

Adapter les infrastructures afin de réduire les risques pour les personnes et d'améliorer la connectivité pour les poissons et la faune

Alison A. Bowden and Sara E. Burns

Volume 143, Number 1, Winter 2019

Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques : de la recherche aux actions concrètes

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1054123ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1054123ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

1929-3208 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Bowden, A. A. & Burns, S. E. (2019). Adapter les infrastructures afin de réduire les risques pour les personnes et d'améliorer la connectivité pour les poissons et la faune. *Le Naturaliste canadien*, 143(1), 92–99.
<https://doi.org/10.7202/1054123ar>

Article abstract

Ninety-six percent of the U.S. population lives in a county that has experienced a federally declared, weather-related disaster in the last several years. A major threat to coasts and rivers is development in flood-prone areas. Road-stream crossing infrastructure sized and designed for past land uses, and often focused on the single objective of directing water under roads, exacerbates this threat. Natural and nature-based infrastructure such as floodplains and road-stream crossings that allow fluvial connectivity can provide flood resilience, and direct water under roads, while also providing multiple additional benefits, including fish and wildlife habitat. This article investigates the statewide stream crossing design standard changes in Massachusetts that emphasize a multi-objective approach (traditional infrastructure integrity and ecological connectivity) to flood risk management. Four key categories of enabling conditions are identified that can help mainstream the use of nature-based approaches to climate resilience: regulations, technical assistance and funding, monitoring, and community engagement. This article investigates how these enabling conditions played out in Massachusetts to influence the statewide design of road-stream crossings.

Adapter les infrastructures afin de réduire les risques pour les personnes et d'améliorer la connectivité pour les poissons et la faune

Alison A. Bowden et Sara E. Burns

Résumé

Aux États-Unis, 96 % de la population vit dans un comté qui a connu un événement météorologique déclaré catastrophe naturelle par le gouvernement fédéral au cours des dernières années. Le développement dans les zones inondables menace les côtes et les rivières. Cette menace est exacerbée par des ponceaux et autres infrastructures de franchissement de cours d'eau dimensionnés et conçus en fonction de l'utilisation préalable du territoire, souvent dans le seul objectif de diriger l'eau sous les routes. En revanche, les infrastructures naturelles ou inspirées par le fonctionnement de la nature (plaines inondables, passages de cours d'eau qui maintiennent la connectivité aquatique, etc.) peuvent être résilientes aux inondations et acheminer l'eau sous les routes, tout en offrant d'autres avantages, notamment pour la conservation des habitats du poisson et d'autres espèces fauniques. Au Massachusetts, les normes de conception des traverses de cours d'eau ont été changées en mettant l'accent sur une approche multi-objectifs de gestion des risques d'inondation (p. ex. intégrité de l'infrastructure existante, connectivité écologique). Quatre catégories de conditions-clés favorisent l'intégration d'approches basées sur la résilience climatique des milieux naturels : la réglementation; l'assistance technique et le financement; le suivi; et l'engagement communautaire. Nous présentons comment chacune a influencé la conception des passages aquatiques dans tout le Massachusetts.

MOTS-CLÉS : connectivité des habitats, espèces migratrices, inondations, infrastructures de transport, réduction de risques

Abstract

Ninety-six percent of the U.S. population lives in a county that has experienced a federally declared, weather-related disaster in the last several years. A major threat to coasts and rivers is development in flood-prone areas. Road-stream crossing infrastructure sized and designed for past land uses, and often focused on the single objective of directing water under roads, exacerbates this threat. Natural and nature-based infrastructure such as floodplains and road-stream crossings that allow fluvial connectivity can provide flood resilience, and direct water under roads, while also providing multiple additional benefits, including fish and wildlife habitat. This article investigates the statewide stream crossing design standard changes in Massachusetts that emphasize a multi-objective approach (traditional infrastructure integrity and ecological connectivity) to flood risk management. Four key categories of enabling conditions are identified that can help mainstream the use of nature-based approaches to climate resilience: regulations, technical assistance and funding, monitoring, and community engagement. This article investigates how these enabling conditions played out in Massachusetts to influence the statewide design of road-stream crossings.

KEYWORDS: flooding, habitat connectivity, migratory species, risk reduction, transportation infrastructure

Introduction

Les rivières sont des milieux naturellement dynamiques qui engendrent de l'érosion, transportent des sédiments et maintiennent la connectivité avec leurs plaines inondables. Le régime d'écoulement d'un cours d'eau est la « variable maîtresse » (Poff et collab., 1997) indispensable au maintien de l'habitat, du substrat, de la température, de la profondeur et de la vitesse de l'eau, des conditions biologiques et autres dont dépendent les espèces. Les routes ont souvent été construites le long des cours d'eau et elles peuvent croiser plusieurs fois la même rivière sur leur parcours. Les ouvrages de franchissement de cours d'eau trop petits ou mal placés peuvent altérer les processus aquatiques naturels (y compris l'écoulement), fragmenter les habitats aquatiques et riverains, et engendrer des risques économiques et de sécurité pour les populations (MassDER, 2015). Le nord-

est des États-Unis présente la plus forte densité de barrages et de traverses de cours d'eau par les routes au pays, avec une moyenne de 7 barrages (au sein de bassins versants de superficie $\geq 2,6 \text{ km}^2$) et de 106 structures de franchissement de cours d'eau par unité de 160 km de ruisseaux de tête, définis comme appartenant à des bassins versants de 2,6 à 100 km^2 de superficie (Anderson et Olivero Sheldon, 2011). Bien qu'ils soient incomplets, les inventaires d'ouvrages de

Alison A. Bowden est directrice de la conservation des rivières, milieux côtiers et océans pour The Nature Conservancy au Massachusetts, États-Unis.

abowden@tnc.org

Sara E. Burns est une scientifique spécialisée en ressource en eau pour The Nature Conservancy au Massachusetts, États-Unis.

