

Projet de Fin d'Etudes 2018-2019

Restauration hydro-écologique des cours d'eau Français, principales méthodes d'analyse et de dimensionnement, intérêts et limites



Etudiant :

Charles CALVET (sous la direction de)

Tuteur professionnel :

Paul CASSANGES

Tuteur pédagogique :

Catherine BOISNEAU

Restauration hydro-écologique des cours d'eau Français, principales méthodes d'analyse et de dimensionnement, intérêts et limites

Directeur de recherche : Catherine BOISNEAU Auteur : Charles CALVET

Année 2018-2019

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur de cette recherche a signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu Monsieur Paul CASAGNES, Chef du service Génie écologique d'Ingérop de m'avoir choisi pour réaliser ce contrat de professionnalisation au sein de son établissement. Merci de m'avoir donné la chance de tester et prouver mes capacités d'ingénieur écologue sur des cas concrets durant une année.

Je tiens à remercier tout particulièrement Madame Catherine BOISNEAU, mon maître de projet de fin d'étude et de contrat de professionnalisation pour sa disponibilité, son suivi et ses encouragements tout au long de la création de ce rapport. Merci d'avoir pris le temps d'écouter mes remarques et de m'avoir renseigné sur ma formation.

Je remercie Monsieur Patrick MARTINEAU pour ses conseils par téléphone et messages au sujet du contrat de professionnalisation.

Je remercie toute l'équipe de l'agence de Joué-Lès-Tours pour leur accueil. En particulier les membres du service de Génie Ecologique, Mathieu JAUNEAU, Vivien SOTTEJEAU, Sylvain DURANDEAU et Kévin COLIN. Merci d'avoir facilité mon intégration au sein de l'équipe et d'avoir pris le temps de converser avec moi, que ce soit le temps d'une pause ou d'un repas.

Je tiens à remercier Madame Sylvie BELAIR, pour son suivi et sa réactivité face à mes nombreuses questions sur ma formation.

SOMMAIRE

Introduction	1
1. Matériel et Méthodes.....	3
1.1. Critères de choix des retours d'expériences	3
1.1.1. Types de cours d'eau choisis.....	3
1.2. Recherche des retours d'expériences	4
1.3. Lecture des retours d'expériences	4
1.3.1. Lecture de la partie « Localisation et de la date des travaux ».....	4
1.3.2. Lecture de la partie « Maîtres d'Ouvrages »	5
1.3.3. Lecture de la partie « Objectifs »	5
1.3.4. Lecture de la partie « Techniques de restauration ».....	5
1.3.5. Lecture de la partie « Suivis »	5
1.3.6. Lecture de la partie « Résultats »	6
1.3.7. Lecture de la partie « Références »	6
2. Résultats des retours d'expériences.....	6
2.1. Résultats de la partie « Maîtres d'Ouvrages ».....	6
2.2. Résultats de la partie « objectifs ».....	7
2.3. Résultats de la partie « Techniques de restauration »	9
2.4. Résultats de la partie « Suivis »	10
2.5. Résultats de la partie « Résultats ».....	11
2.6. Résultats de la partie « Références ».....	12
3. Analyse générale des retours d'expériences.....	12
4. Conclusion.....	14
Bibliographie	15
Sitographie	16
Annexes	i

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Carte des régimes hydrologiques le long du réseau hydrographique selon la typologie définie par les douze séries de coefficients mensuels de débit (CM), définis par les débits moyens interannuels divisés par le module exprimé en % (Sauquet et <i>al.</i> 2016)	3
Figure 2 : Répartition des structures ayant réalisé la maîtrise d'ouvrage sur les 50 retours d'expériences (Charles CALVET).....	7
Figure 3 : Nombre d'apparition de chaque objectif dans chaque échelon hiérarchique (Charles CALVET).....	9
Figure 4 : Nature des suivis avant et après travaux réalisés dans les 50 retours d'expériences (Charles CALVET)	11
Figure 5 : Qualité des résultats dans les 50 retours d'expériences (Charles CALVET)	12

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Mise en forme du tableau de lecture et d'analyse des retours d'expériences (Charles CALVET).....	4
Tableau 2 : Présentation des objectifs mentionnés dans les retours d'expériences avec leurs différents niveaux de précision (Charles CALVET).....	8
Tableau 3 : Résumé des techniques et du nombre de méthodes proposées dans les 50 retours d'expériences (Charles CALVET).....	10
Tableau 4 : Extrait du tableau de synthèse des fiches de trois retours d'expériences du document de Malavoi (2006).....	12

ABREVIATIONS

EVHA : Evaluation des Habitats physiques des poissons en rivière

IPR : Indice Poissons Rivière

MOA : Maître d'Ouvrages

NR : Non Renseigné

REX : Retours d'expériences

RMC : Rhône Méditerranée Corse

GLOSSAIRE

Hydro-écologie : domaine de recherche et d'ingénierie en écologie des milieux aquatique.

Ingénierie écologique : terme apparu dans les années 60 aux Etats-Unis (Gosselin 2008). Il désigne les « savoir-faire » fondés sur les mécanismes écologiques, utilisables pour la gestion des ressources, la conception, la réalisation et le suivi d'aménagements ou d'équipements (Rey et *al.* 2015), (Rey 2017) et (Centre de ressources du Génie Ecologique 2016¹).

Génie écologique : terme apparu dans les années 80 (Rey 2017) correspondant à la manière d'appliquer les actions d'ingénierie écologique sur un milieu. Il comprend par exemple le génie végétal (Rey 2017) et (IrsteaTV 2018).

Génie végétal : utilisation des caractéristiques des végétaux (ombrage, consolidation des berges, repousse rapide,) pour réaliser des aménagements. Les espèces végétales locales sont favorisées pour qu'elles puissent servir à accueillir la faune et la flore associée au milieu. La résistance du génie civil diminue avec le temps alors que celle du génie végétal augmente (IrsteaTV 2018).

Restauration écologique : actions faisant partie du génie écologique et ayant pour but de réparer les dommages et perturbations qu'a subi un habitat en lui garantissant un fonctionnement plus stable et autonome avec une biodiversité améliorée par rapport à son état initial (Dutroit et Rey 2009).

¹ *Ingénierie écologique (définition)*, Centre de ressources du Génie Ecologique [en ligne]. Disponible sur : <http://www.genieecologique.fr/definitions> [consulté le 27 Décembre 2018].

Introduction

Depuis plusieurs années, une prise de conscience des conséquences de l'anthropisation sur l'écologie des cours d'eau émerge chez les professionnels et les citoyens français (Rey et *al.* 2015) et (Rey 2017). En effet, le développement de l'humanité a toujours entraîné des perturbations de l'environnement sans pour autant que celles-ci soient prises en compte et/ou évitées (Braud 2011).

Ces principales perturbations sont dues aux épisodes de remembrement agricole qui ont débuté très tôt dans l'histoire de la France (occupation romaine² et fin de la seconde guerre mondiale).

En période d'après-guerre, les objectifs de l'Etat Français étaient purement productivistes. A l'échelle européenne la Politique Agricole Commune a été mise en application³. Les pratiques agricoles se sont modernisées, les surfaces cultivées ont augmentées et les engrais chimiques furent utilisés en masse. Pour augmenter les surfaces cultivables les sols français ont été tassés et homogénéisés, supprimant un grand nombre de haies, forêts alluviales, ru et petits cours d'eau existants. Les zones inondables et les cours d'eau, déjà fortement réduits et contraints, ont continués à être asséchés et rectifiés pour garantir une agriculture régulière.

Les régimes hydrologiques naturels dans la majorité des bassins versants ont donc été perturbés (Braud 2011). Pour retenir l'eau nécessaire à l'agriculture, des ouvrages transversaux aux cours d'eau ont été érigés. Ils les privent de leur continuité écologique, rendant la migration des espèces aquatiques plus difficile voire impossible (Baudouin et *al.* 2014), (Burgun et *al.* 2015).

Sans barrières végétales, les intrants et les produits phytosanitaires (nitrates, phosphore, pesticides) se sont rapidement retrouvés dans les cours d'eau par ruissellement et ont détériorés leur qualité chimique (Cours des comptes public 2002). Enfin, l'urbanisation de plus en plus croissante a entraînée des rejets massifs de polluants organiques et de déchets directement dans les rivières⁴.

L'anthropisation d'après-guerre en France a donc impactée simultanément les environnements physiques, chimiques et la biodiversité de nos cours d'eau. Leurs conséquences sont bien visibles aujourd'hui :

- La biodiversité aquatique s'effondre ⁵ (Michelet 2017)
- La ressource en eau devient de plus en plus rare et ne se renouvelle plus assez rapidement (Mittra 2015)
- Sa pollution chimique la rend difficile et coûteuse à rendre potable (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et *al.* 2011)
- Les risques d'inondation augmentent en complémentarité avec le changement climatique (Feyen et Watkiss 2011) et (Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation 2014)

Face à cette situation alarmante impactant à la fois notre environnement et notre santé, une directive cadre européenne sur l'eau a été instaurée en 2000. Son but premier est de rendre aux cours d'eau Européens leur bon état écologique par la mise en place de schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau à l'échelle des bassins versants. Ces schémas préconisent des plans de gestion adaptés à l'environnement de chaque grand bassin versant avec pour objectif un retour du bon état écologique de ses masses d'eau.

