

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LE CASTOR : UN PAYSAGISTE À POTENTIEL DE CONFLIT

ESSAI

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR

CHARLINE TIJOU

MARS 2024

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce document diplômant se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév. 12-2023). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

Table des matières

LISTE DES FIGURES	iii
LISTE DES TABLEAUX	iv
RÉSUMÉ	v
Introduction	1
1. Le castor : une espèce ingénieuse	3
2. La zoo géomorphologie : une discipline émergente	10
3. Impacts du castor	11
3.1 Comportement et construction de barrages	11
3.2 Changements hydrogéomorphologiques	14
3.2.1 Ralentissement du débit de l'eau et création de zones humides.....	14
3.2.2 Création de canaux.....	18
3.2.3 Un nouvel espace de liberté.....	19
3.3 Sédimentologie et qualité de l'eau	20
3.4 Biogéomorphologie, biodiversité et écologie	22
3.4.1 Création d'étang.....	22
3.4.2 Augmentation de la diversité dans l'habitat riverain	24
3.4.3 Changements dans la masse racinaire	26
4. Portrait des incidents liés à la rupture de barrages de castors	27
4.1. Objectifs de la revue de presse et méthodologie	29
4.2. Historique des accidents au Québec	30
4.3. Analyse de la revue de presse	35
5. Solutions pour une meilleure cohabitation	38
6. Discussion et conclusion	42
BIBLIOGRAPHIE	44

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aire de répartition historique du castor canadensis.....	4
Figure 2 : Aire de répartition native et non-native du castor canadensis.....	5
Figure 3 : Le castor sur ses deux pattes arrières, coupant un arbre.	8
Figure 4 : Nombre d'études réalisées sur les castors selon les biomes et sur différents aspects : A) répartition des espèces, B) morphologie du cours d'eau, C) hydrologie, D) chimie de l'eau, E) biote aquatique et F) habitat.....	9
Figure 5 : Hutte de castor sur un lac en Gaspésie.....	12
Figure 6 : Le plus long barrage de castor au monde.....	13
Figure 7 : Processus de création d'un étang et de zones humides.....	15
Figure 8 : Diversité des canaux selon la pente de la vallée.	18
Figure 9 : Espace de liberté de la rivière.	19
Figure 10 : Stockage et flux des sédiments dans un système barrage-étang.	20
Figure 11 : Ordre des cours d'eau dans un bassin versant selon la classification de Horton (Moussa, 2009).....	21
Figure 12 : Diversité écologique à la suite de la construction d'un barrage de castor.	23
Figure 13 : Différentes inondations possibles dans un système barrage-étang.....	28
Figure 14 : Répartition géographique des accidents recensés liés à la rupture.	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Impacts des barrages de castors selon la littérature scientifique.....	16
Tableau 2 : Liste chronologique des accidents ayant eu lieu au Québec à la suite d'une rupture de barrage de castors.	33

RÉSUMÉ

Espèce ingénieuse réputée pour ses constructions remarquables, le *castor canadensis* fait partie de l'imaginaire canadien. À travers les fables et légendes autochtones, ou encore pour sa fourrure prisée il y a plusieurs siècles, il est devenu le symbole du deuxième plus grand pays du monde. La trappe par les coureurs des bois et la destruction subséquente de son habitat naturel l'ont cependant amené proche de l'extinction. C'est toutefois après un changement de mode vestimentaire et une prise de conscience environnementale que le *castor canadensis* est de retour en abondance sur son territoire d'origine. Architecte de la nature, il génère des impacts significatifs par la construction de barrages ; transformant ainsi les paysages mais aussi tout le fonctionnement des écosystèmes à proximité. Il arrive néanmoins parfois que la cohabitation territoriale avec les humains devienne difficile.

Dans cette perspective, l'objectif de cet essai consiste à recenser les différents impacts que peuvent avoir les barrages de castors et ce, tant de manière positive que négative. Les risques liés aux changements provoqués par ces constructions ainsi que les solutions pour y remédier seront décrits et analysés. L'hypothèse sous-jacente est que les castors et leurs ouvrages ne constituent pas un enjeu majeur pour les sociétés humaines car ils font partie du cycle naturel de l'évolution des écosystèmes dans le temps, bien qu'ils puissent à l'occasion causer des dégâts matériels en l'absence de mesures de prévention pour une meilleure gestion des territoires concernés. Les castors et les humains pourraient donc vraisemblablement mieux cohabiter ensemble, comme cela a été le cas pendant longtemps au cours des siècles derniers, voire des millénaires.

Afin de procéder, une revue de la littérature scientifique a été réalisée d'une part, pour en savoir davantage sur le castor, son mode de vie, sa répartition spatiale et les territoires occupés ainsi que ses constructions et, d'autre part, pour recenser les impacts et les solutions connus mais aussi les différents accidents ayant déjà eu lieu au Québec. À cet égard, une revue de presse a permis d'avoir un aperçu général des conséquences qu'engendrent les ruptures de barrages de castors. Ce premier inventaire permet d'entrevoir quelles sont les régions du Québec les plus touchées et quels sont les dommages les plus récurrents.

Les résultats montrent clairement que les impacts en amont des barrages de castors sont davantage étudiés que ceux situés en aval des barrages, car ils apportent des modifications généralement positives. Les changements environnementaux situés en aval des barrages sont plutôt absents dans la littérature scientifique, mais présents dans la revue de presse en raison des accidents associés à la rupture de barrage et donc ayant souvent des conséquences négatives. Notons aussi qu'une meilleure cohabitation entre l'humain et l'animal serait sans doute possible en considérant notamment les barrages de castors comme des solutions basées sur la nature. De plus, une sensibilisation du public permettrait de réduire les risques de danger mais aussi de promouvoir des actions communautaires pour une gestion plus respectueuse des populations de castors. En conclusion, il reste encore beaucoup d'actions de communication et de prévention à réaliser pour que les humains et les castors cohabitent et que les idéaux changent. Des recherches approfondies en gestion des barrages permettraient aussi aux municipalités de réduire les accidents et de donner une meilleure image à l'animal emblématique du Canada.

Mots clés : *Castor canadensis* ; barrages ; impacts géomorphologiques ; solutions basées sur la nature.

Introduction

Le *castor canadensis*, l’emblème du Canada, est un animal unique et singulier de par son ingéniosité et son influence sur le paysage, mais dont les impacts (socio)environnementaux demeurent encore controversés. En effet, le castor est souvent perçu comme une source de nuisances pour les propriétaires riverains et les agriculteurs en raison de ses barrages, au point où aujourd’hui il est même devenu synonymes de destruction de l’environnement dans certaines régions (ICI.Radio-Canada, 2016), ce qui soulève des questions sur la gestion de cette espèce.

Historiquement bien ancré dans les légendes autochtones comme un agent de transformation du paysage (Clément, 2012), les représentations du castor prennent une tout autre perspective avec l’arrivée des colons, qui le trapperont sans relâche pour sa fourrure et ce en abondance sur tout le territoire de la Nouvelle-France. En fort déclin en Europe dès les années 1600 (i.e., *castor fiber*) jusqu’à sa disparition complète dans plusieurs pays d’Europe au 19^{ième} siècle – la Suisse en 1804, la Hollande en 1825, la Lituanie en 1841, la Belgique en 1848, la Finlande en 1868, la Suède en 1871, la Prusse en 1879 (Véron, 1992 ; Dewas et al., 2012) –, le *castor canadensis* permet aux européens nouvellement arrivés en Amérique du Nord de reprendre le commerce de la fourrure, encore très populaire à cette époque (Morin, 2012). C’est toutefois un animal qui apportera des conflits car, en effet, les colons anglais et français et leurs alliés Iroquois et Hurons se disputent entre eux le commerce des fourrures. Ces dernières constituant le matériel idéal pour les chapeaux dont la mode ne ralentira qu’au début du 20^{ème} siècle, et conséquemment la trappe des castors. Dans les années 1930, plusieurs mesures sont mises en place par l’État afin de limiter le piégeage qui a sévèrement réduit la population de castors en Amérique du Nord (Fortin *et al.*, 2001).

Plus tardivement, ce seront principalement les activités récréotouristiques qui seront touchées par la présence des castors dans les régions plus au Nord. En construisant des barrages près des chemins forestiers, parfois laissés à l’abandon, les castors bloquent ainsi l’accès au territoire, pourtant indispensable au développement touristique (Morin, 2012).

Après une diminution draconienne de sa population à la fin du 19^{ème} siècle, le castor sera réintroduit au Québec dans les années 1930 afin de permettre aux populations de se reconstituer. Le développement des activités forestières et agricoles de l'époque a favorisé les colonies de castors en permettant la croissance des espèces arboricoles consommées par ces animaux et en créant de nouveaux habitats le long des cours d'eau (Morin, 2012). Aujourd'hui, ce sont plutôt les enjeux de cohabitation entre les humains et les castors qui préoccupent les populations et soulèvent autant de problématiques que de solutions. Selon Boonman-Berson *et al.* (2016) qui ont travaillé sur la cohabitation de l'ours noir et l'humain au Colorado (États-Unis), la notion de cohabitation se définit comme suit : « *Cohabitation in this sense involves spaceshaping activities by both humans and wild animals resulting in the co-production of landscapes* ». La cohabitation sera donc utilisée selon cette définition, considérant qu'à la fois les humains et les castors modifient le paysage à leurs avantages, et dont les interactions deviennent parfois problématiques.

L'objectif général de cet essai vise à démontrer que les impacts issus des barrages de castors peuvent être bénéfiques, tant pour les écosystèmes que pour les humains, et qu'un équilibre de cohabitation entre les deux espèces permettrait sans doute de mieux faire face aux conséquences des changements climatiques. Afin de parvenir à cet objectif, une approche en cinq étapes est proposée avec les objectifs spécifiques suivants:

- 1) Comprendre la biologie du castor, ses relations historiques avec les humains, et son rôle d'un point de vue zoogéomorphologique ;
- 2) Identifier les différentes conséquences de l'implantation d'une colonie de castors sur un territoire ;
- 3) Faire l'état de la situation actuelle concernant les accidents liés à la rupture de barrages de castors au Québec ;
- 4) Relever les problématiques découlant de cette situation ;
- 5) Déterminer et proposer des solutions potentielles basées sur des aménagements existants.

Ce travail propose d'encourager la mise en œuvre de solutions favorisant une cohabitation harmonieuse entre le castor et l'humain, en s'appuyant sur des solutions fondées sur la nature

pour répondre aux défis actuels de la crise climatique. La méthodologie de recherche pour cet essai repose principalement sur une revue de la littérature scientifique, et sur une revue de presse en ce qui concerne les cas d'accidents recensés au Québec. Cette dernière approche, inédite mais très révélatrice, sera davantage explicitée à la section concernée.

1. Le castor : une espèce ingénieuse

Bien que cet essai se concentre principalement sur le territoire québécois, plusieurs exemples présentés et discutés sont issus d'autres territoires canadiens, correspondant à l'aire de répartition naturelle du *castor canadensis*. Certaines sources proviennent aussi d'Europe, considérant que son cousin européen, le *castor fiber*, constitue également un bon exemple pour décrire certaines situations.

Bien avant la colonisation de l'Amérique du Nord par les européens, le castor occupait une aire de répartition géographique depuis le nord du Canada jusqu'au nord du Mexique et ce, depuis l'océan Atlantique (côte Est) jusqu'à l'océan Pacifique (côte Ouest) (Figure 1). Aujourd'hui, il demeure difficile d'imaginer toutes les rivières et les ruisseaux jadis harnachés par les barrages et les huttes de castors, créant ainsi autant de milieux humides et hydriques. En effet, on estime qu'entre 400 et 600 millions d'individus occupent cette aire de répartition (Butler, 2007), avant que la trappe intensive pour leur fourrure les amène proche de l'extinction vers la fin du 19^{ième} siècle. Plus tard, c'est le drainage à grande échelle des milieux humides qui semble avoir exacerbé leur déclin avec une diminution draconienne de la population. Aujourd'hui, et depuis le milieu du 20^{ème} siècle, le changement de mode vestimentaire avec le déclin de la demande pour les fourrures naturelles, mais aussi la volonté de conservation écologique, ont permis au castor de retrouver une population estimée entre 6 et 12 millions d'individus, cependant disparu dans certaine zone de leur aire de répartition historique comme le nord du Mexique ou certains états américains (Butler, 2007).

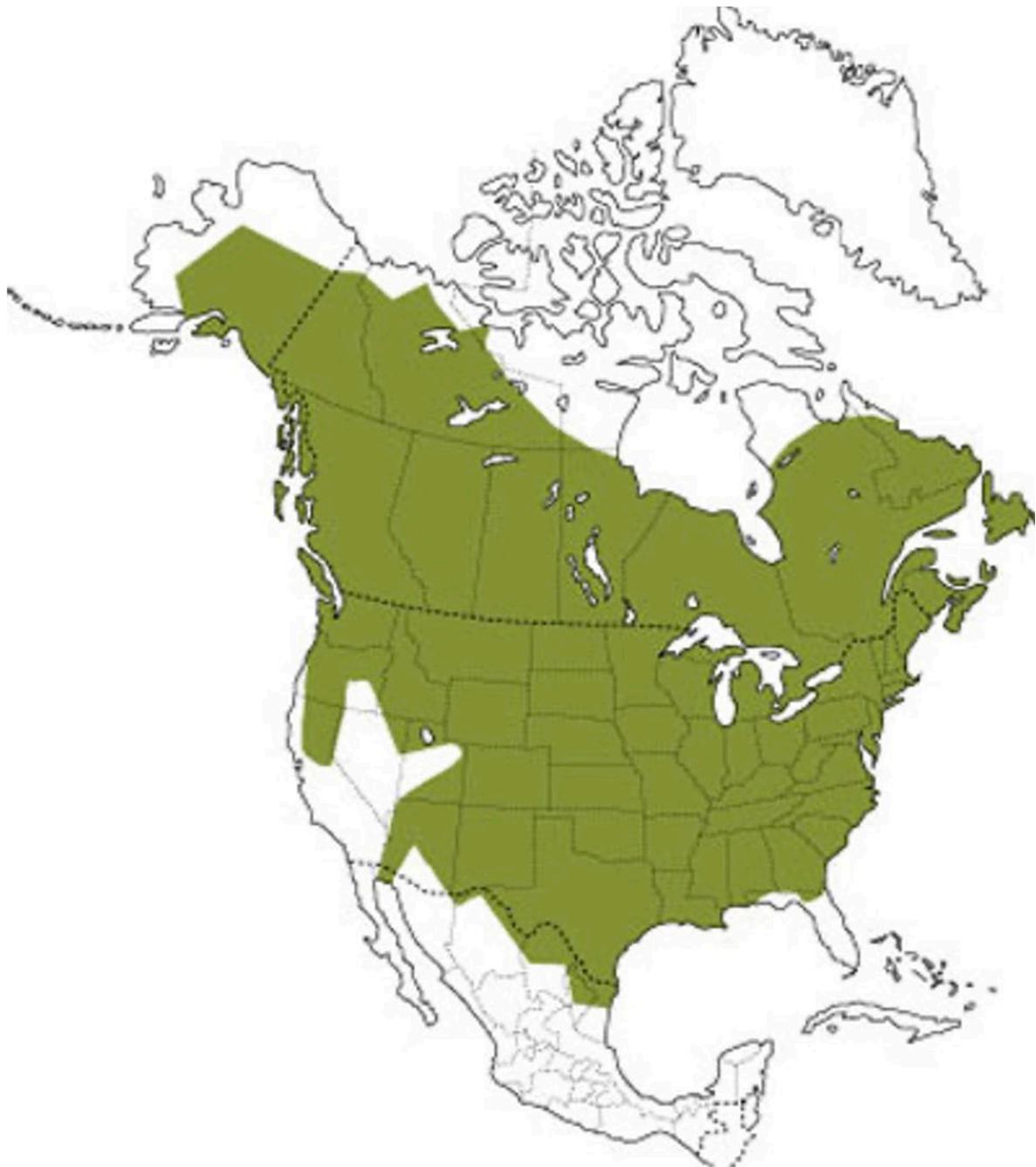


Figure 1 : Aire de répartition historique du *castor canadensis*.
Source : <https://www.hww.ca/fr/faune/mammiferes/le-castor.html#sid7>

On retrouve aussi le *castor canadensis* ailleurs dans le monde, c'est-à-dire en dehors de son aire de répartition native à la suite de différentes (ré)introductions. C'est notamment le cas dans la *Tierra del Fuego* en Argentine, mais aussi dans plusieurs pays d'Europe (e.g., Belgique, Allemagne, Luxembourg), en Scandinavie (Finlande) et en Russie (IUCN, 2016a) (Figure 2).

