

TOMMY LANDRY

**UTILISATION DE SEMENCES POUR LA
RESTAURATION DE BORDS DE MARES DE
TOURBIÈRES**

Mémoire présenté
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en Biologie Végétale
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

DÉPARTEMENT DE PHYTOLOGIE
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2011

© Tommy Landry, 2011

Résumé

La présente étude s'est attardée à l'utilisation de semences comme une avenue potentielle pour l'élaboration d'une technique de restauration des plantes vasculaires associées aux bords de mares en tourbières. Dans un premier temps, différents types de lits de semences et de niveaux d'eau ont été évalués quant à leur capacité à favoriser la germination et la croissance de différentes espèces propres à ce milieu. En parallèle, une expérience sur l'effet de différentes conditions d'humidité et de température d'entreposage sur la viabilité des semences a été mise en oeuvre. Les résultats montrent que, malgré la présence de tendances générales, plusieurs espèces possèdent des besoins relatifs à leur germination et leur croissance qui leur sont propres, et des distinctions peuvent être établies pour d'éventuels usages en restauration. Bien que les résultats sur les conditions d'entreposage soient davantage mitigés, il semble néanmoins possible d'entreposer ces semences sur une période de temps relativement longue.

Abstract

In this study, the use of seeds as a potential mean to introduce vascular plants associated with pools in restored bogs has been evaluated. First, different types of seedbeds and water levels have been tested for their capacity to promote germination, establishment and growth of those species. Another experiment has been put forth on the effects of different conditions of humidity and temperature on seeds viability during storage. Our results show that, even though general tendencies can be observed, several species have needs of their own for their germination and growth, and those observations can be used as guidelines in potential restoration projects. Despite the fact that our results are more mitigated on which storage conditions to use, it seems nonetheless possible to store and use seeds for a relatively prolonged period of time.

Remerciements

Tout d'abord, toute ma gratitude s'adresse à ma directrice Monique Poulin, pour sa patience, sa compréhension, son optimisme sans borne et sa confiance. Sans ces qualités indispensables, ce projet n'aurait sûrement pas eu une si bonne fin. Merci de m'avoir permis de travailler sur des sujets qui me passionnent et d'accorder une liberté de travail favorisant l'autonomie et la conciliation avec la famille.

Il en va de même avec ma codirectrice Line Rochefort, dont la rigueur scientifique et son intérêt sans limites envers les sciences biologiques en font une inspiration dans le domaine. Ton dynamisme, ton énergie hors du commun et tes conseils ont été précieux tout au long de mon cheminement.

Je ne peux ménager non plus les louanges envers les professionnelles de recherche Claire Boismenu, Stéphanie Boudreau et Claudia Saint-Arnaud. Votre épaulement aux différentes étapes de ce projet a été grandement apprécié. Votre présence et votre dynamisme ont su éclairer les périodes d'incertitude, facilitant ainsi le cheminement à travers les embûches du terrain et de la recherche. Votre aide et votre disponibilité ont été grandement appréciées.

Ce projet n'aurait pas été le même non plus sans la généreuse implication et la bonne humeur des gens qui ont participé aux collectes de matériel et de données. Merci à Roxane Andersen, Vicky Bérubé, Isabelle Casaubon, Jérémy Détrée, Mathieu Frégeau, Sandrine Hogue-Hugron, Francis Isselin-Nondedeu, Josée Landry, Mylène Marchand-Roy, Sébastien Nadeau et Rémy Pouliot. Il en va de même avec toutes les personnes et assistants qui ont participé de près ou de loin aux différentes facettes de ce projet. Merci également à Gilles Ayotte, avec qui une bonne discussion de botanique est toujours appréciée et inévitablement teintée d'humour. Sans oublier ma famille, dont le support moral a été sans faille pendant la réalisation de ce projet.

*À Noah, mon fils, pour m'avoir ouvert les
yeux*

Table des matières

RÉSUMÉ.....	I
ABSTRACT.....	II
REMERCIEMENTS.....	III
CHAPITRE 1 INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1.1 PROBLÉMATIQUE.....	1
1.2 FORMATION DES TOURBIÈRES ET DES MARES.....	3
1.3 RESTAURATION DES MARES DE TOURBIÈRES.....	5
1.4 ÉCOLOGIE DES SEMENCES DE MILIEUX RIVERAINS.....	7
1.5 HYPOTHÈSES ET OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	11
CHAPITRE 2 GERMINATION ET CROISSANCE DE PLANTES ASSOCIÉES AUX BORDS DE MARES DE TOURBIÈRES.....	12
2.1 INTRODUCTION.....	12
2.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	14
2.2.1 Dispositif expérimental.....	14
2.2.2 Établissement des lits de semences.....	15
2.2.3 Suivi de la germination et de la croissance.....	19
2.2.4 Analyses statistiques.....	20
2.3 RÉSULTATS.....	21
2.4 DISCUSSION.....	29
2.4.1 Germination.....	29
2.4.2 Biomasse aérienne.....	31
2.4.3 Implications pour la restauration.....	33
2.5 REMERCIEMENTS.....	35
CHAPITRE 3 EFFET DE L'ENTREPOSAGE SUR LA VIABILITÉ DE SEMENCES DE PLANTES DE BORDS DE MARES.....	36
3.1 INTRODUCTION.....	36
3.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	38
3.2.1 Récolte et entreposage des semences.....	38
3.2.2 Analyses de la viabilité des semences.....	41
3.2.3 Analyses statistiques.....	42
3.3 RÉSULTATS.....	43
3.3.1 Semences fraîchement récoltées.....	43
3.3.2 Semences entreposées depuis dix ans.....	49
3.4 DISCUSSION.....	50
3.5 CONCLUSION.....	54
3.6 REMERCIEMENTS.....	55
CHAPITRE 4 CONCLUSION GÉNÉRALE.....	59
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	63
ANNEXE 1 - PROPAGULES DE <i>RHYNCHOSPORA ALBA</i>.....	72

