

LA RIVIÈRE DÉSAMÉNAGÉE ? LES PAYSAGES FLUVIAUX ET L'EFFACEMENT DES SEUILS ET DES BARRAGES EN EUROPE DE L'OUEST ET EN AMÉRIQUE DU NORD-EST

Laurent LESPEZ, Marie-Anne GERMAINE

Résumé

Les principes de restauration écologique se sont affirmés dans la gestion des cours d'eau depuis les années 1990 dans le monde occidental. La suppression d'ouvrages en travers dans l'objectif de rétablir la continuité écologique des rivières figure parmi les opérations les plus emblématiques. Ces opérations ont des conséquences sur le paysage puisqu'elles modifient les niveaux d'eau, transforment le chenal voire parfois la configuration de la plaine alluviale. Une approche comparée est proposée à partir d'exemples de sites restaurés choisis dans le nord-ouest de la France, le Sud de l'Angleterre et la côte Est des Etats-Unis. L'emprise spatiale de la zone prise en charge est définie pour chacun des sites à la fois longitudinalement et transversalement, et l'ensemble des travaux réalisés sont inventoriés. Reposant principalement sur des observations de terrain, l'analyse des paysages produits par la restauration de la continuité écologique conduit à différencier trois catégories d'opérations : des opérations ponctuelles se limitant à la suppression de l'ouvrage, des opérations aboutissant à la reconfiguration du chenal et des opérations proposant une reconfiguration de l'ensemble du fond de vallée. La répartition géographique de ces trois types amène à discuter du poids des contextes nationaux mais aussi des spécificités locales (zone urbaine/rurale par exemple).

Mots clés

cours d'eau, restauration écologique, démantèlement des ouvrages en travers, continuité écologique

Abstract

The principles of ecological restoration have been affirmed in river management in the Western world since the 1990s. The removal of artificial barriers to re-establish ecological continuity in rivers is one of the most typical operations. This has effects on the landscapes since they change water levels and transform the channel, sometimes even the structure of the alluvial plain. A comparative approach is proposed using examples of restored sites from north-west France, southern England and the east coast of the United States. The spatial extent of the zone covered is defined both longitudinally and transversely for each of the sites and all structures completed are inventoried. Relying mainly on field observations, analysis of the landscapes resulting from the restoration of ecological continuity as led to the differentiation of three categories of operations: occasional operations limited to the removal of the artificial structure, those resulting in channel reconfiguration and those proposing a reconfiguration of the entire valley bottom. The geographic distribution of these three types encourages discussion of the weight of national contexts as well as local specificities (e.g., urban/rural zones).

Keywords

river, ecological restoration, dam removal, re-establishment of ecological continuity

I. INTRODUCTION

Les rivières de plaine et de piémont de l'Europe de l'ouest et de l'Amérique du nord ont été profondément transformées par l'intervention humaine au cours des derniers millénaires ou centaines d'années (e.g. Brown, 1997 ; Lespez *et al.*, 2008, 2015 ; Notebaert et Verstraeten, 2010 ; Brown *et al.*, 2013 ; Walter et Merritts, 2008). La rivière aménagée pour assumer des fonctions économiques (alimen-

tation en eau, production d'énergie, abreuvement du bétail, prélèvement piscicole, navigation) est ainsi devenue l'archétype des cours d'eau dans les espaces ruraux et urbains du monde occidental. Dans ce cadre, la gestion s'est longtemps focalisée sur les dimensions quantitative et qualitative de la ressource afin de maîtriser les excès hydrologiques (crue, étiage) et de garantir la bonne qualité de l'eau pour des raisons de santé publique (hygiénisme) et de maintien des usages (Guillerme, 1983 ; Lespez

et al., 2016). Mais alors que les fondements de ce système tombent en désuétude et que se multiplient les friches hydrauliques (Lespez *et al.*, 2005, 2016 ; Lespez, 2012), les principes de gestion ont progressivement intégré depuis la fin du 20^{ème} siècle les questions écologiques (Perrow *et al.*, 2008). L'émergence de nouveaux enjeux, liés à l'érosion de la biodiversité en particulier, a mis au centre de la gestion le chenal et les zones humides de la plaine alluviale en tant que supports d'habitats pour la flore et la faune. Ce changement de perspective s'est accompagné d'un renouvellement des concepts et d'un développement de la recherche sur les dynamiques des systèmes fluviaux (Bravard et Petit, 1997 ; Brierley et Fryirs, 2005) envisagés comme des milieux de vie (Amoros et Petts, 1993). La restauration écologique et hydro-géomorphologique de ces derniers s'est alors imposée à partir des années 1970 (Downs et Gregory, 2004). D'abord conduite en Amérique du Nord (Bernhardt *et al.*, 2005), puis en Grande-Bretagne (Holmes, 1998 ; Robinson and Witton, 2004 ; Downs et Gregory, 2004) et en France (Morandi et Piégay, 2011 ; Germaine, 2011), la restauration écologique des rivières s'est étendue ensuite progressivement à l'ensemble de l'Europe de l'Ouest, stimulée par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et ses objectifs d'atteinte du bon état écologique des masses d'eau. Nous empruntons sa définition à T. Dutoit (2014) qui la décrit comme une action qui consiste « à piloter un écosystème dégradé selon une des trajectoires dites de référence par rapport à des objectifs choisis en amont du projet dans des contextes scientifiques et socio-économiques du moment ».

En fait, le terme de restauration, rentré dans le langage courant des gestionnaires de rivières, renvoie à plusieurs types d'actions possédant des objectifs et des implications sensiblement différents. Morandi et Piégay (2011) proposent de distinguer trois groupes d'action (écologique, piscicole et hydraulique) qui rassemblent des opérations de natures très différentes. Ainsi, la plupart des opérations de restauration hydraulique recensées sont en fait des actions de gestion et d'entretien du chenal et de ses berges alors que les actions écologiques remodelent souvent tout ou partie du chenal. Ces dernières opérations, les plus ambitieuses, se traduisent souvent par une reconfiguration du chenal et/ou un désaménagement des obstacles construits en travers de celui-ci. Ces opérations sont le plus souvent présentées comme des opérations de « re-

naturation » ou de « renaturalisation » du cours d'eau (Chocat *et al.*, 2013) ou comme une libération des dynamiques naturelles jusque-là contraintes par la rivière aménagée. Le long des rivières de faible énergie de l'ouest de la France, on assiste aujourd'hui à la multiplication de ces projets qui visent principalement le rétablissement de la continuité piscicole et hydrosédimentaire (Germaine et Barraud, 2013a ; Lespez *et al.*, 2015). Nous avons choisi de concentrer notre analyse sur les opérations qui transforment physiquement le chenal via la suppression ou l'aménagement d'infrastructures construites en travers des rivières, tels que les barrages et les seuils, considérés comme des obstacles au transport des sédiments mais surtout à la migration des poissons. Ce choix se justifie par leur essor au cours de ces dernières années. Nous proposons une approche comparative de ces projets en Europe de l'Ouest (France de l'ouest et Angleterre) et sur la façade atlantique des Etats-Unis. En France, ces opérations constituent d'ailleurs un des aspects les plus visibles et controversés de la restauration des cours d'eau dans l'ouest de la France (Germaine et Barraud, 2013b, 2014 ; Germaine et Lespez, 2014). La réduction du taux d'étagement est devenue l'un des leviers d'action les plus emblématiques pour atteindre le bon état écologique des masses d'eau sur les cours d'eau de faible énergie (Adam *et al.*, 2007 ; Germaine et Barraud, 2014). Aux États-Unis, le mouvement amorcé depuis longtemps s'est également accéléré au cours des 20 dernières années. Plus de 1100 barrages ont aujourd'hui été enlevés (Magilligan *et al.*, 2016) dont moins de 4 % avant 1976, environ 45 % entre 1976 et 2005 puis 50 % depuis 2006 (Maclin and Sicchio, 1999 ; O'Connor *et al.*, 2015). L'enlèvement de nouveaux obstacles constitue toujours un objectif prioritaire conjointement aux travaux de reconfiguration des chenaux (Doyle *et al.*, 2015). En revanche, en Grande-Bretagne, les projets de remise en talweg, de reméandrage et de diversification des faciès d'écoulement par des opérations de recharge sédimentaire ou de remodelage du chenal restent largement mis en avant (RRC, 2013) même si le processus de démantèlement des seuils s'amorce activement depuis les années 2010 (Thomas *et al.*, 2015). Parallèlement, les discussions sur les objectifs et les méthodes de la restauration écologique des rivières se sont largement développées. En effet, la reconfiguration géomorphologique de nombreux tronçons de cours d'eau pose une série de questions qui relèvent de l'hydrogéomorphologie, de la bio-

logie mais aussi des aspects sociaux et territoriaux que la transformation de la rivière implique (par exemple : Downs et Gregory, 2004 ; Sear et Arnell, 2006 ; Darby et Sear, 2008 ; Kondolf et Yang, 2008 ; Lave, 2012 ; Egan *et al.*, 2011 ; Morandi et Piégay, 2011 ; Kondolf 2012 ; Boon et Raven, 2012 ; Germaine et Barraud, 2013b ; Lespez *et al.*, 2013, 2015 ; Melun *et al.*, 2013 ; Morandi *et al.*, 2014 ; Doyle *et al.*, 2015). Des recherches de plus en plus nombreuses sont consacrées aujourd'hui à l'inventaire et à l'évaluation hydrogéomorphologique et écologique de ces projets aussi bien en Europe qu'aux États-Unis et de premiers bilans sont produits par des retours d'expérience (par exemple : Miller and Kochel, 2010 ; Bernhardt et Palmer, 2011 ; Jähnig *et al.*, 2011 ; Haase *et al.*, 2013 ; Morandi *et al.*, 2014 ; Simaika *et al.*, 2015).

C'est dans ce contexte, et à la suite d'une réflexion de Trimble (2009) à propos de la Coon Creek (Wisconsin, USA), que s'est développée notre réflexion. Dans le cadre d'une étude consacrée au bilan sédimentaire de ce petit affluent du Mississippi, il constate que les opérations conduites depuis les années soixante-dix pour améliorer la qualité piscicole du cours d'eau ne se sont pas traduites par un simple désaménagement mais par un nouveau projet de rivière, aménagée pour d'autres raisons : « *The building of stream stabilization structures [...] do not permit natural stream migration, bank erosion*

and downstream sediment transfer; the Coon Creek basin has lost much of its sustainability as a natural laboratory of fluvial process ». L'hypothèse que nous souhaitons discuter à travers l'approche comparée, est de savoir si le projet écologique à l'œuvre aujourd'hui redessine la rivière et comment ?

À partir de nombreuses observations de terrain centrées sur la restauration de la continuité longitudinale, hydrosédimentaire et écologique, dans des espaces ruraux ou urbains d'Europe de l'Ouest et d'Amérique du Nord et de l'examen de la littérature grise consacrée aux opérations de restauration, nous proposons de conduire une approche géographique de ces opérations. Celle-ci se propose d'interroger la dimension spatiale de projets qui impliquent, à minima, la reconfiguration ponctuelle du cours d'eau mais également de questionner l'existence d'un ou de plusieurs modèles de référence dans la création des nouvelles formes fluviales et de discuter du rôle des facteurs géographiques, scientifiques et socio-culturels qui président à leur élaboration (Figures 1 et 2).

II. MÉTHODOLOGIE

Afin de mettre en perspective les connaissances acquises dans l'ouest de la France (Germaine et Barraud, 2013b ; Lespez *et al.*, 2013, 2015), nous

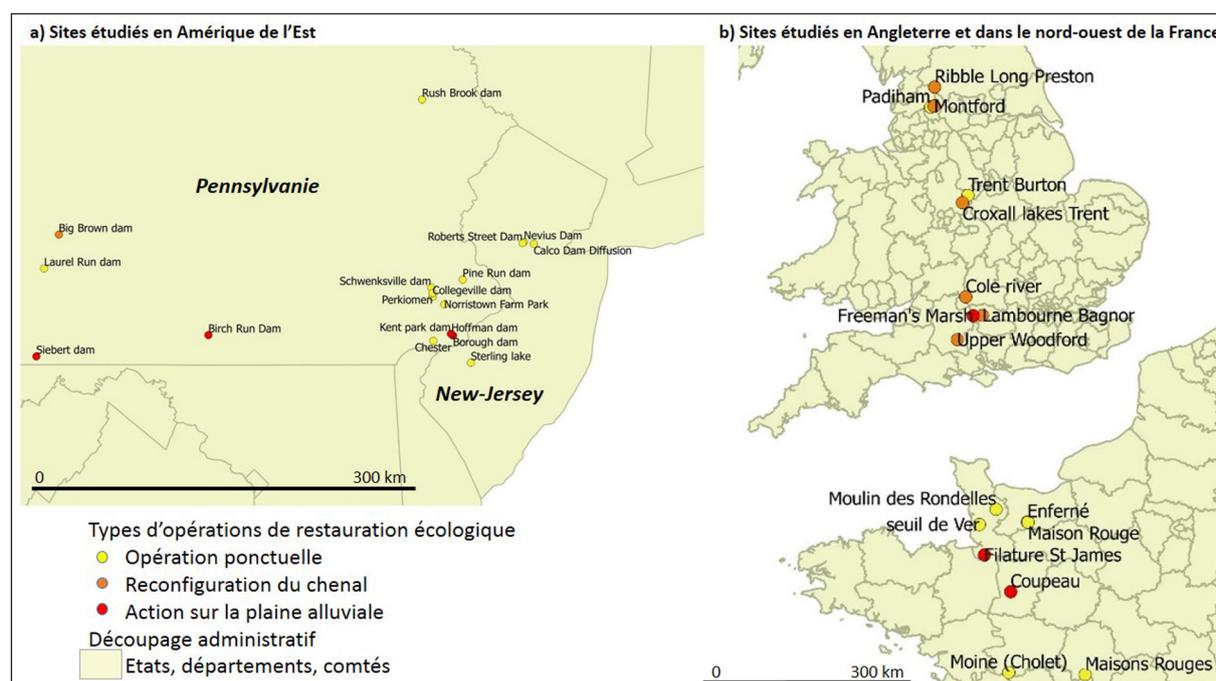


Figure 1. Carte des sites et des opérations multisites étudiés

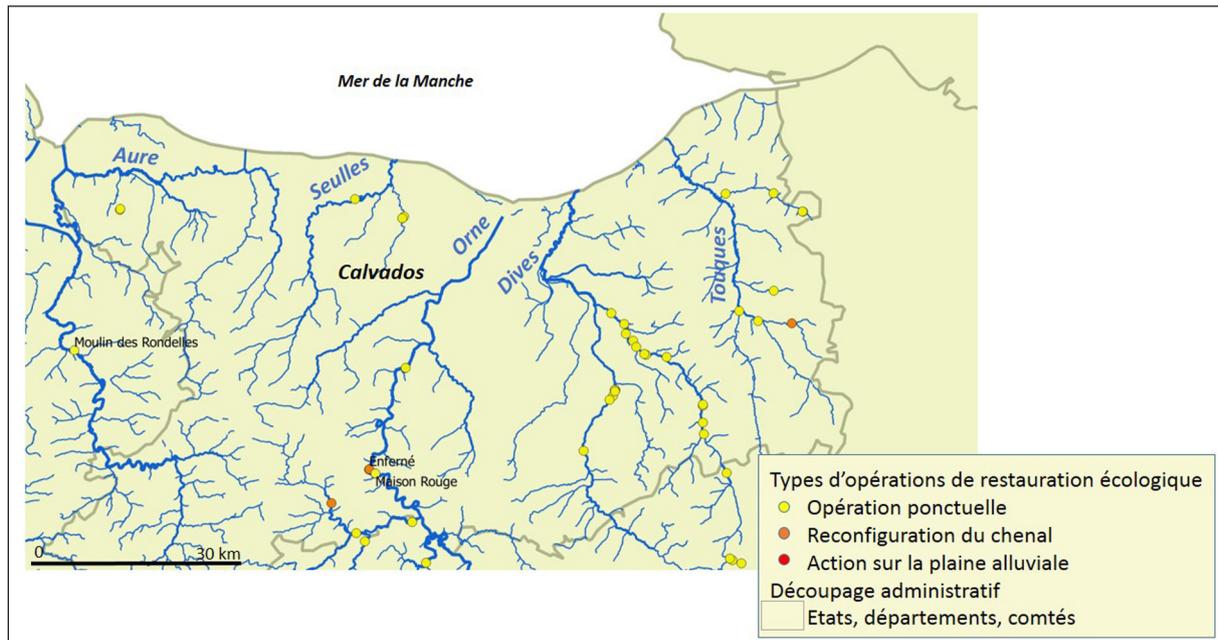


Figure 2. Carte des sites étudiés dans le Calvados

avons entrepris un travail de comparaison afin de confronter des opérations de restauration de la continuité écologique réalisées dans des contextes géographiques distincts. Les recherches comparatives sont encore peu nombreuses et on peut retenir le travail de Morandi et Piégay (2011) qui proposent un bilan de la restauration écologique en France à partir de déclarations d'actions disponibles sur internet. Ces recherches comme les inventaires ou retours d'expérience existant proposent en général une typologie des actions menées fonction des objectifs poursuivis parfois déclinés en sous-types plus techniques comme dans les retours d'expérience du Restoration River Center au Royaume-Uni (RRC, 2002, 2012, 2013) ou de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques en France (ONEMA, 2013).

