
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Etudes & MOE de restauration morpho- écologique de tronçons de cours d'eau

EGIS

Business Line Grands Ouvrages, Eau,
Environnement & Energie
168-170 avenue Thiers 69455
LYON cedex 06



Tuteur entreprise :
Fabrice Peguin
Directeur de projets

Sidney Kremer
IMA
2021-2022

Tuteur académique :
Michel Bacchi

Remerciements

Pour commencer, je souhaite remercier M. Fabrice PEGUIN, mon tuteur professionnel, pour m'avoir fait confiance et m'avoir offert l'opportunité de travailler à ses côtés. Je le remercie également pour m'avoir partagé son expérience et ses connaissances ainsi que pour son accompagnement et son soutien durant l'ensemble de ce stage.

Je tiens également à remercier M. Michel BACCHI, mon tuteur académique pour son accompagnement et ses conseils avisés tout au long de cette expérience.

J'aimerais également remercier M. Corentin DEJAEGER, M. Thomas ABINTOU & Mme Amélie TESSIER, avec qui j'ai pu travailler en étroite collaboration, pour s'être montré disponible et m'avoir guidé au cours des différents projets.

Plus globalement, je tiens à remercier l'ensemble des collaborateurs d'Egis avec lesquels j'ai pu travailler et échanger. J'aimerais remercier particulièrement l'équipe de Lyon, pour son accueil, sa convivialité et ses conseils, ainsi que les équipes de Guyancourt et de Montpellier. Je souhaiterais aussi remercier l'ensemble des personnes, professionnels ou non, que j'ai pu côtoyer durant mon stage pour leur bienveillance.

Je souhaite également remercier le groupe EGIS pour m'avoir accueilli pour réaliser mon stage de fin d'études, d'avoir tout mis en œuvre pour que celui-ci se déroule dans les meilleures conditions et d'en avoir ainsi fait une expérience enrichissante.

Pour finir, j'aimerais remercier mon école, Polytech Tours, et particulièrement mon option d'Ingénierie des Milieux Aquatiques, pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce stage et m'avoir apporté tous les outils nécessaires à sa réalisation.

Table des matières

Introduction.....	7
I. Présentation de la structure d'accueil	7
1. Groupe EGIS.....	7
2. Business Line Grands Ouvrages, Eau, Environnement & Energie	7
3. Agence de Lyon	8
II. Présentation du sujet	8
1. La restauration de cours d'eau : définition	8
2. Des exemples de projets de restauration de cours d'eau.....	9
a. Reconversion de la friche AKERS : étude de faisabilité d'aménagement du lit et des berges de l'Ondaine (42).....	9
b. Etude de la restauration morphologique de la Cance en aval d'Annonay (07)	9
c. Restauration de la continuité écologique du Régrimay au droit du seuil de la confluence avec le Dolure (26).....	9
d. Mission de maîtrise d'œuvre pour des travaux de restauration morpho-écologique sur le Girand (38) 10	
e. Aménagement de l'Ondaine au Chambon Feugerolles entre l'aval de la découverte et le pont de l'Ondaine (42)	10
III. Intérêts de la restauration de cours d'eau	10
1. Les raisons de la restauration de cours d'eau	10
2. Les objectifs de la restauration de cours d'eau.....	12
IV. Le cadre politique et décisionnel des projets de restauration de cours d'eau	13
1. Les acteurs d'un projet de restauration	13
2. Les étapes d'un projet de restauration de cours d'eau	14
3. Le choix des secteurs à restaurer	16
4. Le choix d'un scénario de restauration	16
5. Les financements des projets de restauration de cours d'eau	18
V. La restauration de cours d'eau en pratique	19
1. Rétablissement de la continuité écologique	20
a. Arasement & Dérasement de seuil	20
b. Seuils successifs.....	21
c. Rampe de franchissement.....	22
d. Passes à poissons.....	22
2. Stabilisation & protection de berges.....	23
a. Techniques végétales	23
i. Lit de plants et plançons.....	23
ii. Fascine de saules	24
b. Techniques mixtes.....	25

3.	Création & Diversification d'habitats	26
a.	Blocs	26
b.	Epis végétaux.....	26
c.	Végétation	27
4.	Modification du lit du cours d'eau	27
a.	Reméandrage	28
b.	Modification de la section transversale	28
5.	Autres interventions.....	29
a.	Gestion & entretien des milieux.....	29
b.	Lutte contre les Espèces Exotiques Envahissantes.....	29
c.	Dépollution, génie civil, géotechnique & réseaux.....	30
VI.	La restauration, un réel bénéfice pour les cours d'eau ?	31
1.	La restauration et les compartiments écologiques d'un cours d'eau	31
2.	Le suivi de l'hydromorphologie et de la physico-chimie	32
a.	Hydromorphologie	32
b.	Physico-chimie.....	33
3.	L'évaluation du gain écologique de la restauration	33
4.	Pertinence de la restauration dans le cadre du changement climatique	34
VII.	Retour personnel sur l'expérience	35
	Conclusion	36
	Bibliographie.....	37
	Annexes	40

Table des figures

Figure 1 : Seuil de Pantu - Cance (07) (Source F. PEGUIN)	11
Figure 2 : Seuil maçonné - Girand (38) (Source: F. PEGUIN)	12
Figure 3 : L'Ondaine sur le site AKERS (42) (Source: S.KREMER)	12
Figure 4 : Berges de la Cance au droit de l'ancienne décharge (Source: F. PEGUIN)	13
Figure 5 : Phases d'un projet de restauration	15
Figure 6: Sources de financements des projets de restauration.....	19
Figure 7 : Niveaux d'ambitions des opérations de restauration de cours d'eau.....	20
Figure 8 : Seuil infranchissable - Girand (38) (Source : F. PEGUIN)	21
Figure 9 : Seuil de fond en blocs - Saint-Chamond (42) (Source : F. PEGUIN).....	22
Figure 10 : Rampe en enrochements (Source : F. PEGUIN).....	22
Figure 11 : Lits de plants & plançons après 2 ans de développement - Saint-Chamond (42) (Source : S. KREMER)	24
Figure 12 : Lits de plants & plançons sur une coupe - AKERS.....	24
Figure 13 : Seuil de fond en blocs surmontés de techniques végétales, immédiatement après travaux - Saint-Chamond (42) - (Source : F. PEGUIN).....	25
Figure 14 : Blocs de diversification des écoulements (Source : F. PEGUIN)	26
Figure 15 : Coupe type d'un scénario de restauration avec végétalisation - AKERS - (Source : EGIS) ..	27
Figure 16 : Principe du lit emboîté : diversification des milieux	28
Figure 17 : Déchets de tonte sur les berges du Girand (Source : F. PEGUIN)	29
Figure 18 : Renouée du Japon sur les berges du Régrimay (Source : S. KREMER)	30
Figure 19 : Remblai ferroviaire à effacer - (Source : S. KREMER)	31
Figure 20 : Les différents compartiments écologiques d'un cours d'eau selon la DCE.....	31

Table des tableaux

Tableau 1 : Acteurs d'un projet de restauration	13
Tableau 2 : Système de notation du tableau d'analyse multicritères	17

Index des sigles

ACT : Assistance pour la passation des Contrats de Travaux
AE : Agence de l'Eau
AFL : Aménagements Fluviaux
AMO : Assistance à Maîtrise d'Ouvrage
AOR : Assistance au MOA lors des Opérations de Réception
AVP : Avant-Projet
BL : Business Line
CARHYCE : Caractérisation de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau
CES : Centre-Est
COPIL : Comité de Pilotage
DAE : Département Aménagement et Environnement
DCE : Directive Cadre sur l'Eau
DCE : Dossier de Consultation des Entreprises
DDT : Direction Départementale des Territoires
DET : Direction de l'Exécution des Travaux
DIAG : Diagnostic
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EEE : Espèces Exotiques Envahissantes
EPTB : Établissement Public Territorial de Bassin
FDPPMA : Fédération Départementale de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique
GO3E : Grands Ouvrages, Eau, Energie et Environnement
I2M2 : Indice Invertébrés Multimétriques
IBD : Indice Biologique Diatomées
IBG : Indice Biologique Global
IBGN : Indice Biologique Global Normalisé
IBMR : Indice Biologique Macrophytes en Rivière
IMA : Ingénierie des Milieux Aquatiques
IPR : Indice Poisson Rivière
LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques
MOA : Maîtrise d'Ouvrage – Maître d'Ouvrage
MOE : Maîtrise d'Œuvre – Maître d'Œuvre
OFB : Office Français de la Biodiversité
PPRNPI : Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles d'Inondation
PRO : Projet
RMC : Rhône Méditerranée Corse (Agence de l'Eau)
S3R : Syndicat des 3 Rivières
SEM : Saint-Etienne Métropole
SIRRA : Syndicat Isérois des Rivières Rhône Aval
STEP : Station d'Épuration

Introduction

Pour terminer et valider la formation d'Ingénierie des Milieux Aquatiques (IMA*) du Département Aménagement et Environnement (DAE*) de Polytech Tours, un stage de fin d'études doit être réalisé lors du dernier semestre de 5^{ème} année. Ce stage constitue une opportunité d'approfondir les compétences acquises lors de la formation, d'acquérir de l'expérience et représente un réel tremplin vers la vie professionnelle.

Pour réaliser mon stage de fin d'études, j'ai eu l'opportunité d'intégrer le groupe EGIS, groupe international d'ingénierie, de conseil et d'exploitation, dans les équipes du pôle « Eau » à Lyon (69). J'ai ainsi pu occuper le poste d'ingénieur assistant chargé d'études en études et Maîtrise d'Œuvre (MOE*) de restauration morpho-écologique de cours d'eau. Durant ce stage, j'ai donc pu travailler sur plusieurs projets, à différentes étapes et aux sujets variés : continuité écologique, aménagement de cours d'eau, restauration morpho-écologique, etc. J'ai ainsi pu travailler avec différents collaborateurs d'EGIS et divers acteurs du monde professionnel : collectivité, syndicat de rivière, fédération de pêche, entreprise travaux etc.

Ce présent rapport, composé de plusieurs parties, permet d'apporter une réflexion sur la restauration de cours d'eau compte tenu des missions effectuées durant le stage. Tout d'abord, une présentation de la structure et de l'organisation du groupe EGIS est proposée. Par la suite, les principes de la restauration de cours d'eau et de mise en œuvre des projets seront présentés, en s'appuyant sur différentes études auxquelles j'ai pu prendre part. La légitimité de la restauration de cours d'eau sera ensuite questionner notamment vis-à-vis du gain écologique apporté ainsi que sur son intérêt futur dans le cadre du changement climatique. Pour finir, un retour réflexif sur le stage sera donné suivi d'une brève conclusion.

I. Présentation de la structure d'accueil

1. Groupe EGIS

EGIS est un groupe international d'ingénierie, de conseil et d'exploitation qui intervient dans de nombreux domaines d'activité dont les principaux sont les transports, le génie civil et le bâtiment. Plus de 16 000 collaborateurs travaillent au sein du groupe EGIS dont le chiffre d'affaire dépasse 1 milliard €. Depuis 2020, le directeur général d'Egis est M. Laurent GERMAIN.

Le groupe EGIS organise son activité sous formes de « Business Line » (BL*) qui sont au nombre de 7 compte tenu des grands domaines d'activités (Annexe 1). D'un point de vue géographique, EGIS s'organise en 6 régions qui regroupent les activités régionales de toutes les BL. Ainsi, une région est constituée de la somme des unités opérationnelles des BL dans le secteur géographique concerné.

2. Business Line Grands Ouvrages, Eau, Environnement & Energie

La réalisation du stage a eu lieu dans la BL Grands Ouvrages, Eau, Environnement et Energie (GO3E*), dans l'activité « Eau, Energie et Maritime », au sein du pôle « Eau ».

La BL GO3E regroupe 4 activités avec plus de 1 300 collaborateurs autour du monde et de nombreuses implantations en France (Annexes 2 & 3). L'activité « Eau, Energie & Maritime » s'organise autour d'un pôle « Eau », d'un pôle « Maritime » et d'un pôle « Energie ». Une direction technique permet

d'apporter une expertise de manière transversale aux différents pôles et de porter certains projets particuliers (Annexe 4).

Le pôle « Eau » s'organise autour de deux directions : une direction France pour les projets en Métropole et territoires d'Outre-Mer et une direction Internationale pour les projets internationaux.

3. Agence de Lyon

L'agence de Lyon du pôle « Eau », qui appartient au territoire Centre-Est (CES*), regroupe des collaborateurs appartenant à la direction France pour certains et à la direction technique pour d'autres (Annexe 5). Les collaborateurs de la direction technique à Lyon appartiennent au pôle « Aménagements Fluviaux » (AFL*) lui-même compris dans le pôle supérieur « Hydraulique Fluvial ». A Lyon, les collaborateurs de ces deux directions, France et Technique, travaillent en étroite collaboration.

Dans le cadre du stage, une position m'a été attribuée au sein de la direction technique. J'ai ainsi pu participer à des réunions du pôle technique AFL mais également travailler avec des collaborateurs appartenant à la direction France, des agences de Lyon et de Montpellier notamment.

II. Présentation du sujet

1. La restauration de cours d'eau : définition

La restauration de cours d'eau est une pratique qui vise à retrouver les fonctions naturelles de ceux-ci, souvent altérées par des pressions anthropiques.

En effet, depuis le 18^{ème} siècle, les cours d'eau ont souvent été modifiés pour répondre aux besoins des êtres humains :

- Urbanisation ;
- Développement de l'agriculture ;
- Développement industriel ;
- Protection contre les inondations ;
- Etc.

Cependant, à la fin des années 80, les conséquences de ces nombreux aménagements commencent à émerger : les cours d'eau s'incisent, la vie biologique se dégrade, les inondations sont fréquentes... Les connaissances sur l'hydromorphologie et l'écologie fluviale commencent alors à se développer pour faire face aux multiples problèmes qui apparaissent (Agence de l'Eau Loire Bretagne, 2011). Petit à petit, une prise de conscience a lieu vis-à-vis des problématiques associées aux cours d'eau anthropisés. La nécessité de retrouver des cours d'eau aux fonctionnements corrects a permis aux premiers projets de restauration de voir le jour.

La restauration de cours d'eau peut intégrer différents aspects des cours d'eau : hydromorphologique, hydraulique, écologique, etc. Généralement, les projets de restauration de cours d'eau concernent plusieurs aspects. Dans tous les cas, l'objectif de la restauration est toujours le même, retrouver un fonctionnement naturel des cours d'eau, et cela se fait en travaillant sur ces différents compartiments de l'hydrosystème.

D'un point de vue réglementaire, les lois sur l'eau de 1964 et 1992 ont permis d'encadrer les usages et pratiques liés à l'eau. La réelle volonté de protection et restauration des cours d'eau, mais aussi des milieux aquatiques, est apparu au niveau européen avec la Directive Cadre sur l'Eau (DCE*) en 2000.

Elle impose notamment un objectif d'atteinte du bon état des eaux, qui amène une nécessité de restauration des milieux aquatiques. Les objectifs de la DCE sont transposés, en France, dans la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA*) de 2006. La restauration des cours d'eau est l'un des principaux objectifs de la LEMA, souvent associée à la préservation de ces milieux. En 2020, une simplification de la procédure au titre de la loi sur l'eau apparaît pour les travaux de restauration des milieux aquatiques (*Les dates de la politique de l'eau*, s. d.; Morandi, 2014).

2. Des exemples de projets de restauration de cours d'eau

Durant ce stage de fin d'études chez EGIS, j'ai pu travailler sur différents projets de restauration de cours d'eau. Chacun de ces projets a ses propres enjeux et problématiques ce qui m'a permis d'entrevoir la diversité de la restauration de cours d'eau. Ces projets permettront ainsi d'illustrer certains des propos tenus dans ce rapport. Une brève présentation de ces projets est faite ci-dessous.

a. Reconversion de la friche AKERS : étude de faisabilité d'aménagement du lit et des berges de l'Ondaine (42)

Le projet de restauration de la friche AKERS, située dans la Loire (42), est porté par Saint-Etienne Métropole (SEM*). Ce projet vise à restaurer le lit et les berges de l'Ondaine, cours d'eau largement anthropisé, qui traverse l'ancien site industriel de la société AKERS. La restauration de ce tronçon de l'Ondaine doit permettre de diminuer le risque inondation sur le site et ses alentours, restaurer la continuité écologique et retrouver un cours d'eau naturel, d'un point de vue fonctionnel mais aussi cadre de vie. Le projet est actuellement à la phase d'étude de faisabilité qui doit aboutir à la proposition d'un scénario d'aménagement optimal.

b. Etude de la restauration morphologique de la Cance en aval d'Annonay (07)

L'étude pour la restauration morphologique de la Cance en aval d'Annonay (Ardèche, 07) est portée par le Syndicat des Trois Rivières (S3R*). Cette étude doit permettre d'identifier les zones à enjeux pour ensuite cibler de potentielles opérations de restauration du cours d'eau. Les principales pressions exercées sur ce secteur de la Cance sont dues à la présence à proximité du lit mineur d'une Station d'Épuration (STEP*), d'une ancienne décharge et d'un seuil transversal important associé à une microcentrale hydroélectrique. Cette étude doit aboutir à la proposition de méthodes de gestion et/ou de scénarios de restauration, selon les problématiques et enjeux de chaque tronçon du linéaire total. Elle est actuellement à la phase d'étude de faisabilité.

c. Restauration de la continuité écologique du Régrimay au droit du seuil de la confluence avec le Dolure (26)

Le projet de restauration de la continuité écologique du Régrimay est porté par la Fédération de Pêche de la Drôme (FDPPMA* 26). L'objectif de ce projet est d'effacer le seuil en enrochements liaisonnés présent à l'amont immédiat de la confluence entre le Régrimay et le Dolure pour rétablir la continuité écologique. Une restauration du Régrimay est prévue sur le secteur en amont de la confluence pour accompagner l'effacement du seuil. Ce projet est actuellement à la phase de la Direction de l'Exécution des Travaux (DET*).

d. Mission de maîtrise d'œuvre pour des travaux de restauration morpho-écologique sur le Girand (38)

Ce projet de restauration morpho écologique du Girand est porté par le Syndicat Isérois des Rivières Rhône Aval (SIRRA*). Ce projet vise à restaurer un tronçon du Girand, impacté par des pressions anthropiques, compris entre deux secteurs très naturels. Cette mission doit ainsi permettre de rétablir la continuité écologique, améliorer le fonctionnement hydromorphologique et préconiser des mesures de gestion et d'entretien des abords du cours d'eau notamment pour les riverains. Cette mission est actuellement à la phase d'Avant-Projet (AVP*).

e. Aménagement de l'Ondaine au Chambon Feugerolles entre l'aval de la découverte et le pont de l'Ondaine (42)

Le projet d'aménagement de l'Ondaine au Chambon-Feugerolles est porté par SEM. Il vise à restaurer un secteur de l'Ondaine plutôt anthropisé à l'aval immédiat d'une portion déjà restaurée. Ce tronçon de l'Ondaine comprend notamment un ouvrage de couverture supportant un remblai ferroviaire imposant. L'objectif de ce projet est de supprimer ce remblai ferroviaire et de restaurer l'Ondaine en réduisant notamment le risque inondation sur ce secteur. Ce projet est actuellement au stade Projet – Dossier de Consultation des Entreprises (PRO*, DCE*).