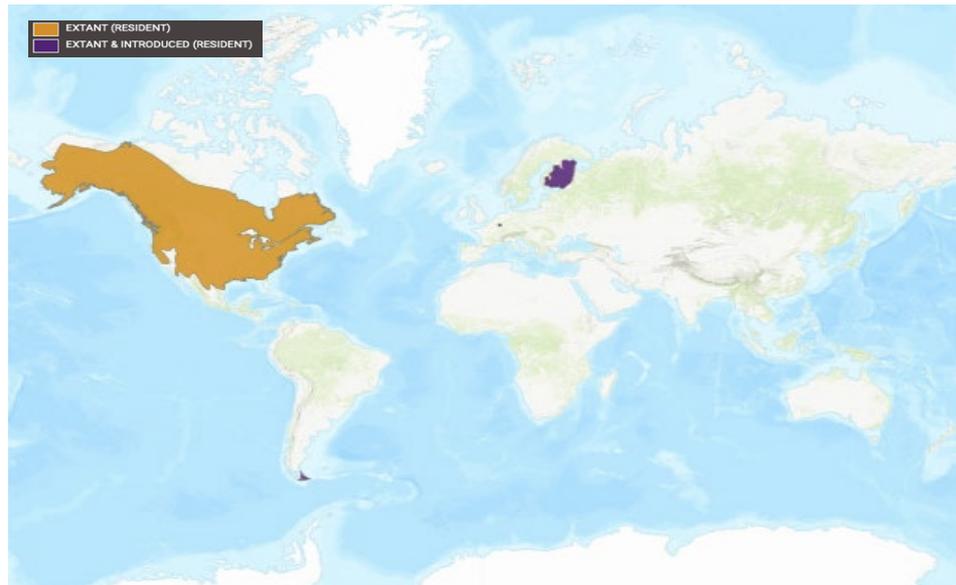


Figure 2 : Aire de répartition native et non-native du castor canadensis.
 Source : <https://www.iucnredlist.org/species/4003/22187946>

Ressemblant aux humains par son mode de vie, sa sociabilité et son ingéniosité dont ses ouvrages traversent les générations, le castor a toujours fait partie du monde. En effet, il y a plus de 10 000 ans, à l'époque du Pléistocène, des « castors géants » peuplaient le monde. Sous le nom scientifique de *castoroides ohioensis*, ils mesuraient jusqu'à 2,5 mètres de long et pesaient jusqu'à 360 kg (Clément, 2012). Ces castors préhistoriques, comparable à des ours noirs aujourd'hui, occupaient l'Amérique du Nord comme en témoignent des restes fossilisés. Probablement issus de ces fossiles, les chasseurs innus racontent des légendes sur le castor (*Amishku* en Innu) « géant » (Clément, 2012). D'autres récits autochtones entre ces animaux et la formation typologique du territoire découlent de leur capacité de construction remarquable. Ces « castors géants » auraient, en effet, formé ce qui est aujourd'hui le Lac-Saint-Jean à la suite de la construction d'un barrage géant. Les vestiges des huttes de castors sont représentés par l'île de la Traverse et l'île de la Couleuvre. Quant à la quasi-disparition des castors dans cette région du Lac-Saint-Jean, due au développement du commerce des fourrures, les légendes disent que les castors géants auraient quitté le lac entraînant avec eux les autres castors (Clément, 2012). Du côté des nations algonquines, le « castor géant » aurait créer un barrage dans le fleuve Saint-Laurent, ce qui aurait formé les Grands-Lacs (Delâge, 2014). Depuis des temps immémoriaux, les castors sont donc profondément ancrés dans les croyances et les cultures autochtones de l'Amérique du Nord.

Avec la colonisation européenne, va se développer le commerce des fourrures avec pour conséquence la chute draconienne des populations de castors. Les pêcheurs de morue, présents bien avant l'arrivée de Jacques Cartier en 1534, échangeaient déjà avec les communautés autochtones. En effet, lors du séchage du poisson, les pêcheurs descendaient sur terres ce qui permettait un contact plus rapproché avec les Premières Nations (Côté, 2008). En 1534, lorsque Jacques Cartier arrive dans le Saint-Laurent, il reçoit à son tour des fourrures de la part des Micmacs de la Gaspésie. La fourrure de castor devient alors un accessoire de mode vers la fin du 16^{ième} siècle, soit un élément indispensable dans le développement économique de la Nouvelle-France. Présent principalement au Saguenay, le territoire de la traite va s'étendre vers les Grands Lacs dans la première moitié du 18^{ième} siècle, avec pour conséquence une diminution rapide des populations de castors (Allaire, 1980). Avec la destruction de nombreux milieux humides – habitats principaux du castor – et les changements de mode vestimentaire en Europe, la traite des fourrures va par la suite diminuer petit à petit de manière concomitante à une quasi-extinction de l'espèce après plusieurs siècles d'exploitation.

D'après un inventaire de la Direction du développement de la Faune du Gouvernement du Québec, réalisé entre 1989 et 1994, la population de castors au Québec est estimée à plus de 700 000 individus (Lafond *et al.*, 2003). Malgré une occupation en dehors de leur aire de répartition et une augmentation de la population au cours des dernières décennies, les castors nord-américains et eurasiens sont tout de même classés comme espèces de « préoccupation mineure » en raison de la perte d'habitat selon l'Union internationale pour la conservation de la nature (Grudzinski *et al.*, 2022 ; IUCN, 2016a).

Seul animal de la famille des *Castoridae* en Amérique du Nord, sa réintroduction va évidemment entraîner une modification profonde des paysages et par conséquent de l'hydrologie de plusieurs bassins versants. Les nombreuses constructions de barrages de castors qui en découlent vont aussi entraîner une multitude d'impacts environnementaux et remettre en cause le potentiel de cohabitation entre l'humain et le castor. Si les relations ont fluctué entre les deux espèces au cours du temps, passant d'un symbole culturel à un animal dont la fourrure valait de l'or, il faut aujourd'hui redéfinir une nouvelle fois cette relation dans

un contexte de lutte aux changements climatiques et aux extrêmes météorologiques, tout en considérant la volonté grandissante de se reconnecter à la nature.

Le castor (*canadensis*) est un mammifère semi-aquatique et herbivore qui se nourrit principalement de fibre de bois, de branches, de feuilles et d'herbacées. À l'état adulte, le castor pèse entre 15 et 25 kg et peut abattre des arbres de 11 cm de diamètre en 15 minutes. D'après Brazier *et al.* (2021), le diamètre maximal des arbres pouvant être abattu par les castors est de 150 cm. C'est aussi un animal dit « amphibie », c'est-à-dire qu'il a une certaine vulnérabilité sur terre et qu'il peut passer plus de sept minutes sous l'eau (Delâge, 2014). Sa queue, à l'apparence écailleuse, lui sert à la fois de gouvernail et de signal d'alarme lorsqu'il tape à la surface de l'eau pour prévenir ses congénères d'un danger. Le reste de son corps est recouvert d'un poil de jarre qui le protège du froid. Ce sont des « *poils de couverture des mammifères, longs et raides, de densité faible, dépassant les poils de bourre ou de duvet, mais moins rigides que les épines* » (Larousse, 2024). Ces poils le protègent du froid bien que la castor puisse s'asseoir sur ses pattes arrières afin de s'exposer au soleil et se réchauffer (Delâge, 2014). Cette position lui sert aussi pour surveiller son territoire et couper les arbres (Figure 3).



*Figure 3 : Le castor sur ses deux pattes arrières, coupant un arbre.
Source : Le castor, 1952, BAnQ Québec, Fonds Ministère de la Culture et des
Communications, (03Q, E6, S7, SS1, P89891), Laurent Proulx.*

Le castor est une espèce ingénieuse, c'est-à-dire une espèce qui, seulement par sa présence, modifie fortement son environnement (Jones *et al.*, 1994). C'est à travers notamment l'édification de barrages et de huttes qu'il influence tout un écosystème. Faisant des arbres son matériau de construction et sa nourriture, on pourrait penser qu'il contrôle sa capacité à faire tomber les arbres. Cependant, contrairement aux croyances, le castor n'a pas l'instinct de contrôle sur la direction de chute des arbres qu'il abat (Scotter, 1989).

En étant une espèce ingénieuse, le castor modifie grandement le paysage environnant ; plusieurs études traitent des différents impacts des castors selon leur habitat. Grudzinski *et al.* (2022), par exemple, ont recensé les études réalisées selon les biomes et les impacts des castors (Figure 4) ; morphologie du cours d'eau (B), hydrologie (C), chimie de l'eau (D), biote aquatique (E) et habitat (F). Les impacts les plus étudiés sont ceux sur le biote aquatique, puis ceux sur l'hydrologie des cours d'eau, la qualité de ces derniers, leur morphologie et

finalement les impacts sur l'habitat. On pourrait donc croire que les impacts les plus importants sont les plus étudiés. Cependant, cela varie selon les biomes et l'importance de la population de castors.

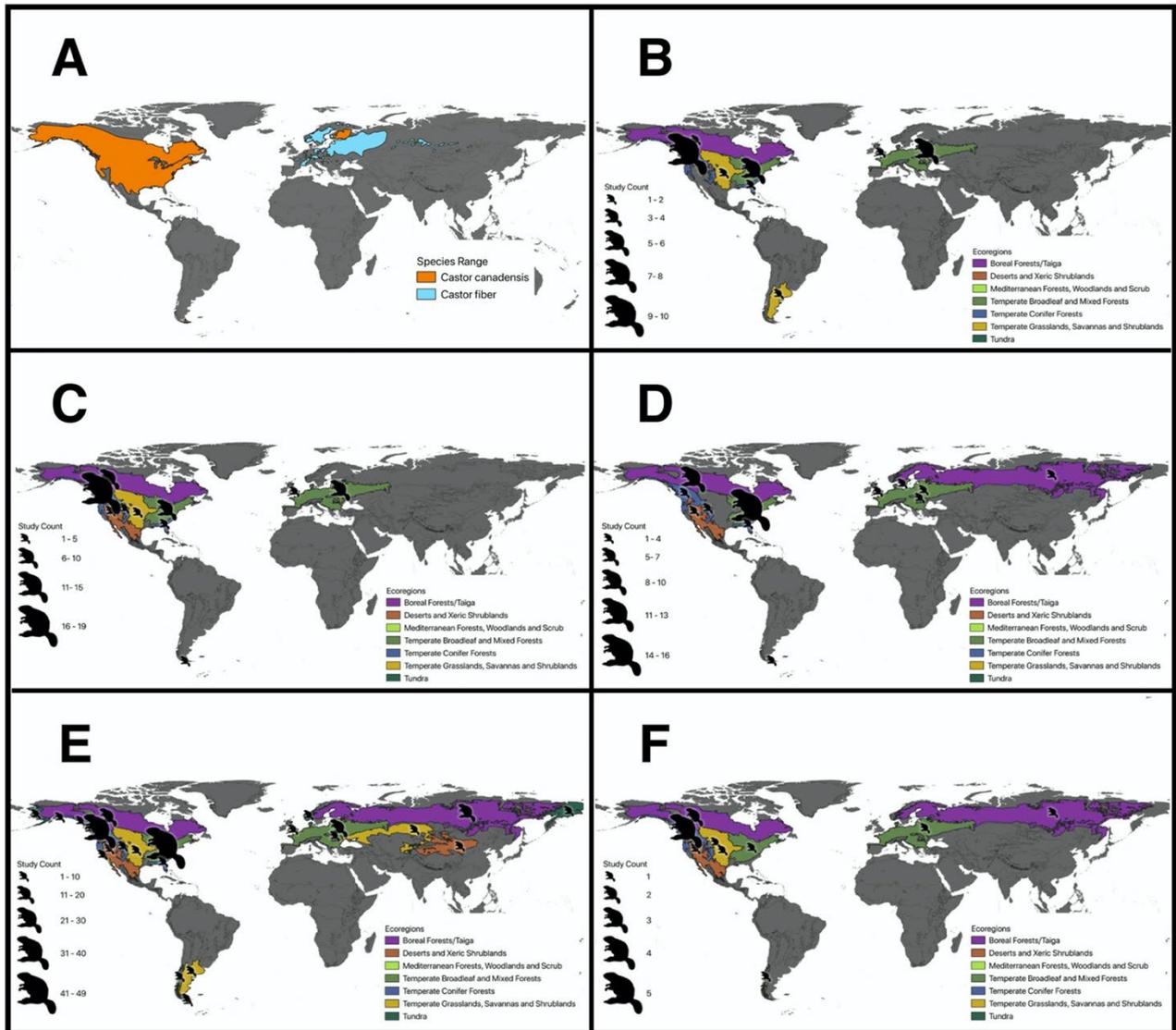


Figure 4 : Nombre d'études réalisées sur les castors selon les biomes et sur différents aspects : A) répartition des espèces, B) morphologie du cours d'eau, C) hydrologie, D) chimie de l'eau, E) biote aquatique et F) habitat.

Source : Gridinzski et al. (2022)

2. La zoo géomorphologie : une discipline émergente

La géomorphologie est l'étude des formes du relief et les processus qui les créent à différentes échelles spatiales et temporelles. De cette discipline découle la biogéomorphologie, qui examine comment les processus géomorphologiques influencent la distribution spatiale des plantes et des animaux (Butler, 2019). Relativement récente, la biogéomorphologie a connu un essor suite à la prise de conscience du rôle des êtres-vivants dans les changements géomorphologiques (Fort *et al.*, 2015). S'en est suivi l'apparition et la définition de la zoogéomorphologie comme sous-discipline, laquelle se concentre sur l'étude des animaux, vertébrés et invertébrés, dans la modification (formation et destruction) des paysages. Elle voit le jour lorsque David Butler (1992) la définit comme « *la science qui examine spécifiquement les animaux comme agents géomorphologiques* » et ce, dans un article scientifique traitant de l'action érosive des grizzly dans les zones de montagnes. Aujourd'hui, cette sous-discipline s'intéresse à une diversité de processus issus du comportement animal comme la construction de terriers, l'élaboration de barrages, la recherche de nourriture, la création de sites de nidification, lesquels peuvent altérer le sol et générer des micro-reliefs (terriers, monticules, etc.). En environnement, le terme « ingénierie des écosystèmes ou espèces ingénieuses » est plus souvent utilisé. Il s'agit d'un concept similaire mais qui s'attarde davantage aux changements environnementaux causés par les êtres vivants et leurs conséquences sur les autres organismes et les processus écologiques (Jones *et al.*, 1994).