Principalement développées par des spécialistes de la restauration écologique, ces recensions ont comme clé d'entrée prédominante le type d'opération technique réalisé : arasement complet ou partiel de seuil, reméandrage, reprofilage des berges, reconnexion des annexes hydrauliques, etc... Le travail que nous proposons repose, lui, sur une observation de terrain des sites analysés combinant une analyse hydrogéomorphologique et paysagère du chenal à la plaine alluviale. L'ampleur des opérations en cours interdisant un examen exhaustif, nous avons choisi de procéder à un échantillonnage pour conduire des observations qualitatives. Celles-

ci reposent sur l'évaluation de l'extension spatiale du projet et la description des formes produites en proposant une approche géographique des sites restaurés.

A. Choix des terrains d'étude

Les terrains ont été choisis en fonction de trois paramètres principaux : les contextes géographique et institutionnel et la nature des opérations conduites. La plupart des sites retenus a fait l'objet d'un démantèlement de seuil ou de barrage dont les hauteurs de chute sont comprises entre 1 et 15 m. Certaines opérations sont intégrées dans un projet plus ambitieux de restauration qui implique la suppression de plusieurs obstacles sur un linéaire significatif. D'autres ont été accompagnées d'un travail important sur le cours d'eau (remise en talweg, reméandrage, etc.).

1. Le contexte géographique

Le contexte géographique a été un élément fondamental dans le choix des opérations retenues. Profitant de notre expérience normande, nous avons cherché des opérations réalisées dans des contextes hydro-géomorphologiques, paysagers et socio-économiques qui soient le plus comparable possible. Nous avons donc privilégié les cours d'eau d'ordre inférieur ou égal à 6 s'inscrivant dans les plateaux ou les plaines sédimentaires de la France de l'Ouest,

de l'Angleterre et du Mid-Atlantic américain ou dans les régions collinéennes développées dans les massifs anciens les dominant. Ces cours d'eau s'inscrivent dans des régions parmi les plus développées de la planète possédant un peuplement ancien caractérisé par des activités agro-pastorales et un développement urbain pluriséculaire. Pour l'essentiel, les cours d'eau observés sont dominés par des régimes pluviaux caractéristiques des régions tempérées. Ils sont plus ou moins tamponnés par la contribution des aquifères dans les contextes sédimentaires et/ ou marqués par la fonte printanière du couvert neigeux sur la façade Est de l'Atlantique.

Ces cours d'eau correspondent principalement à deux catégories de la classification REFORM promue à l'échelon européen (Rinaldi *et al.*, 2016) : des « cours d'eau sinueux à méandriforme de faible énergie coulant au sein de plaines alluviales cohésives à lit sablo-graveleux » ou « cours d'eau de moyenne énergie sinueux à méandriforme à lit caillouteux coulant au sein de plaines alluviales moins cohésives ». La charge dominante est limoneuse même si dans certains contextes sédimentaires ou topographiques, la charge sableuse peut être importante comme sur les épandages sableux tertiaires de la bordure sud-armoricaine où coule la Moine par exemple ou les piémonts de l'échine montagneuse des Pennines au centre de l'Angleterre ou les plateaux appalachiens outre-Atlantique.

Cette classification reste souvent théorique du fait de l'ampleur des aménagements hydrauliques dans ces régions où l'empreinte des hommes est très forte depuis plusieurs siècles. Les cours d'eau étudiés forment en général un chenal unique caractérisé par de nombreux aménagements historiques (biefs, vannes, seuils, aménagements de berge, etc.). Sauf situation spécifique, la stabilité des formes alluviales est la règle au cours du dernier siècle alors que les dynamiques hydrosédimentaires se sont en général traduites par la construction d'une plaine alluviale limoneuse à limono-sableuse remblayant l'ensemble du fond de vallée du fait des transformations agricoles des bassins-versants (Brown et Keough, 1992 ; Walter et Merritts, 2008 ; Lespez *et al.*, 2008 ; 2015 ; Notebaert et Verstreten, 2010). Les projets de restauration affectent aussi bien les contextes ruraux, que périurbains, voire urbains comme dans le cas de la Moine à Cholet par exemple.

2. Le contexte institutionnel

Dans les différents espaces, le régime de propriété du chenal, et des berges pour les cours d'eau petits et moyens qui constituent l'essentiel du chevelu hydrographique, est similaire. Quel que soit le pays, la propriété privée s'impose. Le propriétaire riverain possède les berges et la moitié du chenal si la propriété est mitoyenne. Les choses ne changent que lorsque le cours d'eau est plus important et que la propriété de l'État supplante celle des particuliers comme pour les rivières domaniales en France. Depuis la promulgation, en 2000, de la DCE, la France et l'Angleterre s'inscrivent dans le même contexte réglementaire et sont soumis à la même obligation de résultats : l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau. La transposition de la DCE dans chaque pays comporte des similitudes – l'organisation de la gestion de l'eau et des milieux aquatiques par grand bassin hydrographique avec les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion de l'Eau rédigés par le comité de bassin dans chaque Agence de l'eau en France et les River Basin Management Plans fixant les programmes d'action des River Basin Districts en Angleterre – mais aussi des particularités nationales.

En France, plusieurs textes récents comme la Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (2006), la mise en œuvre des Trames Verte et Bleue à l'issue du Grenelle de l'environnement (2009), le Plan national d'Action pour la Restauration des Cours d'Eau (2010) et la révision du classement des cours d'eau (circulaire du 18/01/2013) reconnaissent le rétablissement de la continuité écologique comme un outil de premier plan pour l'amélioration de la qualité de la rivière. Des outils de caractérisation sont développés par l'ONEMA pour identifier et mesurer les altérations des processus bio-physiques (SYRAH, SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des cours d'eau et CARHYCE, CARactérisation de l'HYdromorphologie des Cours d'Eau). D'échelles et de finalité différentes (ONEMA, 2013 ; Gob *et al.*, 2014), les deux outils ont vocation à être complémentaires. Ils ont été complétés par un inventaire des obstacles à l'écoulement (Référentiel des Obstacles à l'Écoulement, ROE¹) à partir duquel ont pu être établies des listes prioritaires d'ouvrages à démanteler dans le cadre du Plan Anguille et/ou du Grenelle de l'Environnement (« ouvrages Grenelle »). Un

diagnostic plus de la continuité écologique (Information sur la Continuité Ecologique, ICE) est en cours de développement afin de déterminer plus finement les freins à la continuité écologique selon les cibles visées. L'outil SYRAH devrait intégrer les données du ROE et devenir « *un appui en terme décisionnel, en particulier pour mettre en œuvre et réviser le SDAGE et les programmes de mesures et définir les stratégies de restauration des cours d'eau* » (ONEMA, 2013). A l'échelle locale, la restauration écologique est stimulée par les spécialistes de l'ONEMA, de l'Agence de l'Eau, des Fédérations de pêche et de la Cellule d'Assistance Technique pour l'Eau et les Rivières (CATER) en Basse Normandie qui relaient les injonctions réglementaires. La conduite du projet est assumée par des maîtres d'ouvrages comme les Fédérations de pêche et les collectivités mais les Agences de l'Eau sont le financeur principal, sinon exclusif, de ces opérations. Ces opérations sont conduites à la suite d'un accord obtenu auprès du propriétaire d'ouvrage et plus rarement dans des projets impliquant une concertation élargie.

En Angleterre, des préconisations sont également formulées par les services de l'État (Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) et Environmental Agency) mais l'initiative des opérations de restauration écologique repose d'abord sur un ensemble de partenaires parmi lesquels les *trusts* à vocation environnementale occupent une place non négligeable. Réunies depuis 2001 au sein de « Rivers Trust », les organisations locales dédiées à la protection et à la mise en valeur des cours d'eau couvrent ainsi 70 % des bassins anglais et gallois. Ces dernières sont porteuses de projets locaux financés depuis 2012 par le Catchment Restoration Fund (CRF) administré par le DEFRA (2012-2015 : 30,65 millions €). Les opérations s'inscrivent donc dans des projets portés par un ensemble d'acteurs locaux : le fond a ainsi mobilisé en trois ans 4 500 volontaires et 342 groupes communautaires autour d'une quarantaine de projets. En 2014/2015, soit la dernière année de la première campagne du CRF, a été financée la suppression de 131 obstacles en travers.

Aux États-Unis, foyer du mouvement de « dam removal », il n'existe pas de préconisation stricte en faveur du démantèlement d'ouvrages. Le gouvernement fédéral a adopté en 1972 le Clean Water Act en réaction à la pollution des eaux dans le but

de « *restore and maintain the chemical, physical and biological integrity of the Nation's water* ». Par ailleurs, l'Endangered Species Act (ESA) vise la reconquête d'espèces listées parmi lesquelles figurent des poissons migrateurs dont de nombreuses espèces emblématiques. Cependant, ce sont principalement les procédures de sécurité et des raisons économiques qui conduisent officiellement à la décision de supprimer un barrage (Maclin and Sicchio, 1999). Les propriétaires d'ouvrages sont en effet soumis à plusieurs contrôles exercés à l'échelle des États mais aussi au niveau fédéral par la Federal Energy Regulatory Commission (FERC) qui gère en particulier la délivrance et le renouvellement des licences indispensables à la production d'hydroélectricité. Ces inspections (généralement renouvelées tous les 5 ans) contraignent les propriétaires à des investissements de mise aux normes conséquents qui les incitent parfois à préférer un démantèlement, d'autant que le coût de ce dernier est souvent pris en charge, au moins en partie, par des fondations ou institutions. En revanche, obtenir un permis de démantèlement nécessite de respecter un certain nombre de conditions comme par exemple la compensation de la perte de zones humides, conformément au Clean Water Act (Bowman, 2002). Les lois environnementales comme l'ESA donnent une impulsion dans de nombreux cas mais ne sont donc pas décisives. Néanmoins, des structures associatives (North Atlantic Salmon Fund, Trout Unlimited, the Nature Conservancy par exemple) ou institutionnelles (NOAA, US Fish and Wildlife Service) militant pour le rétablissement de la continuité piscicole profitent de ces contraintes de sécurité pour promouvoir le projet écologique comme le montre l'importance des financements apportés par des fonds issus des organismes promoteurs de la restauration écologique comme l'Association American Rivers (AR)².

3. Les sites choisis

Les sites ont été choisis à partir des bases de données en ligne développées par différents organismes institutionnels pour capitaliser des retours d'expérience. À l'échelle nationale, ces inventaires sont proposés par les promoteurs de ces opérations comme AR aux États-Unis, le RRC en Angleterre³ et l'ONEMA⁴ en France ou encore l'European Center for River Restoration (ECRR)⁵ plus largement en Europe. Par ailleurs, les maîtres d'œuvre et les financeurs de ces opérations multiplient les

supports de communication pour rendre compte des travaux réalisés : c'est le cas par exemple du projet WALPHY⁶ en Belgique, de la CATER⁷ en Basse-Normandie et de l'ONEMA (2013) en France. Plusieurs des sites retenus sont d'ailleurs considérés à des échelles diverses comme des sites « vitrines » par les gestionnaires. C'est le cas de l'effacement du barrage de Kernansquillec sur le Léguer (Côtes-d'Armor). Bien que réalisée initialement pour des raisons de sécurité, cette opération est présentée comme exemplaire d'un point de vue environnemental et social (Delville *et al.*, 2001 ; MEDDE, 2002) et constitue l'opération la plus importante de ce type réalisée jusque-là en Europe. La suppression du barrage de Maisons-Rouges sur la Vienne figure également parmi les opérations de référence pour les gestionnaires en France. Par ailleurs, l'arasement du barrage de l'Enfernay sur l'Orne a reçu le grand prix national du génie écologique en 2014 remis par le Ministère de l'Environnement et est promu par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie comme exemplaire⁸. En Angleterre, la Frome et l'Avon figurent parmi les rivières qui font l'objet d'un plan national de restauration et sont à ce titre mises en exergue par le RRC. À l'inverse, les sites retenus aux États-Unis ne font pas l'objet d'une forte promotion à l'échelle nationale dans la mesure où des opérations d'ampleur plus grande leur volent la vedette sur la côte Ouest⁹ du pays mais aussi sur la côte Est¹⁰ (Grant, 2001 ; O'Connor *et al.*, 2015). Ces dernières n'étant pas comparables aux cas français et britanniques, nous avons préféré rechercher d'autres sites en Pennsylvanie, état réputé mener une politique active en termes de restauration écologique des cours d'eau, dans le New-Jersey et ponctuellement autour de Chicago.

L'échantillonnage est centré sur des projets d'ampleur car partie intégrante d'un projet de restauration concernant un long linéaire d'une rivière et/ou réputé avoir réussi d'un point de vue écologique ou hydrogéomorphologique. L'échantillonnage n'est ni aléatoire, ni exhaustif et nous ne prétendons donc pas à sa représentativité (mis à part en Basse-Normandie). Il s'agit d'abord d'examiner des sites vitrines, considérés comme exemplaires par leurs promoteurs pour appréhender la rivière dessinée par la restauration écologique et amorcer une réflexion d'ensemble sur la dimension géographique des projets de restauration. Ce sont, au total, 37 démantèlements d'ouvrages dans l'ouest

de la France, 14 aux États-Unis et 2 en Angleterre complétés par l'observation d'une dizaine de projets de restauration sans démantèlement d'ouvrages en particulier en Grande Bretagne qui ont fait l'objet d'observations de terrain permettant de dégager certaines tendances dans les opérations en cours (Tableau 1 et Figures 1 et 2).

B. Les critères d'observation

L'ensemble de ces sites a fait l'objet d'une analyse *in situ*. Les formes paysagères nouvelles, créées intentionnellement à l'occasion des travaux de restauration, ont été observées et comparées. À l'exception des barrages de Kernansquillec sur le Léguer, de Maisons-Rouges sur la Vienne et du moulin de Viard sur l'Orne démolis à la fin des années 1990, les opérations sont récentes. L'ancienneté relative des travaux nous a donc permis de confronter la configuration actuelle de la rivière à la situation précédant l'intervention écologique à partir d'une connaissance préalable du terrain (Basse-Normandie) ou du recours à des photographies d'archives presque systématiquement présentes dans la littérature grise. L'analyse de terrain s'est d'abord appuyée sur une évaluation de l'emprise spatiale des projets selon deux paramètres : l'ampleur de la zone prise en charge lors de l'opération a été déterminée à la fois d'un point de vue longitudinal et transversal. Nous avons ainsi été amenés à distinguer les opérations affectant seulement le site hydraulique, de celles proposant une reconfiguration du chenal en aval et/ou en amont de l'obstacle enlevé et de celles proposant une reconfiguration de l'ensemble du fond de vallée, c'est-à-dire de la plaine d'inondation et d'éventuelles annexes hydrauliques. Il s'agit de différencier les interventions ponctuelles des opérations plus ambitieuses incluant une redéfinition du tracé et/ou de la géométrie du chenal. Il s'agit ensuite de distinguer les choix techniques et esthétiques opérés pour chacun des compartiments (chenal, berges, plaine alluviale) ou unités fonctionnelles qui les composent. Pour cela, nous avons fait l'inventaire de l'ensemble des travaux réalisés (talutage, enrochements, apport de sable, de gravier et de blocs, plantation, création d'annexes hydrauliques, plantations, cheminement, affichage, ...). Les visites des sites à l'étranger ont été menées lorsque les débits étaient relativement bas (printemps 2012 et 2013 en Grande-Bretagne, été 2014 aux États-Unis) pour pouvoir observer au mieux les formes paysagères. En Basse-Normandie,