III. Intérêts de la restauration de cours d'eau

1. Les raisons de la restauration de cours d'eau

Comme évoqué plus haut, durant plusieurs dizaines d'années, les cours d'eau ont été considérablement modifiés pour répondre aux besoins et aux attentes des êtres humains. Cependant, ces aménagements n'ont pas été sans conséquences pour le fonctionnement des cours d'eau. Les modifications anthropiques ont affecté différents aspects des cours d'eau ce qui a entraîné un réel déséquilibre dans leur fonctionnement.

La morphologie des cours d'eau, et donc les profils en long, ont souvent été modifiés par des travaux de recalibrage, de rectification ou de rescindement. Ces travaux avaient pour objectifs d'obtenir des cours d'eau rectilignes, aux sections plus importantes, pour contenir les débits de crues et limiter les inondations. Toutefois, ces changements n'ont pas forcément répondu aux objectifs initiaux et ont entraînés toute une cascade de problèmes (AFB, 2010; CPIE, 2010; Jugie, 2018) :

- La longueur des cours d'eau a été réduite ce qui a donc fait augmenter la pente ainsi que les vitesses d'écoulement. Les processus d'érosion ont alors augmenté ce qui a entraîné des phénomènes d'incision des lits et donc une déconnexion des annexes hydrauliques avec le cours d'eau. Les phénomènes d'inondations ont été aggravés dans les zones à l'aval de ces aménagements du fait de l'augmentation des vitesses d'écoulement.
- Les cours d'eau ont perdu leur diversité physique, devenant ainsi homogène sur l'ensemble de leur linéaire. La diversité d'habitats a donc diminué entraînant alors une perte de biodiversité végétale et animale.
- L'agrandissement de la section des cours d'eau a permis de limiter les débordements mais à, dans un même temps, accentué la déconnexion des annexes hydrauliques qui se sont progressivement asséchées. La modification des caractéristiques des annexes hydrauliques a également participé à la perte de biodiversité. L'élargissement des cours d'eau a également

réduit les hauteurs d'eau, facilitant ainsi le réchauffement de l'eau et aggravant les phénomènes d'étiages.

Des opérations d'endiguement ou de stabilisation de berge ont également été menés sur les cours d'eau. Ces aménagements bloquent la liberté du cours d'eau à se déplacer latéralement et la diversification physique du lit, ce qui favorise les phénomènes d'incisions. Une perte d'habitat en berges mais aussi dans le fond du lit est observable après ce type de travaux ce qui conduit à un appauvrissement biologique du cours d'eau. Tout comme pour les opérations de recalibrage/rescindement, les travaux de stabilisation de berge et d'endiguement accentuent les phénomènes d'inondation en aval de ceux-ci (AFB, 2010; Jugie, 2018).

Des ouvrages transversaux, seuils ou barrages, ont été construits sur les cours d'eau pour répondre aux besoins des populations. La présence de ces ouvrages altère une part importante du fonctionnement des cours d'eau. La continuité écologique est perturbée : les espèces piscicoles ne peuvent plus circuler librement et facilement, perturbant ainsi la vie biologique. La continuité sédimentaire est également impactée : les matériaux sont retenus en amont de l'ouvrage et un déficit se crée en aval. Une homogénéisation du milieu et un rehaussement du fond du lit et de la ligne d'eau apparaissent en amont tandis qu'un processus d'incision peut être initié en aval de l'ouvrage. Une dégradation des habitats et donc de la diversité biologique est provoquée par la présence de seuil, les annexes hydrauliques peuvent également se déconnecter du cours d'eau (AFB, 2010; CPIE, 2010; Jugie, 2018).

Etude de la Cance (07)

Sur le tronçon étudié de la Cance, se trouve un seuil, associé à une microcentrale hydroélectrique, ayant un fort impact sur la circulation des sédiments (Figure 1). D'une hauteur de presque 7 m, cet ouvrage provoque, à son amont, une sédimentation accrue dans sa retenue sur près de 300 m ainsi qu'un effet plan d'eau sur 140 m. A l'aval de ce seuil, un déficit de matériaux est constaté ainsi qu'un processus d'érosion marqué sur 400 m : le fond du lit s'est abaissé d'environ 0.75 m. La continuité piscicole a été maintenue avec la création d'une rivière de contournement en macro rugosités.



Figure 1 : Seuil de Pantu - Cance (07) (Source F. PEGUIN)

Dans d'autres cas, c'est la ripisylve des cours d'eau qui a été modifiée : elle peut avoir été dénaturée ou même totalement supprimée. La disparition de la ripisylve d'un cours d'eau peut favoriser le réchauffement de l'eau et faciliter l'arrivée de polluants dans le milieu. Avec une ripisylve altérée ou inadaptée, les berges sont déstabilisées et de nombreux habitats en berges et sous berges disparaissent. Les conditions du milieu sont alors modifiées ce qui peut fortement perturber la vie biologique animale et végétale des cours d'eau. La disparition de la ripisylve peut également faciliter le développement d'Espèces Exotiques Envahissantes (EEE*) (AFB, 2010; CPIE, 2010). Le prélèvement ou le stockage d'eau dans les cours d'eau ainsi que l'arrivée de divers polluant peuvent fortement altérer le fonctionnement des cours d'eau. Les conditions physico-chimiques des milieux se retrouvent modifiées et les phénomènes d'étiages sont plus marqués et intenses, encore davantage actuellement dans le cadre du changement climatique.

Les aménagements réalisés sur les cours d'eau ont provoqué toute une série de dysfonctionnements des milieux aquatiques. Les risques d'inondations ont été aggravés, la qualité et la quantité d'eau ont été altérées et des phénomènes d'incision sont apparus favorisant la déconnexion des annexes hydrauliques. Le potentiel biologique des milieux a été drastiquement réduit, avec la disparition d'habitats et la modification des conditions physico-chimiques, menant à une perte de biodiversité dans

les cours d'eau. Les interventions anthropiques sur les cours d'eau ont souvent déclenché une succession de petites modifications se répercutant sur le fonctionnement et l'état du milieu. Aujourd'hui, le changement climatique accentue les pressions qui s'exerce sur les cours d'eau, avec l'apparition de phénomènes plus intenses et plus fréquents (inondations, étiages...). Il semble alors essentiel de poursuivre et d'accroître les projets de restauration de cours d'eau afin de retrouver des cours d'eau fonctionnels, avec une biodiversité intéressante, pouvant garantir les services écosystémiques rendus à la société humaine.

2. Les objectifs de la restauration de cours d'eau

Les projets de restauration visent à rétablir le fonctionnement des cours d'eau altérés généralement suite aux différentes opérations décrites ci-dessus. Selon les cas, la restauration peut avoir un ou plusieurs objectifs pour résorber les dysfonctionnements des cours d'eau. Le but final est toujours d'atteindre un bon ou, en tous cas, un meilleur état du cours d'eau. Ce bon état est déterminé par un fonctionnement hydromorphologique naturel garantissant une bonne qualité biologique et physico-chimique.

Le rétablissement de la continuité écologique est l'un des objectifs récurrents des projets de restauration avec la présence de nombreux seuils dans toutes tailles de cours d'eau. Cela permet aux espèces piscicoles de circuler librement selon leur cycle de vie.

Etude du Girand (38)

Sur le Girand, la continuité écologique est fortement impactée par la présence de plusieurs seuils maçonnés ou « artisanaux » (Figure 2). Ces seuils vont être effacés et plusieurs aménagements sont proposés pour garantir la continuité écologique.



Figure 2 : Seuil maçonné - Girand (38) (Source: F. PEGUIN)

Les projets de restauration de cours d'eau ont aussi parfois pour vocation de réduire les risques inondations à proximité des cours d'eau en redonnant un espace de liberté au cours d'eau.

L'une des finalités des projets de restauration de cours d'eau peut être de retrouver la fonctionnalité écologique d'un cours d'eau avec de multiples habitats permettant d'abriter une vie biologique riche et diversifiée.

Etude de l'Ondaine - AKERS (42)

La restauration de la friche AKERS a notamment pour objectif de résorber le risque inondation sur le site pour ensuite pouvoir l'aménager (Annexe 6). Un second objectif est aussi de retrouver un cours d'eau à l'aspect et au fonctionnement naturel. Sur ce secteur, l'Ondaine est actuellement fortement anthropisé (Figure 3).

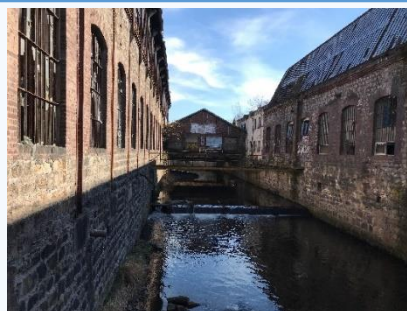


Figure 3 : L'Ondaine sur le site AKERS (42) (Source: S.KREMER)

La restauration d'un cours d'eau peut également viser la résorption de problématiques plus localisées comme les érosions de berges ou l'incision des lits, ou encore limiter les problèmes de qualité et quantité d'eau.

Etude de la Cance (07)

Sur la rive gauche de la Cance se trouve l'ancienne décharge de la ville d'Annonay qui contient toutes sortes de déchets. A chaque crue, la Cance érode la décharge et emporte une multitude de déchets qui sont source de pollution pour le milieu (Figure 4). L'un des objectifs de cette étude est de proposer un aménagement permettant de limiter ce phénomène de pollution.



Figure 4 : Berges de la Cance au droit de l'ancienne décharge
(Source: F. PEGUIN)

En travaillant sur différents aspects, les projets de restauration visent à redonner aux cours d'eau un équilibre et fonctionnement naturel dans la mesure du possible. L'un des intérêts majeurs de la restauration est de retrouver des cours d'eau pouvant rendre des services écosystémiques, services essentiels au fonctionnement de notre société (Le Bihan, 2020).

Ainsi, la restauration de cours d'eau peut viser divers objectifs, dont certains sont présentés ci-dessus, pour rétablir le fonctionnement naturel des cours d'eau.

IV. Le cadre politique et décisionnel des projets de restauration de cours d'eau

Avant de réaliser des travaux de restauration de cours d'eau, les projets s'inscrivent dans tout un processus de choix politique et décisionnel. Ce cheminement fait appel à différents acteurs et permet de répondre à plusieurs interrogations : quel secteur restaurer ? quel scénario de restauration choisir ? comment financer les travaux ? Pour mener un projet de restauration efficient, il existe plusieurs outils et méthodes.

1. Les acteurs d'un projet de restauration

Les projets de restauration sont généralement portés par des organismes publics, en charge de la gestion de cours d'eau. Pour mener à terme le projet, le Maître d'Ouvrage (MOA*) fait appel à plusieurs acteurs ayant chacun un rôle particulier (OFB, s. d.-a) (Tableau 1).

Tableau 1 : Acteurs d'un projet de restauration

Acteur	Rôle	Exemples
Maître d'Ouvrage (MOA)	Le MOA est la personne, physique ou morale, pour qui est réalisé le projet. C'est le porteur de projet.	Sur l'Ondaine, la maîtrise d'ouvrage des projets de la friche AKERS et du Chambon Feugerolles est réalisée par la Métropole de Saint-Etienne. Les projets de la Cance et du Girand sont portés par les syndicats de rivières locaux (S3R & SIRRA). Le maître d'ouvrage du projet sur le Régrimay est la fédération de pêche de la Drôme.



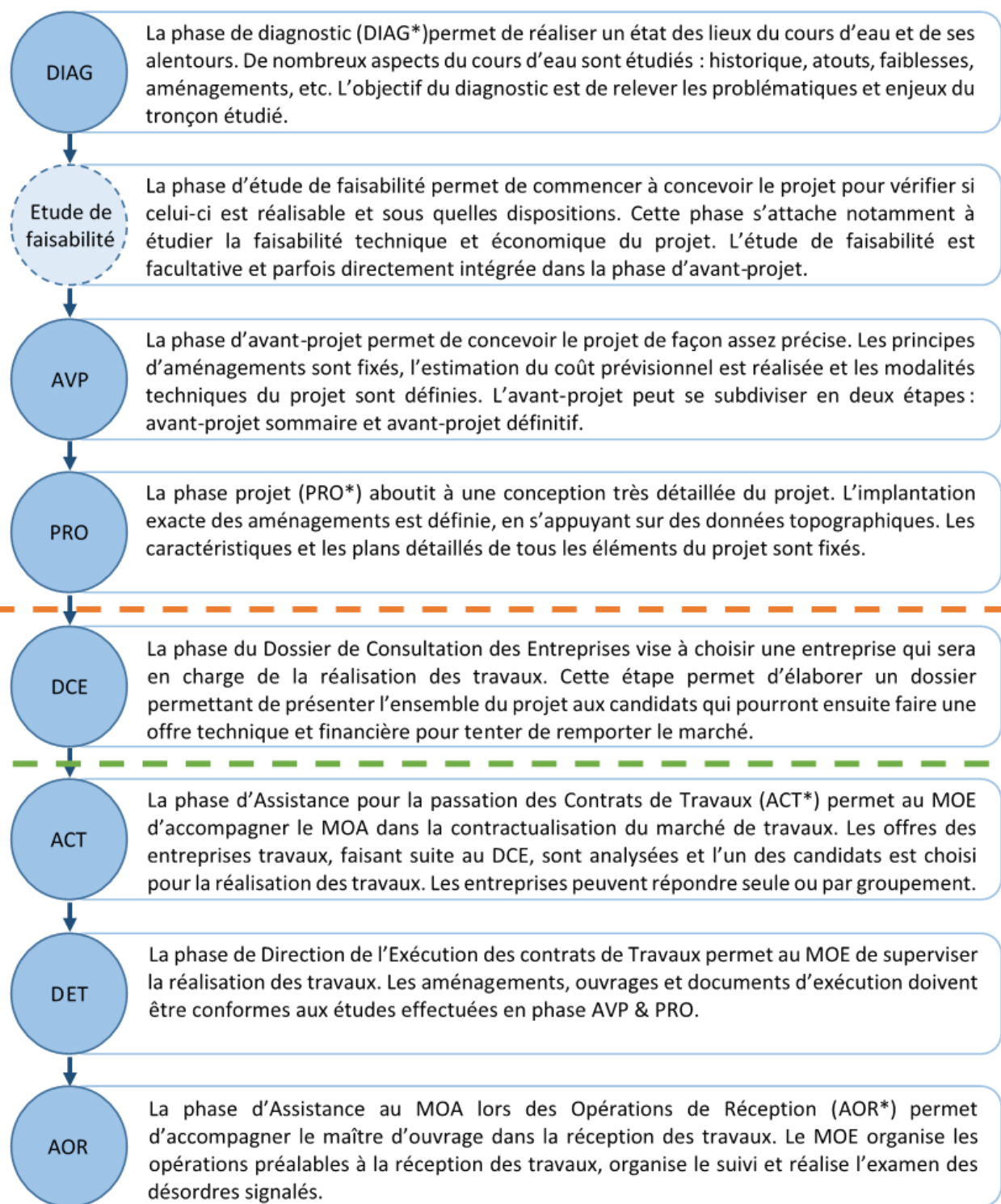
Maître d'Œuvre (MOE)	Le MOE est la personne, physique ou morale, en charge de la réalisation du projet. Il est choisi par le MOA et peut, par exemple, être un bureau d'étude ou une entreprise de travaux.	Pour l'ensemble des projets pris en exemple dans ce rapport, la maîtrise d'œuvre est portée par EGIS. 
Assistance à Maîtrise d'Ouvrages (AMO*)	L'AMO a un rôle d'accompagnement (conseil, aide...) du MOA. Cet accompagnement peut se faire sur un ou plusieurs domaines : technique, juridique...	Sur le projet de restauration de l'Ondaine au Chambon-Feugerolles, le MOA est accompagné d'un AMO sur le domaine de la dépollution des sols. L'AMO est réalisée par SOCOTEC. 
Entreprise travaux	L'entreprise travaux est en charge de la réalisation des travaux. Un projet peut faire appel à une ou plusieurs entreprises (sous-traitance ou co-traitance) selon les spécificités de chacune.	Les travaux de restauration sur le Régrimagay sont assurés par l'entreprise travaux NGE. 
Riverain/Particulier	Les riverains et/ou particulier sont parfois sollicités dans le cadre de réunion de concertation pour présenter le projet, recenser les attentes et besoins de chacun, etc. Les projets de restauration peuvent avoir lieu sur des parcelles privées.	Sur le Girand, les différents scénarios de restauration ont été présentés aux riverains lors d'une réunion publique organisée par le SIRRA. Cette réunion a permis d'informer les riverains et de recueillir leur avis sur chacun des scénarios.
Direction Départementale des Territoires (DDT*)	La DDT réalise l'instruction et le suivi des dossier soumis à la loi sur l'eau. Elle réalise également une surveillance du projet, en accord avec ses compétences, et peut aiguiller le MOE et le MOA sur les propositions d'aménagements.	Pour le projet de restauration de la friche AKERS la DDT a demandé une modélisation hydraulique plus poussée des phénomènes de crues pour visualiser l'effet des aménagement proposés, notamment dans le cadre de la production d'un nouveau Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles d'Inondation (PPRNPI*).
Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL*)	La DREAL a aussi un rôle de surveillance du projet, notamment dans le cadre du respect de la DCE.	La DREAL a également été conviée aux réunions de travail sur le projet de restauration de la friche AKERS. La représentante a pu soulever des points de questionnement et partager son avis. 
Agence de l'Eau (AE*)	Les agences de l'eau peuvent accompagner la réalisation d'un projet d'un point de vue technique mais aussi financier. C'est généralement le financeur principal des projets de restauration de cours d'eau.	Les travaux de restauration du Régrimagay sont entièrement financés par l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC*). 
Office Français de la Biodiversité (OFB*)	L'OFB peut également avoir un rôle de conseil et de surveillance du projet.	Lors d'un Comité de Pilotage (COPI*) sur la Cance, l'OFB était représenté pour prendre connaissance du projet.

2. Les étapes d'un projet de restauration de cours d'eau

Avant d'arriver à terme, un projet de restauration de cours d'eau passe par une multitude d'étapes permettant de proposer et de réaliser des aménagements de manière efficiente. L'objectif, pour le MOA, est d'avoir un contrôle sur chaque phase du projet afin de pouvoir aboutir à un projet conforme à ses attentes. Ci-dessous sont décrites les principales phases des projets de restauration de cours

d'eau, d'un point de vue du MOE (Figure 5). Cette liste n'est pas exhaustive, d'autres phases peuvent avoir lieu lors de la conduite d'un projet.

Partie étude



Partie chantier

Figure 5 : Phases d'un projet de restauration

Les différentes phases des projets qui ont eu lieu dans la durée du stage et auxquelles j'ai pu prendre part sont détaillées en annexe (Annexe 7). Le fait de travailler sur différents projets tout au long du stage m'a permis de participer à différentes étapes d'avancement alors qu'une seule peut durer plusieurs mois.

