

Chapitre 2. Lutte à la quenouille à feuilles larges en tourbière

2.1 Introduction

Plusieurs activités liées à l'extraction industrielle de la tourbe horticole offrent des conditions favorables à l'établissement de la quenouille (*Typha* spp.). Les sites avec du sol à nu, humide et exposé à la lumière constituent des habitats idéaux pour l'établissement d'hélophytes comme la quenouille (Tulbure et Johnston 2010; Boivin et al. 2011). Lorsque des activités d'extraction de la tourbe ont lieu, les canaux de drainage où la tourbe est exposée représentent des conditions favorables à l'établissement de nouveaux individus par graines. Des fragments de tiges et de rhizomes de quenouille peuvent aussi être dispersés par la machinerie utilisée. Les conditions abiotiques de certains bogs dégradés et l'apport en diaspores peuvent avoir favorisé l'établissement et la prolifération de populations de quenouilles à feuilles larges (*Typha latifolia* L.) qui ont été remarquées dans les canaux de drainage de certaines tourbières du Québec. Aux fins de la présente étude, le terme « population » réfère à un groupe localisé d'individus appartenant à une même espèce et situé dans un même habitat ou circonscrit dans une parcelle expérimentale (Raven et al. 2005; Gibson 2015).

2.1.1 Définition du problème de l'envahissement des milieux humides par la quenouille

Le genre *Typha* (famille : Typhaceae) représente une composante importante des milieux humides à travers le monde (Cronk et Fennessy 2001). Trois des espèces qui en font partie (*T. angustifolia*, *T. latifolia* et *T. dominensis*), ainsi qu'un hybride envahissant (*T. ×glauca*) figurent parmi les espèces les plus répandues dans certains milieux humides d'Amérique du Nord (Grace et Harrison 1986). Toutefois, ils peuvent parfois devenir fortement dominants à la suite de perturbations anthropiques (Galatowitsch et al. 1999; Ciotir et Freeland 2016). Des populations denses quasi-monospécifiques peuvent alors constituer une nuisance pour les milieux humides (Global Invasive Species Database 2017). Au Québec, on trouve deux espèces de quenouilles: la quenouille à feuilles larges (*Typha latifolia* L.), indigène d'Amérique du Nord, et la quenouille à feuilles étroites (*Typha angustifolia* L.), probablement introduite d'Europe (Ciotir et al. 2013; Ciotir et Freeland 2016). Ces deux espèces peuvent se croiser pour former des hybrides F₁, dont le plus connu est *T. ×glauca* Godr. (Smith 1967; Galatowitsch et al. 1999). Il a été suggéré que cet hybride jouerait un rôle important dans l'envahissement des milieux humides

situés le long des rives des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent (Freeland et al. 2013). Il s'est propagé à divers endroits aux États-Unis (Wilcox et al. 1985, 2008; Vaccaro et al. 2009). D'ailleurs, la prolifération de *T. ×glauca* dans un large complexe de milieux humides près du lac Michigan aurait eu pour conséquence de diminuer drastiquement la diversité d'espèces de plantes indigènes et d'altérer les conditions abiotiques du milieu (Mitchell et al. 2011). Néanmoins, aucun envahissement par *T. ×glauca* n'a encore été répertorié dans une tourbière en Amérique du Nord.

Les communautés de quenouilles où la densité des tiges et l'accumulation de biomasse sont fortes peuvent s'avérer nuisibles pour la diversité des espèces floristiques et fauniques et les activités humaines (Holm et al. 1997; Farrer et Goldberg 2009). La prolifération de la quenouille pourrait mettre en péril certaines espèces de plantes rares ou représentatives de bogs naturels. Ce changement dans la composition végétale pourrait aussi affecter certaines espèces d'oiseaux typiques des tourbières qu'on trouve habituellement sous des latitudes beaucoup plus nordiques que celles des Basses-Terres du Saint-Laurent, telles que la Paruline à couronne rousse (*Setophaga palmarum*; Calmé et al. 2002). Bien que ces hypothèses demeurent controversées, certaines études suggèrent que la quenouille aurait la capacité d'inhiber la germination et la croissance de certaines espèces indigènes, car elle libérerait des substances allélopathiques à partir de ses racines (McNaughton 1968; Jarchow et Cook 2009). La biomasse aérienne et la litière qu'elle accumule au sol diminue la pénétration de la lumière à la surface du sol, ce qui pourrait avoir des effets négatifs sur la germination et la richesse en espèces de plantes (McNaughton 1966; Facelli 1994; Vaccaro et al. 2009). Elle pourrait également engendrer des pertes importantes d'eau par transpiration dans certains lacs, mares ou champs (Mítich 2000). D'un autre point de vue, la dissémination d'une quantité abondante de diaspores de quenouilles sur des tourbières voisines, où la tourbe est toujours extraite à des fins industrielles, peut affecter la qualité de la tourbe et entraîner une dépréciation de cette ressource sur le marché.

2.1.2 Écologie et biologie de la quenouille à feuilles larges

L'espèce indigène, *Typha latifolia*, a connu une expansion considérable de son aire de répartition en Amérique du Nord entre le milieu et la fin du 20^e siècle et tend à former des populations denses, parfois dominantes, dans les milieux humides fortement dégradés par des

perturbations anthropiques (McNaughton 1966; Shih et Finkelstein 2008). Au Québec, elle a été répertoriée dans plusieurs bogs ayant été fortement perturbés. La quenouille à feuilles larges est une espèce ubiquiste, typique des bords des eaux calmes, des rivages, des lacs, des marécages, des marais, des tourbières minérotrophes et plus généralement des milieux humides, où elle pousse parfois en populations denses (Grace et Harrison 1986). L'expansion de son aire de répartition aurait été facilitée par sa capacité à occuper des sites fortement perturbés, dont les canaux situés en bordure du système routier reconnus comme des corridors de dissémination pour certaines espèces envahissantes et caractérisés par des conditions salines (Hansen et Clevenger 2005; Jodoin et al. 2008; Olson et al. 2009). Cette plante monocotylédone pérenne possède plusieurs traits morphologiques qui font d'elle un envahisseur prolifique dans les milieux humides. Il s'agit d'une plante semi-aquatique de type émergente, dont la tige peut atteindre jusqu'à 3 m de hauteur (Mitich 2000). La quenouille tolère une salinité modérée (300 à 2400 mg L⁻¹; Koropchak et Vitt 2012) et elle tolère aussi une acidité élevée (pH > 3,5), mais elle capte mieux les nutriments (azote) lorsque les conditions sont moins acides (pH > 5; Brix 2002). Elle est adaptée à une vaste gamme de températures pouvant aller de -34 à 50 °C (Liu et al. 1978; Mitich 2000), mais sa croissance et ses besoins en macroéléments et microéléments sont influencés positivement par une augmentation de la température du sol (Adriano et al. 1980). Tolérante à un stress hydrique important (humidité du sol ≥ 5 %; Asamoah et Bork 2010), la quenouille est répartie spatialement selon son degré d'adaptation morphologique aux niveaux d'eau. *Typha latifolia*, l'espèce ayant proliféré dans les canaux de drainage du site d'étude, se trouve principalement dans les étendues d'eau peu profondes (< 50 cm) contrairement à *Typha angustifolia* qui se trouve dans les eaux plus profondes (> 50 cm; Grace et Wetzel 1981a, 1982, 1998). La quenouille possède une plasticité phénotypique. Elle dispose d'une capacité à exprimer différents phénotypes physiologiques ou morphologiques en réponse à diverses conditions environnementales (Callaway et al. 2003). Par contre, elle est sensible à une sécheresse prolongée. Dans ces conditions, la photosynthèse est réduite et la production de sa biomasse est ralentie (Grace et Wetzel 1981b; Li et al. 2004). La forte production de biomasse aérienne, due à son efficacité photosynthétique élevée (équivalente à une plante en C₄) et à sa capacité à emmagasiner les réserves de glucides sous forme d'amidon dans ses organes souterrains, se traduit souvent par une grande quantité de litière au sol (McNaughton 1974).

La quenouille se reproduit entre autres de manière sexuée. Ses organes femelles, une fois fécondées, peuvent produire entre 200 000 et 700 000 graines (akènes) par inflorescence (Holm et al. 1997). Ces graines vont être dispersées par le vent grâce à leurs stipes allongés munis de longs poils (Grace et Harrison 1986). Ce mode de dissémination permet aux graines d'être transportées sur des distances considérables. Les graines de quenouille peuvent former une proportion importante (> 25 %) du réservoir de semences dans le sol d'un milieu humide. Une densité de 13 670 graines m⁻² a été observée dans les premiers 10 cm du sol (Leck et Graveline 1979). Elles peuvent entrer en dormance lorsque les conditions du milieu sont défavorables à leur germination et demeurer viables durant une longue période (60 mois ; Comes et al. 1978). Elles nécessitent toutefois des conditions qui leurs sont favorables pour germer, soient : un taux d'humidité élevé, une température oscillant entre 20 et 30 °C, une photopériode relativement longue avec un cycle de 12/12 et une faible concentration en oxygène dans l'eau (2,3 à 4,3 mg L⁻¹ ; Sifton 1959; Bonnewell et al. 1983; Lombardi et al. 1997). La germination peut aussi avoir lieu sans oxygène (Lorenzen et al. 2000), mais elle est fortement affaiblie par une diminution ou une privation de lumière (Sifton 1959; Bourgeois et al. 2012).

Elle se propage aussi par multiplication végétative (clonale). Ce mode de propagation est une stratégie de survie primordiale pour la quenouille et lui permet d'augmenter la taille de sa population (Grace et Wetzel 1981b). Westlake (1982) estime que plus de 50 % de la biomasse totale de la quenouille est allouée au système racinaire. Ses rhizomes latéraux sont des organes robustes, parfois lignifiés, longs (jusqu'à 1 m) et minces (0,5 à 3 cm de diamètre) pouvant potentiellement demeurer vivants durant 17 à 22 mois (Westlake 1968; Holm et al. 1997; Mitich 2000). Les racines et les rhizomes se trouvent dans la portion du sol comprise entre la surface jusqu'à 25 cm de profondeur (McNaughton 1966). Les organes souterrains possèdent un tissu particulier, l'aérenchyme, qui favorise les échanges gazeux, surtout l'oxygène. Il permet notamment à la plante de s'installer dans les milieux saturés en eau et de tolérer des conditions anaérobiques.

Le premier stade de développement de la quenouille consiste à la croissance des feuilles, puis des tiges au printemps grâce aux réserves énergétiques contenues dans les rhizomes. Le deuxième stade comprend la floraison et la germination des graines produites durant les années

précédentes. Celles-ci ont lieu au début ou à la moitié de l'été. Le troisième stade de développement consiste à la fécondation, la fructification et le relâchement des fruits en août et septembre. Lorsqu'il y a fructification d'un individu de quenouille, l'activité du méristème (un tissu végétal indifférencié produisant de nouvelles cellules) situé à la base de la tige est totalement épuisée. Cela provoque l'arrêt de la croissance des feuilles et la mort de l'individu (Grace et Wetzel 1981b). Le quatrième stade est marqué par une forte croissance des rhizomes qui survient à la suite de la fructification et lorsque les tiges atteignent environ 35 à 45 cm de hauteur (Holm et al. 1997). La quenouille continue de se propager végétativement à partir des rhizomes et de produire de nouvelles tiges pour la prochaine saison de croissance jusqu'à ce que les feuilles deviennent sénescents à la fin de l'automne. Lors du cinquième et dernier stade de développement, les individus entrent en dormance pour la saison hivernale (Grace et Harrison 1986).

2.1.3 Méthodes de lutte à la quenouille

2.1.3.1 Herbicides

Certains produits phytosanitaires ont été utilisés aux États-Unis dans la lutte chimique à la quenouille dont l'amitrole, le dalapon, le paraquat, le Tandex, le 2,4-D et le glyphosate (Corns et Gubta 1971; Lawrence et al. 2015). Sculthorpe (1967) mentionne que le dalapon s'est avéré particulièrement efficace pour la lutte à la quenouille lorsqu'utilisé à une dose de 11,2 à 44,8 kg ha⁻¹. Selon les résultats obtenus dans cette étude, la pulvérisation foliaire était une technique préférable à l'injection directe dans le sol, dont l'efficacité ne pouvait être assurée qu'en absence d'eau libre. En contrepartie, l'utilisation du 2,4-D pouvait nécessiter plusieurs applications par saison selon la région où le traitement avait été effectué. L'application de glyphosate sous forme de pulvérisation aérienne a souvent été utilisée pour contrôler la quenouille dans les vastes complexes de milieux humides dans le but de restaurer les habitats pour la faune aviaire (Solberg et Higgins 1993; Linz et Homan 2011).

Plusieurs études montrent que l'utilisation d'herbicides en lutte à l'invasion des milieux humides par des plantes augmente la disponibilité en nutriments (N et P; Findlay et al. 2003; Lawrence et al. 2015), ce qui pourrait favoriser un ré-envahissement des parcelles traitées, une eutrophisation du milieu et une prolifération d'algues nocives (Lawrence et al. 2015).