| Ouvrages arasés | Localisation | Coordonnées | Rivière | Date de l'opération | Hauteur de l'ouvrage | Contexte géographique | Visite terrain (VT), Littérature grise (LG) | Type |
|--|--------------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---|--------|
| Maisons Rouges | Ports et Nouatre, Touraine (FR) | 47° 0'41.15"N 0°33'51.75"E | Loire, Vienne | 1998 | 4 m | Rural | VT + LG | 1 |
| Kernansquillec | Locmaria, Cotes d'Armor (FR) | 48°33'12.33"N 3°23'51.57"O | Léguer | 1996 | 15 m | Rural | VT + LG + entretiens | 3 |
| Moine (6 ouvrages) | Cholet, Maine-et-Loire (FR) | 47° 2'8.46"N 0°51'36.94"O | Moine | 2013 | 1-2 m | Urbain et périurbain | VT + LG + entretiens | 1 et 3 |
| Coupeau | Saint-Berthevin, Mayenne (FR) | 48° 3'48.66"N 0°49'46.63"O | Vicoïn | 2008 | 1,8 m | Périurbain | VT + LG | 3 |
| Enfernay | Saint-Rémi, Calvados (FR) | 48°56'0.72"N 0°30'44.95"O | Orne | 2012/ 2013 | 1,8 m | Rural | VT + LG + entretiens | 2 |
| Maisons Rouges | Calvados (FR) | 48°55'41.43"N 0°30'0.99"O | Orne | 2012/ 2013 | 1,5 m | Rural | VT + LG + entretiens | 1 |
| Moulin de Ver | Ver, Manche (FR) | 48°54'7.41"N 1°24'28.69"O | Sienne | 2010 | 1,7 m | Rural | VT + LG + entretiens | 1 |
| Moulin des Rondelles | Saint-Lô, Manche (FR) | 49° 5'22.46"N 1° 5'48.56"O | Vire | 2007 | 0,8 m | Rural | VT + LG + entretiens | 1 |
| Filatures Saint-James | Saint-James, Manche (FR) | 48°31'34.43"N 1°19'18.67"O | Beuvron | 2010/ 2011 | < 1,5m | Bourg rural | VT + LG + entretiens | 3 |
| Pontécoulant | Pontécoulant, Orne (FR) | 48°53'22.22"N 0°35'13.70"O | Druance | 2015 | 5,75 m | Rural | VT + LG + entretiens | 2 |
| Usine Le Chateau | Cahan, Orne (FR) | 48°51'52.66"N 0°25'36.75"O | Noireau | 2014 | 1,2m | Rural | VT + LG + entretiens | 1 |
| Seuils et vannes du château | Calvados (FR) | 49°15'50.44"N 0°26'34.68"O | Mue | 2015 | < 1m | Rural | VT + LG | 1 |
| Segrie-Fontaine | Segrie-Fontaine, Orne (FR) | 48°48'40.16"N 0°23'57.77"O | Rouvre | 2011 | 2,5 m | Rural | VT + LG + entretiens | 1 |
| Moulin du Viard | Grimbosq, Calvados (FR) | 49° 3'57.73"N 0°26'53.57"O | Orne | 1997 | 2 m | Rural | VT + LG | 1 |
| La Fraternelle | Saint-Désir, Calvados (FR) | 49° 7'53.34"N 0°13'18.71"E | Touques | 2010 | 2 m | Urbain | VT + LG | 1 |
| Ancienne pisciculture | Courtonne-la-Meurdrac, Calvados (FR) | 49° 7'29.19"N 0°19'37.84"E | Courtonne | 2011 | 1m | Rural | VT + LG | 2 |
| Vannage du baignage de fond de vallée | Hermival-les-Vaux, Calvados (FR) | 49°10'2.21"N 0°17'28.62"E | Paquine | 2011 | 0,6 m | Rural | VT + LG | 1 |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---|-------------------------------------|---------------|----------------|-----------------|---------|---|
| Stony Creek Dam | Norristown Farm Park, PA (USA) | 40° 8'18.06"N 75°20'48.72"O | Stony Creek | 2011 | 1,5 m | Parc périurbain | VT + LG | 1 |
| Darby creek (3 barrages) | Hoffman Park, Kent Park, Darby Borough PA (USA) | 39°56'5.34"N 75°17'18.30"O | Darby Creek | 2012 | 1 à 3 m | Périurbain | VT + LG | 3 |
| Raritan River (2 barrages) | Calco Diffusion, Roberts Street dams NJ (USA) | 40°33'1.20"N 74°33'4.50"O ; 40°33'23.65"N 74°38'54.86"O | Raritan River | 2011/ 2012 | < 2 m | Périurbain | VT + LG | 1 |
| Chester creek dam | PA (USA) | 39°53'15.59"N 75°26'36.67"O | Chester Creek | 2009 | 2,4 m | Rural | VT + LG | 2 |
| Birch Run Dam | PA (USA) | 39°55'9.29"N 77°27'17.77"O | Conococheague C. | 2005 | 20 m | Rural forestier | VT + LG | 3 |
| Siebert reservoir Dam | PA (USA) | 39°46'48.03"N 78°59'5.46"O | Miller Run | 2012 | < 2 m | Rural forestier | VT + LG | 3 |
| Sterling lake dam | NJ (USA) | 39°44'7.60"N 75° 6'36.52"O | Duffield Run (affluent du Delaware) | 2011 | 3 m | Périurbain | VT + LG | 1 |
| Laurel Run Dam | Johnstown, PA (USA) | 40°23'4.62"N 78°54'57.16"O | Laurel Run | 2008 | 13 m | Périurbain | VT + LG | 1 |
| Perkiomen (2 barrages) | Goodrich et Collegeville Dams, Arcola, PA (USA) | 40° 8'45.35"N 75°26'41.28"O; 40°11'25.96"N 75°26'57.07"O | Perkiomen | 2003/ 2005 | 3,6 m 1,8 m | Périurbain | VT + LG | 1 |
| Rush brook dam | PA (USA) | 41°31'52.67"N 75°32'31.03"O | Rush Brook | 2010 | 5,8 m | Périurbain | VT + LG | 2 |
| Pine run dam | PA (USA) | 40°18'30.44"N 75°10'51.85"O | Pine Run | 2008 | 13 m | Rural | VT + LG | 3 |
| Hofmann dam | IL (USA) | 39°55'54.90"N 75°17'1.06"O | Des Plaines River | 2012 | 1,6 m | Périurbain | VT + LG | 2 |
| Big brown dam | Spangler PA (USA) | 40°37'2.79"N 78°46'54.66"O | Browns Run | 2010 | 11 m | Rural | VT + LG | 2 |
| Montford | Lancashire (UK) | 53°49'27.85"N 2°15'1.74"O | Pendle Water (Ribble) | 2010 | Moins de 2 m | Périurbain | VT + LG | 2 |
| Padiham weir | Burnley, Lancashire (UK) | 53°48'6.88"N 2°18'52.26"O | Calder (Ribble) | 2010 | 1,85 m | Périurbain | VT + LG | 1 |

Tableau 1. Principales opérations analysées

les visites ont été organisées à différents moments de l'année hydrologique.

En parallèle, ce travail de terrain s'est accompagné d'une lecture des études ayant mené à ces opérations ou décrivant leurs objectifs et leur caractéristiques techniques. Pour les projets plus anciens, l'analyse de ces documents a permis de démêler les formes créées intentionnellement de celles résultant de processus hydrogéomorphologiques et biophysiques spontanés. L'iconographie (photomontage, croquis, etc.) accompagnant les projets a également fait l'objet d'une attention particulière. En France, ce travail a été complété par un travail d'enquête et la mise en place d'une démarche d'observation participante auprès des gestionnaires qui nous ont permis de mieux comprendre l'origine des choix d'action (Germaine et Barraud, 2013b ; Germaine et Lespez, 2014 ; Lespez *et al.*, 2015). Nous avons régulièrement été associés, depuis 2010, à des réunions rassemblant élus, gestionnaires locaux ou régionaux (CATER Basse-Normandie) et experts représentant les organismes institutionnels nationaux en charge de la gestion de l'eau et des zones humides (Agences de l'Eau, ONEMA, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), etc.).

En parallèle, nous avons régulièrement arpenté les sites restaurés en compagnie de gestionnaires de terrain¹¹ (à l'exception de celui de Maisons-Rouges sur la Vienne) et échangé avec les techniciens et chargés de mission avec une partie desquels nous étions engagés dans des réflexions communes ou la réalisation d'études conjointes notamment dans le cadre de l'ANR Reppaval¹² (Tableau 1).

III. RÉSULTATS : LA DIVERSITÉ DES OPÉRATIONS DE RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

Les projets de restauration écologique recouvrent en fait une variété considérable d'opérations. Plutôt que de les distinguer en fonction de leur finalité exprimée, nous proposons de différencier les projets sur la base de leurs dimension spatiale et paysagère ; c'est-à-dire sur l'ampleur et la nature des transformations réalisées dans chaque unité fonctionnelle. Nous proposons de manière simple de diviser ces projets en trois types.

A. Opérations ponctuelles

Le premier type correspond aux opérations les plus simples. Elles correspondent à un démantèlement de vannes ou arasement de l'ouvrage en travers suivi d'une libre évolution hydrogéomorphologique du chenal sur la zone d'influence de l'ancien ouvrage. Les seuils et les vannes concernées génèrent une chute dont la hauteur est comprise entre 0,75 et 3 m en général. Dans ces cas, l'intervention technique consiste principalement à détruire la structure, à exporter le matériel issu de la destruction ou à en réinjecter une partie pour servir de charge de fond. Il s'agit donc essentiellement d'une opération de terrassement. La plupart du temps, le seuil est détruit jusqu'au plancher alluvial (arasement partiel). Il est plus rare que le radier, c'est-à-dire les fondations de l'ouvrage, soit retiré et que le dérasement de l'ouvrage soit complet. De la même manière quand l'ouvrage est ancré dans les berges par des murs bajoyers, ceux-ci sont conservés pour ne pas avoir à intervenir sur les berges comme le long de la Moine à l'amont de Cholet, à Chester Creek et à Norristown Park Farm au sud de Philadelphie, ou le long de la Raritan, dans le New Jersey (Figure 3). Dans les autres cas, la berge est reconfigurée en réutilisant, en général, autant que possible les matériaux issus du démantèlement. Pour les opérations les plus complexes sur des sites hydrauliques de grande ampleur, plusieurs opérations mécaniques sont enchaînées comme pour les ouvrages de la Raritan. C'est ainsi que pour le démantèlement de l'ancienne chaussée de Maisons Rouges sur l'Orne, on a procédé au dérasement de la partie transversale de la chaussée, à l'arasement de sa partie longitudinale, au dérasement des ouvrages maçonnés résiduels, à la création d'un lit moyen et d'étiage et au comblement de la fosse de dissipation en arrière de l'ancien ouvrage. Il arrive également, mais beaucoup plus rarement, que la restauration de la continuité écologique ne se traduise que par une intervention minimale qui consiste simplement à ouvrir mécaniquement une brèche dans le seuil ou le barrage comme c'est le cas à Sterling Lake dans le sud du New Jersey (Figure 3). Ces opérations de complexité variable constituent les opérations les plus fréquentes. Dans notre corpus, elles constituent 37 sites soit 68 % de l'échantillon analysé (58 % des cas présentés dans le Tableau 1). La distribution géographique de ces sites concerne l'ensemble des espaces étudiés. Il faut remarquer



Figure 3. Photographies d'opérations de restauration de la continuité écologique de type ponctuelles : arasement de l'obstacle en travers avec conservation des murs bajoyers (Padiham, vue de l'aval, et Cholet, vue de l'amont), opérations plus complexes (Maisons Rouges, vue de l'aval) et simple brèche (Sterling Lake). Dans tous les cas, l'opération concerne le site hydraulique (chenal et ses berges au lieu de l'ouvrage) et on observe la libre évolution hydrogéomorphologique du chenal sur la zone d'influence de l'ancien ouvrage et à l'aval

que les raisons officielles du démantèlement relèvent à la fois de la continuité écologique et de la sécurité. Nous allons développer deux exemples pour rendre compte plus précisément de ce type.

Le premier correspond à l'arasement du seuil de Padiham sur la rivière Calder, affluent de la Ribble dans le nord de l'Angleterre (Lancashire). Ce seuil de 1,85 m de haut a été supprimé en 2010. Il est le plus important d'une série de 30 obstacles inventoriés le long de la Ribble et de la Calder et son démantèlement fait partie d'un programme de restauration de la continuité piscicole du fait notamment de la présence d'anguilles (RRC, 2012). Cette rivière à fond graveleux est considérée comme très dégradée du fait de l'importance de l'aménagement industriel. Le seuil de Padiham a été construit dans les années 1950 pour alimenter une usine électrique. Le barrage a été remplacé par quatre petits seuils (30 cm de hauteur, 1 m de profondeur) constitués d'enrochements positionnés en travers du chenal en place et en aval de l'ancien obstacle afin de retenir une charge caillouteuse. Le radier a été conservé pour garantir la stabilité du lit et des berges. Les débris du barrage ont été utilisés pour alimenter

des enrochements pour protéger les berges en rive droite tandis que les berges en rive gauche ont été jugées assez stables pour supporter la baisse du niveau de l'eau. Aujourd'hui accessible par un cheminement longeant la rivière, le site présente un niveau d'eau plus bas laissant apparaître des bancs de graviers au milieu d'un chenal qui a retrouvé un écoulement plus énergique sur l'ensemble de la zone d'influence de l'ancien ouvrage. Les travaux sont considérés comme terminés et c'est la libre évolution du chenal qui est recherchée. Le deuxième exemple est celui du moulin de Ver situé sur la Sienne dans la Manche. Il a été supprimé en septembre 2010 dans le cadre du rétablissement de la continuité piscicole. La Sienne est un cours d'eau classé au titre de l'article L. L214-17 CE du Code de l'Environnement pour la présence de grands migrateurs et en particulier du saumon atlantique, de la lamproie marine et de l'anguille. Environ une quarantaine d'ouvrages hydrauliques jalonne ce cours d'eau, ce qui représente, en moyenne, un ouvrage tous les 2 km. La plupart de ces ouvrages n'a plus d'usage économique et la moitié d'entre eux est à l'état de ruines (ONEMA, 2013). Le Moulin de Ver est un ancien moulin à grain construit pour

utiliser la force hydraulique et n'a plus de fonction économique. Il est établi juste en amont de la confluence avec l'Airou. Ce cours d'eau est classé site Natura 2000 car il possède, en particulier, des frayères à saumons. Le seuil, haut de 1,7 m, était en mauvais état. Le démantèlement de l'ouvrage ne s'est pas accompagné de travaux majeurs. La rivière a déterminé spontanément son nouveau tracé et les seuls aménagements ont consisté dans la mise en place d'enrochements et d'épis pour protéger les bâtiments situés sur la rive gauche. Afin de respecter les conditions de sécurité nécessaire à l'exploitation d'une discothèque située sur cette même rive, une mare (réserve d'eau en cas d'incendie) a également été réhabilitée et un accès pompier réalisé. Le matériel issu de la destruction du seuil a en partie été mis à disposition des écoulements. Le démantèlement s'est traduit par une érosion accélérée non prévue des rives concaves à l'aval bien que la puissance spécifique sur le tronçon démantelé soit faible ($< 10 \text{ w.m}^{-2}$) (Lespez *et al.*, 2015).

Comme le montrent ces deux exemples, ces opérations peuvent faire partie d'un projet concernant plusieurs ouvrages successifs sans pour autant que la reconfiguration du chenal ne dépasse le strict lieu d'implantation des ouvrages. Ces opérations ont un impact immédiat sur la libre circulation des espèces aquatiques et diffèrent sur la dynamique du chenal ou de ses berges. Cependant, quand elles sont réalisées le long des rivières de faible énergie, comme dans la plupart des cas étudiés, la restauration de la continuité ne s'accompagne pas obligatoirement d'un rétablissement de la dynamique hydrosédimentaire (succession des radiers et des mouilles) et de la succession des habitats altérés par l'ouvrage que seul une restauration active du chenal et des berges sur une longueur significative permettrait d'atteindre. Ces opérations ponctuelles, les plus nombreuses, relèvent donc principalement de la réhabilitation qui correspond à une restauration partielle et incomplète de la forme et des structures fonctionnelles (Dutoit, 2014).

B. Reconfiguration du chenal et des berges

Dans le deuxième type d'opération, l'enlèvement de l'ouvrage fait partie d'un projet plus large aboutissant à une reconfiguration du chenal sur une longueur dépassant au moins une quinzaine de fois la largeur du chenal alors que les berges sont explicitement retravaillées. L'objectif de ces travaux est

en général de redessiner le chenal pour augmenter la diversité potentielle des habitats et donc la biodiversité. En général, les berges sont reprofilées (talutage) à l'amont de l'ouvrage et parfois à l'aval. Pour les stabiliser, un géotextile de type treillis coco ou synthétique est souvent mis en place. Selon le rendu souhaité, elles sont ensemencées et/ou des plantations de saules (plants ou bouturages) sont organisées. Les plantations arbustives ou arborées peuvent également caractériser les hauts de berge et les marges de la plaine alluviale qui dominent le nouveau chenal.

En fonction des craintes concernant l'érosion des pieds de berge, plusieurs techniques peuvent être déployées : enrochement libre ou non, végétalisé ou non, fascinage et clayonnage. La fixation des berges qui en résulte a souvent pour objectif de protéger les biens qui pourraient être mis en péril du fait d'une érosion accélérée. Ce type d'opération implique une capacité d'intervention supérieure du maître d'ouvrage qui doit pouvoir intervenir sur le chenal et la plaine alluviale sur des longueurs largement supérieures au premier type. L'opération nécessite d'avoir au préalable et systématiquement effectué une concertation entre plusieurs propriétaires ou acteurs et ne peut se contenter d'une négociation avec le seul propriétaire de l'ouvrage. Nous allons développer deux exemples pour rendre compte plus précisément de ce type.