² Remembrement. (2018). Wikipédia [en ligne]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Remembrement&oldid=153988831> [consulté le 20 Décembre 2018].

³ Politique agricole commune. (2018). Wikipédia [en ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Politique_agricole_commune&oldid=153866045 [consulté le 20 Novembre 2018].

⁴ Appauvrissement des sols : retour sur la responsabilité de l'agriculture intensive et de l'urbanisation (2018). Actu-Environnement [en ligne]. Disponible sur: https://www.actu-environnement.com/ae/news/sol_urbanisation_agriculture_intensive_6690.php4 [consulté le 28 Décembre 2018].

⁵ Biodiversité : les chiffres clés 2018 | Agence française pour la biodiversité. Disponible sur: <https://www.afbiodiversite.fr/fr/actualites/biodiversite-les-chiffres-cles-2018> [consulté le 10 Janvier 2019].

Deux types d'actions peuvent être entreprises pour améliorer la qualité des milieux aquatiques :

- La préservation et/ou la protection des milieux encore en bon état
- La restauration écologique des milieux perturbés.

La restauration écologique est une technique visant à rétablir les fonctions physiques, chimiques et écologiques des cours d'eau ayant subi des perturbations anthropiques. Cette action doit aboutir à une amélioration des fonctionnalités du milieu aquatique et de ses alentours (berges, zones humides, ...) par rapport à son état avant travaux (Dutroît et Rey 2009). Pour se faire des techniques de génie écologique sont utilisées, comme le génie végétal. La plupart du temps, elles sont peu coûteuses et leur efficacité (*a contrario* du génie civil) augmente avec le temps (IrsteaTV 2018). Les travaux de restauration ont donc besoin d'être suivis de manière régulière après leur mise en place pour s'assurer de leur efficacité. En cas d'absence de résultats positifs, le suivi permet d'identifier les problèmes et de les corriger rapidement pour s'assurer d'un respect des objectifs de restauration voulus par le Maître d'Ouvrage en charge du projet.

Or, dans le cadre des actions de restauration écologique, un constat général montre qu'elles ne sont pas toujours couronnées de succès (Wilcock et *al.* 1998), (Smith et Prestegard 2005) et (Kondolf 2006).

C'est pourquoi une analyse de différents retours d'expériences illustrant des actions de restauration écologique sur les cours d'eau de plaine de petite et moyenne taille a été réalisée dans le cadre de ce projet de fin d'étude pour rechercher la réponse à la problématique suivante :

Comment adapter les projets de restauration écologique pour qu'ils correspondent aux objectifs fixés par le Maître d'Ouvrage ?

Le sujet de ce projet de fin d'étude a été défini en partenariat avec le service de génie écologique de l'entreprise Ingérop et a pour but de l'aider à faire un état des lieux des pratiques opérationnelles dans la restauration écologique.

1. Matériel et Méthodes

1.1. Critères de choix des retours d'expériences

La France possède une grande diversité de types de cours d'eau et de régimes hydrologiques (Sauquet et al. 2016). Dans le but de terminer les recherches dans l'intervalle de temps imparti il été décidé de ne s'intéresser que à certains types de cours d'eau.

1.1.1. Types de cours d'eau choisis

Au sein des six bassins versants Français, les cours d'eau ayant un régime hydrologique pluvial sont majoritairement présents (Sauquet et al. 2016). Ils sont principalement situés dans les parties Nord-Est, Nord-Ouest et Sud-Ouest du pays.

Dans le bassin versant Artois-Picardie, ils possèdent de faibles contrastes saisonniers au niveau de leurs débits avec une légère diminution en période estivale (régime 1 sur la figure 1). Dans les bassins Rhin-Meuse, Loire Bretagne et Adour-Garonne, une saisonnalité des débits est observée. Elle commence par une période de décroissance de janvier à juin, puis une période d'étiage de juillet à août et enfin un regain de débits de septembre à décembre (Régimes 2, 3, 4, 5 et 6 sur la figure 1).

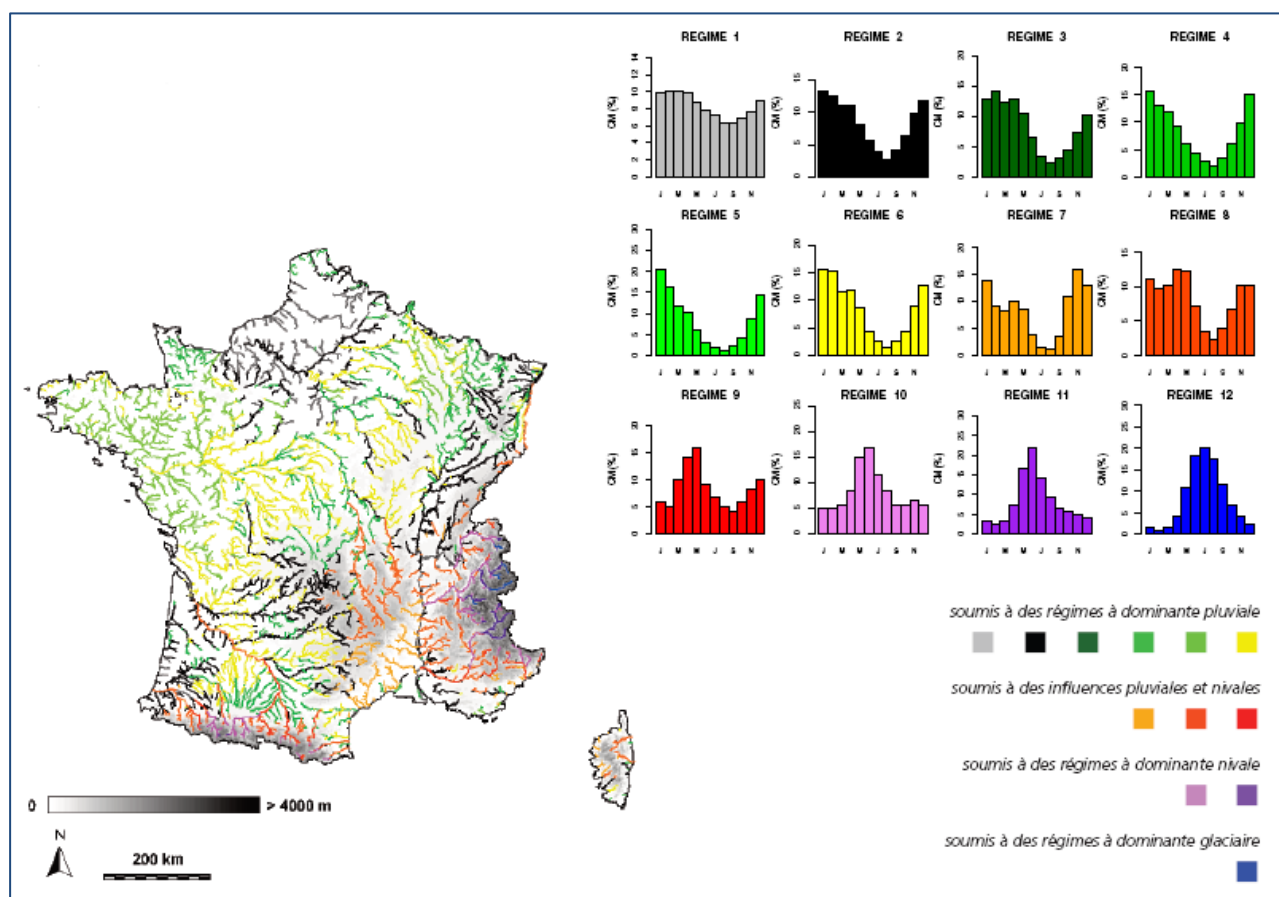


Figure 1 : Carte des régimes hydrologiques le long du réseau hydrographique selon la typologie définie par les douze séries de coefficients mensuels de débit (CM), définis par les débits moyens interannuels divisés par le module exprimé en % (Sauquet et al. 2016)

Au sein de ces régimes hydrauliques pluviaux, seul ceux s'appliquant sur les cours d'eau de plaine de petite et moyenne taille ont été sélectionnés. Une exclusion des grands fleuves continentaux comme la Loire, le Rhin, la Seine et la Garonne a été choisie car leur largeur et leur linéaire implique des techniques de restauration écologique différentes de celles employées pour les cours d'eau de petite et moyenne taille.

Morphologiquement parlant, les cours d'eau choisis dans le cadre de cette étude s'écoulent sur des milieux où la pente reste faible ce qui concerne une grande partie du territoire Français. Leur distance par rapport à la source est généralement assez faible (environ 5 km) et leur largeur maximale est souvent égale à 5 mètres. Ils possèdent une faible énergie hydraulique (35 W/m² ou moins) ce qui engendre peu de modification de la morphologie de leur lit au cours d'une année (Bardon et Vauclin 2009).

