

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

CARACTÉRISATION DES PARAMÈTRES DE L'HABITAT DU CASTOR QUI
FAVORISENT L'UTILISATION DES PONCEAUX COMME SITE DE
CONSTRUCTION DE BARRAGE

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR
GENEVIÈVE TREMBLAY

AVRIL 2010

Avant-propos

Conformément aux exigences du programme de maîtrise en biologie, ce mémoire comprend un article rédigé en langue française portant sur la caractérisation de l'habitat du castor à proximité des ponceaux dans les routes forestières, ainsi qu'une introduction et une conclusion générales. L'article sera soumis au périodique scientifique *Canadian Journal of Forest Research*. J'ai procédé à toutes les étapes de collecte, de traitement et de l'analyse des données pour cet article en plus d'en être la première auteure. Osvaldo Valeria et Louis Imbeau sont les co-auteurs.

La réalisation de ce projet de recherche n'aurait pu être possible sans l'appui et les conseils de plusieurs personnes qui m'ont aidé à cheminer au cours de ces deux années. À commencer par mon directeur, M. Osvaldo Valeria, qui a su se rendre disponible pour moi tout au long de mon parcours. Toujours réceptif et doté d'une écoute et d'un sens du positivisme hors du commun, son support m'a été d'une valeur inestimable pour mener à bien ce projet. Je remercie aussi grandement M. Louis Imbeau, co-directeur du projet, pour sa contribution essentielle aux différentes étapes de l'élaboration et de la réalisation du projet. Ses commentaires et les discussions soulevées m'ont permis de pousser plus loin ma réflexion. Je remercie également Marc Mazerolle pour son aide et ses conseils statistiques. Un merci particulier également à mes aides de terrain, Annie Malenfant et Francis Martin et à Lihong Whong qui a contribué à la mise en place du projet. Finalement, je remercie mes collègues de l'UQAT qui ont permis d'alimenter différentes discussions autour de mon projet de recherche. Je ne saurais manquer de souligner également la contribution de nombreux intervenants tout au long du projet, à commencer par Roger De Denus, Pierre Cartier, Jean-Marc St-Amant, Maurice Tardif, Simone Paquin, Alain Shink et Véronique Têtu qui m'ont gentiment accordé de leur temps afin de me faire bénéficier de leur connaissances et de leurs idées pour la mise en place et la

poursuite du projet. Ce projet a été rendu possible grâce au support financier, du ministère de Ressources naturelles et de la Faune Québec (Programme de mise en valeur du milieu forestier - Volet 2), le CRSNG, la chaire industrielle CRNSG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable et la Fondation de l'UQAT.

Résumé

L'utilisation des routes comme assise pour la construction de barrages par le castor est fréquente dans l'ensemble de son aire de répartition et s'avère être un problème récurrent dans la gestion des réseaux routiers en milieux forestiers. Au Québec, c'est en Abitibi qu'on trouve la plus grande densité de castors, ce qui engendre un nombre élevé de conflits. L'objectif principal de ce projet vise à déterminer les variables associées à l'habitat du castor permettant de prédire le risque d'utilisation des ponceaux comme sites de construction de barrages, ce qui permettrait d'améliorer le tracé des nouvelles routes forestières ou de mieux cibler les sites nécessitant des mesures préventives d'atténuation. Les hypothèses de travail réfèrent à la géomorphologie et à l'hydrologie des sites, à l'abondance de ressources alimentaires, à la hauteur du remblai et à la présence d'autres barrages de castors à proximité d'un échantillon de 128 ponceaux localisés au sein de la ceinture d'argile, en Abitibi. Les données associées à chaque hypothèse ont été mesurées directement ou extraites à partir d'un modèle d'élévation, de cartes écoforestières et d'images LANDSAT. La présence ou l'absence d'un barrage a également été validée sur le terrain. Parmi les 12 variables caractérisées, la comparaison des hypothèses par sélection de modèles (critère d'information d'Akaike) et l'inférence multi-modèles a permis de dégager que la surface du bassin de drainage, le nombre de kilomètres de ruisseaux environnants et la hauteur du remblai avaient un effet négatif sur la probabilité d'utilisation des ponceaux par le castor, alors que le rapport entre le débit et le diamètre du ponceau avait un effet positif. Les prédictions réalisées à partir de nos modèles indiquent que presque tous les ponceaux ont une probabilité de plus de 50% d'être utilisés par le castor dans notre aire d'étude, ce qui permet de croire que vraisemblablement tous les tracés de routes présenteront des problèmes avec les barrages créés par ce rongeur. Nous concluons donc qu'au sein de la ceinture d'argile, il serait plus adéquat de tenir compte de la présence probable de barrages au moment même de la construction des routes en prévoyant l'installation de mesures d'atténuation appropriées telles que des pré-barrages, plutôt que de lutter contre la présence de cette espèce suite à la construction des ponceaux.

Table des matières

Avant-propos	ii
Résumé	iv
Table des matières	v
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	viii
Introduction générale	1
<i>Biologie du castor</i>	2
<i>Facteurs affectant l'emplacement des barrages</i>	4
Géomorphologie et hydrologie	4
Ressources alimentaires et matériaux de construction	9
Effets anthropiques	12
Modélisation de l'habitat	14
<i>Problématique</i>	15
<i>Objectif</i>	16
Article Caractérisation des paramètres de l'habitat qui favorisent l'utilisation des ponceaux comme sites de construction de barrages par le castor : peut-on limiter les dégâts infligés à la voirie forestière?	18
Résumé	19
Introduction	20
Matériel et méthodes	24
<i>Aire d'étude</i>	24
<i>Caractéristiques associées aux ponceaux échantillonnés</i>	25
Variables géomorphologiques et hydrologiques	25
Variables associées à la disponibilité alimentaire et en matériaux de construction ..	27
Variables anthropiques et caractéristiques propres aux ponceaux	27
Abondance locale du castor	28

<i>Analyses statistiques</i>	28
Résultats	29
Discussion	30
<i>Variables ayant un pouvoir prédictif et support des hypothèses présentées</i>	30
<i>Effets des variables géomorphologiques et hydrologiques</i>	31
<i>Effets des variables anthropiques</i>	32
<i>Effets des variables liées à l'alimentation</i>	33
<i>Limites de l'étude</i>	34
<i>Implications en aménagement</i>	35
Références	36
Conclusion générale	44
Perspective de recherche	45
Références	47

Liste des tableaux

Tableau 1. Variables incluses dans les modèles candidats servant à tester les différentes hypothèses susceptibles d'expliquer la présence de barrage dans les ponceaux.	38
Tableau 2. Données descriptives pour les ponceaux sans et avec barrage de castor pour les 12 variables à l'étude.....	39
Tableau 3. Résultat de la sélection de modèles à l'aide du critère d'information d'Akaike (AIC).	40
Tableau 4. Résultat de l'inférence multi-modèles pour les variables incluses dans les deux meilleurs modèles (HYDRO2, ANTROPHO).	41
Tableau 5. Coûts comparatifs de l'installation de pré-barrages avant la construction des routes par rapport à leur installation et l'entretien de ponceaux endommagés par le castor après la construction de celles-ci, étude de cas pour une année d'opération chez Norbord.	46

Liste des figures

Figure 1. Ponceaux échantillonnés et région d'étude en Abitibi.....	42
Figure 2. Probabilité de présence d'un barrage à proximité du ponceau en fonction de a) la superficie corrigée du bassin de drainage en amont de la route, b) le nombre de kilomètres de ruisseau dans deux kilomètres de rayon autour du ponceau, c) la hauteur du remblai et d) le rapport entre le débit corrigé et le diamètre du ponceau. Les lignes pointillées représentent l'intervalle de confiance à 95% et les points ronds les ponceaux échantillonnés (n = 128).....	43

Introduction générale

L'utilisation des animaux à fourrure en Amérique du Nord pour la survie humaine remonte à des temps très anciens, alors que les peuples autochtones s'en servaient pour se vêtir et se nourrir. Avec l'arrivée des premiers Européens au 16^{ème} siècle, les échanges de fourrures et de biens manufacturés entre Blancs et autochtones ont rapidement été initiés et ont marqué le continent Nord américain (Ray, 1987). Au 19^{ème} siècle, la compétition féroce entre les entreprises spécialisées dans la traite des fourrures, telles la Northwest Company et la Hudson's Bay Company, a engendré une forte pression de trappe qui a mené les populations d'animaux à fourrure à la limite de l'extinction pour plusieurs espèces, notamment pour le castor (*Castor canadensis* Khul), sur lequel la demande était surtout concentrée (Giroux, 1987).

Au cours des années 1930, la raréfaction des animaux à fourrure était telle que des mesures de protection ont dû être instaurées. C'est ainsi qu'au Québec, les réserves à castors, les terrains de trappe enregistrés et les permis de trappe ont fait leur apparition (Anderson, 1987; Fortin *et al.*, 2001). Bien que le prix des peaux de castors ait atteint un sommet en 1945 (près de 500\$, valeur indexée en dollars de 1999), la baisse d'intérêt pour les chapeaux en peau de castor a fait progressivement dégringoler les prix à une vingtaine de dollars à la fin des années 1980. Une telle baisse des prix est reconnue comme ayant entraîné une diminution considérable de la récolte, ce qui aurait favorisé un lent rétablissement des populations de cette espèce (Fortin *et al.*, 2001; Lafond *et al.*, 2003).

Au cours des dernières décennies, la récolte forestière accélérée a précipité le rajeunissement des peuplements forestiers et favorisé la régénération des essences préférées de cet animal (Lafond *et al.*, 2003), ce qui a pu contribuer à l'amélioration

générale de son habitat. On peut donc dire qu'à partir du milieu du 20^{ème} siècle, grâce à une combinaison de facteurs, les populations de castors ont commencé à se rétablir et à augmenter. Par ailleurs, suite à un inventaire aérien des populations du Québec réalisé entre 1989 et 1994, Lafond *et al.* (2003) estimaient l'abondance des castors à plus de 700 000 individus. Cet inventaire révèle que c'est en Abitibi-Témiscamingue que la densité est la plus importante, s'élevant à 5,5 colonies/10 km² comparativement à 2,9 colonies/10 km² pour la moyenne québécoise. De plus, la région contient 35 % des effectifs de castors du Québec. Aujourd'hui, on parle souvent de populations abondantes et même surabondantes dans certaines régions, où les dommages causés au réseau routier par les barrages de castors deviennent de plus en plus fréquents.

Biologie du castor

Selon Baker et Hill (2003), c'est vers la fin du printemps, après une période de gestation d'environ 100 jours, que la femelle donne naissance à une portée de deux à quatre rejetons. Habituellement, vers l'âge de deux ans les jeunes vont se disperser pour aller établir de nouvelles colonies et cette phase de dispersion survient majoritairement au printemps (DeStefano *et al.*, 2006). Les mouvements se font généralement vers l'amont ou l'aval du cours d'eau natal, mais certains individus peuvent se déplacer de plusieurs kilomètres sur la terre ferme (Baker et Hill, 2003). La dispersion se fait généralement dans un rayon moyen variant entre 8 km (Fryxell, 2001) et 16 km (Johnston et Naiman, 1990) autour de l'étang d'origine (Slough et Sadleir, 1977; Allen, 1983). Toutefois, des distances records de 236 km via un cours d'eau ont déjà été enregistrées (Hibbard, 1958), ce qui signifie que virtuellement tous les habitats potentiels ont une chance d'être visités et éventuellement colonisés par les castors en dispersion (Slough et Sadleir, 1977; Baker et Hill, 2003).

Le castor est un ingénieur des écosystèmes, c'est-à-dire qu'il modifie son environnement de manière à l'adapter à ses besoins (Rosell *et al.*, 2005). Par le fait même, il exerce une influence sur la disponibilité de différents types d'habitats humides pour d'autres espèces, on dit donc aussi qu'il est une espèce clé dans les écosystèmes qu'il occupe (Wright *et al.*, 2002; Rosell *et al.*, 2005, Aznar et Desrochers, 2008). Cet animal est une espèce sociale dont l'unité organisationnelle est la colonie (Jenkins et Busher, 1979). Chaque colonie vit dans une hutte ou un terrier qui est généralement construit sur un îlot de terre entouré d'eau libre ou creusé à même les rives d'un plan d'eau et qui contient une ou deux entrées sous l'eau (Jenkins et Busher, 1979). La hutte sert à la fois de couvert de fuite contre les prédateurs, d'abri thermal, de lieu de repos, de reproduction et d'élevage des jeunes (Allen, 1983). Dans les régions plus nordiques de son aire de répartition, l'hiver restreint ou empêche l'accès du castor aux sources de nourriture terrestre alors que les plans d'eau sont gelés (Aleksiuk, 1970). De ce fait, chaque automne, il accumulera au fond de son étang un amas de nourriture qui servira à l'alimentation hivernale. De plus, afin de maintenir un niveau d'eau suffisant pour accéder à cette source de nourriture tout au long de l'hiver, il construit des barrages qui font office de digues (Collen et Gibson, 2001; Baker et Hill, 2003). La profondeur des bassins ainsi créés doit donc être suffisante pour assurer en permanence une hauteur d'eau libre sous la glace, ce qui facilitera ses déplacements (Slough et Sadleir, 1977).