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1 COORDONNÉES, LOCALITÉS ET NUMÉRO DE RÉFÉRENCE DES DIX TOURBIÈRES NATURELLES OÙ LES SEMENCES DES ESPÈCES À L'ÉTUDE ONT ÉTÉ RÉCOLTÉES.	18
TABLEAU 2.2 VIABILITÉ DES SEMENCES UTILISÉES (ERREUR TYPE ENTRE PARENTHÈSES) POUR L'EXPÉRIENCE DE GERMINATION ET DE CROISSANCE DES SEPT ESPÈCES ASSOCIÉES AUX BORDS DE MARES, ESTIMÉE PAR UN TEST DE TÉTRAZOLIUM.	19
TABLEAU 2.3 ANOVA À DEUX VOIES POUR UN PLAN EN BLOC COMPLET ALÉATOIRE AFIN D'ÉVALUER L'EFFET DU LIT DE SEMENCE ET DU NIVEAU D'EAU SUR LA GERMINATION ET LA PRODUCTION DE BIOMASSE AÉRIENNE CHEZ SIX ESPÈCES ASSOCIÉES AUX BORDS DE MARES.	25
TABLEAU 3.1 COORDONNÉES ET LOCALITÉS DES DIFFÉRENTS SITES OÙ LES SEMENCES DES ESPÈCES À L'ÉTUDE ONT ÉTÉ RÉCOLTÉES.	40
TABLEAU 3.2 DESCRIPTION DES TRAITEMENTS D'ENTREPOSAGE ET DES CONTRASTES SIMPLES PLANIFIÉS <i>A PRIORI</i> POUR DÉTERMINER L'EFFET DES CONDITIONS D'ENTREPOSAGE SUR LE TAUX DE VIABILITÉ DE SEMENCES D'ESPÈCES ASSOCIÉES AUX BORDS DE MARES EN TOURBIÈRES.	43
TABLEAU 3.3 EFFET DES CONDITIONS D'ENTREPOSAGE ET DU TEMPS SUR LA VIABILITÉ DES SEMENCES FRAÎCHEMENT RÉCOLTÉES DE HUIT ESPÈCES ASSOCIÉES AUX BORDS DE MARES DE TOURBIÈRE, SELON UNE ANOVA À 2 VOIES EFFECTUÉE AVEC UN PLAN EN TIROIRS ET SELON DES CONTRASTES <i>A PRIORI</i>	44
TABLEAU 3.4 TAUX DE VIABILITÉ MOYEN, ÉVALUÉ SUR DES LOTS DE 25 GRAINES (N=4), OBTENUS PAR UN TEST DE TÉTRAZOLIUM SUR DES SEMENCES ENTREPOSÉES PENDANT 10 ANS DE SEPT ESPÈCES VÉGÉTALES DE TOURBIÈRES.	50
TABLEAU 3.5 COMPARAISON ENTRE LES TAUX DE VIABILITÉ ESTIMÉS PAR LE TEST DE TÉTRAZOLIUM SUR LE TRAITEMENT D'ENTREPOSAGE FH À 3 MOIS ET LES MEILLEURS TAUX DE GERMINATION DES LOTS DE SEMENCES STRATIFIÉES PENDANT 4 MOIS DANS LES MÊMES CONDITIONS POUR L'EXPÉRIENCE DE GERMINATION ET DE CROISSANCE PRÉSENTÉE AU CHAPITRE 2.	53

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.1	DÉVELOPPEMENT HYPOTHÉTIQUE D'UNE TOURBIÈRE CONTINENTALE.....	4
FIGURE 1.2	SCHÉMA CONCEPTUEL DE L'HYDROCHORIE DES SEMENCES.....	8
FIGURE 1.3	SCHÉMA RÉSUMANT LE CYCLE BIOLOGIQUE D'UNE PLANTE VASCULAIRE SUR LES RIVES D'UN PLAN D'EAU.....	9
FIGURE 2.1	DISPOSITIF DE L'EXPÉRIENCE EN SERRE TESTANT L'EFFET DE DIFFÉRENTS NIVEAUX D'EAU ET DE LITS DE SEMENCES.	16
FIGURE 2.2	TAUX DE GERMINATION ET PRODUCTION DE BIOMASSE AÉRIENNE CHEZ SIX ESPÈCES ASSOCIÉES AUX BORDS DE MARES SELON DEUX NIVEAU D'EAU.	22
FIGURE 2.3	RÉPARTITION DE LA GERMINATION DES SEMENCES À TRAVERS LE TEMPS DE SIX ESPÈCES ASSOCIÉES AUX BORDS DE MARES EN FONCTION DES LITS DE SEMENCES ET NIVEAUX D'EAU.....	23
FIGURE 3.1	TAUX DE VIABILITÉ (%) AU FIL DU TEMPS DES SEMENCES FRAÎCHEMENT RÉCOLTÉES DE CINQ ESPÈCES ASSOCIÉES AUX BORDS DE MARES, TOUT TRAITEMENT D'ENTREPOSAGE CONFONDU.	45
FIGURE 3.2	TAUX DE VIABILITÉ (%) DES SEMENCES FRAÎCHEMENT RÉCOLTÉES DE <i>RHYNCHOSPORA ALBA</i> SELON QUATRE TRAITEMENTS D'ENTREPOSAGE, ESTIMÉS PAR UN TEST DE TÉTRAZOLIUM.	48
FIGURE 3.3	TAUX DE VIABILITÉ (%) DES SEMENCES FRAÎCHEMENT RÉCOLTÉES DE <i>CAREX MAGELLANICA</i> , AU FIL DU TEMPS DÉTERMINÉ SELON UN TEST DE TÉTRAZOLIUM, POUR QUATRE TRAITEMENTS D'ENTREPOSAGE.	48
FIGURE 3.4	TAUX DE VIABILITÉ (%) DES SEMENCES FRAÎCHEMENT RÉCOLTÉES DE <i>DROSERA INTERMEDIA</i> AU FIL DU TEMPS, DÉTERMINÉ SELON UN TEST DE TÉTRAZOLIUM, POUR QUATRE TRAITEMENTS D'ENTREPOSAGE.	49
ANNEXE 3.1.	SEMENCES ET COLORATION DE SEMENCES AU CHLORURE DE TÉTRAZOLIUM.	56
ANNEXE 3.1 (SUITE)	SEMENCES ET COLORATION DE SEMENCES AU CHLORURE DE TÉTRAZOLIUM.....	57
ANNEXE 3.1 (SUITE)	SEMENCES ET COLORATION DE SEMENCES AU CHLORURE DE TÉTRAZOLIUM.....	58
FIGURE A1.	ILLUSTRATIONS DE PROPAGULES ASEXUÉES DE <i>RHYNCHOSPORA ALBA</i>	74