Le barrage de l'Enfernay situé sur l'Orne moyenne est associé à une ancienne filature (Figure 4). Il a été supprimé en juin 2012 afin de contribuer à améliorer la continuité piscicole en particulier pour les grands migrateurs (saumon atlantique, anguille, lamproie marine et truite de mer). Le seuil faisait 60 m de large pour 1,8 m de haut. Le fonctionnement de la turbine avait été arrêté en 2004 alors que les vannes sont ouvertes depuis l'été 2009. Les travaux ont eu pour objectif de restaurer la continuité écologique et hydrosédimentaire, mais également de protéger les berges contre une érosion accélérée du fait d'enjeux multiples. On trouve en effet en rive droite un bâtiment industriel et un grand bâtiment résidentiel et un chemin de randonnée en rive gauche. Il s'agissait également d'organiser le passage des canoës sur le bras situé en rive gauche. Les travaux réalisés ont consisté à démanteler puis à supprimer les vannages et le barrage puis à refaçonner l'île entre les deux ouvrages afin de recréer deux chenaux d'écoulement.



Figure 4. Site du barrage de l'Enfernay sur l'Orne (Calvados, France). À droite vue de l'amont vers l'ancienne zone d'influence ; à gauche vue de l'amont du site hydraulique avec l'ancienne usine en rive droite et des vestiges des aménagements en rive gauche. Arasement de l'ouvrage en travers et reconfiguration du chenal (berges talutées munies à l'amont de l'ancien ouvrage d'une terrasse submersible, façonnement d'une île et de deux bras au droit du barrage, recharge caillouteuse et enrochement de la pointe de l'île, reconstitution d'une ripisylve étagée, réaménagement d'un sentier de randonnée en rive gauche

À l'amont, le chenal a été redessiné. La sinuosité a été légèrement accentuée et le chenal a été rétréci par la création de berges talutées munies d'une basse terrasse submersible pour réduire la section mouillée en étiage et protéger les berges. Le chenal et les bas de berges ont fait l'objet d'une recharge caillouteuse afin de les protéger et de compenser le déficit d'aval et la tête de l'île a été protégée par un enrochement. Au droit de l'ouvrage, une ripisylve étagée a été reconstituée. L'opération très médiatisée a été peu mise en valeur pour le public local. Elle est principalement visible et accessible par un ancien chemin de randonnée (GR 36) réaménagé en rive gauche de l'Orne et qui est aujourd'hui longé par une barrière.

Situé sur la Calder dans une zone périurbaine du Lancashire, le seuil de Montford, d'une hauteur de 1,2 m, a été supprimé en 2010 (Figure 5) dans le cadre du même programme que celui de Padiham. Le radier et les murs bajoyers de l'ancien seuil ont été conservés dans et au pied des berges. À l'aval, on observe un lit étroit sans qu'il y ait d'autres interventions spécifiques. À l'amont, les travaux de restauration ont été effectués sur le tronçon méandrique mais face à une érosion accélérée des berges apparues en 2011, des travaux importants ont été effectués¹³. Les berges ont été reprofilées et protégées par un ensemencement sur géotextile dans les berges convexes et des enrochements ont été réalisés dans les rives concaves en particulier lorsqu'elles sont proches de la voirie. Une clôture a

été installée tout le long du linéaire en rive gauche afin de limiter la fréquentation au chemin longeant la rivière et de permettre la reconquête végétale reconquérir la végétation. Des plantations ont par ailleurs été réalisées à l'amont en rive gauche sur la partie non accessible au public.

Ces projets ne se contentent pas d'une simple réhabilitation du chenal mais ils façonnent les berges et le fond du chenal sur des longueurs significatives afin de garantir la diversité des milieux et donc des habitats piscicoles par exemple. Ils proposent ainsi d'atteindre une trajectoire de référence de la structure et des fonctions de l'écosystème et correspondent à une restauration du chenal *sensu-stricto* (Dutoit, 2014).

C. Reconfiguration du chenal et de la plaine alluviale

Le troisième type correspond aux projets qui possèdent la plus grande extension et qui ont souvent une plus grande ambition. Ceux-ci proposent de redessiner la forme du chenal à la fois dans son tracé et sa forme en travers : ils s'étendent aux berges mais également à la plaine alluviale qui fait l'objet de différents types de travaux comme la reconnexion d'annexes hydrauliques, la mise en place de plantations ou au contraire l'entretien de milieux ouverts souvent accompagnés de la mise en place de cheminements afin d'organiser la fréquentation du site. Ces projets impliquent en général une maîtrise



Figure 5. Site du seuil de Montford sur la rivière Calder (Lancashire, Angleterre). Vues de l'ancienne zone sous influence de l'ouvrage (amont en haut (vue de l'amont); aval en bas (vue de l'aval) et de l'ouvrage arasé dont on observe les vestiges sur les deux berges (en bas à droite, vue depuis l'aval). Arasement de l'ouvrage en travers (conservation des murs bajoyers) et reconfiguration du chenal (reprofilage des berges, ensemencement sur géotextile, enrochements dans les rives concaves, aménagement d'une clôture en rive gauche, plantations en fond de vallée en rive gauche)

foncière globale de la part du maître d'œuvre ou au moins une capacité à agir en tant que gestionnaire intégral des terrains aménagés. Ce type comporte une forte diversité interne. Nous proposons trois exemples afin de la mettre en évidence.

La Darby Creek s'écoule en milieu périurbain à la périphérie de Philadelphie (Figure 6). Il s'agit d'une rivière à fond graveleux alternant avec des secteurs de lit rocheux le long de laquelle, trois barrages ont été démantelés en 2012¹⁴. Ces trois barrages, Hoffman Park dam, Kent Park dam et Darby Borough dam, avaient des hauteurs comprises entre 1,2 et 3 m pour des largeurs comprises entre 12 et 28 m. Intégrée dans un projet écologique d'ensemble, l'opération de démantèlement du Borough dam avait néanmoins pour objectif principal de diminuer le risque d'inondation.

Situé à l'aval des tronçons restaurés, le démantèlement du barrage a été l'occasion d'un travail important sur le chenal et la plaine d'inondation. Le barrage, construit à la fin des années 1960, comportait une brèche depuis une vingtaine d'années. Son arasement s'est accompagné du dessin d'un nouveau chenal sur environ 250 m en amont de l'ancien barrage. Afin de diminuer le risque d'érosion des berges, il a été décidé de réduire la pente de la rivière et son gradient d'énergie. Pour cela, la longueur du chenal a été augmentée par la création d'une sinuosité alors que l'écoulement a été redirigé sur la berge possédant le moins d'enjeux exposés. Le nouveau lit est sinueux et possède des berges reprofilées, puis stabilisées par un géotextile qui a été ensemencé. L'ensemble du lit moyen de la rivière a fait l'objet d'une plantation d'arbres et d'arbustes. Les bas des berges ont été renforcés



Figure 6. Seuil de Darby Borough effacé sur la Darby Creek (Etats-Unis, PA). Vue sur les espaces sous influence de l'ancien ouvrage : à l'aval immédiat de l'ancien ouvrage (vue depuis l'aval) en bas à gauche ; plus à l'amont, vue d'ensemble en haut à droite et détails des aménagements en haut à gauche et en bas à droite. Accentuation de la sinuosité du tracé, berges reprofilées et stabilisées (enrochements et dépôt de troncs dans les rives concaves), plantations d'arbres et arbustes dans la plaine alluviale, aménagement de pelouses dans le lit majeur)

par des enrochements et des troncs posés à plat, racines vers l'extérieur, afin de casser l'énergie en particulier dans les rives concaves (Figure 6). L'ensemble de la plaine alluviale a été replanté. Enfin, à la charnière du lit moyen et des pelouses occupant le lit majeur et servant d'espaces verts aux quartiers pavillonnaires voisins, un cheminement est en cours d'installation. Le Birch Run Dam a été construit en 1937 sur la Conococheague Creek pour alimenter en eau la ville de Chambersburg (Pennsylvanie) (Figure 7). D'une hauteur de 20 m, il a été démantelé en 2005 pour des raisons de sécurité liées à son manque d'étanchéité. Il se situe au cœur des Appalaches dans un contexte forestier très différent du précédent. Il a permis la création d'un vaste lac de barrage (21,7 ha) occupant un tronçon en pente relativement faible d'une rivière à lit caillouteux mais à charge de fond à dominante sablo-graveleuse. Après le démantèlement, le lit du cours d'eau a été redessiné à partir des informations historiques disponibles et en particulier des cartes anciennes (Manuel, 2009). Dans un premier temps, une brèche a été ouverte dans l'ouvrage.

Environ 270 m³ de sable et de sédiments ont été enlevés sur un linéaire de 60 m et évacués du fond de vallée (Figure 7). Dans la large brèche ainsi créée, des enrochements ont été mis en place afin de stabiliser le lit, de limiter son érosion ainsi que de ses berges et de protéger la base de l'ancien ouvrage. Plusieurs seuils artificiels ont également été construits afin de dissiper l'énergie (Figure 7). Parallèlement, une vaste opération de plantation a été réalisée dans la partie aval de l'ancien réservoir afin de stabiliser les sédiments sablo-limoneux de la nouvelle plaine alluviale. Après cette première phase (2004-2006), une seconde phase de travaux a été initiée par l'association Trout Unlimited (2013-2014) afin de favoriser la réintroduction de l'omble de fontaine (Brook trout, *Salvelinus fontinalis*) espèce emblématique de l'état¹⁵. Des plantations ont également été réalisées dans le reste de la zone dénoyée (chêne et épinette blanche) pour compléter la première opération alors qu'une ripisylve a été plantée (aulne, sycomore, tulipier) pour favoriser l'ombrage et le développement de l'entomofaune. Le chenal reconstruit suite au démantèlement de



Figure 7. Site du Birch Run Dam sur la Conococheague Creek (Etats-Unis, PA) : arasement du barrage (en haut vue de l'ancien ouvrage depuis la rive droite) et reconfiguration de la rivière et de la plaine alluviale (vue depuis l'aval, en bas à droite et à gauche) : enrochements transversaux, création de 32 seuils artificiels en pierres et troncs immergés en V, plantations en aval et amont de l'ouvrage supprimé sous forme d'une ripisylve et d'une opération de boisement du fond de vallée

l'ouvrage souffrant de pavage et d'écoulements monotones a également été retravaillé. Trente-deux seuils ont été construits en pierre et à l'aide de troncs immergés pour favoriser l'oxygénation alors que des enrochements disposés transversalement ont été implantés afin de diversifier les faciès d'écoulement et de favoriser la recharge d'un matelas sablo-graveleuse (Figure 7). Malgré le caractère exemplaire de l'opération pour ses promoteurs et sa situation au cœur d'un State Park forestier (Michaux State Forest), l'opération est peu publicisée localement. Une stèle a été installée mais aucun aménagement n'a été prévu pour l'accès au site qui sera de fait réservé aux pêcheurs. À terme, le paysage autour du cours d'eau sera totalement fermé. De nombreux projets de ce type sont aujourd'hui réalisés dans les Appalaches même sur des ouvrages de plus petite dimension comme le Siebert Reservoir dam démantelé dans le cadre d'une opération de compensation écologique.

Le troisième exemple correspond au démantèlement du seuil fermant le plan d'eau du Coupeau

appartenant à la commune de Saint-Berthevin, située en périphérie immédiate de la ville de Laval (Mayenne) (Figure 8). Il a été supprimé entre 2008 et 2010 (ONEMA, 2013). Ce plan d'eau créé par un seuil (haut de 1,80 m et large de 9 m) installé en 1969 sur le cours d'eau du Vicoin. Il succède à un ancien moulin qui faisait partie d'un équipement hydraulique complet de la rivière qui comportait 20 ouvrages (ONEMA, 2013). Un ancien moulin est toujours visible à l'amont de l'ancien plan d'eau. Le bâti a été rénové et abrite un restaurant. L'étang créé en amont du seuil s'étendait sur 3 ha et avait objectif de réguler le débit de la rivière mais n'avait pas d'autre usage hydraulique. Néanmoins, situé en périphérie de la ville de Laval, il a été l'occasion de développer un site à vocation récréative affirmée : promenade, pêche, camping, restauration. L'ouvrage, identifié comme un obstacle à la continuité écologique, pose d'importants problèmes de piégeage des sédiments et d'eutrophisation du plan d'eau qui nécessite des curages récurrents (tous les 6 à 10 ans) et de plus en plus onéreux (110 000 € en 2004) (ONEMA, 2013). Le clapet n'est plus



Figure 8. Site du plan d'eau du Coupeau sur le Vicoin (Mayenne, France). Vue d'un panneau de présentation du projet (en haut à droite), vue depuis l'aval au niveau de l'ancien ouvrage de l'espace dénoyé et vue de détail plus à l'amont en bas à droite. Arasement de l'ouvrage en travers (remplacé par une passerelle en hauteur) et reconfiguration du chenal (création de petits seuils, reprofilage et stabilisation des berges) et de la plaine alluviale (plantations d'arbustes, création d'annexes hydrauliques, installation de platelages auprès des annexes hydrauliques, aménagement d'un sentier dans le lit majeur, aménagements récréatifs)

remonté après 2004 et l'ouvrage est démantelé en 2008. À partir du lit parcouru spontanément par les écoulements après l'ouverture du clapet, un lit mineur de 4 m de large en moyenne est façonné alors que de petits seuils ont été créés pour diversifier les faciès d'écoulements. Les berges ont ensuite été reprofilées et stabilisées par l'utilisation de géotextile, réensemencement et plantation de végétation arbustive. Enfin, des annexes hydrauliques latérales sous forme de zones humides permanentes ont été créées. La végétation est gérée en régie comme dans le cas d'un espace vert public par les services des espaces verts de la commune. La vocation récréative et touristique a été conservée. Des sentiers balisés ont été créés : un cheminement fait le tour de l'ancien étang permettant de suivre le cours d'eau sur les deux berges mais aussi d'approcher les annexes hydrauliques. Des passerelles et des platelages (planchers bois sur pilotis) ont ainsi été aménagés sur l'ensemble du site. L'ancien seuil et son clapet ont été remplacés par une passerelle. Si le chemin principal est situé en dehors de la zone

dénoyée et à distance du lit actuel, il n'y a pas de restriction d'accès à la rivière. Les platelages incitent à fréquenter les bords immédiats de la rivière et à observer la faune et la flore des zones humides. La fréquentation du site est essentiellement locale et familiale. Le site est très facilement accessible depuis la ville et les zones résidentielles (parkings et liaison avec d'autres cheminements piétons) et relié à d'autres sentiers de randonnée (voie verte, sentier forestier). Les cheminements sont conçus pour un public périurbain afin de favoriser l'accessibilité des personnes à mobilité réduite, des familles avec jeunes enfants (poussettes, vélos) : le sentier est large et goudronné. Le site est agrémenté d'équipements tels que des jeux pour enfants ou des bancs publics correspondant au public visé. Une valorisation discrète du patrimoine et de l'histoire du site a également été mise en place à travers l'installation d'une dizaine de panneaux de lave émaillée.

Pour ces projets qui aboutissent au passage d'un plan d'eau ayant occupé tout ou partie du lit

majeur pendant plusieurs dizaines d'années à la construction d'une nouvelle plaine d'inondation et d'un chenal, on peut considérer qu'il s'agit plutôt d'opérations de réaffectation qui proposent une structure et des fonctions nouvelles pour le système fluvial (Dutoit, 2014).

Au bilan, même si on ne considère que l'enlèvement des seuils et des barrages qui correspond dans les retours d'expérience à un type spécifique d'opération (RCC, 2012 ; ONEMA, 2013), les ob-

servations effectuées mettent en exergue la grande diversité des contextes, des actions et des techniques des projets de restauration de la continuité écologique. L'ampleur des différentes opérations étudiées indique la variété des projets. Ponctuels, ils peuvent n'avoir qu'un impact immédiat sur la libre circulation des espèces aquatiques et différé sur la dynamique du chenal ou de ses berges mais ils peuvent également affecter l'ensemble des espaces fonctionnels du cours d'eau et proposer une reconfiguration des paysages de l'ensemble de la plaine alluviale (Figure 9).