Différents chercheurs ont tenté d'investiguer l'importance relative des variables végétales et physiques dans le choix de l'emplacement des barrages à castor lors de la création d'étangs (Howard et Larson, 1985; Beier et Barrett, 1987; Barnes et Mallik, 1997; Flynn, 2006). Plusieurs auteurs rapportent que la qualité d'un site pour l'établissement du castor est grandement déterminée par les caractéristiques géomorphologiques et en moindre importance par la composition végétale qui déterminera la disponibilité de nourriture et de matériaux de construction (Howard et Larson, 1985; Beier et Barrett, 1987; Cunningham *et al.*, 2006). En général, on

considère comme variables physiques l'inclinaison ou indice de pente du ruisseau (Beier et Barrett, 1987; Jakes *et al.*, 2007), la taille du ruisseau au niveau du site de construction (Beier et Barrett, 1987; Barnes et Mallik, 1997), le pourcentage de pente de chacune des deux rives (Dieter et McCabe, 1989), la stabilité des niveaux d'eau et la constance de l'apport en eau (Howard et Larson, 1985). La taille du ruisseau peut être exprimée de différentes façons, soit par la largeur, la profondeur, l'aire de la section transversale (profondeur moyenne multipliée par largeur moyenne), la superficie du bassin versant en amont des barrages (Snodgrass, 1997) et l'ordre de Strahler du ruisseau (Suzuki et McComb, 1998). De plus, selon les auteurs, d'autres variables peuvent être prises en compte pour prédire la qualité d'un habitat, notamment le type de sol (Howard et Larson, 1985) et la largeur de la plaine inondable (McComb *et al.*, 1990; Jakes *et al.*, 2007). Pour les variables végétales, ce sont la composition en espèces, la taille des tiges et la distribution spatiale de la végétation arborescente aux abords de l'étang qui sont le plus souvent mentionnées (Fryxell et Doucet, 1993; Barnes et Mallik, 1997).

Facteurs affectant l'emplacement des barrages

Géomorphologie et hydrologie

Selon Johnston et Naiman (1990) et Jakes *et al.* (2007), l'habitat préférentiel du castor résulte généralement du compromis qui permet d'inonder la plus grande surface possible tout en réduisant les contraintes physiques liées à la construction des barrages qui mèneront à la formation d'un étang. De plus, il faut trouver un endroit où les niveaux d'eau sont relativement stables et où l'apport d'eau est constant tout au long de l'année (Slough et Sadleir, 1977; Howard et Larson, 1985).

Selon la majorité des auteurs consultés, le degré d'inclinaison du ruisseau compte parmi les facteurs les plus déterminants pour le choix de l'emplacement des barrages à castor. Dans le document sur l'indice de qualité d'habitat (IQH) développé par

Allen (1983), on peut lire que l'indice de pente ou l'inclinaison du ruisseau est le facteur le plus significatif pour déterminer la qualité d'un habitat pour le castor. Selon lui, la pente est ce qui influence le plus la morphologie du ruisseau. D'autre part, dans une étude menée au Massachusetts par Howard et Larson (1985), il appert que la pente figure parmi les quatre variables physiques les plus importantes pour prédire l'utilisation du territoire par le castor et celle-ci doit être relativement faible. Au Nevada et dans le nord de la Californie, Beier et Barrett (1987) ont obtenu des résultats similaires quant à la pente du ruisseau. Ils soulignent qu'une faible inclinaison permet d'augmenter grandement la surface d'inondation et donc, d'alimentation, et facilite le transport de la nourriture vers la hutte. Finalement, dans les régions côtières montagneuses de l'Oregon, Suzuki and McComb (1998) ont trouvé que la majorité (67%) des barrages se trouvaient sur des cours d'eau dont la pente était inférieure à 3% et qu'aucun barrage ne se situait sur des ruisseaux dont la pente était supérieure à 10%, ce qui est en accord avec les résultats précédents (voir aussi McComb et *al.*, 1990).

Par ailleurs, même si plusieurs auteurs ont souligné l'importance du facteur pente du ruisseau pour la localisation des barrages, Jakes et *al.* (2007) soutiennent que dans les régions où la topographie est généralement plane (comme en Abitibi-Témiscamingue), le gradient des cours d'eau varie peu et ne semble pas expliquer de manière importante l'emplacement des étangs à castor. De plus, ils mentionnent que dans ces régions, les gradients les plus élevés (supérieurs à 1,5 %) sont très souvent limités aux ruisseaux de tête à la source des réseaux hydrographiques, lesquels sont généralement intermittents, et c'est plus le manque d'eau qui expliquerait qu'ils sont habituellement évités par le castor. Toutefois, il reste que dans les régions plus accidentées, où les gradients peuvent atteindre des valeurs supérieures à 3 %, cette variable peut donner une indication quant à la sélection d'habitat par le castor (Curtis et Jensen, 2004; Jakes et *al.*, 2007). De plus, un des signaux qui déclencherait le comportement de construction des barrages chez le castor serait lié au son de l'eau

courante (Novak, 1987; Baker et Hill, 2003). Le volume du son étant tributaire, entre autres, du gradient topographique du cours d'eau (Barnes et Mallik, 1997), ceci pourrait expliquer partiellement l'importance de ce facteur pour le choix de l'emplacement des barrages.

La taille du bassin versant a été identifiée comme la variable la plus significative pour le choix de l'emplacement des barrages dans au moins deux études (Barnes et Mallik, 1997; Jakes *et al.*, 2007) et parmi les quatre variables les plus importantes dans une autre étude (Howard et Larson, 1985). En fait, cette variable est corrélée à la fois avec la taille du ruisseau (sa largeur, sa profondeur et l'aire de sa section transversale) et son écoulement annuel moyen (Jakes *et al.*, 2007). Les castors choisiraient donc préférentiellement des bassins versants de taille moyenne, ce qui reflète un compromis entre, d'un côté la maximisation de la taille de l'étang créé et de l'autre, les contraintes physiques liées à l'importance du débit. Par ailleurs, selon Snodgrass (1997), la taille du bassin versant est aussi une variable déterminante qui permettrait de prédire, à l'intérieur d'un réseau hydrographique donné, la proportion de ruisseaux aménagés par le castor. Il semble que cette proportion diminue exponentiellement avec l'augmentation de la taille du bassin et qu'elle soit faible pour les bassins de plus de 5000 ha. De plus, dans la même étude, il a pu observer que les ruisseaux de deuxième ordre étaient préférés par les castors et que ces derniers étaient limités aux ruisseaux de troisième ordre et moins dans les petits bassins versants et de deuxième ordre et moins dans les bassins plus grands. De même, Flynn (2006) rapporte que les ruisseaux d'ordre un à trois sont plus sélectionnés que les ordres plus élevés. À l'opposé, Cunningham *et al.* (2006) et Stevens *et al.* (2007) ont démontré que les sites en bas de bassin ou d'ordres plus élevés étaient généralement préférés. Toutefois, il faut savoir que leurs études respectives ont été conduites dans des régions où la topographie est accidentée et où les bassins versants sont souvent en pentes abruptes. En fait, il existe une relation de proportion entre l'ordre du ruisseau, la taille et la décharge de ce dernier et la superficie du bassin versant, d'où l'utilité de ce critère

pour l'étude de l'habitat du castor (Cotton, 1990). Toutefois, ces relations ne tiennent généralement qu'à l'intérieur de bassins semblables, ce qui peut expliquer les contradictions observées entre les différentes études.

Pour ce qui est de l'aire de la coupe transversale du ruisseau, c'était le deuxième facteur en importance pour l'explication de l'emplacement des barrages dans le modèle de Barnes et Mallik (1997). Ils rapportent qu'il y a deux implications majeures à considérer pour ce critère, soit la valeur de l'aire est élevée et la partie d'eau libre sous la glace en hiver sera importante, facilitant ainsi les déplacements de l'animal, soit elle est faible, ce qui rend la construction des barrages beaucoup plus facile. Par ailleurs, la profondeur et la largeur du ruisseau sont identifiées dans certaines recherches comme ayant un effet positif sur l'habitat du castor (Howard et Larson, 1985; Beier et Barrett, 1987). En effet, ces variables vont fortement influencer la qualité du couvert de fuite, l'espace pour les réserves de nourriture sous l'eau et la fiabilité de la source d'eau.

Cependant, il semble important de relativiser toutes ces informations. En effet, tel que mentionné par McComb et *al.* (1990), l'effet de la pente, de la profondeur ou de la largeur du ruisseau est largement tributaire de l'agencement de ces données. Par exemple, un large ruisseau de faible pente pourra être bloqué, au même titre qu'un ruisseau étroit avec une pente élevée, mais ce jusqu'à une certaine limite. De plus, la capacité des facteurs tels que la profondeur, la largeur et la surface du bassin de drainage à prédire la qualité d'un habitat pour le castor dépend grandement de l'emplacement de la section étudiée par rapport au réseau hydrographique entier. Sur les ruisseaux de premier ou deuxième ordre, la valeur de ces paramètres doit être élevée pour assurer une quantité d'eau suffisante. À l'inverse, sur les ruisseaux d'ordre élevé, ces variables ont un effet négatif sur la présence des barrages, notamment en raison de la probabilité d'effondrement de ces derniers lors des périodes de crues.

En outre, différents chercheurs ont observé qu'au moment de choisir un site pour l'emplacement de leur étang, les castors optent d'abord pour les endroits qui permettront d'inonder la plus grande surface possible et qui possèdent à la fois le meilleur potentiel d'expansion future de cette surface (Johnston et Naiman, 1990; Cunningham *et al.*, 2006). Une fois que ces sites sont occupés, la vitesse de création de nouveaux étangs diminue et est surtout limitée aux secteurs moins favorables, ceux dont les bassins seront de plus petite taille. De plus, la capacité du territoire à soutenir les populations de castors dépendra alors plus grandement de la disponibilité en ressources alimentaires (Johnston et Naiman, 1990).

La largeur de la vallée ou de la plaine inondable de chaque côté du ruisseau est parfois considérée comme un facteur important de l'habitat du castor. Les ruisseaux dont la largeur de la plaine inondable est supérieure à 45 mètres sont considérés comme idéaux (Allen, 1983). Il existe différentes explications plausibles pour cette préférence. D'abord, plus la vallée est large, plus il sera possible de diminuer la vitesse du courant suite à l'inondation des terres puisque celui-ci sera réparti sur une plus grande surface. À l'inverse, dans les vallées étroites, la force et la vitesse du courant pendant les crues auront plus de chance de défoncer les barrages (Suzuki et McComb, 1998). Aussi, selon les observations de Beir and Barrett (1987) et de McComb *et al.* (1990), en général, la pente des rives de chaque côté des sections de ruisseaux utilisées par le castor est plus faible que pour les sections non utilisées. Puisque les castors sont limités dans leurs déplacements par une topographie accidentée, de faibles pentes leur permettraient d'accéder plus facilement à une plus grande quantité de ressources alimentaires (Slough et Sadleir, 1977; Bordage et Filion, 1988).

Par ailleurs, les matériaux fins qui offrent une perméabilité réduite, donc les sols mal drainés, sont généralement associés à une bonne qualité d'habitat pour le castor (Howard et Larson, 1985; Cotton, 1990). D'ailleurs, dans l'étude de McComb *et al.*

(1990), tous les barrages répertoriés étaient situés sur des substrats boueux ou terreux plutôt que rocheux. L'argile est un matériel qui permet sans doute un meilleur colmatage des barrages comparativement aux substrats plus grossiers.

Ressources alimentaires et matériaux de construction

Le castor est un herbivore généraliste strict, c'est-à-dire qu'il ne consomme que des végétaux, mais qu'il y a une grande variabilité suivant les régions et les saisons (Aleksiuk, 1970; Fryxell et Doucet, 1993; Baker et Hill, 2003). D'ailleurs, différents auteurs rapportent que les castors peuvent consommer plusieurs types de plantes (aquatiques, herbacées, arbustes et arbres), plusieurs espèces pour chacun de ces types et plusieurs parties de chaque espèce (fleurs, feuilles, rhizomes, écorce et branches) (Northcott, 1971; Jenkins, 1975; Allen, 1983). Malgré tout, ils ingèrent surtout des plantes ligneuses qu'ils se procurent sur les parties terrestres au pourtour de leur étang et qu'ils transportent habituellement près de la hutte avant consommation (Fryxell et Doucet, 1993). Même s'il est généraliste, le castor peut être très sélectif à l'égard des plantes qu'il consomme suivant la disponibilité, l'abondance et la distribution d'espèces et de tailles autour de l'étang (Jenkins, 1975; Fryxell et Doucet, 1993).

Parmi les essences ligneuses que le castor consomme, les recherches antérieures démontrent qu'il a une préférence marquée pour le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloïdes*) (Hall, 1960; Northcott, 1971; Fryxell et Doucet, 1993; Doucet *et al.*, 1994; Gallant *et al.*, 2004). Ensuite, selon ces mêmes auteurs (voir aussi Allen, 1983; Donkor et Fryxell, 1999) et suivant le cas, ses préférences vont pour d'autres essences de lumière telles que l'aulne (*Alnus spp.*), les saules (*Salix spp.*) et l'érable rouge (*Acer rubrum*). Finalement, on note quelques mentions pour le peuplier baumier (*Populus balsamifera*), l'érable à sucre (*Acer saccharum*) et le noisetier (*Corylus cornuta*). On remarque également que certaines essences seront fortement utilisées

pour l'alimentation (peuplier et saules) (Hall, 1960), alors que d'autres seront rarement consommées, mais plutôt employées pour la construction de la hutte et des barrages, c'est le cas notamment de l'érable rouge et de l'aulne (Doucet *et al.*, 1994; Gallant *et al.*, 2004).

