



HAL
open science

Restauration morpho-dynamique et redynamisation de la section court-circuitée du Rhin en aval du barrage de Kembs (projet INTERREG / EDF)

H. Piégay, D. Aelbrecht, D. Béal, C. Alonso, J. Armburster, F. Arnaud, A. Barillier, C. Béraud, C. Billard, J.P. Bouchard, et al.

► To cite this version:

H. Piégay, D. Aelbrecht, D. Béal, C. Alonso, J. Armburster, et al.. Restauration morpho-dynamique et redynamisation de la section court-circuitée du Rhin en aval du barrage de Kembs (projet INTERREG / EDF). Congrès SHF : "Environnement et Hydro-électricité", Oct 2010, Lyon, France. 8 p. hal-00615456

HAL Id: hal-00615456

<https://hal.science/hal-00615456v1>

Submitted on 19 Aug 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RESTAURATION MORPHO-DYNAMIQUE ET REDYNAMISATION DE LA SECTION COURT-CIRCUITEE DU RHIN A L'AVAL DU BARRAGE DE KEMBS (PROJETS INTERREG / EDF)

Morphodynamics restoration and redynamisation of the bypassed section of the Rhine downstream from Kembs dam (Interreg / EDF projects)

Hervé Piégay (1), Denis Aelbrecht (2), David Béal (1)

et

Alonso C.(4), Armburster J. (5), Arnaud F. (1), Barillier A. (2), Beraud C., Billard C. (8), Bouchard J.-P. (2), Brousse G. (2), Burllet D. (6), Camenen B. (7), Clutier A. (2), Combroux I. (12), Di-Moran A. (2), Dietrich L. (8), Dittrich A. (9), El Kadi Abderrazzak K. (2), Garnier A. (2), Hoenen D. (1), Huppmann O. (10), Johnstone K. (1), Knibiely P. (11), Koll K. (9), Laperrousaz E. (2), Le Coz J. (7), Merckling L. (11), Ostermann R. (10), Paquier A. (7), Pfarr U. (10), Pinte K. (2), Piquette E. (13), Pleis B. (6), Rollet A.-J. (3), Schmitt L. (1), Seitz B.-J (10), Spaeth V. (5), Trémolières M. (12), Wintz M. (13)

(1) Université de Lyon - CNRS UMR5600 Environnement, Ville et Société ; site ENS

15 parvis Descartes – BP-7000 – 69342 Lyon Cedex 07

Tél: +33 (0)4 37 37 63 51, herve.piegay@ens-lyon.fr; david.beal@ens-lyon.fr

(2) Electricité de France, Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH)

Savoie Technolac, 73373 Le Bourget du Lac

Tél: +33 (0)4 79 60 61 81, denis.aelbrecht@edf.fr

(3) Université de Caen – GEOPHEN Géographie Physique de l'Environnement ; (4) Région Alsace ; (5) Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz Bühl ; (6) DREAL Alsace (Service de l'Eau et des Milieux Aquatiques) ; (7) CEMAGREF (Unité Hydrologie/Hydraulique) ; (8) Conservatoire des Sites Alsaciens ; (9) Technische Universität Braunschweig (Leichtweiss-Institut für Wasserbau) ; (10) Regierungspräsidium Freiburg (Abteilung Umwelt) ; (11) Petite Camargue Alsacienne ; (12) Université de Strasbourg (Hydrologie et Géochimie) ; (13) Université de Strasbourg (Sciences et Pratiques Sociales, Développement)

Résumé - Le Rhin alsacien a enregistré de profondes modifications morphologiques et hydrologiques à la suite de sa correction et de sa régularisation pour la protection contre les crues et la navigation, puis après la construction de barrages hydro-électriques. Les aménagements réalisés entre Neuf-Brisach et Huningue ont engendré une simplification et une stabilisation du style fluvial. Un fleuve en tresses a cédé la place à un chenal unique incisé. Le fond de chenal est devenu pavé à cause d'une diminution des apports de charge de fond et des altérations écologiques ont été observées (simplification des habitats aquatiques et riverains). Deux projets complémentaires et interdisciplinaires ont été engagés afin de restaurer une dynamique des formes alluviales : i) le projet international INTERREG IV – Redynamisation du Vieux Rhin (2009-2012) sous l'impulsion de la région Alsace ; ii) le projet d'érosion maîtrisée des berges de la rive gauche conduit par Electricité de France (EDF) dans le cadre du renouvellement de la concession de l'aménagement de Kembs.

L'objectif des deux projets est de définir un plan de restauration hydro-morphologique et écologique conduisant à la redynamisation d'un tronçon de 45 km. L'étude repose sur une analyse historique, l'exploitation de modèles à la fois physiques et numériques, et de suivis morphologiques in situ d'une recharge artificielle en sédiments et d'érosions de berge contrôlées. Ces études de faisabilité sont également complétées par des analyses écologiques et sociologiques pour apprécier l'impact socio-environnemental de ces projets.