3. Le choix des secteurs à restaurer

Afin d'atteindre un bon état global des cours d'eau, il est nécessaire de déterminer les secteurs à restaurer en priorité. Pour cela, il existe des outils permettant d'encadrer les actions de préservation, d'amélioration et de gestion des cours d'eau. Le contrat de rivière, souvent utilisé, permet d'établir un engagement entre les différents acteurs d'un bassin versant : agence de l'eau, syndicat de rivière, collectivité territoriale, etc. Il permet de fixer des objectifs sur la qualité de l'eau, la gestion de la ressource en eau, la préservation des milieux aquatiques et la prévention des risques inondation. Il permet également d'établir un programme d'actions pour atteindre ces objectifs (CEREMA, 2022). Grâce au contrat de rivière, les secteurs à restaurer peuvent être cibler pour atteindre les objectifs fixés. Cet outil permet d'engager la mise en place de projets de restauration sur des secteurs définis.

Pour réellement déterminer les secteurs de cours d'eau nécessitant une restauration, il est primordial de faire un diagnostic. Le diagnostic permet de prospecter tout un linéaire de cours d'eau et de cibler les secteurs les plus problématiques. Le diagnostic peut se faire via des outils numériques qui permettront d'étudier le contexte et l'historique du cours d'eau, pour prédéfinir les zones à enjeux. Cela peut se faire grâce à l'étude de photos aériennes, actuelles et historiques, et la prise en compte de d'études déjà réalisées : inondation, patrimoine, risques, etc. Le diagnostic se fait également par une prospection terrain qui permet de confirmer les premières observations et de les compléter plus précisément. La prospection du cours d'eau permet d'étudier tout le linéaire sous différents aspects : hydromorphologie, biologie, usages, patrimoine, etc. En combinant toutes les informations ainsi obtenues, il est alors possible de déterminer des secteurs plus problématiques et donc plus enclins à un projet de restauration. Avec le diagnostic, des secteurs prioritaires et d'autres secondaires peuvent être définis pour faire l'objet d'une restauration.

Le choix final d'un secteur pour mener un projet de restauration, même après le ciblage du diagnostic, dépendra toujours de la volonté politique du territoire. Selon les programmes d'actions des institutions, l'acceptation par les riverains et les enjeux extérieurs au seul cours d'eau, certains secteurs pourront être choisis même si ils présentent moins de problématiques que d'autres. Le choix d'un secteur pour un projet de restauration dépend alors du cours d'eau en lui-même mais aussi du cadre et du contexte dans lequel il se trouve.

4. Le choix d'un scénario de restauration

Lorsque le secteur de cours d'eau à restaurer a été choisi, plusieurs scénarios peuvent être envisagés pour le projet de restauration. Ces scénarios répondent généralement aux mêmes objectifs, cependant certains peuvent être plus ambitieux que d'autres ou présenter les diverses solutions possibles. L'intérêt d'avoir plusieurs scénarios est de présenter les différents aménagements et actions possibles au MOA. De plus, cela permet de proposer des alternatives à différentes échelles, d'un point de vue technique, économique, cadre de vie, etc. Le choix du scénario final retenu pour le projet revient au MOA qui peut s'appuyer sur différents outils pour prendre sa décision.

Tout d'abord, la décision s'appuie sur tous les aspects différenciant les scénarios, qu'ils soient techniques, financier, sociétal, etc.

D'un point de vue technique, les scénarios peuvent se différencier en proposant plusieurs aménagements permettant de répondre à un même objectif de différentes manières, à différentes

ambitions et à une efficacité différente. Les scénarios peuvent également se différencier selon la difficulté de mise en œuvre des solutions proposées, selon le contexte certaines demanderont plus de moyens que d'autres. Par exemple, pour restaurer la continuité écologique au niveau d'un seuil, plusieurs aménagements peuvent être envisagés : effacement du seuil, création de seuils successifs, rampe de franchissement, passe à poisson, etc. Selon les cas et le contexte du projet, ces solutions pourront être plus ou moins faciles à mettre en œuvre : accessibilité, caractéristiques du lit, enjeux, etc.

La part financière est également un élément important dans la décision du MOA. Selon les aménagements proposés, certains scénarios peuvent coûter plus cher que d'autres à mettre en œuvre. Le MOA a généralement une tranche budgétaire définie dès l'initiation du projet. Il est donc primordial, pour le MOE, de proposer des scénarios en cohérence avec le budget du MOE. Si un scénario dépasse largement le budget fixé, il sera généralement écarté par le décisionnaire final. A l'inverse, un scénario au coût financier très bas est fréquemment perçu comme un scénario peu ambitieux, ne garantissant pas un niveau de restauration optimal. Ainsi, l'aspect financier des scénarios de restauration a un poids important dans la décision finale.

En plus des aspects financier et technique, le choix du scénario à retenir peut se faire grâce à la différence sur de nombreux autres aspects, ce qui, selon les cas, peut être moins évident en première approche. Le décisionnaire peut en effet se baser sur le « rendu » final du scénario, d'un point de vue esthétique, cadre de vie. Un aspect naturel est souvent plus recherché qu'un aspect artificiel dans le cadre de la restauration de cours d'eau. La pérennité des aménagements est également importante dans le choix du scénario. Un aménagement pérenne et ne nécessitant pas d'entretien (effacement d'un seuil) sera, selon le contexte, sûrement plus intéressant qu'un aménagement moins coûteux mais moins pérenne et demandant un entretien régulier (passe à poissons, rampe de franchissement) (AFB, 2010). Le choix du scénario peut aussi être réalisé en regard d'un projet plus global dans lequel s'inscrit la restauration du cours d'eau. Ce projet peut effectivement être une part d'un projet à plus grande échelle, qu'il soit social, sociétal ou un projet d'aménagement urbain. Les scénarios proposés pourront alors répondre dans différentes mesures à ce projet global et seront ainsi plus ou moins approprié.

Compte tenu des nombreux aspects d'un scénario de restauration, le MOE peut aider le MOA dans son analyse et son choix. Le MOE a conçu les scénarios et est donc le plus à même d'identifier et d'expliquer les particularités de chacun d'entre eux. Les échanges sont importants entre MOE et MOA pour proposer des scénarios en cohérence dès le début avec les volontés du MOA et présenter ensuite précisément chacun des scénarios et leurs différences. Le MOE peut également proposer des outils permettant de récapituler et de comparer les scénarios. Chez EGIS, un tableau d'analyse multicritère est conçu pour guider le MOA dans son analyse. Ce tableau permet de donner une note à chaque scénario sur chacun des aspects couverts par le projet. Ces aspects peuvent par exemple concerner les fonctionnalités des lits mineur et majeur, les usages autour du cours d'eau, les volets administratifs et financier, etc. Pour chaque critère identifié et pour chaque scénario, une note allant de -2 à 2 est donnée selon le système suivant (Tableau 2):

Tableau 2 : Système de notation du tableau d'analyse multicritères

La note tend vers -2	La performance sur le critère est améliorée
La note tend vers +2	La situation actuelle sur le critère est dégradée
La note est de 0	Le critère n'est pas impacté ou les incidences positives et négatives se compensent

Ce système permet d'obtenir une note globale pour chaque scénario indiquant celui qui semble le plus avantageux au regard de l'ensemble des critères. Le résultat de cette analyse est simplement une aide pour le MOA qui peut s'en servir pour prendre sa décision.

Pour faire le choix du scénario de restauration, le décideur peut également s'appuyer sur les riverains, souvent concernés directement par le projet. Lors de projets de restauration de cours d'eau, les riverains sont souvent concernés, que ce soit par la proximité du projet (parcelles privées, etc.) ou par son objectif (amélioration du cadre de vie). Pour choisir un scénario de restauration le décideur peut donc faire appel aux riverains afin de connaître leurs positions. Avec la mise en place de réunions, les riverains pourront être informés du projet et des scénarios possibles. Si le décideur le souhaite, des moyens de consultation et concertation pourront permettre de recueillir la volonté, l'avis et les idées des riverains sur le projet et les scénarios. Selon la volonté du MOE et les moyens mis en place, les riverains pourront être plus ou moins intégrés à la décision finale du scénario à choisir. Les riverains peuvent également être associés à d'autres phases du projet (diagnostique, conception,...) pour directement considérer leurs attentes et inquiétudes. L'avis des riverains peut simplement être une indication pour le décideur sur le scénario à choisir ou, à l'inverse, être un réel appui à la décision.

Etude du Girand (38)

Pour le projet de restauration du Girand, 3 scénarios ont été proposés par Egis au MOE (SIRRA). Ces scénarios se différencient sur leur ambition : de la restauration ponctuelle du lit (30 ml) & à l'aménagement des ouvrages transversaux à une restauration du lit plus complète (110 ml) & à l'effacement complet des ouvrages transversaux. Le SIRRA a proposé des outils de concertation et de consultation aux riverains d'une part avant la conception et d'autre part après la conception des 3 scénarios. Lors d'une réunion publique et après présentation des scénarios, les riverains ont ainsi pu donner leurs avis, leurs appréhensions et/ou satisfactions. Les avis pour chaque scénario ont été classés selon 3 catégories : Favorable, Neutre & Défavorable. Les résultats de cette consultation vont permettre aux décideurs du SIRRA de guider leur choix en ayant une vision de l'avis global des riverains sur les différents scénarios.

Ainsi, il existe différents éléments permettant de faire la sélection d'un scénario de restauration. Le choix repose principalement sur la différence entre les scénarios sur des aspects techniques et financiers mais aussi sur d'autres aspects moins évidents en première approche. Pour aider la comparaison sur ces différents aspects, il est possible d'élaborer des outils comme le tableau d'analyse multicritère qui permet d'obtenir une note finale au regard de l'impact sur chacun des aspects du projet. L'avis des riverains peut également permettre de guider le choix de décision final. Le choix d'un scénario de restauration est toujours un processus important et complexe car de nombreux aspects doivent être évalués et mis en relation.

5. Les financements des projets de restauration de cours d'eau

Le coût d'un projet de restauration est très variable et peut rapidement être important surtout pour les structures qui portent ces projets. Le coût de l'opération dépend de nombreux facteurs :

- Longueur du linéaire restauré ;
- Techniques & aménagements mis en place ;
- Localisation & accessibilité ;
- Nature des matériaux utilisés ;
- Travaux associés : dépollution des sols, génie civil (ouvrage de franchissement...), géotechnique, etc.

Selon les cas, un projet de restauration peut coûter quelques dizaines ou centaines de milliers d'euros mais les plus gros projets peuvent atteindre des sommes bien plus importantes, jusqu'à plusieurs millions d'euros. Ces coûts sont souvent très importants pour les structures qui portent les projets qui ne peuvent pas les financer seules, d'autant plus si elles en ont plusieurs simultanément. Des financements extérieurs permettent d'aider les structures porteuses à mener ces projets à termes. Ils

permettent aussi d'inciter les structures à réaliser des projets de restauration de cours d'eau afin d'atteindre les objectifs de la DCE.

Les financements peuvent provenir de plusieurs organismes, publics ou privés, et peuvent se cumuler (Figure 6). Le montant total des aides publiques ne doit néanmoins pas dépasser 80 % du projet, sauf dans certains cas particuliers. Souvent, la part restante, financée par la structure porteuse elle-même, représente environ le tiers du montant total, mais cela reste très variable.

Agences de l'eau

Les agences de l'eau sont généralement les principaux financeurs des projets de restauration. Ces projets permettent de répondre à certains objectifs fixés par leurs programmes pour la gestion et la qualité de l'eau. Les agences de l'eau ont une vision à large échelle : des grands bassins hydrographiques aux bassins versants. Les projets de restauration peuvent être financés par les agences dès lors qu'ils répondent aux objectifs de la DCE.

Collectivités territoriales

Les collectivités territoriales peuvent également participer au financement de projet de restauration en complément de l'aide des agences de l'eau. Le taux de financement est déterminé par la politique de chaque instance (conseils généraux, régionaux...) et peut donc être variable. La réalisation de contrats de rivières peut par exemple permettre d'obtenir des financements provenant de collectivités territoriales.

Fonds Européens

Des financements peuvent provenir de fonds Européens comme le programme Life ainsi que les fonds Feder et Interreg. Toutefois, ces financements nécessitent des dossiers de candidatures complexes et particuliers et sont donc plus difficiles à obtenir.

Autres structures

Sur un bassin versant, des conventions peuvent être établies entre les communes concernées par le projet pour contribuer au financement et aider ainsi la structure porteuse. D'autres structures peuvent aussi participer aux financements d'opérations de restauration de cours d'eau même si elle ne porte pas elle-même le projet: fédération de pêche, Établissement Public Territorial de Bassin (EPTB*), syndicats de rivières, organisations privées, etc.

Figure 6: Sources de financements des projets de restauration

Les financements des projets de restauration peuvent provenir de différentes sources, la principale restant les agences de l'eau. Selon les cas, certains projets peuvent ainsi être financés majoritairement voir totalement par des financements extérieurs. Les financements peuvent porter sur la phase d'étude du projet et/ou la phase travaux (AFB, 2010). Ces aides financières permettent d'encourager et de favoriser la restauration des cours d'eau dans un objectif d'amélioration global du fonctionnement et de la qualité des milieux aquatiques.

V. La restauration de cours d'eau en pratique

En pratique, la restauration de cours d'eau peut se faire à l'aide de diverses méthodes & techniques pour atteindre les différents objectifs visés. Ces techniques font appel à plusieurs domaines, du génie végétal au génie civil. Le choix de ces techniques est à adapter selon les caractéristiques du cours d'eau à restaurer et de son contexte. Généralement, plusieurs possibilités sont proposées au maître d'ouvrage qui pourra faire un choix guidé par le rapport coût/efficacité.

Il existe plusieurs niveau d'actions possibles pour préserver ou restaurer le fonctionnement d'un cours d'eau. Dans certains cas, le projet de restauration peut s'avérer être simplement un projet de préservation du milieu ou de limitation du dysfonctionnement. Les cours d'eau étudiés sont généralement divisés en tronçons homogènes qui nécessitent un niveau d'intervention spécifique à chacun. D'après Adam et al. (2007), les différents niveaux d'actions sur les cours d'eau peuvent s'organiser de la manière suivante (Figure 7):

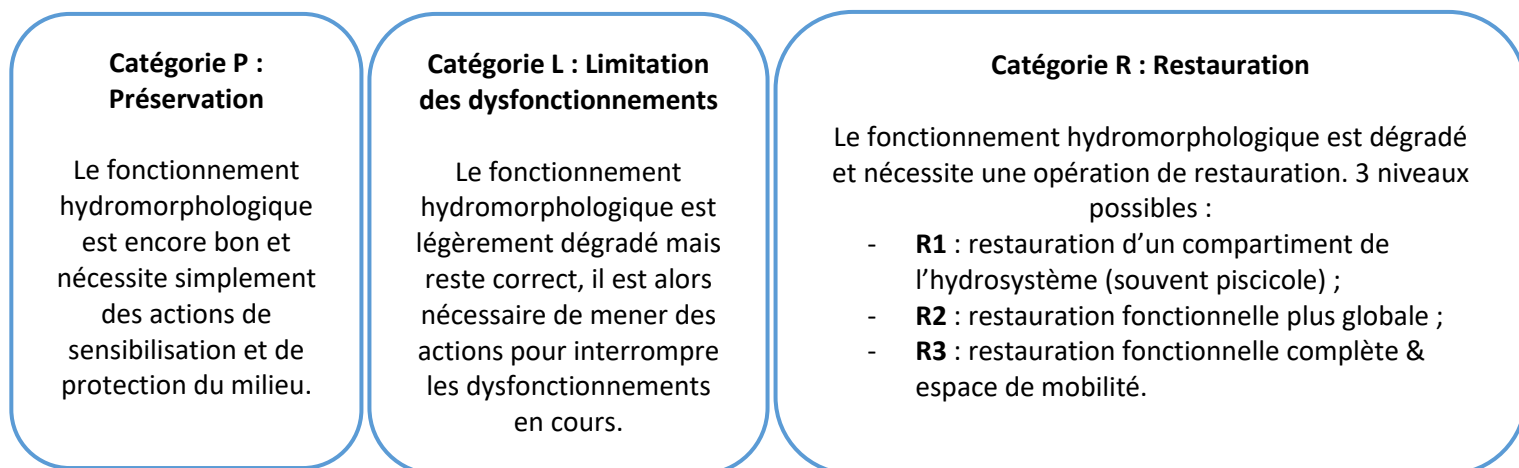


Figure 7 : Niveaux d'ambitions des opérations de restauration de cours d'eau

Pour les cours d'eau ayant une activité géodynamique importante, la restauration peut se faire de manière « passive ». Cela signifie que quelques interventions permettront d'enclencher le processus de restauration du cours d'eau qui pourra ensuite faire ses ajustements seul. A l'inverse, pour les cours d'eau moins actifs, la restauration doit être « active ». L'ensemble des opérations nécessaires à la restauration doivent être faites de façon anthropique car ce type de cours d'eau n'a qu'un très faible potentiel de réajustement.

Une multitude de méthodes existent, qui se complètent et/ou se substituent, pour effectuer une opération de restauration. Ci-dessous est présentée seulement une partie de ces techniques, sur la base de celles mises en place sur les divers projets abordés durant le stage. Les méthodes permettant de répondre aux objectifs les plus fréquemment rencontrés durant le stage sont présentées ici. Cela concerne ainsi les moyens de rétablissement de la continuité écologique, la stabilisation/protection de berges, la création et la diversification d'habitats ainsi que les techniques impliquant une modification du lit. D'autres domaines, qui ne font pas forcément partie à part entière des projets de restauration de cours d'eau mais qui les accompagnent régulièrement, sont également abordés. Comme précisé plus haut, cette liste n'est pas exhaustive et de nombreuses autres méthodes existent pour répondre aux mêmes ou à différents objectifs.

1. Rétablissement de la continuité écologique

La continuité écologique est fortement affectée par la présence de nombreux seuils et barrages dans le lit des cours d'eau. Son rétablissement permet de rétablir une circulation piscicole mais aussi sédimentaire, toutes deux essentielles au bon fonctionnement des cours d'eau d'un point de vue hydromorphologique et écologique.

a. Arasement & Dérasement de seuil

Afin de réduire l'impact que peut avoir un seuil sur le fonctionnement d'un cours d'eau, il peut être arasé, c'est-à-dire que sa hauteur est diminuée, ou dérasé, c'est-à-dire que l'ouvrage est supprimé.

L'objectif de ce type d'intervention est de retrouver un profil en long naturel et de rétablir la continuité écologique et sédimentaire. En effet, un seuil forme une réelle barrière dans le cours d'eau qui induit une différence de hauteur entre chaque côté (« marche d'escalier »), une réduction drastique de la circulation des espèces, notamment piscicole, et qui bloque la circulation sédimentaire : création d'une sédimentation à l'amont et d'un déficit de matériaux à l'aval.