sara.burns@tnc.org

franchissement de cours d'eau montrent que bon nombre de ces traverses représentent des obstacles écologiques (Warren et Pardew, 1998). Au Vermont, seulement 6 % des quelque 1500 ponceaux inventoriés étaient entièrement praticables pour les espèces aquatiques (VFWD, 2010). Nislow et collab. (2011) ont démontré que les sections de cours d'eau situées en amont de ponceaux infranchissables comptaient moins de la moitié du nombre d'espèces de poissons et moins de la moitié de l'abondance totale des poissons, comparativement aux segments de cours d'eau équipés de ponceaux praticables. De plus, de nombreuses espèces de mammifères, de reptiles et d'amphibiens utilisent les cours d'eau et les corridors riverains, y compris les rives ou berges, pour se déplacer (Forman et Alexander, 1998; Yanes et collab., 1995) (figure 1). Dans une étude réalisée au Vermont à partir de données collectées à l'aide de caméras à déclenchement automatique et qui porte sur la fréquence des déplacements de la faune sous les ponts et ponceaux, 573 franchissements de structures par une série de 13 espèces de mammifères ciblés ont été enregistrés aux 23 ponts et ponceaux suivis sous des routes très fréquentées (Marangelo et Farrell, 2016). Les ponts et les ponceaux conçus uniquement en fonction des aspects hydrauliques peuvent empêcher ces déplacements fauniques le long des corridors riverains.

Inondations et changements climatiques

En raison des modes de développement et des changements climatiques, les inondations (côtières, fluviales et pluviales) en Amérique du Nord deviennent de plus en plus fréquentes et coûteuses. Dans une analyse modélisée de la partie continentale contiguë des États-Unis, Wing et collab. (2018) ont constaté que 41 millions d'Américains sont exposés à des crues à récurrence de 100 ans, soit 28 millions de plus que les 13 millions estimés par le programme fédéral responsable de la cartographie des zones inondables. La même étude a révélé que les pertes moyennes découlant des inondations aux États-Unis avoisinent maintenant les 10 milliards \$ US par an. Bien que les projections associées aux changements climatiques soient exclues de l'analyse, l'étude a montré que le nombre d'Américains vivant dans la zone inondable à récurrence de 100 ans pourrait atteindre 120 millions d'ici 2100, et ce, uniquement sur la base des prévisions de développement. Lorsque cette pression de développement projetée est combinée au fait que le nord-est des États-Unis a connu une augmentation de 55 % des pluies intenses et une augmentation de 15 % des précipitations au cours des 50 dernières années (Wuebbles et collab., 2017), l'augmentation du risque d'exposition des personnes et des infrastructures aux inondations devient évidente. Les infrastructures existantes, conçues uniquement en fonction de considérations hydrauliques et de données passées sur l'ampleur et la fréquence des précipitations et des débits de cours d'eau, seront insuffisantes pour gérer l'augmentation des précipitations intenses déjà observée en Nouvelle-Angleterre (Douglas et Fairbank, 2011).



The Nature Conservancy



Figure 1. a) Un ours noir (*Ursus americanus*) se déplace sur la rive d'un ruisseau du New Hampshire; b) Un raton laveur (*Procyon lotor*) traverse un ponceau surélevé et sous-dimensionné sous une route du New Hampshire, à l'étiage.

Des solutions basées sur le fonctionnement de la nature

Les investissements fédéraux dans l'atténuation de l'impact des crues et le rétablissement à la suite des inondations ont augmenté régulièrement au cours des dernières décennies (Pew Charitable Trusts, 2018), mais il est peu probable qu'ils puissent suivre le rythme accéléré de cette problématique (Smith, 2018) à moins d'investissements majeurs de la part des États et des instances locales. Cette tendance va forcer les responsables publics et autres décideurs à déterminer comment déployer au mieux leurs ressources limitées pour assurer la résilience physique, sociale et économique à long terme de leurs communautés et de leurs infrastructures.

Les approches basées sur le fonctionnement de la nature pour réduire les risques comprennent un large éventail d'activités, qui prennent en compte le rôle des milieux naturels et utilisent explicitement leurs caractéristiques pour réduire les risques de catastrophes naturelles telles que les inondations, les tempêtes, les feux de forêt et les sécheresses.

Ces approches, souvent appelées « réduction écosystémique des risques de catastrophes » (Éco-RRC), sont définies comme l'ensemble formé par « la gestion durable, la conservation et la restauration des écosystèmes qui visent à réduire les risques de catastrophe dans le but de parvenir à un développement durable et résilient » (Estrella et Saalimaa, 2013). Les approches basées sur le fonctionnement de la nature peuvent donc être des façons plus rentables d'atteindre les objectifs de résilience écologique et sociétale (Narayan et collab., 2017).

De nombreux exemples de pratiques de gestion des rivières basées sur le fonctionnement de la nature sont en développement ou ont déjà été réalisés aux États-Unis et ailleurs dans le monde. Room for the River au Pays-Bas (Ruimte voor de rivier, 2006), l'espace de liberté des rivières au Québec (Biron et collab., 2014), les communautés River Smart de l'Université du Massachusetts (UMass Amherst, 2016) et le Guide de protection des corridors riverains du Vermont (Kline et Dolan, 2008) adoptent tous des approches de planification holistique prenant en compte les principes d'hydrogéomorphologie à l'échelle du paysage. Ils permettent ainsi la formation naturelle des méandres, l'écoulement naturel des eaux, ainsi que la connectivité écologique et une meilleure capacité de stockage des plaines inondables. Ces méthodologies sont instructives et importantes pour la protection et la restauration des écosystèmes aquatiques. Ce type de planification permet notamment de mieux gérer l'intersection des cours d'eau avec le réseau routier, et utilise une conception de ponceaux fondée sur le fonctionnement naturel des cours d'eau et des milieux riverains. Au Massachusetts, cette conception, appelée *River and Stream Continuity* (continuité des ruisseaux et rivières), constitue l'un des éléments de la planification basée sur les écosystèmes explorés dans cet article.