Quelques années plus tard, Butler (1995) publie un livre intitulé « *Zoogeomorphology : Animals as geomorphic agents* ». Ce dernier synthétise la recherche sur l'impact de plusieurs centaines d'animaux dont les invertébrés terrestres et aquatiques, les poissons, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux, les mammifères et, bien évidemment le castor.

De par son développement récent comme discipline dans les années 1990, la zoogéomorphologie est aujourd'hui encore en pleine émergence bien que Lobeck évoquait dès 1939 la géomorphologie en incluant les animaux. Mais les publications plus nombreuses à partir des années 1990 favorisent une diversification de la discipline sur différentes espèces. Cependant, beaucoup d'études concernent encore aujourd'hui les impacts des insectes, notamment les fourmilières et les termitières (Cammeraat et Risch, 2008 ; Jouquet *et al.*, 2012

; Bétard, 2021). L'étude des mammifères fouisseurs avec la création de terriers est aussi très répandue dans la littérature scientifique (Black et Montgomery, 1991 ; Hausmann, 2017 ; Germain *et al.*, 2021). Le castor, de par ses qualités d'ingénieur et ses constructions hors pairs, demeure l'un des sujets favoris en zoogéomorphologie (Butler, 1991 ; Butler et Malanson, 2005 ; Rosell *et al.*, 2005 ; Ecke *et al.*, 2017 ; Jungers, 2017 ; Brazier *et al.*, 2021 ; Larsen *et al.*, 2021). Aujourd'hui, le rôle des animaux sur les changements géomorphologiques commence à être reconnu et à prendre une place de plus en plus significative dans la recherche scientifique.

3. Impacts du castor

En construisant des barrages et des huttes, le castor modifie considérablement son environnement et la géomorphologie de son habitat : la rivière. Dans cette section, les différents impacts hydrogéomorphologiques, sédimentologiques et biogéomorphologiques que peuvent avoir ses constructions seront revus et discutés. Une analyse de la littérature réalisée par des chercheurs en 2022 rapporte 267 études pertinentes sur les différents impacts des castors en fonction des biomes qu'ils occupent (Grudzinski *et al.*, 2022). Certaines études peuvent traiter à la fois de plusieurs biomes ou plusieurs impacts ; ainsi, la somme des études par biomes et par catégories d'impacts dépassent le nombre total d'études mentionné. Les forêts tempérées de feuillus et mixtes est le biome qui concerne le plus d'études avec un total de 123. Du côté des impacts, ce sont ceux touchant le biote aquatiques qui regroupent 162 publications, suivi par les impacts hydrologiques avec 52 études et les impacts de la qualité de l'eau avec 42 publications. Finalement, les impacts morphologiques regroupent 26 études et ceux sur l'habitat, 18 publications (Grudzinski *et al.*, 2022). Cette revue n'est évidemment pas exhaustive mais nous permet néanmoins d'avoir un aperçu de la littérature actuelle et des intérêts des chercheurs.

3.1 Comportement et construction de barrages

Les constructions réalisées par les castors dépendent du milieu où ils décident de s'établir. Dans la plupart des cas, ils peuvent construire un barrage ainsi qu'une hutte (e.g., Figure 4) au milieu de la rivière. Cependant, lorsque les ressources en bois sont insuffisantes, que le débit de la rivière est trop élevé ou que la rivière est trop large, ils peuvent creuser un terrier dans les berges. Finalement, lorsque les sédiments ne sont pas assez fins pour creuser, ils peuvent

s'abriter dans une grotte aux alentours de la rivière (Brazier *et al.*, 2021). Si la largeur du chenal d'un cours d'eau est d'au moins quatre mètres, il est plus probable que les castors construisent un terrier dans les berges plutôt qu'un barrage (Hartman et Törnlov, 2006). Ce seuil semble toutefois davantage valable pour les régions les plus froides de son aire de répartition comme les Territoires du Nord-Ouest. Dans le cas contraire, c'est plutôt le débit du cours et sa profondeur qui influencent le comportement du castor. C'est néanmoins un animal qui s'adapte facilement à son milieu, ce qui explique son aire de répartition à l'échelle de l'Amérique du Nord et sa capacité à proliférer dans des régions qui ne lui sont pas natives.



*Figure 5 : Hutte de castor sur un lac en Gaspésie.
Source : Charline Tijou, 2023.*

Les barrages et les huttes sont principalement construits à l'aide de bois et de branches rongées par les castors. Ces derniers peuvent aussi se procurer les matériaux nécessaires

grâce aux débris déplacés par les avalanches de neige, mais aussi en se procurant des roches ou des déchets provenant de l'activité humaine, le cas échéant. Pour consolider sa construction, le castor utilise de la boue qui, contrairement aux croyances populaires, n'est pas appliquée avec la queue, mais bien avec les pattes avant (Butler, 2007). Lorsqu'un castor s'attaque à la coupe d'un arbre, il en choisit un dont le diamètre varie habituellement entre 15 et 45 cm. Par équipe de deux, pour faire le guet et couper l'arbre, ils tentent le plus souvent possible de le faire tomber dans l'eau pour en faciliter le transport.

Les barrages sont construits de façon concave au courant de la rivière et mesurent généralement entre 15 et 70 mètres de long et d'un à deux mètres de largeur. Cependant, un barrage de 850 mètres a été découvert en 2007 par Jean Thie (Delâge, 2014) dans le parc National Wood Buffalo en Alberta (Figure 5). Le barrage se situe à 22 km au sud du Lac Claire dans le Nord Ouest de l'Alberta.



*Figure 6 : Le plus long barrage de castor au monde.
Source: Parcs Canada, J.D. McKinnon.*

La construction d'un barrage est un processus qui peut s'étendre sur plusieurs années. En effet, l'entretien, les réparations ou encore les agrandissements varient au cours du temps,

des aléas naturels et des besoins des animaux. Les cabanes ou huttes, en forme de demi-sphère (Figure 4), abritent souvent une famille de quatre à huit individus et peuvent parfois être partagées avec des loutres et des rats musqués vivant dans le lac en amont. Cette cohabitation semble possible en vertu des régimes alimentaires différents pour chacune de ces espèces.

3.2 Changements hydrogéomorphologiques

En créant un obstacle au milieu de la rivière, le castor va modifier plusieurs éléments clés dans la morphologie et le fonctionnement de la rivière (Tableau 1). Certains de ces éléments et modifications sont présentés dans les sections suivantes, bien que cela ne soit pas exhaustif puisqu'il existe une pluralité d'impacts en fonction du type de rivière, de l'écosystème perturbé et du biome.

3.2.1 Ralentissement du débit de l'eau et création de zones humides

Les barrages constituent un obstacle à l'écoulement de l'eau d'une rivière, ce qui va diminuer fortement le débit du cours d'eau en aval du barrage. Dans le Maryland, aux États-Unis, la construction d'un barrage de castor a réduit de 8% le débit annuel d'un cours d'eau de second ordre (Figure 6) (Rosell *et al.*, 2005). Cela permet à l'eau d'avoir un temps de séjour beaucoup plus long dans certaines portions de la rivière. Ce ralentissement de l'écoulement va aussi avoir pour conséquence la création de milieux humides et hydriques plus étendus en amont du barrage.

La création des milieux humides est souvent dû au ralentissement du débit de l'eau et à l'augmentation de son temps de séjour dans certains tronçons des cours d'eau ayant des barrages de castors. Majerova *et al.* (2015) ont menés une étude dans l'Utah, États-Unis, sur un tronçon de rivière d'environ 750 m avant et après la construction d'une dizaine de barrages de castors. Ils ont constaté une augmentation du temps de séjour de plus de 230% de l'eau dans ce tronçon, passant de 27 à 89 minutes.

En effet, de manière générale un étang de castors, en amont du barrage, va se former en raison d'un écoulement plus lent de l'eau et de sa retenue par le barrage. La forme et

l'étendue de cet étang ne vont pas dépendre de la taille du barrage mais plutôt de la topographie et la morphologie du terrain. Des rives surélevées ne permettront pas à l'eau de s'étaler tandis qu'une plaine laissera la place à la formation d'une grande étendue d'eau. L'apparition et la création de milieux humides aux alentours est dû aux crues potentielles de l'étang. Ces milieux humides proviennent aussi de l'infiltration de l'eau dans les sols adjacents (Figure 6), laquelle est aussi accentuée par les terriers et les chemins d'accès au couvert forestier creusés par les castors dans les berges (Larsen *et al.*, 2021). La capacité de stockage en eau de la rivière augmente de manière significative à cause du barrage de castors et peut généralement supporter de plus fortes précipitations, et éventuellement prévenir des inondations en aval. Cela permet aussi, dans la portion en amont du barrage, de redonner à la rivière son espace de liberté.

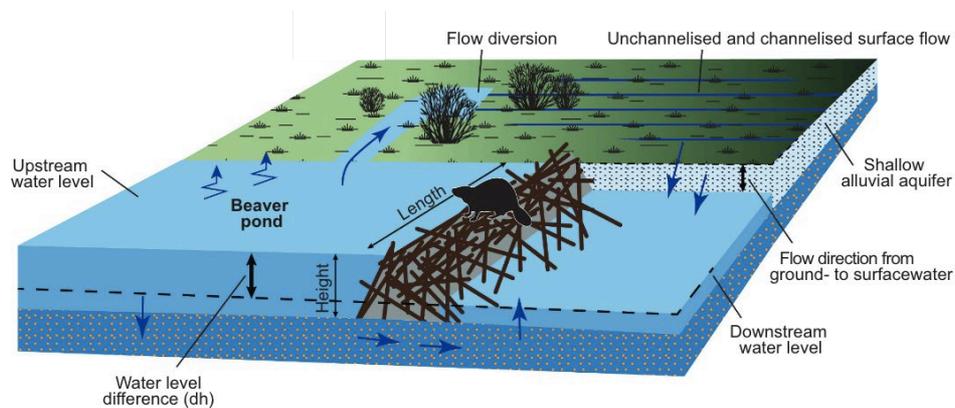


Figure 7 : Processus de création d'un étang et de zones humides.

Source : Larsen *et al.* (2021).

Tableau 1 : Impacts des barrages de castors selon la littérature scientifique.

Domaine	Impacts	Sources
Hydrogéomorphologie	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution du débit hydrologique (réduction 8% du débit annuel, augmentation 230% du temps de résidence de l'eau en amont) • Création de zones humides et de canaux • Augmentation du stockage des eaux de surfaces et souterraines • Augmentation de l'espace de liberté de la rivière (l'espace occupé par la rivière triple en deux ans en même temps que les huttes de castors se dédoublent) • Modification de la morphologie de la vallée et de la géométrie du chenal du cours d'eau (largeur, profondeur, ...) • Temps de séjour de l'eau • Température de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Rosell <i>et al.</i> (2005) ; • Larsen <i>et al.</i> (2021) ; • Brazier <i>et al.</i> (2021) ; • Delâge (2014) ; • Johnston et Naiman, (1990a, b) ; • Majerova <i>et al.</i> (2015) ; • Woo et Waddington (1990) ; • Hartman et Törnlov (2006) ; • Parker <i>et al.</i> (1985)
Qualité de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du stockage du phosphore (avec l'accumulation de sédiments) • Variation des taux de carbone et d'azote organique dans le système barrage-étang • Altération de la qualité de l'eau des écosystèmes alentours (lors des crues et inondations) 	<ul style="list-style-type: none"> • Lazar <i>et al.</i> (2015) ; • Larsen <i>et al.</i> (2021) ; • Naiman et Melillo (1984) ; • Johnston (2015)

<p>Sédimentologie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Modification du taux de sédimentation en rivière • Accumulation sédimentaire accrue en amont (de 0.2 à 45 cm par an) • Diminution sédimentaire en aval • Augmentation de l'érosion (par la création de canaux, transport des sédiments, perte racinaire) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Geomorphology 201- Chapter 2: Fluvial Geomorphology, 2013</i> ; • Larsen <i>et al.</i> (2021) ; • Harthun (1998) ; • Hood et Larson (2015)
<p>Biogéomorphologie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la biodiversité dans les zones riveraines • Diminution de la biomasse aérienne et de la masse racinaire (par la création de canaux notamment) • Augmentation des macro-invertébrés, amphibiens et mammifères • Diminution de l'espace de mobilité des poissons • Augmentation de la diversité d'avifaune (notamment grâce à l'augmentation d'arbre morts et de nourriture dans l'étang de castors) • Meilleure connectivité aquatique (création de lien entre les zones humides et hydriques par les canaux) 	<ul style="list-style-type: none"> • Law <i>et al.</i> (2016) ; • Meentemeyer <i>et al.</i> (1998) ; • Larsen <i>et al.</i> (2021) ; • Aznar et Desrochers (2008) ; • Brown <i>et al.</i> (1996) ; • Dalbeck <i>et al.</i> (2007) ; • Groover et Baldassarre (1995) ; • Hood et Larson (2015) ; • Nummi et Holopaine (2014) ; • Nummi <i>et al.</i> (2011) ; • Pollock <i>et al.</i> (2003) ; • Snodgrass et Meffe (1998) ; • Romero <i>et al.</i> (2015)

3.2.2 Création de canaux

Lors de la construction des barrages, les castors vont aussi creuser des canaux pour le transport des morceaux de bois (Brazier *et al.*, 2021). C'est une méthode bien connue aujourd'hui, mais qui a été copiée par les humains lors de la colonisation. À l'époque, la drave constituait le même système de déplacement des rondins de bois que celui utilisé par les castors. La construction de ces canaux peut prendre plusieurs années car les animaux creusent, à même le sol, des canaux d'une largeur d'environ deux mètres et d'une profondeur d'environ un mètre. De plus, ces canaux peuvent mesurer plus de 150 mètres de longueur (Delâge, 2014), et dans certains cas atteindre jusqu'à 300 m de longueur (Hood et Larson, 2015).

D'autres canaux peuvent se créer lors de l'inondation provoquée par le barrage. Selon la morphologie du site et de la région où est construit le barrage, il y aura plus ou moins de canaux naturels qui vont se former (Figure 7). Dans les zones montagneuses, dans les vallées dites en « U » ou en « V », les canaux sont limités latéralement par les hauts reliefs du paysage. Cependant, plus on se dirige vers des paysages en pentes douces et des bas reliefs de plaines, plus les canaux seront nombreux avec des formes diversifiées (Figure 8).

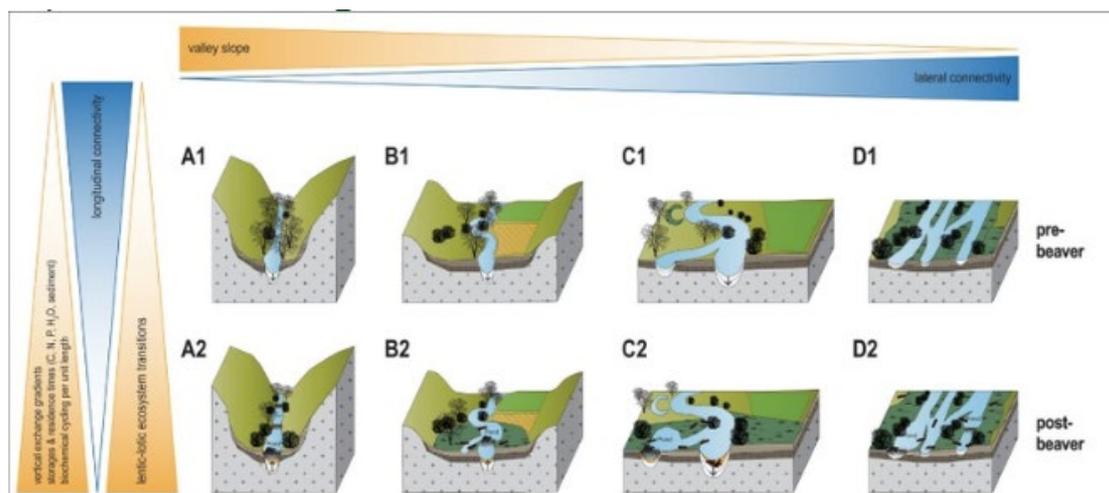


Figure 8 : Diversité des canaux selon la pente de la vallée.
Source : Larsen *et al.* (2021).