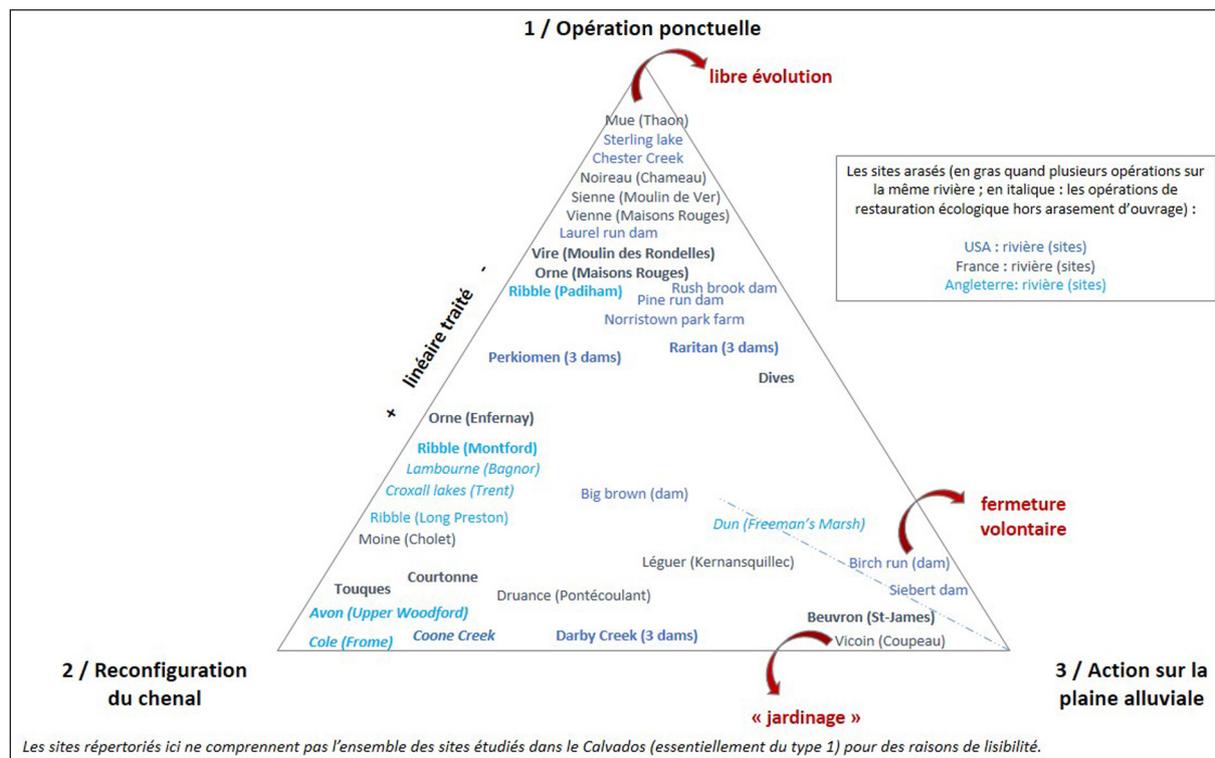


Figure 9. Typologie des sites étudiés en fonction de leur dimension géographique

IV. DISCUSSION : ENTRE RÉHABILITATION ET FORMATION DE NOUVELLES RIVIÈRES

En Europe, les acteurs majeurs de l'expertise institutionnelle, comme le Restoration River Center et l'Environmental Agency en Angleterre et l'ONEMA et l'Agence de l'Eau en France, assurent par la publication de nombreux manuels sur la restauration la diffusion d'une culture commune des interventions possibles sur la rivière dans le cadre du projet écologique (par exemple : RRC, 2013 ; ONEMA, 2013). Dans le cadre de la DCE, cette émergence subcontinentale peut s'appuyer sur des structures comme l'European River Restoration

Center (ERRC) issu du partenariat RESTORE subventionné par l'Union Européenne. Il est composé de centres nationaux, d'organisations et d'institutions qui se sont fixées pour mission d'encourager et de soutenir la restauration écologique des rivières dans toute l'Europe. Aux Etats-Unis, les associations American Rivers et Trout Unlimited¹⁶, par exemple, jouent un rôle moteur dans la dissémination des projets de restauration de cours d'eau. Depuis 2001, American Rivers et la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ont créé une structure commune pour promouvoir les projets de restauration des rivières hébergeant des poissons diadromes¹⁷ et leur assurer une assistance technique et financière. Plus généralement,

la mise en ligne via différentes bases de données des projets de restauration, le rôle actif de certaines Organisations Non Gouvernementales à vocation mondiale, comme le World Wild Fund (WWF), et l'explosion de la littérature technique et scientifique tendent à homogénéiser les connaissances sur les fonctionnements hydrosédimentaires, biologiques, écologiques.

La multiplication des opérations de restauration de la continuité écologique et la diffusion des connaissances scientifiques et des retours d'expériences de part et d'autre de l'Atlantique n'est-elle pas en train de construire un nouveau modèle de rivière remplaçant progressivement le modèle de la rivière aménagée (Germaine et Barraud, 2014) ? Pouvons-nous en identifier les motifs paysagers à l'image de ce qu'était le seuil, le barrage, les vannes, le clapet, l'abreuvoir et le moulin, par exemple, pour la rivière aménagée en zone rurale ou la berge construite, maçonnée ou bétonnée, et la digue pour les cours d'eau souvent rectifiés des milieux urbains ?

A. Le désaménagement dans le cadre du projet écologique poursuit un mouvement historique

Le premier type défini qui correspond à l'enlèvement des structures construites en travers des écoulements est littéralement une opération de désaménagement, et effectivement une réhabilitation d'un système fluvial préexistant (formes et structures fonctionnelles). Nous proposons d'abord de mettre en perspective ce type d'opération en le situant dans un continuum historique bien connu aujourd'hui. Dans tous les espaces étudiés, la plus forte densité d'obstacles à l'écoulement (seuils, vannages et biefs alimentant les moulins) se situe au début du 19^{ème} siècle et le déclin des structures hydrauliques est ensuite progressif dans l'ouest de la France (Lespez *et al.*, 2005 ; sous-presse) mais également aux États-Unis (Walter et Merritts, 2008). À partir d'un exemple normand, nous pouvons préciser le calendrier de ce désaménagement (Lespez *et al.*, 2005 ; Germaine *et al.*, 2012). Le long de la basse Seulles, à l'aval de Vaux-sur-Seulles, et de ses deux principaux affluents, la Mue et la Thue, le nombre de moulins en activité passe de 47 en 1789 à 26 en 1893 et diminue ensuite brutalement dans la première moitié du 20^{ème} siècle. Il n'y a plus aujourd'hui que 6 moulins possédant des systèmes de meunerie fonctionnels dont 2 sont équipés de

turbines (microcentrales électriques). De nombreux seuils et vannages restent en revanche implantés dans le fil de l'eau. 26 % des ouvrages identifiés à la fin du 18^{ème} siècle ont été détruits et ne forment plus aujourd'hui d'obstacle à l'écoulement. 20 % des ouvrages correspondent à des systèmes hydrauliques ayant rarement été entretenus ou conservés, ils ne sont plus aujourd'hui en état de marche et sont le plus souvent ruinés même si le bâti est en bon état, restauré le plus souvent dans le cadre d'une transformation du moulin en habitation. Aujourd'hui, 26 obstacles à l'écoulement sont inventoriés dans le ROE¹⁸ pour cette partie du bassin-versant de la Seulles. Pour l'essentiel, ils constituent donc l'héritage de cet aménagement hydraulique. Ainsi, on peut considérer que près de la moitié des ouvrages hydrauliques de la fin du 18^{ème} siècle a été démantelée avant que le processus de restauration ne s'engage. Ces démantèlements ont été volontaires comme dans les cas, fréquents, où un agriculteur décide de démanteler le seuil qui gêne l'exploitation des prairies de fond de vallée. Ils ont pu également être le résultat du non-entretien pendant plusieurs décennies ou siècles de la structure hydraulique. Aujourd'hui, 20 ouvrages sans usage direct subsistent. Ces héritages d'un usage obsolète sont susceptibles de subir le même mouvement avec le temps. Dans l'espace concerné, seul un ouvrage a été identifié comme prioritaire dans le cadre du Grenelle de l'Environnement (Saint-Gabriel-Brécycy) et les démantèlements effectués ou en cours concernent deux autres ouvrages (moulin de Creully et seuil du château de Thaon) et une étude globale est en cours. Sur des systèmes fluviaux très équipés comme la Seulles et, plus généralement, toutes les rivières aménagées des régions étudiées, le processus de démantèlement et d'arasement ne vient qu'accélérer un processus déjà largement engagé. D'ailleurs aux États-Unis, un grand nombre de barrages et de seuils sont aujourd'hui démantelés pour des raisons de vétusté. L'absence d'entretien de l'ouvrage ou son ancienneté sont dénoncés par les administrations en charge du renouvellement des contrats d'exploitation. Cela oblige le propriétaire qui souhaite en conserver l'usage à faire de nombreux travaux qui peuvent se révéler économiquement peu rentables. Il s'agit donc bien de l'obsolescence d'un système technique sans levier économique suffisant aux regards des enjeux de sécurité qui constituent toujours aujourd'hui un levier important du processus de réhabilitation de la rivière aménagée. Pratiquement et quel que soit les

espaces d'étude, le succès des opérations de restauration s'explique également parce qu'elles offrent l'opportunité d'un soutien financier au propriétaire qui n'est plus attaché à la structure hydraulique et qui profite des subventions comme d'une aubaine lui permettant d'abandonner ses responsabilités dans la gestion de l'ouvrage, et les risques associés. Celles-ci, quel que soit le mode de financement, propre à chaque État, sont à la charge du contribuable via différents mécanismes : soutien financier à 100 % par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie en Basse-Normandie, soutien partiel dans les autres régions de l'Ouest de la France, soutien partiel ou total par les subventions obtenus par les Trusts et les Associations en Angleterre ou aux États-Unis. Le désaménagement est donc un long processus historique aujourd'hui accéléré par la législation environnementale telle que définie des deux côtés de l'Atlantique.

B. La place du désaménagement dans les projets de la restauration

L'enlèvement des obstacles à la continuité hydro-sédimentaire et écologique domine largement les autres types d'opérations dans l'Ouest de la France (Germaine et Barraud, 2013a et b ; Lespez *et al.*, 2015, *in press*). La Basse-Normandie compte 2 500 obstacles à l'écoulement d'après le ROE. Au-delà des obligations découlant de la législation, 110 sont considérés comme prioritaires dans le Grenelle de l'Environnement et 97 pour le Plan Anguille. Pour les structures en charge de la gestion des cours d'eau, les petits fleuves côtiers de l'ouest de la France insérés dans des milieux ruraux peu industrialisés et peu peuplés, directement connectés au littoral et donc colonisés par des poissons migrateurs, justifient que l'enlèvement de ces obstacles soit au cœur des politiques de restauration contemporaines. Stimulée par la réussite de certaines opérations précoces comme celles conduites sur la Touques (Germaine, 2011), la reconquête par les poissons migrateurs diadromes comme le saumon (*Salmo salar*), l'anguille (*Anguilla anguilla*), la truite de mer¹⁹ (essentiellement *Salmo trutta trutta*) et la lamproie marine (*Petromyzon marinus*) sont les emblèmes d'une politique de restauration active. Dans le département du Calvados, sur les 50 opérations financées de 2012 à 2015, 46 concernent le démantèlement d'obstacles à la continuité hydrosédimentaire et piscicole de type 1 de notre typologie. Il s'agit d'abord de structures mobiles

(74 % ; vannes et clapet) et secondairement de seuils et de petits barrages (22 %) de 0,5 à 3 m de haut et de deux barrages de plus de 5,5 m qui sont fréquemment associés sur le site hydraulique. Les autres projets importants concernent des opérations de remise en talweg et de reméandrage souvent accompagnées de rechargement sédimentaire graveleux. Dans cette catégorie, certaines opérations peuvent comporter un désaménagement d'obstacle à l'écoulement comme dans le cas de la Courtonne par exemple (type 2). Cette domination observée à l'échelle régionale se traduit à l'échelon national par l'importance relative de ce type d'opération dans les retours d'expérience de l'ONEMA (2013). Le corpus de plus de 80 opérations présentées illustre 9 types différents : 39 correspondent au type « effacement total ou partiel d'obstacles transversaux » et si l'on ajoute les retours d'expériences présents dans le type « suppression ou la dérivation d'étangs sur cours d'eau » qui s'appuie souvent sur l'effacement d'obstacles transversaux à l'écoulement, comme dans le cas du Coupeau par exemple, c'est plus de la moitié des fiches de retours d'expériences qui correspond au démantèlement d'ouvrages en travers. Par comparaison, les opérations de reméandrage qui constituent le 2^e type d'opération par le nombre de retours d'expériences rassemblés dans le corpus ne comporte que 12 exemples.

Dans l'est américain, où les poissons migrateurs comme le saumon atlantique (*Salmo salar*), les aloses d'Amérique et d'été (*Alosa sapidissima*, *A. aestivalis*), l'esturgeon noir (*Acipenser oxyrinchus*), la lamproie marine (*Petromyzon marinus*) et l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) sont également des emblèmes de la qualité des rivières, la question du démantèlement des ouvrages a depuis longtemps été posée (Brown *et al.*, 2013). S'y ajoute pour les rivières des Appalaches et de leur piémont, la volonté de maintenir ou de réintroduire des poissons lithophiles et rhéophiles caractéristiques des eaux courantes fraîches comme l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*). La productivité piscicole de ces cours d'eau est entretenue depuis le 19^{ème} siècle par un vaste équipement d'écloseries largement réparties sur le territoire qui ont pour objectif de produire les poissons susceptibles de recoloniser ces milieux (Taylor III, 2009). Cette approche est aujourd'hui critiquée au profit d'un rétablissement des continuités favorisant le développement spontané des populations piscicoles. En Nouvelle-Angleterre et dans les régions de la



Rétrécissement du chenal (Avon, Angleterre), Avril 2011

Figure 10. Exemple d'opération de rétrécissement de chenal par l'utilisation de pieux et de fascines submersibles sur l'Avon (Angleterre)

Mid-Atlantic, ce levier explique que le démantèlement d'ouvrages constitue une cible privilégiée de la restauration écologique. Ce mouvement soutenu par de puissantes associations comme American Rivers et Trout Unlimited explique le nombre important de projets de démantèlement accomplis à ce jour. Plus de 50 ouvrages ont été arasés au cours de la dernière décennie en Nouvelle-Angleterre (Fox *et al.*, 2016) dans le cadre d'opérations qui relèvent d'abord du premier type. Mais les choses changent. La restauration de chenal d'écoulement (type 2) a été développée plus largement et plus précocement qu'en France (Rosgen, 1996). Le développement récent de politiques environnementales basées sur la capacité à compenser la dégradation des milieux à un endroit par une compensation équivalente délocalisée s'est ainsi traduit par un essor rapide de la restauration des cours d'eau sans forcément qu'elle soit liée à l'enlèvement d'obstacles à l'écoulement. En Caroline du Nord, où ce processus a été très bien étudié, depuis 2001 plus de 1 014 km de cours d'eau ont été restaurés sous les auspices du processus de compensation permis par le Clean Water Act (Doyle *et al.*, 2015). Ces projets aujourd'hui plus nombreux

que les projets n'émergeant pas à un processus de compensation concernent essentiellement des écoulements de tête de bassin-versant puisque 85 % des projets concernent des bassins-versants de moins de 10 km². La longueur médiane des chenaux concernés est de 1 643 m contre 842 m pour les autres opérations de restauration. Ces projets renvoient donc par leur extension aux types 2 et 3. Les projets de restauration observés au cœur des Appalaches, en Pennsylvanie, du Siebert Reservoir Dam et du Big Brown Dam, relèvent de ce type de projet et proposent des reconfigurations du cours d'eau et de la plaine alluviale du même type que celle observée au Birch Run Dam (Figure 9).