En outre, le peuplier faux-tremble et l'aulne possèdent plus d'énergie et sont plus digestibles que les érables (Fryxell et Doucet, 1993). Toutefois, Gallant *et al.* (2004) ont observé que le temps de rétention de l'aulne est environ 2,6 fois plus long que celui du peuplier, c'est pourquoi il est surtout utilisé comme matériel de construction et non comme source alimentaire. De plus, ils ont constaté que l'érable rouge constitue une source alimentaire secondaire pour le castor comparativement au peuplier faux-tremble puisqu'il contient un métabolite secondaire pour la défense chimique, ce qui le rend moins appétissant.

En plus de ses besoins alimentaires, ses besoins en matériaux de construction l'amènent à couper une quantité importante d'arbres de tailles variables autour de son étang. On a démontré que la densité de végétation ligneuse de diamètre variant entre 1,5 et 4,4 cm au niveau des berges était un facteur important pour le choix d'un emplacement approprié (Barnes et Mallik, 1997). Une densité importante de tiges dans cette gamme de tailles à proximité de l'eau permet de fournir une quantité appréciable de matériel de construction pour les barrages et la hutte, ce qui permet de croire que les aulnaies sont particulièrement intéressantes pour le castor. Ainsi, on s'assure d'un établissement rapide dans des conditions optimales d'exploitation des ressources, tout en minimisant les risques de prédation qui s'accroissent à mesure qu'on s'éloigne du rivage (Barnes et Mallik, 1997; Gallant *et al.*, 2004).

D'autre part, on a remarqué que plus les densités de tiges sont élevées, plus le castor est sélectif à l'égard de la taille et des espèces qu'il consomme (Fryxell et Doucet, 1993). Toutefois, lorsque les densités diminuent et que ses essences préférées

deviennent plus rares, il élargit sa diète et devient moins sélectif quant à ces deux critères (Fryxell et Doucet, 1993). On a même rapporté certains cas pour lesquels des castors pouvaient survivre dans des milieux où la forêt était complètement dépourvue de ses essences favorites (Northcott, 1971).

Puisque le peuplier faux-tremble constitue la ressource alimentaire première du castor, on a longtemps cru que l'abondance de cette ressource constituait un facteur important pour déterminer la qualité d'un habitat. Toutefois, selon plusieurs auteurs, il semble n'y avoir aucune évidence que le castor se base sur l'abondance de la ressource alimentaire a priori pour choisir un endroit où établir ses barrages. En effet, ceci pourrait s'expliquer d'abord par le fait qu'il soit généraliste et opportuniste, ce qui lui confère une grande capacité d'adaptation (Allen, 1983; Howard et Larson, 1985). Aussi, l'inondation des terres adjacentes au ruisseau, suite à la construction des barrages, permettrait d'accroître suffisamment la densité de ressources alimentaires à leur portée en cas de besoin (Barnes et Mallik, 1997). De plus, plusieurs auteurs pensent qu'à cause de sa sélectivité à l'égard des choix alimentaires, il peut avoir un effet considérable sur la succession végétale et la structure des forêts aux abords des étangs (Donkor et Fryxell, 1999; Gallant *et al.*, 2004; Martell *et al.*, 2006). Ceci rendrait l'utilisation du critère « alimentation » difficile pour prédire le choix de l'emplacement des étangs, puisqu'au moment de la cueillette de données, l'habitat se trouve déjà très souvent modifié par le castor lui-même (Suzuki et McComb, 1998).

Malgré tout, il semble que l'état de la forêt riveraine puisse donner certaines indications quant à la disponibilité alimentaire et en matériaux de construction, mais ces variables ne sont certes pas aussi importantes que les variables physiographiques et hydrologiques pour prédire la qualité d'un habitat (McComb *et al.*, 1990).

Effets anthropiques

Les routes qui croisent un ruisseau constituent un type de remblai qui bloque partiellement l'écoulement des eaux. De plus, à cause du rétrécissement des eaux dans les ponceaux, ce serait un endroit privilégié par les castors pour la construction des barrages (Flynn, 2006; Jakes *et al.*, 2007; Stevens *et al.*, 2007).

Dans le nord-est de l'Alberta, dans les plaines boréales où le relief est relativement faible, Martell (2004) a voulu étudier l'effet de l'intersection d'une route avec un ruisseau sur la végétation riveraine et comparer cet effet à celui des barrages à castor. Selon elle, l'effet des routes pourrait être comparable aux barrages à castor, car en bloquant le courant, elles pourraient rediriger les eaux de sub-surface vers la surface et faire augmenter le niveau de la nappe phréatique en amont (voir également Flynn, 2006). Ces résultats ont permis de confirmer qu'effectivement, les niveaux d'eau sont plus élevés en amont des routes (Martell, 2004), mais elle n'a pu comparer cet effet à celui des barrages, car la totalité des routes qu'elle a échantillonnées contenaient aussi un barrage. Elle mentionne que seuls les ponceaux très larges et les ponts échappent au blocage par les castors et rapporte que ce problème est largement répandu en Amérique du Nord (D'Eon *et al.*, 1995 dans Martell, 2006).

D'autre part, Flynn (2006) a aussi trouvé un effet positif de la présence des ponceaux sur les activités du castor et donc sur la distribution des étangs dans la forêt boréale du Nord de l'Alberta. Cependant, selon ses recherches, la zone d'influence des ponceaux sur les castors serait limitée à 300 mètres autour de ceux-ci. De plus, l'effet « attractif » des ponceaux était plus marqué lorsqu'une colonie de castors était déjà établie sur le ruisseau en question avant l'installation du ponceau, et ce, sur tous les ordres de ruisseau.

Dans l'État de New York, l'équipe de Curtis et Jensen ont tenté d'identifier les variables explicatives associées aux ponceaux obstrués par les castors en comparant

les paramètres d'habitat entre des sites bloqués et non bloqués. Dans la première partie de leur étude, ils ont tenté d'identifier les facteurs à proximité des ponceaux qui pourraient expliquer la différence entre les sites où le barrage était localisé directement dans le ponceau, et ceux où un barrage était présent à moins de 100 mètres du ponceau, en amont ou en aval (Jensen *et al.*, 2001). Ils ont trouvé que la variable la plus utile pour expliquer cette différence était la taille du ponceau lui-même, les plus petits étant privilégiés pour la construction directement dans le ponceau. Dans la suite de leur étude, ils ont utilisé, comme sites occupés, ceux dont le barrage était construit dans les 200 mètres en amont ou en aval du ponceau et comme sites inoccupés, ceux possédant un apport d'eau annuel continu, mais qui étaient sans barrage à l'intérieur de ces mêmes distances (Curtis et Jensen, 2004). Ils ont pu constater que la quantité totale de végétation ligneuse aux abords de la route était la variable la plus explicative : 55 % de la superficie des sites inoccupés se trouvait sans végétation ligneuse. En second lieu, ils ont identifié la pente comme facteur déterminant. Selon Jakes *et al.* (2007), il y a effectivement une probabilité plus élevée qu'un castor vienne s'établir sur un ruisseau qui croise une route. Toutefois, la pente doit être faible (moins de 3 %; Curtis et Jensen, 2004) et la surface du bassin versant doit être de taille moyenne (environ 2500 ha). On sait aussi que la pente du ruisseau détermine en partie le type de substrat, plus la pente est faible, plus le substrat sera fin, ce qui influence la qualité du matériel de construction pour les barrages qui va généralement de fin à très fin (Curtis et Jensen, 2004).

Une autre hypothèse qui a déjà été mentionnée pour expliquer l'attraction des castors pour les ponceaux est celle du son de l'eau courante qui constitue potentiellement un élément déclencheur du comportement de construction des barrages. En effet, Jensen *et al.* (2001) ont remarqué que les ponceaux bloqués réduisaient en moyenne par un facteur de 2 la largeur naturelle du ruisseau, alors que les ponceaux non bloqués la réduisaient de peu. La constriction ainsi produite augmente la vitesse du courant et

provoque des sons dans le ponceau qui pourraient déclencher le comportement de construction de barrages chez le castor.

Modélisation de l'habitat

Très souvent, les recherches sur le castor s'intéressent soit aux changements post établissement de l'animal (changements provoqués dans l'environnement) (Martell *et al.*, 2006), soit aux méthodes de mitigation pour diminuer les impacts négatifs qu'il cause (Miller et Yarrow, 1994; Langlois et Decker, 1997; Newbill et Parkhurst, 2000). Peu de recherches se sont intéressées à l'amont du problème, c'est-à-dire aux paramètres de l'habitat qui sont sélectionnés lors du choix de l'emplacement des barrages, et ce particulièrement à proximité des chemins forestiers (voir Jensen *et al.*, 2001; Curtis et Jensen, 2004; Flynn, 2006).

Pour évaluer la qualité d'un habitat pour le castor, certains auteurs ont développé des modèles d'indice de qualité d'habitat (IQH) (Allen, 1983; Suzuki et McComb, 1998). Le modèle d'Allen repose sur une revue de littérature des connaissances d'habitat acquises auparavant par différents chercheurs et non sur l'analyse de données terrains provenant d'une région en particulier. En outre, la majorité des auteurs qui ont tenté de décrire la qualité d'habitat dans une région donnée ont procédé à l'aide de modèles d'analyses de correspondance canonique (Snodgrass, 1997), d'analyses discriminantes (Barnes et Mallik, 1997; Suzuki et McComb, 1998) ou de régressions (multiples, logistiques ou PCR) (Howard et Larson, 1985; Beier et Barrett, 1987; Johnston et Naiman, 1990; Snodgrass, 1997; Jensen *et al.*, 2001; Curtis et Jensen, 2004; Gallant *et al.*, 2004; Jakes *et al.*, 2007). L'avantage de ces méthodes semble résider dans la possibilité de prédire la probabilité d'utilisation d'une section de ruisseau par le castor dans un territoire donné. Plusieurs de ces auteurs ont développé des modèles de classification d'habitat propre à leur région d'étude, lesquels ne semblent toutefois pas exportables à d'autres régions, notamment à cause des

conditions propres à l'aire d'étude concernée dans chaque modèle (Howard et Larson, 1985; Barnes et Mallik, 1997; Snodgrass, 1997; Suzuki et McComb, 1998).

Problématique

Partout en Amérique du Nord et en particulier dans les régions où les densités de populations de castors sont élevées telles qu'en Abitibi, on constate des problèmes liés aux activités de ce rongeur : inondation d'habitations et de terres agricoles (Miller et Yarrow, 1994), dommages aux plantes ornementales (Newbill et Parkhurst, 2000), perte de superficies productives en forêt (Miller et Yarrow, 1994), blocage de ponceaux et dommages ou destructions de chemins (Jensen *et al.*, 1999). On estime qu'aux États-Unis uniquement, les coûts afférents de ces dommages peuvent s'élever jusqu'à 5 millions de dollars annuellement (Miller et Yarrow, 1994; Langlois et Decker, 1997; Newbill et Parkhurst, 2000).

Lorsqu'il utilise les infrastructures humaines telles que les routes et ponceaux pour ses constructions, les conséquences peuvent être particulièrement dommageables. Selon le cas, on verra une accumulation d'eau contre la route, des inondations fréquentes et des « nids de poules », ce qui contribuera à déstabiliser les chemins et peut mener à un lessivage complet de ceux-ci (Curtis et Jensen, 2004). Aux États-Unis, Payne et Peterson (1986) ont compilé, sur une période de 30 ans, les plaintes concernant les dommages causés par le castor. Ils ont ainsi constaté que la raison première qui incitait les gens à porter plainte concernait les routes. De plus, un fort pourcentage des plaintes dans ce domaine impliquait l'utilisation des ponceaux comme site de construction de barrage par le castor. Par ailleurs, dans le Wyoming, une autre étude a aussi démontré que le blocage des ponceaux et l'inondation des routes par le castor comptaient parmi les inquiétudes premières des gestionnaires de terrains privés et publics (McKinstry et Anderson, 1999).

En outre, plus localement, en Abitibi-Témiscamingue, les deux tables de gestion intégrée des ressources (Rouyn-Noranda et Témiscamingue) évoquent des problèmes liés aux castors et aux chemins forestiers et cherchent à y trouver des solutions. Effectivement, les dommages causés aux chemins par les castors diminuent considérablement l'accès au territoire qu'on considère d'une importance majeure pour la région, que ce soit pour l'exploitation des ressources naturelles ou la pratique de la chasse, de la pêche et du piégeage. Ces activités amènent non seulement des retombées économiques importantes liées à l'emploi et au tourisme, mais font partie des valeurs sociales et culturelles des communautés qui habitent la région.

D'autre part, selon le rapport Coulombe (2004) et les données rapportées par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF, 2007), la longueur du réseau de routes forestières permanentes sur l'ensemble du territoire québécois a triplé au cours des derniers 30 ans, alors que la récolte de bois a augmenté d'environ 60% seulement. Ainsi, le taux de construction de nouvelles routes serait passé de 150 km/an vers la fin des années 1970 à 300 km/an à la fin des années 1990. En conséquence, on évalue que l'ajout de nouveaux ponceaux se chiffre à environ 10 000 par année pour l'ensemble du Québec (Coulombe *et al.*, 2004). De plus, la construction, l'entretien et la réparation des chemins entraînent des coûts considérables pour les compagnies qui les exploitent et le gouvernement du Québec. Il apparaît donc primordial de trouver des moyens de diminuer les impacts négatifs du castor et de ses activités sur les chemins forestiers de la région qui n'échappent pas à cette augmentation de la densité routière.