Chapitre 1

Introduction générale

1.1 Problématique

Souvent méconnues du grand public, les tourbières sont pourtant abondantes au Canada, avec plus de 170 millions d'hectares (Gorham 1990). Si peu de gens connaissent bien la tourbe et son origine, encore moins nombreux sont ceux qui possèdent une idée éclairée de la richesse faunique et floristique que renferment les tourbières. Les tourbières sont en effet les hôtes d'une flore digne d'enflammer notre imagination, des féroces plantes carnivores aux divines orchidées, dont plusieurs espèces sont d'ailleurs restreintes à cet écosystème. Cette flore n'est cependant pas la seule richesse présente dans le milieu : la tourbe accumulée par les tourbières est une ressource fort convoitée. À la base d'une industrie florissante, l'exploitation de la tourbe revêt une importance à la fois économique et historique pour plusieurs régions du Canada, notamment pour le Bas-Saint-Laurent au Québec et la péninsule acadienne du Nouveau-Brunswick. Or, une médaille n'étant pas sans revers, la manne à laquelle correspond l'exploitation de la tourbe n'est pas sans contrecoup sur l'écosystème que constituent les tourbières. Les changements draconiens apportés aux tourbières lors de leur exploitation transforment radicalement cet écosystème. Les pratiques d'exploitation modernes nécessitent le décapage de la végétation existante et un drainage intensif afin de faciliter la récolte par aspiration. La récolte successive de couches de tourbe épuise éventuellement la banque de semences pouvant s'être accumulée sur le site. Suite à l'exploitation, la surface des sites est balayée par des vents violents et caractérisée par un substrat instable, sujet à de forts assèchements et de hautes températures durant l'été (Price 1997, Price et al. 1998, Campbell et al. 2002). La formation d'aiguilles de glace et de soulèvements gélivaux surviennent aussi à l'automne et au printemps, endommageant les racines des plantules présentes (Quinty et Rochefort 2000, Groeneveld et Rochefort 2005). La transformation est telle que toute recolonisation spontanée devient très difficile suite à la récolte industrielle. Les conditions hostiles prévalant sur les sites ainsi délaissés suite à l'exploitation contribuent à maintenir ces sites dépourvus de

végétations propres aux tourbières (Salonen 1987, Rochefort 2001) si aucune action n'est entreprise.

Solution à ce problème, la restauration écologique des tourbières vise, entre autres, à rétablir un couvert végétal dominé par les sphaignes et à assurer le retour de fonctions garantissant le maintien de l'écosystème à long terme, notamment la séquestration de carbone et une structure de végétation qui lui est propre (Rochefort 2001). Les travaux de recherche en Amérique du Nord ont permis le développement d'une technique communément appelée la technique de restauration par «transfert muscinal» (Quinty et Rochefort 2003). Elle consiste à prélever une couche superficielle de 10 cm de végétation sur une tourbière naturelle préexistante pour ensuite la répandre, dans un ratio 1:10, sur une tourbière au stade postexploitation. La nappe phréatique est par la suite haussée par le blocage des canaux de drainage. Protégé par un couvert de paille, le couvert muscinal s'y développe généralement sur une échelle temporelle relativement courte (Isselin-Nondedeu et *al.* 2007), sous l'action d'un remouillage adéquat du site. Plusieurs espèces vasculaires sont ainsi transférées lors du processus de restauration sous forme de fragments végétatifs ou de semences, présents dans le tapis initialement prélevé. Quelques années suivant la restauration, la végétation recensée est propre à celles des platières en tourbières naturelles (Isselin-Nondedeu et *al.* 2007, Boudreau et Rochefort 2008). Le relief présent y est relativement plat (Rochefort et *al.*, 2003), vestige de la récolte par aspiration qui uniformise les surfaces. L'absence de dépressions appréciables ne favorise pas le retour de la flore particulière associée aux mares dans ce type de tourbière, malgré le retour d'une végétation relativement homogène propre aux tourbières ombrotrophes. Or, l'hétérogénéité des tourbières est un élément clé de leur biodiversité (Glaser 1992, Vitt et *al.* 1995, Calmé et Desrochers 1999, Smits et *al.* 2002). Fontaine et *al.* (2007) ont d'ailleurs montré que la présence de mares augmente la richesse des tourbières naturelles, en termes de biodiversité. Elles sont des microhabitats hébergeant une flore qui leur est propre (Poulin et *al.* 1999, Poulin et *al.* 2002), et constituent donc des éléments privilégiés à rétablir au sein des tourbières restaurées.

1.2 Formation des tourbières et des mares

Les mares sont des dépressions humides qui sont recouvertes d'eau toute l'année durant (Belyea et Clymo 1998). Les processus régissant la formation des mares demeurent sujets à moult hypothèses, et sont intimement reliés aux processus de développement des tourbières. Malgré la complexité de ces processus, certaines grandes lignes peuvent cependant être tracées. Issues généralement du comblement d'un écosystème aquatique ou de la paludification d'un écosystème terrestre, les tourbières sont des milieux mal drainés où le taux d'accumulation de matière organique est supérieur au taux de décomposition (Payette 2001). Ce phénomène d'entourbement est favorisé par un climat dans lequel le régime de précipitation est abondant. Ces conditions favorisent le maintien d'une nappe phréatique élevée, et par conséquent, une zone anoxique sous laquelle la décomposition de la matière organique est ralentie. La limite du niveau de la nappe phréatique crée deux compartiments : l'acrotelme, où les plantes et les mousses sont sujettes à la variation de la hauteur de la nappe phréatique, et le catotelme, section constamment sous conditions anoxiques, où la décomposition s'effectue plus lentement.