Au Royaume-Uni, bien que le contexte réglementaire soit proche de celui en vigueur en France du fait de la DCE, les opérations de restauration écologique ont suivi une trajectoire bien différente. À l'inverse de ce que nous avons observé dans l'ouest de la France, l'enlèvement d'ouvrages est rarement le préalable à une opération de reconfiguration du chenal d'écoulement. En effet, sur les 1 479 projets enregistrés dans la base de données

du RRC en 2016²⁰, seuls 114 concernaient le démantèlement d'ouvrages en travers, soit moins de 8 %. Ainsi, elles ont d'abord essentiellement consisté en des projets de remise en talweg, de reméandrage et d'amélioration de la diversité des formes et des faciès d'écoulements. Il est en effet frappant de remarquer que la question des obstacles en travers était absente du manuel des techniques de restauration de rivières édité par le River Restoration Centre (RRC) jusqu'en 2013 (RRC, 2002, 2012). Il a en effet fallu attendre cette mise à jour du manuel pour que soit créée une 12^e catégorie d'opérations de restauration intitulée « Removing or Passing Barrier » (RRC, 2013). Même si elles apparaissent aujourd'hui d'actualité, les opérations d'effacement restent secondaires et réservées à des ouvrages sans fonction et/ou de petites dimensions (PRAGMO, 2012). Ainsi en 2014/2015, le CRF a financé la suppression de 131 obstacles en travers, il a parallèlement soutenu encore l'installation de 13 passes à poissons, de 127 échelles à poissons et de 47 passes pour anguilles. Cela explique que nos visites de terrain effectuées en Angleterre en 2012 et 2013 à partir des retours d'expérience aient d'abord concernées des projets de restauration centrés sur le remodelage du chenal et la reconnexion d'annexes hydrauliques (Tableau 1). D'ailleurs, cette différence s'observe pour des cours d'eau présentant le même type d'enjeux que ceux identifiés sur les cours d'eau de l'Ouest de la France. Ainsi, l'Avon est un cours d'eau de 96 km de long qui s'écoule dans le Hampshire et le Wiltshire. Il est un des hauts-lieux de la pêche à la mouche dans le sud de l'Angleterre du fait de l'abondance de poissons migrateurs comme le saumon atlantique (*Salmo salar*), la truite de mer (*Salmo trutta trutta*) et de poissons d'eau douce comme la lamproie de planer (*Lampetra planeri*) et la truite fario (*Salmo trutta*). À l'image de la Touques en Normandie, réputée pour être la première rivière à truite de mer en France (Germaine, 2011), il a fait l'objet de nombreux projets de restauration depuis les années 1990. Les projets de restauration ont essentiellement concerné le remodelage des formes du chenal afin d'améliorer la diversité des faciès d'écoulement. On observe ainsi le développement des travaux de rétrécissement du chenal principalement par des moyens de génie écologique (Figure 10). La construction de déflecteurs en pierre, en fagot de saules, en rondin ou en tressage de saule et le dessin d'un chenal en plantant des pieux disjoints afin d'atterrir progressivement une partie du chenal

a été développé sur de nombreux tronçons (RRC 2012, 2013). Il s'agit de concentrer les écoulements pour augmenter leur vitesse et leur oxygénation et leur capacité de transport dans un chenal plus étroit susceptible également d'entretenir des fonds graveleux favorables aux frayères. Parallèlement, de nombreuses opérations avaient pour but d'augmenter l'ombrage en multipliant les replantations de végétation rivulaire. Dans ce contexte, sur plus de 45 opérations enregistrées dans l'inventaire du RRC (2012), aucune ne concerne le franchissement d'obstacles. À l'inverse et dans le même temps, le long de la Touques, entre 1991 et 2006, 33 ouvrages ont été supprimés, abaissés ou ouverts, et 38 autres équipés de dispositifs de franchissement pour un coût actualisé respectif de 1,2 et 2,5 millions d'euros (Germaine, 2011). En rendant accessible un linéaire de 140 km de cours d'eau contre 24 km en 1978, ces opérations ont favorisé le retour des truites de mer qui viennent frayer en eau douce. Entre 2012 et 2015, la Touques a connu 8 opérations de démantèlement d'ouvrage en travers supplémentaires alors qu'aucun n'a toujours été recensé le long de l'Avon où les structures de franchissement sont toujours privilégiées. En Angleterre, à la suite de la DCE et sous l'influence du contexte international, les opérations de démantèlement d'ouvrage se sont multipliées mais restent très secondaires (Thomas *et al.*, 2015). Il faut ajouter que le patrimoine hydraulique associé à la rivière aménagée a fait l'objet de mesures de classement et de protection sans commune mesure avec la situation observée dans l'ouest de la France par exemple. On trouve ainsi sur la liste de l'English Heritage²¹, plus de 100 seuils, 966 anciens moulins à eau, 400 écluses et 1000 ponts.

Dans des contextes géographiques et institutionnels proches, les exemples étudiés témoignent de projets de restauration écologique différents. Mais il faut constater une tendance récente à l'harmonisation des pratiques de gestion favorisée par la convergence des cadres réglementaires, depuis la mise en place de la DCE pour l'Europe comme le montre le développement des projets de démantèlement d'obstacles en travers des écoulements. Parallèlement, la diffusion des pratiques de compensation dans le domaine de l'environnement évoquée pour les États-Unis, anciennement développée au Royaume-Uni et expérimentée en France dans le cadre des articles L.122-3 et L.122-6 du code de l'environnement et L.121-11 du code de l'urba-

nisme qui fait obligation aux maîtres d'ouvrage d'éviter, de réduire et de compenser (doctrine ERC²²) les impacts de leurs projets sur les milieux naturels, indique sans doute l'émergence d'une culture globale de la restauration écologique des cours d'eau.

C. De nouvelles rivières rurales ?

Dans le cas des projets de réhabilitation, type 1 de notre typologie, la mise en forme du cours d'eau est minimale par rapport aux autres types d'opérations. Dans la majeure partie des cas observés, ces projets concernent des espaces ruraux. Les cours d'eau étudiés possédant le plus souvent une puissance spécifique faible à moyenne et travailler avec la rivière est difficile du fait de sa faible énergie et la restauration devrait *a priori* rentrer dans la catégorie des restaurations actives (Giller, 2005 ; Adam *et al.*, 2007 ; Wheaton *et al.*, 2008 ; Kondolf, 2012). Cependant, en général, l'opération effectuée procède à l'enlèvement de l'obstacle à la continuité écologique et hydrosédimentaire sans que le remodelage du chenal aille au-delà du site hydraulique. Le coût des études hydrogéomorphologiques complètes fait qu'elles ne sont conduites systématiquement que pour des ouvrages majeurs ou l'ajustement n'est pas aisément envi-

sageable, ou lorsque les biens exposés à la reprise attendue de la dynamique hydrosédimentaire sont importants (Moulin de Ver) et dans le cadre de projets impliquant le démantèlement de plusieurs ouvrages successifs ou situés sur le même tronçon comme à Maisons Rouges sur l'Orne (à l'amont du barrage de l'Enferney). Dans de nombreux cas, nos observations montrent que le démantèlement des obstacles à l'écoulement s'appuie donc sur un savoir empirique. L'absence d'intervention hydrogéomorphologique plus développée est souvent justifiée par l'absence de maîtrise foncière sur le linéaire impacté par l'enlèvement de l'ouvrage et d'enjeux répertoriés le long des berges et le coût des opérations de restauration plus ambitieuses. En général, faute de moyens supplémentaires, l'expert promoteur de l'opération laisse le chenal s'ajuster librement et s'appuie sur sa connaissance du système fluvial concerné et ses expériences personnelles pour estimer qu'il restera dans un espace acceptable par les riverains. Néanmoins, l'écoulement est modifié et le transit sédimentaire est localement accéléré. La phase de transition est alors celle de l'incertitude où la rivière est à la recherche de son nouvel équilibre et où le gestionnaire se rend très régulièrement sur les lieux, à chaque crue importante en particulier, pour vérifier la pertinence de son expertise.



Figure 11. Photographies d'aménagements paysagers de rivières (aménagement d'abreuvoirs et de pompes à nez, pose de clôtures sur les berges, bande enherbée en bas de versant, installation de panneaux d'interprétation / sensibilisation)

| Rivière : opérations multisites | Localisation | Date des opérations | Opérations dominantes | Contexte géographique | Visite terrain (VT) Littérature grise (LG) |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------|--|-----------------------|---|
| Avon | Wiltshire, Hampshire, UK | Depuis 1997 | Continuité écologique, et remodelage du chenal | Rural et urbain | VT + LG |
| Cole | Frame (UK) | Depuis 1995 | Remodelage du chenal et connexions latérales et longitudinales | Rural | VT + LG |
| Coon Creek | Wisconsin (USA) | Depuis 1993 | Continuité piscicole et stabilisation des berges | Rural | VT + LG |
| Lambourn et Dun | Berkshire (UK) | Depuis 2008 | Remodelage du chenal et connexions latérales et longitudinales | Rural et périurbain | VT + LG |
| Ribble | Yorkshire, Lancashire (UK) | Depuis 2011 | Continuité écologique et hydrosédimentaire | Rural | VT + LG |
| Touques | Orne et Calvados (FR) | Depuis 1991 | Continuité piscicole et stabilisation des berges | Rural et urbain | VT + LG + entretiens |
| Trent | Yorkshire UK | Depuis 2010 | Remodelage du chenal et connexions latérales et longitudinales | Rural et urbain | VT + LG |

Tableau 2. Principales opérations multisites analysées

Quand l'énergie du cours d'eau est faible, les ajustements longitudinaux sont marginaux. Pour des rivières où l'essentiel du transport se fait sous forme de matières en suspension, la réactivation du transfert de la charge de fond est très modeste et débouche rapidement sur un nouvel équilibre car la pente longitudinale faible s'ajuste localement en quelques années (Degoutte, 2012) et de ce point de vue les risques sont négligeables. Même sur des rivières comme la Ribble en Angleterre, la Touques en France ou la Perkiomen en Pennsylvanie, où le projet écologique est très avancé, les opérations de démantèlement sont encore isolées les unes des autres et les effets cumulés longitudinalement sont peu visibles. En revanche, la diminution de la hauteur de la lame d'eau dans le chenal amont contribue à dénoyer les berges qui sont dès lors susceptibles de glisser rapidement comme nous l'avons observé sur la totalité des sites observés. Lorsque les berges sont peu cohésives, comme le long de la Moine par exemple, l'érosion latérale s'accélère et demande une vigilance accrue du gestionnaire et des opérations d'entretien postérieures pour protéger les berges. Cette observation concerne également l'aval où l'énergie retrouvée peut donner lieu à des ajustements imprévus par les études préalables même pour des rivières où la puissance spécifique calculée est très faible, de l'ordre de 10 à 15 W.m⁻²

comme sur la Sienne. Sur ce cours d'eau, suite au démantèlement du moulin de Ver, le gain d'énergie même faible a abouti à une érosion accélérée caractérisée par un recul des berges de 1 à 1.5 m.an⁻¹ sur le tronçon situé à l'aval de l'ouvrage démantelé (Lespez *et al.*, 2015). L'ajustement est donc d'abord latéral. Néanmoins, certaines recherches conduites aux Etats-Unis suggèrent que le démantèlement d'ouvrage accélère l'incision et le déstockage des sédiments piégés dans les plaines alluviales (Walter et Merritts, 2008). Mais ces recherches ne font pas l'unanimité et il est aujourd'hui difficile de savoir si le démantèlement d'ouvrage seul peut aboutir à des conséquences géomorphologiques notables qui remettent en cause le modèle « Stable Bed Aggrading Banks » (Brown et Keough, 1992) qui a dominé de nombreuses rivières aménagées dans l'ouest de la France, en Angleterre et dans l'Est américain (Lespez *et al.*, 2015).

Dans les espaces ruraux des régions étudiées, la domination des opérations ponctuelles explique que l'émergence de la gestion écologique est rarement détectable dans les paysages de la plaine alluviale par les non-spécialistes. Cependant, au-delà de la reprise d'érosion latérale, la rivière est parsemée d'aménagements de petites dimensions comme les abreuvoirs clôturés et les pompes à nez pour limiter

la divagation du bétail dans le chenal, les bandes enherbées réglementaires quand la rivière s'écoule dans un espace de champs labourés qui caractérisent les fonds de vallées peu encaissés et cultivés des parties amont de nombreux bassins-versants ou les demi-hydrotubes et les passerelles en bois remplaçant progressivement les buses béton dans les têtes de bassin-versant (Figure 11). Ils sont les nouveaux motifs paysagers discrets mais récurrents d'une rivière progressivement désaménagée et réhabilitée par le projet écologique. Celui-ci marque progressivement son empreinte sur le paysage et atteste des changements en profondeur dans les raisons de la gestion de la rivière.

Les projets écologiques qui aboutissent à des opérations plus vastes et plus complètes (type 2 et 3) sont assez rares dans les espaces ruraux par rapport au type 1. Ils révèlent des transformations en profondeur qui permettent d'examiner les modèles à l'œuvre sur les linéaires restaurés. Dans les têtes de bassin-versant des Appalaches aussi bien en Caroline du Nord qu'en Pennsylvanie, on voit émerger des projets originaux et récurrents. Le démantèlement de nombreux barrages de tête de bassin-versant construits dans la deuxième partie du 20^{ème} siècle pour l'alimentation en eau engendre souvent une restauration complète du chenal pour diversifier les habitats et le reboisement complet de la plaine alluviale ou de la zone dénoyée comme nous l'avons observé pour le Birch Run Dam (Figure 7, Tableau 2), le Big Brown Dam ou encore le Siebert Dam en Pennsylvanie. Les deux premiers projets ont été mis en place pour des raisons de sécurité et de continuité piscicole en particulier pour l'omble des fontaines (Brook trout) protégé localement. Le projet d'arasement du Siebert Dam est lui un projet de compensation comme la plupart des projets de restauration de têtes de bassin-versant de Caroline du Nord (Doyle *et al.*, 2015). Il a été développé suite à des travaux routiers conduits par l'Etat de Pennsylvanie. Ces projets dessinent une nouvelle rivière en relation avec une réaffectation complète du fond de vallée. La petite taille des espaces évoqués, la maîtrise foncière et le coût de la remise en état apparaissent particulièrement attractifs pour les projets de compensation (Doyle *et al.*, 2015). La restauration de la rivière se traduit alors par un modèle régional dominant qui caractérise de nombreuses têtes de bassin-versant appalachiennes révélant à la fois le poids du contexte géographique et le rôle des moteurs écologiques

et du développement des mesures compensatoires dans le déclenchement des projets de restauration. Ce modèle de restauration qui s'accompagne d'une fermeture est bien différent de ce qui est le plus souvent promu en Europe. Ainsi dans le Massif Armoricaire ou dans les échines montagneuses anglaises des Pennines, par exemple, le maintien de paysages ouverts apparaît souvent comme un enjeu écologique majeur. Ainsi, après le démantèlement du barrage de Kernansquillec dans les Côtes d'Armor, le fond de vallée a été classé en Natura 2000 au titre des habitats des prairies humides et le nouveau gestionnaire a favorisé le développement d'activités pastorales sur les terrains dénoyés comme le long de la partie amont de la Ribble dans le nord de l'Angleterre. Néanmoins, les terrains dénoyés suite à la suppression du barrage de Pontécoulant sont aujourd'hui laissés à une dynamique spontanée qui conduira progressivement au reboisement alors que le démantèlement du Pine Run Dam en Pennsylvanie a favorisé le développement d'une restauration des prairies humides rivulaires. Les modèles dominants contradictoires observés dans les Appalaches, dans l'ouest de la France et au Royaume-Uni ne sont donc pas exclusifs. Ils montrent cependant que le poids des conditions locales, des modèles écologiques de référence et du contexte économique de la restauration peut conduire à la définition de modèles régionaux.

D. De nouvelles rivières urbaines ?

Dans les milieux périurbains ou urbains, le projet de restauration écologique est encore plus complexe à mener (Bernhardt et Palmer, 2007). Le cumul des enjeux va en général de pair avec la nécessité de garantir la multifonctionnalité des fonds de vallée. La maîtrise foncière est rarement acquise même si partout le classement de la plaine d'inondation en zone inondable impose des contraintes fortes à l'aménagement. D'un autre côté, la pression urbaine croissante confère à ces espaces aujourd'hui inconstructibles, en France par exemple, un potentiel original de maintien d'espaces ouverts face à l'étalement urbain. Enfin, le projet écologique est ici directement exposé à l'appréciation d'un public large. Les enjeux sociaux ne concernent plus seulement quelques riverains mais des populations plus nombreuses, plus diversifiées aux attentes plus difficiles à satisfaire. Le projet de restauration possède dès lors une ampleur financière et sociale supérieures. Bien sûr, les opérations ponctuelles

demeurent comme le montrent les exemples de la Raritan dans le New Jersey, du seuil de Padiham dans le nord de l'Angleterre (Figure 3) mais, bien souvent, les projets que nous avons observés situés en milieux urbains et périurbains relèvent souvent du 3^e type et proposent une véritable réaffectation du fond de vallée. D'ailleurs, le long de la Raritan, comme à Norristown Farm Park dans l'agglomération de Philadelphie, l'opération de restauration de la rivière vient s'ajouter et accompagner des projets écologiques existants de type Greenway (Raritan) ou Parcs d'agrément périurbains (Norristown). Dans les autres cas, le levier de départ est rarement écologique et correspond plus souvent à la lutte contre les inondations comme pour la Darby Creek (Philadelphie), la dégradation des milieux et les coûts de leur entretien comme pour le Vicoïn (Laval). Cependant, dans tous les cas le projet doit assumer l'accessibilité au public en même temps que la restauration d'une écologie de qualité. Cette nécessité implique que les projets relèvent souvent autant d'une restauration de fonctionnement ou de formes assumant une plus grande biodiversité que d'une reconfiguration du chenal et de la plaine alluviale devant également servir de base à une présentation de la Nature restaurée. Au-delà des aspects écologiques et d'accessibilité, le projet possède alors explicitement un volet paysager et esthétique qui est une des entrées par laquelle la réussite du projet va être évaluée. C'est le développement ou la réinterprétation des parcs urbains qui bordent les rivières comme le long de la Moine à Cholet, de la Trent à Newbury ou la Darby creek dans l'agglomération de Philadelphie. C'est plus généralement l'émergence des thématiques du « *Riverscape* » ou du « *River design* » qui s'imposent aujourd'hui dans la plupart des projets urbains (Prominski *et al.*, 2012). Dans ce cas, la multiplication des motifs environnementaux (eaux calmes, écoulements actifs, roselières, prairies humides, etc.) semble être la manifestation d'une volonté d'entretenir la biodiversité comme le long du Vicoïn (Laval).