Plusieurs envahisseurs des milieux humides, telles que les quenouilles, voient alors leur croissance augmenter en réponse à un apport supplémentaire en nutriments (Woo et Zedler 2002; Minchinton et Bertness 2003; Kercher et Zedler 2004).

L'utilisation de produits phytosanitaires pour la lutte à une plante envahissante n'est pas permise dans le contexte des tourbières du Québec. En vertu de l'alinéa 2 de l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement (R.L.R.Q., chap. Q-2, art. 22), l'application de pesticides est proscrite dans un milieu humide (Gouvernement du Québec 2016). De surcroît, l'utilisation des herbicides suscite la controverse au sein de la communauté scientifique, étant donné que la toxicité liée aux adjuvants est peu documentée et semble être potentiellement néfaste à certaines espèces de poissons et macro-invertébrés (Tu et al. 2001). Malgré ces contraintes et conséquences possibles, des études menées en Europe montrent que l'utilisation ciblée de glyphosate est la méthode ayant le rapport coût-efficacité le plus avantageux pour éradiquer ou diminuer l'abondance de certaines espèces de plantes envahissantes en tourbières (Walker et al. 2016).

2.1.3.2 Extraction manuelle

Selon l'étude menée par Lawrence *et al.* (2015), l'extraction manuelle est une méthode toute aussi efficace que les herbicides pour éliminer une population de quenouilles en milieux humides. Une seule récolte des parties aériennes et souterraines vivantes de quenouilles peut engendrer des améliorations significatives de la biodiversité et des conditions de l'habitat (Lishawa et al. 2015). Plus précisément, cette récolte augmente la pénétration de la lumière à la surface du sol (Lawrence et al. 2015). De plus, elle n'appauvrit pas le sol en nutriments (Lishawa et al. 2015). En revanche, l'extraction manuelle de la quenouille est exigeante en main d'œuvre et limitée aux petites populations. Elle peut avoir un effet négatif sur le réservoir de semences présent dans le sol et le potentiel de régénération naturelle des plantes indigènes, puisqu'elle contribue à la compaction de la couche superficielle de l'horizon organique du sol, diminue les échanges gazeux, l'activité microbienne et la capacité d'infiltration de l'eau dans les pores du sol (Boyd et al. 2015). En tourbière, Walker *et al.* (2016) ont démontré que l'extraction manuelle de *Sarracenia purpurea*, une plante carnivore exotique très commune des tourbières d'Europe, contribue à diminuer de façon significative l'abondance des plants adultes, tout en entraînant une

faible diminution de la diversité des espèces qui leur est associées. À l'inverse, elle a causé une augmentation de façon significative du nombre de diaspores et de plantes juvéniles. Il est possible que les effets de l'extraction manuelle de la quenouille en tourbières puissent s'apparenter à ceux observés chez la sarracénie.

2.1.3.3 Fauche répétée

La fauche répétée des tiges semble être la méthode la plus efficace pour lutter contre l'envahissement par la quenouille (Sale et Wetzel 1983). Des réductions très importantes des densités de quenouilles (80 à 99 %) ont été obtenues dans plusieurs études à la suite d'une fauche répétée (Nelson et Dietz 1966; Stodola 1967; Shekhov 1974; Weller 1975; Sojda et Solberg 1993). Dans ces études, deux à trois fauches par saison de croissance ont été effectuées de façon à laisser les sections de tiges restantes sous un niveau d'eau supérieur à 7,5 cm pendant au moins une saison de croissance.

Selon Sale et Wetzel (1983), il est préférable d'effectuer la fauche juste avant la floraison (début et moitié de l'été) des individus, lorsque les réserves énergétiques contenues dans les rhizomes sont à leurs niveaux minima. Les fauches effectuées après la floraison empêchent la repousse des tiges au printemps suivant, mais elles n'ont aucun effet sur la croissance des tiges au cours des années subséquentes et peuvent même l'augmenter. De plus, une fauche trop hâtive (au printemps) augmente de 25 % le nombre de tiges observées l'été suivant (Sale et Wetzel 1983). L'efficacité de la méthode de fauche répétée sous la surface de l'eau résiderait peut-être dans sa capacité à empêcher la diffusion de l'oxygène vers les racines et les rhizomes (Beule 1979). À ce titre, Sale et Wetzel (1983) ont montré que trois fauches successives des tiges durant la saison de croissance effectuées sous la surface de l'eau étaient suffisantes pour supprimer la quasi-totalité des parties souterraines de quenouilles. Malgré ces diminutions importantes de la biomasse souterraine (97 %) et de la densité de tiges (75 %), Sharma et Kushwaha (1990) ont noté que les quenouilles fauchées étaient toujours viables, donc qu'elles avaient la capacité de se régénérer. Il semble probable que cette méthode puisse contribuer à affaiblir le réseau racinaire et à empêcher la production de graines jusqu'à épuiser le réservoir de graines du sol. En revanche, il est possible qu'elle s'avère inefficace à éradiquer une population bien établie.

2.1.3.4 Bâchage

La méthode de bâchage n'a pas été testée à ce jour dans un objectif de lutte à la quenouille en tourbière. Elle est toutefois fréquemment utilisée dans le secteur agricole pour lutter contre certains parasites (champignons pathogènes, nématodes) ou mauvaises herbes des cultures (Katan 2015). Certains chercheurs ont aussi utilisé cette méthode pour lutter contre plusieurs espèces de plantes envahissantes dans un contexte d'aménagement ou de restauration d'habitats (Holm et al. 1977). Le bâchage consiste à mettre en place une membrane (toile) transparente ou opaque qui est laissée plusieurs années sur la surface à traiter pour éliminer les plantes situées en-dessous de celle-ci. L'efficacité de la méthode de bâchage repose essentiellement sur le principe de solarisation du sol, c'est-à-dire une hausse de la température des couches supérieures (15 cm) de sol pouvant atteindre 10 à 12 °C sous une toile opaque (Stapleton et al. 1985). Il a été montré que la température enregistrée sous une toile pouvait atteindre 60 °C à 5 cm de profondeur et 45 °C à 15 cm de profondeur dans un sol de type loam sableux (Arora et Yaduraju 1998). L'effet thermique de la solarisation induit une mortalité importante des graines contenues dans le sol (Arora et Yaduraju 1998; Cohen et al. 2008; Hutchinson et Viers 2011). Elle peut notamment faire sortir les graines de leur stade de dormance et détériorer leur tégument, par choc thermique ou altération chimique (Dahlquist et al. 2007), ce qui les rend plus vulnérables aux attaques par des microbes du sol (Kremer 1993).

Cette méthode agit toutefois sur l'ensemble des communautés végétales de la surface traitée. Elle peut entraîner des changements physiques, biologiques et chimiques importants du sol qui peuvent persister jusqu'à deux ans après le retrait de la toile (Kiviat 2006). Suite à son retrait, le traitement laisse le site propice à de nouvelles invasions (Tu et al. 2001b; Kiviat 2006). De plus, la solarisation contribuerait à libérer une quantité appréciable d'éléments minéraux solubles dans le sol susceptibles de provoquer une augmentation momentanée de la croissance des plantes, quoique l'effet aurait une durée relativement courte (Stapleton et al. 1985). Le bâchage est considéré tout aussi efficace que les traitements chimiques (Hutchinson et Viers 2011). Il est souvent combiné avec une fauche préalable des tiges, ainsi qu'un labour ou une scarification de la surface du sol à traiter. Toutefois, il s'agit d'une technique très coûteuse et limitée aux petites populations (Kiviat 2006; Hazelton et al. 2014). Son efficacité dépend

certainement du moment et de la durée du bâchage, des propriétés de la membrane utilisée et des conditions environnementales du milieu (Karathanos 2015).

2.1.3.5 Compétition végétale

La compétition végétale est utilisée pour lutter contre certaines plantes envahissantes en milieux humides, mais elle n'a encore fait l'objet d'aucune étude concernant la quenouille. La mise en place d'un couvert formé d'espèces herbacées compétitives ou d'arbustes vise à créer de l'ombre pour diminuer la densité des espèces indésirables et d'avantager les espèces indigènes qui poussent bien sous couvert (Perry et Galatowitsch 2006). La plupart des études traitant de méthodes de lutte tendent à négliger le rétablissement des espèces végétales indigènes (Kettenring et Adams 2011). De façon générale, la compétition végétale consiste à mettre en place rapidement un couvert composé de plantes indigènes, soit des arbres, arbustes ou un mélange d'herbacées. Ce couvert végétal doit créer un ombrage et alimenter la compétition pour les ressources de façon suffisamment importante pour empêcher l'établissement de l'espèce végétale envahissante.

La compétition végétale à l'aide d'arbustes a été utilisée pour lutter contre différentes espèces héliophytes envahissantes telles que *Calamagrostis canadensis* (Liefers et al. 1993) et *Phalaris arundinacea* (Hovick et Reinartz 2007). Une étude a montré que lorsqu'elle est soumise à un ombrage prolongé, la quenouille à feuilles larges devient moins compétitive pour les ressources par rapport à une autre plante comme la salicaire commune (*Lythrum salicaria*; (Yakimowski et al. 2005). La croissance des organes aériens et souterrains, ainsi que le nombre des inflorescences, diminuent en raison de l'ombrage (Weihe et Neely 1997). Même si la quenouille dispose d'un indice de surface foliaire élevé lui permettant d'être compétitive pour la lumière (Grace et Wetzel 1981b), il a été démontré que la totalité des quenouilles étaient supprimées après trois mois lorsqu'elles se situaient sous un filet d'ombrage bloquant 90 % des rayons solaires (Holm et al. 1997). Dans le contexte de création de mares en tourbières, une étude menée en laboratoire a montré que la mise en place d'un couvert de sphaignes permet de diminuer le taux de germination des graines de quenouilles présentes à une valeur presque nulle à cause du pH acide (< 4) de la tourbe et l'ombrage créé par le tapis de sphaignes (Bourgeois et

al. 2012). Ainsi, le rétablissement rapide d'un tapis de mousses peut offrir une compétition à la germination de la quenouille en tourbière.

Bien que la méthode de compétition végétale soit utilisée habituellement en combinaison avec des méthodes de lutte mécanique ou chimique, elle pourrait constituer une barrière végétale à l'établissement de nouvelles populations de quenouilles. Cette barrière pourrait également être utilisée pour confiner des populations denses de quenouilles à l'aide d'une haie arbustive utilisée pour circonscrire l'expansion de certaines populations denses d'hélophytes en milieux humides (Albert et al. 2013). Cela dit, elle serait efficace surtout pour limiter l'établissement d'individus à partir de graines et elle aurait probablement un effet négligeable sur la propagation d'individus de quenouilles par voie végétative.

2.1.3.6 Lutte biologique

Il existe plusieurs espèces d'insectes susceptibles de se nourrir ou de parasiter les différentes parties de la quenouille (Claassens 1918). Toutefois, aucun insecte n'a été utilisé jusqu'à présent pour empêcher la prolifération de la quenouille. En fait, la plupart de ces insectes peuvent attaquer plusieurs parties de la plante à la fois, mais il demeure néanmoins plus pratique de catégoriser ces espèces en fonction du type de dommages affligés à la plante pour être en mesure de les intégrer dans une perspective de lutte biologique. Certains insectes appartenant aux ordres des lépidoptères ou des hémiptères se nourrissent des styles à leur stade larvaire, puis des graines et des parties contiguës de l'inflorescence en atteignant un stade plus mature. Deux autres types d'insectes très communs sur la quenouille, les chenilles noctuidés et les aphides, vont plutôt ingérer des portions de feuilles ou des jeunes pousses. Les noctuidés et d'autres espèces de coléoptères s'attaquent pour leur part aux tiges de quenouilles. Les larves, capables de s'introduire à l'intérieur de la tige, migrent vers leur base et se nourrissent des tissus de l'aérenchyme. Elles provoquent une mortalité importante des jeunes feuilles et l'avortement des inflorescences, pouvant représenter une diminution de 55 % de la production totale de la biomasse aérienne de la plante (Grace et Harrison 1986). Une autre espèce d'insectes appartenant à l'ordre des coléoptères et au genre *Calendra* (*Calendra pertinax* Oliv.) est spécialisée dans l'ingestion de la partie corticale des rhizomes fortement concentrée en amidon (Claassens 1918; Grace et Harrison 1986).

2.1.4 Objectif spécifique et hypothèses

L'objectif spécifique poursuivi dans cette expérience consistait principalement à tester deux méthodes de lutte, la fauche répétée des tiges sous la surface de l'eau et le bâchage, dans le but de réduire la dominance ou freiner l'expansion de la quenouille dans les canaux de drainage à la tourbière de Bois-des-Bel dans la région du Bas-Saint-Laurent. Premièrement, considérant les études scientifiques décrites précédemment, la fauche répétée effectuée sous la surface de l'eau semble être une méthode très efficace pour diminuer le nombre de repousses, limiter la germination et affaiblir le réseau racinaire des quenouilles. Ainsi, l'hypothèse émise était que la fauche répétée des quenouilles trois fois par saison de croissance est plus efficace pour diminuer le nombre de repousses en tourbière comparativement à un traitement sans fauche ni bâchage ou un traitement avec une fauche unique. La deuxième hypothèse était que l'installation d'une toile opaque laissée sur place durant trois années consécutives est plus efficace qu'un bâchage durant deux années pour diminuer les repousses de quenouille en tourbière. Puisque la littérature semble indiquer que la durée du bâchage semble avoir un effet non négligeable sur l'efficacité du traitement, la durée du traitement la plus longue est la plus efficace. Enfin, la troisième hypothèse est que la méthode de fauche répétée à trois reprises durant quatre années consécutives est plus efficace pour diminuer les repousses de quenouille en tourbière que l'installation d'une toile durant deux à trois années consécutives.