Objectif

La densité du nombre de colonies de castors et l'augmentation du nombre de kilomètres de routes forestières apportent un nombre de conflits important dans la région. Cette étude a donc pour but premier d'améliorer la compréhension de

l'utilisation de l'habitat par le castor à proximité des ponceaux situés sur la ceinture d'argile en Abitibi-Témiscamingue. Pour ce faire, nous voulons évaluer la contribution relative des variables géomorphologiques et hydrologiques, alimentaires et anthropiques dans la probabilité d'utilisation des ponceaux comme site de construction de barrage. À partir de ces variables, une retombée escomptée du projet est de fournir aux aménagistes du territoire un outil prédictif qui permettrait de faciliter la gestion des risques liés aux barrages près des routes. Il serait ainsi possible de diminuer les coûts liés à cet aspect de l'exploitation forestière dans son ensemble et d'améliorer l'accès au territoire. De plus, l'outil serait d'autant plus intéressant s'il pouvait être bâti à partir de la combinaison de données terrain aisées à obtenir et de données facilement disponibles à partir de cartes écoforestières, topographiques ou d'images satellites.

Article

Caractérisation des paramètres de l'habitat qui favorisent l'utilisation des ponceaux comme sites de construction de barrages par le castor : peut-on limiter les dégâts infligés à la voirie forestière?

Geneviève Tremblay, *Chaire de recherche CRSNG UQAT-UQAM en aménagement forestier durable*, Département des sciences appliquées, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 445, Boul. de l'Université, Rouyn-Noranda, Qc, J9X 5E4. Tel.: (819) 762-0971 poste 2088. Courriel : Genevieve.tremblay3@uqat.ca

Oswaldo E. Valeria, *Chaire de recherche CRSNG UQAT-UQAM en aménagement forestier durable*, Département des sciences appliquées, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 445, Boul. de l'Université, Rouyn-Noranda, Qc, J9X 5E4. Tel.: (819) 762-0971 poste 2384. Courriel : Oswaldo.Valeria@uqat.ca

Louis Imbeau, *Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable*, Département des sciences appliquées, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Centre d'Amos, 341 Principale Nord, Amos, Qc, J9T 2L8. Tel.: (819) 732-8809 poste 8322. Courriel : Louis.Imbeau@uqat.ca

Résumé

L'utilisation des routes forestières comme assise pour la construction de barrage par le castor est fréquente dans l'ensemble de son aire de répartition et s'avère être un problème récurrent dans la gestion des réseaux routiers en milieux forestiers. Au Québec, c'est en Abitibi-Témiscamingue qu'on trouve la plus grande densité de castors, ce qui engendre un nombre élevé de conflits. Afin de limiter les dégâts à la voirie forestière, notre objectif était de calculer une probabilité de présence de barrage dans les ponceaux en fonction de l'habitat environnant, ce qui permettrait notamment d'améliorer le tracé des nouvelles routes. La comparaison de 12 paramètres d'habitat entre des ponceaux avec ($n = 77$) et sans barrage ($n = 51$) a permis de dégager que la surface du bassin de drainage, le nombre de kilomètres de ruisseaux environnants et la hauteur de la route avaient un effet négatif, alors que le rapport entre le débit et le diamètre du ponceau avait un effet positif. Les probabilités ainsi calculées indiquent que presque tous les ponceaux ont plus de 50% de chance d'être colonisés, ce qui indique que vraisemblablement tous les tracés de routes présenteront des problèmes avec le castor. Il serait donc plus approprié de tenir compte de leur présence probable au moment même de la construction des routes.

Introduction

Au Canada, le transport de bois, de la forêt à l'usine, se fait majoritairement par voie terrestre, ce qui nécessite la construction et l'entretien d'un réseau routier important. De plus, à différents endroits en Amérique du Nord, des entreprises œuvrent dans la déprédation du castor en bordure de route, ce qui souligne une préoccupation importante et répandue dans l'ensemble de son aire de répartition (Payne et Peterson, 1986; Miller et Yarrow, 1994; McKinsty et Anderson, 1999; Newbill et Parkhurst, 2000). En effet, le castor utilise fréquemment les routes comme assises pour la construction de ses barrages et c'est un problème récurrent dans la gestion des réseaux routiers en milieux forestiers. Le barrage se situe le plus souvent en amont de la route, généralement à quelques mètres ou à l'intérieur même du ponceau, structure qui permet l'écoulement de l'eau de part et d'autre de la route. Les routes font donc office de digues qui bloquent partiellement l'écoulement de l'eau et peuvent sembler attrayantes pour les castors. En effet, celles-ci ont pour effet de faire augmenter le niveau de la nappe d'eau en amont et de la diminuer en aval, de convertir des mouvements d'eau lents dans le sol en mouvements plus rapides à la surface, et de concentrer l'écoulement au niveau du ponceau (Forman et Alexander, 1998). Toutefois, lorsque le ponceau est bloqué et que l'eau s'accumule en amont de la route, on verra une infiltration importante qui contribuera à déstabiliser les chemins, des inondations fréquentes et parfois même un lessivage complet de la route au moment de crues sévères (Jensen *et al.*, 2001). Ces dommages entraînent évidemment des coûts importants pour assurer l'entretien du réseau routier, ce qui est fréquemment à la charge des entreprises forestières dans plusieurs provinces canadiennes.

Suite à une importante baisse de population liée à l'importance du trappage depuis la colonisation du nord-est de l'Amérique du Nord, plusieurs populations de castors

semblent maintenant en augmentation à un moment où le réseau routier forestier en zone boréale est toujours en pleine croissance. À titre d'exemple, selon le rapport de Coulombe *et al.* (2004) et les données rapportées par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (2007), la longueur du réseau de routes forestières permanentes sur l'ensemble du territoire québécois a triplé au cours des derniers 30 ans, alors que la récolte de bois a augmenté d'environ 60% seulement. Ainsi, le taux de construction de nouvelles routes serait passé de 150 km/an vers la fin des années 1970 à 300 km/an à la fin des années 1990. En conséquence, on évalue que l'ajout de nouveaux ponceaux se chiffre à environ 10 000 par année pour l'ensemble du Québec (Coulombe *et al.*, 2004). Dans un tel contexte, les conflits potentiels entre castors et utilisateurs de routes forestières ne peuvent que s'amplifier au cours des prochaines années.

Afin de limiter les dégâts causés aux routes par le castor, l'efficacité de différents systèmes de contrôle à proximité de celles-ci ont fait l'objet de quelques études récentes (Miller et Yarrow, 1994; Langlois et Decker, 1997; Newbill et Parkhurst, 2000). On compte parmi ces mesures d'atténuation des systèmes pour empêcher le castor de bloquer le ponceau ou pour contrôler les niveaux d'eau. Toutefois, ces techniques demandent un entretien rigoureux et, tout comme le prélèvement par le piégeage, elles sont plus souvent efficaces uniquement de façon ponctuelle et donc à court terme (Jensen *et al.*, 2001). Il semble donc y avoir un intérêt dans le développement d'une technique de gestion à plus long terme des risques de dommages causés par les castors aux routes forestières.

Une des premières étapes pouvant mener à une planification à plus long terme des risques d'utilisation des infrastructures routières consiste à mieux comprendre et à modéliser l'habitat du castor. D'une façon générale, les variables géomorphologiques semblent être de plus grande importance pour expliquer l'utilisation de l'habitat par le castor que les variables reflétant la disponibilité de nourriture pour cette espèce de

rongeur. Selon le cas, on retiendra l'inclinaison du ruisseau (Beier et Barrett, 1987; Jakes *et al.*, 2007), la superficie du bassin de drainage en amont du barrage (Snodgrass, 1997; Jakes *et al.*, 2007), l'ordre de Strahler (Suzuki et McComb, 1998), la taille du cours d'eau (largeur, profondeur ou aire de la section transversale (Beier et Barrett, 1987; Barnes et Mallik, 1997)), la largeur de la plaine inondable (McComb *et al.*, 1990; Jakes *et al.*, 2007), l'inclinaison des pentes riveraines (Dieter et McCabe, 1989) et le type de substrat (Howard et Larson, 1985). Toutefois, quelques études évoquent également l'effet de la présence, de l'abondance, de la taille et de la distribution des tiges feuillues les plus consommées par l'animal, soit pour l'alimentation, soit comme matériaux de construction, telles que le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloide*), l'aulne (*Alnus sp.*), l'érable rouge (*Acer rubrum*) et autres essences feuillues (Fryxell et Doucet, 1993; Barnes et Mallik, 1997).

Par ailleurs, quelques études ont considéré l'effet de la présence d'une route ou d'un ponceau sur la distribution des barrages dans le paysage et la plupart ont effectivement constaté une association positive (McComb *et al.*, 1990; Martell, 2004; Flynn, 2006; Jakes *et al.*, 2007). Deux de ces études ont été conduites en Alberta. Dans la première, toutes les routes inventoriées contenaient des barrages alors que dans la seconde, l'effet attractif des ponceaux a pu être constaté, mais seulement à une échelle de 300 mètres (Martell, 2004; Flynn, 2006). De plus, dans l'État de New York, bien que des recherches sur l'utilisation de l'habitat par le castor spécifiquement à proximité des ponceaux ont été entreprises, celles-ci se sont attardées à un réseau routier constitué d'autoroutes plutôt que par des chemins forestiers (Jensen *et al.*, 2001; Curtis et Jensen, 2004). Ces derniers ont toutefois démontré dans un premier temps que les ponceaux surdimensionnés par rapport à l'écoulement de l'eau étaient évités (Jensen *et al.*, 2001). Dans un deuxième temps, ils ont pu établir que les ponceaux situés sur des cours d'eau de plus de 3% d'inclinaison étaient aussi évités et que la proportion de superficie dépourvue de tiges

ligneuses aux abords de la route avait un effet négatif sur l'établissement du castor (Curtis et Jensen, 2004).

Au Québec, c'est en Abitibi-Témiscamingue qu'on trouve les densités de castors les plus élevées, soit environ 5,5 colonies/10km² (Lafond *et al.*, 2003). De plus, les routes forestières y sont largement déployées, les activités en forêt sont pratiquement omniprésentes, valorisées soit par l'économie, soit par la culture des communautés locales et le nombre de kilomètres de route est en constante augmentation (Coulombe *et al.*, 2004), ce qui engendre un nombre grandissant de conflits avec le castor. Une meilleure compréhension des facteurs affectant l'utilisation des ponceaux par le castor sur des routes forestières devrait permettre aux gestionnaires du territoire d'éviter les endroits les plus prisés par le castor lors de l'élaboration du tracé des routes et, le cas échéant, cibler les endroits les plus profitables où installer des mesures d'atténuation. Afin d'atteindre ces buts, les objectifs de cette étude étaient d'identifier la contribution relative des facteurs géomorphologiques et hydrologiques, anthropiques, alimentaires et de la densité de barrages environnants pouvant affecter le risque d'utilisation des ponceaux comme sites de construction de barrages par le castor. Pour ce faire, nous avons comparé à l'aide d'une approche par sélection de modèles le poids relatif associé à chacun des regroupements de facteurs susceptibles d'expliquer la présence de barrages, sur un total de 128 ponceaux où la présence ou l'absence de barrages de castors a été validée sur le terrain. Notre hypothèse principale était que les facteurs géomorphologiques seraient les plus prépondérants pour expliquer la présence des barrages comparativement aux autres facteurs identifiés.

Matériel et méthodes

Aire d'étude

La région d'étude couvre 8000 km² et se trouve au cœur de la forêt boréale, dans le nord-ouest du Québec, dans un rayon d'environ 50 km autour de la ville de Rouyn-Noranda (79,06° O; 48,12° N). Située dans la province naturelle des basses-terres de l'Abitibi et de la baie James, le relief y est relativement plat (élévation minimum : 235 m; élévation maximum : 542 m) et l'ancienne présence du lac proglaciaire Barlow-Ojibway y a laissé une immense plaine argileuse qui couvre la majeure partie de l'aire d'étude (MRNF, 2006). La région est caractérisée, entre autres, par un réseau hydrographique bien développé (Lafond *et al.*, 2003). La zone d'étude est délimitée à l'ouest par la frontière avec l'Ontario, au sud et à l'est par la ceinture d'argile et au nord par la zone plus agricole entourant le lac Abitibi (Fig. 1). De plus, les sites sont majoritairement situés dans le sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest, tel que décrit par Blouin et Berger (2002). Partout sur le territoire d'étude il existe des terrains de piégeage enregistrés. Toutefois, le prélèvement du castor y est généralement minimal en raison de la faible valeur des peaux.

D'abord, toutes les routes forestières praticables de l'aire d'étude ont été visitées afin d'établir les sites. Chaque site correspond à un ponceau qui a été caractérisé selon la présence ou l'absence d'un barrage de castor. Lorsque les ponceaux obstrués causent des dommages aux routes, les gestionnaires procèdent généralement au démantèlement du barrage et font alors appel à des trappeurs professionnels qui récolteront la totalité de la colonie associée. Ceci permet souvent d'éviter que le barrage soit rapidement reconstruit. Toutefois, le démantèlement d'un barrage et la vidange d'un étang laissent des marques sur le territoire qui permettent d'identifier la présence passée d'un barrage. Dans ce cas, nous avons considéré les ponceaux échantillonnés parmi les sites avec présence de barrage. De même, les ponceaux qui

présentaient un système de contrôle anti-castor étaient également considérés parmi les sites avec présence de barrage. Le nombre de ponceaux avec barrage est donc de 77 et celui sans barrage est de 51, pour total de 128 ponceaux échantillonnés. De plus, les données de la présente étude résultent majoritairement de l'extraction géomatique à partir de systèmes d'informations géographiques. Ces données sont donc accessibles aux gestionnaires du territoire, aisées à obtenir et à produire, peu coûteuses et disponibles uniformément pour l'ensemble du territoire québécois.