Le dérasement ou l'arasement d'un seuil va permettre au cours d'eau de se rééquilibrer et de retrouver sa pente naturelle. Néanmoins, ce rééquilibrage peut avoir plusieurs conséquences possiblement impactantes pour les installations à proximité du cours d'eau : érosion régressive, déstabilisation d'ouvrage par affouillement, érosions de berge, etc. Il est donc primordial d'analyser précisément le fonctionnement du cours d'eau, ses abords et les conséquences possibles pour réaliser un aménagement optimal (Adam et al., 2007). Selon le contexte, l'aménagement pourra ainsi être adapté aux enjeux présents à proximité du cours d'eau.

La côte de dérasement ou d'arasement de l'ouvrage doit être déterminée avec précision selon la topographie et le profil en long originel du lit. Si la différence de hauteur ne peut être totalement récupérée, ces opérations peuvent s'accompagner d'aménagements garantissant la franchissabilité piscicole. L'arasement ou le dérasement d'un seuil s'accompagne généralement d'une intervention sur le tronçon alentour à l'ouvrage pour accompagner l'auto-ajustement du cours d'eau.

Etude du Girand (38)

Le projet du Girand comprend l'aménagement de deux seuils infranchissables (hauteur ≥ 0.80 m) (Figure 8). Les 3 scénarios conçus proposent des aménagements différents pour rétablir la continuité piscicole et permettre la restauration du milieu. Le scénario n°1 prévoit le dérasement complet de ces 2 seuils aux côtes définies par la pente d'équilibre du fond du lit. Ces opérations de dérasement sont accompagnées par une stabilisation du lit et des berges sur un cours linéaire afin d'enclencher correctement l'auto ajustement du cours d'eau.



Figure 8 : Seuil infranchissable - Girand (38)
(Source : F. PEGUIN)

b. Seuils successifs

En fonction du contexte, une différence de hauteur peut subsister entre les tronçons amont et aval du cours d'eau induit par le seuil. Pour rétablir la continuité piscicole, cette différence doit être rendue franchissable par les diverses espèces de poissons. Cela peut se faire par la séparation de la chute infranchissable en plusieurs petites chutes qui sont, elles, franchissables. Le fond du lit sera donc retravaillé à l'aval de la chute d'origine avec l'implantation de seuils de fonds franchissables.

Ces seuils de fonds sont implantés dans l'optique d'une restauration écologique du cours d'eau et ont donc un aspect, une constitution et une mise en œuvre bien plus naturels que les seuils que l'on cherche à effacer. La mise en place de ces seuils fait appel à des techniques mixtes, alliant à la fois génie végétal et génie civil. Pour garantir la franchissabilité piscicole, ces seuils doivent présenter une chute inférieure à 25 cm, une rugosité adaptée aux déplacements des différentes espèces et garantir une hauteur d'eau suffisante lors des périodes d'étiages. Ils doivent également être ancrés correctement dans le lit pour éviter les risques d'incision, d'érosion et de contournement de l'ouvrage (Annexe 8). Le nombre de seuils, leur hauteur et leur implantation doivent être définis en tenant compte de la hauteur de chute initiale mais surtout de la pente d'équilibre du cours d'eau (Adam et al., 2007, 2008). L'objectif est ici de retrouver un profil en long proche du profil d'équilibre du cours d'eau. Ces seuils de fonds peuvent également être utilisés pour stabiliser le fond du lit notamment

pour limiter les phénomènes d'incision et d'érosion. Dans ces cas-là, les seuils ne présentent pas de chute et permettent simplement de fixer un point dur à partir duquel le cours d'eau peut s'ajuster.

c. Rampe de franchissement

Pour rétablir la continuité piscicole, une rampe de franchissement peut être mise en place si un seuil ne peut pas être supprimé ou seulement partiellement. Cette rampe permet de créer une pente franchissable devant la chute pour permettre la circulation des poissons. L'objectif est ici de garantir une circulation piscicole lorsque la suppression de la chute ou la mise en place de petits seuils successifs ne sont pas possibles (Adam et al., 2007, 2008).

Etude du Girand (38)

Le scénario n°2 du Girand prévoit l'arasement de l'un des seuils et la séparation de la chute résiduelle grâce à des seuils en blocs successifs (Figure 9). Cette alternative permet de limiter les incidences sur les enjeux situés à proximité notamment sur un pont routier en amont immédiat du seuil. Le seuil est ici abaissé de 0.30 m et 3 seuils de fonds successifs d'une hauteur de 0.25 m permettent de rattraper la chute résiduelle.



Figure 9 : Seuil de fond en blocs - Saint-Chamond (42) (Source : F. PEGUIN)

La création d'une rampe de franchissement peut avoir un aspect assez artificiel dans le cours d'eau, cette opération utilise principalement des techniques de génie civil. Les caractéristiques de la rampe seront définies selon la hauteur de chute à rattraper et la pente d'équilibre du cours d'eau. Pour garantir la franchissabilité piscicole, la pente de la rampe ne doit pas être supérieure à 4 %. L'installation d'une rampe peut favoriser la rétention d'embâcles dans celle-ci et donc impacter le fonctionnement hydraulique du cours d'eau.

Etude du Girand (38)

Le scénario n°3 du Girand prévoit la mise en place d'une rampe de franchissement en enrochements régulièrement répartis (macro-rugosité) sur l'un des seuils infranchissables. Ce seuil est maintenu en l'état actuel, sa cote n'est pas modifiée. La rampe est conçue de manière à garantir une lame d'eau suffisante au déplacement des poissons lors des faibles débits (Figure 10).



Figure 10 : Rampe en enrochements (Source : F. PEGUIN)

d. Passes à poissons

Dans certains cas, les ouvrages transversaux ne peuvent être effacés du fait de leur utilisation pour des activités anthropiques (hydroélectricité, moulin...) ou d'un point de vue patrimonial. Dans ces cas-là, lorsque l'effacement ou les aménagements précédemment décrits ne sont pas envisageable, il est possible de rétablir la continuité piscicole grâce à une passe à poisson. La passe à poisson permet de créer un contournement de l'obstacle avec des dispositifs particuliers permettant aux espèces piscicoles de circuler.

Les différentes opérations décrites précédemment permettent chacune de rétablir la continuité écologique. Elles présentent toutes des intérêts et des inconvénients, variant selon le contexte du projet de restauration. Néanmoins, chacun de ces aménagements peut avoir des conséquences importantes, possiblement néfastes pour le fonctionnement du cours d'eau, si il est mal dimensionné ou réalisé. Il est donc primordial de concevoir ces aménagements avec rigueur pour ne pas risquer d'aggraver le fonctionnement du cours d'eau ou de créer de nouveaux problèmes. Dans une optique de restauration du cours d'eau, le meilleur choix reste l'effacement des ouvrages transversaux permettant de retrouver un fonctionnement naturel et garantissant la continuité écologique et sédimentaire. Toutefois, la décision du type d'aménagement à mettre en œuvre se fait par les aspects technique, fonctionnel, économique mais aussi vis-à-vis du cadre de vie de l'aménagement.

2. Stabilisation & protection de berges

Les multiples altérations qui ont eu lieu sur les cours d'eau (modification de la section hydraulique, accélérations des vitesses, etc.) ont favorisées, en certains endroits, l'érosion des berges ce qui a pu entraîner une déstabilisation de celles-ci pouvant conduire à leur effondrement. Dans certains projets, il est donc nécessaire de limiter l'érosion et de retrouver des berges stables et diversifiées. Dans des projets de restauration, la stabilisation et la protection de berges peut se faire à l'aide de techniques végétales mais aussi par des techniques mixtes, alliant génie végétal et génie civil.

a. Techniques végétales

Les techniques végétales, issues du génie végétal, permettent l'utilisation de végétaux pour réaliser divers aménagements afin de répondre à divers objectifs : lutte contre l'érosion, stabilisation des sols, revitalisation de zones humides, etc. La mise en place de technique végétales permet de réaliser des ouvrages vivants qui doivent donc être correctement implantés pour qu'ils puissent se développer, notamment par rapport au niveau moyen des eaux. Les techniques végétales présentées ci-dessous permettent de réaliser des aménagements de protection et de stabilisation de berges.

i. Lit de plants et plançons

Les lits de plants et plançons permettent de consolider les berges par le développement du système racinaire des végétaux tout en végétalisant le milieu. Souvent mis en place avec des boudins de géotextile, ils permettent un renforcement mécanique des berges favorisant leur résistance face à l'énergie du cours d'eau.

Les lits de plants et plançons correspondent à des plants racinés et des ramilles de saules (plançons) mis en place dans la berge de façon longitudinale selon une inclinaison comprise entre 20 et 30°. Les plants et plançons sont disposés les uns à côtés des autres selon une certaine densité (plançons : 15-25U/ml ; plants : 2 à 5U/ml) et forment ainsi un lit horizontal dans la berge (Adam et al., 2008). Plusieurs niveaux peuvent ainsi être mis en place et souvent séparés par des boudins de géotextile biodégradable remplis de terre végétale (Annexe 9). Les sujets pourront reprendre leur développement avec des rejets et développer un système racinaire dans la berge (Figure 11).



Figure 11 : Lits de plants & plançons après 2 ans de développement - Saint-Chamond (42) (Source : S. KREMER)

En quelques semaines, les plants et plançons se développent et stabilisent petit à petit la berge. Il y a également une végétalisation par le développement de saules à partir des plançons et d'autres espèces selon les plants sélectionnés. Les essences des plants peuvent être assez variées et permettre une diversification tout en laissant la possibilité d'adapter les espèces en fonction du milieu.

ii. Fascine de saules

La mise en place d'une fascine de saule permet de stabiliser et de protéger le pied de berge. La fascine constitue, dès sa mise en place, une protection mécanique du pied de berge. Le développement des végétaux permet ensuite d'améliorer cette protection grâce aux systèmes racinaire et aérien.

La structure de la fascine est constituée par deux rangées de pieux de saule implantés verticalement dans le lit au niveau du pied de berge (Adam et al., 2008). Entre les pieux, des branches de saules avec ramilles sont disposées de manière longitudinale (env. 25U/ml) avec la base implantée dans la berge et sont orientées dans le sens des écoulements. Des matériaux graveleux sont disposés en alternance avec les couches de branches (Annexe 10). Les branches de saules pourront ensuite reprendre leur développement en prenant racine dans la berge. Pour limiter le risque d'affouillement, des ramilles de saules peuvent préalablement déposées sous l'emplacement des branches & matériaux.

Etude de l'Ondaine – AKERS (42)

Pour la restauration de l'Ondaine sur le site AKERS, la mise en place de lits de plants et de plançons est prévue afin de stabiliser et protéger les berges (Figure 12). Ils seront notamment implantés à proximité des seuils de fonds, pour la réalisation de techniques mixtes, et des ouvrages de franchissement en zone de transition avec les techniques de génie civil.

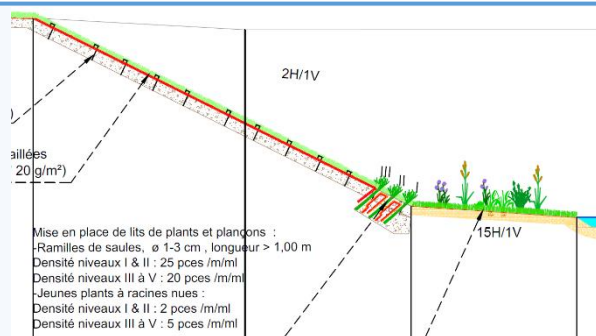


Figure 12 : Lits de plants & plançons sur une coupe - AKERS

En plus de la protection apportée par la structure « inerte », le développement des branches de saules va permettre de stabiliser la berge et de renforcer la protection du pied. Plusieurs espèces de saules peuvent être utilisées simultanément afin d'avoir une diversification végétale intéressante. Les espèces sont également sélectionnées en fonction du type de milieu dans lequel est réalisée la fascine.

b. Techniques mixtes

Dans certains cas, la mise en place de techniques végétales ne suffit pas à stabiliser et protéger les berges. Cela peut être le cas avec la présence de fortes contraintes anthropiques ou dans des cours d'eau à forte dynamique. Dans ces contextes, les techniques végétales peuvent être associées aux techniques de génie civil afin de tirer les avantages de chacune. Il est important de noter que les techniques végétales ne servent pas uniquement à apporter un aspect naturel aux ouvrages de génie civil à l'aspect artificiel.

Pour la réalisation d'ouvrages de stabilisation et de protection de berges, il est possible d'utiliser des techniques mixtes (Adam et al., 2008). Des enrochements sont disposés en pied de berge et ensuite surmontés par des techniques végétales (lits de plants et plançons) (Figure 13). La proportion entre technique végétale et génie civil est à adapter selon les cas. Les techniques mixtes peuvent également permettre de réaliser des zones de transition entre technique végétal et technique de génie civil.



Figure 13 : Seuil de fond en blocs surmontés de techniques végétales, immédiatement après travaux - Saint-Chamond (42) - (Source : F. PEGUIN)

Les épis en enrochements sont des ouvrages de génie civil qui permettent de limiter la contrainte s'exerçant sur les berges. Ils sont généralement associés à des techniques végétales en berges qui permettent de renforcer la stabilité de celle-ci et de créer une zone de transition avec la végétation présente en berge (Adam et al., 2007). Les épis permettent de rediriger les écoulements vers leur extrémité et donc de diminuer les pressions s'exerçant sur la berge dans laquelle ils sont ancrés. La mise en place d'épis permet également de créer une diversification des écoulements et des substrats.

Les épis sont implantés en série afin d'avoir une efficacité optimale. Ils sont constitués de blocs d'enrochements préférentiellement libres dans le cadre de la restauration de cours d'eau. Ils doivent être solidement ancrés en berges et dans le lit du cours d'eau (Annexe 11). Ils ont généralement une taille correspondant au tiers du lit mineur.

Etude de la Cance (07)

L'un des scénarios de restauration de la Cance prévoit la mise en place d'une série d'épis déflecteurs afin de limiter la pression sur la décharge située en berge. En effet, actuellement le pied de décharge située en berge gauche est érodé par les écoulements. La mise en place d'épis déflecteurs ancrés en rive gauche en amont de la décharge permettra de rediriger les écoulements vers la rive droite et donc réduire les phénomènes d'érosion. Les épis seront surmontés de lits de plants et plançons et solidement ancrés en berge.

Les techniques mixtes ne sont pas uniquement utilisées dans les cas de protection et de stabilisation de berges. Elles peuvent par exemple être développées lors de la mise en place de seuils ou d'épis et représentent un moyen de faire une transition entre un ouvrage en génie civil et un milieu naturel tout en utilisant les atouts des techniques végétales. Les ouvrages réalisés totalement en génie civil réduisent fortement le fonctionnement naturel et biologique du cours d'eau. Dans le cadre de la

restauration de cours d'eau, il est donc nécessaire d'utiliser ces techniques uniquement lorsque c'est nécessaire et de favoriser les techniques végétales dès que possible.

Pour stabiliser, renforcer et protéger les berges ils existent plusieurs techniques végétales présentant différentes caractéristiques. Néanmoins, dans certains cas, l'utilisation seule de ces techniques ne suffit pas, vis-à-vis des enjeux et du contexte, et elles doivent donc être associées aux techniques de génie civil.

3. Création & Diversification d'habitats

Lors de la restauration d'un cours d'eau, il est important d'avoir des habitats diversifiés pouvant accueillir une biodiversité importante. Il est donc nécessaire de créer des habitats et de les diversifier que ce soit dans le lit mineur du cours d'eau, en berge ou dans la ripisylve. Il existent différents moyens de créer des habitats diversifiés lors de projet de restauration.

a. Blocs

La mise en place de blocs dans le lit mineur des cours d'eau permet de diversifier les écoulements et donc d'obtenir différents habitats. En effet, La présence du bloc va créer un ralentissement des écoulements à son aval immédiat qui peut créer des abris hydrauliques (Adam et al., 2007). Ce ralentissement va également engendrer un léger dépôt et donc créer une diversification du substrat. Les blocs sont généralement disposés par groupe de 3 permettant ainsi d'alterner les zones rapide et lente (Figure 14). La mise en place de ces blocs va ainsi créer une diversité d'écoulement et une diversité du substrat qui permettent d'obtenir une diversification des habitats. Le couple substrat-vitesse est un facteur déterminant pour les habitats des espèces aquatiques.



Figure 14 : Blocs de diversification des écoulements (Source : F. PEGUIN)

La taille et l'aspect des blocs doit correspondre à la typologie du cours d'eau. Il est nécessaire de choisir des blocs assez dense et volumineux pour éviter qu'ils soient emportés lors des crues. Ils doivent néanmoins être en accord avec la granulométrie du cours d'eau pour conserver un aspect naturel. La mise en place de blocs n'est pas à elle seule une opération de restauration globale. Elle permet d'affiner l'opération en apportant des points de variation.

b. Epis végétaux

Tout comme les épis en enrochements, les épis végétaux permettent de dévier les écoulements dans le lit du cours d'eau. Leur implantation fait varier les vitesses, crée des mouilles au droit du nez de l'épi et des zones de dépôts à leur aval immédiat (Adam et al., 2007). Ils permettent ainsi de diversifier les faciès d'écoulements, les substrats et créent différents habitats. En période d'étiage, ils permettent de

limiter l'étalement de la lame d'eau et de conserver habitats aquatiques. Les épis végétaux peuvent être implantés par série de 2 à 3 dans des endroits localisés du lit. Les épis sont constitués de tronc ancrés en berges et sont maintenus par des pieux de saules vivants implantés en quinconce dans le lit.

c. Végétation

La végétalisation du milieu est essentielle à la création d'habitats pour la biodiversité. Le choix des espèces est important, elles doivent être adaptées aux conditions de vie du milieu dans lequel elles vont être installées. Il est également nécessaire d'implanter différentes espèces afin de créer une diversité végétale (Adam et al., 2008). Selon les projets, il pourra être nécessaire de végétaliser différents milieux : les risbermes à fleurs d'eau, les berges, la ripisylve, etc (Figure 15).