2.2. Méthodologie

2.2.1 Site d'étude

L'expérience visant à freiner l'expansion de la quenouille a été effectuée dans la tourbière de Bois-des-Bel (BDB). Il s'agit d'une tourbière ombrotrophe couvrant une superficie de 202 ha et située à une altitude moyenne de 28 m, à environ 10 km au nord-ouest de la ville de Rivière-du-Loup, dans la région du Bas-Saint-Laurent (47° 58' N; 69° 26' O; Figure 1). Le bog de Bois-des-Bel repose en majeure partie sur de l'argile marine. L'épaisseur moyenne de la tourbe y est de 2,2 m et peut atteindre par endroit 3,75 m (Lavoie et al. 2001). La végétation consiste en un assemblage d'aires ouvertes ou boisées dominées par l'épinette noire (*Picea mariana* (Miller) Britton, Sterns et Poggenburg), des éricacées (*Kalmia angustifolia* L., *Ledum groenlandicum* Oeder, *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Vaccinium angustifolium* Ait.) et

les mousses boréales (*Sphagnum* spp. et *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. ; Pellerin et Lavoie 2000).

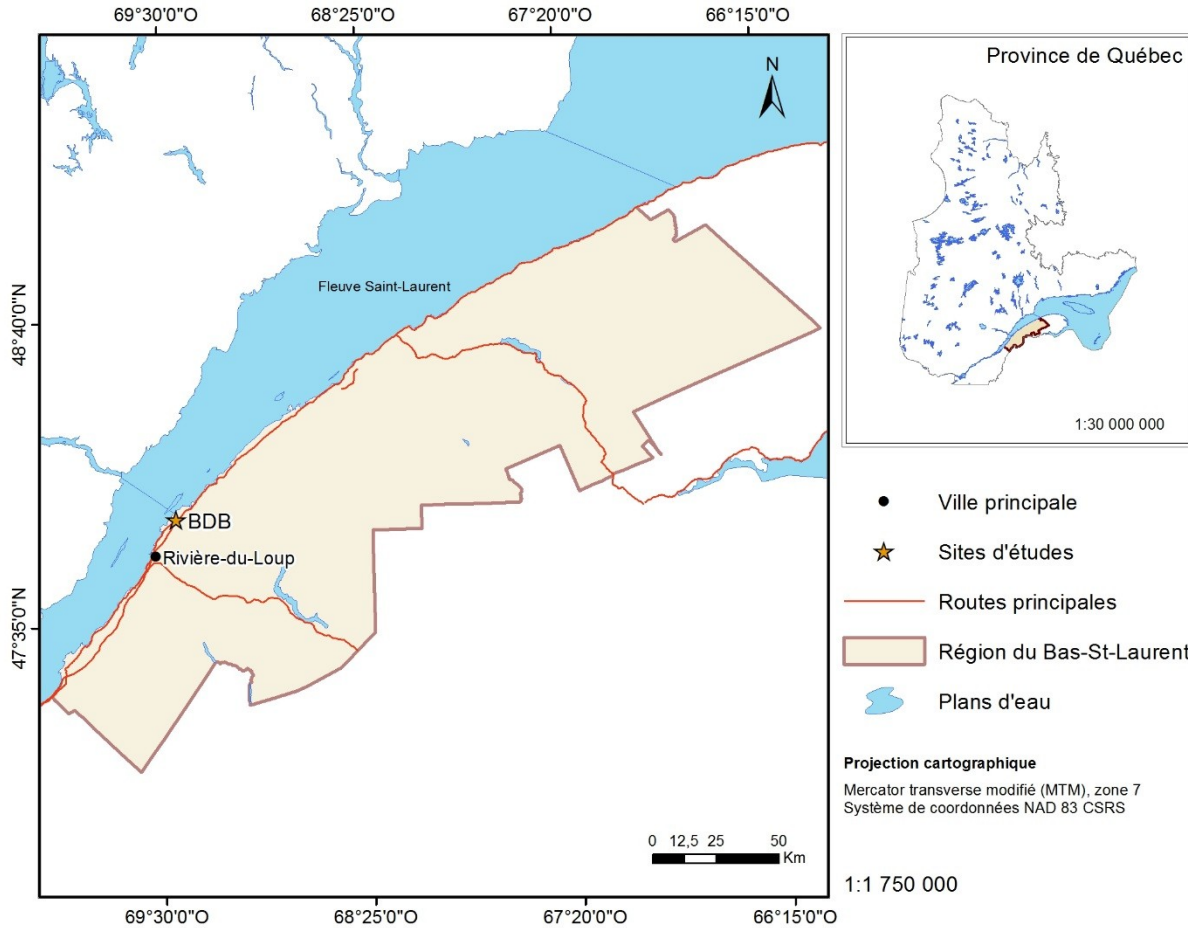


Figure 1. Emplacement géographique du site d'étude de Bois-des-Bel (BDB) où des méthodes de lutte à la quenouille à feuilles larges ont été testées.

Les données climatiques relevées à la station météorologique de Rivière-du-Loup, située respectivement à environ 30 km de BDB indiquent que les précipitations totales annuelles enregistrées en 2015 étaient de 760 mm (34 % en neige; minimum de 5 mm en mai et maximum de 125 mm en juillet). La température moyenne annuelle était de 3,6 °C avec des températures moyennes minimale de -17,1 °C au mois de février et maximale de 18,3 °C au mois d'août (Environnement Canada 2016).

La quasi-totalité du site de Bois-des-Bel est encore à l'état naturel (sans perturbation visible). Toutefois, un petit secteur couvrant une superficie de 11,8 ha a été drainé et des activités d'extraction de la tourbe par aspirateur y ont été effectuées de 1972 à 1980. Selon un inventaire exhaustif de la végétation réalisé en 1995, la recolonisation naturelle par les plantes dans ce secteur était très éparse (< 5 % de couvert) et aucune sphaigne n'avait colonisé le site 15 ans après la fin des activités d'extraction (Poulin et al. 2005). En 1999, 20 ans après la cessation des activités d'extraction de la tourbe, le cortège floristique était toujours caractérisé par une faible présence des sphaignes, par la présence d'espèces rudérales comme *Equisetum arvense* et celui, dans les canaux de drainage, d'espèces de milieux humides peu communes dans les bogs comme la quenouille à feuilles larges. Afin de recréer un tapis de sphaignes et permettre le retour des fonctions écologiques d'un bog, une expérience de restauration à grande échelle a été menée par le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) de l'Université Laval sur 8,4 des 11,8 ha perturbés. La restauration consistait à épandre des diaspores de plantes de bog, les recouvrir avec de la paille, appliquer un fertilisant phosphaté et bloquer les canaux de drainage (Rocheffort 2000; Quinty et Rocheffort 2003). Une autre section de 2,4 ha n'a pas été restaurée (elle a été abandonnée en 1980) à des fins de comparaison. Ces deux sections ont été séparées l'une de l'autre par une zone tampon de 1 ha et d'une largeur de 30 m.

2.2.2 Approche expérimentale et description des méthodes de lutte à la quenouille choisies

Dès le mois de juin 2012, une équipe du GRET a décidé de tester des méthodes de lutte à la quenouille de manière à diminuer fortement sa présence dans les canaux de drainage, afin qu'en définitive, on ne trouve plus dans la tourbière que quelques plants épars formant tout au plus 1 % du couvert, comme ce que l'on trouve dans les sites non perturbés. Ces méthodes de lutte ont été testées sur le site de BDB. Les deux méthodes qui ont été choisies ont répondu à différents critères, soit la faisabilité en tourbière, le faible coût, la faible perturbation du milieu occasionnée par la méthode et l'efficacité démontrée dans la littérature scientifique, sinon pour la quenouille, du moins pour d'autres types de plantes de milieu humide. Les deux méthodes retenues pour cette expérience consistent en la fauche des tiges sous la surface de l'eau et le bâchage.

2.2.3 Dispositif expérimental et description des traitements

Les effets de la fauche et du bâchage ont été testés selon un dispositif aléatoire comprenant cinq traitements (Tableau 1) qui ont été répliqués trois fois. Ces traitements ont été appliqués selon une séquence précise entre 2012 à 2015 (Figure 2). L'emplacement de chacune des 15 parcelles expérimentales est représenté à la Figure 3.

Tableau 1. Description des traitements de l'expérience de lutte à la quenouille à feuilles larges effectuée au site de BDB.

Traitement	Description	Dimensions (largeur × longueur) (m)	Superficie (m ²)	Année de mise en place des parcelles
T1 : Témoin	<ul style="list-style-type: none"> Aucune fauche ni bâchage depuis 2012. 	4 × 5	20	2015
T2 : Fauche unique	<ul style="list-style-type: none"> Tiges de quenouilles fauchées une seule fois en 2012. 	4 × 5	20	2012
T3 : Fauche répétée	<ul style="list-style-type: none"> Tiges de quenouilles fauchées à trois reprises à chaque été de 2012 à 2015 (4 ans). 	5 × 8	40	2012
T4 : Bâchage 3 ans	<ul style="list-style-type: none"> Tiges de quenouilles fauchées en 2012. Canal nettoyé de ses tiges Bâches installées sur les parcelles et laissées en place durant trois années consécutives. Bâches retirées en mai 2015. 	4 × 5	20	2012
T5 : Bâchage 2 ans	<ul style="list-style-type: none"> Tiges de quenouilles fauchées en 2013. Canal nettoyé de ses tiges. Bâches installées sur les parcelles et laissées en place durant deux années consécutives. Bâches retirées en mai 2015. 	4 × 8	32	2013

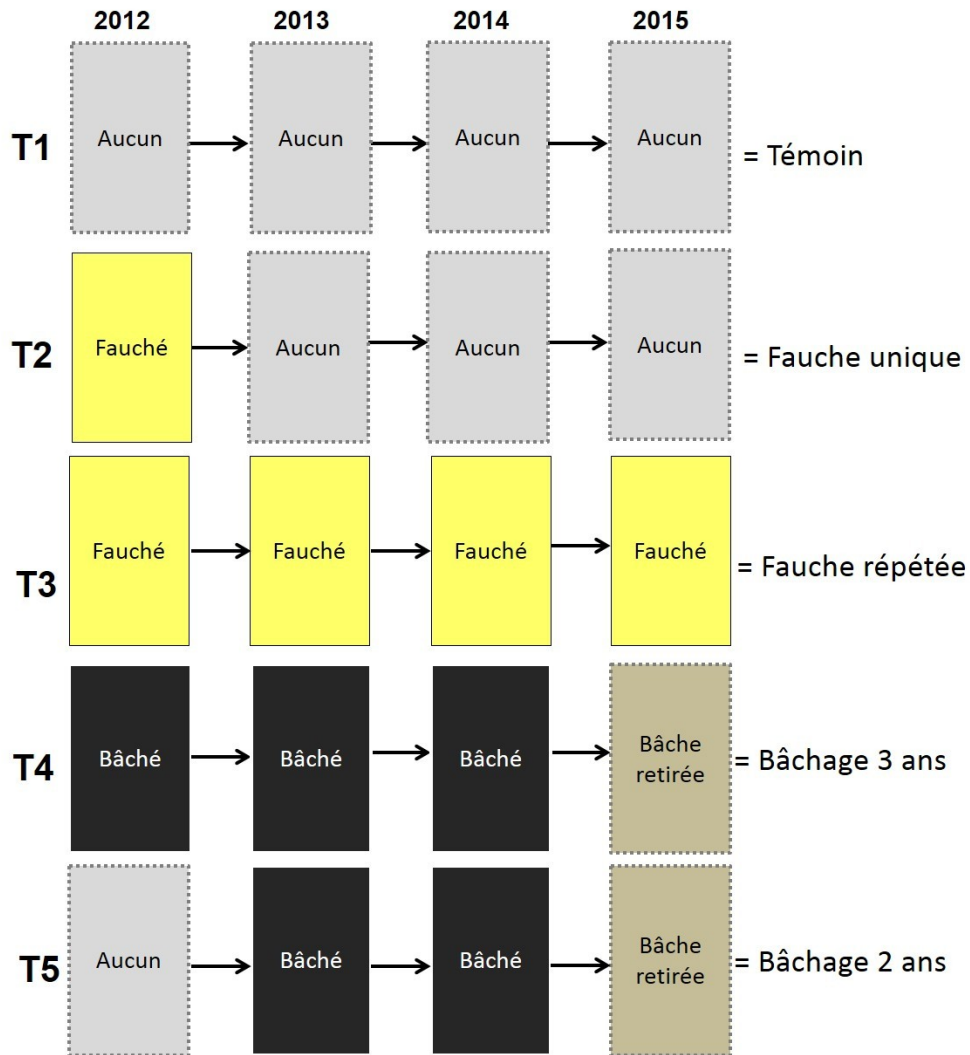


Figure 2. Schéma décrivant la séquence des différents traitements de lutte à la quenouille à feuilles larges effectués de 2012 à 2015 dans le site de BDB. Le traitement « fauché » était constitué de trois coupes des tiges par saison de croissance tant pour la fauche unique (une année) que la fauche répétée sur quatre années.