Caractéristiques associées aux ponceaux échantillonnés

Variables géomorphologiques et hydrologiques

Les données hydrographiques concernent la surface du bassin de drainage (SBD), le rapport entre le débit et le diamètre du ponceau (Ddia), l'inclinaison du bassin de drainage (inclBD), l'inclinaison du ruisseau (inclR), l'ordre de Strahler (Ordre), le nombre de kilomètres de ruisseaux dans deux kilomètres de rayon (kmR2km) et une cote d'indice de pentes riveraines (CoteP). Toutes les variables à l'exception de l'indice de pente riveraine qui a été prise directement sur le terrain proviennent de l'extraction à partir d'un modèle numérique d'élévation. Le modèle a été créé à l'aide des courbes de niveau équidistantes aux dix mètres fournies par la Base de Données Topographiques du Québec (BDTQ).

À l'aide du logiciel BASIN1 (<http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=10668>), un tracé du réseau hydrographique pour l'aire d'étude a été produit. Au moment de créer la couche linéaire de ruisseaux, le logiciel attribue automatiquement un ordre pour chaque segment selon la méthode de Strahler. Cette information a pu être récupérée directement pour les segments de ruisseau qui contenaient un ponceau échantillonné. Les ponceaux qui étaient situés à plus de 150 mètres d'un ruisseau, en fonction de ce tracé hydrographique, se sont vus attribuer une valeur de zéro pour l'ordre. De plus, BASIN1 permet, en sélectionnant un point de la carte, d'estimer la superficie de

territoire qui est drainée vers ce point. La superficie théorique du bassin de drainage a ainsi été calculée pour chaque ponceau. Pour les calculs de débit, l'extension GSFdébit pour ArcGIS, développée par le Groupe Système Forêt (http://www.gsf.qc.ca/Nouveautes/Nouveautes_fr.html) a été utilisée. L'outil permet également de calculer l'inclinaison moyenne du bassin de drainage et l'inclinaison du cours d'eau principal. Puisque nous savions que les débits varieraient peu dû à la topographie régionale et aux ruisseaux échantillonnés qui sont de petites tailles, nous avons utilisé le rapport entre le débit et le diamètre comme indicateur de la quantité d'eau présente versus l'ouverture à bloquer.

Aussi, puisque les réalités terrains sont parfois plus subtiles que le niveau de détails des données topographiques, des corrections ont parfois été apportées dans les cas où il y avait des disparités importantes entre le réseau hydrographique de la BDTQ et celui créé par BASIN1. Ainsi, afin de tenir compte de la réalité qui nous semblait mieux représentée par le tracé de la BDTQ, plusieurs tracés de bassins de drainage ont été corrigés, ainsi que les autres variables qui en découlent, soit le débit, l'inclinaison du bassin et celle du ruisseau. Puisque le projet visait à développer un outil technique qui pourrait être utilisé par les aménagistes du territoire, nous voulions utiliser des données le plus systématiques possible. Pour cette raison, les données brutes ont aussi été intégrées dans les modèles et comparées aux données corrigées afin de pouvoir attester de la validité d'une méthode d'extraction systématique, malgré les erreurs que cela peut comprendre.

De plus, afin de voir si la densité de ruisseaux disponible avait un effet sur la densité de castors qui seraient susceptibles de venir coloniser les ponceaux, le nombre de kilomètres de ruisseaux à l'intérieur d'une zone tampon de deux kilomètres autour de chaque ponceau échantillonné a été calculé. Le réseau hydrographique de BASIN1 a été utilisé pour ce calcul.

Finalement, l'indice de pente riveraine a été mesuré à l'aide d'un clinomètre pour les deux rives en amont de la route. Les degrés d'inclinaison ont été répartis en quatre classes. Les pentes nulles dans la classe 0, les pentes de 0,1 à 3° dans la classe 1, les pentes de 3,1 à 6° dans la classe 2 et les pentes de plus de 6° dans la classe 3. Les classes de chacune des deux rives ont ensuite été additionnées pour donner une cote de pentes riveraines pour chaque ponceau.

Variables associées à la disponibilité alimentaire et en matériaux de construction

Les variables alimentaires et la disponibilité en matériaux de construction concernent la superficie de forêt contenant des essences feuillues (AireFM) et la présence d'aulnaies (Al). Ces informations sont dérivées des informations contenues dans les cartes écoforestières. Pour ce faire, les superficies (ha) couvertes par des peuplements de type feuillu ou mélangé ont été additionnées à l'intérieur d'une zone d'échantillonnage de 200 mètres de rayon autour de chaque ponceau. La taille de la zone d'échantillonnage a été établie en fonction des connaissances des trappeurs consultés. De plus, la présence d'aulnaies d'une superficie d'un minimum d'un hectare a été recensée et compilée en tant que variable catégorique (présence ou absence) pour chaque ponceau.

Variables anthropiques et caractéristiques propres aux ponceaux

Ces données concernent la hauteur du remblai (remblais), le diamètre du ponceau et l'âge des chemins visités. La hauteur du remblai et le diamètre du ponceau ont été mesurés directement sur le terrain. La hauteur du remblai a été prise en amont de la route, à partir du fond du ruisseau jusqu'au point perpendiculaire le plus haut de la route. Le diamètre du ponceau a également été mesuré sur le terrain. Pour l'âge des chemins visités, nous avons utilisé les dates de récoltes et de travaux sylvicoles inscrits aux rapports annuels d'interventions forestières ainsi qu'une chronoséquence

d'images LANDSAT du territoire prises entre 1985, 1995, 2000 et 2005 afin de valider et de compléter l'information. Étant donné le manque d'uniformité dans la distribution de l'âge des chemins, les chemins récents étant beaucoup moins représentés, deux classes d'âge ont été retenues, 0 pour les chemins récents (depuis 1985) et 1 pour les chemins anciens (avant 1985).

Abondance locale du castor

L'abondance locale du castor a été estimée à partir du nombre de barrages environnant (NbB). Le nombre de barrages dans un rayon de deux kilomètres autour de chaque ponceau a été compilé à partir de la carte de ruisseaux de la BDTQ qui contient des informations quant à la localisation des barrages de castor.

Analyses statistiques

Afin de prédire la probabilité de présence de barrage à proximité des ponceaux, la régression logistique a été utilisée. Chaque modèle représente une hypothèse pouvant expliquer la présence du castor près des ponceaux et contient une ou un groupe de variables déterminées à partir des connaissances biologiques de l'habitat du castor. Les modèles réfèrent à la géomorphologie et l'hydrologie, l'alimentation, l'alimentation et les matériaux de construction, les facteurs anthropiques et les populations de castor avoisinantes (tableau 1). De plus, il y a un modèle pour les données géomorphologiques et hydrologiques brutes (HYDRO1) et un second pour ces mêmes données corrigées (HYDRO2), ce qui implique également deux modèles globaux (GLOBAL1 et GLOBAL2), pour un total de huit modèles. Finalement, afin de tenir compte de l'effet du temps écoulé depuis l'apparition de la route dans le paysage du castor, le temps entre la construction de la route et l'année d'échantillonnage a été ajouté à chaque modèle comme « offset ».

Par la suite, tous les modèles ont été comparés entre eux à l'aide du critère d'information d'Akaike (AICc) (Burnham et Anderson, 2002). Les estimés pondérés et les erreurs types inconditionnelles ont également été calculés pour chaque variable contenue dans les meilleurs modèles. Les variables ayant un effet ont été déterminées selon un intervalle de confiance à 95%. Afin d'illustrer l'ampleur de l'effet de chacune des variables ainsi retenues, l'inférence multi-modèles a été pratiquée sur les probabilités prédites à partir de chaque modèle pour l'étendue des valeurs couvertes par chaque variable d'intérêt en conservant les autres variables fixes. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de la version 2.7.2 du logiciel R de CRAN (<http://probability.ca/cran/>).

Résultats

Que ce soit pour les ponceaux avec ou sans barrage, l'étendue des valeurs estimées pour chaque variable est semblable dans les deux cas (tableau 2). De plus, lorsqu'on observe les moyennes comparativement à l'étendue des valeurs pour chaque variable, on constate qu'il y a peu de ponceaux échantillonnés qui possèdent des valeurs près des extrêmes supérieurs (tableau 2). En effet, la majorité des ponceaux échantillonnés possèdent des valeurs plus près des valeurs minimales.

Suite à la comparaison des huit modèles candidats à l'aide du critère d'information d'Akaike, il semble y avoir deux modèles plausibles parmi les modèles élaborés *a priori* pour expliquer la présence des barrages à proximité des ponceaux. Le premier est le modèle ne contenant que les variables géomorphologiques et hydrologiques corrigées (HYDRO2) avec un poids d'AICc de 0,46 (tableau 3). Le deuxième est le modèle considérant la hauteur du remblai (ANTHROPO) avec un delta AICc de 0,34 et un poids AICc de 0,38 (tableau 3). De plus, selon la statistique du « ratio

d'évidence » (*evidence ratio*), le modèle HYDRO2 est environ équivalent au modèle ANTHROPO et environ 7 fois meilleur que le modèle suivant, soit le modèle global avec données corrigées (GLOBAL2). Tous les autres modèles peuvent être écartés en tant que modèles plausibles puisque les deltas AICc sont tous près ou supérieurs à 4 et les poids d'AICc près ou inférieurs à 0,05 (Burnham et Anderson, 2002).

L'inférence multi-modèles a permis de dégager que la surface du bassin de drainage corrigée, le nombre de kilomètres de ruisseau dans deux kilomètres de rayon autour du ponceau étudié et la hauteur du remblai avaient tous un effet négatif sur la probabilité de présence de barrage de castor (tableau 4; figure 2). Le rapport entre le débit corrigé et le diamètre avait quant à lui un effet positif (tableau 4; figure 2). Toutes les autres variables contenues dans les deux meilleurs modèles n'avaient pas d'effet puisque celles-ci incluaient toutes la valeur de 0 à l'intérieur de leur intervalle de confiance respectif (tableau 4).

Finalement, le test d'ajustement de Le Cessie et Van Howelingen sur le modèle global avec données corrigées confirme que l'ajustement est bon ($p = 0.987$). De plus, selon le R de Cox et Snell pour le même modèle, environ 18,7% de la probabilité de présence de barrage à l'intérieur des ponceaux peut être expliquée par les variables étudiées ($R^2 = 0,187$).

Discussion

Variables ayant un pouvoir prédictif et support des hypothèses présentées

Tel que suggéré dans la littérature et par nos hypothèses, l'effet des paramètres géomorphologiques et hydrologiques est le plus important pour prédire

l'emplacement des barrages au niveau des ponceaux. De plus, on constate qu'une extraction brute de ces paramètres n'est pas suffisante pour faire des prédictions valables. En effet, le modèle avec les données corrigées est celui qui répond le mieux d'entre tous, alors que les modèles avec données brutes sont les moins plausibles. D'autre part, le modèle sur les facteurs anthropiques possède aussi un pouvoir explicatif, alors que les hypothèses concernant les paramètres alimentaires et la proximité des autres colonies ne sont pas supportées par la sélection de modèles.

Effets des variables géomorphologiques et hydrologiques

Parmi les variables incluses dans le modèle avec données corrigées qui concerne la géomorphologie et l'hydrologie, certaines semblent avoir un effet plus important que d'autres pour prédire la probabilité de présence de barrage dans les ponceaux. C'est le cas notamment de la surface de bassin de drainage, du rapport entre le débit et le diamètre du ponceau et du nombre de kilomètres de ruisseaux dans deux kilomètres de rayon.

On a observé déjà qu'une forte proportion des barrages de castor se situent à l'intérieur de bassin de drainage de taille moyenne, variant généralement entre 500 et 5000 hectares (Jakes *et al.*, 2007). Puisque les valeurs observées dans la présente étude variaient entre 0 et 3000 hectares, on s'attendait à ce que la relation entre la probabilité de présence et la superficie du bassin de drainage soit positive. Le sens négatif de la relation suggère que dans la région d'étude, il est possible pour un castor de créer un étang, peu importe la superficie du territoire drainé au point de rencontre entre la route et le ruisseau, pour peu qu'il y ait un écoulement d'eau.

Puisque la plage de variation des débits est relativement faible, en lien avec la topographie et les ruisseaux candidats, nous avons étudié le rapport entre la variable débit et le diamètre. Conformément à ce que l'on pouvait s'attendre, ce rapport

engendre une relation positive quant à la probabilité de construction d'un barrage par le castor. D'une part, les forts rapports suggèrent une quantité d'eau importante (grand débit) et/ou un faible diamètre de ponceau, d'autre part, ces caractéristiques sont toutes deux susceptibles de rendre l'endroit attrayant pour le castor. En effet, les débits élevés permettent d'assurer un niveau d'eau appréciable tout au long de l'année. En revanche, les petits ponceaux permettent de limiter les efforts nécessaires pour la construction du barrage.

La quantité de cours d'eau disponibles près du ponceau aurait pu augmenter les chances qu'une ou des colonies résident dans les environs et soient à même de coloniser le ponceau. Toutefois, l'effet négatif de cette variable suggère que moins il y a d'endroits potentiels a priori où s'installer, plus la probabilité augmente qu'ils choisissent le ponceau comme site de construction de barrage. Par ailleurs, on peut penser que les endroits où le nombre de kilomètres de ruisseaux est faible se retrouvent principalement près des sommets et qu'à ces endroits, la route jouerait un rôle plus crucial de concentration des écoulements. En effet, on sait que les routes forestières sont construites, autant que faire se peut, en évitant les dépressions et les bas de pentes. D'autre part, une étude a permis de démontrer que les routes en sommet de pente contribuaient à allonger le réseau hydrographique de premier ordre en transformant les écoulements sous terrain en écoulements de surface (Forman et Alexander, 1998). Ceci pourrait contribuer à rendre de nouveaux endroits disponibles pour la construction de barrage, là où les ruisseaux sont naturellement plus rares.