La localisation et la typologie des cours d'eau de petite et moyenne taille ont facilités leur modification ou effacement par l'homme en période d'après-guerre. Il y a donc une probabilité forte que des retours d'expériences de restauration écologique variés existent sur ces types de cours d'eau.

1.2. Recherche des retours d'expériences

Après la définition des critères ci-dessus, des recherches sur internet (google et google scholar) ont été effectuées avec les termes : « restauration hydro-écologique », « retours d'expériences », « petits cours d'eau » et « cours d'eau de moyenne taille ». La diversité de localisation des retours d'expériences et les organismes les ayant publiés (Agences de l'eau, Onema, bureaux d'études, ...) a été regardée avec une attention particulière. Les recueils de plusieurs retours d'expérience ont été choisis en priorité par rapport à des publications ne traitant que d'un seul REX à la fois.

Une recherche de projets de restauration hydro-écologique dans la base de données du service de Génie Ecologique de l'entreprise Ingérop a également été réalisée.

1.3. Lecture des retours d'expériences

Pour chaque projet lu, les éléments essentiels à l'évaluation des actions de restauration ont été retranscrits dans un tableau dont la forme est illustrée ci-dessous (tableau 1). Les six points suivant la « localisation et la date des travaux » seront analysés après la lecture de tous les retours d'expériences. L'absence d'information sur un des points suivant dans le REX sera notifié par la phrase « Non renseigné (NR) ».

Tableau 1 : Mise en forme du tableau de lecture et d'analyse des retours d'expériences (Charles CALVET)

Numéro du Retour d'expériences_Nom du REX et source						
Localisation et date des travaux	Maître d'Ouvrage	Objectifs	Techniques	Suivis	Résultats	Références communiquées

1.3.1. Lecture de la partie « Localisation et de la date des travaux »

La localisation permet de situer à l'échelle de la France le projet dans son contexte environnemental. Les caractéristiques générales des cours d'eau (largeur, débits, pente, rang de Strahler, ...) étant présentes de manière très aléatoire dans les retours d'expérience, elles n'ont pas été renseignées lors de la lecture de chaque retour d'expériences. Seule la commune de localisation des travaux a été renseignée. La date des travaux permet de savoir si le projet est ancien ou non. Plus un projet de restauration sera ancien, plus il y a de chances d'avoir des résultats.

1.3.2.Lecture de la partie « Maîtres d’Ouvrages »

Définir quel type de Maître d’Ouvrage a supervisé et initié le projet a pour but d’observer si des structures agissent plus majoritairement que d’autres dans la restauration écologique. En fonction du temps imparti à cette étude, une analyse des similitudes et différences entre les techniques employées par chaque Maître d’Ouvrage pourra être effectuée.

Dans ce rapport il faut rester critique sur les résultats de cette analyse car ceux-ci ne mettent en avant que les Maîtres d’Ouvrage ayant participé à l’élaboration des fiches de retours d’expérience. Ces fiches ne représentent donc qu’une partie de tous les travaux de restauration hydro-écologique réalisés en France et donc une partie seulement de tous les Maîtres d’Ouvrage en charge de ce type de travaux.

1.3.3.Lecture de la partie « Objectifs »

Le premier point à aborder avant de commencer une action de restauration écologique est de définir correctement les objectifs auxquels celle-ci doit répondre. Ils peuvent être établis à partir des problèmes environnementaux, règlementaires et/ou socio-économiques actuels auxquels le Maître d’Ouvrage souhaite répondre ou provenir d’une volonté de compenser les impacts de futurs projets de construction si les démarches d’évitement et de réduction écologique n’ont pas suffi. Les objectifs vont définir le déroulement des travaux, les techniques et les suivis à mettre en place dans le projet. Ils sont donc très importants et doivent être clairs et précis pour pouvoir être compris par tous.

Dans ce rapport, une hiérarchisation des objectifs a été effectuée en prenant pour règle que le premier objectif cité est le plus important et ainsi de suite. A la suite de la lecture de chaque retour d’expérience, une liste d’objectifs généraux a été établie pour pouvoir regrouper sous un même terme des objectifs similaires dans leur fond mais écrit différemment et ainsi simplifier les analyses de ce compartiment (Annexe 1).

1.3.4.Lecture de la partie « Techniques de restauration »

Les techniques de restauration écologiques sont l’ensemble du ou des moyens applicables sur le site à restaurer pour répondre aux objectifs fixés par le Maître d’Ouvrage.

Dans ce rapport, une distinction et un classement ont été faits entre les « techniques » et les « méthodes » qui sont la façon avec laquelle la technique sera réalisée. En effet, une technique de restauration peut être appliquée par différentes méthodes de travail ce qui augmente le nombre de formulations possibles qui désignent en réalité une même technique (Annexe 2).

1.3.5.Lecture de la partie « Suivis »

Les suivis permettent de savoir comment le projet de restauration évolue dans le temps après la fin des travaux. Dans le cadre de projets de restauration les suivis sont très importants car ils permettent de recueillir des résultats qui attesteront du respect ou non des objectifs fixés par le Maître d’Ouvrage. Pour pouvoir évaluer l’évolution du projet, un suivi avant les travaux appelé « diagnostic » ou « état initial » est normalement réalisé. Il permet d’avoir des données caractérisant le milieu avant les travaux et peut donner des indications au MOA pour définir ses objectifs.

Une fois les travaux réalisés la définition d’un protocole de suivi post-travaux du site sur plusieurs années va permettre de vérifier si les techniques de restauration employées ont permis de répondre aux objectifs du Maître d’Ouvrage. Ces suivis appartiennent à trois grandes catégories (Physique, Chimique et Biologique) et sont menés en utilisant différents indicateurs de la qualité du milieu naturel. Les méthodes de suivi sont souvent normalisées pour permettre une comparaison facilitée entre différents projets de restauration (protocole EVHA, qualité chimique de l’eau, IPR, ...).

Dans ce rapport, les suivis d’avant travaux et post-travaux ont été classés selon les catégories citées ci-dessus.

1.3.6. Lecture de la partie « Résultats »

Dans notre sujet, les résultats sont par définition l'atteinte ou non des objectifs fixés par le Maître d'Ouvrage. Ils peuvent provenir d'études (suivi avec le protocole IPR, évolution de la qualité physico-chimique de l'eau, ...) ou bien être simplement visuels (observation d'individus de l'espèce cible, comptage de frayères, constatation d'érosion des berges, ...).

Dans ce rapport, une analyse de la présence ou de l'absence de résultats a été effectuée. Les résultats mentionnés dans les retours d'expériences ont été analysés selon leur type (visuel ou étude) et selon la qualité de leurs retours (résultat bon, moyen ou mauvais). La différence de qualité entre les résultats a été évaluée en portant attention au contenu des informations fournies (précision, complétion des objectifs du MOA, hors sujet, ...). Pour faciliter l'analyse de la qualité des résultats, une seule qualité sera déterminée par REX. Elle résultera de la tendance la plus discriminante dans l'ensemble des résultats du REX. Par exemple, un retour d'expérience avec 3 résultats qui sont « bon », « bon » et « mauvais » aura pour qualité principale l'appellation « mauvais » car c'est la qualité la plus basse parmi les trois.

1.3.7. Lecture de la partie « Références »

Les citations et références bibliographiques dans les comptes rendus d'opérations de restauration sont essentielles pour pouvoir vérifier la source des données du rédacteur et comprendre sur quels documents s'appuient les méthodes de travail. Ils peuvent également permettre de retrouver des suivis ou des résultats qui n'auraient pas été encore disponibles au moment de la rédaction du retour d'expériences.

Dans ce rapport le nombre de références bibliographiques cités dans chaque fiche de retour d'expérience a été comptabilisé.

2. Résultats des retours d'expériences

Cinquante retours d'expériences provenant de cinq sources différentes ont été analysés (Annexe 3). Six sont issus d'un recueil d'expériences de l'ASTEE paru en 2018 (Boissery et *al.* 2018), deux projets proviennent de travaux de restauration réalisés par Ingérop en 2017, 10 sont issus d'un recueil d'expérience de l'ONEMA de 2010 (Onema et *al.* 2010), 10 sont issus d'un recueil de l'agence de l'eau RMC en 2006 (Malavoi 2006) et 22 de l'agence de l'eau Artois-Picardie en 2013 (Jourdan et *al.* 2013).

2.1. Résultats de la partie « Maîtres d'Ouvrages »

Cinq grandes catégories de Maîtres d'Ouvrage ont été identifiées, les associations, les bureaux d'étude, les collectivités territoriales, les fédérations de pêche et les syndicats. Parmi ces grandes catégories, les collectivités territoriales et les syndicats sont majoritaires en représentant respectivement 26% et 24% des Maîtres d'Ouvrages des travaux de restauration.

Pour 20% des résultats, les Maîtres d'Ouvrages n'étaient pas indiqués. Ce sont tous des retours d'expériences appartenant au document de Malavoi (2006) où les REX sont résumés dans un tableau. Le document indique qu'une fiche détaillée pour chacun des REX existe dans un document annexe mais il n'a pas été trouvé malgré les recherches sur internet effectuées à ce sujet (figure 2).