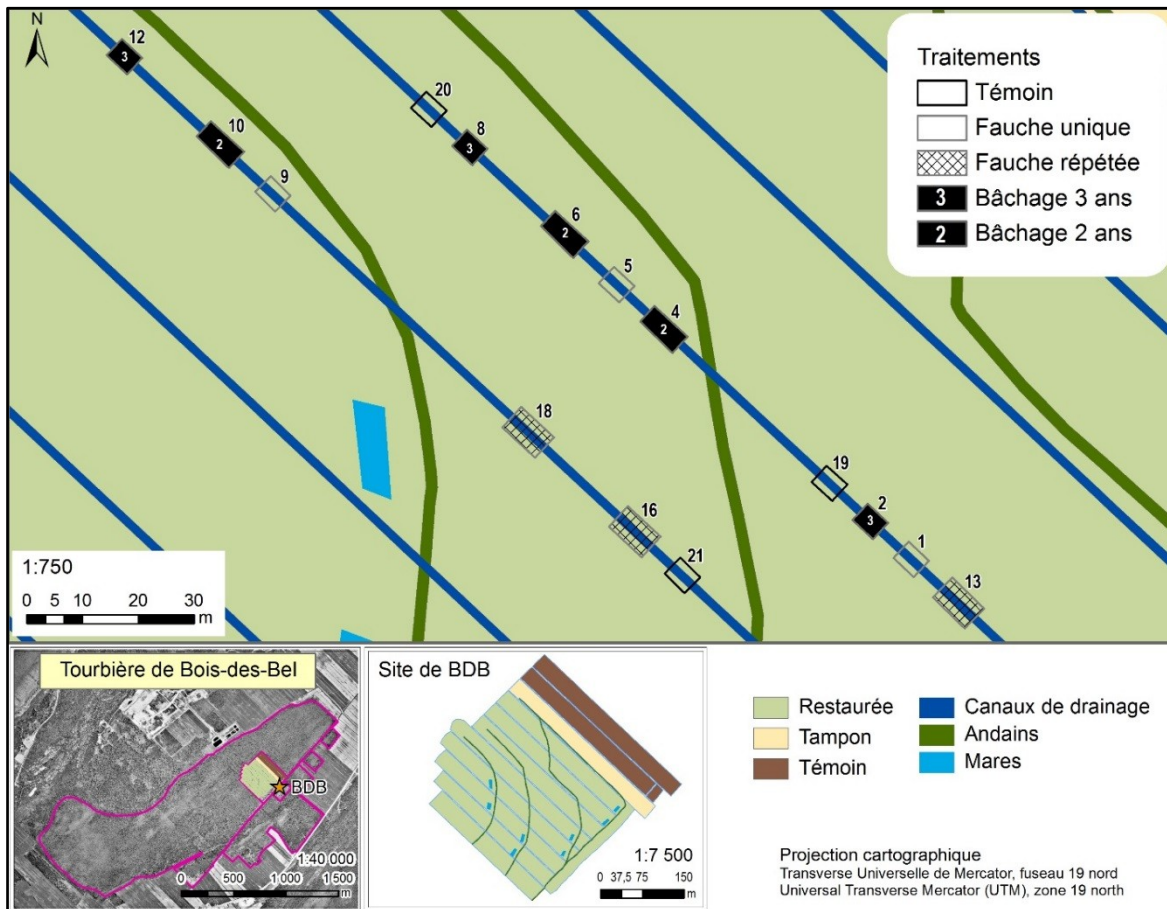


Figure 3. Localisation du site de BDB dans la tourbière de Bois-des-Bel et représentation schématique du dispositif expérimental et de l'emplacement des traitements de lutte à la quenouille à feuilles larges le long des canaux de drainage. Les chiffres correspondent au numéro de chacune des parcelles.

Au cours de chaque opération de fauche, toutes les tiges de quenouilles ont été coupées à l'aide de cisailles à haie sous le niveau de l'eau ou le plus près de la surface de la tourbe si le canal était asséché. Par ailleurs, pour le traitement de fauche répétée, les tiges considérées vivantes, c'est-à-dire comportant une portion de tige verte ou une inflorescence, ont été coupées à trois reprises entre les mois de juin et de septembre durant quatre saisons de croissance. Tous les résidus de fauche ont été laissés en place dans le canal après les fauches de 2012 à 2014. Cependant, ils ont été récoltés pour ensuite être pesés en laboratoire pour le traitement de fauche répétée effectué en 2015 afin de comparer entre les traitements la biomasse aérienne totale de quenouilles produites durant une saison de croissance.

Lors du bâchage, toutes les tiges ont été fauchées de la manière décrite précédemment pour chacune des parcelles expérimentales. Les résidus de fauche ont été récoltés pour être éliminés. Puis, les toiles ont été fixées au sol grâce à des piquets de bois et laissées en place durant deux ou trois années consécutives (Figure 4). Les bâches ont été retirées le 11 mai 2015.

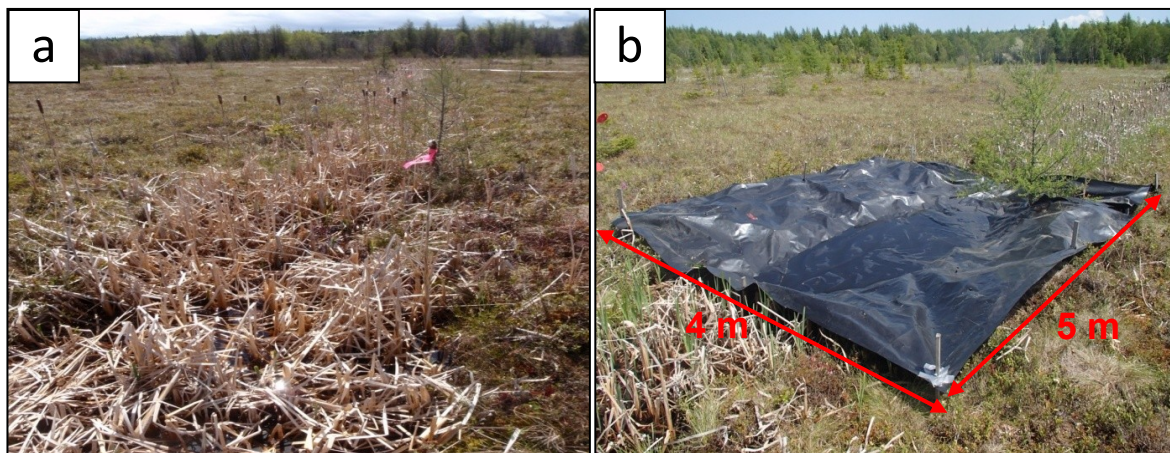


Figure 4. Exemple d'une parcelle expérimentale soumise à un traitement de bâchage des tiges de quenouille à feuilles larges sur le site de BDB. Les photographies ont été prises à l'automne 2012 a) avant la mise en place des bâches et b) au printemps après la fauche des tiges et l'installation des bâches. Photographies : F. Messier.

Deux espèces de sphaignes, *Sphagnum cuspidatum* et *Sphagnum fallax*, ont été introduites dans la partie du canal de drainage correspondant à chacune des parcelles expérimentales à la suite du retrait des toiles. L'objectif de cette manipulation visait à favoriser la compétition végétale pour la lumière et l'espace par un couvert de sphaignes ayant la capacité de

limiter la germination de la quenouille par l'ombrage (Bourgeois et al. 2012). Ces deux espèces ont été choisies en raison de leur tolérance aux conditions très humides pendant de longues périodes. L'introduction de sphaignes consistait à couper à l'aide de ciseaux la première couche de 10 cm du tapis de sphaignes présent dans des mares et à la récolter à la main ou à l'aide d'un râteau. Ensuite, les sphaignes ont été essorées et transportées le jour même du site d'emprunt (les mares) jusqu'au site receveur (les parcelles expérimentales). Un rapport de surface de 1:10 (1 m² de surface du site d'emprunt épandu sur 10 m² de surface du site receveur) a été utilisé, tel que suggéré par Quinty et Rochefort (2003). En 2015, environ 13,5 m² de sphaignes ont été récoltés et étendues à la main dans les canaux de drainage pour les parcelles expérimentales où la méthode de bâchage a été utilisée, puisque la sphaigne était absente dans ces parcelles et ne pouvait donc pas offrir une compétition à la germination de la quenouille. Les autres parcelles contenaient déjà des sphaignes dans leurs canaux de drainage.

2.2.4 Récolte des données *in situ*

Au cours de l'été 2015, le nombre de tiges de quenouilles a été compté dans chaque parcelle expérimentale à quatre moments, soit le 23 juin, le 28 juillet, le 3 septembre et le 28 septembre. Toutes les tiges vivantes, c'est-à-dire comportant une partie de tige verte ou une inflorescence étaient comptées. La biomasse aérienne a été récoltée le 28 septembre 2015 pour l'ensemble des parcelles expérimentales. Toutes les tiges ont été fauchées sous la surface de l'eau, plus précisément à l'endroit situé le plus près possible de la surface de la tourbe se trouvant dans le fond du canal de drainage, à l'aide d'une cisaille à haie. Cette biomasse a ensuite été mise dans des sacs en papier puis emportée au laboratoire pour être séchée et pesée. Pour les parcelles avec fauches répétées, la biomasse aérienne a été récoltée à trois autres reprises suite aux fauches effectuées au même moment que chacun des relevés d'échantillonnage. Enfin, l'ensemble des coûts relatifs à l'exécution des travaux et à l'achat du matériel a été évalué (Annexe 1).

2.2.5 Traitements des échantillons en laboratoire

La biomasse aérienne des quenouilles récoltée a été mise dans un séchoir à maïs-grains à une température de 25 °C pendant deux semaines. Une première pesée a été effectuée après le séchage sur quelques échantillons de biomasse. Une deuxième pesée a ensuite été effectuée le

jour suivant sur les mêmes échantillons en s'assurant que le pourcentage de variation entre ces deux lectures n'excède pas 0,1 %. Au moment de la pesée définitive, chaque sac de biomasse a été pesé à l'aide d'une balance d'une précision égale à 0,01 g.

2.2.6 Analyses statistiques

L'efficacité des cinq traitements de lutte à la quenouille sur la biomasse résiduelle post-traitement et la densité des tiges a été comparée à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées, suivie d'un test LSD protégé de Fisher à intervalle de confiance égal à 95 %. Pour la biomasse aérienne, les comparaisons multiples des moyennes ont été effectuées à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) à un facteur, suivie du même test utilisé pour l'analyse des valeurs de densité de tiges (Tableau 2). La normalité et l'indépendance des échantillons ont été vérifiées au préalable grâce à l'analyse des résidus. Les tests statistiques ont été effectués à l'aide du logiciel SAS, version 9.4 (SAS Institute 2013).

Tableau 2. Plan des analyses de variance (ANOVA) effectuées pour comparer les moyennes des valeurs de a) densité de tiges et de b) biomasse aérienne de quenouilles recueillies lors de l'expérience de lutte contre la quenouille à feuilles larges menée à BDB.

a) Analyse de variance de la densité de tiges

Source de variation	Degrés de liberté
Traitements	4
Erreur (a)	15
Temps	3
Traitements x Temps	12
Erreur (b)	45
Total	79

b) Analyse de variance de la biomasse aérienne

Source de variation	Degrés de liberté
Traitements	4
Erreur	10
Total	14

2.3 Résultats

2.3.1 État de la situation de la présence de la quenouille à Bois-des-Bel

Une analyse préliminaire de la présence de la quenouille sur le site de BDB a été effectuée en 2015 afin de faire le portrait de l'état d'invasion des canaux de drainage et des planches par cette plante. L'analyse a été réalisée à partir des données provenant de six inventaires de végétation pour les canaux et sept inventaires pour les planches effectués entre 1999 et 2015 à l'aide de la méthode d'échantillonnage par transects linéaires par point de contact (*line-point intercept method* ; Bonham 1989). Cette méthode d'échantillonnage consiste à relever à tous les points d'inventaire la présence des espèces des strates arbustive, herbacée et muscinale en contact ou situées à moins de 2 mm d'une tige verticale ou de son prolongement vers le haut (Rocheffort et al. 2013). En 2015, 12 canaux de drainage et 11 planches orientés nord-sud ont été inventoriés à partir de transects disposés à tous les 10 m le long du canal (5 m pour les planches entre 1999 et 2007) et le traversant sur le sens de la largeur. Chacun des canaux comptait six points d'inventaire équidistants. Le nombre de points par transect a varié au cours des années (sept en 1999, cinq en 2003 et six de 2005 à 2015). Chacune des planches comptait, quant à elles, dix points d'inventaire équidistants par transect. En résumé, les espèces végétales présentes dans les canaux secondaires ont été inventoriées à six reprises et celles présentes sur les planches ont été inventoriées à sept reprises sur une période de 16 ans. La fréquence totale d'apparition de chaque espèce a été calculée selon le nombre d'observations de l'espèce en fonction du nombre total de points échantillonnés, qui était en moyenne de 2 028 chaque année pour les canaux et 2 441 chaque année pour les planches (pour les sections restaurée et non restaurée combinées).