Sous l'influence du climat et de processus autogéniques (liés à l'écosystème lui-même), l'apport en éléments minéraux diminue au fil de l'accumulation de la tourbe (Damman 1979, Glaser et Janssens 1986, Foster et Wright 1990, Kuhry et *al.* 1993). L'accumulation grandissante de la tourbe éloigne la surface de la tourbière de l'influence des eaux de ruissellement de surface et crée ainsi une nappe perchée et une tourbière à la forme bombée (Ingram 1982). L'ombrotrophisation de la tourbière s'accroît par son appauvrissement en éléments minéraux et une transition vers la dominance d'un couvert de sphaignes (Gorham et Janssens 1992), cette dernière devenant de plus en plus dépendante des précipitations pour son approvisionnement en eau.

À l'atteinte d'un certain équilibre entre l'accumulation et la décomposition, et sous l'influence de la compaction sous le poids de la tourbe, la tourbière atteint un stade où elle se développe davantage latéralement, en créant un plateau au centre de la tourbière.

L'aplatissement de la surface contribue alors à rapprocher l'eau de la surface, favorisant ainsi l'inondation des dépressions entre les buttes (Glaser et Janssens 1986, Figure 1.1), éléments caractérisant la microtopographie dans les tourbières. La formation des mares pourrait ainsi s'étendre du milieu de la tourbière vers les bordures, de manière asynchrone (Foster et Wright 1990), au fil de la formation du plateau.

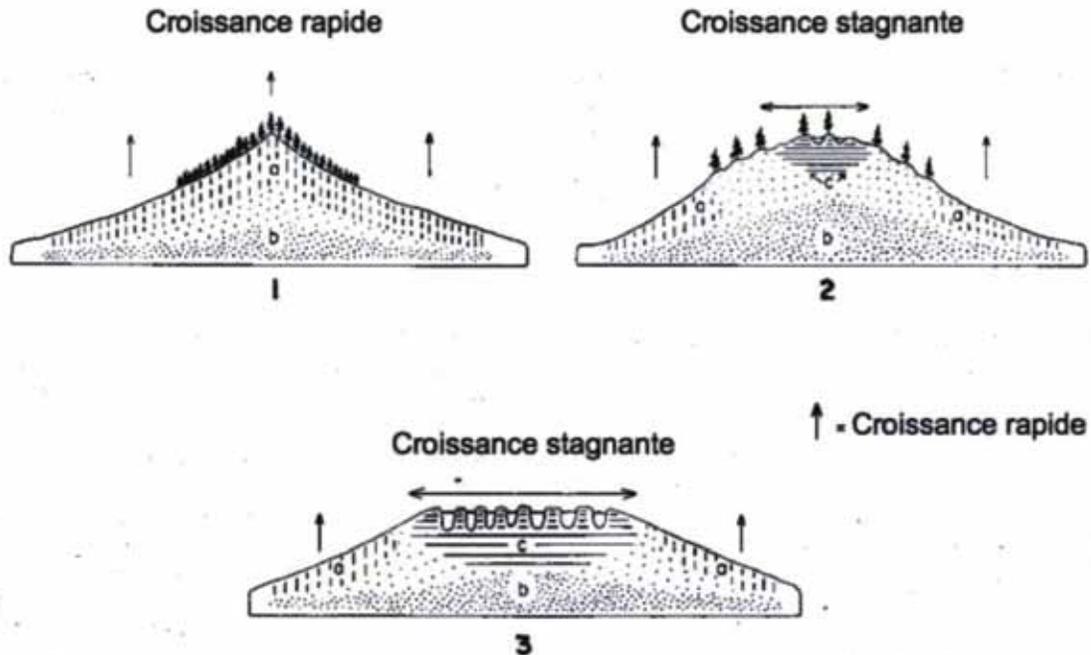


Figure 1.1 Développement hypothétique d'une tourbière continentale (adapté de Glaser et Janssens 1986). (1) La croissance verticale de la tourbière est rapide, avec la formation de couches superficielles de tourbe lâche et un drainage latéral important. (2) Avec la stagnation de l'accroissement vertical au centre de la tourbière, la croissance rapide de la sphaigne en périphérie favorise la formation d'un plateau, réduisant la pente et le drainage de la tourbière. (3) L'expansion du plateau se continue avec la présence d'une nappe superficielle, favorisant l'inondation des dépressions présentes et la formation de mares.

Malgré l'absence de consensus sur les processus régissant le développement des mares, l'approche polygénique, combinant les effets des processus autogènes et allogènes, semble très probable (Glaser 1998). Les mares peuvent ainsi prendre de l'expansion sous l'influence de différents mécanismes, comme l'érosion de ses bordures, l'ennoisement de la végétation environnante et sous l'action de la décomposition active de la matière organique

s'y étant accumulée. En outre, les théories de l'accumulation différentielles entre les buttes et les dépressions (Foster et *al.* 1983, Foster et King 1984, Foster et Wright 1990) ainsi que la dynamique de dégradation observée dans les mares à fonds boueux (Karofeld 1998, 2004) ne sont que quelques avenues contribuant probablement à leur développement.

D'arrivée tardive dans le développement des tourbières, et sous l'influence de procédés complexes régissant leur création, la formation des mares n'est pas un phénomène simple ou rapide à dupliquer. La création de mares artificielles vient donc naturellement à l'esprit lors de projets de restauration, question d'assurer le retour certain des mares dans une échelle temporelle raisonnable. Or, leur seule création ne suffit pas (Mazerolle et *al.* 2006), des efforts supplémentaires étant nécessaires pour assurer le retour d'une végétation propre aux mares de tourbières.

