiques, et des parties intéressées pas toujours bien identifiées ou circonscrites : des non humains par exemple, si l'objectif est la biodiversité ; des usagers plus ou moins riverains dans le cas d'une amélioration paysagère ; voire des bénéficiaires dont le consentement à payer n'est pas garanti ou l'aversion au risque trop élevée pour accepter une solution d'ingénierie écologique. Comment monétariser les effets, positifs comme négatifs, de ces projets pour les bénéficiaires directs (ceux pour qui les projets sont réalisés) et indirects (les effets externes) ?

Un des objets de l'économie de l'environnement est de traduire sous forme monétaire les préférences des parties intéressées d'un projet concernant ses conséquences environnementales. De nombreux ouvrages et articles ont été consacrés à ce sujet depuis les années 1970 et nous nous contenterons ici de rappeler que la crédibilité de ces monétarisations plus ou moins « forcées » décroît avec le caractère plus ou moins monétarisable des préférences. Quand un effet concerne l'amélioration de la qualité de l'eau, il est parfois possible de

Les projets d'ingénierie écologique présentent la particularité d'avoir un bénéfice pas toujours monétarisé d'emblée, et des parties intéressées pas toujours bien identifiées ou circonscrites

trouver une variable facilement monétarisable, voire déjà monétarisée, ayant un effet équivalent, comme les coûts évités (donc un bénéfice) d'un traitement de l'eau, ces coûts étant déjà monétarisés *via* les coûts du traitement de l'eau. Dans d'autres cas, comme un projet conduisant à un accroissement de la biodiversité, monétariser cet accroissement oblige bien souvent à demander directement aux parties intéressées pertinentes (à bien définir donc) un « consentement à payer » au caractère plus ou moins artificiel, voire, pour certains, éthiquement douteux. On a ainsi parfois dans les réponses aux enquêtes des valeurs nulles de protestation, à différentier des valeurs nulles d'indifférence. De plus, le consentement à payer n'englobe pas l'ensemble des coûts et bénéfices puisqu'ils ne sont pas tous appréhendés par la personne interrogée, sachant que la rédaction du questionnaire peut avoir ici une influence fondamentale sur la réponse, au même titre que la formulation de toute question posée par référendum. La question de savoir à quelle population appliquer le montant unitaire de ce consentement à payer demeure entière, et repose forcément sur des choix arbitraires, alors qu'elle est susceptible de faire basculer la balance d'un côté ou de l'autre (Feuillette et al, 2016). La valorisation monétaire de services écosystémiques mise en exergue par les projets d'ingénierie écologique s'obtient ainsi par deux méthodes de nature différente : soit on trouve une variable déjà monétarisée, issue de l'économie marchande et représentative de la fonction à valoriser, comme les coûts évités de traitement de l'eau dans le cas d'une amélioration de la qualité de l'eau, ou ceux d'une digue

dans le cas d'une zone tampon hydraulique, soit on demande directement aux parties intéressées pertinentes ce qu'elles sont prêtes à payer pour bénéficier d'un service écosystémique, ou à recevoir pour éviter un « disservice » écosystémique, ce dernier cas pouvant en effet aussi exister (moustiques dans une zone humide restaurée par exemple). Sinon, on s'abstient de monétariser les bénéfices non marchands et on "se contente" de les décrire de manière aussi précise et quantifiée que possible, afin d'aider le décideur.

Dans l'hypothèse où toutes les externalités subies par les parties intéressées pertinentes ont été monétarisées, on peut appliquer les règles économiques usuelles de choix des projets par maximisation de la valeur actuelle nette. En pratique, il reste souvent des externalités difficilement monétarisables de façon crédible pour toutes les parties prenantes, auquel cas il est très important d'expliciter ce qui a pu être monétarisé et ce qui n'a pas pu l'être, afin de ne pas passer par pertes et profits des effets restés non négligeables pour certaines parties intéressées et de favoriser une concertation « apaisée » autour des projets. Des méthodologies d'évaluation participative et délibérative peuvent être appliquées dans ces cas, favorisant la conciliation de différents objectifs au sein des projets et favorisant une approche multi-bénéfices.