On constate que la répartition spatiale de la quenouille présente dans les canaux et sur les planches avant et après les travaux de restauration n'a guère changée dans la section non restaurée et la zone tampon, comparativement à la section restaurée (Figures 5 et 6). L'analyse de l'évolution temporelle de la présence de la quenouille dans les canaux de drainage (Figure 7) suggère que les travaux de restauration semblent avoir nui à la plante dans la section restaurée, qui passe de 30 % de fréquence d'apparition (avant restauration) à 13 % (15 ans après restauration). On observe toutefois la même tendance (chute de fréquence) dans la section non restaurée (50 à 33 %). Pour les planches, l'analyse suggère que les actions de restauration semblent avoir facilité temporairement la propagation de la quenouille dans la section restaurée,

dont la fréquence d'apparition a augmenté de 5 % durant les cinq premières années pour atteindre 6,2 % (Figure 8). Toutefois, entre la 5^e et la 15^e année après la restauration, la présence de la quenouille sur les planches a diminué pour atteindre une fréquence de 1,5 %. On observe la même tendance dans la section non restaurée, qui passe d'une fréquence d'apparition de 2,6 % (3 ans après restauration) à 0,5 % (15 ans après restauration). Il est donc difficile de savoir avec certitude si les actions de restauration nuisent bel et bien à la quenouille présente autant dans les canaux que sur les planches ou si la tourbière devient simplement, au fil du temps, de moins en moins propice à sa présence, restauration ou pas. Cela étant, les pourcentages pour les canaux demeurent largement supérieurs à ce que l'on trouve en général dans les tourbières (< 1 %; D'Astous 2012; Poulin et al. 2013), signe que les activités d'extraction de la tourbe peuvent favoriser l'établissement massif des quenouilles.

**Pré-restauration
(1999)
n = 2632**

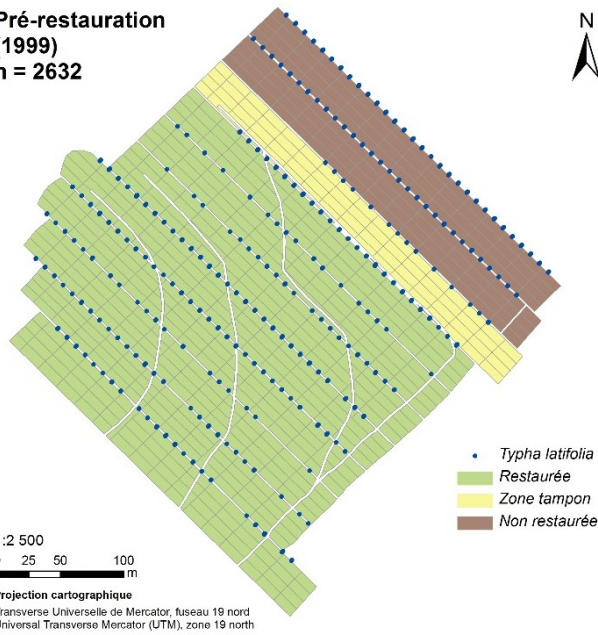
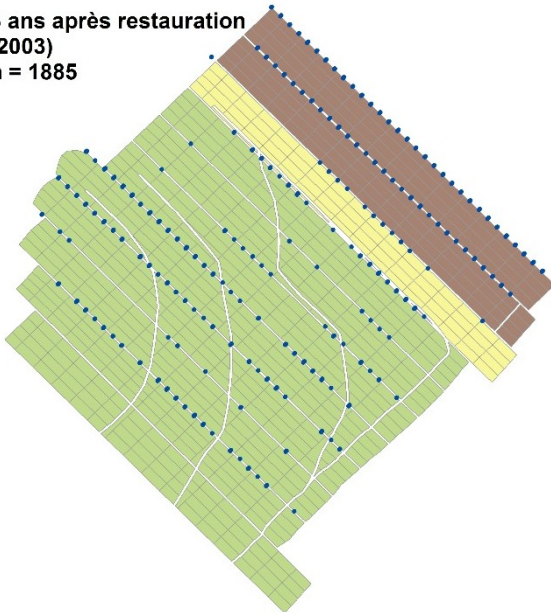
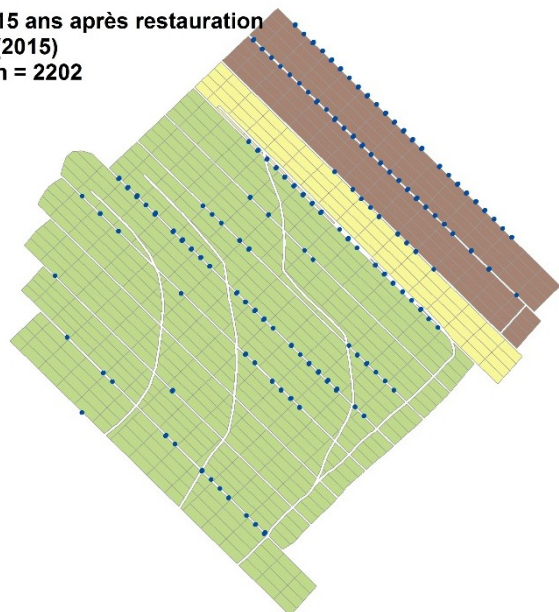


Figure 5. Cartes illustrant la répartition spatiale de la quenouille à feuilles larges dans les canaux de drainage de la tourbière de BDB avant sa restauration, ainsi que 3 et 15 ans après restauration dans les trois différentes sections du site (restaurée, non restauré, tampon). Chacun des points sur la carte correspond à une ou plusieurs observations de la quenouille dans les canaux de drainage.

**3 ans après restauration
(2003)
n = 1885**



**15 ans après restauration
(2015)
n = 2202**



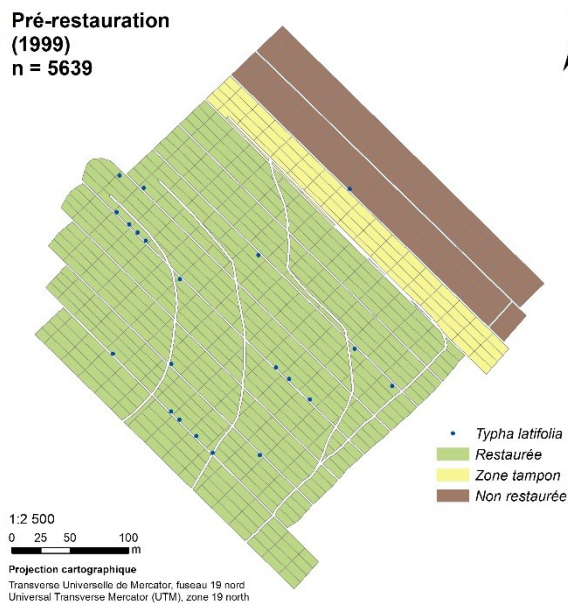
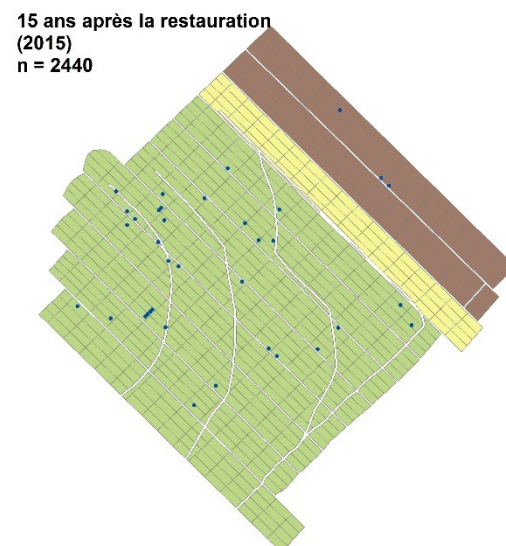
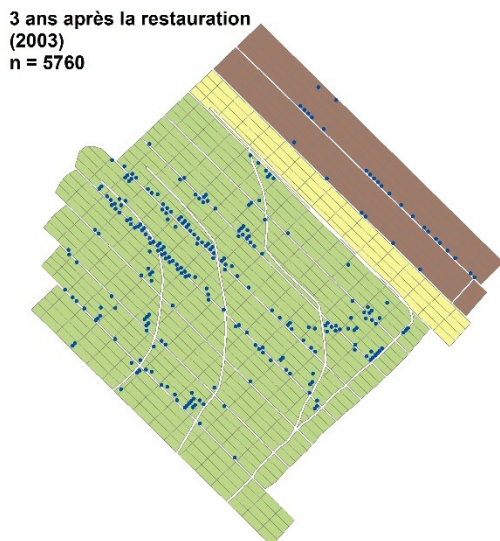


Figure 6. Cartes illustrant la répartition spatiale de la quenouille à feuilles larges sur les planches de la tourbière de BDB avant sa restauration, ainsi que 3 et 15 ans après restauration dans les trois différentes sections du site (restaurée, non restauré, tampon). Chacun des points sur la carte correspond à une ou plusieurs observations de la quenouille sur les planches.



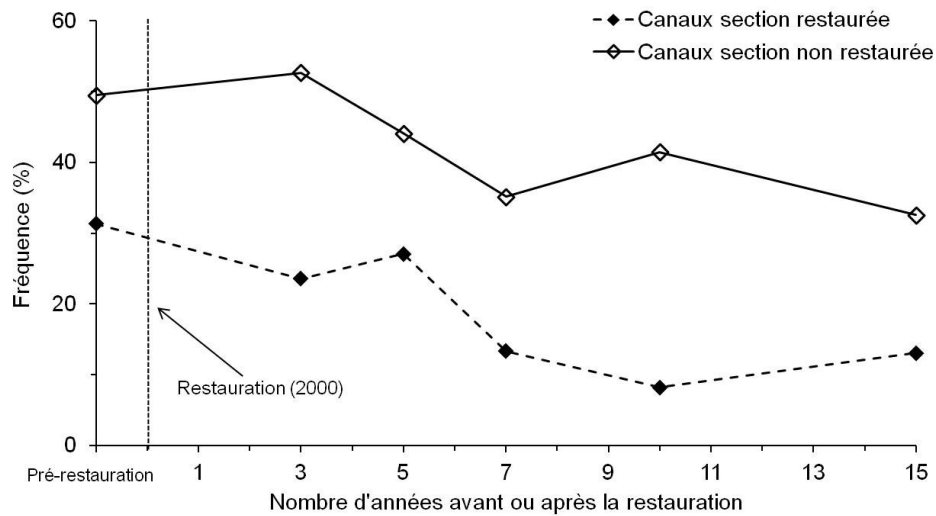


Figure 7. Fréquence (%) d'apparition de la quenouille à feuilles larges dans les canaux de drainage des sections restaurée et non restaurée du site de BDB en fonction du nombre d'années écoulées depuis la restauration du site.

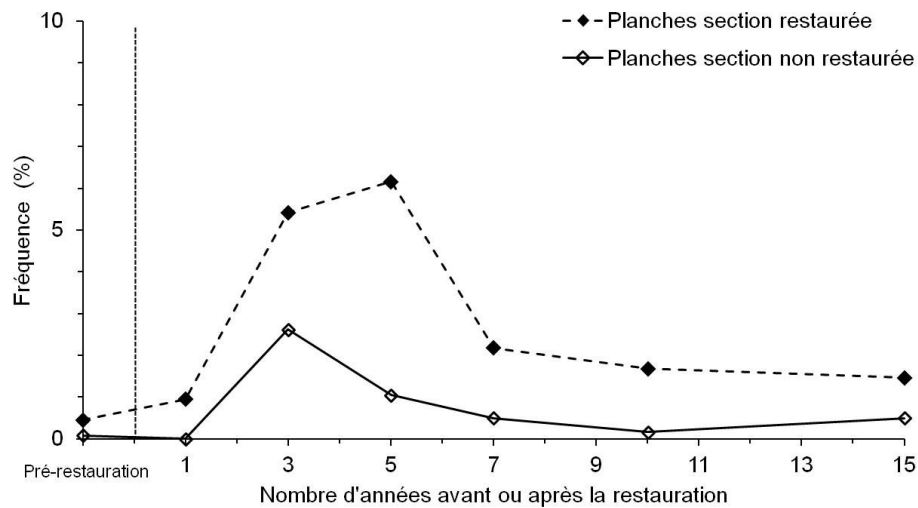


Figure 8. Fréquence (%) d'apparition de la quenouille à feuilles larges sur les planches des sections restaurée et non restaurée du site de BDB en fonction du nombre d'années écoulées depuis la restauration du site.