Quatre conditions essentielles ont favorisé l'adoption d'une approche fondée sur le fonctionnement de la nature pour la conception des traverses de cours d'eau au Massachusetts, soit : 1) la réglementation, 2) l'assistance technique et le financement, 3) le suivi, et 4) l'engagement communautaire. Nous explorerons ci-dessous des stratégies visant chacune d'elles.

Études de cas et leçons apprises au Massachusetts et en Nouvelle-Angleterre

Vingt ans d'évolution dans la conception des traverses de cours d'eau

Afin d'optimiser la connectivité aquatique dans la conception d'ouvrages de franchissement des cours d'eau, le Massachusetts a élaboré des lignes directrices sur la continuité des ruisseaux et rivières au début des années 2000, inspirées des bonnes pratiques pour le passage du poisson publiées en 1999 par le Fish and Wildlife Department de Washington (Bates et collab., 2003).

L'approche conceptuelle, appelée « conception par simulation de cours d'eau », reconnaît à la fois que les écosystèmes riverains et leurs plaines inondables dépendent de la variabilité naturelle du débit d'eau et que, du point de vue de la gestion des risques d'inondation, les crues liées aux

orages ou aux périodes naturelles des hautes eaux doivent se rendre quelque part. Le Service forestier des États-Unis a convoqué le Groupe de travail sur la conception par simulation de cours d'eau, qui comprenait un membre du Partenariat pour la continuité des rivières du Massachusetts, afin de rédiger un guide de conception détaillé pour maintenir la connectivité aquatique sous les ponts et dans les ponceaux (SSWG, 2008). Selon cette méthode, l'espace disponible dans le passage devrait : respecter les normes minimales d'ouverture, maintenir la diversité structurelle du lit et celle des matériaux inhérents au système aquatique existant, et intégrer les éléments naturels constituant les rives (tableau 1). Ces standards permettent le déplacement des espèces résidentes et migratrices dans un large éventail de conditions d'écoulement des eaux, mais aussi celui des espèces semi-aquatiques et des espèces terrestres de petite ou de moyenne taille. Une telle conception basée sur une plus grande ouverture et sur l'incorporation des berges naturelles permet de garantir, dans une certaine mesure, que la faune terrestre et la faune semi-aquatique, en particulier les espèces qui utilisent des corridors riverains de connectivité à l'échelle du paysage, puissent utiliser ces passages. Cela peut aussi augmenter la résilience des réseaux de transport aux inondations (Gillespie et collab., 2014).

Les normes et règlements relatifs à l'environnement et à la construction peuvent imposer le respect d'exigences techniques et de conception visant à normaliser les projets d'infrastructures (tels que la création ou la reconstruction de routes) afin que ceux-ci intègrent la restauration des écosystèmes et la réduction des risques d'inondation. Cette intégration d'éléments de conception basés sur le fonctionnement de la nature dans nos réglementations est un moyen d'encourager l'adoption de ces pratiques. Depuis 2005, l'obtention d'un permis général de l'U.S. Army Corps of Engineers pour le Massachusetts exige la conformité à une approche de simulation de cours d'eau pour toute nouvelle traverse de cours d'eau. Le permis général énonce les conditions et les activités autorisées pour plusieurs catégories de travaux. Les normes de franchissement des cours d'eau sont abordées dans les conditions du permis général relatives au dragage et au remblai des milieux humides. Le permis général actuel de l'U.S. Army Corps of Engineers, mis à jour en 2018 (USACE, 2018), exige que tous les ouvrages permanents de franchissement de cours d'eau (nouvelles constructions, remplacement et agrandissement de passages existants sur des cours d'eau non affectés par les marées) soient conçus et construits conformément au manuel de simulation de cours d'eau (SSWG, 2008). Les ouvrages à travée (et donc à fond ouvert) sont explicitement privilégiés.

Le *Massachusetts Wetlands Protection Act* régit les activités permises dans les milieux humides, les ruisseaux, les rivières et les fleuves, ou à proximité de ceux-ci. Les règlements associés (Mass DEP, 2014) exigent généralement une approche de maintien de la connectivité aquatique pour les traverses de cours d'eau, afin de disposer de plus d'espace pour les crues à l'intérieur de ces structures. Depuis

Tableau 1. Résumé des normes générales et optimales de franchissement des cours d'eau pour le Massachusetts (adapté de MARCP, 2011, avec autorisation). L'objectif de ces normes est d'assurer la connectivité aquatique ainsi que le passage des organismes aquatiques et de la faune.

	Normes générales	Normes optimales
Type de structure	Préférence pour structure à fond ouvert	Pont
Enrobage	Dans le cas de ponceaux, enrobage : <ul style="list-style-type: none"> • Minimum de 2 pi (0,61 m) pour tous les ponceaux, • Minimum de 2 pi (0,61 m) et d'au moins 25 % pour les ponceaux de type tuyau circulaire, • Quand le matériau d'enrobage comprend des éléments de diamètre > 15 po. (0,38 m), l'épaisseur d'enrobage devrait être d'au moins 2 fois le D_{84}* du matériau d'enrobage. 	N/A
Largeur de travée	Au moins 1,2 × largeur au débit de plein bord	Au moins 1,2 × largeur au débit de plein bord
Substrat	Identique au substrat naturel	Identique au substrat naturel
Profondeur et vitesse de l'eau	Identique à la profondeur et à la vitesse naturelle de l'eau pour une variété de débits	Identique à la profondeur et à la vitesse naturelle de l'eau pour une variété de débits
Ouverture et hauteur	<ul style="list-style-type: none"> • Ouverture: 0,82 pi • Hauteur: 0,25 m 	Conditions qui découragent la faune de passer par-dessus la route: <ul style="list-style-type: none"> • Ouverture: 2,46 pi (0,75 m) • Hauteur: 8 pi (2,4 m) Sinon: <ul style="list-style-type: none"> • Ouverture: 1,64 pi (0,5 m) • Hauteur: 6 pi (1,8 m)
Rives	<ul style="list-style-type: none"> • Des 2 côtés du cours d'eau • Identique au profil horizontal du cours d'eau existant et de ses rives • Construites de façon à ne pas empêcher l'utilisation par la faune riveraine 	<ul style="list-style-type: none"> • Des 2 côtés du cours d'eau • Identique au profil horizontal du cours d'eau existant et de ses rives • Construites de façon à ne pas empêcher l'utilisation par la faune riveraine • Dégagement suffisant pour la faune