Effets des variables anthropiques

Par ailleurs, on aurait pu penser que les remblais élevés seraient plus sélectionnés par le castor puisqu'ils permettent de bloquer un plus grand volume d'eau et qu'il a été démontré qu'il y avait une sélection positive pour les endroits qui permettaient la création des plus grands étangs (Johnston et Naiman, 1990). Toutefois, il est

relativement rare d'observer des routes dont le remblai est de beaucoup supérieur à la hauteur du ponceau. En ce sens, la hauteur du remblai réfère généralement au diamètre du ponceau. L'effet négatif de cette variable suggère donc que les petits ponceaux sont préférés, tel qu'indiqué dans la littérature (Jensen *et al.*, 2001) ainsi que par la relation positive entre la présence de barrage et le rapport débit/diamètre.

Effets des variables liées à l'alimentation

Tel que suggéré par nos hypothèses, la disponibilité en essences feuillues ne semble pas être un facteur limitant dans la zone d'étude, ni pour l'alimentation, ni pour la disponibilité en matériaux de construction. Il est même probable que le castor utilise parfois des tiges résineuses pour la construction des barrages ou de la hutte (Flynn, 2006). De plus, nous n'avons aucune information quant à la fonction des étangs créés par les barrages en bordure de route. En effet, on sait que le castor construit un étang primaire (celui contenant une hutte) et parfois un ou des étangs secondaires qui permettent d'accéder à plus de nourriture ou de maintenir les niveaux d'eau plus stables en amont (Baker et Hill, 2003). Dans notre cas, la majorité des étangs observés ne contenaient pas de hutte alors que les autres études d'habitat se rapportent généralement à la colonie, donc à l'étang primaire. Il est donc possible que certaines des variables étudiées qui se révélaient importantes dans ces autres études n'apportent pas d'information lorsqu'il s'agit des étangs secondaires, ce qui pourrait être le cas notamment des essences feuillues qui servent principalement à l'alimentation. On suggère également dans la littérature que les paramètres alimentaires sont difficiles à considérer dans le cas des études d'habitat du castor puisque ce dernier aménage lui-même grandement son habitat (Suzuki et McComb, 1998). De ce fait, la végétation riveraine s'en trouve graduellement modifiée.

Limites de l'étude

Malgré tout, même pour les quatre variables les plus importantes, les estimés pondérés sont très faibles (< 1 ; tableau 3), ce qui laisse entrevoir des relations peu prononcées. Nous pensons que dans l'étendue des valeurs observées pour chacune des variables, il n'y a pas atteinte d'un seuil à partir duquel il est plus difficile pour le castor d'installer son barrage, ce qui diminue les capacités discriminantes de l'étude. Ceci peut s'expliquer par le fait que les sites d'échantillonnages se limitent aux ponceaux, c'est-à-dire à des ruisseaux de faible envergure, comparativement aux sites où on privilégie la construction de ponts de faible longueur.

De plus, il convient de mentionner que toutes les données géomorphologiques et hydrologiques de la présente étude proviennent d'un modèle numérique d'élévation construit à partir des courbes de niveau avec une équidistance de dix mètres de la base de données topographiques du Québec (BDTQ). Comme la topographie est plane, il faut parfois parcourir de grandes distances horizontales pour franchir une élévation de dix mètres. Il peut donc exister plusieurs cuvettes ou variations topographiques qui sont plus subtiles que le niveau de détail des courbes de niveau et qui ne sont donc pas répertoriées. Ceci pourrait expliquer la présence de bassins de drainage d'une superficie presque nulle, de même que les variables qui en découlent (débit et inclinaison du bassin de drainage et du ruisseau).

Par ailleurs, pour ce qui est des données de présence de barrage dans les ponceaux, il est possible que des erreurs de classification aient eu lieu. En effet, il n'existe aucun registre de l'entretien des ponceaux. Certains indices terrains nous permettent de savoir si le ponceau a été utilisé récemment par le castor, mais il est possible que certains ponceaux aient une fausse absence. C'est-à-dire que le site aurait été colonisé par le passé, mais le barrage aurait été défait et les traces de sa présence dissimulées par le temps et/ou la végétation. De plus, certains ponceaux sont parfois remplacés. Le remaniement des lieux et la machinerie peuvent alors faire croire à une

absence alors que l'on sait que les ponceaux sont souvent remplacés précisément pour éliminer la présence nuisible d'un barrage de castor.

Finalement, il y a lieu de se demander si la route comme telle est un facteur très influent pour expliquer la présence des barrages dans les ponceaux. Si oui, il est possible dans bien des cas que la présence de la route explique à elle seule une plus grande portion du phénomène que toutes les autres variables regroupées, ce qui justifierait en partie le faible pouvoir prédictif des modèles (R de Cox et Snell de 18,7%).

Implications en aménagement

Une de nos principales conclusions est que le pouvoir prédictif de nos modèles se révèle trop peu discriminant pour permettre de s'y fier dans un contexte d'aménagement du territoire. D'abord, pour l'étendue des valeurs observées pour les variables étudiées, les probabilités de présence de barrage sont toujours relativement élevés (>50%, voir figure 2), ce qui suggère que virtuellement tout le territoire a un potentiel suffisamment élevé pour la construction de barrage et que le risque est considérable. De plus, pour les quatre variables dont l'effet est le plus important, l'intervalle de confiance sur la probabilité prédite de présence de barrage varie de presque 50 % à 100 % sur toute l'étendue des valeurs observées (figure 2). En ce sens, il serait plus approprié de tenir compte de la potentielle présence de barrage lors de la planification des routes plutôt que de chercher les endroits qui permettraient de minimiser les problèmes.

Nous suggérons donc de planifier l'installation de mesures d'atténuation au moment même de la construction des routes. Ceci permettrait dans plusieurs cas, nous croyons, de diminuer à la fois les coûts liés à l'entretien des ponceaux en les protégeant mieux, et ceux liés à l'installation des structures comme telles. En effet,

les coûts d'installation sont souvent moindres lorsque celle-ci est réalisée au moment de la construction des routes puisque la machinerie est déjà sur place.

Références

- Baker, B.W., and Hill, E.P. 2003. Beaver (*Castor canadensis*). In Wild mammals of North America: Biology, management and conservation. Edited by G A Feldhamer, B C Thompson, and J A Chapman. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA. pp. pages 288-310.
- Barnes, D.M., and Mallik, A.U. 1997. Habitat Factors Influencing Beaver Dam Establishment in a Northern Ontario Watershed. J. Wildlife Manage. **61**(4): 1371-1377.
- Beier, P., and Barrett, R.H. 1987. Beaver habitat use and impact in Truckee river basin, California. J. Wildlife Manage. **51**(4): 794-799.
- Blouin, J., and Berger, J.-P. 2002. Guide de reconnaissance des types écologiques de la région écologique 5a - Plaine de l'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers, Division de la classification écologique et productivité des stations.
- Burnham, K.P., and Anderson, D.R. 2002. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. 2nd ed. Springer, New York.
- Coulombe, G., Huot, J., Arsenault, J., Bauce, É., Bernard, J.-T., Bouchard, A., Liboiron, M.-A., and Szaraz, G. 2004. Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise: rapport.
- Curtis, P.D., and Jensen, P.G. 2004. Habitat features affecting beaver occupancy along roadsides in New York state. J. Wildlife Manage. **68**(2): 278-287.
- Dieter, C.D., and McCabe, T.R. 1989. Factors influencing beaver lodge-site selection on a prairie river. Am. Midl. Nat. **122**(2): 408-411.
- Flynn, N.J. 2006. Spatial associations of beaver ponds and culverts in boreal head water streams. In Department of Renewable Ressources. University of Alberta, Edmonton. p. 108 p.
- Forman, R.T.T., and Alexander, L.E. 1998. Roads and their major ecological effects. Annu. Rev. Ecol. Syst. **29**: 207-231.
- Fryxell, J.M., and Doucet, C.M. 1993. Diet choice and the functional response of beavers. Ecology **64**(5): 1297-1306.
- Howard, R.J., and Larson, J.S. 1985. A stream habitat classification system for beaver. J. Wildlife Manage. **49**(1): 19-25.

- Jakes, A.F., Snodgrass, J.W., and Burger, J. 2007. *Castor canadensis* (Beaver) Impoundment Associated with Geomorphology of Southeastern Streams. *Southeastern Naturalist* **6**(2): 271-282.
- Jensen, P.G., Curtis, P.D., Lehnert, M.E., and Hamelin, D.L. 2001. Habitat and structural factors influencing beaver interference with highway culverts. *Wildlife Soc. B.* **29**(2): 654-664.
- Johnston, C.A., and Naiman, R.J. 1990. Aquatic Patch Creation in Relation to Beaver Population Trends. *Ecology* **71**(4): 1617-1621.
- Lafond, R., Pilon, C., and Leblanc, Y. 2003. Bilan du plan d'inventaire aérien des colonies de castors au Québec (1989-1994). Société de la faune et des parcs du Québec. Direction du développement de la faune.
- Langlois, S., and Decker, T. 1997. The use of water flow devices and flooding problems caused by beaver in Massachusetts. MA Division of Fisheries and Wildlife.
- Martell, K.A. 2004. Patterns of Riparian Disturbance in Alberta's Boreal Mixedwood Forest: Beavers, Roads and Buffers. *In* Department of Renewable Resources. University of Alberta, Edmonton. p. 188 p.
- McComb, W.C., Sedell, J.R., and Buchholz, T.D. 1990. Dam-site selection by beavers in an eastern Oregon basin. *Great Basin Nat.* **50**: 273-281.
- McKinstry, M.C., and Anderson, S.H. 1999. Attitudes of private and public-land managers in Wyoming, USA, toward beaver. *Environ. Manage.* **23**(1): 95-101.
- Miller, J.E., and Yarrow, G.K. 1994. Beavers - Prevention and control of wildlife damage. Institute of Agriculture and Natural Resources - University of Nebraska, Lincoln.
- MRNF. 2006. Portrait territorial: Abitibi-Témiscamingue. Direction générale de l'Abitibi-Témiscamingue, Direction régionale de la gestion du territoire public de l'Abitibi-Témiscamingue, Gouvernement du Québec. p. 80 p.
- MRNF. 2007. Ressources et industries forestières: Portrait statistique, édition 2007. Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, Gouvernement du Québec.
- Newbill, C.B., and Parkhurst, J. 2000. Managing wildlife damage: Beavers (*Castor canadensis*). Virginia Cooperative Extension **publication 420-202**: 1-8.
- Payne, N.F., and Peterson, R.P. 1986. Trends in complaints of beaver damage in Wisconsin. *Wildlife Soc. B.* **14**(3): 303-307.
- Snodgrass, J.W. 1997. Temporal and spatial dynamics of beaver-created patches as influenced by management practices in a south-eastern American landscape. *J. Appl. Ecol.* **34**(4): 1043-1056.
- Suzuki, N., and McComb, W.C. 1998. Habitat classification models for beaver (*Castor canadensis*) in the streams of the Central Oregon Coast range. *Northwest Sci.* **72**(2): 102-110.

Tableau 1. Variables incluses dans les modèles candidats servant à tester les différentes hypothèses susceptibles d'expliquer la présence de barrage dans les ponceaux.

Modèles	Variables*
HYDRO1	SBD+Ddia+inclBD+inclR+Ordre+kmR2km+coteP+AGE
HYDRO2	SBDcor+Ddiacor+inclBDcor+inclRcor+Ordre+kmR2km+coteP+AGE
ALIM	AireMF+AGE
ALIM&CONST	AireMF+Al+AGE
CASTOR	NbB+AGE
ANTHROPO	Remblai+AGE
GLOBAL1	SBD+Ddia+inclBD+inclR+Ordre+kmR2km+coteP+AireMF+Al+Remblai+NbB+AGE
GLOBAL2	SBDcor+Ddiacor+inclBDcor+inclRcor+Ordre+kmR2km+coteP+AireMF+Al+Remblai+NbB+AGE

*SBD, surface de bassin de drainage; Ddia, rapport débit/diamètre; inclBD, inclinaison du bassin de drainage; inclR, inclinaison du ruisseau; Ordre, ordre de Strahler; kmR2km, km de ruisseaux dans 2 km de rayon; coteP, cote de pentes riveraines; AGE, âge des chemins; AireMF, superficie de forêt mélangée et/ou feuillue; Al, présence d'aulnaie; NbB, nombre de barrages de castor dans 2 km de rayon; Remblai, hauteur du remblai.

Tableau 2. Données descriptives pour les ponceaux sans et avec barrage de castor pour les 12 variables à l'étude.