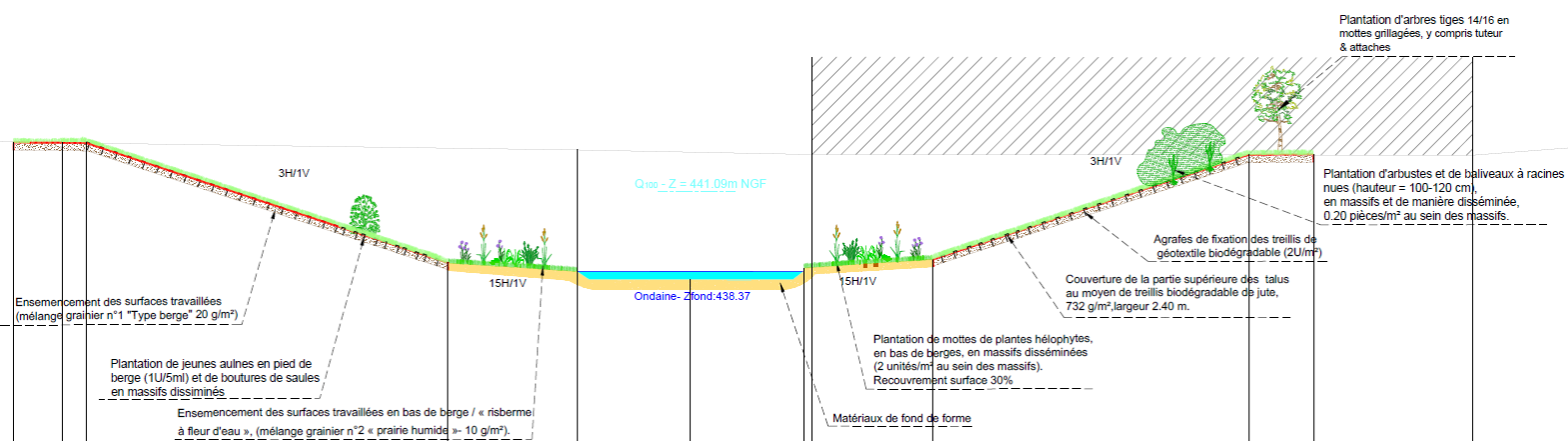


Figure 15 : Coupe type d'un scénario de restauration avec végétalisation - AKERS - (Source : EGIS)

Les risbermes à fleur d'eau sont très proches du niveau d'eau et peuvent être submergées à certaines périodes. Il est essentiel d'y placer des espèces capables de se développer dans ces conditions particulières. L'implantation de mottes de plantes héliophytes permet de végétaliser rapidement les risbermes et d'orienter le type de milieu végétal : mégaphorbiaie, roselière, etc. L'implantation d'héliophytes est accompagné d'un ensemencement des risbermes avec des espèces spécifiques également. L'ensemencement permet de couvrir rapidement les surfaces avec un « tapis » végétal qui pourra se développer par la suite et de limiter l'installation d'espèces invasives. La végétalisation des berges se fait également par un ensemencement mais avec un mélange grainier aux espèces adaptés au milieu, donc différent de celui utilisé pour les risbermes. Cet ensemencement est accompagné par l'implantation d'arbustes et de baliveaux, seuls ou en massifs, permettant le développement d'une végétation déjà « imposante ». La ripisylve peut également être végétalisée si nécessaire par l'implantation d'arbres et d'arbustes adaptés au milieu.

Pour végétaliser les abords des cours d'eau, il est essentiel de sélectionner des espèces adaptées au milieu et de les planter à l'emplacement adéquat par rapport au cours d'eau. Il est primordial de se référer au niveau moyen des eau lors de l'implantation des végétaux : certains végétaux doivent nécessairement se développer dans un sol humide, à proximité de l'eau (ex : héliophytes, saule), tandis que d'autres sont plus adaptés à un développement en haut de berge, à distance relative de l'eau. Ainsi, l'implantation des végétaux et le choix des espèces doit suivre un gradient qui est fonction du niveau moyen des eaux afin de garantir une végétalisation optimale.

4. Modification du lit du cours d'eau

Afin de restaurer le fonctionnement du cours d'eau, il est parfois nécessaire de réaliser des modifications du lit qui permettent de corriger les rectifications passées. L'objectif est de redonner une nouvelle dynamique au cours d'eau et d'améliorer son fonctionnement hydraulique,

hydromorphologique et biologique. Ces opérations peuvent concerner, par exemple, le reméandrage du lit, la modification de la section transversale du cours d'eau ou la stabilisation du fond du lit.

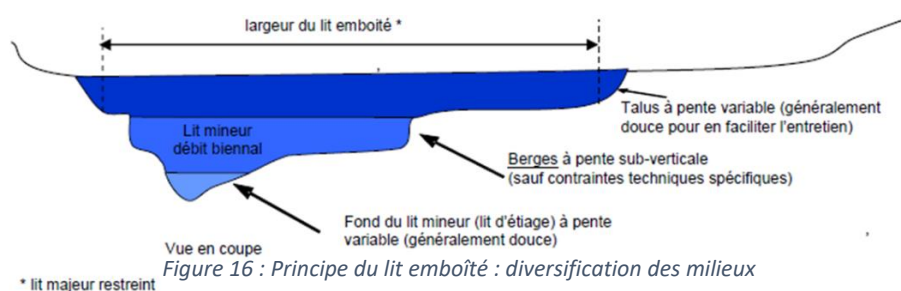
a. Reméandrage

Le reméandrage est une opération qui vise à remettre le cours d'eau dans ses anciens méandres ou d'en recréer lorsque la première option est impossible. Cette opération doit être réalisée sur des cours d'eau dont le style fluvial naturel est sinueux ou méandrique (Adam et al., 2007). Il est essentiel d'étudier les caractéristiques du cours d'eau (coefficient de sinuosité, amplitude, etc.) pour aménager un nouveau lit adapté qui permettra au cours d'eau de retrouver un fonctionnement optimal. Selon les cas, le reméandrage peut être plus ou moins important et dépend des caractéristiques du cours d'eau mais aussi des emprises foncières disponibles pour réaliser l'aménagement. Selon l'activité géodynamique du cours d'eau, les travaux peuvent être plus ou moins entreprenants : recréation totale du lit ou suppression des contraintes latérales pour favoriser l'auto ajustement. Lorsque l'espace optimal n'est pas disponible, il reste tout de même intéressant de redonner au lit une certaine sinuosité plutôt que de conserver un cours d'eau rectiligne.

Le reméandrage permet de redonner un fonctionnement naturel au cours d'eau d'un point de vue hydromorphologique, hydraulique et biologique. Néanmoins, ce type d'opérations a un réel impact sur le fonctionnement du cours d'eau qui doit être étudié minutieusement lors de la conception de l'aménagement. En effet, le reméandrage peut entraîner des processus d'érosion en extrados de méandre, rehausser la ligne d'eau par la réduction de la pente, etc (Adam et al., 2007). Ces incidences doivent être étudiées et des mesures de protection et de prévention doivent être prises si elles peuvent entraîner des impacts sur les enjeux situés à proximité (protection de berges, zone inondable...). Le reméandrage est une opération de restauration majeure qui doit être réalisée avec précision et anticipation pour retrouver un fonctionnement naturel du cours d'eau tout en préservant les enjeux situés à proximité.

b. Modification de la section transversale

La modification de la section transversale est une opération de restauration qui vise à améliorer le fonctionnement hydraulique et hydromorphologique du cours d'eau mais aussi son fonctionnement biologique (Adam et al., 2007). Généralement, cette opération se traduit par un élargissement du lit mineur/moyen du cours d'eau qui se traduit hydrauliquement par un abaissement de la ligne d'eau. Cela peut être notamment intéressant lorsque l'un des objectifs du projet de restauration est de limiter le risque inondation. L'amélioration du fonctionnement hydromorphologique passe par la modification et la diversification de la géométrie du lit : adoucissement des berges, créations de risbermes à fleur d'eau, de banquettes intermédiaires, etc. Sur l'ensemble du linéaire retravaillé, ces aménagements sont dimensionnés de façon variable pour créer une diversité d'écoulement et des milieux permettant de réactiver certains processus hydromorphologiques (érosion, dépôt, etc.) (Figure 16). Il est primordial de moduler les éléments de géométrie du lit de façon à s'éloigner d'un lit uniforme. La variété des écoulements et des milieux, qui seront en eau à temporalité variable, permet d'offrir une diversification d'habitats et donc d'améliorer le fonctionnement biologique du cours d'eau.



Tout comme le reméandrage, la modification de la section transverse d'un cours d'eau est une opération délicate qui doit être réalisée en regard de tous les enjeux présents à proximité du site. Il est essentiel d'aménager un cours d'eau présentant des milieux diversifiés pour retrouver un fonctionnement naturel.

5. Autres interventions

La restauration de cours d'eau s'inscrit dans un cadre global tenant compte du milieu et du contexte dans lequel se trouve le cours d'eau. Pour mener à bien un projet de restauration il est donc parfois nécessaire de faire appel à certaines méthodes ne relevant pas véritablement de la restauration mais qui l'accompagne. Des domaines assez différents de la restauration mais rattachés aux projets et aux cours d'eau sont parfois nécessairement abordés. Un projet de restauration ne relève pas uniquement de la réalisation d'opérations de restauration, telles que décrites précédemment, mais nécessite une intervention multidisciplinaire.

a. Gestion & entretien des milieux

Les cours d'eau sont parfois impactés par une mauvaise gestion des milieux attenants. En effet, si le fonctionnement naturel est l'objectif recherché il est tout de même nécessaire d'avoir des interventions humaines de gestion et d'entretien afin de limiter les dysfonctionnements. Ces interventions garantissent le maintien du fonctionnement du cours d'eau et permettent de limiter les risques de dégradation de celui-ci.

La ripisylve est souvent dégradée malgré son importance pour le cours d'eau. Il est nécessaire de la laisser se développer mais de réaliser des interventions d'entretien pour éviter que le milieu se ferme et ne dégrade le fonctionnement des cours d'eau. L'importance de berges est souvent méconnue par les riverains et gestionnaires qui ne laisse pas forcément la végétation se développer. Ces interventions peuvent aussi concerner l'évacuation d'embâcles charriés par le cours d'eau qui peuvent altérer le fonctionnement hydraulique et hydromorphologique.

Etude du Girand (38)

Sur le Girand, les riverains ont altérés les berges par méconnaissance de leur intérêt pour le cours d'eau. De nombreux déchets ont été déversés en berges (déchet de tonte, gravats...) qui ont participé à leur déstabilisation et stérilisation (Figure 17). Les scénarios proposés préconisent tous une sensibilisation des riverains à ses problématiques pour limiter les impacts sur le Girand.



Figure 17 : Déchets de tonte sur les berges du Girand (Source : F. PEGUIN)

Un projet de restauration permet d'initier la gestion et l'entretien du cours d'eau mais il est primordial de sensibiliser les gestionnaires et les riverains pour que ces interventions s'inscrivent dans la durée. Ces acteurs ne connaissent pas forcément le fonctionnement du cours d'eau qui se trouve sur leur commune ou leur parcelle. Il est donc essentiel de les informer afin qu'ils participent à la préservation du fonctionnement du cours d'eau.

b. Lutte contre les Espèces Exotiques Envahissantes

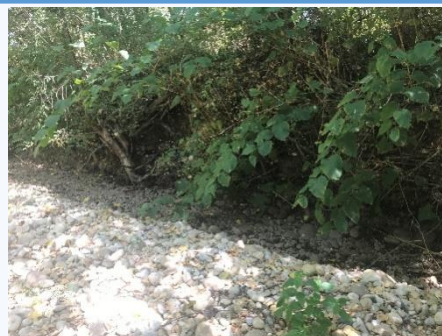
De nombreuses Espèces Exotiques Envahissantes sont présentes dans les cours d'eau et leur abords. A l'origine, l'apparition de ces espèces est due aux activités anthropiques qui les ont disséminées petit à petit. Ces espèces peuvent empêcher le développement des espèces indigènes et coloniser rapidement le milieu qui est alors déséquilibré. Elles peuvent altérer le fonctionnement biologique du milieu, par l'appauvrissement de la biodiversité et la disparition d'habitats, mais aussi sa morphologie, par déstabilisation de berges par exemple (Adam et al., 2008; Ministère de la transition écologique, 2022). Dans un objectif de restauration, il est essentiel d'éliminer ces espèces envahissantes qui altèrent le cours d'eau et de favoriser le développement d'espèces natives afin de restaurer la biodiversité et le fonctionnement du milieu.

Ils existent une multitude d'EEE : Renouée du Japon, Buddléia de David, Jussie, Robinier Faux Acacia, Bambou, Laurier, etc. Leur présence varie selon les régions et les types de milieux. Certains secteurs sont encore exempts d'EEE et une attention particulière doit être portée lors d'interventions anthropiques pour les préserver. La méthode d'élimination des Espèces Exotiques Envahissantes est propre à chacune et tient compte du mode du fonctionnement et du mode de reproduction des espèces. La lutte contre les EEE doit s'inscrire dans les projets de restauration au regard des menaces que représentent ces espèces pour les cours d'eau et la biodiversité de manière plus générale.

Etude du Régrimay (26)

Sur le site du projet, les berges du Régrimay sont fortement colonisées par la Renouée du Japon (Figure 18). Entre la conception du projet et la phase de travaux, soit environ 2 ans, cette EEE c'est fortement développée : les surfaces infestées sont passées de 400 m² à 1 000 m². Avant les travaux de terrassement, ces surfaces font l'objet d'un traitement particulier pour éliminer cette espèce (criblage, concassage, etc.).

Figure 18 : Renouée du Japon sur les berges du Régrimay
(Source : S. KREMER)



c. Dépollution, génie civil, géotechnique & réseaux

Un projet de restauration s'inscrit dans un contexte particulier présentant des enjeux multiples. Il est donc fréquent de travailler dans des disciplines autre que la restauration de cours d'eau à proprement parlé. Néanmoins, le travail réalisé dans ces autres domaines est nécessaire à la réalisation du projet de restauration de cours d'eau et nécessite l'intervention d'acteurs spécialisés.

La réalisation de certains projets de restauration nécessite la destruction de bâtiments ou le terrassement des sols. Dans les deux cas, il est possible d'avoir des spots de pollutions compte tenu des activités anthropiques passées. La gestion des matériaux pollués nécessite une attention particulière pour limiter la dispersion dans le milieu naturel et garantir une évacuation adaptée. Les projets de restauration peuvent nécessiter une intervention à proximité d'ouvrages existants ou nécessiter la construction de certains (ponts, etc.). Dans ces cas-là, il est nécessaire de faire appel à la géotechnique et au génie civil afin de réaliser des travaux en toute sécurité et de concevoir des aménagements conformes. L'implantation et la réalisation des projets de restauration peut empiéter sur le passage de différents types de réseaux (assainissement, électricité, etc.). Il est donc parfois nécessaire de déplacer temporairement ou définitivement certains réseaux. Dès la conception du projet il est essentiel d'étudier l'ensemble des réseaux se trouvant sur le site pour initier les démarches nécessaires à la dérivation de ceux-ci.

Etude de l'Ondaine – Chambon Feugerolles (42)

Pour réaliser la restauration de l'Ondaine sur le secteur du Chambon Feugerolles, il est préalablement nécessaire d'effacer un remblais ferroviaire inutilisé et le bâtiment associé qui contient de l'amiante (Figure 19). Un ouvrage de franchissement routier doit également être construit et un réseau d'assainissement doit être déplacé. Pour cela, il est nécessaire de faire appel à des connaissances de dépollution, de génie civil, de géotechnique et d'assainissement.



Figure 19 : Remblai ferroviaire à effacer - (Source : S. KREMER)

VI. La restauration, un réel bénéfice pour les cours d'eau ?

La restauration vise à retrouver un fonctionnement naturel du cours d'eau qui a généralement été altérés par des interventions anthropiques aux conséquences néfastes. Les projets de restauration peuvent ainsi permettre une amélioration du fonctionnement hydromorphologique, hydraulique mais aussi biologique du milieu. Il paraît alors légitime de se demander si ces opérations apportent un réel bénéfice aux cours d'eau, si celui-ci est quantifiable et durable dans le temps notamment en regard des pressions anthropiques actuelles et futures.

1. La restauration et les compartiments écologiques d'un cours d'eau

Tel qu'il l'a été indiqué précédemment, le développement des projets de restauration de cours d'eau a été initiés par la DCE dans l'objectif de l'atteinte d'un bon état des eaux d'un point de vue chimique et biologique. Pour ce faire, la DCE a défini 6 compartiments écologiques des cours d'eau dont le bon fonctionnement doit permettre d'atteindre un bon état des eaux (Figure 20). La restauration de cours d'eau peut agir sur un ou plusieurs de ces compartiments pour améliorer le fonctionnement du milieu et atteindre le bon état tel que défini par la DCE.

Lit mineur

- Le lit mineur est le support principal des écoulements et de la vie aquatique. Il offre une diversité d'habitats par variation des faciès d'écoulement et des substrats. Son fonctionnement est notamment régi par des processus hydromorphologique.

Berges

- Les berges sont des milieux de transition entre le lit mineur et les autres compartiments. Elles sont perpétuellement sollicitées par les processus hydromorphologique et offrent un fort gradient de végétation et d'habitats biologiques.

Ripisylve

- La ripisylve présente un fort potentiel de diversité d'habitats biologiques en berges et dans le cours d'eau (racine, etc.). Elle garantit une certaine qualité de l'eau grâce à son apport trophique, son ombrage. La ripisylve est essentielle au bon état chimique et biologique du cours d'eau.

Annexes

- Les annexes hydrauliques sont des milieux très diversifiés et intéressants d'un point de vue biologique et physicochimique. En connexion permanente ou temporaire avec le cours d'eau, elles offrent une forte diversité d'habitats et permettent d'accompagner le cours d'eau dans son fonctionnement.

Lit majeur

- Le lit majeur est un milieu qui permet l'expansion des crues. Il offre ainsi un espace permettant de recueillir les écoulements issus des débordements. Le lit majeur présente une végétation particulière offrant une diversité d'habitats et permet de garantir le fonctionnement hydraulique du cours d'eau.

Débit

- Le débit régit les apports en eau de chacun des compartiments précédents et donc leur fonctionnement. Il est à l'origine des processus ayant lieu dans l'ensemble du système et détermine les conditions physico-chimique des milieux.

Figure 20 : Les différents compartiments écologiques d'un cours d'eau selon la DCE

La restauration de cours d'eau peut agir sur un ou plusieurs de ces compartiments pour améliorer le fonctionnement du milieu et atteindre le bon état tel que défini par la DCE. Néanmoins, la restauration des cours d'eau n'agit pas forcément sur l'ensemble de ces compartiments. Selon les altérations et le contexte de chaque cours d'eau, ces compartiments peuvent être sollicités à des degrés différents, selon les niveaux d'ambition des opérations comme vu précédemment (R1, R2 & R3). Le lit mineur est le compartiment le plus généralement retravaillé dans les opérations de restauration, suivi par les berges et la ripisylve. Ces 3 compartiments sont en effet souvent altérés et leur restauration est souvent réalisable en regard des enjeux et du contexte du milieu. La restauration des annexes et du lit majeur est souvent plus compliquée car souvent ces milieux ont été fortement dégradé : urbanisation, disparition d'annexes, etc. La restauration permet néanmoins d'améliorer leur fonctionnement, quand cela est possible, en reconnectant des annexes au cours d'eau, en en créant ou en laissant un espace de mobilité au cours d'eau. Enfin, les opérations de restauration ne peuvent avoir d'impact direct sur le débit qui est fonction de plusieurs processus naturels. Toutefois, la restauration peut permettre de moduler la répartition du débit afin que les écoulements soient diversifiés, qu'ils atteignent les différents milieux du cours d'eau, etc.