2.3.2 État de la situation de la présence des populations de quenouilles dans les tourbières du Bas-Saint-Laurent

Au cours de l'été 2015, quatre sites d'extraction de la tourbe situés tout près de Rivière-du-Loup (Chemin-du-Lac, Saint-Laurent, Président Ouest et Verbois) ont été visités dans le but de recenser la présence et l'abondance de la quenouille dans leurs canaux de drainage. Dans chacun de ces sites, un ou plusieurs types d'aménagement de tourbière (ci-après nommés secteurs) ont été choisis, puis ont été classés selon les catégories suivantes : 1) restauré, 2) remouillé (blocage des canaux de drainage, mais sans réintroduction de matériel végétal) ou 3) sans restauration ni remouillage. Un secteur couvrait en moyenne une superficie de 10 ha. Un canal sur deux a été inventorié dans chaque secteur. La méthode consistait à marcher le long du canal d'une extrémité à l'autre et à relever la position, à l'aide d'un système de positionnement géographique, de toutes les populations observées. L'étendue de chaque population le long du canal a aussi été mesurée. Parmi les 50 canaux suivis dans les quatre sites, 94 populations, d'une étendue moyenne de 19 m, ont été observées. Prises dans leur ensemble, elles s'étendaient sur 25 % des 6 725 m de longueur représentant l'ensemble des canaux recensés (Tableau 3). On trouvait davantage de quenouille dans les secteurs non restaurés que les secteurs restaurés ou remouillés mais la différence entre les secteurs demeure faible.

Tableau 3. Nombre et étendue des populations de quenouilles dans les canaux de drainage de différents types de secteurs dans quatre sites d'extraction de la tourbe de la région du Bas-Saint-Laurent.

Variable	Type de secteur			Tous les secteurs
	Restauré	Remouillé	Non restauré	
Nombre total de populations	30	22	42	94
Étendue moyenne des populations (m)	58	32	72	54
Pourcentage moyen de la longueur des canaux occupée par la quenouille (%)	9	5	11	25

2.3.3 Effets des traitements de lutte contre la quenouille testés à Bois-des-Bel

L'analyse de l'effet des cinq traitements (témoin, fauche unique, fauche répétée, bâchage 3 ans et bâchage 2 ans) sur la densité des tiges de quenouilles indique que les traitements de fauche répétée (trois fois par année) et de bâchage (3 ans) diminuent de façon significative la densité des tiges (Figure 9). Ainsi, la fauche répétée diminue la densité des tiges de 77 % (en moyenne après quatre ans de traitement) par rapport aux parcelles où aucune fauche ni bâchage n'ont été effectués (traitement témoin). Mais on note qu'une fois la toile enlevée post-trois ans, la densité de tiges s'est accrue au cours de la saison de croissance suivante tout comme pour les autres traitements, sauf dans le traitement de fauche répétée (Figure 10). Sans égard aux autres traitements, la fauche répétée a diminué en moyenne de 88 % la densité de tiges entre le début et la fin de la saison de croissance suivante, soit dans la quatrième année de fauche. Le traitement de bâchage des quenouilles durant trois années a, quant à lui, diminué la densité des tiges de 50 % par rapport au traitement témoin. Néanmoins, ce dernier traitement a connu, après le retrait de la bâche au début de la saison de croissance suivante, une augmentation de la densité de tiges de 6 % (Figure 10).

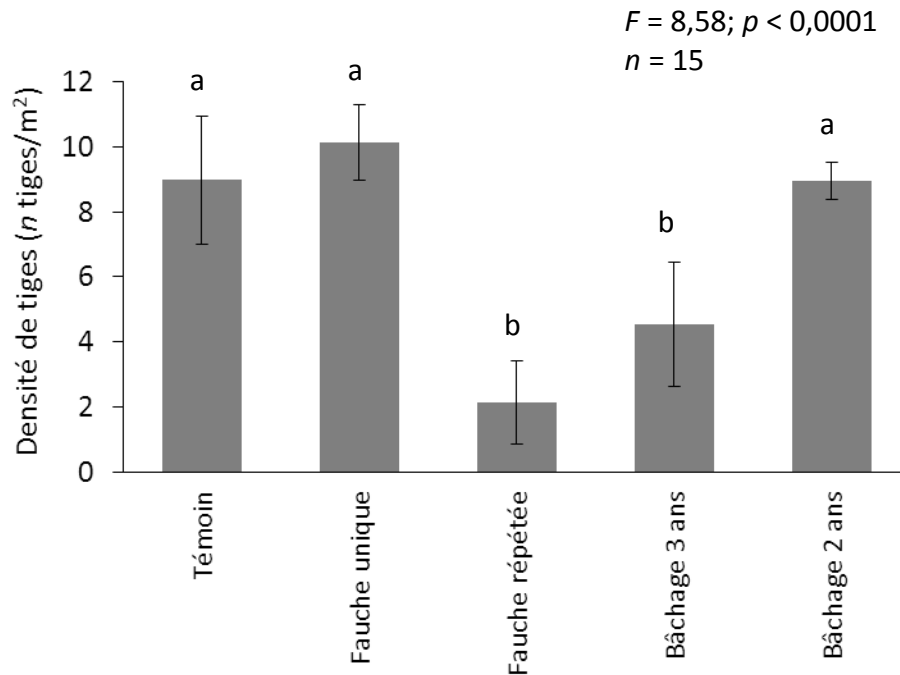


Figure 9. Effet de différents traitements de lutte contre la quenouille à feuilles larges sur la densité des tiges de quenouilles mesurée au cours de la saison de croissance (moyenne \pm écart-type) sur le site de BDB. Des lettres différentes indiquent des traitements dont les valeurs sont significativement différentes à $\alpha = 0,05$.

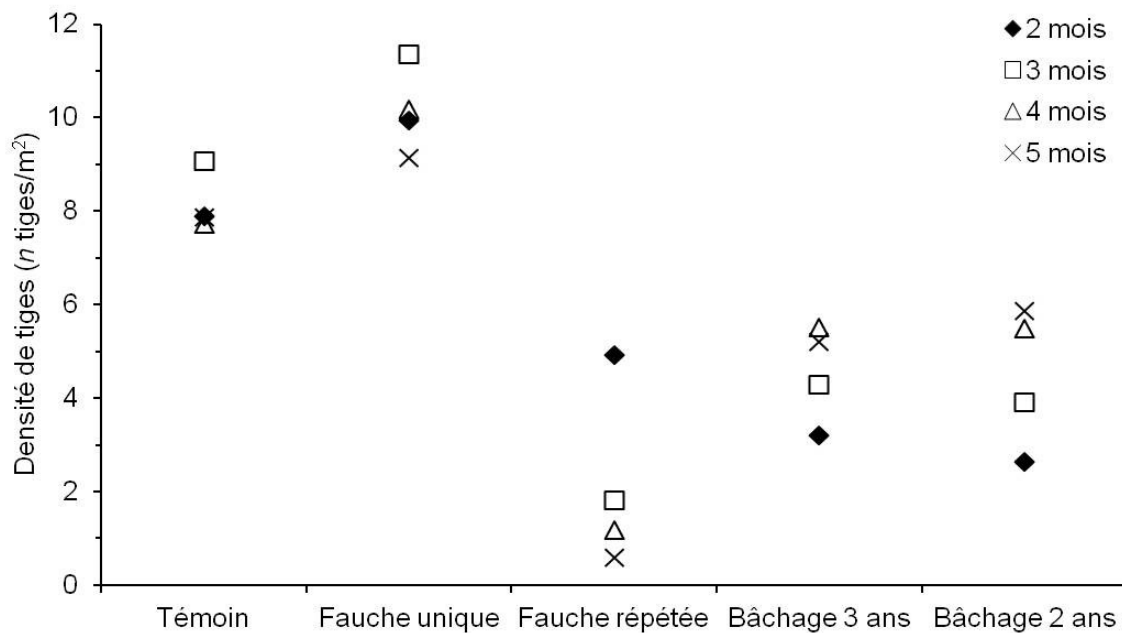


Figure 10. Évolution de la densité des tiges de quenouille à feuilles larges au cours de la saison de croissance (nombre de mois après le retrait des toiles entre les mois de juin à septembre) en fonction du traitement de lutte contre la quenouille utilisé sur le site de BDB.

Pour ce qui est de la biomasse aérienne des tiges, un seul traitement, celui de la fauche répétée, a fait chuter de façon significative la biomasse dans une proportion de 88 % par rapport au témoin (Figure 11). La biomasse aérienne récoltée lors de la première fauche des tiges en 2015 variait entre 3,22 à 13,99 g/m² (traitement de fauche répétée). Quatre mois plus tard, elle variait entre 0,02 et 0,35 g/m². À titre comparatif, la biomasse était de 22,42 à 78,57 g/m² pour les deux traitements de bâchage.

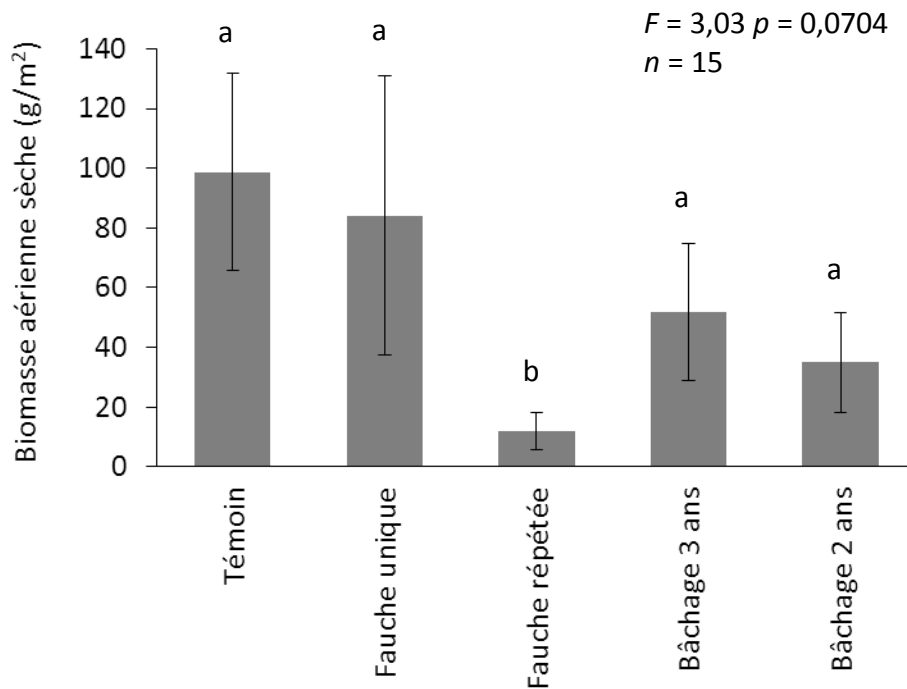


Figure 11. Effet de différents traitements sur la biomasse aérienne des tiges de quenouilles à feuilles larges mesurée à la quatrième année de la mise en place des traitements et à la troisième année pour le bâchage 2 ans (moyenne ± écart-type) sur le site de BDB. Des lettres différentes indiquent des traitements dont les valeurs sont significativement différentes à $\alpha = 0,05$.

2.4 Discussion

Dans le bog de Bois-des-Bel, la quenouille à feuilles larges s'est établie de façon massive dans les canaux de drainage de la section restaurée du site. Elle s'est aussi établie dans d'autres sites d'extraction de la tourbe de la région du Bas-Saint-Laurent. Les résultats obtenus dans cette étude ont permis de comparer deux méthodes de lutte à la quenouille en tourbière restaurée : la fauche et le bâchage. Ceux-ci seront discutés dans la section suivante de l'étude.

2.4.1 Fauche répétée

La fauche répétée des tiges de quenouilles sous la surface de l'eau est une méthode plus efficace que le bâchage pour diminuer la densité et la biomasse aérienne de repousse de tiges. Elle est aussi moins dispendieuse ($0,69\$/m^2$) que le bâchage ($2,23\$/m^2$; Annexe 1). La fauche des tiges à trois reprises au cours de la saison de croissance 2015 a contribué à diminuer de façon significative la densité de tiges (- 77 %) et la biomasse aérienne de quenouilles (- 88 %), résultats qui ont été obtenus dans d'autres études (Nelson et Dietz 1966; Stodola 1967; Shekhov 1974; Weller 1975; Husak 1978; Sale et Wetzel 1983; Ball 1990; Boa 2013). Cependant, cette diminution fut de 13 à 23 % inférieure à celle indiquée dans la littérature pour une saison de croissance.

La fauche répétée des tiges sous la surface de l'eau contribue fort probablement à affaiblir le système racinaire, ce qui se traduit par une croissance plus lente, voire nulle, des parties aériennes de la plante (Sojda et Solberg 1993). Ce frein à la croissance de la plante se traduit par une diminution de la densité de tiges et de la production de biomasse aérienne, tel qu'observée dans la présente étude. En fait, il a été montré que les organes souterrains utilisent rapidement (environ 8 h) tout l'oxygène et les sucres disponibles lorsqu'ils sont privés de leurs connexions avec les tissus aériens (feuilles et tiges) après une fauche (Sale et Wetzel 1983). Ensuite, ils entrent en respiration anaérobie et produisent de l'éthanol. Après quelques semaines ou mois seulement, la totalité des rhizomes et racines des quenouilles est fortement détérioré ou meure à cause d'une exposition à des conditions anoxiques sur une période prolongée. Cette anoxie entraîne la dégradation des tissus du système racinaire due à la toxicité provoquée par une concentration trop élevée en

éthanol (Sale et Wetzel 1983; Monk et al. 1984; Brändle 1985). Donc, la fauche initie ce processus de dégradation du système racinaire.