* D_{84} désigne la largeur des particules au-dessus du 84^e percentile de la distribution (c'est-à-dire la taille des plus grosses roches dans le lit du cours d'eau).

2014, les nouveaux ouvrages doivent être conformes aux normes de franchissement de cours d'eau du Massachusetts (*Massachusetts Stream Crossing Standards*) (MARCP, 2011) qui préconisent la construction d'une travée d'au moins 1,2 fois la largeur au débit de plein bord, et la sélection d'un ouvrage à travée ou d'un ponceau enchâssé dont le dégagement minimal se situe au-dessus du haut de la rive. En ce qui concerne le remplacement des ponceaux, ces structures doivent également être conformes, dans la mesure du possible, aux normes de franchissement de cours d'eau du Massachusetts. Les meilleures options de conception pour y parvenir impliquent de choisir des ponts qui enjambent non seulement le cours d'eau, mais aussi une ou les deux rives de celui-ci, et permettent le passage à pied sec de la faune qui se déplace dans les bandes riveraines. Lorsque la structure se situe dans un secteur où les déplacements de la faune sont nombreux, ou qu'elle représente un obstacle physique à ces déplacements, elle devrait être dimensionnée de façon à permettre le passage de toutes les espèces concernées (hauteur minimale et indice d'ouverture). Des normes optimales sont recommandées pour les structures conçues pour les espèces fauniques terrestres et semi-aquatiques de grande taille (p. ex. la loutre de rivière, *Lontra canadensis*). Elles sont recommandées pour « [...] les zones revêtant une importance particulière à l'échelle de

l'État ou de la région pour leur contribution à la connectivité à l'échelle du paysage [...] » (Massachusetts Climate Adaptation Partnership, 2015). Le ministère des Transports du Massachusetts (MassDOT, 2010) a adopté un manuel de conception qui fournit des conseils sur les mesures de prise en compte de la faune sauvage pour les structures routières de franchissement de cours d'eau.

Assistance technique et financement

Fournir une assistance technique aux communautés et aux promoteurs de projets permet d'optimiser la planification « multi-objectifs », en leur donnant accès à une expertise en conception des projets pour garantir des résultats positifs. Les programmes de financement élaborés de façon à soutenir explicitement la planification et le développement de projets multi-objectifs, y compris la restauration des écosystèmes, ont été essentiels pour inciter les communautés à adopter des approches plus globales de réduction des risques d'inondation. L'approche « multi-objectifs » a l'avantage de rassembler différentes parties prenantes pour développer des projets qui répondent à des besoins multiples, et de mener à des solutions qui augmentent à la fois l'acceptation de la conception des projets et le soutien politique pour ceux-ci. Quant à elles,

les sources de financement à objectif unique encouragent les solutions à objectif unique qui ne répondent pas adéquatement aux besoins de la communauté ou du pays concerné.

La Division de la restauration écologique du Massachusetts gère le Programme de continuité des cours d'eau et fournit une assistance technique aux villes afin de les aider à respecter les normes, en plus d'offrir un programme de subventions aux instances municipales pour les secteurs présentant une grande intégrité écologique et des risques élevés de défaillance d'infrastructures. La phase 1 d'une étude sur les liens critiques couvrant tout l'État (McGarigal et collab., 2012) a ciblé les zones prioritaires pour des remplacements de ponceaux ou des réaménagements afin de permettre le passage des organismes aquatiques. Un outil interactif permet de superposer les 5 %, 10 % et 15 % des traverses présentant le plus grand potentiel de restauration, selon une estimation par modélisation réalisée à l'échelle du paysage (UMASS Amherst, 2017).

Dans le cadre d'un projet pilote précédant l'adoption d'un plan d'évaluation des vulnérabilités climatiques et de mesures d'adaptation à l'échelle de l'État, le ministère des Transports du Massachusetts (MassDOT, 2018) et l'Université du Massachusetts à Amherst ont lancé le projet d'évaluation de la vulnérabilité du bassin hydrographique de Deerfield River¹ afin de déterminer la vulnérabilité aux changements climatiques des structures de franchissement de ce cours d'eau au sein du bassin versant. Cette évaluation tient compte des analyses des risques de défaillance hydraulique et géomorphologique selon les conditions climatiques actuelles et futures, des effets potentiels sur les services d'urgence et des possibilités d'améliorer le passage des organismes aquatiques. L'équipe a créé un outil de priorisation et de décision destiné à la planification et de développement de projets du ministère des Transports. Cet outil facilitera une approche proactive de rénovation des structures vulnérables et fournira des recommandations pour un cadre d'évaluation de la vulnérabilité des structures de transport pouvant être appliqué de manière systématique et rentable au reste de l'État. Les cartes de projection climatique à échelle fine² pour l'ensemble de l'État constituent la première série de livrables complétés (MassDOT, 2017).