1.3 Restauration des mares de tourbières

La restauration écologique des mares de tourbières est un sujet encore peu abordé et relativement récent dans la littérature. Cependant, quelques études portant précisément sur ce sujet se sont déroulées en Amérique du Nord. La station expérimentale de Bois-des-Bel (BDB), site modèle en termes de restauration à l'aide de la technique par transfert muscinal, a hébergé quelques expériences sur la restauration des populations associées aux mares. Dès 1999, une série de mares artificielles y ont été aménagées, entre autres, aux fins d'un suivi des espèces animales et végétales (Mazerolle et *al.* 2006). La moitié d'entre elles ont reçu des transplants de plantes vasculaires placés sur de petites superficies directement sur la tourbe nue en bordure des mares. Quatre ans après leur création, les mares ne présentaient pas de végétation typiquement associée aux mares en tourbières naturelles. Les touffes de plantes réintroduites avaient disparu ou ne s'étaient pas étendues. Il n'y avait en fait pas de différence dans la végétation des mares ayant reçu des introductions de plantes de bords de mares et celles n'ayant rien reçu. Le seul fait de creuser des mares artificielles en milieu restauré ne permet donc pas le retour d'une végétation propre à cet habitat et la

technique de réintroduction des plantes vasculaires par petites touffes n'est pas adéquate pour assurer le retour des communautés de bords de mares.

Des constats similaires ont par la suite été établis plus tard par Fontaine (2008). Comparant les populations végétales retrouvées en bordure de mares en tourbières naturelles avec celles créées à la station de BDB (et n'ayant pas reçu de transplants), les auteurs concluent que malgré le temps écoulé, les populations végétales autour des mares artificielles demeurent largement différentes et moins diversifiées que celles des tourbières naturelles. De plus, plusieurs espèces fortement associées aux mares naturelles demeurent absentes des sites restaurés. Parmi celles-ci, on dénombre plusieurs espèces de plantes vasculaires dont *Rhynchospora alba* (L.) Vahl., *Carex limosa* L., *Eriophorum virginicum* L., *Andromeda polifolia* L., *Drosera anglica* Huds., *D. intermedia* Hayne et *Nuphar variegata* Durand. Suite à ce constat, une expérience de transplantation de différentes espèces muscinales et vasculaires a été mise en oeuvre dans une tourbière restaurée à Sainte-Marguerite-Marie, Québec (Fontaine 2008). Des tapis de sphaignes contenant des plantes vasculaires ont été récoltés sur des sites donneurs, pour ensuite être épandus et recouverts de paille sur des parcelles expérimentales selon la méthode du transfert muscinal. Le taux de recouvrement de chaque espèce présente a été évalué lors de la récolte à des fins comparatives, pour l'évaluation du succès d'établissement sur les parcelles expérimentales. Les densités d'épandage variaient entre 1:5 et 1:10 (m² récolté : m² épandu). Bien que les espèces muscinales se soient généralement bien établies dans les parcelles expérimentales, la technique utilisée ne semble pas avoir favorisé les espèces vasculaires associées à ces tapis (*Andromeda glaucophylla*, *Carex limosa*, *Eriophorum virginicum*, *Rhynchospora alba*). Le taux de recouvrement des espèces vasculaires étaient de moins de 5 %, trois ans après leur introduction. Parmi les espèces vasculaires introduites, seul *E. virginicum* a obtenu des taux de recouvrement supérieurs à cette valeur, mais ne dépassant pas les 12 %. La comparaison des valeurs de recouvrement entre les parcelles hôtes de *C. limosa* et *R. alba* n'a pas permis de déceler de différence significative avec les parcelles témoins sans introduction de plantes vasculaires. Le taux de reprise y était donc très bas. Ces recherches viennent réaffirmer la nécessité de développer des techniques de restauration propres aux populations de plantes vasculaires associées aux mares de tourbières, ces dernières étant toujours absentes des

mares artificielles, les différents essais de transplantation n'ayant été que peu concluants.

L'utilisation de propagules, c'est-à-dire des parties de plantes servant à la reproduction végétative (Crum 1976), peut limiter l'apport en diversité génétique dans le milieu à restaurer. Face à cette problématique, l'utilisation de semences pourrait s'avérer une avenue intéressante. L'utilisation de semences pourrait augmenter potentiellement la diversité génétique du site à restaurer, ce qui pourrait faciliter l'implantation d'individus adaptés aux conditions du milieu hôte, tout en permettant de promouvoir la résilience de la population restaurée (Linhart et Grant 1996, Montalvo et al. 1997, Luck et al. 2003, Falk et al. 2006). Cependant, l'utilisation des semences comme principal moyen de restauration d'espèces vasculaires nécessite une compréhension approfondie des facteurs pouvant influencer l'établissement et la survie des plantules dans un milieu pouvant être aussi dynamique que le bord d'une mare.

1.4 Écologie des semences de milieux riverains

Source supplémentaire d'interaction avec les semences, les jeunes plantules et les plantes adultes, l'eau occupe une place prépondérante dans la germination, la croissance et la dissémination des plantes en bordure d'un milieu aquatique. Afin de mieux comprendre les dynamiques auxquelles sont exposées les semences tombées à proximité des mares, il est possible de faire des rapprochements entre l'écologie de ces espèces et celles colonisant les autres milieux riverains.

Plusieurs espèces bordant les milieux aquatiques dépendent du phénomène de l'hydrochorie, le transport des semences par l'eau, pour la dissémination de leurs semences. Le modèle conceptuel de Chambert et James (2009), ici adapté à nos besoins, schématise très bien les interactions possibles entre la semence et le milieu aquatique à proximité (Figure 1.2), de sa libération du fruit jusqu'à sa stabilisation dans un endroit potentiellement favorable à la germination.