3 Ingénierie écologique et solutions fondées sur la nature

Les nouvelles approches d'ingénierie écologique présentées dans cet ouvrage constituent une source d'innovation pour les bureaux d'étude. Elles questionnent également la science, appelant à une inflexion des programmes de recherche en ce sens, en particulier dans le domaine de l'écologie ingénieriale (Rey et al. (coord.), 2014). En termes de recherche au service de l'ingénierie et de la technique, l'enjeu sera de développer de nouvelles connaissances à même de nourrir de nouveaux outils (modèles, plateformes technologiques, guides…) à mobiliser pour le choix et le dimensionnement d'aménagements et d'ouvrages conciliant diverses fonctions, et donc bénéfices. En particulier, la mise au point d'outils d'évaluation des bénéfices des projets, si possible chiffrés, permettra de mieux mettre en valeur les projets (valeurs écologique, économique et sociale, aménités…) et de mieux fixer les objectifs à atteindre. Ces considérations doivent être portées à connaissance des financeurs, décideurs et donneurs d'ordres, afin qu'ils les prennent en compte dans les objectifs de leurs commandes auprès des concepteurs.

Par ailleurs, ces nouveaux questionnements s'ajoutent à ceux déjà posés par les changements climatiques. C'est le cas en ce qui concerne les seuils d'efficacité de systèmes écologiques par rapport à un processus donné. Dans certains guides ou articles, on peut trouver actuellement de telles valeurs-seuil et des préconisations de dimensionnement des aménagements et des ouvrages en conséquence. Le climat changeant, les seuils vont changer aussi et il faudra donc adapter le dimensionnement. Le même constat peut être réalisé concernant le choix des espèces végétales ou animales à utiliser dans les aménagements, pour une zone géographique donnée. Le changement climatique risque de déplacer les aires de répartition des espèces utilisées en ingénierie écologique. Il peut en particulier remettre en cause la survie d'une espèce là où cette dernière était présente et efficace depuis des décennies. Il faudra alors trouver d'autres espèces, adaptées au climat changeant et permettant de pérenniser les systèmes écologiques restaurés ou recréés.

En conséquence, face aux changements législatifs comme climatiques, l'un des enjeux qui se pose aujourd'hui aux ingénieurs-conseils et aux scientifiques est d'adapter continuellement les outils d'ingénierie écologique. Les « Solutions fondées sur la Nature (SfN) » (ou NBS pour « Nature-based solutions ») (UICN France, 2015) apparaissent aujourd'hui comme un type d'interventions mobilisables pour y répondre. S'appuyant sur des écosystèmes sains, résilients, fonctionnels et diversifiés pour répondre aux effets des changements globaux (changements climatiques, usages des sols…), les SfN reposent sur deux grandes orientations : réguler le climat et limiter les risques naturels.

Les Solutions fondées sur la nature rejoignent l'ingénierie écologique, caractérisée par des finalités écologiques mais aussi économiques et sociales, et basée sur une utilisation du vivant

Pour y répondre, elles mobilisent 3 types d'actions : la préservation d'écosystèmes, l'amélioration de la gestion durable d'écosystèmes utilisés par les activités humaines, enfin la restauration des écosystèmes dégradés et la création d'écosystèmes. Elles rejoignent ainsi l'ingénierie écologique, caractérisée par des finalités écologiques mais aussi économiques et sociales, et basée sur une utilisation du vivant. L'ingénierie écologique présente cependant un champ d'actions plus limitées car explicitement centrées sur des procédés d'ingénierie, à l'instar des ouvrages de génie végétal. Les SfN doivent également permettre de contribuer aux travaux sur la séquence ERC (Eviter, réduire, compenser), qui incite à ne pas restaurer à l'identique mais à une fonctionnalité équivalente, et suivant une trajectoire propre au milieu qui dans 10 ou 20 ans sera peut-être totalement différente de celle d'aujourd'hui.