3.2.3 Un nouvel espace de liberté

La capacité de stockage en eau de la partie amont de la rivière augmente significativement grâce à l'étang et aux différents canaux qui permettent à l'eau de mieux circuler. Cela permet aussi de supporter de plus grandes précipitations. En amont du barrage, la rivière peut ainsi retrouver son espace de liberté ; un espace défini sur les berges et les bandes riveraines qui constitue une aire d'inondation libre (Figure 9). Cet espace est aussi appelé « espace d'inondabilité et de mobilité » (Biron *et al.*, 2018 ; OBV-NordEstBSL, s. d.), lequel est favorisé par l'action des castors. En augmentant aussi la quantité d'eau souterraine, les berges deviennent ainsi plus instables et l'érosion est plus probable. Contrairement à la stabilisation faite par l'homme pour protéger les berges, les castors tendent au contraire à redonner à la rivière son état d'origine et son cycle naturel d'érosion, ce qui permet à la rivière d'inonder ses espaces riverains.

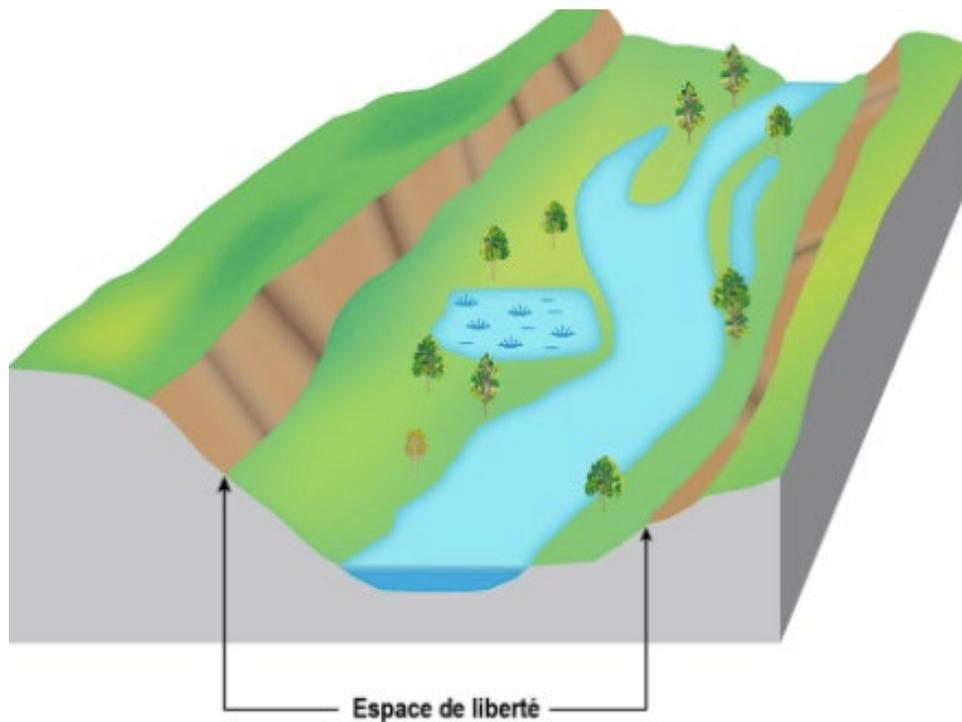


Figure 9 : Espace de liberté de la rivière.

Source : Syndicat Mixte d'Etudes et de Travaux pour l'Aménagement et la Protection de la Rivière Dordogne. <https://obv.nordestbsl.org/espace-de-liberte-des-cours-deau.html>

En somme, les barrages de castors constituent un élément important dans l'évolution morphologique des rivières. En modifiant l'hydrologie des cours d'eau, les castors vont aussi influencer la dynamique sédimentaire dans tout le bassin versant (Tableau 1).

3.3 Sédimentologie et qualité de l'eau

Les barrages de castors constituent des espaces de retenues des sédiments dans la rivière ; diminuant ainsi la quantité de sédiments transportés (aussi appelée « charge sédimentaire » correspond à la matière solide transportée par un cours d'eau (Strahler et Strahler, 2006)) vers l'aval du cours d'eau. Ceux-ci se déposent et s'accumulent en amont du barrage. Plus le barrage est d'une grande dimension et plus la quantité de sédiments retenue sera importante (Larsen *et al.*, 2021). Ce sont souvent les plus gros sédiments qui se déposent dans cette partie du système, incapables de franchir le barrage et d'être transportés par le faible débit de la rivière en aval (Figure 10).

À l'inverse, les sédiments les plus fins eux peuvent soit passer au travers du barrage ou être déplacés lentement dans le fond du cours d'eau. Au moment d'inondations et de crues, certains sédiments vont alors se retrouver sur les plaines inondables et y être déposés lors du retrait de l'eau.

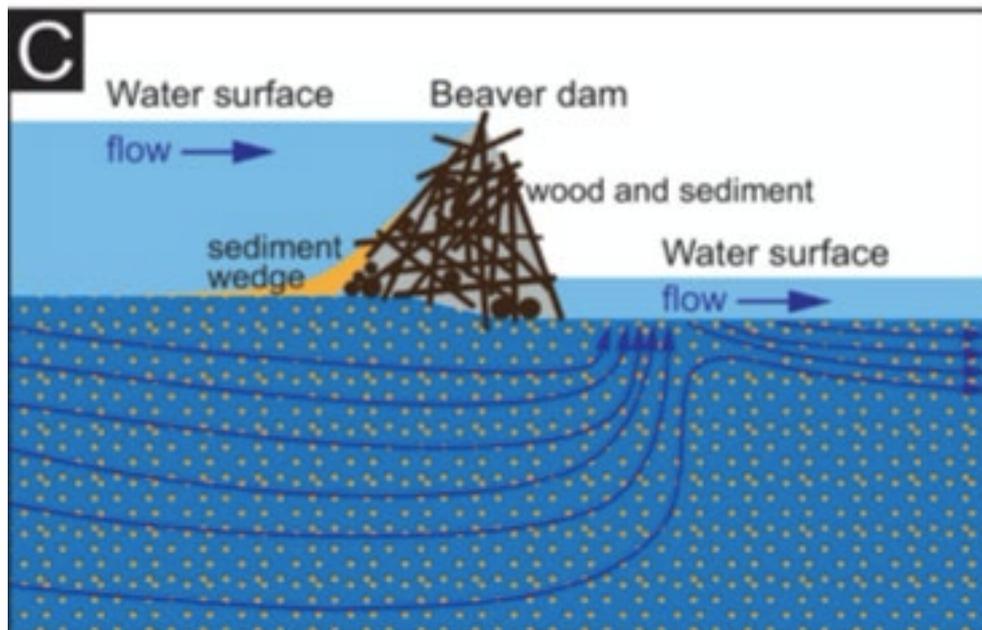


Figure 10 : Stockage et flux des sédiments dans un système barrage-étang.
Source : Larsen *et al.* (2021).

Le taux de sédimentation de la rivière affectée par la présence de castors va évidemment changer, cependant, plusieurs autres facteurs peuvent influencer celui-ci. La morphologie du paysage, c'est-à-dire si le barrage se trouve dans une zone montagneuse ou en plaine. En effet, le débit sera plus important en montagne dû aux pentes fortes ; des sédiments d'une plus grande taille pourront alors être transportés ; ainsi, des sédiments d'argile, de sable ou de gravier peuvent changer l'érodabilité et la couverture du sol. Ces deux facteurs influencent donc le taux de sédimentation de la rivière (Larsen *et al.*, 2021) La localisation du barrage dans le bassin versant est aussi importante (Larsen *et al.*, 2021). Si le barrage est situé dans un cours d'eau de quatrième ordre par exemple (Figure 11), les sédiments retenus seront probablement plus importants à cause de l'apport des affluents. Si le barrage se trouve sur un cours d'eau de premier ou deuxième ordre (Figure 11), la réduction du débit et l'absence d'affluent vont favoriser un faible stockage sédimentaire. On note une exception si le cours d'eau est sujet à une forte érosion ou à des événements météorologiques extrêmes capables de générer des apports significatifs de sédiments (*Geomorphology 201- Chapter 2 : Fluvial Geomorphology*, 2013).

Les canaux jouent aussi un rôle majeur dans la sédimentations du cours d'eau. Dans une étude récente en Alberta au Canada, on a estimé l'ampleur des sédiments enlevés dans ces canaux à 22 300 m³ sur une zone de 13 km² (Hood et Larson, 2015).

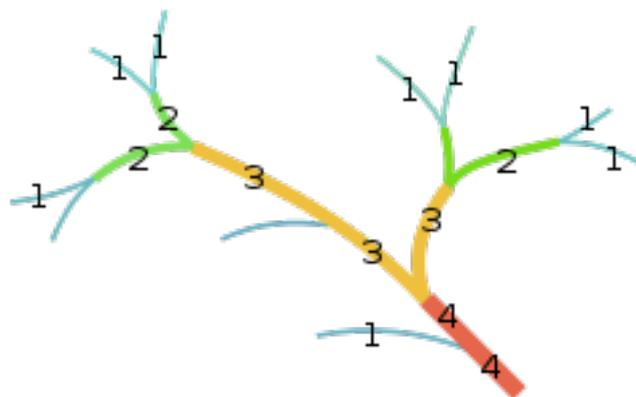


Figure 11 : Ordre des cours d'eau dans un bassin versant selon la classification de Horton (Moussa, 2009).

Source : <https://aardlink.files.wordpress.com/2013/04/geom-reader-2a-fluvial-p1-22.pdf>

Le taux et le transport des sédiments dans un bassin versant occupé par le castor va donc varier selon sa position géographique mais aussi la morphologie du cours d'eau. Il est donc

difficile d'établir un système de calcul universel pour ces derniers ; chaque bassin versant possédant des caractéristiques uniques.

La construction d'un barrage de castors est aussi synonyme d'une modification dans les émissions des gaz carbonique, de l'azote et du phosphore. Le système barrage-étang ne constituant pas un écosystème stable puisqu'il alterne la rétention d'eau et le drainage lors des inondations, les flux gazeux varient avec les cycles du barrage. Le stockage du phosphore augmente avec l'augmentation de la rétention des sédiments aux alentours du barrages tandis que les prairies qui se forment après l'abandon d'un barrage séquestrent du carbone et de l'azote organiques (Johnston, 2014 ; Larsen *et al.*, 2021 ; Lazar *et al.*, 2015 ; Naiman et Melillo, 1984). Cependant, lors d'une inondation, le surplus d'eau peut affecter les écosystèmes alentours, qui altèrent leurs conditions et donc leurs capacité à retenir le carbone (Johnston, 2014).

3.4 Biogéomorphologie, biodiversité et écologie

Les impacts hydrogéomorphologiques et sédimentologiques mentionnés ci-avant et induits par le castor vont évidemment engendrer de manière subséquente des changements biogéomorphologiques (Tableau 1). Ceux-ci sont brièvement présentés dans les sections ci-après.

3.4.1 Création d'étang

La création d'un étang en amont du barrage est la première conséquence. Le barrage étant capable de retenir une grande quantité d'eau, un étang va se former et créer ainsi un espace d'eau plus calme, propice à l'apparition d'une nouvelle biodiversité (Figure 12).

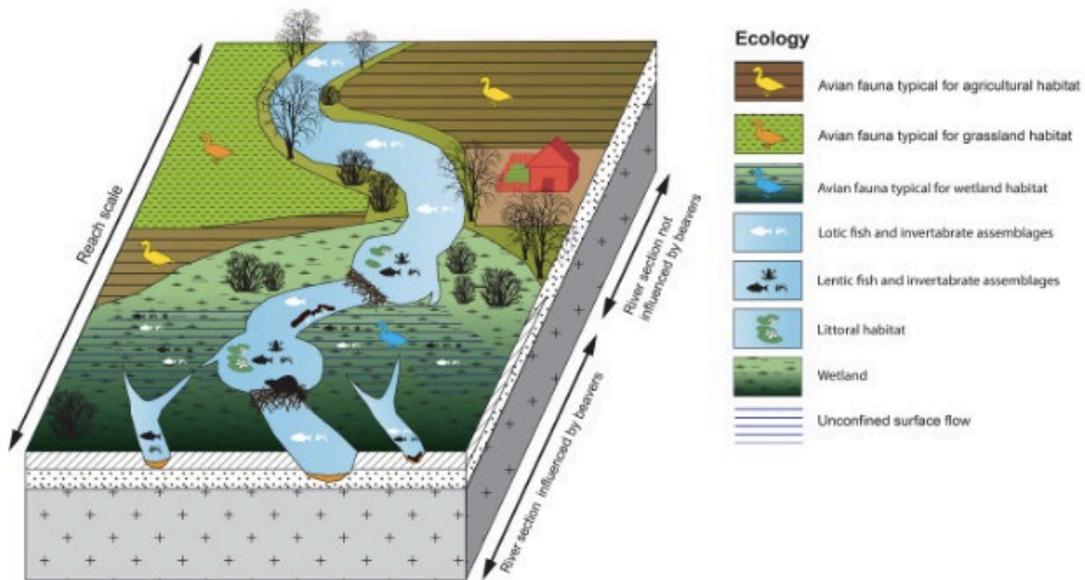


Figure 12 : Diversité écologique à la suite de la construction d'un barrage de castor.
Source : Larsen et al. (2021).

L'apport d'une eau calme est synonyme d'une nouvelle diversité biologique, notamment au niveau des macro-invertébrés qui constituent un excellent indicateur pour la qualité de l'écosystème. En effet, ceux-ci ne supportent que très peu la pollution et la dégradation d'un habitat (MELCCFP, s. d.). Ces derniers vivent dans les sédiments et l'accumulation de la matière organique, ils trouvent donc refuge dans les systèmes barrage-étang qui correspondent à leurs conditions favorables de développement (Larsen *et al.*, 2021). L'accumulation sédimentaire au fond des étangs et dans les retenues de barrages de castors sont donc propices à leur multiplication. Selon Law *et al.* (2016), la plus grande diversification des macro invertébrés est présente dans les régions aquatiques végétalisées par les algues en amont de la construction d'un barrage. En effet, la présence d'un barrage de castors entraîne une accumulation de bois et de sédiments riches en matières organiques favorables au développement des invertébrés dans les habitats aquatiques. Cela crée des niches écologiques, qui représentent un habitat où les conditions abiotiques et biotiques sont idéales pour le maintien d'une population (Pocheville, 2010).