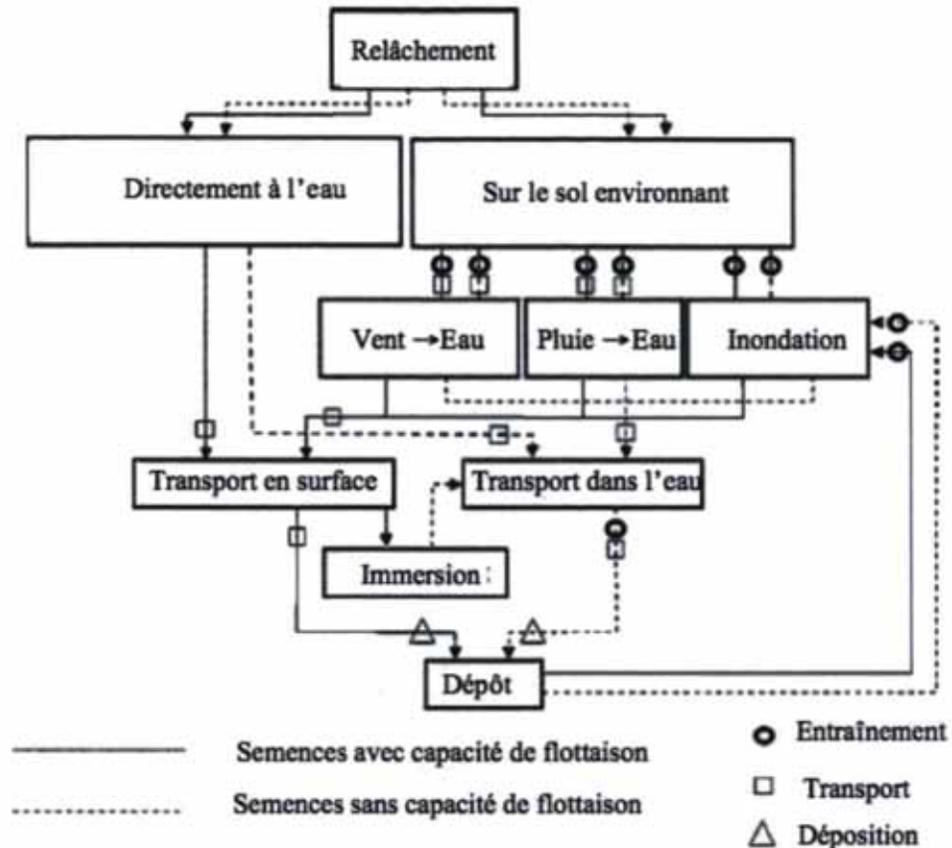


Figure 1.2 Schéma conceptuel de l'hydrochorie des semences (adapté de Chambert et James 2009).

Entre le moment de libération de la semence et son arrivée à son lieu définitif de germination, une panoplie de déplacements est possible, tant sur le plan terrestre qu'aquatique. L'entraînement par le vent, l'emportement par le ruissellement et la variation de la hauteur de la nappe d'eau peuvent à tout moment modifier l'emplacement de la semence. Quant à eux, les déplacements dans le plan d'eau sont régis par la capacité des semences à flotter et par le transport en surface ou en profondeur en fonction des mouvements de l'eau. L'ensemble des déplacements est aussi modulé par la taille, la forme et la densité des semences (Chambers et James 2009). Ces caractéristiques, ainsi que la capacité de la semence à survivre à un séjour prolongé dans l'eau, peuvent améliorer la dispersion d'une espèce et avoir un impact sur les méthodes à mettre de l'avant en restauration (van den Broek et *al.* 2005).

Une fois déposée, advenant qu'elle soit viable et non dormante, une semence pourra germer en fonction de l'influence de différents facteurs (Figure 1.3). Le niveau du plan d'eau adjacent, le type de substrats, l'action des vagues et la prédation (herbivorie) sont autant de facteurs qui peuvent influencer le succès d'établissement d'une plante donnée, de la germination jusqu'à la reproduction (Coops et van der Velde 1995). D'autres facteurs propres à chaque espèce peuvent aussi être ajoutés à ce modèle, telle la tolérance à l'ombrage, à l'ensevelissement, à la compétition et à l'inondation.