Variables*	sans				avec			
	min	max	moyenne**	SE	min	max	moyenne**	SE
SBD (ha)	0,01	1015,49	98,62	32,35	0,01	693,67	52,31	12,47
Ddia	0	15,55	0,87	0,33	0	7,27	1,00	0,17
inclBD	0	13,67	2,89	0,53	0	15,71	3,77	0,45
inclR	0	28,91	2,18	0,65	0	17,39	2,88	0,46
Ordre	0	4	1		0	4	1	
kmR2km (km)	32,52	53,62	40,64	0,68	32,01	52,62	38,94	0,48
CoteP	0	6	2		0	6	2	
SBDcor (ha)	0,01	693,67	330,87	91,76	0,01	3092,28	233,32	51,33
Ddiacor	0	9	1,54	0,24	0	14,05	2,18	0,30
inclBDcor	0	11,96	3,96	0,43	0	15,71	5,25	0,42
inclRcor	0	28,91	2,36	0,62	0	17,39	2,73	0,42
AireMF (ha)	0	12,56	7,12	0,53	0	12,56	7,04	0,40
Al			0,18				0,26	
NbB	4	128	47,16	4,66	4	176	57,73	3,81
Remblai (m)	0,60	4,90	1,84	0,14	0,30	7,00	1,43	0,10
AGE			1				1	

*SBD, surface de bassin de drainage; Ddia, rapport débit/diamètre; inclBD, inclinaison du bassin de drainage; inclR, inclinaison du ruisseau; Ordre, ordre de Strahler; kmR2km, km de ruisseaux dans 2 km de rayon; coteP, cote de pentes riveraines; AireMF, superficie de forêt mélangée et/ou feuillue; Al, présence d'aulnaie; NbB, nombre de barrages de castor dans 2 km de rayon; Remblai, hauteur du remblai; AGE, âge des chemins.

**La médiane est présentée pour les variables Ordre, coteP et AGE et la proportion de présence pour la variable Al.

Tableau 3. Résultat de la sélection de modèles à l'aide du critère d'information d'Akaike (AIC).

Modèles*	K	AICc	Delta AICc	Poids AICc	Pds cum.
HYDRO2	9	171.0591	0	0.4558	0.4558
ANTHROPO	3	171.3987	0.3396	0.3846	0.8404
GLOBAL2	13	174.8605	3.8013	0.0681	0.9085
CASTOR	3	175.0607	4.0015	0.0616	0.9702
ALIM	3	178.0255	6.9664	0.014	0.9842
ALIM&CONST	4	179.0141	7.955	0.0085	0.9927
GLOBAL1	13	180.5877	9.5286	0.0039	0.9966
HYDRO1	9	180.8446	9.7855	0.0034	1

*HYDRO2, variables géomorphologiques et hydrologiques avec données corrigées; ANTHROPO, variables anthropiques; GLOBAL2, modèle global avec données corrigées; CASTOR, variable liée à la densité de barrages; ALIM, variable liée à l'alimentation; ALIM&CONST, variables liées à l'alimentation et aux matériaux de construction; GLOBAL1, modèle global avec données brutes; HYDRO1, variables géomorphologiques et hydrologiques avec données brutes.

Tableau 4. Résultat de l'inférence multi-modèles pour les variables incluses dans les deux meilleurs modèles (HYDRO2, ANTROPHO).

Variables*	Bêta	SE	Lim. Inf	Lim. Sup
SBDcor	-0.0019	0.0008	-0.0034	-0.0004
kmR2km	-0.1036	0.0474	-0.1966	-0.0107
Remblai	-0.5321	0.2424	-1.0072	-0.0571
Ddiacor	0.3883	0.1905	0.0149	0.7616
inclBDcor	0.0877	0.0826	-0.0741	0.2495
inclRcor	-0.0545	0.0625	-0.1769	0.0680
Ordre	0.0726	0.2153	-0.3493	0.4946
CoteP	-0.1133	0.1083	-0.3256	0.0989
NbB	0.0099	0.0064	-0.0027	0.0225
AGE	-0.4803	0.5168	-1.4932	0.5326

*SBD, surface de bassin de drainage; Ddia, rapport débit/diamètre; inclBD, inclinaison du bassin de drainage; inclR, inclinaison du ruisseau; Ordre, ordre de Strahler; kmR2km, km de ruisseaux dans 2 km de rayon; coteP, cote de pentes riveraines; Remblai, hauteur du remblai; NbB, nombre de barrages de castor dans 2 km de rayon; AGE, âge des chemins.

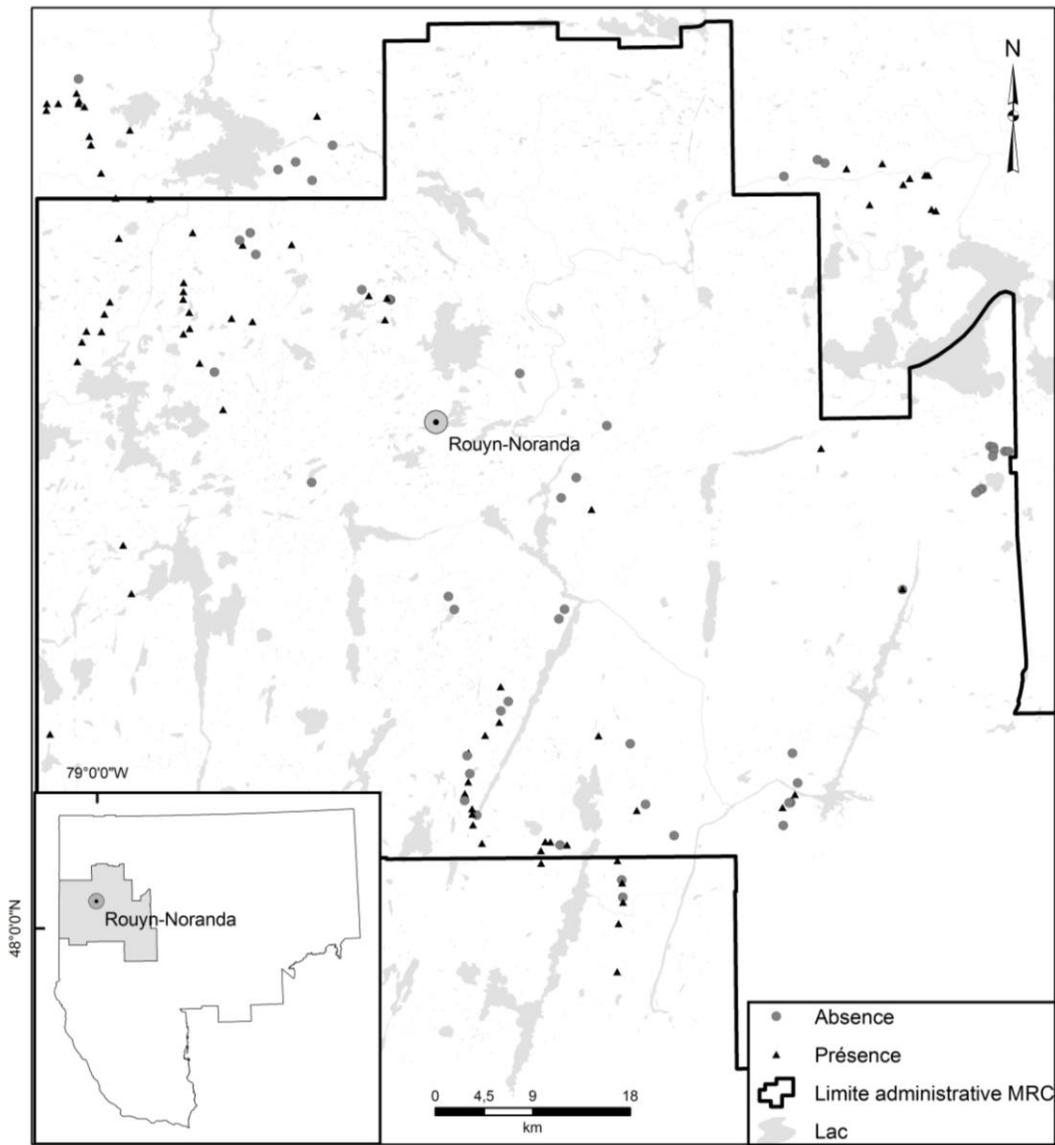


Figure 1. Ponceaux échantillonnés avec présence ou absence de barrages de Castor et région d'étude en Abitibi.

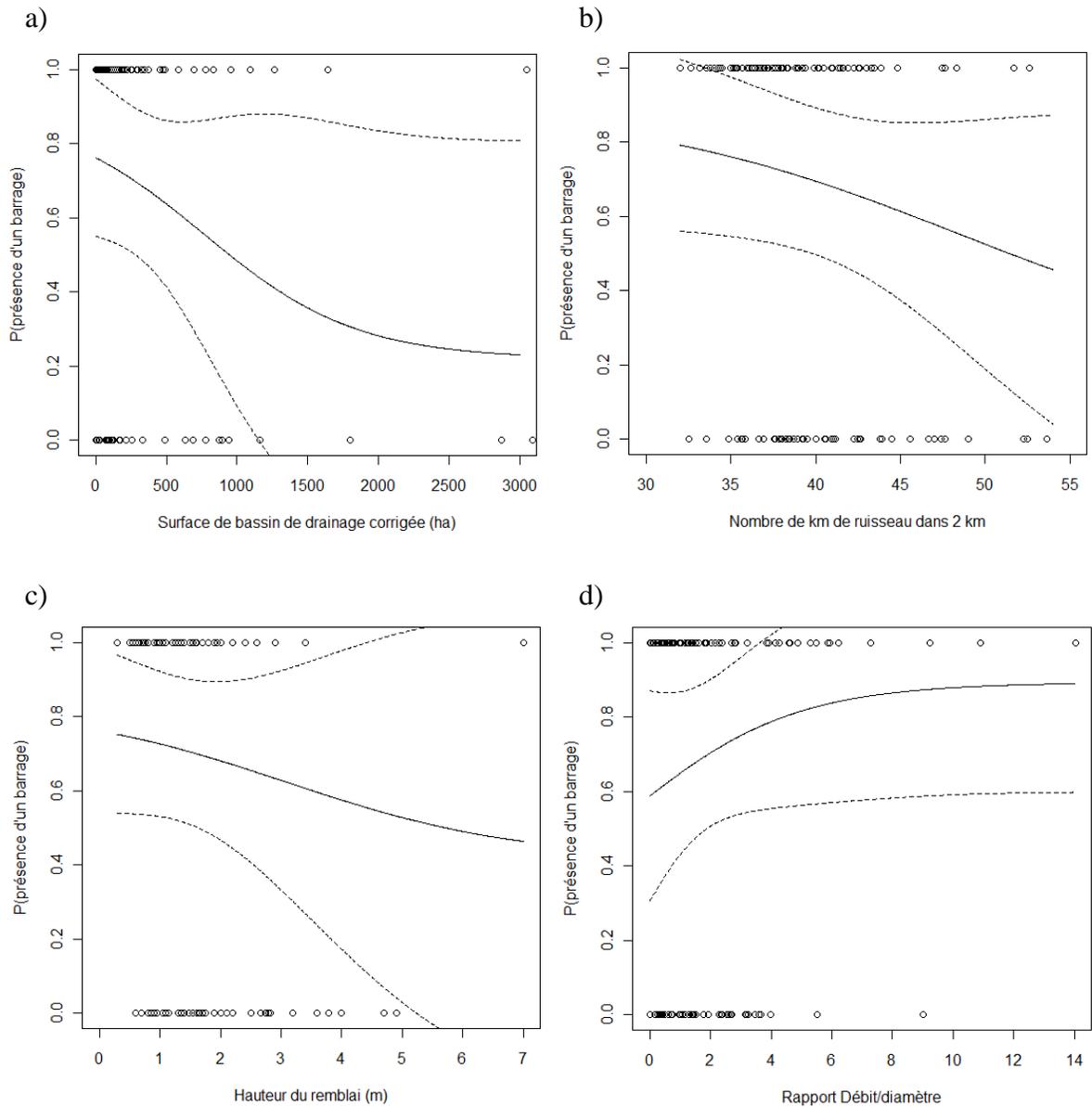


Figure 2. Probabilité de présence d'un barrage à proximité du ponceau en fonction de a) la superficie corrigée du bassin de drainage en amont de la route, b) le nombre de kilomètres de ruisseau dans deux kilomètres de rayon autour du ponceau, c) la hauteur du remblai et d) le rapport entre le débit corrigé et le diamètre du ponceau. Les lignes pointillées représentent l'intervalle de confiance à 95% et les points ronds les ponceaux échantillonnés (n = 128).

Conclusion générale

En somme, parmi les groupes de facteurs étudiés qui concernaient la géomorphologie et l'hydrologie, la disponibilité alimentaire, les facteurs anthropiques et la densité de barrages environnants, l'étude a permis de démontrer que les variables de l'habitat du castor liées à la géomorphologie et l'hydrologie sont les plus importantes pour expliquer la présence de barrages au niveau des ponceaux. Parmi ces variables, on retient que la superficie du bassin de drainage en amont de la route et le nombre de kilomètres de ruisseaux dans deux kilomètres de rayon ont un effet négatif sur la probabilité de présence de barrage, alors que le rapport entre le débit et le diamètre du ponceau a un effet positif. De plus, la hauteur du remblai, qui réfère le plus souvent au diamètre du ponceau, a aussi un effet négatif sur la probabilité de présence.