Abstract - The Upper Old Rhine River has been heavily impacted by channelization for flood protection and navigation, and then by damming for hydropower generation. In normal non flooding conditions, most of the flows are diverted in a canalized section whereas the regulated "old Rhine" bypassed reach runs a minimum flow. Between Huningue and Neuf-Breisach, engineering works induced simplification and stabilization of the channel pattern from a formerly braiding sector to a single incised channel, hydrological modifications, bottom armouring due to bedload decrease, and thus ecological alterations. Two complementary and interdisciplinary projects have been initiated to restore alluvial

morphodynamics: i) the international “INTERREG IV - Redynamisation of the old Rhine” project (2009-2012) coordinated by the Alsace region, France; ii) the left bank “controlled erosion” project launched by Electricité de France (EDF) within Kembs hydroelectric station relicensing process since 2003-2004.

The purpose of these projects is to evaluate the feasibility of an important hydro-morphological and ecological restoration plan on a 45 km long reach, through both field testing of bank erosion techniques at favourable locations, and artificial sediments input from right bank excavations. This will help define possible long term prospective scenarios, in order to restore sustainable sediment transport, morphodynamics variability and associated improved ecological functions. The study will involve historical analysis, hydro-morphological / hydraulic physical and numerical modelling, physical and ecological monitoring, and sociological aspects.

I INTRODUCTION

La restauration physique des cours d'eau qui ont été affectés par différentes pressions humaine est une problématique scientifique qui a émergé au cours des années 1990, notamment sur les grands fleuves européens [1 ; 2 ; 3]. Avec la mise en œuvre du programme de mesures de la Directive Cadre sur l'Eau visant à atteindre le bon état écologique ou le bon potentiel écologique des cours d'eau en 2015, les projets de restauration physique se multiplient. Le « plan d'action Rhône » adopté par le comité de bassin Rhône-Méditerranée-Corse en 1992, auquel a succédé le plan décennal de restauration du Rhône en 1998 [4], a conduit à une restauration ambitieuse qui a démarré sur le Rhône Court-Circuité (RCC) de Pierre Bénite en 1999, s'est prolongé sur les RCC du haut-Rhône au début des années 2000, et est aujourd'hui en cours de programmation sur le Rhône moyen [5]. Cette action reposait sur le relèvement du débit réservé permettant de recréer un « fleuve vif et courant » et le recreusement de bras secondaires initialement asséchés à la suite de l'incision contemporaine du fleuve et du détournement des eaux dans le canal hydro-électrique. La question de restaurer plutôt des processus que des formes a fait l'objet de longs débats dans la communauté scientifique au cours de la dernière décennie, et les mesures les plus récentes mises en œuvre notamment sur les grands fleuves européens tendent aujourd'hui à intégrer ces nouvelles préconisations [6 ; 7]. C'est le cas sur le Danube où plusieurs dizaines de km de protections de berges ont été enlevées afin de laisser au fleuve la possibilité de les refaçonner naturellement [8]. Des expériences de recharge sédimentaire ont également été engagées sur les cours d'eau enregistrant un transport solide très déficitaire, à la suite notamment de l'interruption du transit par des ouvrages transversaux ou d'extractions de granulats sévères. C'est le cas du Sacramento en Californie [9], du Danube à l'amont de Vienne [10] ou encore de l'Ain à l'amont de Lyon où plusieurs injections ont été entreprises depuis novembre 2005 dans le cadre d'un Life Nature [11]. De semblables réflexions sont aujourd'hui en cours sur le Rhin à l'aval de Kembs.

L'objectif de la présente communication est ainsi de présenter les objectifs et les premiers résultats des projets qui viennent d'être engagés afin de restaurer une dynamique des formes alluviales sur le tronçon rhénan entre Neuf-Brisach et Huningue (45 km), à savoir : i) le projet international INTERREG IV – Redynamisation du Vieux Rhin (VR) qui a démarré en 2009 et se déroulera sur 4 ans sous l'impulsion de la région Alsace avec l'appui du CNRS pour la coordination scientifique, ii) le projet d'érosion maîtrisée des berges de la rive gauche conduit par Electricité de France (EDF) dans le cadre du renouvellement de la concession de l'aménagement de Kembs, et dont les études de faisabilité ont été engagées depuis 2003-2004.

Ces projets s'inscrivent en continuité dans la démarche de restauration du Vieux-Rhin ; du fait de leur caractère innovant, ils reposent sur des suivis expérimentaux détaillés couplés à des travaux de modélisation et s'inscrivent dans une démarche partenariale et concertée.