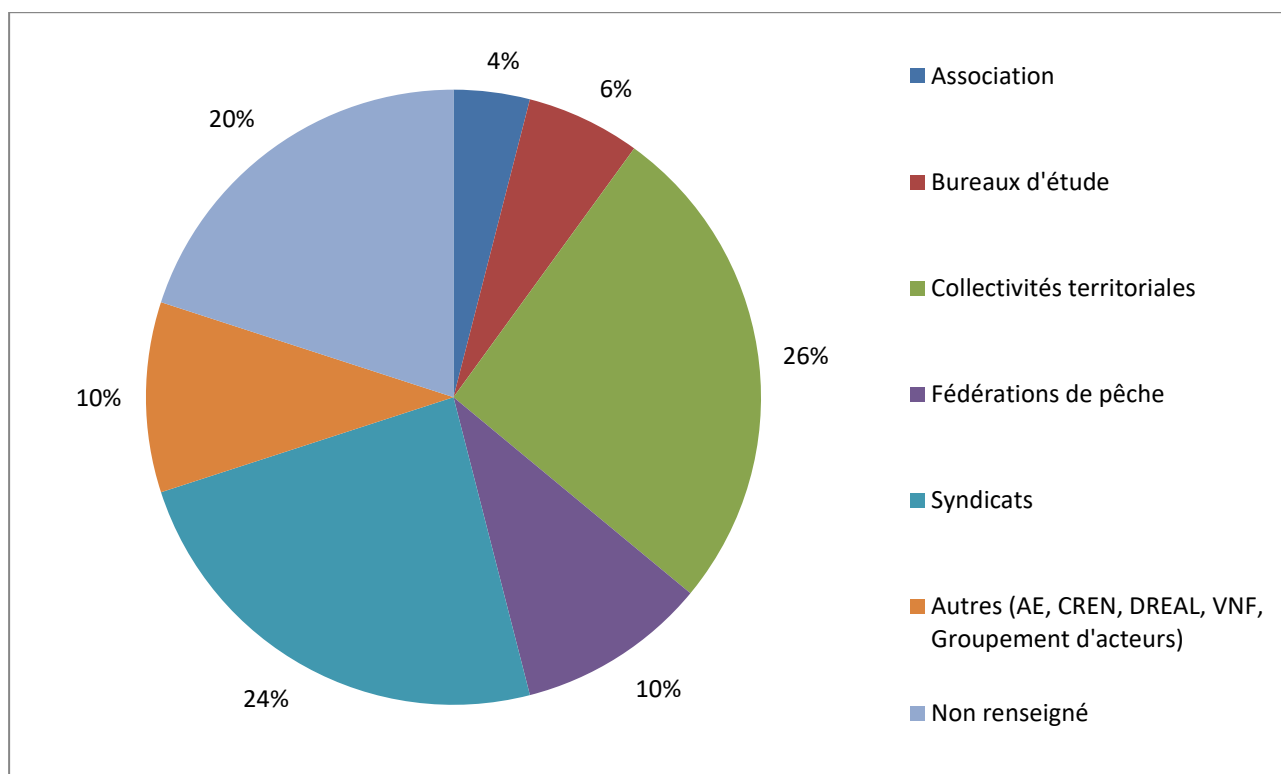


Figure 2 : Répartition des structures ayant réalisé la maîtrise d'ouvrage sur les 50 retours d'expériences (Charles CALVET)

2.2.Résultats de la partie « objectifs »

Quatorze grandes catégories d'objectifs sont ressorties des cinquante retours d'expériences avec différents niveaux de précision (tableau 2). Six objectifs sur 14 ne possèdent pas de précisions définissant les limites des actions voulues par le Maître d'Ouvrage. Parmi les objectifs possédant des précisions, certains sont plus complets que d'autres (entre 8 et 1 indication de précision sont observés). Les objectifs ne possédant pas de précisions sont cités entre une et trois fois dans les retours d'expériences. L'objectif « restauration globale » (cité 7 fois) n'est indiqué que dans les retours d'expériences de Malavoi (2006) qui fournit très peu de détails sur ses opérations de restaurations.

La conformité réglementaire est l'objectif le plus cité dans les retours d'expériences (28 fois), viennent ensuite la biodiversité (17 fois), les habitats (13 fois) et la fonctionnalité hydraulique (12 fois). Le reste des objectifs observés est cité moins de 10 fois.

**Tableau 2 : Présentation des objectifs mentionnés dans les retours d'expériences avec leurs différents niveaux de précision
(Charles CALVET)**

Objectif (nombre d'apparition)	Précision observée
Biodiversité (17)	• Annexe fluviale • Espèce cible • Globale • Reproduction d'espèces piscicoles rhéophiles • Ripsisylve
Climat (1)	
Economique (3)	• Utilisation du bois
Esthétique (1)	
Expérimentation (1)	
Fonctionnalité hydraulique (6)	• Biodiversité • Nappe phréatique
Fonctionnalité physique (12)	• Déficit sédimentaire • Colmatage • Erosion • Espèce cible • Globale • Mobilité du cours d'eau
Habitats (13)	• Espèces cibles • Globaux • Lit mineur et berges • Rives • Piscicoles
Loisir (3)	• Tourisme
Préservation d'ouvrage (1)	
Règlementaire (28)	• Construction • Continuité piscicole avec ou sans espèce cible • Qualité chimique des eaux
Restauration globale (7)	
Sécurité (5)	• Inondations • Effondrement d'ouvrage
Sensibilisation (3)	

Les retours d'expériences étudiés possédaient entre 1 et 3 objectifs chacun. Une hiérarchisation a donc été effectuée sur 3 niveaux et une étude du nombre de chaque type d'objectif dans chaque échelon a été réalisée (figure 3).

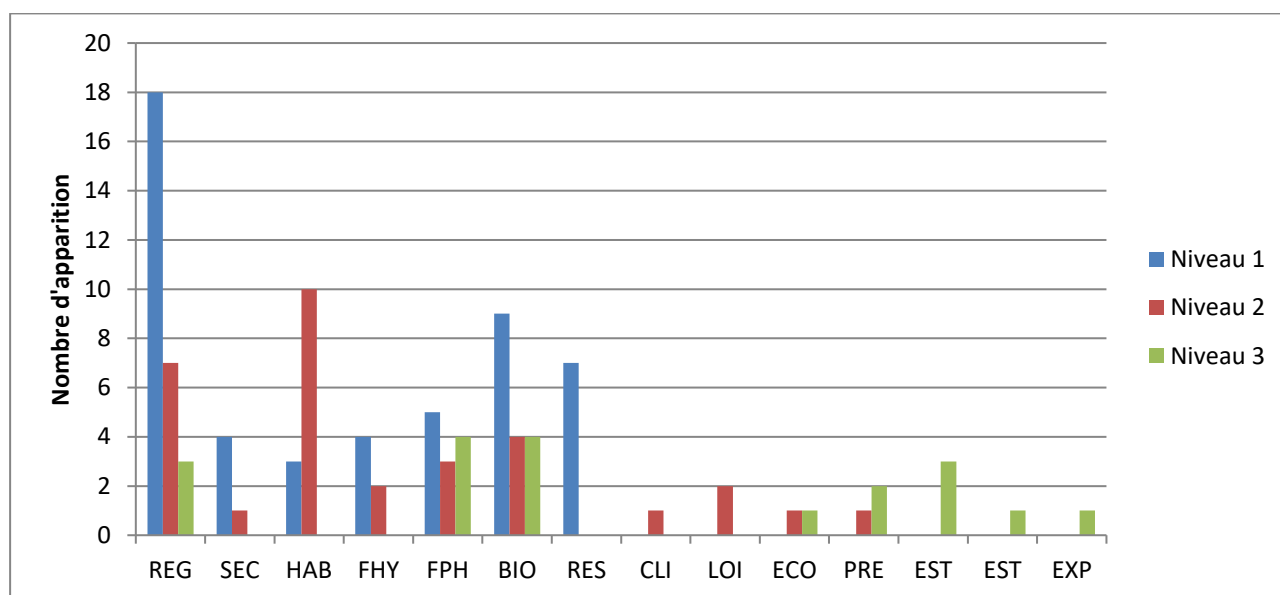


Figure 3 : Nombre d'apparition de chaque objectif dans chaque échelon hiérarchique (Charles CALVET)

Légende : BIO_ Biodiversité ; CLI_Climat ; ECO_Economique ; EST_Esthétique ; EXP_Expérimentation ; FHY_Fonctionnalité hydraulique ; FPH_Fonctionnalité physique ; HAB_Habitats ; LOI_Loisir ; PRE_Préservation d'ouvrage ; REG_Règlementaire ; RES_Restauration globale ; SEC_Sécurité ; SEN_Sensibilisation

Les premiers objectifs sont principalement concentrés sur le respect de la réglementation (18 citations) et de la biodiversité (9 citations). Une partie de ces objectifs reste très imprécise comme le démontre l'objectif intitulé « Restauration générale ».

Les seconds objectifs parlent majoritairement de l'amélioration des habitats des milieux aquatiques (10 citations) et du respect de la réglementation (7 citations) tandis que les troisièmes objectifs sont axés sur la biodiversité et la fonctionnalité physique du milieu (4 citations pour chacun).