La présence d'un barrage de castors et ses effets vont aussi attirer un grand nombre d'espèces animales aux alentours (Dalbeck *et al.*, 2007 ; Nummi *et al.*, 2011, 2019 ; Nummi et Holopainen, 2014 ; Romero *et al.*, 2015 ; Snodgrass et Meffe, 1998) ; les macro invertébrés

constituants une source de nourriture pour la faune située plus haut dans la chaîne alimentaire (Figure 12). Les principales espèces profitant de l'arrivée du castor sont les poissons, les grenouilles, les oiseaux aquatiques et les chauve-souris. Cette diversité accrue se retrouve généralement en amont du barrage, à travers l'étang, alors qu'en aval du barrage la réduction importante de la quantité d'eau n'est habituellement pas un habitat propice à une diversité biologique accrue.

L'accumulation et la création d'un étang en amont du barrage incite les populations de poissons à s'y établir (Pollock *et al.*, 2003). Une eau calme permet aux poissons de dépenser moins d'énergie lors de la recherche de nourriture dans le sol. Cela permet de créer un habitat pour d'autres mammifères comme les loutres et les chauves-souris qui trouveront une nouvelle source de nourriture à proximité du barrage. À noter toutefois que cette information est principalement basée sur des observations plutôt que sur des inventaires quantitatifs (Nummi *et al.*, 2019).

3.4.2 Augmentation de la diversité dans l'habitat riverain

À travers son alimentation et ses constructions, les castors vont influencer la biomasse aérienne aux alentours. Au Minnesota (États-Unis), deux chercheurs ont calculé la quantité de plantes ligneuses coupées par les castors. Pour une colonie de six castors, chacun d'entre eux mangeait $1300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, ce qui a fait diminuer la biomasse aérienne de plus de 40% en six ans (Nummi *et al.*, 2019). Cela se produit dans le cas où les arbres abattus sont arrivés à maturité et où il est possible pour les castors de construire un barrage. Dans le cas de jeunes forêts ou de la construction d'un terrier dans les berges, l'impact par les castors sur la biomasse aérienne est bien moins significatif. Cette diminution va créer une ouverture et donc un puit de lumière qui sera favorable aux espèces intolérantes à l'ombre, accentuant ainsi la diversité végétale notamment dans la communauté de phytoplancton (Bruggeman et Kooijman, 2007 ; Hintz *et al.*, 2022). La modification de la luminosité dans l'écosystème aura aussi probablement un impact sur la température de l'eau qui provoquera des changements dans la diversité aquatique (Larsen *et al.*, 2021 ; Majerova *et al.*, 2015). Dans le cas où le couvert végétal n'est pas suffisant, la sélection des espèces arborescentes les plus tendres et faciles à

manger pour le castor aura tendance à réduire la diversité végétale, ne laissant en effet que les espèces les moins adéquates à leur consommation (Law *et al.*, 2016).

La connectivité écosystémique latérale va aussi être améliorée à travers la création de chenaux et l'augmentation de la diversité biologique riveraine, c'est-à-dire, des espèces cohabitant directement avec les castors, que ce soit dans les milieux aquatiques ou terrestres. Cette connectivité consiste à connecter les différents habitats/biomes qui composent l'espace riverain afin de faciliter la migration d'espèces semi-aquatiques. La tortue-molle à épine est l'une de ces espèces ; vivant principalement dans les cours d'eau, son lieu de ponte est cependant à plusieurs mètres de la rivière (Gouvernement du Québec, s. d.). La perte des habitats riverains est l'une des menaces principales pour cette espèce. Les barrages de castors constituent ainsi une solution de rétablissement d'un habitat riverain favorable aux déplacements de cette tortue mais aussi pour de nombreuses autres espèces (Dalbeck *et al.*, 2007 ; Nummi *et al.*, 2019 ; Snodgrass et Meffe, 1998).

L'avifaune va aussi grandement profiter de cette connectivité riveraine. À travers la création d'une plus grande étendue d'eau, les barrages de castors permettent d'augmenter la diversité structurelle au sein des habitats environnants comme les invertébrés et les plantes aquatiques ; lesquelles fournissent une source de nourriture pour les oiseaux. Cela devient donc un endroit idéal pour l'établissement de nouvelles populations mais aussi une halte lors des grandes migrations (Grover et Baldassarre, 1995).

Selon Brown *et al.* (1996), la population d'avifaune dépend de la surface aquatique créée par les barrages de castors. Cependant, Cooke et Zack (2008) soutiennent que la quantité de végétation boisée dans les zones riveraines est le facteur le plus important pour la richesse des espèces et leur abondance. Les rives non perturbées par l'exploitation forestière représenteraient donc l'habitat avec la plus grande diversité d'oiseaux autour du barrage.

Une étude menée dans le sud de l'État de New-York (États-Unis) près des Appalaches (Grover et Baldassarre, 1995), a montré une diversité plus élevée d'avifaune dans les zones humides habitées par les castors ; 92% contre 80% pour les zones humides dont les castors sont absents. Un autre point soulevé dans cette étude est l'importance des arbres morts qui augmentent

de 13% la présence d'oiseaux ; ces arbres morts étant la conséquence de la construction des barrages de castors.

Les castors participent donc à la dynamique temporelle et spatiale de création et d'abandon d'étangs avec la construction et l'abandon de barrages. Réguler les populations de castors pourrait donc avoir un impact important sur la diversité riveraine et l'avifaune (Aznar et Desrochers, 2008).

3.4.3 Changements dans la masse racinaire

La destruction d'une partie de la biomasse aérienne mais aussi des espèces arbustives par les castors va également entraîner une diminution de la masse racinaire dans les zones riveraines. L'inondation et la création d'un étang vont aussi favoriser une réduction de la masse racinaire, car le surplus d'eau dans le sol entraîne un pourrissement des racines dans les berges et met en danger la stabilité de ces dernières (Meentemeyer *et al.*, 1998). Finalement, la création de terriers dans les berges par les castors peut entraîner la déstabilisation de celles-ci et mener à leur effondrement (Larsen *et al.*, 2021).

4. Portrait des incidents liés à la rupture de barrages de castors

D'un point de vue historique, les articles associés au castor au cours du 19^{ème} siècle traitent, pour l'essentiel, de la fourrure, de chapellerie ou encore de l'huile de castor. Au 20^{ème} siècle, surtout après les années 1940, le castor commence à jouir d'une réputation différente avec la reconnaissance graduelle de sa capacité de rétention de l'eau et de gestion des inondations avec la création de barrage (Puttock *et al.*, 2021 ; Rousseau, 1949 ; Stoll et Westbrook, 2020 ; Westbrook *et al.*, 2020).

À titre d'exemple, dans le journal *Le peuple en 1949*, une petite bande-dessinée permet au grand public de mieux comprendre les bénéfices des barrages de castors. On y mentionne que « *Le castor est l'un des conservateurs les plus enthousiastes... Les écluses qu'ils édifie contribuent à retenir les eaux tumultueuses du printemps, les emmagasinent pour les mois d'été. On ne devrait jamais faire de tort à ces animaux ni aux barrages qu'ils construisent sans avoir autorité pour le faire* » (Rousseau, 1949). Cette citation montre bien la prise de conscience de l'importance des castors et de leur barrage au sein des écosystèmes. En revanche, la présence accrue de barrages sur de nombreux cours d'eau avec une population de castors plus abondante, couplée au développement des activités anthropiques (foresterie, accessibilité des territoires pour la chasse et la pêche, activités récréotouristiques, etc.), a montré que la rupture d'un barrage de castors peut avoir des conséquences écologiques et géomorphologiques, mais aussi sur les infrastructures routières et des habitations secondaires, à l'occasion.

4.1 Risques pour les infrastructures

Les barrages de castors sont des structures parfois imposantes susceptibles de générer plusieurs impacts géomorphologiques sur l'ensemble de l'écosystème, et contribuer dans certains cas à la réalisation du risque d'inondation. En effet, une rupture de barrage peut entraîner une crue/inondation soudaine des zones situées en aval, généralement de manière proportionnelle à la quantité d'eau retenue dans l'étang situé en amont (Law *et al.*, 2016).

Lors d'une rupture de barrage, liée à un apport rapide d'une trop grande quantité d'eau lors de fortes pluies par exemple, plusieurs types d'inondation peuvent survenir (Figure 13).

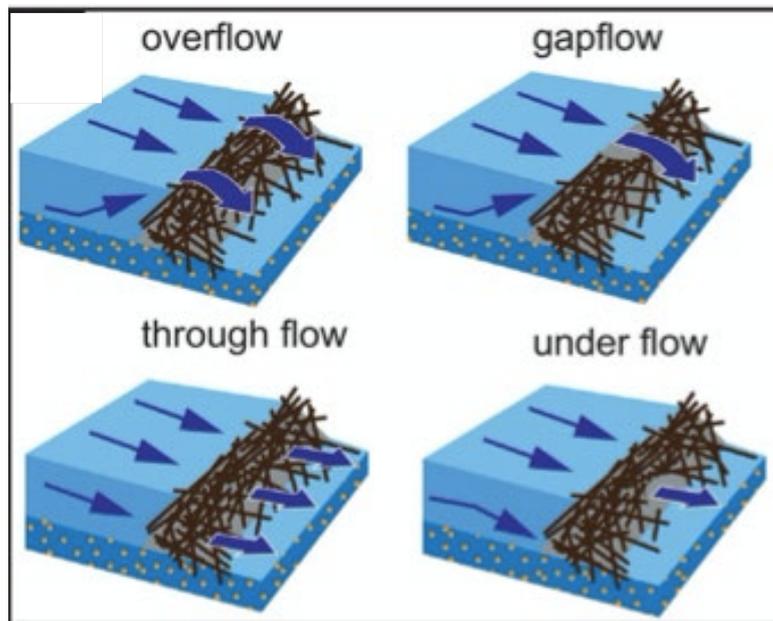


Figure 13 : Différentes inondations possibles dans un système barrage-étang.
Source : Larsen et al. (2021).

Lorsque le barrage de castors subit une trop forte pression liée à un fort débit du cours d'eau en amont, le surplus d'eau va alors s'évacuer de différentes façons selon la morphologie de la rivière et du barrage. Si le barrage est suffisamment solide, l'eau ne fera que submerger ce dernier et passer au-dessus (Figure 13 ; *overflow*). Dans ce cas, l'eau peut aussi passer à travers le barrage en fonction de l'étanchéité de celui-ci (Figure 12 ; *through flow*). Dans le cas contraire, où le barrage ne serait pas suffisamment solide, la pression de l'eau pourrait alors l'endommager partiellement (Figure 13 ; *gapflow*). En cas de précipitations extrêmes, le barrage pourrait aussi subir une rupture totale et laisser passer le surplus d'eau accumulé (Gurnell, 1998 ; Parker *et al.*, 1985 ; Stoll et Westbrook, 2020 ; Westbrook *et al.*, 2020).

Cette dernière situation représente un risque accru avec une rupture latérale, car les berges sont le point d'ancrage des deux extrémités du barrage et risquent elles aussi d'être emportées ou du moins érodées de manière importante (Larsen *et al.*, 2021). Le risque d'érosion est aussi accru lors d'une inondation car la dégradation de la masse racinaire, comme mentionné précédemment, favorise une faible rétention du sol. Cela s'aggrave avec

la possibilité d'affouissement ou de glissements des berges sur des sols argileux, ces derniers sont alors plus susceptibles à l'érosion.

Selon une étude basée sur 161 barrages de castors abandonnés au centre de l'Oregon, aux États-Unis, 38% des barrages ont rompu en raison de l'érosion latérale des berges tandis que 32% ont rompu partiellement au centre avec la création d'une brèche (Demmer et Beschta, 2008). Les auteurs suggèrent ainsi que l'érodabilité des berges joue un rôle crucial dans la résistance des barrages aux inondations.

En somme, bien que les barrages de castors apportent une variété d'aspects positifs d'un point de vue géomorphologique et écologiques, ils peuvent aussi être à l'origine de modifications rapides de l'environnement et de catastrophes lors d'une rupture soudaine. Cela a certainement contribué à leur réputation de destructeur et nuisible pour l'environnement.

4.1. Objectifs de la revue de presse et méthodologie

Dans la perspective de mieux documenter les incidents liés à la rupture partielle ou totale des barrages de castors, une revue de presse a été réalisée à l'échelle du Québec. À noter que seuls les incidents ayant eu des répercussions à l'échelle humaine ont été répertoriés puisque ceux n'ayant pas eu d'impacts sur les habitations et les infrastructures ne sont généralement pas mentionnés dans la presse écrite.

La revue de presse a été réalisée à partir de la Bibliothèque et archives nationales du Québec permettant un tri des résultats obtenus en sélectionnant les revues et journaux du patrimoine québécois. La recherche a été effectuée par mots clés avec notamment les termes *barrage* et *castor*. Une recherche plus poussée a ensuite été réalisée dans chacun des journaux sélectionnés (*La Tribune*, *Le Soleil*, *Le droit*, *Le Quotidien*, *La Presse*, *Le Nouvelliste*, *Progrès-Dimanche*, *La Voix du Sud*, *La Gatineau*, *Journal de Joliette*, *Journal de Québec*, *Info du Nord Tremblant*). La période couverte par la recherche s'étire de 1960 à 2024, considérant qu'aucun article de journaux mentionnant une rupture de barrage de castors n'a été recensé avant cette date.

4.2. Historique des accidents au Québec

Aujourd'hui, le suivi et la gestion des barrages de castors au Québec demeurent très variables selon les régions, les municipalités et les villes. En effet, plusieurs municipalités possèdent des outils géographiques pour identifier, recenser et classer les barrages en fonction de leur niveau de danger (organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon, s. d.). Cela n'est toutefois pas le cas pour l'ensemble des régions administratives et des municipalités du Québec, ce qui fait en sorte que des barrages abandonnés ou partiellement désuets, et sans surveillance, peuvent entraîner des accidents lors d'une rupture. Lorsque ces accidents se produisent, certains sont recensés dans les journaux et ce, généralement en fonction des dommages qui en résultent. À la lumière de ces informations, il s'agit donc ici d'une revue de presse non-exhaustive puisque seuls les accidents ayant eu des conséquences sur les infrastructures ont été recensés, permettant néanmoins d'entrevoir les régions physiographiques du Québec les plus affectées.

Les régions administratives les plus touchées sont l'Outaouais et le Saguenay avec cinq accidents répertoriés dans chacune de ces régions (Figure 14). Des accidents ont aussi été recensés ailleurs, notamment dans Les Laurentides (4), Charlevoix (3), Lanaudière (3), la Capitale-Nationale (2), l'Abitibi-Témiscamingue (1), Chaudière-Appalaches (1), la Haute Côte-Nord (1) et la Gaspésie (1). L'occurrence des accidents découlant d'une rupture de barrage de castors semble plus manifeste lors des mois estivaux ; août (39,1%), mai (17,4%), juillet (17,4%) et juin (8,7%). À l'inverse, un seul incident a été recensé pour chacun des mois suivants : avril, octobre, novembre et décembre (Tableau 2). Il convient toutefois de noter ici que la rupture de barrages de castors semble asynchrone, en majorité du moins, avec la période classique des hauts niveaux d'eaux et des inondations printanières associées à la fonte des neiges généralement en mars et avril.