II LA RESTAURATION DU RHIN, UNE LONGUE HISTOIRE

II.1 Les altérations environnementales

Au cours des deux derniers siècles, le Rhin alsacien a enregistré de profondes modifications morphologiques et hydrologiques à la suite de sa correction (19^{ième} siècle), de sa régularisation (début 20^{ème} siècle) et finalement de la construction de barrages hydro-électriques (depuis 1925) [12] (Figure 1). La canalisation du fleuve par Tulla au milieu du 19^{ème} siècle a conduit à une profonde incision du lit, la disparition des bras secondaires et la fin de la mobilité du lit tant en plan, par renforcement artificiel des berges, que verticalement du fait de la formation d'un pavage. La régularisation qui est réalisée dans les années 1930 et qui correspond à la multiplication d'épis a concentré encore l'écoulement au sein du lit chenalisé. Ce nouvel aménagement a induit une simplification du fond du lit et la disparition des alternances seuils-mouilles.

La construction du Grand-Canal d'Alsace a dérivé une grande partie de l'écoulement dans le Grand-Canal d'Alsace (1400 m³/s) hors période de crue, ne laissant qu'un débit résiduel dans le Vieux Rhin (20 à 30 m³/s) conduisant à l'exondation d'une partie du chenal initial et à sa végétalisation. Lorsque le débit entrant dépasse les capacités de la centrale hydro-électrique, il est alors déversé dans le VR. Ce dernier peut ainsi présenter des conditions d'écoulement en crue tout à fait importantes.

Ces différents aménagements ont eu pour conséquences de simplifier le régime hydrologique et de figer la dynamique morphologique [13 ; 14]. Un fleuve en tresses a cédé la place à un chenal unique incisé (7 m d'incision estimée en 120 ans). Le fond de chenal est devenu pavé du fait d'une diminution des apports de charge de fond, et des altérations écologiques ont été observées (simplification des habitats aquatiques et riverains). Dans ce contexte, les formations végétales riveraines sont déconnectées et en voie de vieillissement sans que des possibilités de régénération soient envisageables. L'habitat piscicole est également réduit et les possibilités de frai des espèces lithophiles sont bien rares dans un contexte programmatique de restauration à long terme de la remontée du saumon atlantique dans ces secteurs.

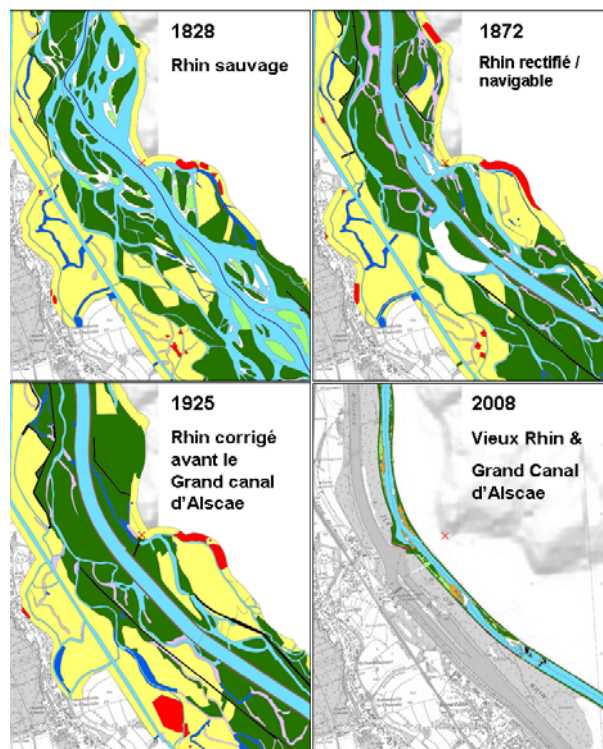


Figure 1 - Evolution du Rhin Sauvage au vieux Rhin, suite aux actions anthropiques de rectification, de correction et de construction du Grand Canal d'Alsace [15]

II.2 La prise en compte de la morphologie dans la restauration du fleuve

La préservation et la restauration du Rhin est une préoccupation importante des gestionnaires du fleuve. Dès 1982, une convention franco-allemande a été signée pour l'aménagement de zones de rétention des crues (POLDER). Les questions de restauration ont ainsi été intégrées aux questions de gestion des crues et du risque d'inondation. La Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR – Allemagne, France, Luxembourg, Pays-Bas, Suisse et Communauté Européenne) de 1999 prévoit par l'élaboration de recommandations la restauration de l'écosystème du Rhin, la prévention des crues, la protection contre les inondations et le contrôle de la qualité des eaux superficielles et souterraines. Les travaux d'E. Dister [16] ont ainsi mis en exergue ces logiques gagnant-gagnant autour de la renaturation du fleuve, et les expérimentations conduites en matière de réinondation du polder d'Erstein constituent l'une des premières concrétisations de cette démarche ambitieuse [17]. En 1996 la région du Baden-Württemberg a adopté le programme IRP (Integriertes Rheinprogramm) visant à la fois la restauration de la plaine alluviale et la protection des crues. Pour atteindre ces objectifs, des casiers de rétentions ont été définis. Les excavations ont démarré cette année sur le secteur Weil-Breisach où 596 hectares sont concernés par les travaux afin d'atteindre une capacité de rétention de 25 hm³ d'eau, la durée des travaux s'étendant sur 15 ans. Le Projet LIFE Rhin Vivant (2002-2007) qui vient de s'achever, intégrait également des préoccupations réparatoires comme la restauration d'écoulements d'eau du Rhin et la réinondation (Offendorf, Wantzenau et Rhinau).