En septembre 2016, le gouverneur du Massachusetts, Charlie Baker, a signé le décret exécutif n° 569, obligeant le gouvernement de l'État à fournir une assistance technique aux municipalités pour mener à bien les évaluations sur la vulnérabilité aux changements climatiques et la planification appropriée vers la résilience. L'État fournit un financement communautaire pour compléter ces évaluations de vulnérabilité et élaborer des plans de résilience orientés vers l'action, en utilisant le Cadre de renforcement de la résilience des communautés³. Les communautés certifiées selon le

Programme de préparation aux vulnérabilités municipales (ou MVP, de l'anglais *Municipal Vulnerability Preparedness*) sont admissibles à des subventions et à d'autres avantages. En 2017, le programme a été financé à hauteur de 1 million \$ US et, en 2018, l'autorisation de cautionnement proposée pour le programme était de 50 millions \$ US.

Suivi

Le suivi des résultats des projets multi-objectifs est essentiel pour influencer la conception et les buts des projets futurs. En évaluant les effets des récentes tempêtes, quelques études ont révélé que les ponceaux conçus pour optimiser la connectivité aquatique étaient moins susceptibles d'être endommagés ou nécessitaient moins de réparations. Par exemple, en août 2011, près de 1000 ponceaux du Vermont ont cédé ou ont subi des dommages majeurs à la suite de la tempête tropicale Irène. De nombreuses routes ont été détruites, et 13 communautés ont été complètement isolées (Rose et Ash, 2013). Dans le même ordre d'idées, dans la ville de Hancock, dans l'État de New York, 3 inondations survenues de 1996 à 2005 ont endommagé un ponceau sous-dimensionné sur le ruisseau Big Hollow. Au cours de ces 9 années, le comté du Delaware a dépensé plus de 70 000 \$ US pour réparer les dommages causés à ce ponceau, à la route et aux fossés adjacents (Levine, 2013). En revanche, dans le Massachusetts, au Vermont et dans l'État de New York, des ponceaux rénovés ou remplacés selon l'approche de conception par simulation de cours d'eau pour améliorer la connectivité aquatique (SSWG, 2008) (figure 2), c'est-à-dire des passages conçus pour imiter le lit naturel du cours d'eau et permettre le déplacement des organismes aquatiques, ont tous résisté aux crues extrêmes engendrées par la tempête tropicale Irène et n'ont subi aucun dommage (Gillespie et collab., 2014).

Dans une étude se penchant sur un échantillon de 165 ponceaux situés dans 2 bassins versants de l'ouest de la Nouvelle-Angleterre où les structures ont cédé après le passage de la tempête tropicale Irène en 2011, le rapport entre la largeur des ponceaux et la largeur au débit de plein bord, ainsi qu'un index de capacité de franchissement des structures par les espèces aquatiques ont permis de prédire le risque de défaillance des ponceaux avec un degré de précision significatif (Jospe, 2013). Cette étude a montré qu'un ponceau ayant un rapport (largeur de ponceau/largeur au débit de plein bord) >1 était moins susceptible de céder qu'un autre pour lequel ce rapport est inférieur à 1. Divers facteurs déterminent la largeur de la structure nécessaire pour atteindre les objectifs du projet en fonction des conditions du site. Les différentes réglementations en place exigent un rapport >1,2. Bon nombre des structures existantes ont 50 ans ou plus; elles ont été conçues selon les utilisations antérieures du territoire et les conditions climatiques passées (Sutton-Grier et collab., 2018). Les avantages économiques de la construction de ponceaux adaptés aux poissons et aux risques d'inondations futures comprennent des coûts de réparation à long terme moins élevés ainsi qu'un évitement de coûts associés aux fermetures

1. https://www.mass.gov/info-details/climate-change-resiliency?_ga=2.210759248.490603461.1535242906-1582797150.1450817135#additional-resiliency-projects-underway

2. <http://gis.massdot.state.ma.us/cpws/>

3. <http://gis.massdot.state.ma.us/cpws/cebuiding.com/>



Massachusetts Department of Fish and Game



Figure 2. a) Un ponceau sur le ruisseau Bronson, au Massachusetts, qui n'a pas été conçu pour répondre aux normes optimales de franchissement des cours d'eau. Il représentait une barrière au passage des poissons et a cédé lors d'une forte pluie; b) La structure de remplacement a été conçue à l'aide de la méthode de simulation de cours d'eau: elle présente une grande ouverture par rapport à sa longueur, la largeur du passage est d'au moins 1,2 fois celle de la largeur au débit de plein bord, et le substrat correspond au lit naturel du cours d'eau. Cette structure a résisté aux inondations de la tempête tropicale Irène sans être endommagée.

de routes. En 2005, à Hancock, dans l'État de New York, un ponceau en béton à trois côtés avec fond naturel conçu pour résister à une tempête à récurrence de 100 ans a été installé au coût de 143 000 \$ US. Depuis, cette structure améliorée a résisté à 7 inondations officiellement reconnues par le gouvernement fédéral sans subir de dommage important (Levine, 2013). Les économies découlant de cette résilience sont fort probablement supérieures aux coûts initiaux. Au Wisconsin, Christiansen et collab. (2014) ont constaté que, dans environ la moitié des cas, la rénovation des ponceaux de conception écologique était plus rentable que l'entretien des ponceaux strictement

hydrauliques, et que les coûts initiaux de remplacement étaient rentabilisés par les bénéfices économiques réalisés au cours de la durée de vie de ces structures (durée de vie accrue, entretien réduit et meilleure résilience face aux inondations).

La Division de la restauration écologique du Massachusetts a réalisé une étude de retour sur l'investissement de projets de restauration aquatique qui incluent des améliorations de ponceaux, sans s'y limiter (MassDER, 2015). Les dépenses du projet (ingénierie, construction, approvisionnement et élimination des matériaux, gestion de projet) ont été comparées, en tenant compte du rendement économique, y compris les retombées économiques directes, indirectes et induites (sur la base du rendement pour l'État qui comprend les revenus d'emploi, les revenus de taxes et les demandes d'emploi). L'étude a révélé que pour chaque million de dollars consacré à la restauration aquatique, 12,5 emplois ont été soutenus et 1,75 million \$ US a été économisé.