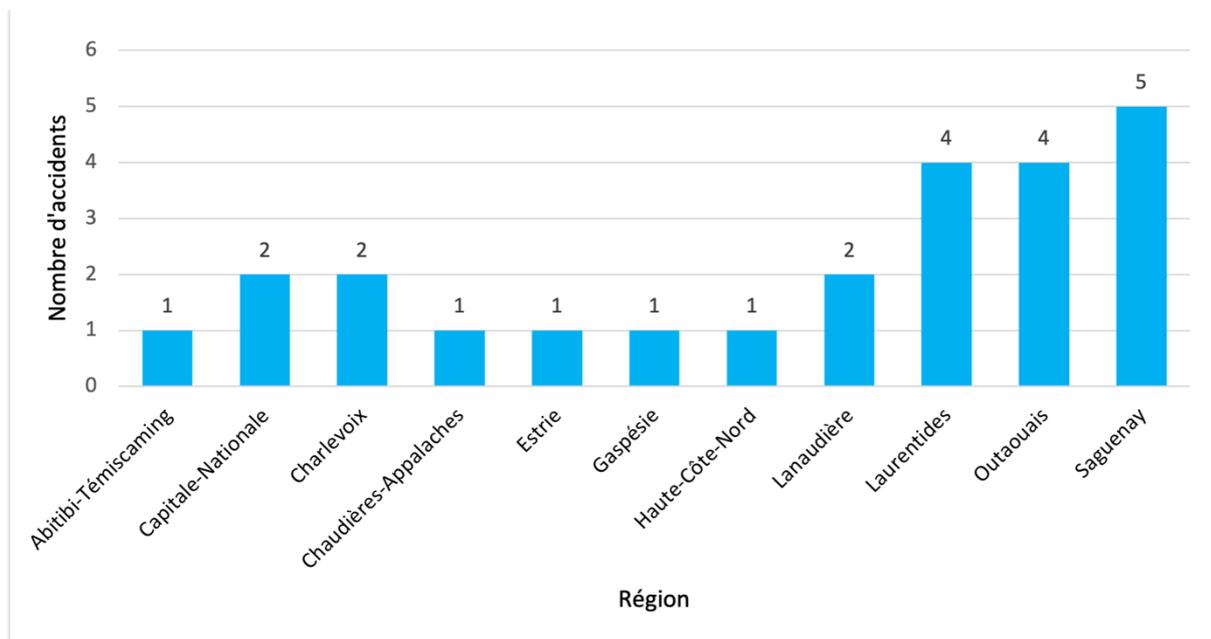


Figure 14 : Répartition géographique des accidents recensés liés à la rupture.

La conséquence la plus récurrente lors d'une rupture de barrage est une inondation (Figure 15). En effet, l'étang situé en amont d'un barrage de castors constitue un réservoir d'eau d'une quantité non-négligeable capable de générer des dommages significatifs en aval en fonction du type de rupture (partielle ou complète, soudaine ou graduelle, etc.). La deuxième conséquence la plus récurrente est l'affaissement de routes (Figure 15). Les ruisseaux et rivières passent souvent en dessous des routes au sein de ponceaux, lesquels restreignent l'espace de liberté du cours d'eau ou sont tout simplement peu ou pas adaptés à des débits aussi importants suite à la rupture d'un barrage de castors.

Il arrive parfois que les ruptures de barrages entraînent des conséquences catastrophiques comme le déraillement d'un train et le déversement de pétrole (Le Soleil, 1988). Cet événement est arrivé dans la circonscription de Porneuf, en 1988. Un barrage de castor situé en amont de la voie-ferrée s'est brisée et a déversé l'eau de l'étang de castor à travers les tuyaux de métal qui permettaient au ruisseau de traverser la voie-ferrée. Ces derniers, avec la quantité d'eau, ont rompu, brisant aussi les rails de la voie de chemin de fer (Le Soleil, 1988). Le train, et ses wagons ont, par la suite, déraillé et le carburant contenu dans ses derniers s'est déversé sur le territoire environnant.

Il peut aussi y avoir des conséquences juridiques à la suite d'une rupture de barrage, en effet, en août 2011, les propriétaires du gîte L'Oasis du Port, dans la MRC de Charlevoix-Est, ont subi des dommages importants suite à une inondation lié à une rupture de barrage de castors, qu'ils avaient pourtant mentionné le danger à la municipalité. En janvier 2017, la MRC fut donc condamné 450 000\$ aux propriétaire du gîte pour ne pas avoir procédé immédiatement après l'alerte des propriétaires, au démentèlement du barrage (Johanne Tremblay et Michel Cloutier c. MRC Charlevoix-Est, 240-17-000132-122, 2017 ; Radio-Canada, 2017).

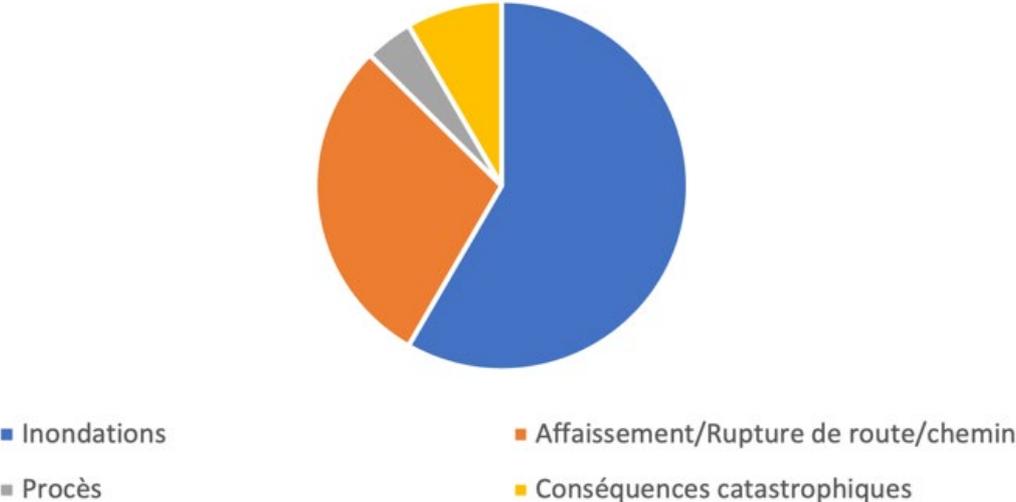


Figure : Types de conséquences recensés à la suite de la rupture d'un barrage de castors.

Tableau 2 : Liste chronologique des accidents ayant eu lieu au Québec à la suite d'une rupture de barrage de castors.

Année	Mois	Ville	Région	Conséquences	Sources
1963	Août	Magog	Estrie	Inondation d'une route	La Tribune
1988	Mai	Linton	Capitale-Nationale	Accident de train et déversement de pétrole dans une rivière	Le Soleil
1988	Août	Val des Monts	Outaouais	Inondations de 4 résidences	Le droit
1996	Juillet	L'Anse-St-Jean	Saguenay	détruisant la route régionale et la rue du Coin	BANQ
1997	Mai	Lanthier	Laurentides	Inondation d'une route	La Presse
2004	Juillet	Témiscaming	Abitibi-Témiscaming	Inondation d'une route et de résidences	La Presse
2005	Juin	L'Anse-St-Jean	Saguenay	Inondation d'un terrain	Le Quotidien
2005	Mai	La Tuque	Charlevoix	Inondations et affaissement de maisons	Le Nouvelliste
2006	Octobre	Lac Clairval	Saguenay	Inondation	Progrès-Dimanche
2007	Août	Rivière-au-Renard	Gaspésie	Inondation et deux morts	Radio-Canada
2009	Juillet	Massif du Sud	Chaudières-Appalaches	Annulation d'une course cycliste à cause des inondations	La voix du Sud
2009	Août	Denholm	Outaouais	Inondation dans la municipalité	La Gatineau
2009	Mai	Bowman	Outaouais	Inondation et affaissement de la route	Le droit
2010	Août	Pontiac	Outaouais	Effondrement route	Le droit
2010	Juillet	Namur	Laurentides	Effondrement route	Le droit
2010	Avril	Larouche	Saguenay	Inondation dans la municipalité	Le Quotidien
2011	Août	Saint-Siméon	Charlevoix	Inondation du gîte L'Oasis du Port	Radio-Canada
2011	Décembre	Saint-Côme	Lanaudière	Une partie de la route arrachée et eau potable coupée	Journal de Joliette

2011	Août	Saint-Gabriel de Valcartier	Capitale-Nationale	Inondation d'une maison	Journal de Québec
2015	Août	Lac Gélinas	Laurentides	Inondation	Info du Nord Tremblant
2018	Août	Ferme- Neuve	Laurentides	Inondation d'une route -fermeture de 2 jours	La Presse
2020	Août	Saint Félix d'Otis	Saguenay	Inondations de sous-sols, garage et route affaissée	Journal de Québec
2020	Novembre	Rivière Portneuf	Haute-Côte-Nord	Rupture de chemin	Journal Haute Côte-Nord
2022	Juin	Rawdon	Lanaudière	Rupture de chemin, affaissement d'une rue	Journal de Montréal

4.3. Analyse de la revue de presse

Suite à la revue de presse, l'expertise citoyenne serait à solliciter car elle permettrait d'identifier les barrages de castors sur le territoire. C'est aussi l'une des solutions à encourager pour renforcer la gestion des barrages et favoriser le bien commun.

Le castor représente « un problème » collectif puisque les inondations peuvent toucher tout le monde, peu importe la classe sociale et la situation personnelle. Il est donc favorable pour l'ensemble des citoyens de partager leurs connaissances en ce qui concerne les castors et leur barrage sur un territoire donné. En effet, un barrage présent sur le terrain d'un citoyen peut affecter plusieurs dizaines d'autres citoyens sans que ceux-ci aient conscience de son existence. L'une des solutions envisagées serait de favoriser une démarche de collaboration entre citoyens et la municipalité afin de faciliter la mise en place d'un plan de gestion adaptée. S'ajoute à cela une meilleure compréhension des risques liés à la rupture potentiel des barrages de castors en considérant les différentes expériences vécues par chacun.

L'expertise et le dialogue citoyen permet aussi de mieux comprendre les différents points de vue. À titre d'exemple, l'image d'un animal destructeur de la forêt, et qui inonde les champs et les habitations, contraste fortement avec les études scientifiques récentes, lesquelles mettent en avant le castor comme une espèce ingénieuse utile à la régulation des inondations si une gestion adéquate des barrages est mise en place (Stoll et Westbrook, 2020 ; Westbrook *et al.*, 2020). Cela souligne d'autant plus la nécessité de coupler le vécu et les perceptions citoyennes avec la science. Ce couplage pourrait aussi permettre de collecter plus rapidement des données (Luneau *et al.*, 2021), notamment à savoir le nombre d'individus, de barrages, leurs localisations, etc.

Dans le cadre de ce travail, la principale source documentaire provient de la presse écrite, ce qui souligne le rôle des médias dans la diffusion de l'information reliée aux ruptures de barrages de castors. Les médias permettent alors une remise en question de l'efficacité des acteurs territoriaux face à la gestion du castor. En effet, peu d'études existent au Québec quant à l'intégration des castors dans la gestion des rivières et des bassins versants en tant que solution basée sur la nature. Seuls quelques cas ont tout juste récemment été intégrés aux

cours des dernières années dans certains plans de gestion (Duchesne *et al.*, 2013 ; Fortin *et al.*, 2001). Avant cela, la science relative à la gestion des barrages de castors était plutôt sujette à interprétation. Bien que la situation soit en train de changer, l'absence de données concrètes sur les impacts potentiels de la rupture d'un barrage de castors dans la majorité des municipalités souligne d'une part, le travail de recension et de cartographie à effectuer et, d'autre part, la sensibilisation et la prise de conscience des bénéfices écosystémiques de la présence du castor pour la régulation des inondations auprès de la population mais aussi des acteurs et décideurs en aménagement du territoire.

Les médias jouent un rôle dans l'interprétation des incidents ayant lieu après une rupture de barrage. En exacerbant les impacts réels ou encore le rôle du castor, les médias déforment parfois la réalité et provoquent ainsi à l'occasion une mise à l'agenda au niveau politique pour que le gouvernement intervienne et mette en place des mesures de contrôle. Si le rôle des médias dans la communication de l'information est bien établi, le choix des sources et leurs impacts demeurent parfois nébuleux et difficile à justifier. Dans le cas contraire, les médias peuvent jouer un rôle clé comme diffuseur de l'expertise à la fois scientifique et citoyenne dans les journaux (Collins et Evans, 2007). Pour le castor, l'interprétation de la science se fait en questionnant l'utilité du castor dans la lutte aux changements climatiques en tant que solution basée sur la nature (Stoll et Westbrook, 2020). Pour les citoyens touchés directement ou indirectement par les effets négatifs liés à la présence du castor, l'animal apparaît comme une menace. À l'inverse, si la présence d'un barrage a permis de protéger un territoire d'une ou des inondations, les habitants vont percevoir la présence de l'espèce comme positive et bénéfique. Or, si seulement les événements négatifs sont transmis par les médias alors l'opinion publique qui en découle sera par conséquent négative.

Cela souligne l'importance ou le potentiel de la science citoyenne au regard des connaissances scientifiques en développement. Cela n'est d'ailleurs pas sans rappeler le manque de considération à l'égard des connaissances traditionnelles autochtones. Pourtant, en croisant les différents types de connaissances et de savoirs, nous serions en mesure de mieux identifier les bénéfices mais aussi les conflits potentiels avec les castors et ainsi mieux reconnaître leur rôle au sein du territoire et des écosystèmes. Comme le soulignait David Suzuki, les savoirs ancestraux sont « quelque chose de plus grand que les sciences, parce que celles-ci se limitent

à la production de savoirs au moyen d'outils et de théories, alors que les savoirs ancestraux autochtones ont le pouvoir de connecter le savoir au quotidien et à la vie » (Mollen Dupuis, 2022) et d'ainsi prendre conscience des réels impacts de cette espèce sur un territoire et pas seulement les impacts sur les hommes.

En intégrant l'histoire de l'espèce et sa relation ambiguë avec l'homme au cours des derniers siècles, voire des derniers millénaires, nous remarquerions que la relation entre les peuples autochtones et les castors s'est bâti au fil du temps en contes et légendes mais aussi par les observations dans le territoire, représentant ainsi une variété de connaissances (Clément, 2012 ; Delâge, 2014). Le travail des castors à travers l'édification de barrages a certainement modifié de manière considérable la morphologie et l'hydrologie du territoire.

Un exemple bien connu est celui du mythe de la Tortue, à l'origine des continents. Cette légende vient du peuple Huron-Wendat mais est aussi partagé par les Dénés des Territoires du Nord-Ouest. La Grande Tortue pourrait représenter, dans la science occidentale, la formation des continents et des îles et leurs mouvements (Dionne, 1991). On note que les animaux reviennent souvent dans les mythes et légendes autochtones pour expliquer la géomorphologie du monde. Cela traduit aussi l'importance qu'ils jouent réellement dans la (trans)formation des paysages.

En se basant à la fois sur une revue de la littérature scientifique et une revue de la presse écrite, il est alors possible de comparer les informations scientifiques et médiatiques. Les experts scientifiques influencent les médias et ces derniers influencent la sphère politique. L'*agenda-setting* devient alors une stratégie médiatique permettant une amplification ou une modification de la perception citoyenne (Hébert *et al.*, 2015). Différentes conséquences proviennent de l'*agenda-setting* comme l'émergence ou la création d'une opinion majoritaire (Hébert *et al.*, 2015). Cela peut avoir comme effet de renforcer les croyances citoyennes ou de les faire valoir davantage au sein de la sphère politique.

5. Solutions pour une meilleure cohabitation

Afin de limiter les problématiques liées aux ruptures potentielles de barrages de castors, l'une des meilleures solutions à ce jour demeure la prévention et la planification. Différentes méthodes sont à privilégier afin de respecter autant l'humain, l'environnement naturel que l'animal.