D'autre part, après certains traitements de fauche des quenouilles, il est possible que des portions de tiges aient été exposées à l'air ambiant lors d'une période sèche et suffisamment longue pour que l'oxygène soit diffusé vers les rhizomes. À ce titre, Sale et Wetzel (1983) ont démontré que les parties aériennes vivantes ou mortes de la quenouille fournissent, grâce à l'aérenchyme, une quantité suffisante d'oxygène aux racines et rhizomes pour que la respiration cellulaire de ces derniers s'effectue en aérobie. Cette respiration des rhizomes augmente rapidement la production de nouvelles quenouilles par voie végétative. Ces nouveaux individus permettent la translocation de photosynthats, des sucres simples produits lors de la photosynthèse (Sale et Wetzel 1983). Ces sucres quittent les feuilles par la sève élaborée et sont transportés, par le biais du phloème, vers les racines et les rhizomes (Raven et al. 2005). Ces apports en oxygène et sucres provenant des feuilles et des tiges des nouveaux plants contribuent à l'augmentation de la biomasse de leurs organes souterrains. De plus, ils peuvent accroître la vitesse de propagation végétative d'une population dans un site (Sharma et Kushwaha 1990). À BDB, le niveau moyen de l'eau enregistré dans les canaux de drainage où s'est déroulée l'expérience était particulièrement près de la surface du sol en septembre (0,6 cm), tandis qu'il était plus élevé aux mois de juin, juillet et août (16,8 cm, 17,3 cm et 8,2 cm ; données non présentées). Cet assèchement des canaux a exposé des portions de tiges de quenouilles à l'air, ce qui a possiblement augmenté la diffusion d'oxygène vers les rhizomes et favorisé l'apparition de jeunes tiges issues de la multiplication végétative. Il a été montré également que l'assèchement d'un étang pendant l'été crée un bon lit de germination pour les graines de quenouille qui y sont déjà présentes (Sojda et Solberg 1993). Ces deux mécanismes entraînent une forte production de jeunes tiges et, par conséquent, une densité de tiges élevée et un effet moindre de la fauche répétée par rapport au traitement témoin.

Un autre facteur pouvant expliquer une diminution plus importante de la densité de tiges obtenue dans d'autres études comparativement à celle-ci, tient peut-être de l'effet de la biomasse aérienne (tiges mortes et vivantes) et la litière de quenouilles sur son

environnement. Plusieurs tiges mortes peuvent demeurer érigées pendant deux années, s'accumuler au sol et produire une litière qui se décompose lentement (Vaccaro et al. 2009). Il a été démontré que l'enlèvement de ces tiges a un effet négatif sur la repousse de la quenouille après une fauche (Weller 1975; Beule 1979; Boa 2013). En contrepartie, certaines études suggèrent que la quenouille hybride (*Typha × glauca*) présente dans les Grands-Lacs produit une litière capable d'engendrer une rétroaction positive sur son environnement, ce qui contribue au maintien de sa dominance (Larkin et al. 2012; Farrer et Goldberg 2014). Elle augmente notamment le contenu en azote dans le sol et diminue l'espace et la lumière disponibles aux autres plantes indigènes sans affecter la croissance de ses propres individus vivants (Boers et Zedler 2008; Farrer et Goldberg 2014). Un nombre plus élevé d'espèces et d'individus de plantes indigènes a d'ailleurs été observé après l'enlèvement de la litière de quenouilles (van der Valk 1986). À BDB, les tiges mortes érigées et la litière formée avant les traitements de fauche effectués en 2015 n'ont pas été retirées des canaux de drainage. Celles-ci peuvent avoir favorisé des conditions propices à la repousse de tiges tout au long de la saison de croissance.

La fauche répétée des tiges s'est avérée plus efficace pour diminuer la biomasse aérienne que de diminuer la densité de tiges de quenouilles. Cette différence peut s'expliquer par la synchronisation des interventions avec les différents stades de développement de la quenouille. Trois périodes de croissance des tiges de *Typha latifolia* ont été rapportées dans la région des Grands-Lacs (Michigan, États-Unis) au cours d'une saison de croissance (Dickerman et Wetzel 1985). Celles-ci se traduisent par la formation de trois différentes cohortes (cohortes A, B et C). La première période de croissance a lieu au début de la saison de croissance, soit du début mai à la mi-juin (cohorte A). La deuxième période correspond à la croissance de nouvelles tiges (jeunes, petites et de faible diamètre) entre la mi-juin et la mi-août (cohorte B). La troisième période de croissance de nouvelles tiges a lieu de la fin de l'été (mi-août) au début de l'automne (fin octobre; cohorte C). Dans notre étude, la densité moyenne de tiges pour la cohorte A (5,0 tiges m⁻²) a été 64 % supérieure à celle de la cohorte B (1,8 tiges m⁻²). Ce résultat s'apparente à celui de Dickerman et Wetzel (1985) qui ont observé pour la première et deuxième année de croissance, des densités de 50 % et 90 % supérieures à la cohorte B. La densité et la

biomasse des tiges issues de la première cohorte sont élevées, puisque les individus adultes (tiges hautes et de diamètre élevé) en dormance depuis la fin de la saison de croissance précédente ont recommencé à pousser. Les tiges et les feuilles, profitant de la vigueur des rhizomes formés au cours de l'année précédente, puisent les réserves de glucides (amidon) contenues dans ces derniers et croissent de façon rapide et prolifique (Ball 1990). Par ailleurs, la floraison de ces individus diminue les réserves énergétiques des rhizomes à un niveau minimal (Sojda et Solberg 1993). À ce moment (fin juin), un traitement de fauche est effectué et diminue de façon marquée la biomasse des parties aériennes et du système racinaire (Fiala 1978; Sale et Wetzel 1983). Les résultats de notre étude montrent une diminution de 60 % de la biomasse aérienne après la première fauche avec une submersion d'environ 17 cm d'eau. Quoique l'impact sur le réseau racinaire n'ait pas été mesuré dans le cas présent, certaines études ont observé une diminution de 90 % de la biomasse souterraine après la première fauche avec une submersion de 7 cm (Nelson et Dietz 1966; Weller 1975). Les autres fauches effectuées à la fin de juillet et au début septembre éliminent la repousse de jeunes individus issus essentiellement de la reproduction végétative et appartenant aux cohortes B et C. Au cours de cette période, les réserves d'énergie produites par les feuilles sont redirigées vers les rhizomes pour permettre la croissance de nouvelles tiges au printemps suivant. Ainsi, ces deux fauches ont peu d'effet sur la diminution de la densité de tiges au cours de la même saison de croissance, mais elles affectent les tiges et rhizomes qui subsistent en hiver (Shekhov 1974; Sharma et Gopal 1977).

Il est donc manifeste que la fauche répétée des tiges à trois reprises durant la saison de croissance pendant quatre années consécutives diminue la biomasse souterraine et aérienne des quenouilles par l'affaiblissement du réseau racinaire. Par contre, la quenouille possède des traits morphologiques et phénotypiques lui permettant d'être plus compétitive pour les ressources par rapport aux plantes typiques d'une tourbière et de maintenir sa dominance en créant elle-même des conditions propices à son développement. Il est donc fort probable que la méthode de fauche répétée des tiges sous la surface de l'eau s'avère efficace à court ou moyen terme pour diminuer la dominance et freiner l'expansion des populations de quenouilles, mais qu'elle s'avère dans le cadre du protocole suivi au cours

de cette expérience une solution temporaire et inefficace pour éradiquer cette espèce envahissante. Ainsi, les interventions de fauche doivent être appliquées à plus long terme (> 4 ans) pour parvenir à maintenir la présence de la quenouille à un seuil acceptable et représentatif des tourbières naturelles (< 1 %; D'Astous 2012; Poulin et al. 2013).

2.4.2 Bâchage

La méthode de bâchage a un effet significatif (diminution de 50 %) sur la densité des tiges de quenouilles lorsqu'appliquée pendant trois ans. Après 106 jours de bâchage, Beule (1979) a observé une diminution de 38 % de la densité de tiges. Selon l'auteur, l'efficacité du traitement était fortement liée à la durée de la solarisation. Par contre, les résultats de notre étude n'indiquent aucun effet significatif sur la biomasse de repousses de tiges évaluée après deux et trois ans. Dans ce dernier traitement, la densité de tiges observée après deux années de traitement a même augmenté de façon marquée. Un résultat semblable a été obtenu par Beule (1979) après un bâchage des tiges durant 70 jours, dont l'auteur attribue probablement à l'infiltration d'air sous la toile.

A priori, l'utilisation d'une toile déposée au-dessus de la végétation agit comme une perturbation, voire un stress autant pour les espèces de plantes de bogs que la quenouille. En principe, la capacité de solarisation ou de formation d'un stress thermique important associée à l'altération substantielle des propriétés physicochimiques du sol à une échelle locale, entraînerait des conséquences importantes sur les structures souterraines des quenouilles. En fait, peu de plantes vasculaires survivent à des températures de plus de 45 °C (Brock 1978). Pourtant, il a été rapporté dans la littérature que la malate déshydrogénase (MDH), une isoenzyme impliquée dans plusieurs voies métaboliques majeures des plantes et essentielle pour leur nutrition minérale (Schulze et al. 2002), pouvait demeurer intacte à 50 °C dans le cas de tissus végétaux prélevés sur *Typha latifolia*, mais était complètement dénaturée pour *Typha domingensis* (Liu et al. 1978). À la lumière de l'expérience menée dans notre étude, il est impossible de déterminer avec certitude les effets engendrés par la solarisation sur les tissus végétaux de *T. latifolia* dans le contexte d'une tourbière. Après les deux premières années de traitement de bâchage, certains rhizomes situés près de la surface de la tourbe peuvent avoir survécu aux températures

extrêmes (45 à 60 °C) engendrées généralement par la solarisation, tandis que d'autres rhizomes peuvent avoir été détruits. En fait, il est fort probable que les températures atteintes sous la toile aient été plus faibles (< 45 °C) que celles normalement atteintes et mentionnées dans la littérature, à cause du contexte très humide des tourbières. Elles pourraient être insuffisantes pour induire un effet quelconque sur les rhizomes. Puisqu'elles n'ont pas été quantifiées dans cette étude, il est impossible de mesurer l'effet de la solarisation sur la quenouille en tourbière.

Une hausse significative des concentrations en azote (NH_4^+ et NO_3^-) a souvent été observée dans les sols solarisés à cause d'une minéralisation accrue (Stapleton et al. 1985; Kaewruang et al. 1989; Arora et Yaduraju 1998). Puisque ces nutriments se seraient accumulés dans les rhizomes survivants, ils auraient probablement contribué à la croissance des parties aériennes après le retrait des toiles, et auraient même favorisé une hausse de la densité et de la biomasse de la repousse des tiges de quenouilles. Ce phénomène n'est pas surprenant, puisqu'il a été démontré dans plusieurs études que les nutriments jouent un rôle essentiel dans la productivité d'une population de quenouilles et que la quenouille est particulièrement compétitive pour la captation des nutriments du sol par rapport aux autres plantes de milieux humides (Boyd et Hess 1970; Boyd 1971; Bonnewell et Pratt 1978; Grace et Wetzel 1981a).

L'inefficacité de la méthode de bâchage pourrait aussi être liée à la structure du système racinaire de la quenouille composé de plusieurs rhizomes longs et minces et d'un mode d'envahissement de type phalange (de proche en proche; Dickerman et Wetzel 1985). Un effet semblable du réseau racinaire a aussi été constaté dans une expérience visant à tester le bâchage sur la densité des repousses du passage à feuilles larges (*Lepidium latifolium*), une plante envahissante aux États-Unis (Hutchinson et Viers 2011). Cette plante peut se propager sur une distance de 3 m par année via son réseau racinaire et former des tiges, pourvues parfois d'inflorescences, au pourtour d'une toile. De la même manière, les populations de quenouilles présentes dans les canaux de drainage de Bois-des-Bel ont pu bénéficier de la forte capacité de leurs rhizomes à s'étendre rapidement pour former des tiges au pourtour des parcelles bâchées. Lors de l'expérience menée à BDB, des

quenouilles ont été observées à de multiples reprises aux deux extrémités des parcelles bâchées orientées le long du canal de drainage. En contrepartie, la baisse significative de la densité de repousses constatée à la quatrième année de l'expérience pourrait s'expliquer par une mortalité importante des rhizomes après le traitement de trois années de bâchage, étant donné que la durée de la solarisation était supérieure à la longévité des rhizomes (< 3 ans) décrite dans la littérature.