Mais certains se demandent si l'écologie n'est pas qu'un prétexte pour satisfaire des attentes sociales qui sont d'une autre nature ou qui reposent sur une base erronée du bon fonctionnement écologique. Cockerill et Anderson (2014) affirment à propos des projets de restauration réalisés sur la Boon Creek qui traversent la petite ville de Boon en Caroline du Nord que « *The public wants to see "natural" conditions and they are told that restoration will*

generate those conditions. This potentially creates a barrier to protecting high quality streams because the perception of what such a stream looks like is skewed ». Dans ces projets, la production de nouvelles formes correspond également au développement de nouveaux motifs paysagers définis par la rencontre des naturalistes, des paysagistes et des urbanistes. Même développée par des partisans du projet écologique, la production des formes échappe en partie à l'écologie et à l'hydrogéomorphologie. Elle vise souvent à imiter une nature qui demeure souvent mal connue et largement réinterprétée. Les débats autour de l'essor de cette nouvelle esthétique environnementale se sont multipliés (Eliott, 1982 ; Blanc et Lolive, 2009 ; Fel, 2009). Nous ne rentrerons pas dans le détail de l'argumentation mais nous pouvons simplement souligner que la formation de ces nouvelles rivières urbaines obéit à une grammaire qui est clairement située dans le temps. Ainsi, par exemple, Prominski et ses collègues (2012) dans leur ouvrage consacré au design de la rivière proposent dans une première partie un « *Design Catalog* » qui présente des formes de berges et de promenades, de digues, de plaines d'inondation aménagées, de chenaux à partir d'exemples issus de retours d'expériences présentés partiellement dans une seconde partie. La symétrie de l'ouvrage avec les retours d'expérience de la restauration écologique (RRC, 2012 ; ONEMA, 2013) est remarquable. Cependant, les promoteurs du « *River Design* » proposent plus un catalogue de formes pour la rivière restaurée que d'unités fonctionnelles compatibles avec les espaces traversés par le cours d'eau même s'ils affirment la nécessité de les prendre en compte. La diffusion par de multiples canaux auprès des paysagistes et des urbanistes de ces formes constitue la première étape de la production d'archétypes. Ceux-ci peuvent se trouver aux différentes échelles du projet depuis, les formes majeures, celle du « *River Design* », jusqu'au mobilier urbain. Stimulée par l'économie de marché, la diffusion globale de modèles esthétiques, les projets de rivières périurbaines risquent de se standardiser. Il y a de fortes chances que les motifs préférentiels changent et que l'on soit capable de reconnaître la période d'élaboration des projets urbains et écologiques en fonction de leurs motifs écologiques et paysagers, des matériaux employés par le génie écologique et du mobilier urbain choisi. Comme toute composante du paysage urbain et même si le projet évoque la durabilité de la transformation, le chenal et la plaine alluviale

restaurés demeurent situés dans une trajectoire technique, scientifique et sociale.

E. Les formes de la restauration active, naissance d'un nouveau modèle ?

Quand il s'agit de redessiner le chenal (type 2) et de reconfigurer la plaine alluviale (type 3), le choix des formes est un enjeu majeur du projet. Il tient compte de la dynamique de la rivière (qui dans ces cas fait l'objet d'études précises aujourd'hui), des contraintes et du potentiel du site à restaurer mais également de choix dont les fondements sont plus complexes à déterminer. Que l'on tienne compte d'abord des dynamiques que l'on souhaite restaurer (Dufour et Piégay, 2009 ; Del Tanago, 2016) ou de l'état de référence que l'on souhaite retrouver ou créer (Rosgen, 1996), la rivière est redessinée. Comme sur la Ribble à Montford, la Druance à Pontécoulant, la Courtonne dans le Calvados, le Hofman Dam dans l'agglomération de Chicago, le Stony Creek Dam, le Big Brown Dam au cœur et des Appalaches et plus généralement dans la plupart des projets des types 2 et 3 observés, la sinuosité a été accentuée. L'opposition entre rive convexe d'accumulation, et rive concave raide plus ou moins disponible pour l'érosion selon les aménagements pratiqués (remodelage, enrochement) est souvent proposée comme à l'Enfernay sur l'Orne (Figure 4), sur la Darby Creek (Figure 6) et la Calder à Montford (Figure 5). En Caroline du Nord, où nous disposons de statistiques précises, les tronçons restaurés possèdent d'ailleurs une sinuosité supérieure aux tronçons non-restaurés (Doyle *et al.*, 2015). Ces observations attestent la diffusion d'un modèle, celui de la rivière à méandre comme l'a déjà souligné Kondolf (2006). Les raisons de la diffusion de ce modèle sont multiples. Elle résulte d'une réaction contre la rectification des cours d'eau, souvent accompagnée du rescindement de méandres, qui a été une des actions préférentielles de la dernière phase de l'aménagement de la rivière au cours du 19^{ème} et du 20^{ème} siècle. Par ailleurs, pour les rivières rurales étudiées en Angleterre, aux Etats-Unis et en France, les objectifs du projet de restauration sont largement dominés par les enjeux piscicoles et par la continuité longitudinale des milieux aquatiques mais également par la diversité des habitats au sein du chenal et sur ses marges (zones humides latérales) qui sont indispensables au développement des poissons migrateurs ou des espèces rhéophiles qui sont les cibles principales des projets. Cette diversité est

garantie par la variabilité de la morphologie et de la sédimentation du fond du chenal souvent évaluée par la présence de bancs graveleux mobiles au sein du chenal et par les interdistances radiers-mouilles. Or, les systèmes fluviaux méandriiformes ont la réputation d'auto-entretenir cette diversité. Enfin, lors des opérations de restauration, la référence au tracé de la rivière antérieur à l'aménagement est fréquente. C'est le cas par exemple dans l'ouest de la France, où la mise en place de l'équipement hydraulique correspond souvent à des systèmes en dérivation qui ont parfois cannibalisé le chenal principal. Dans ce cas, la remise en talweg prend souvent appui sur le lit antérieur dont la forme subsiste parfois au centre de la vallée mais qui est le plus souvent déduit de la lecture des cartes anciennes. Aux États-Unis, cette préférence trouve également sa source dans l'approche classificatrice des états de références développée dans le cadre du Natural Channel Design (Rosgen, 1996) qui domine la mise en forme de la rivière restaurée. Mais pour Kondolf (2006, p. 8) « *Besides the popularity of the Rosgen approach and its frequent specification of a meandering channel, there may be another reason that single-thread, meandering channels are so often the goal of channel reconstructions: an unacknowledged cultural preference for stable, meandering channels. This cultural bias may be the true driver of these river restoration decisions, even though the designs are usually presented as scientifically based* ». Cette surreprésentation de la rivière à méandre est donc l'expression d'une préférence esthétique et culturelle (Kondolf et Yang, 2008) tout comme l'a longtemps été le refus du bois mort par exemple (Piégay *et al.*, 2005 ; Le Lay *et al.*, 2008). Pour M. Kondolf (2006), elle trouve sa racine dans les théories paysagères de l'Angleterre du 18^{ème} siècle qui se matérialise par un art du jardin dont l'un des emblèmes est la *Serpentine*, plan d'eau allongé au dessin sinueux. Il nous semble pourtant que la source d'inspiration pourrait également se situer ailleurs. Dans tout le monde occidental, les manuels scolaires sont remplis de vues naïves qui présentent le cours d'eau comme sinueux s'écoulant au milieu de prairies permanentes longées par une ripisylve arbustive et arborée plus ou moins continue. L'archétype est peut-être également moins aristocratique et lointain, plus rural et modeste. Il prend en fait comme référence les rivières de faible énergie des plaines européennes dont nous savons que leurs tracés sont stables, maintenus par les actions des riverains sans doute depuis la fin

du Moyen-âge comme l'attestent les recherches de cartographie régressive (Downard et Skinner, 2005 ; Lespez *et al.*, 2015). Le dessin de la rivière choisi est sans doute également sous-tendu par un imaginaire qui trouve sa source dans des modèles artistiques et dans la rivière rurale aménagée héritée du 18^{ème} siècle et réinterprétée par un imaginaire contemporain marqué par les dégradations industrielles et urbaines de la rivière rectifiée et artificialisée. Cette réinterprétation qui peut s'expliquer du point de vue des objectifs de la restauration repose parfois sur des présupposés erronés sur la nature des paysages fluviaux naturels comme nous l'avons montré en Normandie (Lespez, 2012 ; Lespez *et al.*, 2013, 2015) et l'affirment Downard et Skinner (2005) à propos d'une petite rivière du Sud-ouest de l'Angleterre : « *In all cases stability has been achieved through periodic maintenance, so that while appearing 'naturalized', the channel macroform of the River Tillingbourne[...] is not 'natural'.* » Elle n'est pas nécessairement plus naturelle que la rivière rectiligne ou plus faiblement sinueuse et d'autres modèles de référence plus anciens pourraient également être mobilisés (Lespez *et al.*, 2013, 2015).

Plus largement, l'enquête conduite en Caroline du Nord (Doyle *et al.*, 2015) montre que la rivière restaurée possède des métriques spécifiques. Dans cet état de la façade atlantique des États-Unis, elle est plus large et plus homogène morphologiquement que les autres tronçons de cours d'eau. Ailleurs, les recherches manquent pour comparer les chenaux restaurés aux autres chenaux situés dans les mêmes conditions géographiques. Néanmoins, il est possible que les bases de données de type CARHYCE qui proposent des métriques pour les chenaux altérés et ceux qui ne le sont pas (Gob *et al.*, 2014) soient utilisées par certains gestionnaires comme une clé de détermination des paramètres morphologiques de la rivière qu'ils ont à reconfigurer plutôt que comme un outil pour comprendre la spécificité du cours d'eau concerné. L'utilisation abusive de ce travail risquerait alors de produire des normes et, comme aux États-Unis longtemps dominés par les approches classificatrices (Lave, 2012), d'encourager une vision normative de la rivière restaurée. Il est souhaitable qu'il soit au contraire utilisé pour révéler les spécificités du système fluvial étudié et les éventuelles dérives des projets de restauration à l'image du travail développé par Doyle et ses collègues (2015) en Caroline du Nord.

La critique que fait Kondolf (2006) au modèle dominant du cours d'eau sinueux à méandres s'étend en fait autant à la forme restituée qu'à la dynamique proposée. En effet, l'approche par les états de référence qui a souvent été promue aux États-Unis, s'accompagne d'une volonté de stabiliser le chenal restauré allant jusqu'à fixer les berges par des enrochements ou des travaux de génie écologique comme nous pouvons l'observer par exemple sur les rives concaves de la Darby creek protégées par une succession d'aménagements (Figure 6). Dans les faits, cette stabilité n'est pas le choix de l'hydrogéomorphologue qui dessine la rivière restaurée mais elle correspond le plus souvent à une demande sociale. Dans des sociétés où les riverains sont propriétaires des berges et responsables de leur gestion, la mobilité est une solution difficile à imposer même si d'un point de vue hydrosédimentaire et biologique elle est sans doute préférable. L'acquisition foncière est coûteuse et ne peut se décréter. De ce fait, dans la quasi-totalité des projets étudiés du type 2 et 3, les travaux de reconfiguration du chenal s'accompagnent d'un travail de fixation des berges y compris en domaine forestier comme nous l'avons observé dans les projets de démantèlement du Birch Run Dam, du Siebert Dam et du Big Brown Dam en Pennsylvanie (Figure 7, Tableau 1). Le long du cours restauré de l'Orne à l'Enfernay, dans le cadre d'une opération qui se veut exemplaire d'un point de vue écologique, le dessin de berges talutées, partiellement enrochées à certains endroits (Figure 4), a été choisi avec soin pour que les formes soient conservées durablement. Comme le montrent les études diachroniques, les systèmes fluviaux de faible énergie constituent de ce point de vue une chance pour le gestionnaire malgré le risque d'ajustement transitoire imprévu illustré par l'exemple évoqué plus haut du moulin de Ver sur la Sienna.

V. CONCLUSION

Le projet de restauration écologique de la rivière aménagée est multiple et complexe. C'est un projet social qui se développe dans un territoire et à ce titre, il possède des dimensions politiques, économiques et culturelles que nous avons commencé à analyser dans l'ouest de la France (Germaine et Barraud, 2013 a et b ; Germaine et Lespez, 2014 ; Lespez, 2012 ; Lespez *et al.*, 2013 ; 2015, sous-presses). La reconfiguration de la rivière

prend différentes formes et s'inscrit plus ou moins largement dans l'espace. L'étude comparative proposée montre qu'elle est dépendante de contextes géographiques et culturels différents mais partout dans le monde occidental, elle reconstruit la rivière et ses représentations. Cette rivière n'est pas qu'une rivière désaménagée, elle est souvent redessinée et propose d'autres formes paysagères, du motif élémentaire au projet urbain, qu'il convient d'analyser. L'écologie est aujourd'hui le levier principal de modifications qui sont encore localisées mais qui se diffusent rapidement. L'homogénéisation des objectifs de la gestion, la diffusion des techniques du génie écologique, de la perception des enjeux laisse penser que de nouveaux modèles sont en train de naître. Sauf dans quelques espaces (Doyle *et al.*, 2015), les données manquent encore aujourd'hui pour apprécier pleinement l'ampleur du changement. Elles manquent pour construire des études quantitatives qui apprécieraient les différences géomorphologiques entre la rivière restaurée et la rivière aménagée qui l'a précédée. Elles manquent pour comparer des espaces distants et des projets différents afin de mesurer la diffusion de modèles de représentation de différentes origines (techniques, scientifiques, esthétiques) et discuter l'hypothèse d'une standardisation des formes restaurées. En tous les cas, la rivière change et il nous semble que la rivière restaurée et reconfigurée par l'écologie mérite d'avoir sa géographie.

REMERCIEMENTS

Cet article a été effectué dans le cadre du programme ANR REPPAVAL (<http://reppaval.hypotheses.org/>) financé par l'Agence Nationale de la Recherche française (Resp. : R. Barraud et M.-A. Germaine).