La restauration peut ainsi permettre d'agir sur les compartiments d'un cours d'eau au titre de la DCE pour améliorer le fonctionnement de celui-ci et permettre d'atteindre son bon état. Néanmoins, pour visualiser concrètement les effets d'une opération de restauration, il est nécessaire de réaliser un suivi du milieu pour voir son évolution. Dans le cadre de la DCE, le bon état d'un cours d'eau est évalué selon deux axes : l'état biologique, qui comprend des indicateurs biologiques et physico-chimiques, et l'état chimique, qui se mesure par la présence ou non de substances particulières dites « prioritaires » (Eau France, s. d.).

2. Le suivi de l'hydromorphologie et de la physico-chimie

a. Hydromorphologie

La restauration de cours d'eau permet d'améliorer le fonctionnement hydromorphologique du milieu en réactivant des processus souvent entravés par les interventions humaines. L'hydromorphologie est une réelle dynamique pour le cours d'eau, de multiples bénéfices découlent de son bon fonctionnement : diversification des milieux, des habitats, physico-chimie, échanges entre milieux, etc. Les opérations de restauration visent généralement à améliorer le fonctionnement hydromorphologique qui est donc une des sources du bon fonctionnement général du cours d'eau et de son milieu connexe.

Afin de déterminer si un projet de restauration a permis l'amélioration du fonctionnement hydromorphologique, il est nécessaire de réaliser un suivi particulier du cours d'eau. Ils existent des outils permettant de réaliser ce suivi mais ces études sont peu et souvent mal mis en œuvre. Petit à petit, un cadre est élaboré pour faciliter la mise en place d'un suivi hydromorphologique des opérations de restauration. Même si ces suivis sont préconisés lors de la conception du projet, ils restent à la charge du gestionnaire du cours d'eau ou du MOA de les mettre en œuvre (OFB, s. d.-c; Rolan-Meynard et al., 2019). L'un des outils les plus développés est le protocole CARHYCE* qui permet de recueillir des données hydromorphologiques grâce à plusieurs mesures, de suivre l'évolution du milieu et d'évaluer son altération (OFB, s. d.-b, 2017; ONEMA, 2016). Les résultats des diverses mesures sont mis à disposition dans une base de données communes. La démarche CARHYCE participe ainsi au développement du suivi hydromorphologique.

Si l'hydromorphologie est essentielle au bon état des cours d'eau, les moyens de suivis sont encore peu mis en place et elle n'est pas réellement intégrée dans l'évaluation du bon état à l'échelle de la DCE. Malgré tout, le bon fonctionnement hydromorphologique permet d'améliorer l'ensemble des autres caractéristiques d'un cours d'eau qui sont eux inclus dans l'évaluation du bon état DCE.

b. Physico-chimie

La restauration des cours d'eau permet également d'améliorer la physico-chimie des milieux. En effet, ces opérations permettent notamment de limiter le réchauffement de l'eau, l'eutrophisation, d'améliorer l'autoépuration et retrouver des milieux diversifiés. Les conditions physico-chimiques du cours d'eau sont fondamentales pour permettre l'installation et le développement de la faune et de la flore. Comme pour l'hydromorphologie, il est essentiel de réaliser un suivi des paramètres physico-chimiques pour voir l'impact de la restauration et de déterminer si cette opération a atteint ces objectifs. Lors de la réalisation des travaux, il est aussi primordial de suivre ces paramètres pour ne pas dégrader le milieu (Mc Donald et al., 2018).

Le suivi des paramètres physicochimiques est bien développé et plutôt aisé à mettre en œuvre. Dans le cadre de l'évaluation du bon état fixé par la DCE plusieurs paramètres sont pris en compte :

- Température de l'eau ;
- Bilan d'Oxygène ;
- Etat d'acidification ;
- Concentration en nutriments.

D'autres paramètres peuvent également être évalués en dehors du cadre de la DCE. Les stations de mesures sont bien développées à l'échelle du territoire métropolitain car elles sont utilisées pour la surveillance des milieux (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2019). Néanmoins, l'évaluation particulière des effets sur la physico-chimie d'une opération de restauration en un secteur localisé doit être portée par le MOA ou le gestionnaire du cours d'eau.

3. L'évaluation du gain écologique de la restauration

L'un des intérêts de la restauration de cours d'eau est de retrouver un fonctionnement biologique et écologique optimal. Cela passe par le rétablissement des processus de fonctionnement du cours d'eau, des échanges entre les milieux et par la diversification d'habitats. L'objectif est de retrouver un écosystème fonctionnel souvent endommagé par les interventions anthropiques. Le gain écologique d'une restauration s'observe notamment par la présence d'une biodiversité riche et diversifiée dans l'ensemble des milieux : lit vif, risberme, berge, ripisylve, etc. Pour évaluer l'efficacité d'un projet de restauration de cours d'eau, il semble alors intéressant d'essayer de mesurer ce gain écologique.

Dans le cadre de l'évaluation de l'état des masses d'eau de la DCE, l'état écologique est mesuré grâce à différents indicateurs biologiques en plus des éléments physico-chimiques, comme vu précédemment. Les indicateurs biologiques permettent d'évaluer la qualité d'un cours d'eau à partir des peuplements observés en comparaison à un peuplement de référence défini selon les caractéristiques du milieu (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2019; Rolan-Meynard et al., 2019). Dans le cadre de la DCE, les indicateurs biologiques utilisés sont les suivants (en France métropolitaine) :

- Indice Poisson Rivière (IPR*) : évaluation du peuplement piscicole (composition, abondance, structure d'âge ;
- Indice Invertébrés Multimétriques (I2M2*) : évaluation du peuplement d'invertébrés benthiques (composition, abondance) ;
- Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR*) : évaluation du peuplement de macrophytes (composition, abondance) ;
- Indice Biologique Diatomées (IBD*) : évaluation du phytobenthos par les diatomées (composition, abondance) ;

En dehors de la DCE, l'évaluation de la qualité écologique d'un cours d'eau et donc du gain écologique d'une restauration peut se faire par l'utilisation de ces indices ou d'indices complémentaires non utilisés

dans la DCE (IBG*, IBGN*, évaluation du phytoplancton, etc.). Le gain écologique peut également être évalué par appréciation visuelle avec l'observation de la faune, de la flore, des milieux, etc. Les effectifs d'individus augmentent, tout comme la diversité spécifique avec le retour de certaines espèces. Il est nécessaire de rappeler que l'hydromorphologie et la physico-chimie sont également des indicateurs quant à l'évaluation du gain écologique.

Malgré l'existence de ces nombreux indicateurs, il est tout de même légitime de se demander si le gain écologique est réellement mesurable. En effet, il paraît complexe de mesurer l'écologie d'un cours d'eau compte tenu des nombreux éléments et processus qui la composent. Les indicateurs biologiques, hydromorphologique et physico-chimiques permettent d'avoir un aperçu de l'état écologique du milieu et donc de comparer la situation avant et après restauration. L'évaluation de la DCE permet de combiner ces différents indicateurs pour évaluer l'état écologique des cours d'eau. Néanmoins, il semble compliqué d'accepter que l'état écologique puisse simplement se traduire par une note, il paraît essentiel d'avoir une expertise humaine capable d'évaluer l'écologie du milieu en s'appuyant sur les indicateurs disponibles.

Pour évaluer le gain écologique d'une restauration, il est nécessaire d'avoir un état de référence, avant travaux, et ensuite plusieurs états à différentes temporalités après travaux (Morandi, 2014; Rolan-Meynard et al., 2019). En effet, le cours d'eau peut mettre un certain temps à se réapproprier son environnement, à rétablir ses processus et la biodiversité à recoloniser le milieu. De premiers résultats peuvent être observés assez rapidement après les travaux mais le rétablissement d'un fonctionnement efficient et l'installation durable d'une biodiversité riche peut prendre plusieurs mois voire plusieurs années. Il est donc intéressant de réaliser un suivi sur plusieurs années après la réalisation des travaux de restauration. Généralement les suivis après travaux sont faits à n+1, n+2, n+5 et n+10 mais cela reste à adapter à chaque cours d'eau et type de projet.

Pour évaluer le gain écologique d'un projet de restauration, il est nécessaire que cela soit systématiquement fait et correctement. Néanmoins, aucune obligation n'existe d'évaluer le gain écologique d'une opération de restauration. Cela repose sur la volonté des gestionnaires de cours d'eau ou des MOA. Seule la DCE impose une évaluation de l'état des masses d'eau avec une nécessité d'atteinte des objectifs de bon état mais de manière indépendante des projets de restauration.

Il est également intéressant de questionner le rapport coût/gain écologique. En effet, les projets de restauration peuvent coûter plusieurs centaines de milliers d'euros, financer par de l'argent public, pour un gain écologique sur des linéaires de quelques centaines de mètres. Cet investissement peut paraître démesuré compte tenu du linéaire total de cours d'eau qui reste encore altéré et pouvant avoir un effet sur les secteurs restaurés. Néanmoins, les cours d'eau fonctionnels rendent des services écosystémiques majeurs sur lesquels reposent la société humaine (Bourdin, 2007; Chegrani, 2007). Leur bon fonctionnement et leur qualité physico-chimique, écologique et hydromorphologiques sont essentielles à la survie de la société humaine. De trop nombreuses atteintes ont été portées au cours d'eau pour garantir un fonctionnement durable. Leur restauration est donc nécessaire et se développe petit à petit depuis quelques dizaines d'années maintenant. En regard du dérèglement climatique et des activités humaines, il est légitime de se questionner de la pertinence de ces projets de restauration dans les années futures.

4. Pertinence de la restauration dans le cadre du changement climatique

La restauration des cours d'eau permet de corriger les altérations causées par des modifications anthropiques sur les dernières décennies voire siècles passés pour répondre aux enjeux hydraulique, écologique mais aussi sociétaux. Néanmoins, aujourd'hui, un nouvel élément entre en compte et bouleverse le fonctionnement des milieux naturels : le changement climatique. Il est alors légitime de se demander quel est l'impact du changement climatique sur la restauration de cours d'eau et si celle-ci reste toujours pertinente dans les conditions futures.

Le changement climatique a déjà un fort impact sur les cours d'eau et notamment les niveaux d'eau et cet effet sera de plus en plus fort au fil des ans. En effet, durant la période estivale, les périodes d'étiages sont de plus en plus longues et intenses et les températures plus hautes, comme nous avons pu le constater dès cet été 2022 avec plusieurs canicules et une forte sécheresse sur tout le territoire métropolitain. Durant la période estivale, les écoulements sont donc de plus en plus faibles, ce qui bouleverse la vie biologique du cours d'eau : les espèces aquatiques ne trouvent plus d'habitats, les milieux connexes ne sont plus suffisamment alimentés en eau et l'ensemble du système s'assèche. Il y a une perte de biodiversité faunistique et floristique tant en berges que dans le lit vif et de nouveaux processus se mettent en place (eutrophisation). A l'inverse, en période de hautes eaux, les crues vont être de plus en plus fréquentes et fortes avec le changement climatique (Rolls et al., 2012). Le changement climatique va ainsi accentuer les phénomènes extrêmes : étiage et crues.

Dans le cadre de la restauration, les très faibles écoulements ne pourront peut être pas garantir une lame d'eau suffisante pour la survie des espèces piscicole ni l'alimentation en eau des différents habitats du lit vif malgré la mise en œuvre d'aménagements adaptés. Les végétaux implantés dans le lit et en berges ne seront potentiellement plus suffisamment alimentés en eau pour garantir un développement correct et ainsi offrir de nombreux habitats. Les cours d'eau ne pourront pas contenir toutes les crues notamment si celles-ci sont de plus en plus intenses. Les ouvrages seront aussi sous-dimensionnés pour ces fortes crues plus fréquentes qu'actuellement. Ces événements auront un impact important sur le fonctionnement du cours d'eau mais aussi sur les enjeux humains notamment si aucun espace d'expansion n'est prévu (urbanisation du lit majeur).

Le changement climatique a déjà et aura un effet important sur le fonctionnement des cours d'eau et sur l'eau, d'un point de vue qualitatif et quantitatif (Dany, 2016; De La Rocque et al., 2021). La restauration permet de répondre à des enjeux déjà existants sur lesquels le changement climatique aurait un impact plus important si rien n'était déjà mis en place. Toutefois, la restauration, par sa raison d'être notamment, se doit d'intégrer les nouveaux enjeux apportés par le changement climatique. Les aménagements doivent être adaptés comptes tenus des conditions actuelles et futures de chaque cours d'eau. Les abords des cours d'eau sont des réservoirs de biodiversité importants pour les espèces et la société humaine. Pour les préserver, il est nécessaire de les restaurer de façon plus fine et adaptée : morphologie, ombrage, essences, etc. Des changements ont déjà lieu avec par exemple, l'utilisation, pour le génie végétal, d'espèces plus résistantes à la sécheresse (Lavaine et al., 2011). La restauration de cours d'eau est une pratique qui s'adapte à chaque contexte et chaque milieu, ce qui laisse la possibilité de s'adapter aux nouvelles conditions. Les projets de restauration de cours d'eau doivent, dès aujourd'hui, intégrer le changement climatique et les conséquences qu'il entraîne en adaptant les divers aménagements. Un partage d'expériences et de connaissances est nécessaire pour répondre rapidement à ces nouveaux enjeux. La restauration reste pertinente dans le cadre du changement climatique si elle s'adapte aux nouvelles conditions des milieux. L'eau est une ressource précieuse que la restauration de cours d'eau se doit de préserver en répondant au défi climatique.

VII. Retour personnel sur l'expérience

D'un point de vue personnel, ce stage a été une opportunité d'approcher concrètement la restauration de cours d'eau. Les différentes études menées m'ont permis de découvrir un large panel de pratique de restauration. J'ai ainsi pu approfondir les compétences déjà acquises et en développer de nouvelles. La restauration des cours d'eau me paraît essentielle au regard des enjeux actuels. Les cours d'eau sont un pilier pour l'ensemble du milieu naturel. La société humaine repose aussi grandement sur ces milieux qu'ils est donc essentiels de restaurer, lorsqu'ils sont altérés, et de préserver. Avec le développement important des activités anthropiques, passé et actuel, et la forte modification des milieux aquatiques, il semble compliqué de retrouver un fonctionnement naturel totalement similaire à celui d'origine (avant modifications anthropiques). Malgré tout, il me semble nécessaire de

s'approcher au mieux de celui-ci en tenant compte des divers enjeux qui existent aujourd'hui. Les différentes pratiques de restauration permettent ainsi de rétablir un fonctionnement plus naturel et de tenir compte des enjeux humains. La restauration de cours d'eau est un outil essentiel pour conserver un bon fonctionnement des cours d'eau et préserver la ressource en eau notamment dans le cadre du changement climatique.

Ce stage m'a également permis de découvrir la conception de projet de restauration au sein d'un bureau d'études. Un projet de restauration fait appel à plusieurs acteurs tout au long de son déroulement. Le service dans lequel j'ai réalisé mon stage est spécialisé dans la conception des aménagements et le suivi de travaux. Même si d'autres phases sont intéressantes (suivi post-travaux par exemple), il est impossible de toutes les réaliser, car chaque acteur a ses propres spécialités. Ce stage m'a aussi amené à comprendre la relation et le fonctionnement entre les différents acteurs d'un projet mais aussi au sein même du bureau d'étude. L'avancement d'un projet dépend fortement de chacun des acteurs qui accélèrent ou ralentissent les choses. Travailler avec différents collaborateurs au sein d'Egis a été très enrichissant notamment lors des réflexions communes sur les possibilités d'aménagements. La taille du groupe est un avantage pour avoir une multitude de compétences et de moyens mais est parfois compliqué en termes d'organisation (hiérarchisation importante et complexe, nombreux outils de suivis des collaborateurs, etc.). Ce stage au sein du groupe Egis a été une expérience fortement enrichissante, qui a permis de conforter mon intérêt pour les projets de restauration de cours d'eau. Ce travail en bureau d'études a été très intéressant, notamment avec la conception complète des projets de restauration, ce qui me pousse à continuer sur cette voie.

Conclusion

La restauration est une pratique visant à rétablir un fonctionnement naturel des cours d'eau qui ont souvent été altérés par des interventions anthropiques néfastes. Ces altérations peuvent être de diverses natures et ont un fort impact sur le fonctionnement global du cours d'eau et de ses abords ainsi que sur la biodiversité. Différentes pratiques peuvent être utilisées dans le cadre de la restauration et permettent d'améliorer le fonctionnement du cours d'eau d'un point de vue hydromorphologique, hydraulique mais aussi biologique. Les différentes opérations de restauration peuvent permettre de rétablir la continuité écologique et sédimentaire, rétablir les connexions entre le cours d'eau et ses milieux connexes, diversifier les écoulements, la végétation et donc les habitats. Chaque cours d'eau est unique par ses caractéristiques et son contexte. Il est donc essentiel d'étudier l'ensemble du milieu et d'adapter les propositions de restauration lors de la conception d'un projet. La restauration n'est pas une pratique « toute faite » à appliquer sur chaque cours d'eau, elle doit être réfléchie en regard du contexte. La restauration de cours d'eau est un outil qui doit être utilisé dans le cadre du changement climatique. Sa mise en œuvre doit être quelque peu adaptée au regard des conditions futures projetées mais permettra de protéger la précieuse ressource en eau sur laquelle repose grandement la société humaine. Elle permet également d'offrir un milieu naturel fonctionnel qui pourra abriter une biodiversité riche et diversifiée. La restauration de cours d'eau est donc une pratique très intéressante et essentielle à la préservation des milieux aquatiques, de l'environnement et à la stabilité de la société humaine notamment dans le cadre du changement climatique en cours.

Ce stage au sein du bureau d'études Egis a été une expérience fortement enrichissante qui m'a permis de découvrir concrètement la restauration de cours d'eau. Les différents projets et études sur lesquels j'ai pu travailler étaient tous différents, intéressants et formateurs. J'ai également été correctement guidé et accompagné tout au long du stage tout en ayant une part d'autonomie. Les personnes avec qui j'ai pu travailler, au sein d'Egis ou à l'extérieur, se sont montrées bienveillantes et à l'écoute. Ce stage a permis de conforter mon attrait pour la restauration de cours d'eau et est un réel tremplin pour mon entrée dans le monde professionnel.