Engagement des communautés

Un engagement communautaire authentique et efficace est nécessaire pour garantir que les projets en développement répondent aux besoins et aux priorités des citoyens et des autres parties prenantes. En développant des approches qui répondent aux multiples besoins des communautés, les projets sont non seulement mieux acceptés, mais ils sont assortis du soutien politique nécessaire pour obtenir du financement et les voir se réaliser.

Dans le sud-est du Massachusetts, The Nature Conservancy et une agence de planification régionale ont collaboré pour déterminer les principaux sites du réseau de transport où la connectivité aquatique et le bien-être du public étaient affectés par les structures existantes. Ces sites ont été inclus dans le plan de transport régional en tant que priorités pour des travaux d'amélioration (SMMPO, 2012). Dans la même région, le Réseau résilient du bassin versant de la rivière Taunton a été lancé en 2012 grâce à une subvention du Programme de bassins versants de l'Agence américaine de protection de l'environnement. Ce réseau comprend maintenant plus de 20 partenaires actifs et travaille étroitement avec les municipalités et autres acteurs, pour augmenter l'utilisation d'approches basées sur le fonctionnement de la nature afin d'améliorer la résilience climatique, notamment en réalisant des études de terrain sur les structures de franchissement de cours d'eau à travers le bassin versant (Chapman et collab., 2017).

Discussion

Les projets ci-dessus illustrent la façon dont certaines conditions favorables ont pu faciliter l'adoption d'une approche basée sur le fonctionnement de la nature pour la conception des traverses de cours d'eau au Massachusetts. Cette gestion basée sur l'écosystème peut avantageusement réduire les risques d'inondation et améliorer la durabilité des écosystèmes. Pourtant, les approches Éco-RRC ne sont pas systématiquement prises en compte ou intégrées aux efforts de gestion des

risques d'inondation. Nous proposons ici qu'en modélisant des stratégies basées sur le fonctionnement de la nature pour une planification multi-objectifs, plus d'approches basées sur le fonctionnement de la nature puissent être incorporées aux normes et pratiques des projets à l'échelle des États.

Le suivi de projets répondant aux attentes de plusieurs publics peut contribuer à renforcer les efforts de sensibilisation des communautés ainsi qu'à augmenter la probabilité que les réglementations actuelles soient modifiées. Si les grandes catégories de personnes à influencer pour augmenter les chances de succès des approches basées sur le fonctionnement de la nature sont considérées, le suivi des projets peut être adapté afin de mesurer les changements dans les populations de poissons, la diminution des coûts d'entretien, le nombre d'emplois soutenus et les services de résilience fournis. Ces informations peuvent être utilisées dans tous les secteurs clés cités ci-dessus pour influencer les décideurs au sujet des modifications réglementaires, pour guider l'assistance technique et les priorités de financement, et pour engager un dialogue positif avec les parties prenantes en vue de la progression des projets.

Conclusion

Les élus locaux et les décideurs, les compagnies du secteur privé ayant d'importants investissements dans les infrastructures, de même que les agences étatiques et fédérales ont de plus en plus besoin de gérer les effets des inondations. Toutefois, les incitatifs et les règles régissant leurs stratégies varient considérablement. Pour que les solutions naturelles aux inondations et les approches basées sur le fonctionnement de la nature deviennent un outil répandu de réduction des risques d'inondation et contribuent à renforcer la résilience des communautés, il faut développer des structures de gouvernance appropriées. Par ailleurs, les aspects réglementaires, économiques et sociaux qui influencent la prise de décision concernant l'adaptation au climat et la préparation aux inondations doivent être réalignés. En préparant la voie à une adoption généralisée de ces stratégies et idées, on contribuera à atteindre un point de bascule vers leur adoption systématique. Pour atteindre ce point de bascule, il faudra tirer des leçons des résultats des programmes de suivi et les incorporer aux futurs travaux, tout en considérant les sources de motivation clés pour les développeurs, les exécutants et les utilisateurs finaux, et en mettant l'accent sur les activités d'éducation et de sensibilisation. En utilisant des approches basées sur le fonctionnement de la nature et en encourageant la planification à partir d'un cadre multi-objectifs, des projets réussis et rentables de résilience climatique et de réduction de risques peuvent être mis en œuvre pour protéger les poissons, les habitats aquatiques et les processus écologiques.

Remerciements

Merci aux réviseurs anonymes, à Caroline Daguet pour la traduction du texte vers le français et à l'équipe du *Naturaliste canadien* pour leur contribution à améliorer ce manuscrit. ◀