Le concept de solutions fondées sur la nature est aujourd'hui utilisé par les instances européennes et dans plusieurs programmes de recherche du programme cadre de recherche européen dit « H2020 » en environnement (Eggermont et al., 2015). Or, il existe plusieurs définitions de cette notion dont les contours, encore flous, nécessitent une clarification. Une analyse internationale portée par Alter-Net éclaircit les fondements et enjeux de cette notion en lien avec des concepts similaires de gestion et préservation des écosystèmes, notamment l'ingénierie écologique, et questionne les défis et opportunités de son développement (Nesshöver et al., 2017). Les auteurs soulignent ainsi le potentiel de ce nouveau concept pour développer des recherches interdisciplinaires sur les services rendus par les écosystèmes, et contribuer au développement d'une économie plus durable. Sa mise en œuvre nécessite toutefois une meilleure compréhension de ses principes clés et une mise en commun des savoirs et pratiques entre chercheurs, ingénieurs, entrepreneurs et citoyens.

Un enjeu important pour l'ingénierie écologique reste aujourd'hui de mettre en avant l'ensemble des bénéfices induits par les projets l'utilisant, et liés aux services rendus par les écosystèmes recréés ou réparés. L'évaluation des projets d'ingénierie écologique, tant au niveau de leur réussite que du point de vue socio-économique, doit permettre de tirer un certain nombre de leçons du suivi approfondi des sites où ces techniques ont été mises en œuvre. Enfin, l'ingénierie écologique rejoint les Solutions fondées sur la nature, étant toutes deux caractérisées par des finalités écologiques, économiques et sociales, et basées sur une utilisation du vivant.

BIBLIOGRAPHIE

AEE. 2015. Common International Classification of Ecosystem Services. Version révisée (CICES v4.3).

BARNAUD, G., CHAPUIS, J.L. 2004. Ingénierie écologique et écologie de la restauration : spécificités et complémentarités. Ingénieries EAT, numéro spécial « Ingénierie écologique : des pratiques, des recherches pour l'action, sur les systèmes écologiques », pp. 123-138.

CATALOGNE, C., LAUVERNET, C., CARLUER, N., LEBLOIS, E. 2016. BUVARD online : une application web développée en langage R (Shiny) pour aider les utilisateurs finaux à dimensionner une bande tampon végétalisée. Irstea.

CHAPUIS, J.L., DÉCAMPS, H., BARNAUD, G., BARRÉ, V. 2002. Programme national de recherche « Recréer la Nature ». Réhabilitation, restauration et création d'écosystèmes. Revue d'Écologie « La Terre et la Vie », suppl. 9, 261 p.

CHOCAT, B. (Coord.). 2013. Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques : Pourquoi ? Comment ? Astee. 357 p.

COMMISSION EUROPEENNE, 2014. Créer une infrastructure verte pour l'Europe, Luxembourg : office des publications de l'Union européenne, 24 p.

DUTOIT, T. 2013. L'ingénierie écologique, nouvel oxymore ou nouveau paradigme écologique ? Regards et débats sur la biodiversité, SFE, n°44, 5 avril 2013.

DUTOIT, T. 2012. Espoirs et limites de l'ingénierie écologique. Le Courrier de la Nature, 270, pp. 22-29.

EFESE. 2016. Evaluation française des écosystèmes et des services. Rapport intermédiaire 2016. MEEM, FRB, 162 p.

EGGERMONT H., BALIAN E., AZEVEDO J.M.N. et al. 2015. Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe. Nature-based Solutions, an Emerging Term. GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society, oekom verlag, vol. 24 (4), pp. 243-248

FEUILLETTE S., LEVREL H., BLANQUART S., GORIN O., MONACO G., PENISSON B., ROBICHON S. 2015. Évaluation monétaire des services écosystémiques. Un exemple d'usage dans la mise en place d'une politique de l'eau en France. Natures Sciences Sociétés, vol. 23, pp. 14-26

FEUILLETTE S., LEVREL H., BŒUF B., BLANQUART S., GORIN O., MONACO G., PENISSON B., ROBICHON S. 2016. The use of cost–benefit analysis in environmental policies: Some issues raised by the Water Framework Directive implementation in France. Environmental science & policy, vol. 57, pp. 79-85.

JAUNATRE R., GAUCHERAND S., REY F., GUEROLD F., MULLER S. 2017. ASPIRE : un cadre méthodologique pour l'appréciation du succès des projets d'ingénierie et de restauration écologiques. Application à une opération de restauration d'une zone humide d'altitude. Sciences, eaux et territoires, vol. 24, pp. 52-57.