Ces résultats laissent également apparaître que plus le niveau hiérarchique diminue, plus les objectifs fixés par le Maître d'Ouvrage deviennent variés. Par exemple il n'y a que 7 objectifs différents mentionnés au premier niveau (correspondant au premier objectif) contre 10 au second niveau (correspondant au second objectif). Les objectifs cités en seconde et troisième position sont donc plus diversifiés que les premiers mais ils sont moins nombreux. Quatre objectifs sur les 10 du niveau 2 et 3 objectifs sur les 8 du niveau 3 ne sont cités qu'une seule fois.

2.3. Résultats de la partie « Techniques de restauration »

Un total de 12 techniques et de 111 méthodes a été déterminé à partir des informations des retours d'expériences (voir Annexe 2 pour plus de précisions). Ces techniques possèdent des méthodes plus ou moins variées selon leur type.

La technique la plus employée est l'aménagement d'ouvrages hydrauliques (30 citations et 28 méthodes). Viennent ensuite le génie végétal (24 citations et 21 méthodes), la restauration de berges en lit mineur (15 citations et 15 méthodes) et la restauration d'habitat(s) en lit majeur (13 citations et 14 méthodes).

Les 8 autres techniques sont citées moins de 10 fois chacune ce qui signifie qu'elles sont peut employées dans les travaux de restauration pour ces REX en général (tableau 4).

L'écart maximum entre les nombres de techniques mentionnées et leurs méthodes est inférieur à trois pour tous les cas sauf pour la technique de « Restauration d'habitat(s) en lit mineur » (six emplois et 11 méthodes).

Cela laisse donc supposer que, dans la majorité des cas, l'emploi d'une technique est corrélé avec le nombre de méthodes différentes connues à son sujet.

Tableau 3 : Résumé des techniques et du nombre de méthodes proposées dans les 50 retours d'expériences (Charles CALVET)

Technique	Nombre d'emploi dans les REX	Méthodes
Aménagement(s) d'ouvrage hydraulique	30	28
Aménagement(s) pour le public	4	5
Dérivation de cours d'eau	4	6
Introduction d'espèces cibles dans le cours d'eau	1	1
Génie végétal	24	21
Gestion des espèces invasives	1	1
Gestion périodique du site	4	3
Restauration des berges du lit mineur	15	15
Restauration d'habitat(s) en lit majeur	13	14
Restauration d'habitat(s) en lit mineur	6	11
Restauration du matelas alluvial en lit mineur	8	8
Suppression de plan d'eau	1	NR

2.4.Résultats de la partie « Suivis »

Les suivis sur les retours d'expériences ne sont pas systématiques. La plupart du temps aucune information n'est donnée à ce sujet. Cela n'exclut pas la possibilité qu'il y ait eu des suivis mais qu'ils ne soient pas mentionnés dans les fiches de retours d'expériences. Dans ce cas, les résultats peuvent montrer qu'il y a bien eu un suivi d'effectué (voir partie 2.5.Résultats de la partie « Résultats »).

Dans la partie des analyses ayant lieu avant les travaux (état initial), 16 retours d'expériences sur 50 ne fournissent pas d'informations à ce sujet. Les analyses des paramètres physiques du milieu sont dominantes avec 33 mentions d'analyses sur 50. Viennent ensuite les analyses biologiques (28 mentions sur 50) et chimiques (23 mentions sur 50) (figure 3).

Dans la partie des suivis ayant lieu après les travaux de restauration, 22 retours d'expériences sur 50 ne fournissent pas d'informations. Les analyses biologiques viennent en tête avec 22 mentions sur 50. Très peu de suivis physique (7 mentions sur 50) et chimiques (2 mentions sur 50) ont été mentionnés. Cinq auteurs de retours d'expériences mentionnent le fait qu'aucun suivi n'est prévu à la suite des travaux réalisés.

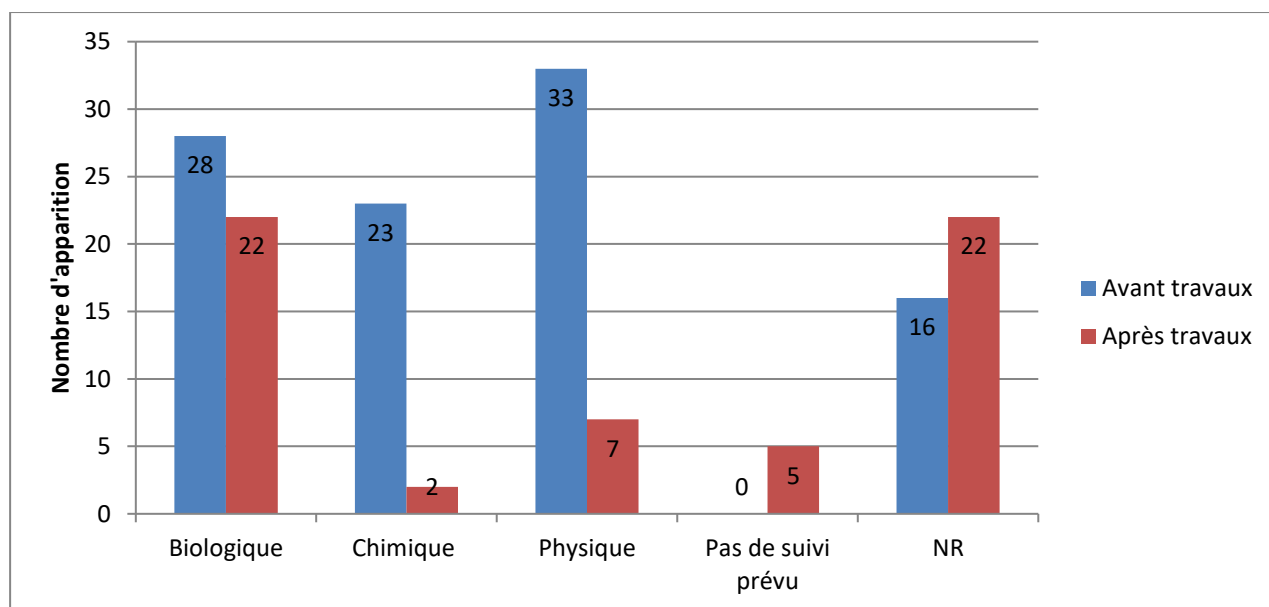


Figure 4 : Nature des suivis avant et après travaux réalisés dans les 50 retours d'expériences (Charles CALVET)

2.5. Résultats de la partie « Résultats »

Malgré l'absence de suivis avant ou après les travaux pour plus de 32 retours d'expériences sur 50, 35 présentent des résultats. Cela met en évidence le fait que certains rédacteurs ont trouvés des résultats sur des retours d'expériences qui n'avaient aucun suivi à la base. La qualité des résultats fournis doit donc être jugée de manière critique (Annexe 4). Six rédacteurs mentionnent qu'il n'y a pas de résultats disponibles pour leur rapport et 10 auteurs ne communiquent pas de données précises à ce sujet. Ce sont les retours d'expériences provenant du document de Malavoi (2006) qui sont résumés d'une manière très générale.

Onze retours d'expériences possèdent des résultats provenant d'un mélange d'études et d'observations visuelles. Quatorze sont exclusivement visuels et 9 proviennent d'études. Un résultat est entièrement composé de suppositions non vérifiées ce qui rend cette partie hors sujet dans son REX (REX numéro 26, Restauration écologique du marais de Fampoux, (Jourdan et *al.* 2013)).

La qualité de ces résultats est majoritairement positive avec 16 mentions positives. Toutefois il persiste 11 mentions moyennes et 7 mentions mauvaises. Les résultats visuels sont ceux qui possèdent le plus de valeurs « bon » avec peu de valeurs « moyennes » et « mauvaises ». Lorsque des études sont effectuées, le nombre de résultats « bon » diminue (figure 5).