L'ensemble de ces programmes de restauration, et les projets qui font l'objet de la présente communication, concourent ainsi, via des mesures hydro-morphologiques innovantes, aux objectifs de la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE) d'atteinte du bon potentiel écologique du Rhin, en vue de « retrouver les équilibres écologiques, en restaurant et en préservant les écosystèmes rhénans » tel que cela est indiqué dans le SDAGE.

II.3 Les projets Interreg/EDF

Afin de mettre en œuvre ces nouvelles actions réparatoires, deux projets complémentaires ont ainsi été lancés récemment. Le premier, piloté par EDF, est un projet d'« érosion maîtrisée » de la berge en rive gauche du Rhin. Ce projet s'inscrit dans le cadre du renouvellement de la concession de l'aménagement de Kembs, dont les études de faisabilité ont été engagées depuis 2003-2004. Les mesures d'accompagnement relatives au renouvellement de la concession de Kembs sont i) l'érosion maîtrisée en rive gauche et son suivi opérationnel ; ii) l'injection de sédiments dans le Vieux Rhin ; iii) l'augmentation du débit réservé du Vieux Rhin (passant de 20/30 m³/s actuellement à 50/150 m³/s) associé à un nouveau mode de gestion plus proche des variations naturelles saisonnières ; iv) la création de nouveaux bras et v) la mise en place d'une passe à poissons et d'un passage pour la faune amphibie. Par « érosion », on entend la possibilité d'amorcer, via une action mécanique initiale de fragilisation des berges, un processus d'érosion qui sera ensuite entretenu par les crues ; par « maîtrisée », on impose de concevoir un processus de restauration contenu dans une limite spatiale permettant de garantir la sûreté des ouvrages ou équipements annexes sur le fleuve. La phase expérimentale d'érosion contrôlée, qui pourrait démarrer en 2011, durera 4 à 5 ans avant d'étendre le dispositif sur tout le tronçon. A terme, 13 km de berge sur un total de 45 km pourraient être érodables. L'érosion latérale et la restauration d'apports sédimentaires complètera ainsi le relèvement du débit réservé pour une amélioration sensible des habitats.

Le projet Interreg qui a démarré en 2009 vient ainsi renforcer le projet EDF en ouvrant plus largement la réflexion technique à des équipes scientifiques interdisciplinaires et franco-allemandes afin d'évaluer différents scénarios de redynamisation du Rhin, l'érosion maîtrisée étant alors une option parmi d'autres. Il renforce le dispositif de suivi, d'expérimentation et de simulation et offre un espace de partage des connaissances et de co-construction de scénarios intégrant les différents acteurs, les décideurs locaux et les équipes scientifiques. L'objectif de la redynamisation est ainsi de (i) multiplier les faciès morphologiques tels que les atterrissements ou les îles, (ii) rétablir une zone alluviale composée de plusieurs chenaux en eau, (iii) favoriser le développement d'habitats aquatiques et riverains pionniers présentant une grande valeur patrimoniale et (iv) retrouver des fonctionnalités écologiques favorables à la biodiversité.

Dans ce contexte, l'objectif est d'évaluer la faisabilité de différentes options de redynamisation du Rhin par la restauration d'un certain transport solide, les sédiments provenant d'injections artificielles ou d'une recharge naturelle ou assistée par érosion latérale. La question est ainsi de pouvoir comprendre quelles sont les meilleures modalités de recharge, comment la charge va ensuite être transférée vers l'aval et quels seront les habitats probables et les réponses écologiques associées. Au-delà des bénéfices écologiques, la manipulation du compartiment physique est à l'origine de risques potentiels en termes de protections des ouvrages, de satisfaction des usages actuels (navigation notamment) ou encore de sécurité des personnes. De fait, la réflexion engagée concerne la faisabilité opérationnelle et aborde les deux facettes du questionnement, l'évaluation des risques environnementaux et des bénéfices écologiques (figure 2). Le projet Interreg s'appuie sur une étude de mise en mouvement de sédiments basée sur un test de recharge artificielle grandeur nature associé à un suivi de plus de deux ans, venant compléter le dispositif expérimental d'EDF centré sur l'érosion maîtrisée. L'évolution du dépôt injecté sous l'action des crues fournira les éléments de base à la définition des scénarios : déplacement sous la forme d'un ou plusieurs bancs mobiles, dispersion plus ou moins homogène sur le fond du lit par exemple. L'année 2009 a été dédiée à la concertation générale et à la définition des risques afin de soumettre les demandes d'autorisations administratives aux autorités allemandes pour engager les expérimentations.