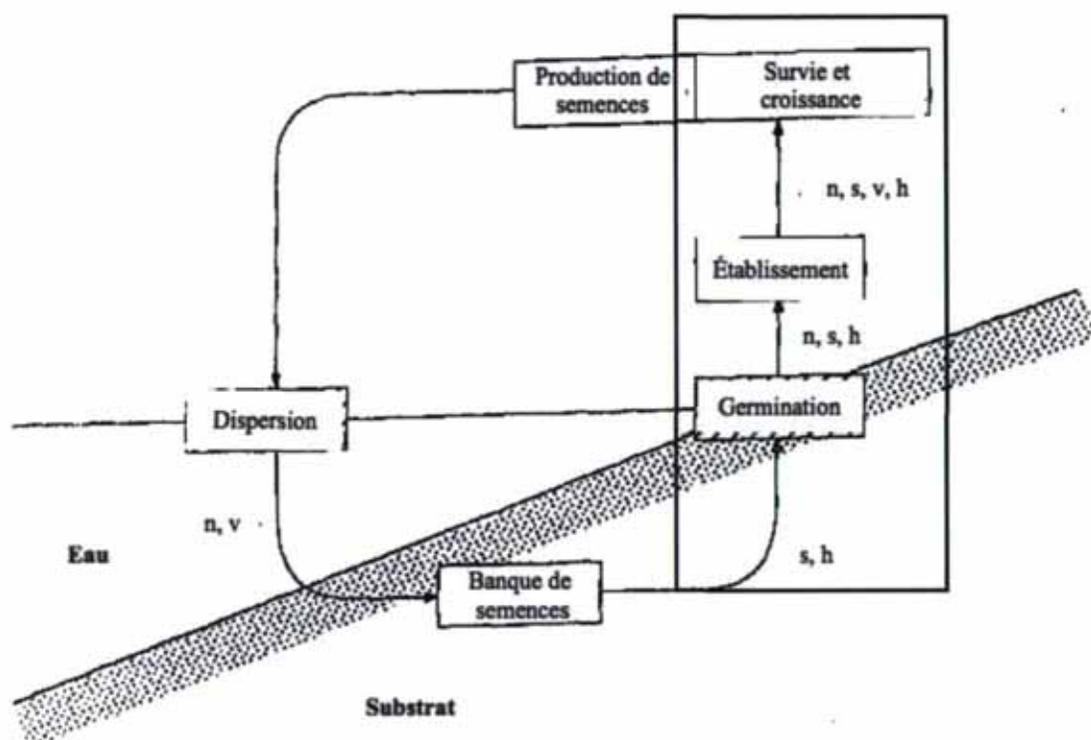


Figure 1.3 Schéma résumant le cycle biologique d'une plante vasculaire sur les rives d'un plan d'eau (adapté de Coops et van der Velde 1995). L'encadré à droite correspond aux étapes auxquelles l'étude actuelle s'attarde, soit la germination, l'établissement et la croissance. Les lettres représentent les facteurs ayant une influence sur les étapes du cycle biologique : n : niveau d'eau ; s : substrat ; v : présence de vagues et h : herbivorie.

Fort heureusement, la complexité de l'influence de ces facteurs est réduite par l'intervention humaine lors de projet de restauration. En contrôlant la levée de dormance des semences *ex situ* et en les semant sur le terrain dans un emplacement et une fenêtre

temporelle favorable, il est possible de limiter les aléas de la dissémination des semences dans l'environnement. Réalisée adéquatement, cette pratique permettrait une germination et une croissance rapide des semences en plantules, limitant ainsi les dangers de dragage vers la mare. Néanmoins, une connaissance des conditions favorables à la germination, à l'établissement et à la croissance subséquente des plantules demeure essentielle à cette pratique (zone encadrée, Figure 1.3). Les lits de semences de prédilection pour la germination et la croissance des espèces présentes en bordure des mares de tourbières demeurent mal connus. Les bordures des mares de tourbières sont fréquemment colonisées par des tapis lâches constitués de sphagnes de la section taxonomique *Cuspidata*. Une hépatique formant des tapis à l'enchevêtrement dense, *Cladopodiella fluitans*, y est aussi souvent observée, alors que la disponibilité de la tourbe sur les sites à restaurer constitue un matériel facilement disponible. Ces lits de semences diffèrent grandement, tant par leur capacité à retenir les graines en surface ou à permettre leur incorporation dans le lit de semences que par la possibilité de compétitionner avec les jeunes plantules par la croissance des tapis de bryophytes ou l'ensevelissement par les particules de tourbe. La disponibilité de l'eau, par la proximité de la nappe, pourrait aussi avoir un effet sur la dynamique de la croissance entre les plantes vasculaires et les bryophytes. L'influence de ces facteurs sur le succès d'établissement de plantules à partir de semences mérite d'être approfondie afin de favoriser la mise en place de techniques de restauration fiables et efficaces pour ces espèces. L'acquisition de ces connaissances permettrait ensuite de s'attarder aux autres facteurs secondaires, telle l'influence des vagues sur le terrain, pouvant influencer l'implantation d'espèces vasculaires à partir de semences sur les sites en cours de restauration.

Cependant, l'obtention de semences pose un problème : les semences des espèces ne sont pas disponibles commercialement dans la plupart des cas. Leur récolte s'avère coûteuse en capital humain. Les fenêtres de maturité des semences et la localisation géographique ne sont pas les mêmes entre les espèces. De plus, les sites de récolte sont souvent difficiles d'accès et éloignés les uns des autres, nécessitant plusieurs excursions pour constituer une réserve de semences adéquate pour les besoins des projets. La volonté d'utilisation de semences pour la restauration amène alors naturellement la question de l'entreposage à plus

ou moins long terme de ces semences, sous des conditions accessibles aux praticiens de la restauration. La connaissance des conditions propices au maintien de la viabilité de ces semences permettrait alors d'échelonner la valorisation des lots de semences récoltés sur plusieurs projets distincts. Bien que certains *Carex* associés aux milieux humides semblent conserver davantage leur viabilité sous des conditions humides (Budelsky et Galatowitsch 1999, van der Valk et al. 1999), cette information est inconnue pour la plupart des plantes colonisant les bordures des mares en tourbières.

1.5 Hypothèses et objectifs de recherche

L'objectif principal de ce projet de recherche est d'évaluer l'utilisation de semences à des fins de restauration de populations de plantes vasculaires autour des mares et de mettre en lumière les conditions facilitant leur utilisation. Cette étude se divise en deux sections. La première concerne les conditions favorisant l'implantation des semences de plantes vasculaires de bord de mares (Chapitre 2) alors que la seconde partie traite des conditions propices à l'entreposage des semences de ces mêmes espèces (Chapitre 3).

Plus en détail, l'objectif du second chapitre est d'évaluer l'effet de trois lits de semences présents en tourbières naturelles, retrouvés en sites naturels et restaurés, et de deux niveaux d'eau sur la germination et l'établissement de plantules de certaines espèces associées aux bords de mares en tourbières. L'hypothèse soulevée affirme que ces conditions devraient refléter celles présentes dans les milieux naturels où chacune des espèces a été récoltée.

La seconde étude, présentée au troisième chapitre, vise à évaluer l'impact de différentes conditions d'entreposage sur la viabilité des graines des espèces de bords de mares. Les conditions testées sont des conditions jugées propices au maintien à court et moyen termes de la viabilité des semences, tout en demeurant facilement accessibles aux restaurateurs. L'hypothèse ici soulevée indique que les semences devraient conserver davantage leur viabilité sous un régime d'entreposage froid et humide, à l'instar de certains *Carex*.