Références

- ANDERSON, M.G. et A. OLIVERO SHELTON, 2011. Conservation status of fish, wildlife, and natural habitats in the Northeast landscape: implementation of the Northeast monitoring framework. The Nature Conservancy, Eastern Conservation Science, Boston, MA, 289 p.
- BATES, K., R. BARNARD, B. HEINER, P. KLAVAS et P. POWERS, 2003. Design of road culverts for fish passage. Washington Department of Fish and Wildlife, Habitat and Lands Program, Environmental Engineering Division, Olympia, WA. Disponible en ligne à : <https://wdfw.wa.gov/publications/00049/>. [Visité le 2018-08-24].
- BIRON, P.M., T. BUFFIN-BÉLANGER, M. LAROCQUE, G. CHONÉ, C.A. CLOUTIER, M.A. OUELLET, S. DEMERS, T. OLSEN, C. DESJARLAIS et J. EYQUEM, 2014. Freedom space for rivers: a sustainable management approach to enhance river resilience. *Environmental Management*, 54 (5): 1056-1073.
- CHAPMAN, P., E.H. RICCI et C. WISEMAN, 2017. Stream continuity assessment in the Taunton watershed. Disponible en ligne à : https://www.massaudubon.org/content/download/21247/297320/file/Taunton-Stream-Continuity-Report_June-2017.pdf. [Visité le 2018-03-16].
- CHRISTIANSEN, C., A. FILER, M. LANDI, E. O'SHAUGHNESSY, M. PALMER et T. SCHWARTZ, 2014. Cost-benefit analysis of stream-simulation culverts. Disponible en ligne à : <http://www.lafollette.wisc.edu/images/publications/cba/2014-culvert.pdf>. [Visité le 2018-07-06].
- DOUGLAS, E. et C. FAIRBANK, 2011. Is precipitation in New England becoming more extreme? A statistical analysis of extreme rainfall in Massachusetts, New Hampshire, and Maine and updated estimates of the 100-year storm. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16: 203-217.
- ESTRELLA, M. et N. SAALISMAA, 2013. Ecosystem-based disaster risk reduction (Eco-DRR): An overview. Dans: RENAUD, F.G., K. SUDMEIER-RIEUX et M. ESTRELLA (édit.). *The role of ecosystems in disaster risk reduction*. UNU Press, Tokyo, p. 26-54.
- FORMAN, R.T. et L.E. ALEXANDER, 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 207-231.
- GILLESPIE, N., A. UNTHANK, L. CAMPBELL, P. ANDERSON, R. GUBERNICK, M. WEINHOLD, D. CENDERELLI, B. AUSTIN, D. MCKINLEY, S. WELLS, J. ROWAN, C. ORVIS, M. HUDY, A. BOWDEN, A. SINGLER, E. FRETZ, J. LEVINE et R. KIRN, 2014. Flood effects on road-stream crossing infrastructure: economic and ecological benefits of stream simulation designs. *Fisheries*, 39: 62-76.
- JOSPE, A.C., 2013. Aquatic barrier prioritization in New England under climate change scenarios using fish habitat quantity, thermal habitat quality, aquatic organism passage, and infrastructure sustainability. Mémoire de maîtrise, University of Massachusetts, Amherst, 85 p. Disponible en ligne à : <https://scholarworks.umass.edu/theses/1129>.
- KLING, M. et K. DOLAN, 2008. Vermont Agency of Natural Resources river corridor protection guide. Vermont Agency of Natural Resources, River Management Program, 23 p. Disponible en ligne à : http://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/rivers/docs/rv_RiverCorridorProtectionGuide.pdf. [Visité le 2018-07-06].
- LEVINE, J., 2013. An economic analysis of improved road stream crossings. The Nature Conservancy, Keene Valley, New York, 70 p. Disponible en ligne à : <https://www.nature.org/ourinitiatives/regions/northamerica/road-stream-crossing-economic-analysis.pdf>. [Visité le 2018-07-06].
- MARANGELO, P. et L. FARRELL, 2016. Reducing wildlife mortality on roads in Vermont: documenting wildlife movement near bridges and culverts to improve related conservation investments. 95 p. Disponible en ligne à : https://www.researchgate.net/profile/Paul_Marangelo/publication/322580866_Reducing_Wildlife_Mortality_on_Roads_in_Vermont_Documenting_Wildlife_Movement_near_Bridges_and_Culverts_to_Improve_Related_Conservation_Investments/links/5a60e766aca2723281057405/Reducing-Wildlife-Mortality-on-Roads-in-Vermont-Documenting-Wildlife-Movement-near-Bridges-and-Culverts-to-Improve-Related-Conservation-Investments.pdf. [Visité le 2018-07-05].