L'objectif de ces deux projets est ainsi de définir un plan de restauration hydro-morphologique et écologique conduisant à une redynamisation du Rhin sur un tronçon de 45 km à l'aval du barrage de Kembs. Les études, largement mutualisées entre les deux projets, recouvrent : une analyse historique, l'exploitation de modèles hydro-morphologiques et hydrauliques, à la fois physiques et numériques, des suivis expérimentaux in situ ainsi que de deux études complémentaires, l'une écologique et l'autre sociologique.

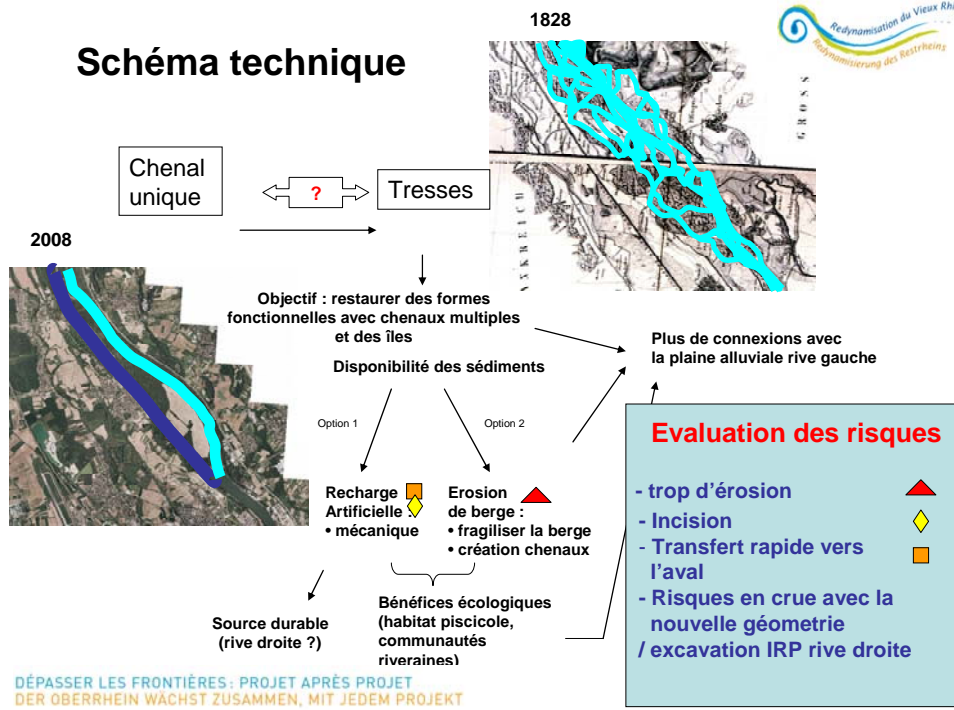


Figure 2 – L'objectif des projets Interreg/EDF : proposer un scénario de redynamisation du Rhin tenant compte des risques environnementaux et maximisant les bénéfices écologiques.

III LE CONTEXTE EXPERIMENTAL DES PROJETS

Compte tenu des risques potentiels et du caractère innovant des approches, les projets s'appuient sur un dispositif d'observation et de simulation important. Plusieurs expérimentations *in situ* sont ainsi mises en œuvre (Figure 4) : l'une étant centrée sur la question de l'érosion maîtrisée testée sur deux sites O2 et O3 présentant des faciès de berge différents, où deux modes distincts d'initiation de l'érosion vont être testés (projet EDF) ; l'autre abordant la question du transfert de la charge une fois qu'elle est présente dans la rivière. Cette seconde expérimentation s'appuie alors sur un test de recharge artificielle de sédiments provenant de la zone d'excavations de rive droite (projet IRP). Ces tests d'érosion et de transfert de la charge sont programmés respectivement début 2011 et fin 2010. 25000 m³ vont ainsi être injectés dans le vieux-Rhin cet automne.