NOTES

1. <http://www.eaufrance.fr/observer-et-evaluer/pressions-sur-les-milieux/alterations-hydromorphologiques/>
2. <http://www.americanrivers.org/>
3. <http://www.therrc.co.uk/>
4. <http://www.onema.fr>
5. <http://www.ecrr.org/>
6. <http://www.walphy.be/>
7. <http://www.caterbn.fr/>
8. Voir la vidéo « l'Orne renaît à l'Enfernay » (AESN,

2013) : http://www.dailymotion.com/video/x168ba1-restauration-de-cours-d-eau-le-barrage-de-l-enfernay-calvados_news

9. Comme l'effacement du Marmot Dam (14,3 m) sur la Sandy River dans l'Oregon en 2007, du Glines Canyon Dam (64 m) et de l'Elwah Dam (33 m) sur l'Elwah River dans l'État de Washington en 2011 ou encore du Condit Dam (38 m) sur la White Salmon River dans le même État en 2011.
10. Voir l'effacement du barrage Edwards (6 m de haut) sur la rivière Kennebec dans le Maine en 1999.
11. Syndicat Mixte du Val de Vire, Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Sélune et Syndicat Intercommunal d'Aménagement et d'Entretien de la Sienne dans la Manche ; Association de la vallée du Léguer dans les Côtes d'Armor ; Syndicat mixte des Vallées de la Moine et de la Sanguèze dans le Maine et Loire.
12. Programme ANR Jeunes Chercheurs (Resp. R. Barraud, Univ. Poitiers et M.-A. Germaine, Univ. Paris Ouest), voir ici : <http://reppaval.hypotheses.org/>
13. http://www.therrc.co.uk/sites/default/files/files/case_studies/montford_weir_2010.pdf
14. <http://www.americanrivers.org/initiative/dams/projects/darby-creek-restoration-project-pa/>
15. <http://www.nextsuccession.com/2015/09/conococheaguecreek.html>
16. <http://www.tu.org/conservation>
17. <http://www.americanrivers.org/initiative/grants/projects/american-rivers-and-noaa-community-based-restoration-program-river-grants-2/#sthash.IQA0VMix.dpuf>, consulté le 27/02/2016.
18. http://carmen.carmencarto.fr/66/ka_roe_current_metropole.map, consulté le 25 février 2016.
19. Désigne la forme migratrice de plusieurs espèces de salmonidés.
20. <http://www.therrc.co.uk/uk-projects-map>, consulté le 24 février 2016.
21. <https://historicengland.org.uk/listing/the-list/results?searchtype=nhle>, consulté le 14 avril 2016.
22. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Eviter-reduire-et-compenser-les,46019.html>

BIBLIOGRAPHIE

- Adam, P., Debiais, N. & Malavoi, J.-R. (2007). *Manuel de Restauration hydromorphologique des cours d'eau*. Nanterre : Agence de l'eau-Seine-Normandie.
- Amoros, C. & Petts, G.-E. (1993). *Hydrosystèmes fluviaux*. Paris : Masson, coll. d'écologie.
- Bernhardt, E. S. & Palmer, M. A. (2007). Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology*, 52(4), 738-751.
- Bernhardt, E. S. & Palmer, M.A. (2011). River restoration: the fuzzy logic of repairing reaches to reverse

- catchment scale degradation. *Ecological Applications*, 21, 1926-1931.
- Bernhardt, E. S., Palmer, M.A., Allan, J. D., Alexander, G., Barnas, K., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C., Follstad-Stah, J., Galat, D., Gloss, S., Goodwin, P., Meyer, J.L., O'Donnell, T. K., Pagano, L., Powell, B. & Sudduth, E. (2005). Synthesizing U.S. river restoration efforts. *Science*, 308, 636-637.
- Blanc, N. & Lolive, J. (2009). La restauration écologique: une nouvelle formation du monde? *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Boon, P. J. & Raven, P. J. (2012). *River conservation and management*. Chichester : Wiley-Blackwell.
- Bowman, M. B. (2002). Legal Perspectives on Dam Removal This article outlines the legal issues associated with dam removal and examines how environmental restoration activities such as dam removal fit into the existing US legal system. *BioScience*, 52(8), 739-747.
- Bravard, J.-P. & Petit, F. (1997). *Les cours d'eau, dynamique du système fluvial*. Paris : Armand Colin, Coll. U.
- Brierley, G. J. & Fryirs, K. A. (2005). *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Oxford : Blackwell.
- Brown, A.G. (1997). *Alluvial geoarchaeology*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Brown, A.G. & Keough, M.K. (1992). Palaeochannels and palaeoland surfaces: the geoarchaeological potential of some Midland (U.K.) floodplains. Dans: S. Needham et M. Macklin (Eds.), *Archaeology Under Alluvium* (85–196). Oxford : Oxbow.
- Brown, A.G., Toms, P., Carey, C. & Rhodes, E. (2013). Geomorphology of the Anthropocene: Time-transgressive discontinuities of human-induced alluviation. *Anthropocene*, 1, 3-13.
- Chocat, B. (dir.) (2013). *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Pourquoi ? Comment ?* Paris : ASTEE.
- Cockerill, K. & Anderson, W. P. (2014). Creating False Images: Stream Restoration in an Urban Setting. *Journal of the American Water Resources Association*, 50 (2), 468-482.
- Darby, S. & Sear, D. (2008). *River Restoration, Managing the Uncertainty in Restoring Physical Habitat*. Chichester : Wiley.
- Degoutte, G. (2012). *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières. Hydraulique et morphologie fluviales appliquées* (2^{ème} édition). Paris : Lavoisier, coll. Tec & Doc.
- del Tánago, M. G., Martínez-Fernández, V. & de Jalón, D. G. (2016). Diagnosing problems produced by flow regulation and other disturbances in Southern European Rivers: the Porma and Curueño Rivers (Duero Basin, NW Spain). *Aquatic Sciences*, 78(1), 121-133.
- Derville, I., Bonenfant, M., Royet, P., Lepetit, D. & Jigorel, A. (2001). Retour d'expérience du démantèlement du barrage de Kernansquillec. *Ingénieries-EAT*, 2001, n°25, 13-27.
- Downs, P.W. & Gregory, K.J. (2004). *River channel management, Towards Sustainable Catchment Hydrosystems*, London : Arnold.
- Downward, S. & Skinner, K. (2005). Working rivers: the geomorphological legacy of English freshwater mills. *Area*, 37, 138-147.
- Doyle, M. W., Singh, J., Lave, R. & Robertson, M. M. (2015). The morphology of streams restored for market and nonmarket purposes: Insights from a mixed natural-social science approach. *Water Resources Research*, 51(7), 5603-5622.
- Dufour, S. & Piégay, H. (2009). From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications*, 25, 568-581.
- Dutoit, T. (2014). Restauration écologique : quelles recherches mener pour agir non seulement pour, mais aussi par le vivant ? Dans : F. Rey, F. Gosselin et A. Doré (Ed.), *Ingénierie écologique. Action par et/ou pour le vivant ?* (83-98). Paris : Quae.
- Egan, D., Hjerpe, E.E. & Abrams, J. (Eds.) (2011). *Human dimensions of ecological restoration, Society for ecological restoration*. Washington DC : Island Press.
- Elliott, R. (1982). Faking Nature. *Inquiry*, 25, 81-93
- Fel, L. (2009). *L'esthétique verte : de la représentation à la présentation de la nature*. Paris : Champ Vallon.
- Fox, C., Sneddon, C. & Magilligan, F. (2016). You kill the dam, you are killing a part of me": the environmental politics of dam removal. *Geoforum*, 70, 93-104.
- Germaine, M.-A. (2011). Dépasser l'enjeu piscicole, vers la définition d'une gestion concertée du cours d'eau et de ses berges. L'exemple de la vallée de la Touques (Calvados). *Géocarrefour*, 86(3-4), 161-175.
- Germaine, M.-A. & Barraud, R. (2013b). Restauration écologique et processus de patrimonialisation des rivières dans l'ouest de la France. *VertigO*, Hors-série n°16 « Patrimonialiser la nature », <http://vertigo.revues.org/13583>.
- Germaine, M.-A. & Barraud, R. (2013a). Les rivières de l'ouest de la France sont-elles seulement des infrastructures naturelles ? Les modèles de gestion à l'épreuve de la directive-cadre sur l'eau. *Natures Sciences Sociétés*, 21(3), 373-384.
- Germaine, M.-A. & Lespez, L. (2014). Le démantèlement des barrages de la Sélune (Manche). Des réseaux d'acteurs au projet de territoire ? *Développement durable et territoires*, 5(3). <http://developpementdurable.revues.org/10525>.
- Germaine, M.-A., Lespez, L. & Cador, J.-M. (2012). Le poids des héritages dans la gestion durable des paysages des basses vallées côtières de l'ouest de la France. Dans : L. Lespez (dir.), *Paysages et gestion de l'eau : sept millénaires d'histoire des vallées en Normandie* (273-302). Caen : MRSH Caen, Bibliothèque du Pôle Rural 3.

- Giller, P.S. (2005). River restoration: seeking ecological standards. Editor's introduction. *Journal of Applied Ecology*, 42, 201-207.
- Gob, F., Bilodeau, C., Thommeret, N., Belliard, J., Albert, M.B., Tamisier, V., Baudoin, J.M. & Kreutzenberger, K. (2014). Un outil de caractérisation hydromorphologique des cours d'eau pour l'application de la DCE en France (CARHYCE). *Géomorphologie, relief, processus, environnement*, 1, 57-72.
- Grant, G. (2001). Dam removal: Panacea or Pandora for rivers? *Hydrological Processes*, 15(8), 1531-1532.
- Guillermé, A. (1983). *Les temps de l'eau : la cite, l'eau et les techniques, Nord de la France, fin IIIe siècle-début XIXe siècle*. Seyssel : Camp Wallon.
- Haase, P., Hering, D., Jähnig, S. C., Lorenz, A. W. & Sundermann, A. (2013). The impact of hydromorphological restoration on river ecological status: a comparison of fish, benthic invertebrates, and macrophytes. *Hydrobiologia*, 70 (1), 475-488.
- Holmes, N. T. (1998). The river restoration project and its demonstration sites. *Rehabilitation of Rivers: Principles and Implementation*, 148.
- Jähnig, S. C., Lorenz, A. W., Hering, D., Antons, C., Sundermann, A., Jedicke, E. & Haase, P. (2011). River restoration success: a question of perception. *Ecological Applications*, 21(6), 2007-2015.
- Kondolf, G. M. & Yang, C. N. (2008). Planning river restoration projects: social and cultural dimensions. Dans : D. Sear et S. Darby (dir.), *River restoration: managing the uncertainty in restoring physical habitat* (43-60). Chichester : Wiley.
- Kondolf, G. M. (2006). River restoration and meanders. *Ecology and Society*, 11(2), 42. <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art42/>
- Kondolf, M.G. (2012). The Espace de Liberte and restoration of fluvial process: when can the river restore itself and when must we intervene. Dans : S. Darby et D. Sear (Eds.), *River Restoration, Managing the Uncertainty in Restoring Physical Habitat* (225-241). Chichester: Wiley.
- Lave, R. (2012). *Fields and streams: Stream restoration, neoliberalism, and the future of environmental science*. Athens, GA : University of Georgia Press.
- Le Lay, Y. F., Piégay, H., Gregory, K., Chin, A., Dolédec, S., Elozegi, A., ... & Zawiejska, J. (2008). Variations in cross-cultural perception of riverscapes in relation to in-channel wood. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 33(2), 268-287.
- Lespez, L., Germaine M.-A. & Barraud R. (2016). L'évaluation par les services écosystémiques des rivières ordinaires est-elle durable ? *VertigO* (sous-presses).
- Lespez, L., Viel, V., Rollet, A.-J. & Delahaye, D. (2015). The anthropogenic nature of present-day low energy rivers in western France and implications for current restoration projects. *Geomorphology*, 251, 64-76.
- Lespez, L., Viel, V., Cador, J.-M., Germaine, M.-A., Germain-Vallée, C., Rollet, A.-J. & Delahaye, D. (2013). Environmental dynamics of small rivers in Normandy (western France) since the Neolithic era. What lessons for today in the context of the European Water Framework Directive? Dans : G. Arnaud-Fassetta, E. Masson et E. Reynard (Eds.), *European Continental hydrosystems under Changing water policy* (113-124). Munich : Pfeil.
- Lespez, L., Clet-Pellerin, M., Limondin-Lozouet, N., Pastre, J. F., Fontugne, M., & Marcigny, C. (2008). Fluvial system evolution and environmental changes during the Holocene in the Mue valley (Western France). *Geomorphology*, 98(1), 55-70.
- Lespez, L., Garnier, E., Cador, J.-M. & Rocard, D. (2005). Les aménagements hydrauliques et la dynamique des paysages des petits cours d'eau depuis le XVIIIe siècle dans le nord-ouest de la France : l'exemple du bassin versant de la Seulle (Calvados). Dans V. Serna (Ed.), *La rivière aménagée, entre héritages et modernité*, *Aestuarina*, 7, 89-109.
- Lespez, L. (dir.) (2012). *Paysages et gestion de l'eau : sept millénaires d'histoire des vallées en Normandie*. Caen : MRSH-Caen, Bibliothèque du Pôle Rural 3.
- Magilligan, F. J., Nislow, K. H., Kynard, B. E. & Hackman, A. M. (2016). Immediate changes in stream channel geomorphology, aquatic habitat, and fish assemblages following dam removal in a small upland catchment. *Geomorphology*, 252, 158-170.
- Manuel, J. J. (2009). An investigation of the recently drained Chambersburg reservoir in south-central Pennsylvania. *Middle Sates Geographer*, 42, 1-8.
- Melun, G., Arnaud-Fassetta, G., Fort, M., Chalaux, E., Delecluse, O., Fourel, S., Guesdon, L., Lucas, E. & Nieto, E., (2013). Hydromorphological impacts of continuity's restoration at the reach scale. Example of the Suzanne reach, tributary of the Yerres River, Seine catchment, France. In: Arnaud-Fassetta, G., Masson, E., Reynard, E. (Eds.), *European Continental Hydrosystems Under Changing Water Policy*. Friedrich Pfeil Verlag, München, 125-136.
- Miller, J. R. & Kochel, R. C. (2010). Assessment of channel dynamics, in-stream structures and post-project channel adjustments in North Carolina and its implications to effective stream restoration. *Environmental Earth Sciences*, 59(8), 1681-1692.
- Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (2002). *La renaissance d'une vallée – Démantèlement du barrage de Kernansquillec et réhabilitation du site*, Paris : stère de l'Environnement et du Développement Durable.
- Morandi, B., Piégay, H., Lamouroux, N. & Vaudor, L. (2014). How is success or failure in river restoration projects evaluated? Feedback from French restoration projects. *Journal of environmental management*, 137, 178-188.
- Morandi, B. & Piégay, H. (2011). Les restaurations de rivière sur Internet: premier bilan. *Natures Sciences Sociétés*, 19, 224-235.
- Notebaert, B. & Verstraeten, G. (2010). Sensitivity of West and Central European river systems to envi-

- ronmental changes during the Holocene: A review. *Earth-Science Reviews*, 103(3), 163-182.
- O'Connor, J.E., Duda, J.J. & Grant, G.E. (2015). 1000 dams down and counting. *Science*, 348, 496-497.
- ONEMA (2013). *La restauration des cours d'eau : recueil d'expériences sur l'hydromorphologie* (http://www.onema.fr/IMG/Hydromorphologie/recueil_hydro.pdf).
- Perrow, M. R., Skeate, E. R., Leeming, D., England, J. & Tomlinson, M. L. (2008). Uncertainty surrounding the ecological targets and response of river and stream restoration. *River Restoration: Managing the Uncertainty in Restoring Physical Habitat*. Wiley, 139-166.
- Piégay, H., Gregory, K. J., Bondarev, V., Chin, A., Dahlstrom, N., Elozegi, A. & Wyzga, B. (2005). Public perception as a barrier to introducing wood in rivers for restoration purposes. *Environmental Management*, 36(5), 665-674.
- Prominski, M., Stokman, A., Zeller, S., Stimberg, D. & Voermanek, H. (2012). *River. Space. Design. Planning strategies, methods and projects for urban rivers*, Birkhauser Verlag AG.
- Rinaldi, M., Gurnell, A. M., del Tánago, M. G., Bussetti, M. & Hendriks, D. (2016). Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration. *Aquatic Sciences*, 78(1), 17-33.
- Robinson, C. & Whitton, S. (2004). Fisheries action plans - A new approach to public consultation and the impetus for habitat enhancement works in the upper Thames catchment (England). *River Restoration 2004 - Principles, Processes, Practices. Proceedings of the 3rd ECRR International Conference on River Restoration in Europe* (315-323).
- Rosgen, D. L. (1996). *Applied River Morphology*. Pagosa Springs, CO: Wildland Hydrology Books.
- RRC (2002). *Practical river restoration appraisal guidance for monitoring options (PRAGMO)*. Cranfield: River Restoration Centre.
- RRC (2012). *Practical river restoration appraisal guidance for monitoring options (PRAGMO)*. Cranfield: River Restoration Centre. http://www.therrc.co.uk/PRAGMO/PRAGMO_2012-01-24.pdf
- RRC (2013). *The manual of River Restoration Technique*. Cranfield: River Restoration Centre. http://therrc.co.uk/MOT/Low-res/2013_Update_2.pdf
- Sear, D.A. & Arnell, N.W. (2006). The application of palaeohydrology in river management. *Catena*, 66, 169-183.
- Simaika, J. P., Stoll, S., Lorenz, A. W., Thomas, G., Sundermann, A. & Haase, P. (2015). Bundles of stream restoration measures and their effects on fish communities. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 55, 1-8.
- Taylor III, J. E. (2009). *Making salmon: An environmental history of the Northwest fisheries crisis*. Washington : University of Washington Press.
- Thomas, R. J., Constantine, J. A., Gough, P. & Fussell, B. (2015). Rapid Channel Widening Following Weir Removal due to Bed-Material Wave Dispersion on the River Monnow, Wales. *River Research and Applications*, 31(8), 1017-1027.
- Trimble, S. W. (2009). Fluvial processes, morphology and sediment budgets in the Coon Creek Basin, WI, USA, 1975-1993. *Geomorphology*, 108(1), 8-23.
- Walter, R.C. & Merritts, D.J. (2008). Natural Streams and the Legacy of Water-Powered Mills. *Science*, 319(5861), 299-304.
- Wheaton, J.M., Darby, S.E. & Sear D.A. (2008). The scope of uncertainties in river restoration. In S. Darby et D. Sear (dir.), *River Restoration, Managing the Uncertainty in Restoring Physical Habitat* (21-42). Chichester : Wiley.

Coordonnées des auteurs :

Laurent LESPEZ
 Université Paris Est
 Créteil Val de Marne
 LGP UMR 8591 CNRS
laurent.lespez@lgp.cnrs.fr

Marie-Anne GERMAINE
 Université Paris Ouest
 Nanterre La Défense
 LAVUE UMR 7218 CNRS
marie-anne.germaine@u-paris10.fr