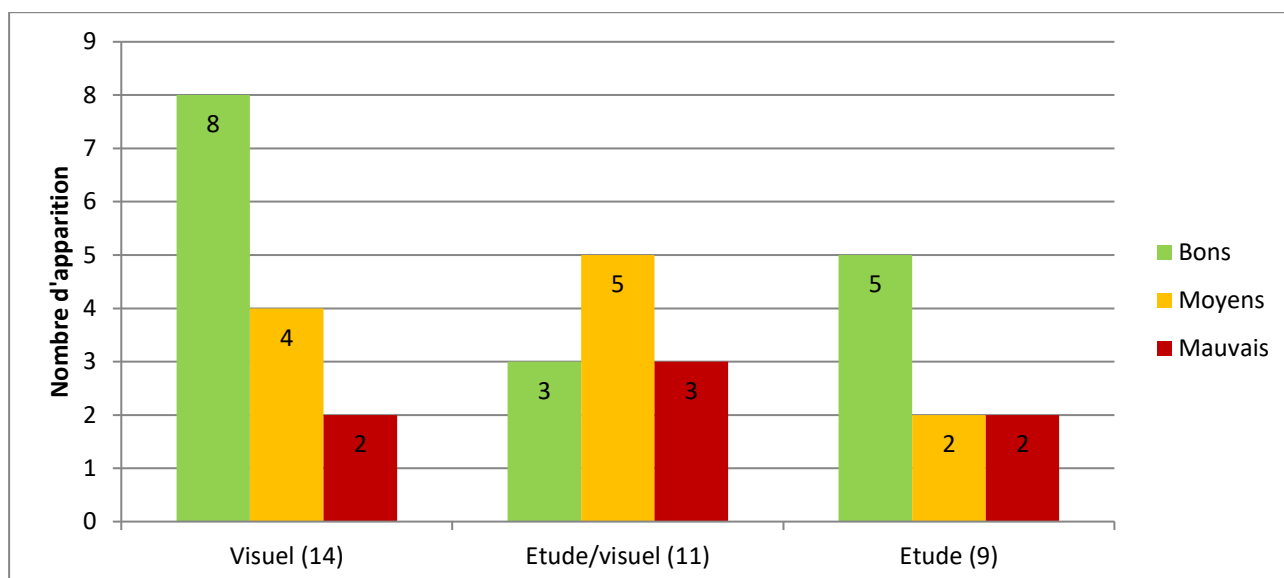


Figure 5 : Qualité des résultats dans les 50 retours d'expériences (Charles CALVET)

2.6. Résultats de la partie « Références »

Sur les 50 retours d'expériences, le plus grand nombre de références citées est de 5. La moyenne des références citées par fiche est de 2,5 mais il existe encore des fiches ne donnant aucune référence (8 en tout).

3. Analyse générale des retours d'expériences

La grande diversité de Maîtres d'Ouvrages pouvant réaliser des travaux de restauration conduit à des formulations d'objectifs et de techniques cités dans chaque retour d'expériences très variés. Ces changements de formulation ne sont pas un problème si leur fond reste inchangé. En revanche, certains REX sont écrit avec une précision importante (REX numéro 6, Restauration de la continuité écologique par la création d'une rivière de contournement, (Boissery et *al.* 2018)) et d'autres résumant leurs objectifs et méthodes par une phrase comme les REX 9 à 18 de Malavoi (2006) (tableau 4).

Tableau 4 : Extrait du tableau de synthèse des fiches de trois retours d'expériences du document de Malavoi (2006)

Travaux réalisés	Objectif dominant	Niveau d'ambition	Niveau définition objectif	Atteinte objectif (maxi : ++++)	Coût (€ HT/ml)	Reproductibilité
Reméandrement	restauration globale	R3	3	+++	58	oui
Reméandrement	restauration globale	R3	3	++	35	oui avec amélioration
restauration habitat	restauration habitat piscicole	R1	3	++	100	oui
Reméandrement	restauration globale	R3	3	++	10	oui

Dans la grande majorité des cas, les objectifs sont moyennement précis mais les techniques le sont beaucoup moins. Il semble y avoir une corrélation entre le nombre de méthodes différentes employées pour la technique et son nombre d'emplois dans les retours d'expériences (voir partie 2.3. Résultats de la partie « Techniques de restauration »). Il peut donc être supposé que les Maîtres d'Ouvrages préfèrent utiliser des techniques standard ayant déjà prouvées leur efficacité sans chercher de nouvelles méthodes qui pourraient être plus adaptée pour répondre avec plus d'efficacité à leurs objectifs.

De plus, dans certains retours d'expériences deux techniques antagonistes sont employées parfois simultanément comme la « création d'abris piscicoles dans le lit mineur » suivi d'un « nettoyage » de celui-ci (REX numéro 27, Restauration du ruisseau de la Lugy, (Jourdan et *al.* 2013)). Il y a donc certainement dû avoir un mauvais diagnostic ou une mauvaise concertation entre les différents acteurs du projet.

Un autre point est que les techniques représentent souvent beaucoup de texte dans les retours d'expériences mais que leurs auteurs n'abordent pas leur mise en place concrète et les méthodes de dimensionnement employées. Ce manque de détail rend la reproduction des techniques mentionnées quasiment impossible sur d'autres cours d'eau.

Les suivis sont décrits de manière très imprécise pour un grand nombre de retours d'expériences et la plupart du temps les résultats qui en découlent sont imprécis et imparfaits pour juger de l'efficacité des actions de restauration réalisées. Une connaissance trop imprécise des résultats d'une action empêche souvent son amélioration future et retarde donc les progrès qui pourraient être faits. Il ne faut pas oublier les 9 autres REX dont on ne connaît pas les résultats qui peuvent être tout autant positifs que négatifs.

Les résultats « moyens » ou « mauvais » ne surviennent pas préférentiellement au niveau des retours d'expériences qui n'ont pas effectués de suivis ce qui conforte l'hypothèse que la qualité de la restauration dépend des techniques employées et des objectifs définis par le Maître d'Ouvrage.

Ce manque important de suivis et donc de résultats dans ces retours d'expériences peut également expliquer le faible nombre de références bibliographiques dans chaque fiche de synthèse. Le constat général est que les ressources bibliographiques de chaque fiche sont très faibles et que ceux-ci manquent souvent de clarté. La plupart des REX ne renvoient à aucun document expliquant les choix de leurs méthodes de dimensionnement de leurs techniques de restauration.

4. Conclusion

L'analyse de cinquante retours d'expériences en suivant un protocole d'analyse précis a permis d'identifier les problèmes majeurs pouvant rendre les opérations de restauration hydro-écologique des petits et moyens cours d'eau de plaine difficiles.

Dans un premier temps, le nombre de Maîtres d'Ouvrages pouvant superviser ce type de projet est très diversifié. Chacun possède un vocabulaire et une manière de réfléchir qui lui est propre. Ils ne retranscriront donc pas exactement les mêmes objectifs ou techniques qu'un autre Maître d'Ouvrage ce qui peut apporter de la confusion dans les lectures et conduire à des mauvaises interprétations sur les manières d'agir des techniciens et Maîtres d'Œuvres.

Le second point porte sur la précision des informations fournies dans les retours d'expériences. Aucun REX ne contient le même volume d'information. Très peu sont précis au point d'expliquer concrètement leurs méthodes d'analyse et de dimensionnement pour qu'elles puissent être reproduites facilement par d'autres Maîtres d'Ouvrages. Cela peut entraîner des résultats de restauration de mauvaise qualité et encourager les Maîtres d'Ouvrages à utiliser des méthodes générales non spécifiques au milieu (génie végétal général et aménagement d'ouvrage hydraulique).

Le dernier point porte sur le sérieux des suivis réalisés sur les projets de restauration. Beaucoup sont fait partiellement ou arrêtés en cours de route ce qui conduit à des analyses et des communications de résultats très faibles et peu précises ne permettant pas une amélioration de la technique par la suite.

Parmi ces suivis, ceux utilisant des indicateurs biologiques sont majoritaires mais ils manquent encore de précision et de temporalité dans la plupart des cas pour être réellement efficaces.

Bibliographie

- BARDON, E. et VAUCLIN, V. - *Restauration hydromorphologique des petits cours d'eau de plaine : synthèse, comparaison et choix des techniques à appliquer.* -115 f
Rapport de stage : Master II. Sciences et technologie, biologie-santé-agronomie, spécialité génie écologique.
Université de Poitiers - UFR Sciences Fondamentales et Appliquées, 2009
- BAUDOUIN, J-M., BURGUN, V., CHANSEAU, M., LARNIER, M., OVIDIO, M., SREMSKI, W., STEINBACH, P., et VOEGTLE, B. *Informations sur la Continuité Ecologique. Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes.* Onema, 2014. 204p (Comprendre pour agir)
- BOISSERY, P., et al., *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Pour qui ? Pour quels bénéfices ? (volume 2).*, Astee, 2018. 133p
- BRAUD, I., *Pourquoi et comment étudier l'hydrologie des bassins versants périurbains.* Dans : 1ere conférence thématique de l'OTHU. GRAIE, 2011. 99p
- BURGUN, V., CHANSEAU, M., KREUTZENBERGE, K., MARTY, V., PENIL, C., TUAL, M., et VOEGTLE, B. *ICE Informations sur la continuité écologique Protocole de terrain pour l'acquisition des données.* Onema 2015. 88p
- CENTRE EUROPEEN DE PREVENTION DU RISQUE D'INONDATION. *Plaquette-sensibilisation : Changement climatique, vers une aggravation du risque inondation en France et en Europe ?* 2014. 12p
Disponible sur : https://www.cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/Plaquette-sensibilisation.pdf [consulté le 10 Janvier 2019].
- COURS DES COMPTES PUBLIC. *La préservation de la ressource en eau face aux pollutions d'origine agricole : le cas de la Bretagne.* 2002. 292p
Disponible sur : <https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/EzPublish/RessourceEnEau.pdf> [consulté le 28 Décembre 2018].
- DUTROIT, T., et REY, F. *Écologie de la restauration et ingénierie écologique : enjeux, convergences, applications (avant-propos).* Ingénieries EAT, n° spécial., 2009. 5p
Disponible sur : <http://www.set-revue.fr/sites/default/files/articles-eat/pdf/DG2009-PUB00027497.pdf> [consulté le 27 Décembre 2018].
- WILCOCK, P., HOPKINS, J., et PARKER, G. *Stream corridor restoration: principles, processes, and practices.* Federal Interagency Stream Restoration Working Group (U.S.), 1998. 8p
- FEYEN, L. et WATKISS, P. *River floods, The Impacts and Economic Costs of River Floods in the European Union, and the Costs and Benefits of Adaptation.* European commission, European research area, 2011. 32p
Disponible sur : http://www.climatecost.cc/images/Policy_brief_3_River_floods_v11_lowres.pdf [consulté le 10 Janvier 2019].
- IRSTEA TV. *Génie Végétal - Pour la protection des berges de cours d'eau.* Irstea, 2018. 313 secondes
Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?feature=youtu.be&v=EDY7lNPKB_Y&fbclid=IwAR106zPhE5TV0wOq7CNcpl1X_FdSErEVWzy_kbqQrDWxXmpX3xYYk_nD1HA&app=desktop
- JOURDAN, S., MALBRANCQ, J., et PRUVOT, F. *Recueil d'opérations de restauration des cours d'eau Agence de l'eau dans le bassin Artois Picardie.* Agence de l'eau Artois-Picardie, 2013. 151p
- KONDOLF, G.M. *River restoration and meanders.* Ecology and Society, 11(2), 2006. 19p
- MALAVOI, J-R. *Retour d'expérience d'opérations de restauration de cours d'eau et de leurs annexes, menées sur le bassin RMC.* Agence de l'eau Rhône, Méditerranée, Corse, 2006. 133p