Plusieurs études traitent de ce sujet, cherchant à mettre en avant des solutions pour mieux cohabiter avec les castors. Des chercheurs ont récemment réalisé une analyse bibliométrique afin de recenser les documents portant sur la gestion des castors, dans lesquels ces derniers sont considérés comme une ressource. Les documents s'étalent sur une période de 44 ans et remontent jusqu'en 1979 (Treves et Comino, 2024). La période commence avec les débuts de la mise en place de la protection de l'espèce et de sa réintroduction. L'analyse recense un total de 415 documents qui montre un nombre annuel de publications à la hausse (Treves et Comino, 2024).

Dans un premier temps, les méthodes de prévention permettent de préserver l'animal et sont donc socialement parlant, plus acceptées. De plus, elles permettent d'éviter les situations et les interventions d'urgence qui sont souvent coûteuses. Cela consiste à aménager le territoire pour faire en sorte de diriger l'installation des castors dans certains secteurs ciblés. Par exemple, on peut accentuer la coupe de feuillus dans les endroits où l'on souhaite limiter l'installation des castors. En effet, ces derniers préférant les feuillus, plus faciles à manger par comparaison aux conifères, auront tendance à déménager si l'environnement ne leur convient plus. Cette technique est aussi utilisée pour décourager les castors de construire dans des zones sensibles à l'érosion (Morin, 2012). À titre d'exemple, la ville de Mont Tremblant a mis en place des dispositifs pour empêcher les castors de construire des barrages dans les ponceaux de routes (Figure 16). En installant des barrières et des tuyaux dans les ponceaux, cela empêche les castors de s'installer tout en laissant s'écouler l'eau (Coursol, 2016). Cela permet de garantir la sécurité autant des castors que des infrastructures destinées aux humains.



Figure 16 : Technique de dissuasion contre la construction de barrage de castor.
Source : L'Info du Nord – Mont Tremblant, 2016.

Une autre technique appelée exclusion, consiste à poser des clôtures autour des arbres susceptibles de se faire abattre par le castor. D'une hauteur d'un mètre minimum autour de chacun des arbres ciblés, cette technique est cependant longue et coûteuse (Morin, 2012). Le pré barrage est une autre technique qui consiste à construire une amorce de barrage afin d'inciter les castors à poursuivre cette amorce, et ainsi s'installer dans certaines portions ciblées de la rivière où les impacts pour l'humain seront négligeables. Le *Guide de gestion de la déprédation du castor*, paru en 2009, propose une technique pour entreprendre un tel ouvrage (Larocque *et al.*, 2009).

Ces techniques sont majoritairement utilisées de manière préventive à la construction d'un barrage. Dans le cas contraire, d'autres moyens de contrôle existent. Par exemple, l'installation d'un système d'évacuation de l'eau depuis l'étang en amont permet un meilleur

écoulement vers l'aval et réduit ainsi le risque d'inondation. Des tuyaux avec un grillage peuvent aussi être installés dans une brèche du barrage pour accentuer la circulation de l'eau, le grillage empêchant les castors de boucher le tuyau (Figure 17) (Fortin *et al.*, 2001).

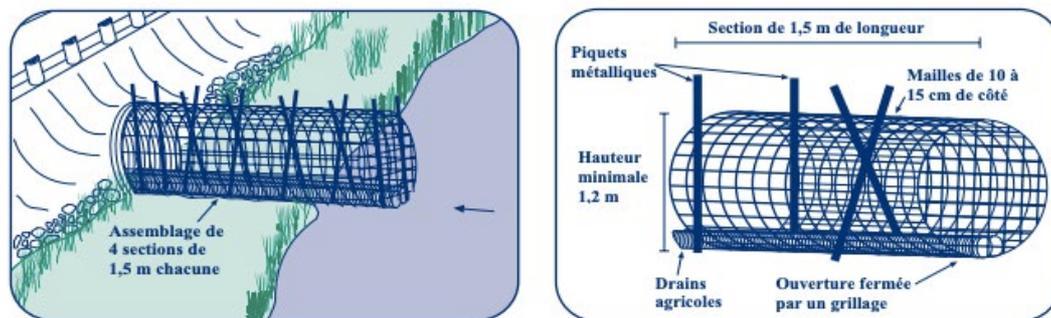


Figure 17 : Système de protection d'un barrage de castor.

Source : Guide d'aménagement et de gestion du territoire utilisé par le castor au Québec, 2001.

Bien évidemment, il existe aussi des méthodes répressives comme le trappage, la relocalisation et le démantèlement des barrages. Cependant, ces méthodes ne sont pas encouragées dans l'optique d'une meilleure cohabitation avec le castor (Duchesne *et al.*, 2013). À l'inverse, on recommande une surveillance accrue de l'évolution de la population de castors et de leurs constructions sur un territoire donné. Avec de meilleures connaissances sur les populations, leur densité et la répartition des barrages, il devient plus facile d'établir des solutions respectueuses de l'écosystème. De plus, une collaboration avec les experts de la faune permet de mieux comprendre les réalités sur le terrain.

Pour permettre une réconciliation entre l'humain et l'animal, il est important de laisser le castor jouer son rôle dans la gestion et l'aménagement du territoire. C'est pour cela qu'il représente une solution basée sur la nature, c'est à dire l'une des « solutions aux problèmes climatiques axées sur la nature. [...] Les solutions fondées sur la nature nous permettent d'atténuer les effets des changements climatiques et de nous y adapter, tout en aidant la biodiversité » (Canada, 2023).

À titre d'exemple, en changeant le régime d'écoulement de la rivière, les castors permettent une meilleure gestion des crues et des inondations naturelles (Gurnell, 1998 ; Westbrook *et*

al., 2020) . Les barrages de castors sont en effet capables de retenir une grande quantité d'eau. Une étude a démontré que certains barrages sont capables de retenir jusqu'à 250 à 300 mm de pluie sur quatre jours (Puttock *et al.*, 2021 ; Westbrook *et al.*, 2020). Cette capacité de rétention, par comparaison aux barrages industriels, est dû au fait que les barrages de castors ne sont pas entièrement étanches. Ils laissent l'eau s'écouler plus lentement au lieu de la stocker complètement, en plus des nombreux canaux avoisinant le barrage et qui permettent une évacuation diversifiée et efficace de l'eau. Les barrages de castors constituent donc une solution pour la restauration des bassins versants à travers des modifications morphologiques de la rivière comme le rétablissement de méandres et les bandes riveraines (Puttock *et al.*, 2021). En effet, d'après une étude réalisée dans les Rocheuses canadiennes, 41% des barrages de castors pourraient survivre à des inondations extrêmes (Westbrook *et al.*, 2020) allant jusqu'à $1,34 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ par mètre de largeur pour un barrage de 1,4 m de hauteur (Muller et Watling, 2016).

L'acceptabilité sociale constitue aussi un chemin vers une meilleure cohabitation ; plusieurs solutions existent pour que les castors obtiennent une meilleure image au sein de la société. Dans un premier temps, adopter une attitude positive envers ces derniers augmente l'intérêt de la population et encourage la mise en place d'action de protection des barrages et de leurs populations (Auster *et al.*, 2021, 2023 ; Capobianco *et al.*, 2023). Cette attitude positive est principalement relayée au sein des médias qui jouent un rôle majeur sur l'opinion de la société mais aussi à travers la valorisation de la science citoyenne qui permet aux citoyens potentiellement en conflits avec les castors de s'impliquer dans la gestion des barrages.

Cette science citoyenne est aussi une solution pour localiser et identifier les barrages pouvant causer des conflits ou des dégâts ; cela renforce la prévention liée au rupture de barrages mais aussi l'implication citoyenne. En faisant ainsi participer la population, les hommes et les castors apprennent à cohabiter et prennent conscience du rôle des animaux sur leur territoire et la résilience que permettent les barrages face aux inondations, aux sécheresses et aux incendies (Jordan et Fairfax, 2022 ; Nash *et al.*, 2021).

Finalement, le tourisme sauvage ou tourisme animal constitue une solution pour une meilleure compréhension des enjeux liés au castors (Auster *et al.*, 2020). Étant un des symboles

du Canada, encourager l'éco-tourisme autour de cet animal contribuera à une solution pour sensibiliser la population face aux bénéfices des barrages de castors dans la lutte aux changements climatiques. Cela permettra aussi de soutenir une vision positive face aux castors tout gardant une gestion prudente pour veiller au bien-être des animaux. Cette expérience existe déjà en Grande-Bretagne, le castor ayant été cependant réintroduit (Auster *et al.*, 2020), la perception du public peut être parfois plus négative que face à une espèce indigène faisant parti de l'histoire du pays.

6. Discussion et conclusion

Les impacts géomorphologiques des barrages de castors sont non-négligeables dans l'évolution d'un bassin versant et ses écosystèmes étant donné leur capacité à changer la morphologie d'une rivière, son régime hydrologique et sédimentaire. Les castors ont aussi le pouvoir avec ces transformations environnementales de diversifier les écosystèmes avoisinants et d'accroître la biodiversité. Malgré tous ces bénéfices écosystémiques, les barrages de castors peuvent aussi entraîner certains risques d'inondation et d'érosion. Pour mieux cohabiter avec ces animaux et apprendre à mieux prévenir ces risques, il est important de reconnaître et d'accepter qu'on ne puisse pas avoir un contrôle total sur l'ingénierie des castors. Pour encourager cette collaboration, il est aussi important de soutenir l'engagement des gestionnaires et du public pour atténuer le risque de conflit en permettant une meilleure compréhension des impacts des barrages et en favorisant le développement de connaissances scientifiques.

Certaines régions au Québec semblent plus sujettes aux risques d'où la nécessité de mettre en place des mesures d'atténuation afin de protéger au mieux les citoyens, les infrastructures, et les animaux. La gestion des barrages de castors au Québec pourrait devenir un enjeu majeur pour un aménagement du territoire plus résilient et respectueux de l'environnement. La Ville de Mont-Tremblant représente un bon exemple avec l'implantation de dispositifs pour mieux gérer la construction des barrages. En encourageant les municipalités à réaliser un inventaire des barrages de castors et de leur état, on favorise la cohabitation et l'intégration des castors au sein d'un territoire habité en maximisant les services écosystémiques rendus.

Enfin, bien que les castors puissent générer un certain risque, leurs constructions représentent aussi une solution basée sur la nature pour la régulation, dans une certaine mesure, des inondations et des crues. Il faut donc apprendre à collaborer avec ces ingénieurs de la nature pour une gestion durable des cours d'eau et des écosystèmes adjacents.

BIBLIOGRAPHIE

- Agence Parcs Canada, G. du C. (2022, 25 novembre). *Le plus gros barrage de castor au monde*. https://parcs.canada.ca/pn-np/nt/woodbuffalo/nature/beaver_gallery
- Allaire, G. (1980). Les engagements pour la traite des fourrures: Évaluation de la documentation. *Revue d'histoire de l'Amérique française*, 34(1), 3. <https://doi.org/10.7202/303835ar>
- Auster, R. E., Barr, S. W. et Brazier, R. E. (2020). Wildlife tourism in reintroduction projects: Exploring social and economic benefits of beaver in local settings. *Journal for Nature Conservation*, 58, 125920. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125920>
- Auster, R. E., Barr, S. W. et Brazier, R. E. (2021). Improving engagement in managing reintroduction conflicts: learning from beaver reintroduction. *Journal of Environmental Planning and Management*, 64(10), 1713-1734. <https://doi.org/10.1080/09640568.2020.1837089>
- Auster, R. E., Puttock, A. K., Barr, S. W. et Brazier, R. E. (2023). Learning to live with reintroduced species: beaver management groups are an adaptive process. *Restoration Ecology*, 31(5), e13899. <https://doi.org/10.1111/rec.13899>
- Aznar, J.-C. et Desrochers, A. (2008). Building for the future: Abandoned beaver ponds promote bird diversity. *Écoscience*, 15(2), 250-257. <https://doi.org/10.2980/15-2-3107>
- Bétard, F. (2021). Insects as zoogeomorphic agents: an extended review. *Earth Surface Processes and Landforms*, 46(1), 89-109.
- Biron, P. M., Buffin-Bélanger, T. et Massé, S. (2018). The need for river management and stream restoration practices to integrate hydrogeomorphology. *Canadian Geographies / Géographies canadiennes*, 62(2), 288-295. <https://doi.org/10.1111/cag.12407>
- Black, T. A. et Montgomery, D. R. (1991). Sediment transport by burrowing mammals, Marin County, California. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16(2), 163-172.

- Boonman-Berson, S., Turnhout, E. et Carolan, M. (2016). Common sensing: Human-black bear cohabitation practices in Colorado. *Geoforum*, 74, 192-201.
- Brazier, R. E., Puttock, A., Graham, H. A., Auster, R. E., Davies, K. H. et Brown, C. M. L. (2021). Beaver: Nature's ecosystem engineers. *Wires. Water*, 8(1), e1494.
- Brick, P. et Woodruff, K. (2019). The Methow Beaver Project: the Challenges of an Ecosystem Services Experiment. *Case Studies in the Environment*, 3(1), 1-14.
- Brown, D. J., Hubert, W. A. et Anderson, S. H. (1996). Beaver ponds create wetland habitat for birds in mountains of southeastern Wyoming. *Wetlands*, 16(2), 127-133. <https://doi.org/10.1007/BF03160686>
- Bruggeman, J. et Kooijman, S. A. L. M. (2007). A biodiversity-inspired approach to aquatic ecosystem modeling. *Limnology and Oceanography*, 52(4), 1533-1544. <https://doi.org/10.4319/lo.2007.52.4.1533>
- Butler, D. (1991). Beavers as Agents of Biogeomorphic Change: A Review and Suggestions for Teaching Exercises. *Journal of Geography*, 90, 210-217.
- Butler, D. R. (1992). The grizzly bear as an erosional agent in mountainous terrain. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 36(2), 179-189.
- Butler, D. R. (2007). The geomorphic influence of beaver. Dans *Zoogeomorphology: animals as geomorphic agents*, Chapter 8, pp. 148-183. Cambridge University Press.
- Butler, D. R. (2018). Zoogeomorphology in the Anthropocene. *Geomorphology*, 303, 146-154.
- Butler, D. R. (2019). Zoogeomorphology. Dans D. Richardson, N. Castree, M. F. Goodchild, A. Kobayashi, W. Liu et R. A. Marston (dir.), *International Encyclopedia of Geography* (1^{re} éd., p. 1-6). Wiley.
- Butler, D. R. et Malanson, G. P. (2005). The geomorphic influences of beaver dams and failures of beaver dams. *Geomorphology*, 71(1-2), 48-60.