Toutefois, dans la majorité des cas, la probabilité prédite de présence de barrage au niveau des ponceaux est égale ou supérieure à 50%, ce qui signifie que manifestement tout le territoire d'étude est propice à l'établissement du castor. En ce sens, il serait préférable de prévoir l'installation de mesures d'atténuations telles que les pré-barrages au moment de la construction des routes. Ceci permettrait sans doute de diminuer l'occurrence des conflits avec le castor et ainsi diminuer les coûts d'entretien des chemins forestiers. De plus, nous savons que l'installation des pré-barrages est moins coûteuse lorsqu'elle est faite en même temps que la construction des routes puisque la machinerie nécessaire à l'opération est déjà sur place (tableau 5). À titre d'exemple, pour une année d'opération moyenne chez une industrie forestière dans son aire d'aménagement en Abitibi, nous avons comparé les coûts d'installation de pré-barrages et d'entretien de ponceau pour les cas problématiques versus l'installation préventive de pré-barrages pour tous les ponceaux de plus de 50 centimètres nouvellement installés. Il en ressort que l'installation préventive de cinq

pré-barrages coûterait au maximum 4625\$, alors qu'on estime que les coûts de démantèlement et prélèvement du castor ainsi que l'installation tardive de pré-barrages pour trois ponceaux par années, en plus des frais engendrés par le lessivage des routes, s'élèvent au minimum à 4870\$.

Perspective de recherche

- Conduire la même recherche dans une région plus accidentée pourrait permettre d'atteindre des seuils et confirmer si les variables étudiées sont vraiment des variables explicatives potentielles.
- Utiliser des données topographiques plus précises (et plus coûteuses), telles que le LIDAR, afin de voir si une caractérisation plus fine et plus réaliste de la géomorphologie et de l'hydrologie permettrait de mieux expliquer le phénomène. De plus, des données plus précises nous permettraient de calculer également la superficie potentielle du bassin d'inondation en fonction de la hauteur du remblai. En effet, la superficie d'inondation est reconnue pour avoir un effet positif sur la présence des barrages de castors dans d'autres études d'habitat pour cette espèce.
- Évaluer la contribution de la présence de la route comme telle pour expliquer la présence de barrage au niveau des ponceaux. En effet, on pense que dans certains cas le castor établit préférentiellement ses barrages en bordure de route, malgré que les autres aspects de l'habitat y soient moins favorables.

Tableau 5. Coûts comparatifs de l'installation de pré-barrages avant la construction des routes par rapport à leur installation et l'entretien de ponceaux endommagés par le castor après la construction de celles-ci pour une année d'opération chez Norbord.

Opérations	Coûts (\$)	
	Avant	Après
Pré-Barrage	325 - 925	750 - 1350
Démantèlement		240 - 750
Prélèvement castor et km		300 - 480
Fréquence:	x5	x3
Wash-Out		1000
Total:	1625 - 4625	4870 - 8740

Références

- ALEKSIUK, M., 1970. The seasonal food regime of arctic beavers. *Ecology* **51**(2): 264-270.
- ALLEN, A. W., 1983. Habitat suitability index models: beaver. U.S. Fish and Wildlife Service, 20 p.
- AZNAR, J. C. et A. DESROCHERS, 2008. Building for the future: Abandoned beaver ponds promote bird diversity. *Écoscience* **15**(2): 250-257.
- ANDERSON, S. B., 1987. Wild furbearer management in Eastern Canada. Pages 1039-1048. *in* M. Novak, J. A. Baker, M. E. Obbard et B. Malloch, editors. *Wild furbearer management and conservation in North America*. Aston-Potter, Concord, Ontario, Canada.
- BAKER, B. W. et E. P. HILL, 2003. Beaver (*Castor canadensis*). pages 288-310. *in* G. A. Feldhamer, B. C. Thompson et J. A. Chapman, editors. *Wild mammals of North America: Biology, management and conservation*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA.
- BARNES, D. M. et A. U. MALLIK, 1997. Habitat factors influencing beaver dam establishment in a northern Ontario watershed. *J. Wildlife Manage.* **61**(4): 1371-1377.
- BEIER, P. et R. H. BARRETT, 1987. Beaver habitat use and impact in Truckee River basin, California. *J. Wildlife Manage.* **51**(4): 794-799.
- BLOUIN, J. et J.-P. BERGER, 2002. Guide de reconnaissance des types écologiques de la région écologique 5a - Plaine de l'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers, Division de la classification écologique et productivité des stations.
- BORDAGE, G. et L. FILION, 1988. Analyse dendroécologique d'un milieu riverain fréquenté par le castor (*Castor canadensis*) au Mont du Lac-des-Cygnes (Charlevoix, Québec). *Naturaliste Canadien* **115**: 117-124.
- BURNHAM, K. P. et D. R. ANDERSON, 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. New York, Springer.
- COLLEN, P. et R. J. GIBSON, 2001. The general ecology of beavers (*Castor* spp.), as related to their influence on stream ecosystems and riparian habitats, and the subsequent effects on fish - a review. *Rev. Fish Biol. Fisher.* **10**: 439-461.
- COTTON, F. E. (1990). Potential Beaver Colony in Parts of Quebec. *Fisheries and Wildlife Sciences*. Blacksburg, Virginia Polytechnic Institute and State University. **Master**: 316.
- COULOMBE, G., J. HUOT, J. ARSENAULT, É. BAUCE, J.-T. BERNARD, A. BOUCHARD, M.-A. LIBOIRON et G. SZARAZ, 2004. Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise: rapport. 307 p.

- CUNNINGHAM, J. M., A. J. K. CALHOUN et W. E. GLANZ, 2006. Patterns of beaver colonization and wetland change in Acadia National Park. *Northeastern Naturalist* **13**(4): 583-596.
- CURTIS, P. D. et P. G. JENSEN, 2004. Habitat features affecting beaver occupancy along roadsides in New York state. *J. Wildlife Manage.* **68**(2): 278-287.
- D'EON, R. G., R. LAPINTE, N. BOSNICK, J. C. DAVIES, B. MACLEAN, W. R. WATT et R. G. WILSON, 1995. The beaver handbook: a guide to understanding and coping with beaver activity. Ontario, Canada, Queen's Printer for Ontario.
- DESTEFANO, S., K. K. G. KOENEN, C. M. HENNER et J. STRULES, 2006. Transition to independence by subadult beavers (*Castor canadensis*) in an unexploited, exponentially growing population. *J. Zool.* **269**: 434-441.
- DIETER, C. D. et T. R. MCCABE, 1989. Factors influencing beaver lodge-site selection on a prairie river. *Am. Midl. Nat.* **122**(2): 408-411.
- DONKOR, N. T. et J. M. FRYXELL, 1999. Impact of beaver foraging on structure of lowland boreal forests of Algonquin Provincial Park, Ontario. *Forest Ecol. Manag.* **118**: 83-92.
- DOUCET, C. M., R. A. WALTON et J. M. FRYXELL, 1994. Perceptual cues used by beavers foraging on woody plants. *Anim. Behav.* **47**(6): 1482-1484.
- FLYNN, N. J. (2006). Spatial associations of beaver ponds and culverts in boreal head water streams. Department of Renewable Ressources. Edmonton, University of Alberta. **Master of Science**: 108 p.
- FORMAN, R. T. T. et L. E. ALEXANDER, 1998. Roads and their major ecological effects. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **29**: 207-231.
- FORTIN, C., M. LALIBERTÉ et J. OUZILLEAU, 2001. Guide d'aménagement et de gestion du territoire utilisé par le castor au Québec. Ste-Foy.
- FRYXELL, J. M., 2001. Habitat suitability and source-sink dynamics of beaver. *J. Anim. Ecol.* **70**(2): 310-316.
- FRYXELL, J. M. et C. M. DOUCET, 1993. Diet choice and the functional response of beavers. *Ecology* **64**(5): 1297-1306.
- GALLANT, D., C. H. BÉRUBÉ, E. TREMBLAY et L. VASSEUR, 2004. An extensive study of the foraging ecology of beavers (*Castor canadensis*) in relation to habitat quality. *Can. J. Zool.* **82**: 922-933.
- GIROUX, A., 1987. The role of the trapper today. Pages 55-58. *in* M. Novak, J. A. Baker, M. E. Obbard et B. Malloch, editors. *Wild furbearer management and conservation in North America*. Aston-Potter, Concord, Ontario, Canada.
- HALL, J. G., 1960. Willow and aspen in the ecology of beaver on Sagehen Creek, California. *Ecology* **41**(3): 484-494.
- HIBBARD, E. A., 1958. Movements of beaver transplanted in North Dakota. *J. Wildlife Manage.* **22**(2): 209-211.
- HOWARD, R. J. et J. S. LARSON, 1985. A stream habitat classification system for beaver. *J. Wildlife Manage.* **49**(1): 19-25.

- JAKES, A. F., J. W. SNODGRASS et J. BURGER, 2007. *Castor canadensis* (Beaver) impoundment associated with geomorphology of southeastern streams. *Southeastern Naturalist* **6**(2): 271-282.
- JENKINS, S. H., 1975. Food selection by beavers. *Oecologia* **21**: 157-173.
- JENKINS, S. H. et P. E. BUSHER, 1979. *Castor canadensis*. *Mammalian Species* (120): 1-8.
- JENSEN, P. G., P. D. CURTIS et D. L. HAMELIN, 1999. Managing Nuisance Beavers Along Roadsides - A guide for Highway Departments. Cornell University, 12 p.
- JENSEN, P. G., P. D. CURTIS, M. E. LEAHNERT et D. L. HAMELIN, 2001. Habitat and structural factors influencing beaver interference with highway culverts. *Wildlife Soc. B.* **29**(2): 654-664.
- JOHNSTON, C. A. et R. J. NAIMAN, 1990. Aquatic patch creation in relation to beaver population trends. *Ecology* **71**(4): 1617-1621.
- LAFOND, R., C. PILON et Y. LEBLANC, 2003. Bilan du plan d'inventaire aérien des colonies de castors au Québec (1989-1994). Société de la faune et des parcs du Québec. Direction du développement de la faune, Québec, 89 p.
- LANGLOIS, S. et T. DECKER, 1997. The use of water flow devices and flooding problems caused by beaver in Massachusetts. MA Division of Fisheries and Wildlife, 13 p.
- MARTELL, K. A. (2004). Patterns of Riparian Disturbance in Alberta's Boreal Mixedwood Forest: Beavers, Roads and Buffers. Department of Renewable Resources. Edmonton, University of Alberta. **Master of Science**: 188 p.
- MARTELL, K. A., A. L. FOOTE et S. G. CUMMING, 2006. Riparian disturbance due to beavers (*Castor canadensis*) in Alberta's boreal mixedwood forests: Implications for forest management. *Ecoscience* **13**(2): 164-171.
- MCCOMB, W. C., J. R. SEDELL et T. D. BUCHHOLZ, 1990. Dam-site selection by beavers in an eastern Oregon basin. *Great Basin Nat.* **50**: 273-281.
- MCKINSTRY, M. C. et S. H. ANDERSON, 1999. Attitudes of private and public-land managers in Wyoming, USA, toward beaver. *Environ. Manage.* **23**(1): 95-101.
- MILLER, J. E. et G. K. YARROW, 1994. Beavers - Prevention and control of wildlife damage. Institute of Agriculture and Natural Resources - University of Nebraska, Lincoln, 11 p.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), 2006. Portrait territorial: Abitibi-Témiscamingue. Direction générale de l'Abitibi-Témiscamingue, Direction régionale de la gestion du territoire public de l'Abitibi-Témiscamingue, Gouvernement du Québec. 80 p.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), 2007. Ressources et industries forestières: Portrait statistique, édition 2007. Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, Gouvernement du Québec.

- NEWBILL, C. B. et J. PARKHURST, 2000. Managing wildlife damage: Beavers (*Castor canadensis*). Virginia Cooperative Extension **publication 420-202**: 1-8.
- NORTHCOTT, T. H., 1971. Feeding habits of beaver in Newfoundland. *Oikos* **22**(3): 407-410.
- NOVAK, M., 1987. Beaver. Pages 282-313. *in* M. Novak, J. A. Baker, M. E. Obbard et B. Malloch, editors. Wild furbearer management and conservation in North America. Aston-Potter, Concord, Ontario, Canada.
- PAYNE, N. F. et R. P. PETERSON, 1986. Trends in complaints of beaver damage in Wisconsin. *Wildlife Soc. B.* **14**(3): 303-307.
- RAY, A. J., 1987. The fur trade in North America: an overview from a historical geographical perspective. Pages 21-30. *in* M. Novak, J. A. Baker, M. E. Obbard et B. Malloch, editors. Wild furbearer management and conservation in North America. Aston-Potter, Concord, Ontario, Canada.
- ROSELL, F., O. BOZSÉR, P. COLLEN et H. PARKER, 2005. Ecological impact of beavers *Castor fiber* and *Castor canadensis* and their ability to modify ecosystems. *Mammal Rev.* **35**: 248-276.
- SLOUGH, B. G. et R. M. F. S. SADLEIR, 1977. A land capability classification system for beaver (*Castor canadensis Kuhl*). *Can. J. Zool.* **55**: 1324-1335.
- SNODGRASS, J. W., 1997. Temporal and spatial dynamics of beaver-created patches as influenced by management practices in a south-eastern American landscape. *J. Appl. Ecol.* **34**(4): 1043-1056.
- STEVENS, C. E., C. A. PASZKOWSKI et A. L. FOOTE, 2007. Beaver (*Castor canadensis*) as a surrogate species for conserving anuran amphibians on boreal streams in Alberta. *Biol. Conserv.* **134**: 1-13.
- SUZUKI, N. et W. C. MCCOMB, 1998. Habitat classification models for beaver (*Castor canadensis*) in the streams of the Central Oregon Coast range. *Northwest Sci.* **72**(2): 102-110.
- WRIGHT, J. P., C. G. JONES et A. S. FLECKER, 2002. An ecosystem engineer, the beaver, increases species richness at the landscape scale. *Oecologia* **132**: 96-101.