MICHELET, P. *La biodiversité des milieux aquatiques continentaux en France métropolitaine : état des lieux et menaces*. Annales des Mines-Responsabilité et environnement. FFE, pp.36–39, 2017. 4p

MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE, LES AGENCES DE L'EAU ET ONEMA. *Le prix de l'eau*. 2011. 4p
Disponible sur : http://www.lesagencesdeleau.fr/wp-content/uploads/2012/07/20-Fiche-prix-de-leau_web.pdf [consulté le 10 Janvier 2019].

MITRA, S. *Groundwater Sustainability-A Brief Review*. International Journal of Ecosystem, 5(3A), pp.43–46, 2015.

ONEMA, AGENCES DE L'EAU ET MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE. *Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie*. 2010. 381p

REY, F. *Écologie ingénieriale : une recherche finalisée au service de l'ingénierie écologique et du génie écologique*. Revue d'Ecologie (Terre et Vie), 72(2), pp.107–115, 2017. 9p

REY, F., CROSAZ, Y., CASSOTTI, F. et DE MATOS, M. *Génie végétal, génie biologique et génie écologique : concepts d'hier et d'aujourd'hui*. Sciences Eaux & Territoires, 2015, pp.4–9. 7p

SAUQUET, E., CATALOGNE, C., PASSE, J. et LANG, M. *Guide pour l'exploitation des jaugeages en hydrologie. Application à la prédétermination des débits caractéristiques d'étiage*. Onema, 2016. 37p (Guides et protocoles)

SMITH, S.M. ET PRESTEGAARD, K.L. *Hydraulic performance of a morphology-based stream channel design: morphology-based channel design*. Water Resources Research, 41(11), 2005. 17p.
Disponible sur : <http://doi.wiley.com/10.1029/2004WR003926> [consulté le 28 Décembre 2018].

Sitographie

Appauvrissement des sols : retour sur la responsabilité de l'agriculture intensive et de l'urbanisation (2018). ACTU-ENVIRONNEMENT [en ligne].

Disponible sur : https://www.actu-environnement.com/ae/news/sol_urbanisation_agriculture_intensive_6690.php4 [consulté le 28 Décembre 2018].

Biodiversité : les chiffres clés 2018 | AGENCE FRANÇAISE POUR LA BIODIVERSITE.

Disponible sur : <https://www.afbiodiversite.fr/fr/actualites/biodiversite-les-chiffres-cles-2018> [consulté le 10 Janvier 2019].

Ingénierie écologique (définition). CENTRE DE RESSOURCES DU GENIE ECOLOGIQUE [en ligne].

Disponible sur : <http://www.genieecologique.fr/definitions> [consulté le 27 Décembre 2018].

Politique agricole commune (2018). WIKIPEDIA [en ligne].

Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Politique_agricole_commune&oldid=153866045 [consulté le 20 Novembre 2018].

Remembrement (2018). WIKIPEDIA [en ligne].

Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Remembrement&oldid=153988831> [consulté le 20 Décembre 2018].

Annexes

Annexe 1 : Objectifs généraux choisis lors de l'analyse des retours d'expériences (Charles CALVET).....	i
Annexe 2 : Techniques et méthodes employées pour chacune d'elle dans les 50 retours d'expériences (Charles CALVET).....	ii
Annexe 3 : Nom et références des 50 retours d'expérience étudiés (Charles CALVET).....	vi
Annexe 4 : Informations sur la présence ou l'absence de résultats dans les 50 retours d'expériences étudiés (Charles CALVET).....	vii

Annexe 1 : Objectifs généraux choisis lors de l'analyse des retours d'expériences (Charles CALVET)

Classes d'objectifs généraux
Biodiversité
Climat
Economique
Esthétique
Expérimentation
Fonctionnalité hydraulique
Fonctionnalité physique
Habitats
Loisir
Préservation d'ouvrage
Règlementaire
Restauration globale
Sécurité
Sensibilisation

Annexe 2 : Techniques et méthodes employées pour chacune d'elle dans les 50 retours d'expériences
(Charles CALVET)

Technique	Méthodes
Aménagement d'ouvrage hydraulique	• Abaissement de digues • Abreuvoirs (pompes à museau) • Aménagement urbain • Arasement de seuils • Arasement des merlons encadrant les rives • Arasement d'ouvrage • Blocs, aménagements piscicoles, risbermes • Clôtures anti-bétail • Construction de passe à poissons Anguille et Truite fario • Création de ZEC optimisés pour des crues longues, décennales, vicennales, centennales et courtes • Création d'un ouvrage de répartition des eaux • Création d'un pré-seuil en aval des barrages • Curage des sédiments retenus • Décalage de digues (lit mineur vers lit majeur) • Embâcles • Enlèvement du matériel industriel • Epis • Lit d'étiage en béton • Mise en place d'un radier béton pour éviter l'érosion régressive amont • Pas de précautions supplémentaires • Passages busés (suppression, recalage ou transformation) • Passes pour canoés et pêcheurs • Pose de digues de protection • Pose de mini-seuils • Seuils (pierre, béton, bois) • Suppression complète de l'ouvrage • Suppression de la partie supérieure de l'ouvrage mais conservation de l'assise béton du seuil • Suppression des structures bétonnées de berges

Aménagement(s) pour le public	• Bande de 5 mètres de berges pour un futur chemin de promenade • Construction de passages pour les riverains • Enseignement • Pose d'aménagements récréatifs • Sentier découverte et panneaux d'informations
Dérivation de cours d'eau	• Comblement de l'ancien lit avec les déblais • Creusement d'un nouveau lit méandriforme (rapport de 10-15 fois la largeur), observé sur le même cours d'eau • Création d'un lit artificiel contournant une gravière (sinuosité et pente calés sur les données des années 50) • Nouveau lit mineur artificiel (méandrage et recharge granulométrique) • Nouveau lit (Elargissement du lit mineur) • Rivière de contournement d'ouvrage hydraulique
Introduction d'espèces dans le cours d'eau	• Introduction de truitelles
Génie végétal	• Berges végétalisées • Boisement alluvial • Comblement de l'anse d'érosion de l'ouvrage • Création de banquettes • Création de ripisylve • Eclaircissement de la ripisylve forestière • Ensemencement d'espèces locales • Ensemencement par graines • Paillage des plans avec des granulés de lin • Pieux d'acacia, tunage de bois, bouturage, tressage saule, terre végétale, géotextile (utilisation par impossibilité de faire du génie civil) • Plantation d'arbres et arbustes • Plantation d'arbres et arbustes adaptés au milieu • Plantation d'hélophytes et d'espèces indigènes de berges • Plantation et boudins d'hélophytes • Plantations alternées en bosquets • Pose de peignes végétalisés

	• Protection de berges aux secteurs sensibles à l'érosion • Protections contre les brouteurs sauvages • Protections de berges végétales et mixtes • Suppression de ripisylve existante et plantation de végétation de rive • Talutage et fixation des berges
Gestion des espèces invasives	• "Eradication"
Gestion périodique du site	• Débroussaillage et coupe à blanc • Fauche annuelle • Fauche et maîtrise des ligneux
Restauration des berges du lit mineur	• Accentuation de la sinuosité du cours d'eau • Augmentation de la prise d'eau d'un bras secondaire • Conservation du tracé du cours d'eau et • Création d'un méandrage ($W = 1,5m$ donc λ des méandres $= 14m$ soit 7-10 fois W "conformément à la théorie"...références ?) • Décaissement et profilage en pente douce de l'annexe alluviale • Démantèlement de l'affleurement rocheux ? • Epis • méandrage par banquettes • Réduction de la section d'écoulements par création de banquettes • Reméandrage • Reméandrement • Reprofilage des berges • Reprofilage des berges en pente douce • Restauration du profil en long • Rétrécissement du cours d'eau en amont
Restauration d'habitat(s) en lit majeur	• Abattage de la peupleraie • Acquisition foncière de parcelles adjacentes au cours d'eau • Acquisitions foncières • Conversion de peupleraies en ZH • Curage d'une annexe hydraulique