- Capobianco, G., Viviano, A., Mazza, G., Cimorelli, G., Casciano, A., Lagrotteria, A., Fusillo, R., Marcelli, M. et Mori, E. (2023). "Oops...a Beaver Again!" Eurasian Beaver Castor fiber Recorded by Citizen-Science in New Areas of Central and Southern Italy. *Animals*, 13(10), 1699. <https://doi.org/10.3390/ani13101699>
- Cammeraat, E. L. H. et Risch, A. C. (2008). The impact of ants on mineral soil properties and processes at different spatial scales. *Journal of Applied Entomology*, 132(4), 285-294.
- Clément, D. (2012). *Le bestiaire innu: les quadrupèdes*. Presses universitaires de Laval.
- Cooke, H. A. et Zack, S. (2008). Influence of beaver dam density on riparian areas and riparian birds in shrubsteppe of Wyoming. *Western North American Naturalist*, 68(3), 365-373. [https://doi.org/10.3398/1527-0904\(2008\)68\[365:IOBDDO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3398/1527-0904(2008)68[365:IOBDDO]2.0.CO;2)
- Côté, Hélène (2008). La traite des fourrures en Nouvelle-France. Dans Marc St-Hilaire, Alain Roy, Mickaël Augeron et Dominique Guillemet (dir.), *Les traces de la Nouvelle-France*. Les Presses de l'Université Laval (coll. « Atlas historique du Québec »). <https://atlas.cieq.ca/les-traces-de-la-nouvelle-france/la-traite-des-fourrures-en-nouvellefrance.pdf>
- Coursol, Ma. (2016, 23 février). Mont-Tremblant intensifie sa «lutte» au castor. Linfo du Nord Mont-Tremblant. <https://infodunordtremblant.ca/actualites/politique/2016/02/23/mont-tremblant-intensifie-sa-lutte-au-castor/>
- Dalbeck, L., Lüscher, B. et Ohlhoff, D. (2007). Beaver ponds as habitat of amphibian communities in a central European highland. *Amphibia-Reptilia*, 28(4), 493-501. <https://doi.org/10.1163/156853807782152561>
- Delâge, D. (2014). Du castor cosmique au castor travailleur : histoire dun transfert culturel. *Les Cahiers des dix*, (68), 1-45. <https://doi.org/10.7202/1029289ar>
- Demmer, R. et Beschta, R. L. (2008). Recent History (1988–2004) of Beaver Dams along Bridge Creek in Central Oregon. *Northwest Science*, 82(4), 309-318. <https://doi.org/10.3955/0029-344X-82.4.309>

- Duchesne, D., Kovacz, D. et Caissy, A-R. (2013). *Cohabiter avec le castor : de la planification à l'intervention*. Organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon.
- Ecke, F., Levanoni, O., Audet, J., Carlson, P., Eklöf, K., Hartman, G., McKie, B., Ledesma, J., Segersten, J., Truchy, A. et Futter, M. (2017). Meta-analysis of environmental effects of beaver in relation to artificial dams. *Environmental Research Letters*, 12(11), 113002.
- Fort, M., Bétard, F. et Arnaud-Fassetta, G. (2015). Chapitre 1 - Qu'est-ce que la géomorphologie ? Évolution des idées et des concepts. Dans *Géomorphologie dynamique et environnement* (p. 9-50). Armand Colin.
- Fortin, C., Laliberté, M. et Ouzilleau, J. (2001). *Guide d'aménagement et de gestion du territoire utilisé par le castor au Québec*. Fondation de la Faune du Québec.
- Geomorphology 201- Chapter 2 : Fluvial Geomorphology. <https://aardlink.files.wordpress.com/2013/04/geom-reader-2a-fluvial-p1-22.pdf> 2013.
- Gouvernement du Canada, (2023, 15 février). *Les solutions fondées sur la nature*. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/notre-environnement/solutions-climatiques-fondees-nature.html>
- Gouvernement du Québec. (s. d.). *Tortue-molle à épines*. Gouvernement du Québec. Récupéré le 11 décembre 2023. <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/faune/animaux-sauvages-quebec/liste-des-especes-fauniques/tortue-molle-epines>
- Grover, A. M. et Baldassarre, G. A. (1995). Bird species richness within beaver ponds in south-central New York. *Wetlands*, 15(2), 108-118. <https://doi.org/10.1007/BF03160664>
- Grudzinski, B. P., Fritz, K., Golden, H. E., Newcomer-Johnson, T. A., Rech, J. A., Levy, J., Fain, J., McCarty, J. L., Johnson, B., Vang, T. K. et Maurer, K. (2022). A global review of beaver dam impacts: Stream conservation implications across biomes. *Global Ecology and Conservation*, 37, e02163. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02163>

- Gurnell, A. M. (1998). The hydrogeomorphological effects of beaver dam-building activity. *Progress in Physical Geography*, 22(2), 167-189.
- Hartman, G. et Törnlov, S. (2006). Influence of watercourse depth and width on dam-building behaviour by Eurasian beaver (*Castor fiber*). *Journal of Zoology*, 268(2), 127-131. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2005.00025.x>
- Hausmann, N. S. (2017). Soil movement by burrowing mammals: A review comparing excavation size and rate to body mass of excavators. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 41(1), 29-45.
- Hébert, V., Sirois, G. et Tremblay-Potvin, É. (2015, 7 juillet). *Les effets des médias à l'ère du 2.0* [Rapport de recherche présenté au Centre d'étude sur les médias]. Groupe de recherche en communication politique. <https://www.cem.ulaval.ca/wp-content/uploads/2019/04/effetsmedias.pdf>
- Hintz, N. H., Schulze, B., Wacker, A. et Striebel, M. (2022). Ecological impacts of photosynthetic light harvesting in changing aquatic environments: A systematic literature map. *Ecology and Evolution*, 12(3), e8753. <https://doi.org/10.1002/ece3.8753>
- Hood, G. A. et Larson, D. G. (2015). Ecological engineering and aquatic connectivity: a new perspective from beaver-modified wetlands. *Freshwater Biology*, 60(1), 198-208. <https://doi.org/10.1111/fwb.12487>
- ICI.Radio-Canada, (2016). *Un castor destructeur à North Vancouver*. Radio-Canada. Radio-Canada.ca. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1008207/un-castor-destructeur-a-north-vancouver>
- IUCN. (2016, 7 août). *Castor canadensis: Cassola, F.: The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T4003A22187946*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T4003A22187946.en>
- Ives, R. L. (1942). The beaver-meadow complex. *Journal of Geomorphology*. 5: 191–203.

- Johanne Tremblay et Michel Cloutier c. MRC Charlevoix-Est. (2017, 10 janvier). 240-17-000132-122 (CS). <https://agrcq.ca/wp-content/uploads/2014/04/Jugement-barrage-castors-MRC-Charlevoix-2017.pdf>
- Johnston, C. A. (2014). Beaver pond effects on carbon storage in soils. *Geoderma*, 213, 371-378. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.025>
- Jones, C. G., Lawton, J. H. et Shachak, M. (1994). Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos*, 69(3), 373. <https://doi.org/10.2307/3545850>
- Jordan, C. E. et Fairfax, E. (2022). Beaver: The North American freshwater climate action plan. *WIREs Water*, 9(4), e1592. <https://doi.org/10.1002/wat2.1592>
- Jouquet, P., Janeau, J.-L., Pisano, A., Sy, H. T., Orange, D., Minh, L. T. N. et Valentin, C. (2012). Influence of earthworms and termites on runoff and erosion in a tropical steep slope fallow in Vietnam: A rainfall simulation experiment. *Applied Soil Ecology*, 61, 161-168.
- Jungers, M. C. (2017). The role of beaver in reach-scale fluvial geomorphology and sediment storage in the Adirondack mountains, New York. Keck Geology Consortium. <https://keckgeology.org/wp-content/uploads/2017/Keck%20PDFs%202017/JUNGERS.pdf>
- Lafond, R., Leblanc, Y. et Pilon, C. (2003). *Bilan du plan d'inventaire aérien des colonies de castors au Québec, 1989-1994*. Société de la faune et des parcs du Québec.
- Larocque, C., Lamoureux, J. et Pelletier, A. (2009). *Guide de gestion de la déprédation du castor*. Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/faune/guide-castor.pdf>
- Larsen, A., Larsen, J. R. et Lane, S. N. (2021). Dam builders and their works: Beaver influences on the structure and function of river corridor hydrology, geomorphology, biogeochemistry and ecosystems. *Earth-Science Reviews*, 218, 103623.
- Law, A., McLean, F. et Willby, N. J. (2016). Habitat engineering by beaver benefits aquatic biodiversity and ecosystem processes in agricultural streams. *Freshwater Biology*, 61(4), 486-499.

Lazar, J. G., Addy, K., Gold, A. J., Groffman, P. M., McKinney, R. A. et Kellogg, D. Q. (2015). Beaver Ponds: Resurgent Nitrogen Sinks for Rural Watersheds in the Northeastern United States. *Journal of Environmental Quality*, 44(5), 1684-1693. <https://doi.org/10.2134/jeq2014.12.0540>

Le Soleil. (1988, 12 mai). Un train déraile à la suite de la rupture d'un barrage... de castors. Collections de la BANQ. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2889351>

Lobeck, A. K. (1939). *Geomorphology: Introduction to the study of Landscapes*. McGraw-Hill Companies.

Majerova, M., Neilson, B. T., Schmadel, N. M., Wheaton, J. M. et Snow, C. J. (2015). Impacts of beaver dams on hydrologic and temperature regimes in a mountain stream. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(8), 3541-3556. <https://doi.org/10.5194/hess-19-3541-2015>

Mariana, F. et Lizarralde, M. (2012). The invasive beaver castor canadensis in the Tierra del Fuego archipelago : a mitochondrial DNA and special genetic structure analysis for controlling population expansion. Dans Joaquin J. Blanco et Adrian T. Fernandes (dir.) *Invasive Species: Threats, Ecological Impact and Control Methods*. (p.1-24). Nova Science Pub Inc.

Meentemeyer, R. K., Vogler, J. B. et Butler, D. R. (1998). The geomorphic influences of burrowing beavers on streambanks, Bolin Creek, North Carolina. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 42(4), 453-468.

MELCCFP. (s. d.). *Macroinvertébrés benthiques*. Récupéré le 11 décembre 2023. https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/macroiinvertebre/benthos/index.htm

Mollen Dupuis, M. (2022). La vision des savoirs ancestraux autochtones sur les changements climatiques. *Revue Possibles*, 46(2), 12-18. <https://doi.org/10.62212/revuepossibles.v46i2.573>

- Morin, R. (2012). *L'érosion et la sédimentation des cours d'est liées aux activités du castor : proposition d'un démarche de gestion*[Essai, Maitrise en Environnement, Université de Sherbrooke. https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/7344/cufe_Morin_Remi_essai298.pdf?sequence=1
- Moussa, R. (2009). Definition of new equivalent indices of Horton-Strahler ratios for the derivation of the Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph. *Water Resources Research*, 45(9), 2008WR007330. <https://doi.org/10.1029/2008WR007330>
- Muller, G. et Watling, J. (2016, 12 juillet). *The engineering in beaver dams*. River Flow 2016: Eighth International Conference on Fluvial Hydraulics, Saint Louis, United States. <https://eprints.soton.ac.uk/400282/>
- Naiman, R. J. et Melillo, J. M. (1984). Nitrogen budget of a subarctic stream altered by beaver (*Castor canadensis*). *Oecologia*, 62(2), 150-155. <https://doi.org/10.1007/BF00379007>
- Nash, C. S., Grant, G. E., Charnley, S., Dunham, J. B., Gosnell, H., Hausner, M. B., Pilliod, D. S. et Taylor, J. D. (2021). Great Expectations: Deconstructing the Process Pathways Underlying Beaver-Related Restoration. *BioScience*, 71(3), 249-267. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa165>
- Nummi, P. et Holopainen, S. (2014). Whole-community facilitation by beaver: ecosystem engineer increases waterbird diversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24(5), 623-633. <https://doi.org/10.1002/aqc.2437>
- Nummi, P., Kattainen, S., Ulander, P. et Hahtola, A. (2011). Bats benefit from beavers: a facilitative link between aquatic and terrestrial food webs. *Biodiversity and Conservation*, 20(4), 851-859. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9986-7>
- Nummi, P., Liao, W., Huet, O., Scarpulla, E. et Sundell, J. (2019). The beaver facilitates species richness and abundance of terrestrial and semi-aquatic mammals. *Global Ecology and Conservation*, 20, e00701.
- OBV-NordEstBSL. (s. d.). *Espace de liberté des cours d'eau*. Récupéré le 7 décembre 2023. <https://obv.nordestbsl.org/espace-de-liberte-des-cours-deau.html>

Organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon. (s. d.). Outil d'acquisition de connaissances sur les castors et leurs barrages. *Organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon*. <https://www.rpns.ca/projet/outil-dacquisition-de-connaissances-sur-les-castors-et-leurs-barrages/>

Parker, H., Nummi, P., Hartman, G. et Rosell, F. (2012). Invasive North American beaver *Castor canadensis* in Eurasia: a review of potential consequences and a strategy for eradication. *Wildlife Biology*, 18(4), 354-365.

Parker, M., Wood Jr., F. J., Smith, B. H. et Elder, R. G. (1985). *Erosional Downcutting in Lower Order Riparian Ecosystems: Have Historical Changes Been Caused by Removal of Beaver? In Riparian Ecosystem and Their Management : Reconciling Conflict Uses* [U.S Forest Service General Technical Report RM-120]. https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_rm/rm_gtr120/rm_gtr120_035_038.pdf

Pocheville, A. (2010). *La niche écologique : concepts, modèles et application* [Ecole normale supérieure]. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=0ec8a352075425042a49e509405c97b12e55d63d>

Pollock, M. M., Heim, M. et Werner, D. (2003). Hydrologic and Geomorphic Effects of Beaver Dams and Their Influence on Fishes. Dans *American Fisheries Society Symposium* (p. 23). https://www.researchgate.net/publication/231218389_Hydrologic_and_Geomorphic_Effects_of_Beaver_Dams_and_Their_Influence_on_Influence_on_Fishes

Puttock, A., Graham, H. A., Ashe, J., Luscombe, D. J. et Brazier, R. E. (2021). Beaver dams attenuate flow: A multi-site study. *Hydrological Processes*, 35(2), e14017.

Radio-Canada. (2017, 12 janvier). Barrage de castors : la MRC de Charlevoix-Est condamnée à verser 640 000 \$. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1010407/rupture-barrage-castors-mrc-charlevoix-condamnation-640-000>

Romero, G. Q., Gonçalves-Souza, T., Vieira, C. et Koricheva, J. (2015). Ecosystem engineering effects on species diversity across ecosystems: a meta-analysis. *Biological Reviews*, 90(3), 877-890. <https://doi.org/10.1111/brv.12138>

Rosell, F., Bozsér, O., Collen, P. et Parker, H. (2005). Ecological impact of beavers *Castor fiber* and *Castor canadensis* and their ability to modify ecosystems. *Mammal Review*, 35(3-4), 248-276.

Rousseau, M. (1949, 5 août). Le peuple : organe du district de Montmagny, p.7. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/4487077>

Snodgrass, J. W. et Meffe, G. K. (1998). Influence of beavers on stream fish assemblages : effects of pond age and watershed position. *Ecology*, 79(3), 928-942. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079\[0928:IOBOSF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079[0928:IOBOSF]2.0.CO;2)

Stoll, N.-L. et Westbrook, C. J. (2020). Beaver dam capacity of Canada's boreal plain in response to environmental change. *Scientific Reports*, 10(1), 16800. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73095-z>

Strahler, A. H. et Strahler, A. N. (2006). *Introducing physical geography* (4th ed). J. Wiley.

The Beaver Believers. (2023, avril). Tensegrity Productions. <https://www.thebeaverbelievers.com>

Treves, A. et Comino, E. (2024). A bibliometric literature review in beaver management: when does the beaver become a resource? *Mammal Review*, 54(2), 213-228. <https://doi.org/10.1111/mam.12338>

Westbrook, C. J., Ronnquist, A. et Bedard-Haughn, A. (2020). Hydrological functioning of a beaver dam sequence and regional dam persistence during an extreme rainstorm. *Hydrological Processes*, 34(18), 3726-3737.

Woo, M. et Waddington, J. M. (1990). Effects of Beaver Dams on Subarctic Wetland Hydrology. *ARCTIC*, 43(3), 223-230. <https://doi.org/10.14430/arctic1615>