Ces tests *in situ* sont par ailleurs complétés par deux modélisations physiques en laboratoire [18, 19]. L'une a été engagée par EDF dans le Laboratoire d'EDF R&D-LNHE afin de tester et d'optimiser différents modes d'initiation de l'érosion de berge maîtrisée. L'échelle spatiale du modèle a été choisie pour reproduire le plus fidèlement possible les principaux processus physiques en jeu : début d'entraînement des matériaux ; transport des matériaux ; stabilité / instabilité des berges [20, 21]. Les résultats serviront à définir les modalités expérimentales : linéaire de berge non protégée, nature des ouvrages à prévoir à l'amont ou à l'aval (épis, déflecteurs, ...) pour initier le processus érosif ou au contraire le contrôler. L'autre expérimentation physique est conduite par la Laboratoire LWI afin de comprendre le comportement du pavage au moment de l'injection de matériaux, et mieux évaluer le risque de déstabilisation une fois l'opération engagée sur tout le linéaire. Une modélisation numérique de l'écoulement et du transport de sédiments par le LWI et le CEMAGREF est également programmée localement (2D), les procédures de validation s'appuyant sur les observations *in situ* permettant ensuite de simuler (en 1D) différents scénarios à l'échelle de tout le tronçon [22]. Les résultats seront essentiels pour déterminer le volume de sédiments à introduire, comprendre les temps de transferts, les risques associés et les réactions morphologiques du lit.

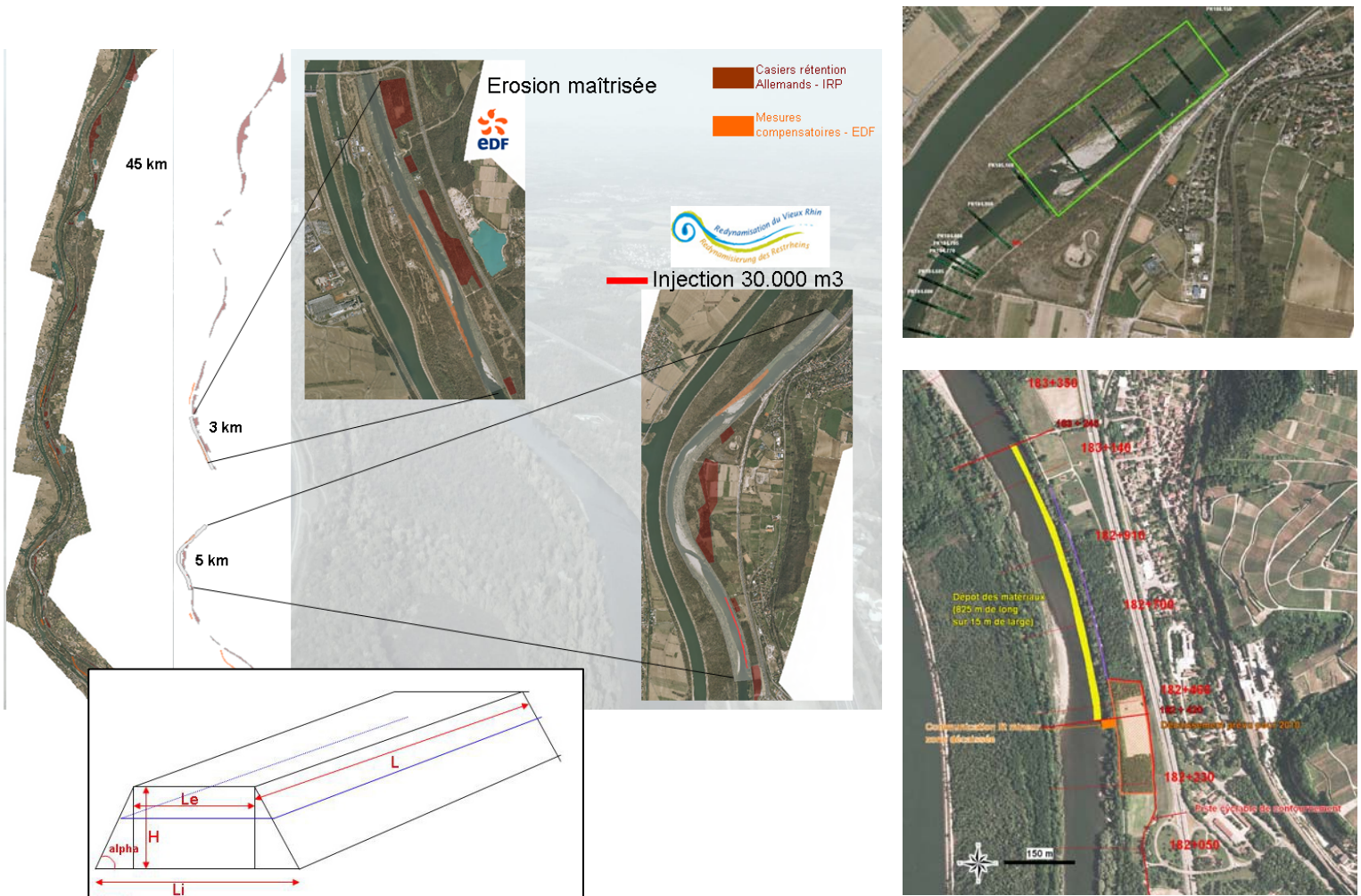


Figure 3 – A gauche : localisation des sites expérimentaux d'érosion maîtrisée (en orange) et du site d'injection de sédiments au droit du casier IRP le plus amont (en rouge). En bas : géométrie du dépôt injecté ayant servi pour le calcul des effets hydrauliques. A droite : cartographie détaillée du site O2 d'érosion maîtrisée (en vert) et du dépôt injecté (en jaune).