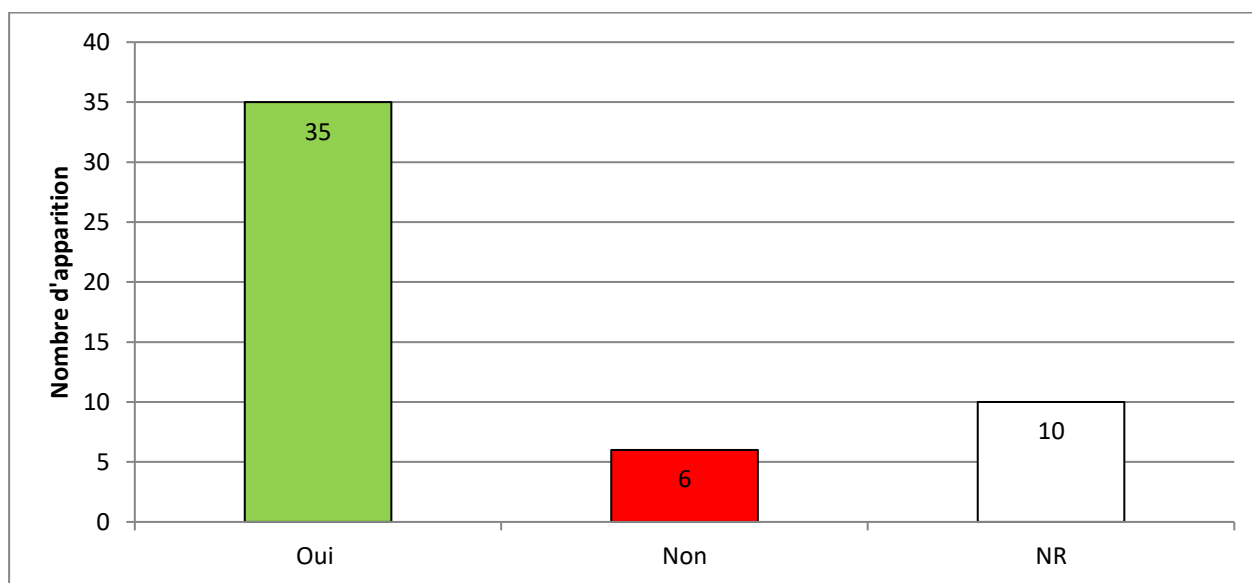
	• Frayère à Brochet • Installation de nichoirs a rapaces et chiroptères • Pas d'informations • Réouverture d'un bras • Reprofilage et aménagement de frayère à BRO • Restauration du réseau hydrologique du marais • Terrasses alluviales (décaissement) • Zone humide (Décapage, déblais) • Zones humides latérales
Restauration d'habitat(s) en lit mineur	• Abris piscicoles • Blocs surmontés d'un mélange (sable, galets, gravier) • Création de 2 frayères naturelles sur les berges • Création de frayères par recharge granulométrique • Création d'une frayère pour Truite fario • Embâcles • Nettoyage du lit mineur • Pas d'informations • Pierres • Pose de granulats de carrière d'un diamètre précis (10-100mm, 70mm et 200mm) conforme à la réglementation de l'arrêté du 23/04/2008 • Recharge granulométrique (sur frayère)
Restauration du matelas alluvial en lit mineur	• Blocs • Comblement des fausses d'extraction par recharge granulométrique • Curage des sédiments retenus par le barrage et traitement • Décolmatage mécanique • Dépôt des sédiments curés dans le cours d'eau principal • Recharge granulométrique • Recharge granulométrique par blocs (rehaussement de la ligne d'eau) • Recharge granulométrique pour rehausser la ligne d'eau
Suppression de plan d'eau	NR

Annexe 3 : Nom et références des 50 retours d'expérience étudiés (Charles CALVET)

1_ Dérivaton définitive et restauration du ruisseau des Agneaux	Ingérop Agence de Joué-Lès- Tours
2_ Franchissement du ru de Civière par l'A85	
3_ Recréation du matelas alluvial d'un cours d'eau	
4_ Restauration de l'espace de liberté d'un cours d'eau alluvial	
5_ Restauration et renaturation écologiques d'une gravière	
6_ Restauration de la continuité écologique par création d'une rivière de contournement d'un plan d'eau et son barrage	(Boissery et <i>al.</i> 2018)
7_ Création de zones d'expansion des crues pour limiter les risques d'inondation	
8_ Confortement de berges de rivière par des techniques végétales comme alternative durable aux protections minérales fugaces	
9_ Restauration du Dugeon amont Bonnevaux	
10_ Restauration du bief Rouget	
11_ Restauration de la Basse Drésine et de la Vupillères (lac de rémora)	
12_ Restauration du bief de Nanchez	(Malavoi and Agence de l'eau Rhône, Méditerranée, Corse 2006)
13_ Amélioration des habitats aquatiques de la Bienne	
14_ Restauration de l'Ouche à Fauvernay	
15_ Mini-seuils à Aubenas	
16_ Restauration d'un bras de crue à Pont de Bruget (Jaujac - Ardèche - 07)	
17_ Construction de seuils sur l'Arve	
18_ Déplacement de cours d'eau	
19_ Restauration d'une zone d'expansion de crue sur la Trie	
20_ Reméandrage de la Trie	
21_ Restauration des Evoissons	
22_ Création de frayère sur le ruisseau de Saint-Vaast	
23_ Création de frayères sur la Lawe	
24_ Création de frayères à truites sur la Selle	
25_ Restauration morphologique du canal de Lens	
26_ Restauration écologique du marais de fampoux	
27_ Restauration écologique du ruisseau de la Lugy	
28_ Aménagement d'une frayère à Brochets	
29_ Effacement de deux barrages	(Jourdan et <i>al.</i> 2013)
30_ Restauration de la continuité écologique sur le ruisseau du petit moulin	
31_ Rétablissement de la continuité écologique sur la Ternoise	
32_ Rétablissement de la continuité écologique sur la Canche	
33_ Travaux d'arasement du seuil de Taisnières	
34_ Restauration de la Trie	
35_ Restauration de la Course	
36_ Boisement rivulaire sur l'Omignon 1	
37_ Boisement rivulaire sur l'Omignon 2	
38_ Boisement rivulaire sur la rivière de Poix	
39_ Protection de berges et diversification des habitats sur la Canche	
40_ Boisement rivulaire sur la Ternoise	
41_ Reméandrage du Mardereau à Sorigny	
42_ Effacement du barrage de Maisons-Rouges sur la Vienne	(Onema et <i>al.</i> 2010)
43_ Arasement du seuil du pont Paillard sur un bras secondaire de l'Aume	

44_ Dérivation et création du lit mineur de la Veyle au droit de la gravière de Saint-Denis-lès-Bourg
 45_ Effacement du plan d'eau de Coupeau sur le Vicoin et réaménagement du lit mineur
 46_ Restauration de l'annexe hydraulique de Bellegarde et recharge sédimentaire de la rivière d'Ain
 47_ Reconnexion d'un bras secondaire du Rhin : le Schafteu
 48_ Suppression des protections de berges sur l'Orge aval
 49_ Le Reméandrage du Nant de Sion
 50_ Reméandrage de la Petite Veyleen amont du moulin du Geai

Annexe 4 : Informations sur la présence ou l'absence de résultats dans les 50 retours d'expériences étudiés
 (Charles CALVET)



Directeur de recherche : Catherine BOISNEAU

Charles CALVET
PFE/DAE5
Filière/Option IMA
2018-2019

Restauration hydro-écologique des cours d'eau Français, principales méthodes d'analyse et de dimensionnement, intérêts et limites

Résumé :

La restauration écologique des cours d'eau fait partie des techniques permettant de restaurer efficacement la biodiversité d'un milieu aquatique perturbé par les actions passées, présentes et futures de l'humanité. Cela fait maintenant plusieurs années que des projets de restauration écologique sont réalisés mais une certaine partie n'aboutit pas à la validation des objectifs voulus par le Maître d'Ouvrage du projet.

C'est pourquoi une analyse de retours d'expériences en restauration écologique a été effectuée pour essayer d'identifier les points posant des problèmes à la bonne réalisation de projets de restauration écologique des milieux aquatiques. Cette analyse a été réalisée en s'intéressant à six points fondamentaux : les Maîtres d'Ouvrages, les objectifs, les techniques, les suivis, les résultats et les références bibliographiques disponibles.

Il en ressort un manque de précision dans les termes employés par les Maîtres d'Ouvrages dans la définition des objectifs et techniques de leurs projets. De plus, un manque de suivis et de résultats fiables entraîne un manque d'information et une progression lente des techniques dans ce domaine.

Mots Clés :

Restauration hydro-écologique, cours d'eau, Maître d'Ouvrages, retours d'expériences