LENFANT P., GUDEFIN A., FONBONNE S., LECAILLON G., ARONSON J., BLIN E., LOURIE S.M., BOISSERY P., LOEUILLARD J.-L., PALMARO A., HERROUIN G., PERSON J., 2015. Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée. Orientations et principes.

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE. 2018. Cahier des charges PAPI3, Guide méthodologique (Programmes d'action de prévention des Inondations), 76 p.

NESSHÖVER C., ASSMUTH T., IRVINE K., RUSCH G., WAYLEN K., DELBARE B., HAASE D., JONES-WALTERS L., KEUNE H., KOVACS E., KRAUSE K., KÜLVIK M., REY F., VAN DIJK J., VANDEWALLE M., VISTAD O.I., WILKINSON M., WITTMER H. 2017. The science, policy and practice of Nature-Based Solutions: an interdisciplinary perspective. Science of the total environment, vol. 579, pp. 1215-1227.

POULARD C., LE HENAFF G, ARMANI G., ACHARD A.L., GRIMAULT L. 2015. Does the bocage of Brittany mitigate floods ? From scientific controversies to public debate. In EcoHydrology 2015 "Measuring, Modeling and Managing of the natural processes related to water flows, Social values of the linked ecosystem services", Lyon 21-23/09/2015.

POULARD C., ROYET P., LEBLOIS, É., FAURE J.B., BREIL, P., PROUST, S., DEROO, L. 2017. Gérer des inondations par des ouvrages dispersés sur le bassin versant : principes et méthodes de diagnostic d'efficacité probabiliste, Numéro special « Gestion du risque inondation : connaissances et outils au service de l'aménagement des territoires », vol 23, pp. 34-41.

REY F., GOSSELIN F., DORE A. 2014. Ingénierie écologique : action par et/ou pour le vivant ? Editions Quae. 165 p.

REY, F., LESCOURRET, F., COTE, F., DUTOIT, T. 2015. L'ingénierie écologique au service de l'aménagement du territoire. Sciences, eaux et territoires, n° spécial, 76 p.

RICHET, J.-B., OUVRY, J.-F., SAUNIER, M. 2017. The role of vegetative barriers such as fascines and dense shrub hedges in catchment management to reduce runoff and erosion effects: experimental evidence of efficiency, and conditions of use. Ecological Engineering, vol. 103, pp. 455–469.

TOURNEBIZE, J., CHAUMONT, C., MOLINA, S., BERTHAULT D. 2015. Guide technique à l'implantation des zones tampons humides artificielles (ZTHA) pour réduire les transferts de nitrates et de pesticides dans les eaux de drainage : cas du département de la Seine-et-Marne. Irstea. Groupe Technique Zone Tampon, ONEMA, 35p.

UICN France. 2015. Des solutions fondées sur la nature pour lutter contre les changements climatiques. Paris, France, 16 p.

Les projets impliquant l'ingénierie écologique sont la plupart du temps mono-objectifs, alors que répondre à plusieurs finalités est souvent la vocation et la plus-value de l'ingénierie écologique. Il s'agit donc de mettre en évidence, pour les projets d'ingénierie écologique appliqués aux milieux aquatiques, les bénéfices, ainsi que les bénéficiaires associés, en mettant l'accent sur le caractère multi-bénéfices de ces projets. Les actions d'ingénierie écologique peuvent en effet engendrer divers bénéfices, c'est-à-dire des gains, des profits ou des avantages d'ordres écologique, social ou économique. Elles sont multifonctionnelles et génèrent ainsi plusieurs bénéfices d'ampleurs différentes pour plusieurs bénéficiaires. Lors de la conception d'un projet d'ingénierie écologique, l'identification des bénéfices (et des inconvénients) qui pourront être développés par la solution préconisée, qu'ils soient écologiques, sociaux ou économiques, est importante. Ces bénéfices peuvent être qualitatifs ou quantitatifs. Ils peuvent également être évalués monétairement ou non. L'identification des bénéficiaires potentiels d'un projet passe par une identification des changements de fonctionnement du milieu, à l'origine des préjudices subis par des personnes. L'identification, la caractérisation et la priorisation des bénéficiaires peut permettre de définir le ou les plus importants pour les décideurs.

ISBN : 978-2-490604-00-5