- [MARCP] MASSACHUSETTS RIVER CONTINUITY PARTNERSHIP, 2011. Massachusetts river and stream crossing standards. 28 p. Disponible en ligne à : http://www.nae.usace.army.mil/Portals/74/docs/regulatory/StreamRiverContinuity/MA_RiverStreamCrossingStandards.pdf. [Visité le 2018-07-06].
- MASSACHUSETTS CLIMATE ADAPTATION PARTNERSHIP, 2015. Massachusetts wildlife climate action tool. Disponible en ligne à : <https://climateactiontool.org/content/maintain-habitat-connectivity-modify-stream-crossings-allow-wildlife-passage>. [Visité le 2018-07-05].
- [MassDEP] MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2014. 310 CMR 10.00: Wetlands protection. Disponible en ligne à : <https://www.mass.gov/files/documents/2016/08/vy/310cmr10a.pdf>. [Visité le 2018-03-16].
- [MassDER] MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF FISH & GAME, Division of Ecological Restoration, 2015. Economic benefits from aquatic ecological restoration projects in Massachusetts. Préparé par: Industrial Economics, Incorporated. Disponible en ligne à : <https://www.mass.gov/files/documents/2016/08/wi/summary-of-der-economic-benefits-studies-all-phases.pdf>. [Visité le 2018-03-16].
- [MassDOT] MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2010. Design of bridges and culverts for wildlife passage at freshwater streams. Disponible en ligne à : <http://www.massdot.state.ma.us/Portals/8/docs/environmental/wetlands/WildlifePassagesBridgeDesign122710.pdf>. [Visité le 2018-07-05].
- [MassDOT] MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2017. Future projections for a changing climate. Disponible en ligne à : <http://gis.massdot.state.ma.us/cpws/>. [Visité le 2018-03-16].
- [MassDOT] MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2018. Deerfield watershed vulnerability assessment. Disponible en ligne à : <http://www.massdot.state.ma.us/highway/Departments/EnvironmentalServices/EMSSustainabilityUnit/ClimateChangeResiliency/DeerfieldRiverWatershedVulnerabilityAssessment.aspx>. [Visité le 2018-03-16].
- MCGARIGAL, K., B.W. COMPTON, S.D. JACKSON, E. PLUNKETT et E. ENE, 2012. Critical linkages phase 1: assessing connectivity restoration potential for culvert replacement, dam removal and construction of wildlife passage structures in Massachusetts. Disponible en ligne à : <http://www.umasscaps.org/pdf/Critical-Linkages-Phase-1-Report-Final.pdf>. [Visité le 2018-03-16].
- NARAYAN, S., M.W. BECK, P. WILSON, C.J. THOMAS, A. GUERRERO, C.C. SHEPHARD, B.G. REGUERO, G. FRANCO, J.C. INGRAM et D. TRESPALACIOS, 2017. The value of coastal wetlands for flood damage reduction in the Northeastern USA. *Nature: Scientific Reports*, 7: 9463. doi:10.1038/s41598-017-09269-z 12.
- NISLOW, K.H., M. HUDY, B.H. LETCHER et E.P. SMITH, 2011. Variation in local abundance and species richness of stream fishes in relation to dispersal barriers: implications for management and conservation. *Freshwater Biology*, 56: 2135-2144.
- PEW CHARITABLE TRUSTS, 2018. What we don't know about state spending on natural disasters could cost us. Disponible en ligne à : <http://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/reports/2018/06/19/what-we-dont-know-about-state-spending-on-natural-disasters-could-cost-us#0-overview>. [Visité le 2018-03-16].
- POFF, N.L., J.D. ALLAN, M.B. BAIN, J.R. KARR, K.L. PRESTEGAARD, B.D. RICHTER, R.E. SPARKS et J.C. STROMBERG, 1997. The natural flow regime. *BioScience*, 47 (11): 769-784.
- ROSE, B. et K. ASH, 2013. Irene: Reflections on weathering the storm. Irene Recovery Office, State of Vermont. Disponible en ligne à : <http://www.vermontdisasterrecovery.com/sites/www.vermontdisasterrecovery.com/themes/vdr/uploads/pdfs/2013-IRO-final-report.pdf>. [Visité le 2018-03-15].
- RUIJME VOOR DE RIVIER, 2006. Room for the river for a safer and more attractive river landscape. Disponible en ligne à : <https://www.ruimtevoorderivier.nl/about-us/>. [Visité le 2018-07-06].
- SMITH, A.B., 2018. 2017 U.S. billion-dollar weather and climate disasters: a historic year in context. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Disponible en ligne à : <https://www.climate.gov/news-features/blogs/beyond-data/2017-us-billion-dollar-weather-and-climate-disasters-historic-year>. [Visité le 2018-08-02].
- [SMMPO] SOUTHEASTERN MASSACHUSETTS METROPOLITAN PLANNING ORGANIZATION, 2012. Environmental coordination and climate change. Dans: 2012 Regional transportation plan. SMMPO, Taunton, Massachusetts, p. 16-16-7. Disponible en ligne à : http://www.srpedd.org/manager/external/ckfinder/userfiles/files/Transportation/Regional%20Transportation%20Plan/full_tplan2012.pdf. [Visité le 2014-01-10].
- [SSWG] STREAM SIMULATION WORKING GROUP, 2008. Stream simulation: an ecological approach to designing road-stream crossings. San Dimas Technological Development Center, San Dimas, California. Disponible en ligne à : https://www.fs.fed.us/eng/pubs/pdf/StreamSimulation/hi_res/%20FullDoc.pdf. [Visité le 2018-03-16].
- SUTTON-GRIER, A.E., R.K. GITTMAN, K.K. ARKEMA, R.O. BENNETT, J. BENOIT, S. BLITCH, K.A. BURKS-COPES, A. COLDEN, A. DAUSMAN, B.M. DEANGELIS et A.R. HUGHES, 2018. Investing in natural and nature-based infrastructure: building better along our coasts. *Sustainability*, 10 (2): 523.
- [UMASS Amherst] UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS AMHERST, 2016. RiverSmart Communities. Disponible en ligne à : <https://extension.umass.edu/riversmart/>. [Visité le 2018-07-06].
- [UMASS Amherst] UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS AMHERST, 2017. Massachusetts wildlife climate action tool. Disponible en ligne à : <https://climateactiontool.org/content/maintain-habitat-connectivity-retrofit-or-replace-culverts>. [Visité le 2018-03-16].
- [USACE] UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS NEW ENGLAND DISTRICT, 2018. Department of the Army General Permits for Massachusetts. Disponible en ligne à : <http://www.nae.usace.army.mil/Portals/74/docs/regulatory/StateGeneralPermits/MA/PN-GPFinal-April2018.pdf?ver=2018-05-09-094151-567>. [Visité le 2018-07-06].
- [VFWD] VERMONT FISH AND WILDLIFE DEPARTMENT, 2010. Vermont stream crossing handbook. Disponible en ligne à : <https://vtfishandwildlife.hosted.civillive.com/common/pages/DisplayFile.aspx?itemId=111508>. [Visité le 2018-03-16].
- WARREN Jr., M.L. et M.G. PARDEW, 1998. Road crossings as barriers to small stream fish movement. *Transactions of the American Fisheries Society*, 127 (4): 637-644.
- WING, O.E., P.D. BATES, A.M. SMITH, C.C. SAMPSON, K.A. JOHNSON, J. FARGIONE et P. MOREFIELD, 2018. Estimates of present and future flood risk in the conterminous United States. *Environmental Research Letters*, 13 (3): 034023.
- WUEBBLES, D.J., D.W. FAHEY, K.A. HIBBARD, B. DEANGELO, S. DOHERTY, K. HAYHOE, R. HORTON, J.P. KOSSIN, P.C. TAYLOR, A.M. WAPLE et C.P. WEAVER, 2017. Executive summary. Dans: WUEBBLES, D.J., D.W. FAHEY, K.A. HIBBARD, D.J. DOKKEN, B.C. STEWART et T.K. MAYCOCK (édit.). *Climate science special report: Fourth national climate assessment, volume I*. U.S. Global Change Research Program, p. 12-34. doi:10.7930/J0DJ5CTG.
- YANES, M., J.M. VELASCO et F. SUÁREZ. 1995. Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts. *Biological Conservation*, 71(3): 217-222.