Bibliographie

- Adam, P., Debiais, N., & Malavoi, J.-R. (2007, décembre). *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau*. <https://www.trameverteetbleue.fr/documentation/references-bibliographiques/manuel-restauration-hydromorphologique-cours-eau>
- Adam, P., DEBIAIS (Nicolas), GERBER (François), LACHAT (Bernard), & DEBIAIS, N. (2008). *Le génie végétal—Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques*. La Documentation Française. PARIS. <https://side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRACUSE/142371/le-genie-vegetal-un-manuel-technique-au-service-de-l-amenagement-et-de-la-restauration-des-milieux-a>
- AFB. (2010, janvier). *Le recueil d'expériences sur l'hydromorphologie*. Le portail technique de l'OFB. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/217>
- Agence de l'Eau Loire Bretagne. (2011, janvier 1). *Guide méthodologique—Restauration des cours d'eau : Communiquer pour se concerter*. Gest'eau. <https://www.gesteau.fr/document/guide-methodologique-restauration-des-cours-deau-communiquer-pour-se-concerter>
- Bourdin, L. (2007). Préservation et restauration hydromorphologique des milieux aquatiques, un enjeu majeur sur le bassin Rhône Méditerranée. *Undefined*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Pr%C3%A9servation-et-restauration-hydromorphologique-des-Bourdin/3759996218f2d003c02a122098a1fae4504ff253>
- CEREMA. (2022, mai 2). *Les contrats de rivière (ou de milieux, de baie...) et autres contrats eau*. <http://outil2amenagement.cerema.fr/les-contrats-de-riviere-ou-de-milieux-de-baie-et-r431.html>
- Chegrani, P. (2007, novembre). *Analyse coûts-avantages de la restauration d'une rivière : La cas du Gardon aval*. <https://www.oieau.fr/eaudoc/notice/Analyse-couts-avantages-de-la-restauration-dune-riviere-la-cas-du-Gardon-aval>
- CPIE. (2010, décembre). *Cahier de l'eau des CPIE : la morphologie des cours d'eau | Gest'eau*. <https://www.gesteau.fr/actualite/cahier-de-leau-des-cpie-la-morphologie-des-cours-deau>

- Dany, A. (2016, octobre). *Accompagner la politique de restauration physique des cours d'eau—Éléments de connaissance*. <https://www.gesteau.fr/document/accompagner-la-politique-de-restauration-physique-des-cours-deau-elements-de-connaissance>
- De La Rocque, J., Terrier, B., Moiroud, C., & Faure, J.-P. (2021). *La gestion et les travaux sur les cours d'eau face au changement climatique -Retours d'expérience sur le bassin du Rhône*.
- Eau France. (s. d.). *Règles d'évaluation de l'état des eaux*. Consulté 10 août 2022, à l'adresse <https://www.eaufrance.fr/regles-devaluation-de-letat-des-eaux?rubrique69>
- Jugie, M. (2018). *Trajectoire hydrogéomorphologique d'un petit cours d'eau périurbain francilien : Aménagement, « désaménagement »?*
- Lavaine, C., Evette, A., Piégay, H., & Brahic, P. (2011). Génie végétal contre l'érosion des berges de cours d'eau dans un contexte de changement climatique : Quelles nouvelles espèces utiliser ? *1ères Rencontres Interdisciplinaires Doctorales de l'Aménagement Durable (RIDAD 2011)*, 16 p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00653446>
- Le Bihan, M. (2020, juillet 1). *Connaissances généralistes sur la restauration des cours d'eau*.
- Les dates de la politique de l'eau : Chronologie*. (s. d.). [vie-publique.fr](https://www.vie-publique.fr). Consulté 10 août 2022, à l'adresse <https://www.vie-publique.fr/eclairage/24019-chronologie-les-dates-de-la-politique-de-leau>
- Mc Donald, D., De Billy, V., & Georges, N. (2018, février). *Bonnes pratiques environnementales—Protection des milieux aquatiques en phase chantier*. Le portail technique de l'OFB. <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-guides-protocoles/bonnes-pratiques-environnementales-protection-milieux-aquatiques-en-phase>
- Ministère de la transition écologique. (2022, mai). *Espèces exotiques envahissantes*. Ministères Écologie Énergie Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/especes-exotiques-envahissantes>
- Ministère de la transition écologique et solidaire. (2019, janvier). *Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau)*.

<https://bretagne-environnement.fr/guide-technique-relatif-levaluation-letat-eaux-surface-continetales-cours-deau-canaux-plans-deau>

Morandi, B. (2014). *La restauration des cours d'eau en France et à l'étranger : De la définition du concept à l'évaluation de l'action. Eléments de recherche applicables.*

OFB. (s. d.-a). *Acteurs impliqués dans la mise en œuvre.* Consulté 10 août 2022, à l'adresse <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/166>

OFB. (s. d.-b). *Carhyce, protocole terrain et analyse de tronçons de cours d'eau.* Consulté 10 août 2022, à l'adresse <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/386>

OFB. (s. d.-c). *Suivi scientifique minimal des opérations de restauration hydromorphologique.* Consulté 10 août 2022, à l'adresse <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/361>

OFB. (2017). *Carhyce—Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied.* Le portail technique de l'OFB. <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-guides-protocoles/carhyce-protocole-recueil-donnees-hydromorphologiques-lechelle-station-cours>

ONEMA. (2016). *CarHyCe : Caractérisation de l'hydromorphologie des cours d'eau—Connaître et surveiller le fonctionnement physique des cours d'eau.* https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/GP2017_Carhyce_Plaquette.pdf

Rolan-Meynard, M., Vivier, A., Reyjol, Y., & Boutet-Berry, L. (2019, mai). *Guide pour l'élaboration de suivis d'opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau.* Le portail technique de l'OFB. <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-guides-protocoles/guide-lelaboration-suivis-doperations-restauration-hydromorphologique-en>

Rolls, R., Leigh, C., & Sheldon, F. (2012). Mechanistic effects of low-flow hydrology on riverine ecosystems : Ecological principles and consequences of alteration. *Freshwater Science*, 31, 1163-1186. <https://doi.org/10.1899/12-002.1>

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : Organigramme opérationnel d'EGIS (Source : EGIS)

Annexe 2 : Organisation de la BL GO3E (Source : EGIS)

Annexe 3 : Implantations de la BL GO3E en France (Source : EGIS)

Annexe 4 : Organisation de l'activité Eau, Energie & Maritime (Source : EGIS)

Annexe 5 : Organisation du pôle Eau à Lyon (Source : S. KREMER)

Annexe 6 : Carte des aléas inondations pour la crue centennale pour le site AKERS (Source : C. DEJAEGER)

Annexe 7 : Phases abordées dans les différents projets

Annexe 8 : Principe d'un seuil de fond en blocs (Source : Adam et al., 2008)

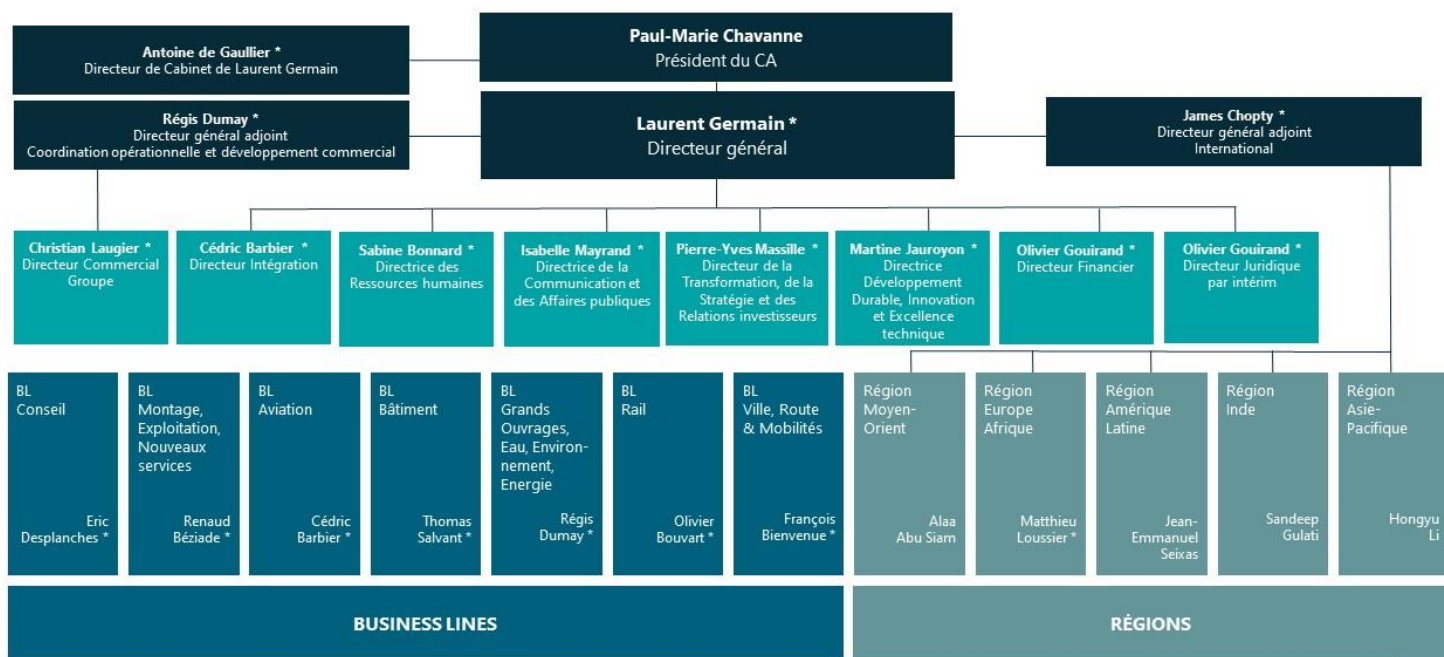
Annexe 9 : Principe des lits de plants et plançons (Source : Adam et al., 2008)

Annexe 10 : Principe d'une fascine de saules (Source : Adam et al., 2008)

Annexe 11 : Principe d'un épi déflecteur en blocs (Source : Adam et al., 2008)

Annexe 1 : Organigramme opérationnel d'EGIS (Source : EGIS)

ORGANIGRAMME OPERATIONNEL



* Membres du COMEX

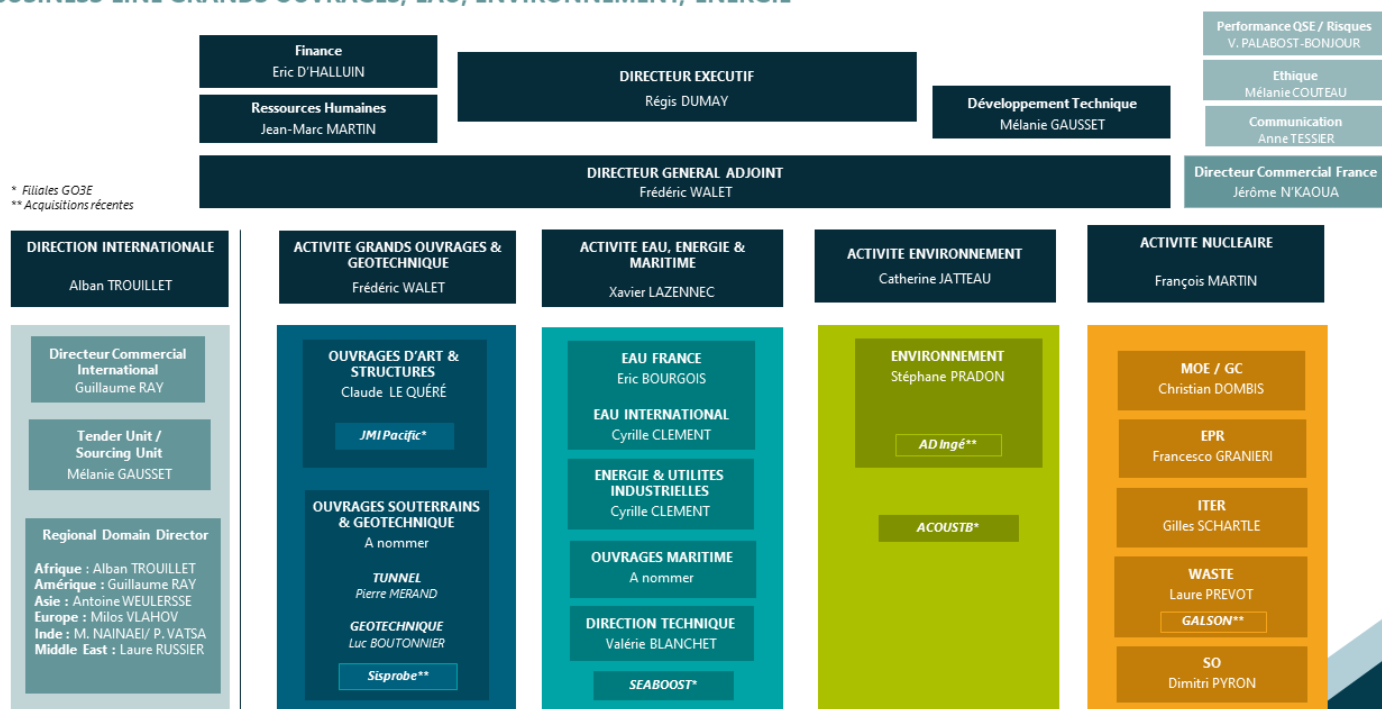
Organigramme opérationnel | Avril 2022

Annexe 2 : Organisation de la BL GO3E (Source : EGIS)

ORGANISATION

BUSINESS LINE GRANDS OUVRAGES, EAU, ENVIRONNEMENT, ENERGIE

Mise à jour : Avril 2022



Annexe 3 : Implantations de la BL GO3E en France (Source : EGIS)

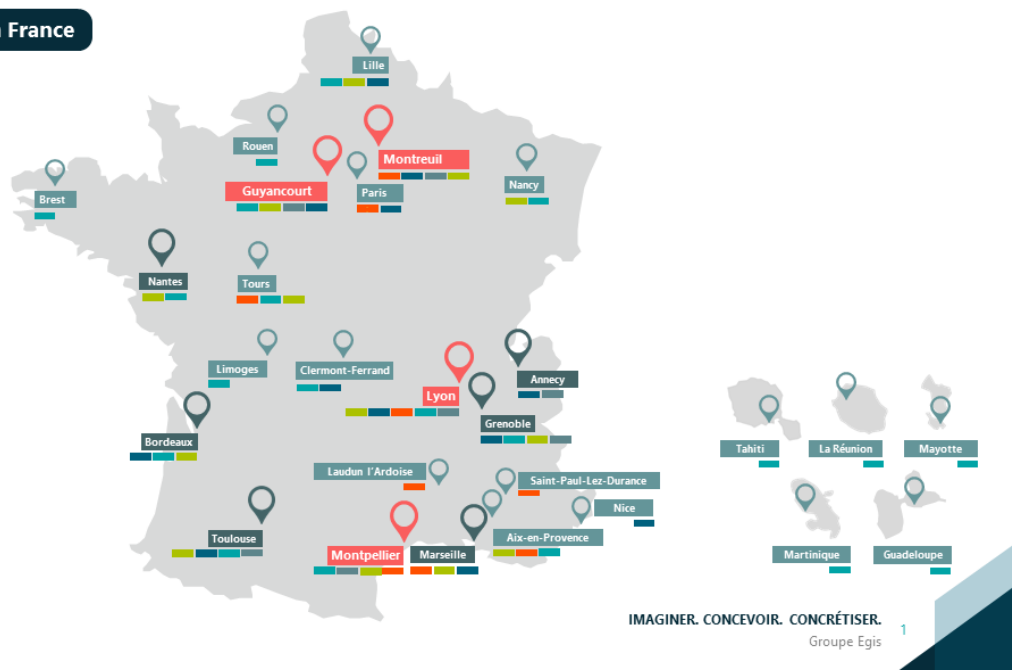
Nos principales implantations en France

Effectifs sur site :

-  Plus de 100 collaborateurs
-  30 à 100 collaborateurs
-  1 à 30 collaborateurs

Activités présentes sur site :

- Grands Ouvrages et Géotechnique
- Eau & Ports
- Environnement & Énergie
- Nucléaire
- Fonctionnel

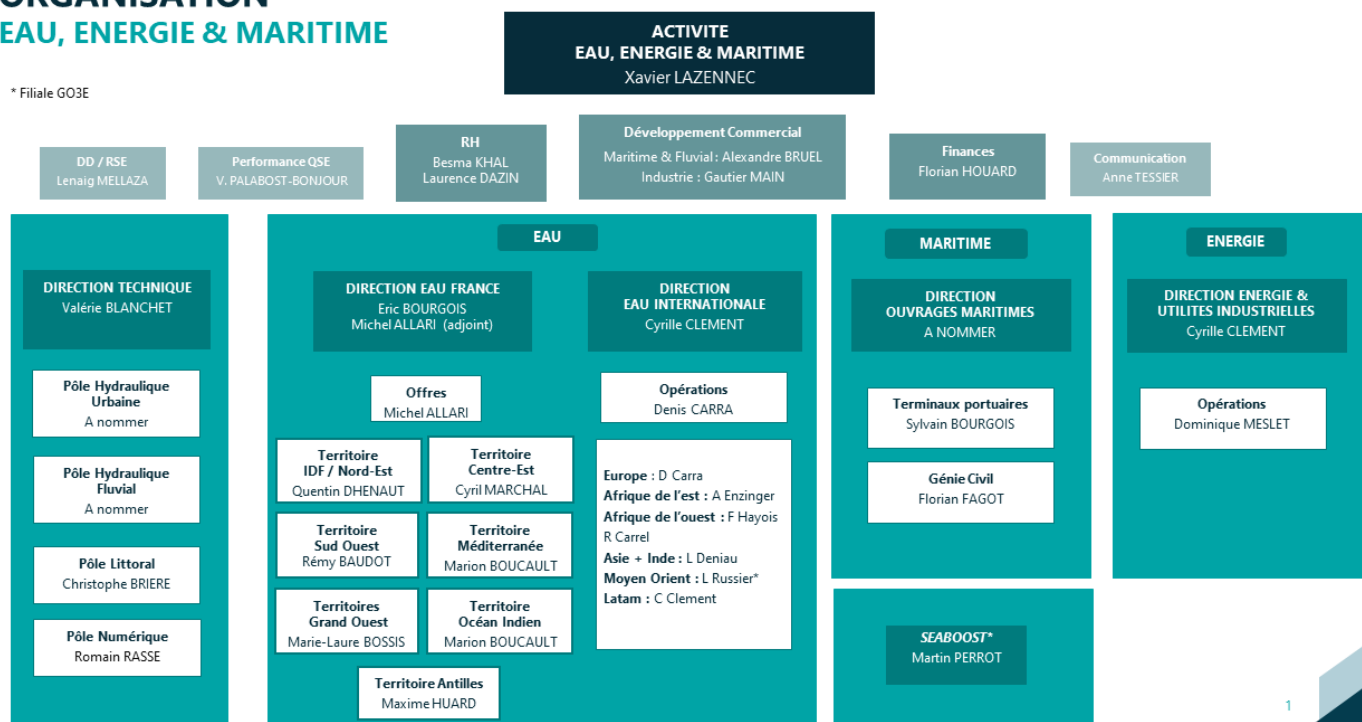


Annexe 4 : Organisation de l'activité Eau, Énergie & Maritime (Source : EGIS)