Figure 4 – Modèles physiques en place : à gauche : modèle LWI destiné à analyser le comportement du pavage à l'injection, à droite : modèle EDF destiné à étudier les modalités d'érosion maîtrisée et détail de l'érosion à l'aval d'un épi (site pilote O3).

IV UN PROJET MULTIDISCIPLINAIRE, PARTICIPATIF ET CONCERTÉ

Les dispositifs expérimentaux sont complétés par différentes études permettant de mieux évaluer la sensibilité du système au changement, sa réactivité morphologique mais aussi sa réponse écologique et l'appréciation de la démarche par les riverains. Une étude historique est ainsi conduite pour comprendre les changements du chenal depuis le début du XIX^{ème} siècle, notamment la formation du pavage, le vannage progressif des sédiments grossiers et la réponse de la végétation riveraine à la suite de la construction du Grand Canal d'Alsace. Ces éléments permettront d'orienter les stratégies de restauration en replaçant les dynamiques d'ajustement dans un contexte pluri-décennal. L'étude historique se base ainsi sur des cartes, des photographies aériennes et une analyse de données topographiques anciennes, l'ensemble étant géré sur une plateforme SIG unique. Elle repose sur une quantification des dynamiques de changement, celles-ci étant replacées dans un contexte historique relativement fin permettant de mesurer des durées d'ajustement et de bien identifier les dates de rupture. Deux suivis écologiques complémentaires réalisés par EDF et des partenaires INTERREG (Université de Strasbourg, *Conservatoire des Sites Alsaciens* et *l'association de la Petite Camargue Alsacienne*) sont également réalisés afin d'évaluer, à partir d'indicateurs biologiques de référence (macrophytes aquatiques notamment), les bénéfices écosystémiques de ces actions. Un 'état zéro' de référence, fondé sur des métriques physiques et écologiques communes aux acteurs, a ainsi été établi en 2009. Le dispositif s'appuie également sur une approche sociologique (Université de Strasbourg) afin de comprendre les pratiques sociales, le lien tissé entre les sociétés riveraines et le fleuve aménagé et la perception que les habitants, les élus ou encore les acteurs de l'eau ont des projets et des modifications attendues pour le fleuve.

Le projet EDF fait l'objet de réunions de concertation fréquentes dans le cadre du suivi du renouvellement de la concession de Kembs, et s'appuie sur un groupe d'experts indépendants. Le projet Interreg implique de son côté de nombreux partenaires. Il s'appuie sur un comité de coordination scientifique permettant des débats techniques, des échanges scientifiques ouverts afin de discuter les incertitudes, les risques et les chances de succès et mettre ainsi en lumière les solutions les plus pertinentes et d'un Comité de pilotage rassemblant les acteurs locaux, les élus et les gestionnaires du fleuve au sein duquel les différents scénarios sont présentés et discutés afin d'intégrer les attentes de tous les partenaires impliqués.

V CONCLUSIONS

Les différentes opérations de restauration morphodynamique permettront de définir un scénario de redynamisation du Rhin dans le but de restaurer un transport de sédiments et une variabilité morphodynamique durables, et améliorer ainsi les fonctionnalités écologiques tout en préservant la sécurité des biens et des personnes et la pérennité des usages actuels. Le programme est ambitieux ; il s'appuie ainsi sur deux maîtres d'ouvrage fortement engagés, la région Alsace et EDF, une équipe scientifique internationale et interdisciplinaire, une évaluation minutieuse des bénéfices à attendre et des risques hydrauliques, afin de mettre en œuvre au cours des 20 prochaines années la restauration d'un tronçon de près de 45 km de l'un des plus grands fleuves européens.

VI REFERENCES

- [1] Henry CP, Amoros C. (1995) Restoration ecology of riverine wetlands: I. A scientific base. *Environmental Management* 19: 891–902.
- [2] Piégay H., Stroffek S., (2000) La gestion physique des rivières dans le bassin Rhône Méditerranée Corse : des extrêmes au milieu", In : Bravard J.P. (ed.), "les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques", SEDES, 247-274.
- [3] Habersack H., Piégay H. (2007) Challenges in river restoration in the Alps and their surrounding areas. In H. Habersack, H. Piégay, & M. Rinaldi "Gravel-bed River 6 : From process understanding to river restoration", Elsevier, Amsterdam. p. 703-737.
- [4] Bravard J.P., (2006) La lone, l'aménageur, l'écologue et le géographe, 40 ans de gestion du Rhône. *Bull. de l'Association des Géographes Français*. 83 :368-380.