En résumé, la méthode de bâchage s'avère moins efficace que la fauche répétée des tiges sous le niveau d'eau. Elle semble peu efficace pour lutter contre la quenouille dans les bogs en raison d'une résistance potentielle des rhizomes à des températures extrêmes ou d'une inefficacité de la solarisation dans les bogs à induire un effet thermique suffisant pour affecter la structure des rhizomes. De plus, son efficacité est influencée par la propagation des rhizomes au-delà de la surface bâchée.

2.4.3 Effet de la restauration d'une tourbière sur l'abondance de quenouilles

En comparant les données de l'analyse de l'évolution temporelle de la présence de la quenouille au site expérimental de Bois-des-Bel et les données de l'abondance de la quenouille dans différents secteurs de quatre sites d'extraction de la tourbe du Bas-Saint-Laurent, on remarque que la quenouille s'est établie de façon massive dans les canaux de drainage suite aux activités d'extraction de la tourbe. Par exemple, la composition végétale de la section restaurée du site de Bois-des-Bel était caractérisée par une fréquence d'apparition anormalement élevée (13–15 %) d'herbacées atypiques d'un bog, dont *Typha latifolia*, dans les canaux de drainage et les champs d'aspiration, comparativement à l'écosystème de référence où ces espèces sont pratiquement absentes (Poulin et al. 2013; ce mémoire). Dans le site restauré de Bois-des-Bel, la quenouille devient de moins en moins abondante au fil du temps. On remarque aussi qu'elle est plus abondante dans les secteurs non restaurés des tourbières que dans ceux restaurés.

Quelques pistes de réflexion peuvent être envisagées pour expliquer les différences dans l'abondance de quenouille entre les secteurs non restaurés et restaurés d'une tourbière. En prenant l'exemple du site de Bois-des-Bel, le fait qu'il se soit écoulé un long intervalle

de temps (> 20 ans) entre la cessation des activités d'extraction de la tourbe et l'amorce des travaux de restauration a probablement facilité l'établissement de la quenouille qui a la capacité d'être envahissante dans les milieux humides perturbés (Shih et Finkelstein 2008). Elle serait apparue à partir de corridors de dissémination situés près du chemin d'accès principal au site. Des graines auraient été transportées par l'eau circulant entre le ruisseau bordant le secteur sud du site et les différents canaux de drainage artificiels créés lors des activités d'extraction de la tourbe par aspiration par l'entremise d'un ponceau reliant ceux-ci. À cette étape, le succès de la germination d'une ou plusieurs graines serait attribuable au taux d'humidité élevé de la tourbe, l'enrichissement en nutriments lié aux activités d'extraction de la tourbe (Wind-Mulder et al. 1996) et la faible compétition interspécifique. Par la suite, la quenouille se serait probablement établie dans les canaux de drainage et les parties plus humides des champs d'aspiration.

La présence de la quenouille dans les canaux de drainage secondaires du site de Bois-des-Bel, 15 ans après la restauration, peut être attribuable à sa tolérance exceptionnelle à des conditions abiotiques variées et sites perturbés, son caractère opportuniste, sa forte productivité et sa compétitivité pour les ressources. Elle s'est établie sous forme de populations denses dans les canaux de drainage, une niche écologique laissée libre après les activités d'extraction de la tourbe. Cela a pu entraîner des changements dans les conditions environnementales locales de la tourbe de surface.

2.5 Recommandations dans le contexte des tourbières au Québec

Dans cette étude, différentes méthodes (fauche répétée et bâchage et réintroduction de mousses) ont été déployées pour lutter contre la quenouille à feuilles larges. Afin d'évaluer la pertinence de ces méthodes, il faut prendre en compte la valeur accordée à l'écosystème et aux espèces spécifiques des tourbières. Elles doivent aussi avoir un rapport coûts/bénéfices avantageux pour limiter l'introduction et la propagation de nouvelles populations de plantes envahissantes dans les tourbières. Le *statu quo* est, dans ce travail, exclu d'emblée puisque des interventions ciblées et proactives sont nécessaires pour renverser le rythme de croissance exponentielle d'une plante envahissante et minimiser ses impacts potentiels à l'échelle locale.

Ce projet de recherche constitue une étape vers l'élaboration d'un programme de lutte intégrée aux espèces de plantes envahissantes dans les tourbières. Il tente d'apporter quelques pistes de solutions concrètes en proposant des méthodes et techniques opérationnelles en tourbière pour les gestionnaires des milieux naturels et les producteurs de tourbe du Québec. Des méthodes de lutte contre la quenouille ont été comparées et testées, puis leur efficacité a été évaluée et leur faisabilité a été vérifiée.

Pour traiter des populations de quenouille en tourbière, une fauche répétée des tiges sous la surface de l'eau serait préférable lorsque 1) le site est aisément accessible, 2) les populations sont petites, jeunes et éparées, 3) le système racinaire est encore peu développé et 4) le niveau d'eau permet une période de submersion des tiges fauchées suffisamment longue au cours de la saison de croissance. Cette étude suggère qu'une fauche répétée des tiges sous la surface de l'eau est plus appropriée qu'un bâchage. Elle réduit de façon significative les repousses de quenouilles dans les canaux de drainage à un coût abordable. De plus, les fauches successives peuvent favoriser une croissance des plantes indigènes sur les surfaces traitées. Elles sont simples à faire et peu exigeantes en main-d'œuvre.

Un bâchage durant au moins trois années serait préférable si 1) le site est éloigné, peu accessible et profite d'un ensoleillement prolongé et 2) que les populations de quenouilles sont petites. Le bâchage est moins efficace, plus dispendieux et plus complexe à mettre en place que la fauche répétée des tiges lorsqu'effectué durant deux ou trois années. En revanche, moins de temps est nécessaire pour le suivi. Pour les deux méthodes, il est suggéré de retirer, avant le traitement si possible, toute la litière de quenouilles accumulée au sol et d'ensemencer le plus rapidement possible après le traitement la surface du sol avec un mélange d'espèces végétales représentatives de tourbière. Ces interventions sont susceptibles de favoriser le retour d'une flore indigène qui offre une certaine compétition pour la lumière et l'espace à la germination des graines de quenouilles.

Chapitre 3. Conclusion

3.1 Caractère envahissant de la quenouille à feuilles larges en tourbière

La quenouille à feuilles larges est utilisée par l'Homme depuis plusieurs millénaires (Revedin et al. 2010) et lui procure de nombreux services écologiques (Kiviat 2013). La quenouille constitue notamment une source d'alimentation importante (Turner 1981; Small 2013). Par contre, il est possible que cette espèce ait des effets indésirables, tel que l'émission élevée de méthane vers l'atmosphère (Chanton et al. 1993, Rankin 2016), et que l'expansion excessive de ses populations constitue une nuisance pour les tourbières. Il est improbable d'éradiquer ces populations à court terme (< 10 années) sans déployer des moyens significatifs. Les populations devraient plutôt être réduites à un seuil à partir duquel la nuisance est faible. Actuellement, la valeur de ce seuil n'a pas encore été déterminée. Des études subséquentes devraient être conduites afin de l'évaluer dans un avenir proche. Malgré cela, deux méthodes (fauche répétée et bâchage) présentées et testées dans ce projet de recherche sont susceptibles de pouvoir maintenir des populations de quenouilles à des seuils faibles lorsqu'utilisées pendant plusieurs années (> 4 ans). Elles pourraient aussi être utilisées pour rétablir un couvert végétal de plantes indigènes.

3.2 Restauration des tourbières envahies par des quenouilles

Certaines hypothèses ont été avancées quant au dépérissement possible de populations de quenouilles à la suite d'une inondation prolongée. En effet, les variations du niveau d'eau peuvent avoir un impact majeur sur la dynamique des populations (Keddy 1982; Keddy et Reznicek 1986). Wilcox *et al.* (2008) ont analysé durant cinq décennies l'envahissement par la quenouille de 16 milieux humides répartis le long de la rive du lac Ontario dans la région des Grands-Lacs aux États-Unis. Leurs observations ont permis de détecter des épisodes où certaines populations se sont rétractées durant quelques années (3 à 5 ans) à cause des niveaux d'eau anormalement élevés lac enregistrés en 1973. Le même constat a été établi dans des milieux humides situés près des lacs Érié, Huron, Michigan et St-Clair (Wilcox et al. 2008). D'autres études menées à Delta Marsh (Manitoba) ont indiqué une chute drastique (40 %) de la densité totale de tiges de quenouilles après avoir inondé des marais sous 30 à 60 cm d'eau pendant 5 ans (van der Valk 1981; 1986; van der

Valk et al. 1994). Néanmoins, la quenouille se rétablit à la suite du retour à des niveaux d'eau plus bas (Boers et al. 2007). Elle peut survivre à une inondation (> 70 cm d'eau) pendant 2 à 3 années (Squires et van der Valk 1992; van der Valk 1994). En tourbière, il est peu probable que ces niveaux d'eaux soient atteints. À BDB, le niveau moyen de la nappe phréatique ($-27,3 \pm 14,9$ cm) a été rehaussé (~ 5 à 10 cm) 10 ans après la restauration d'une partie de la tourbière (McCarter 2012). Cependant, il est inférieur et fluctue davantage que celui observé en conditions naturelles ($33,2 \pm 9,0$ cm). À ce propos, il a été mentionné qu'un rabattement de la nappe phréatique est nécessaire à l'établissement de certaines espèces de plantes émergentes, comme la quenouille et le roseau (van der Valk 1981). Cette fluctuation du niveau d'eau est particulièrement importante dans les bogs non restaurés. Alors que la nappe phréatique tend à s'élever et se stabiliser après la restauration d'un bog (Price et al. 2003). Dans un bog restauré, il est possible que les inondations récurrentes et prolongées aient tendance à submerger le réservoir la banque de graines de quenouilles comprises majoritairement dans la couche superficielle du sol (10 cm). L'effet de cette submersion peut limiter le recrutement de nouveaux individus de quenouilles par reproduction sexuée jusqu'à ce que les individus matures meurent par asphyxie de leur système racinaire. Finalement, la quenouille perd peu à peu sa dominance, devient moins vigoureuse et fréquente sur le site, jusqu'à ce qu'elle soit éteinte (Whigham et al. 1990).

La restauration de la tourbière de Bois-des-Bel, effectuée en 1999 par le Groupe de recherche en écologie des tourbières et ses partenaires, est un exemple du retour de la végétation représentative d'un bog en moins d'une décennie. La restauration de ce site a contribué à réduire l'abondance de la quenouille dans les canaux de drainage. Il est possible que la restauration écologique des tourbières dégradées puisse restreindre l'envahissement de cet écosystème par des plantes atypiques. Cette hypothèse reste toutefois à démontrer et pourrait faire l'objet de davantage de recherches.

3.3 Retombées du projet et perspectives de recherche

Cette étude met en évidence un phénomène encore peu étudié et documenté en Amérique du Nord : l'envahissement par des héliophytes des tourbières dégradées à cause d'activités anthropiques. À ma connaissance, il s'agit de la première étude sur le continent

nord-américain traitant de l'envahissement d'une tourbière à sphaigne par la quenouille à feuilles larges. En particulier, l'étude sur la prolifération remarquable de la quenouille à la tourbière de Bois-des-Bel apporte quelques pistes de solutions quant aux mesures qui peuvent être prises pour limiter sa prolifération. Ce projet de recherche a eu pour objectif d'affiner et de rendre opérationnel des techniques de lutte à cette plante. Au cours des prochaines décennies, il est fort probable que les envahissements par des héliophytes se multiplient dans les tourbières dégradées au Québec. C'est pourquoi, il semble tout à fait à propos de fournir aux acteurs concernés (gestionnaires de milieux naturels dans les secteurs publics et privés) l'information adéquate sur les moyens pratiques pour lutter efficacement. Cela étant, les défis et contraintes associés à la lutte aux héliophytes en tourbières devront tenir compte à l'avenir des développements récents en matière de recherche et d'apports technologiques, ainsi que des nouvelles réalités liées aux changements mondiaux affectant les écosystèmes. Par exemple, il est suggéré que des méthodes alternatives de lutte à la quenouille (lutte biologique, badigeonnage manuel d'herbicides et inondation prolongée des terres) soient testées à des fins expérimentales en tourbière si les moyens légaux le permettent.

Tel que mentionné par Lavoie (2007) : « *Le succès de telles campagnes [d'éradication] sera en effet toujours mitigé si l'on néglige de s'occuper de la source du problème [...]* ». Il donc est essentiel de porter un regard en amont face aux problèmes causés par les invasions biologiques, plus spécifiquement face à la prolifération de la quenouille en tourbières.

Dans le cadre de la stratégie de l'Union européenne en faveur de la biodiversité d'ici 2020, l'action n°7 vise à assurer « *aucune perte nette de biodiversité et des services écologiques* » (Commission Européenne 2011). Si cette action d'aucune perte nette était appliquée au Canada, il semble nécessaire que les gestionnaires et décideurs aient à prendre en compte les impacts potentiels liés à l'envahissement des tourbières par des plantes. Il en résulterait une meilleure stratégie de conservation et de restauration des tourbières sur l'ensemble du territoire canadien.