ORGANISATION EAU, ÉNERGIE & MARITIME

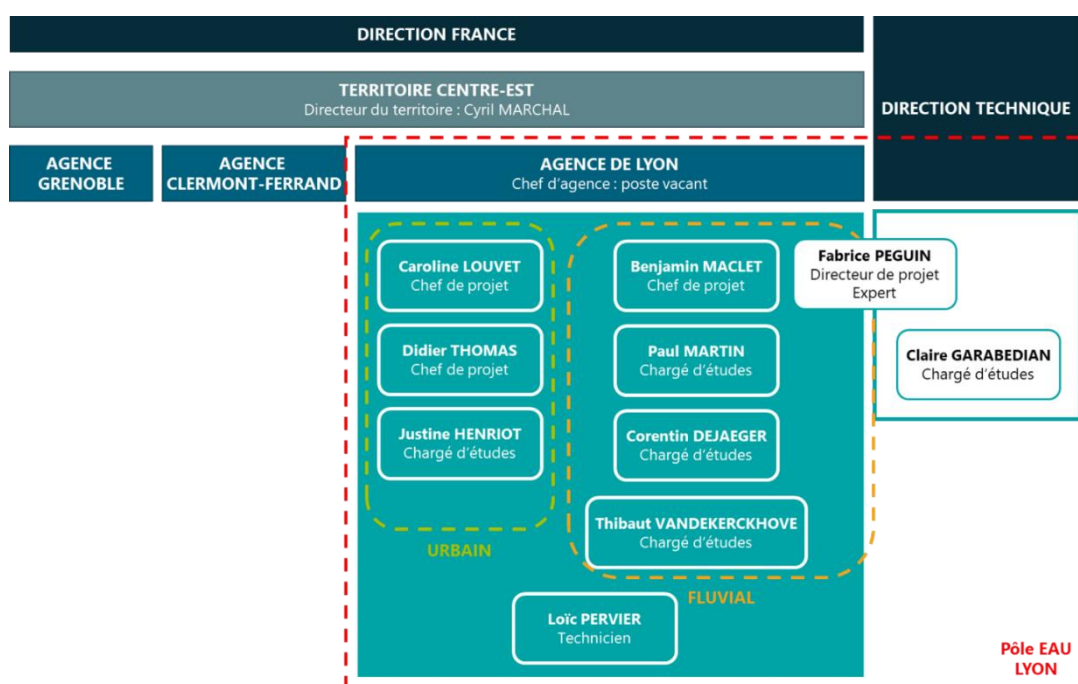
Mise à jour : Avril 2022

* Filiale GO3E

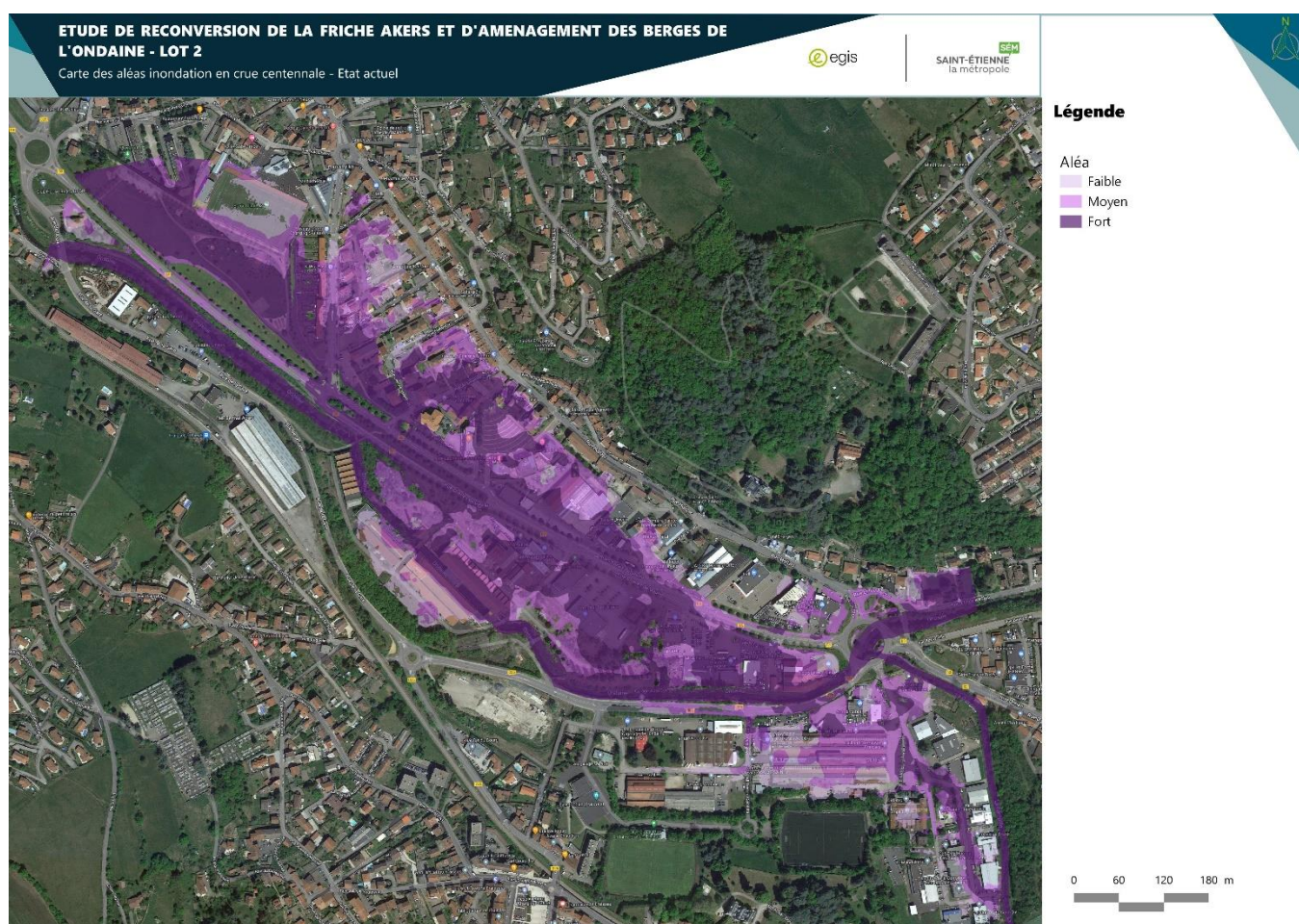


1

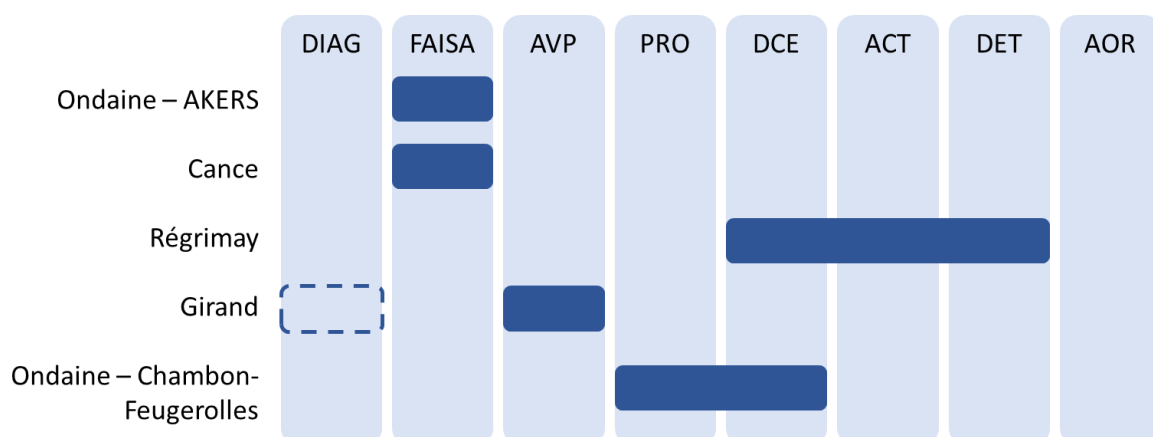
Annexe 5 : Organisation du pôle Eau à Lyon (Source : S. KREMER)



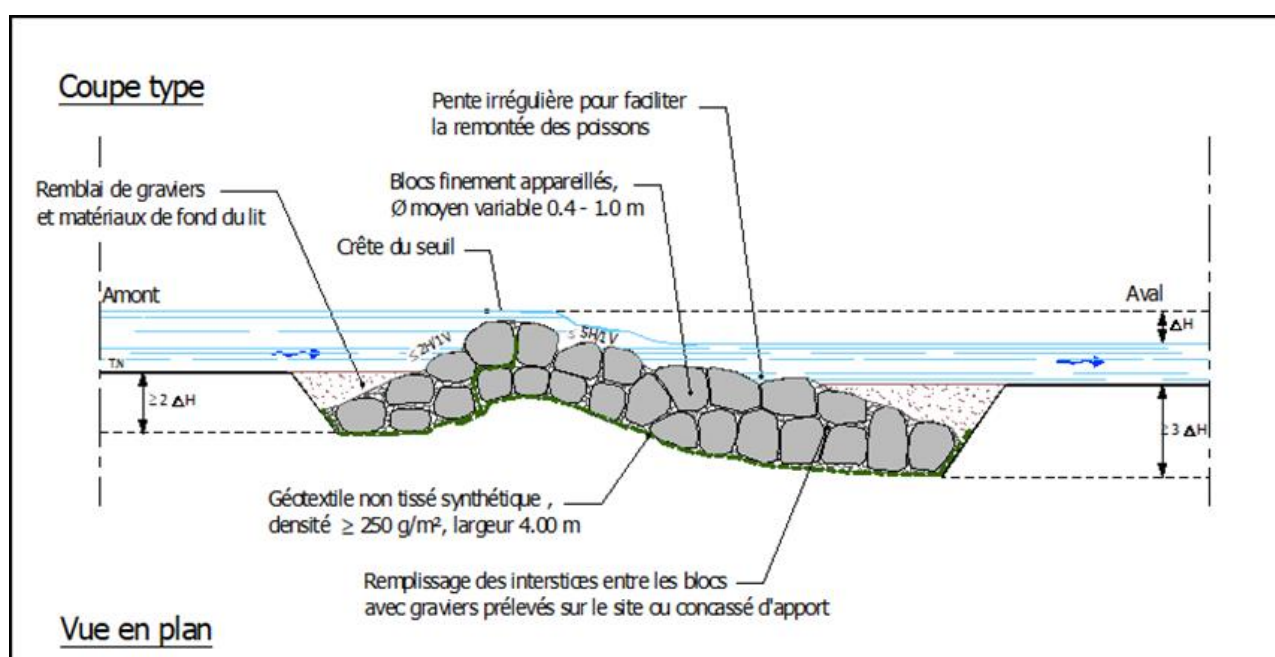
Annexe 6 : Carte des aléas inondations pour la crue centennale pour le site AKERS (Source : C. DEJAEGER)



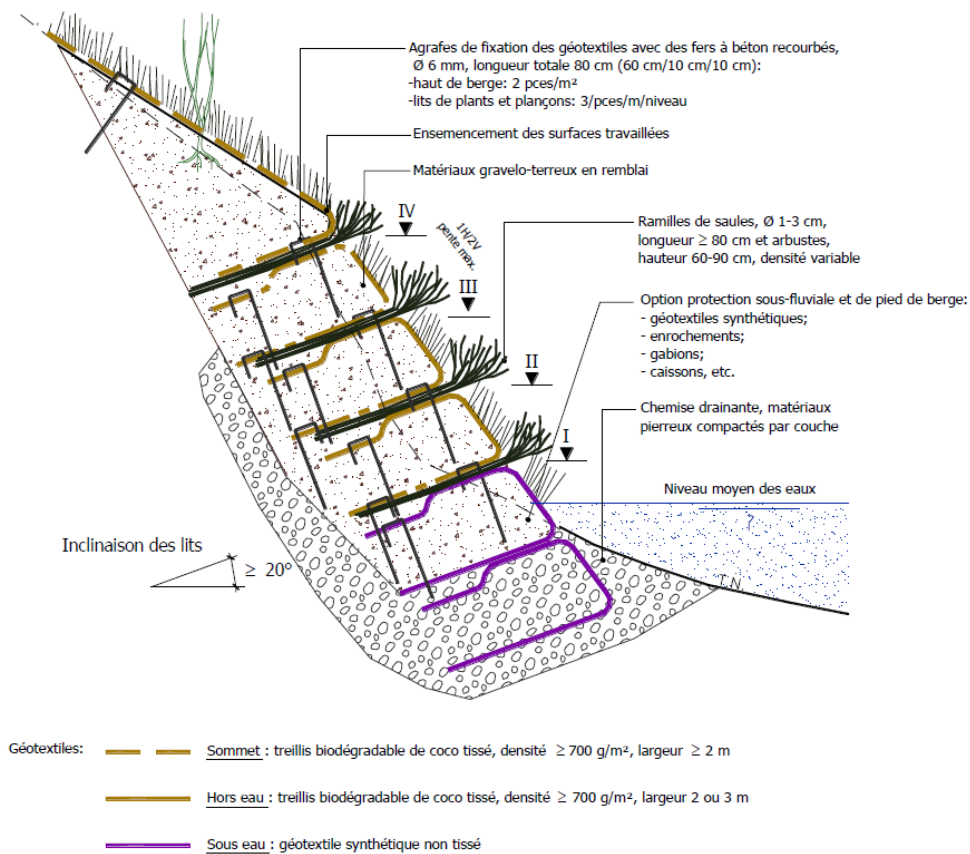
Annexe 7 : Phases abordées dans les différents projets



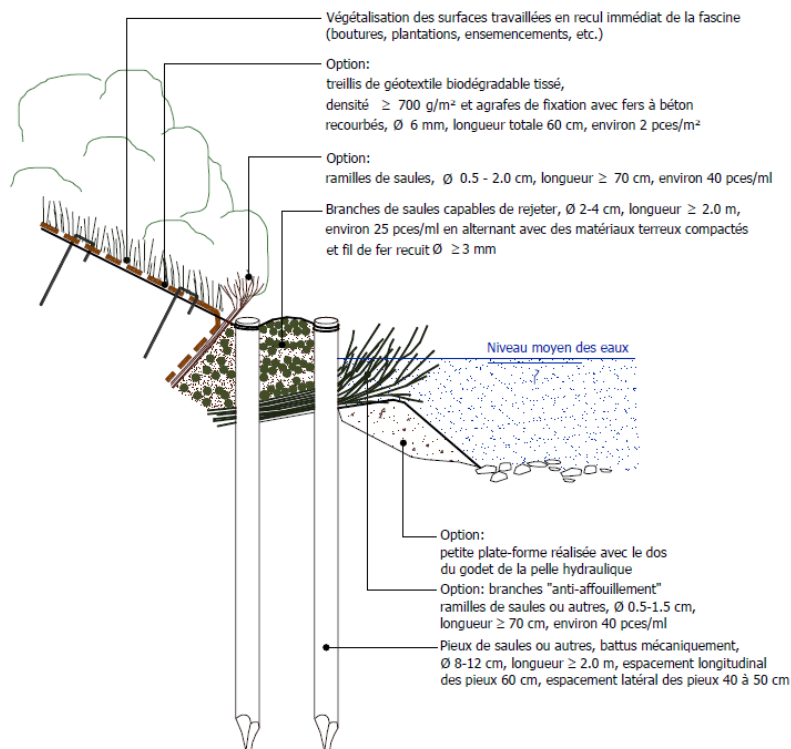
Annexe 8 : Principe d'un seuil de fond en blocs (Source : Adam et al., 2008)



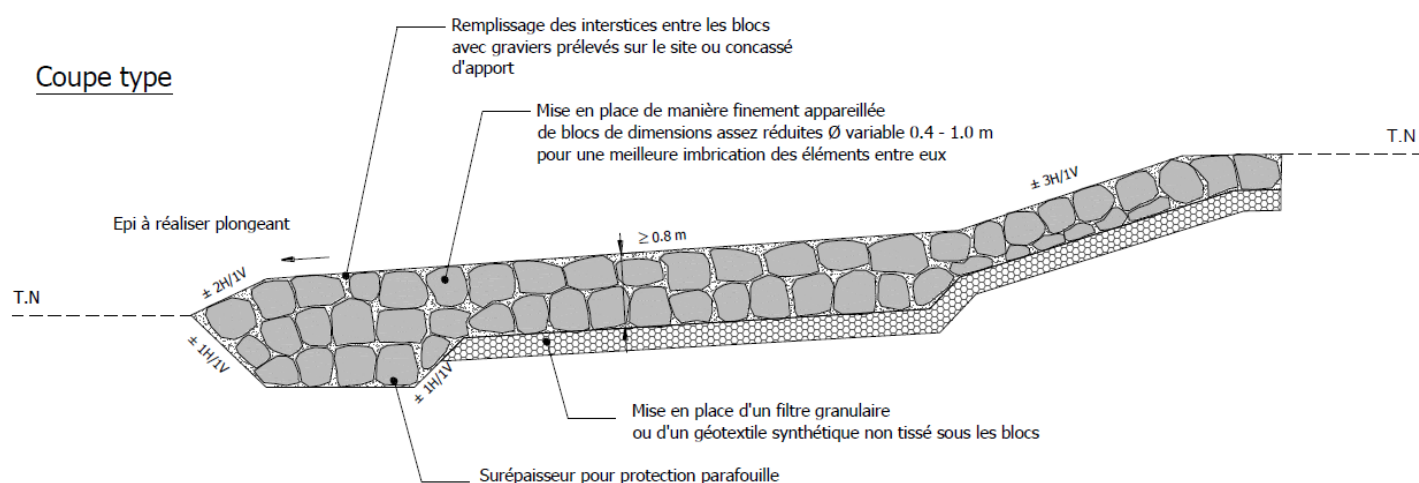
Annexe 9 : Principe des lits de plants et plançons (Source : Adam et al., 2008)



Annexe 10 : Principe d'une fascine de saules (Source : Adam et al., 2008)



Annexe 11 : Principe d'un épi déflecteur en blocs (Source : Adam et al., 2008)





POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Etudes & MOE de restauration morpho-écologique de tronçons de cours d'eau

Sidney Kremer
2021-2022

Résumé :

La restauration de cours d'eau est une pratique qui vise à rétablir le fonctionnement naturel de ceux-ci qui ont souvent été altérés par des interventions anthropiques. Durant ce stage de fin d'études au sein d'Egis, j'ai ainsi pu travailler sur différents projets de restauration. Ce rapport est une réflexion globale sur la restauration de cours d'eau et la mise en place de projets. Ainsi, les raisons et les objectifs de la restauration sont exposées tout comme le cadre politique et décisionnel dans lequel s'inscrivent les projets de restauration. Certaines opérations de restauration de cours d'eau sont ensuite présentées. Enfin, la restauration est questionnée sur son intérêt réel notamment dans le cadre du changement climatique.

Abstract :

River restoration is a practice that aims at restoring the natural functioning of rivers that have often been altered by anthropic interventions. During my internship at Egis, I was able to work on different restoration projects. This report is a global reflection on the restoration of rivers and the implementation of projects. Thus, the reasons and the objectives of the restoration are exposed as well as the political and decisional framework in which the restoration projects fit. Some river restoration operations are then presented. Finally, the real interest of restoration is questioned, especially in the context of climate change.

Mots Clés : Restauration de cours d'eau, bureau d'études, hydromorphologie, hydraulique, biologie, écologie, génie végétal, maîtrise d'œuvre, projet, continuité écologique

Entreprise : Egis

Immeuble le Carat 168-170 avenue Thiers 69455 LYON cedex 06

Tuteur entreprise :

Fabrice Peguin

Directeur de projets

Tuteur académique :

Michel Bacchi