- [5] Olivier, J.-M., Carrel, G., Lamouroux, N., Malard, F., Bravard, J.-P., & Amoros C. (2009). The Rhône River. In: *Robinson, C., Uehlinger, U., & Tockner, K. (Eds.), Rivers of Europe, Elsevier, San Diego*, pp. 247-295. chap. 7.
- [6] Ward JV, Tockner K, Uehlinger U, Malard F. (2001). Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. *Regulated Rivers Research and Management* 17(4-5): 311-324.
- [7] Kondolf GM, Boulton A, O'Daniel S, Poole G, Rahel F, Stanley E, Wohl E, Bang A, Carlstrom J, Cristoni C, Huber H, Koljonen S, Louhi P, Nakamura K. (2006). Process-based ecological river restoration: visualising three-dimensional connectivity and dynamic vectors to recover lost linkages. *Ecology and Society* 11(5): (available from www.ecologyandsociety.org 1 September 2008).
- [8] Habersack, H.M., M. Liedermann & M. Tritthart (2007), Restoring large rivers – the integrated Danube river project. In: *Bridging the Gap between Hydraulics and Biology*, Eds. I. Jowett & B. Biggs, Proc. 6th International Symposium on Ecohydraulics, 18-23 February 2007, Christchurch, New Zealand.
- [9] Kondolf G.M., J.T. Minear, S. McBain, A. Krause, A. Falzone and E. Lutrick (2005). Gravel augmentation to improve salmonid habitat in rivers : general geomorphic considerations and experiences from Northern California. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 38 p.
- [10] Reckendorfer W., Schmalfuss R., Baumgartner C., Habersack H., Hohensinner S., Jungwirth M., Schiemer F. (2005) – The integrated river engineering project for the free-flowing Danube in the Austrian alluvial zone national park: contradictory goals and mutual solutions. *Large Rivers*, 15 (1-4): 613-630.
- [11] Rollet AJ, Piégay H, Bornette G, Dufour S, Lejot J, Persat H. (submitted). - Integrating process thinking and long term perspective in restoration of dammed reaches: lessons from the sediment reintroduction experiences on the Ain River, France.
- [12] Carbiener R. , (1974). - Le Rhin et l'Alsace, histoire de l'évolution des rapports entre l'homme et un grand fleuve. *Bull. Soc. Industr. Mulhouse*, 757: 61-69.
- [13] Dittrich A., Koll K., Kunz Ch., Huppmann O. (2010). - Historische Entwicklung des südlichen Oberrheins unter morphologischen Gesichtspunkten. *Leichtweiss Institut für Wasserbau*, TU Braunschweig, 38 p.
- [14] Johnstone, K. (2010). - Impacts hydro-géomorphologiques des aménagements humains : étude historique du Rhin supérieur entre Bâle et Breisach (1800-2009). Mémoire de Master, Université Lyon 2 – UMR 5600, Interreg/EDF. 113p.
- [15] Arnaud F. (in prep.). - Analyse géomorphologique du Rhin court-circuité entre Huningue et Neuf-Brisach : éléments prospectifs pour la restauration d'un style fluvial en tresses. Thèse de géographie et aménagement, Université de Lyon, Interreg/EDF.
- [16] Dister E. (1992). - La maîtrise des crues par la renaturation des plaines alluviales du Rhin supérieur, *Bull de la Société Industrielle de Mulhouse*. 1 :73-83.
- [17] Schmitt L., Lebeau M, Trémolières M. et al. (2010). - Le « polder » d'Erstein : objectifs, aménagements et retour d'expérience sur 5 ans de fonctionnement et de suivi environnemental (Rhin, France). Ingénieries EAT, La prévention des inondations. Aspects techniques et économiques des aménagements de ralentissement dynamique des crues 67-84.
- [18] Di Moran A., (in prep.) - Rétablissement de la Dynamique Sédimentaire dans les Cours d'Eau Aménagés : Modélisation Physique et Numérique. Cas du Vieux-Rhin . Thèse LNHE-EDF, Chatou.
- [19] Klaus Koll, in prep.
- [20] El Kadi Abderrezzak K., Bouchard J.-P., Jodeau M. (2009). - Re-establishing sediment transport in the Old Rhine river downstream Kembs dam : use of a scale physical model. 6th Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, RCEM 2009, Santa Fe, Argentina.
- [21] Bouchard J.-P., El Kadi Abderrezzak K. (2009). - Renaturation du Vieux Rhin à Kembs : un modèle physique pour le rétablissement du transport solide par érosion des berges. Colloque SHF « Modèles physiques hydrauliques, outils indispensables du XXIème siècle », Lyon, 24-25 novembre 2009.
- [22] Béraud C. (in prep.) - Impact hydro-sédimentaire des actions de recharge artificielle pour la revitalisation des fleuves aménagés. Cas du Vieux-Rhin, entre Huningue et Neuf Brisach. Université de Lyon / Cemagref HH.