Chapitre 2

Germination et croissance de plantes associées aux bords de mares de tourbières

2.1 Introduction

Les mares constituent une composante prépondérante des tourbières, autant pour leur contribution à l'hétérogénéité du paysage qu'à la diversité faunique et floristique (van Duinen *et al.* 2003, Verberk *et al.* 2006, Fontaine *et al.* 2007). Les mares et la végétation qui leur est généralement associée sont cependant éliminées par les méthodes d'extraction extensives de la tourbe des sites restaurés par la technique de transfert de sphaignes, laissant un relief relativement plat et uniforme même si le site a été restauré (Rochefort *et al.* 2003). La formation des mares dans les tourbières ombrotrophes étant un processus lent et complexe (Glaser et Janssens 1986, Foster et Wright 1990), la création de mares artificielles devient nécessaire pour s'assurer d'un retour rapide et efficace des espèces typiques de mares dans les tourbières restaurées. Cependant, la simple création de mares artificielles en tourbières restaurées, sans introduction active de végétation à leur pourtour, ne permet pas le retour des espèces associées à ce type de milieu (Mazerolle *et al.* 2006, Fontaine *et al.* 2007). Des techniques de restauration doivent donc être développées pour faciliter l'établissement des communautés végétales associées aux bords de mares en tourbières restaurées.

Quelques essais de restauration propres aux communautés de bords de mares ont déjà été effectués. Pour les bryophytes, les expérimentations menées par Fontaine (2008) ont montré des résultats concluants pour les sphaignes associées aux mares et aux dépressions humides, avec des taux de recouvrement ayant triplé la première année après introduction. Ces mêmes auteurs ont aussi montré qu'il est possible de restaurer des tapis de *Cladodiella fluitans* (Nees) H.Buch., une hépatique associée aux bords de mare, à partir

de fragments introduits et protégés avec de la paille. En revanche, l'établissement de tapis de bryophytes associés aux mares ne semble pas être favorable au retour des plantes vasculaires typiques des bords de mares, même si une certaine quantité de propagules était transférée avec les fragments de sphaignes et d'hépatiques lors des essais de restauration.

L'utilisation de semences pour la restauration des plantes vasculaires de bords de mares représente une option potentiellement avantageuse. L'introduction d'espèces végétales par le moyen de semences augmenterait la diversité génétique du site à restaurer, ce qui pourrait faciliter l'implantation d'individus adaptés aux conditions du milieu hôte tout en permettant à la fois de promouvoir la résilience de la population restaurée (Linhart et Grant 1996, Montalvo et al. 1997, Luck et al. 2003, Falk et al. 2006). Cependant, l'utilisation de semences nécessite une connaissance des conditions propices à leur germination et à l'établissement des plantules. À ce titre, on a montré que la germination chez plusieurs plantes de milieux humides était affectée par l'exposition à la lumière, la température, l'hydrologie et le type du substrat (Kellogg et al. 2003). Ce dernier pourrait avoir une importance capitale en restauration puisque les sphaignes et l'hépatique *Cladopodiella fluitans* tapissent généralement les bords des mares en tourbières naturelles (Fontaine et al. 2007), alors que la tourbe relativement bien décomposée est un matériau ubiquiste dans les sites à restaurer. L'étude présentée ici vise ainsi à comprendre l'importance des types de lits de semences, en synergie avec l'hydrologie, pour la germination de plantes vasculaires typiques des bords de mares et des dépressions humides de tourbières.

L'enfouissement des semences dans les tapis de bryophytes pourrait être bénéfique à leur germination. Les tapis de bryophytes pourraient en effet constituer un microhabitat pouvant capter les semences et empêcher leur lessivage. En contrepartie, les bryophytes peuvent limiter leur germination en bloquant le passage de la lumière (Clymo et Hayward 1982, Robroeck et al. 2009), plusieurs espèces de milieux humides dépendant fortement de la lumière pour germer (Baskin et Baskin 1998, Schültz 2000, Campbell et Rochefort 2003, Kettenring et al. 2006). De plus, les bryophytes peuvent faire compétition aux plantules émergeant des tapis (Hörnberg et al. 1997, Gunnarsson et Rydin 1998, Rydin et al. 2006). Par contre, comparativement aux sphaignes, les tapis de *C. fluitans* sont plus compacts et

pourraient permettre le maintien des semences à la surface, ce qui pourrait ainsi limiter la compétition et favoriser l'accès à la lumière. La tourbe à nu après extraction, quant à elle, est composée de particules fines potentiellement instables pouvant ensevelir les semences et les plantules, ce qui peut ainsi nuire à leur établissement (Campbell et Rochefort 2003). Quant au niveau d'eau par rapport à la surface du lit de semences, il pourrait influencer à la fois l'imbibition des semences et la stabilité du lit de semences. Un niveau d'eau élevé peut diminuer l'effet des divers lit de semences, facilitant la germination sur des substrats moins favorables ou plus grossiers (Keddy et Constabel 1986, Coops et van der Velde 1995, Baskin et Baskin 1998, Kellogg et al. 2003). Fortement dépendantes de leur environnement immédiat pour leur approvisionnement en eau (Héban 1977), les bryophytes pourraient aussi être favorisées par un niveau d'eau élevé. Cependant, des conditions de substrats saturées en eau pourraient s'avérer néfastes pour les plantes vasculaires. Une nappe près de la surface pourrait aussi influencer sur le comportement de la tourbe, qui devient sujette au soulèvement gélival (Groeneveld et Rochefort 2005) et à l'érosion lorsqu'humide.

Cette étude vise donc ainsi à évaluer quelles conditions du lit de semences favorisent l'établissement des espèces vasculaires de bords de mares et de dépressions humides de tourbières. Plus spécifiquement, nous voulons déterminer l'influence de trois types de lits de semences, soit la tourbe, la sphaigne et l'hépatique *Cladopodiella fluitans* ainsi que celle de deux niveaux d'eau sur la germination et la croissance de sept espèces vasculaires, et ce, dans une optique de restauration.

2.2 Matériel et méthodes

2.2.1 Dispositif expérimental

Au printemps 2008, une expérience en serre a été mise en place afin d'étudier l'effet de la nature du lit de semences et de la hauteur du niveau d'eau sur la germination et la croissance de sept espèces de plantes vasculaires de bords de mare. Trois types de lits de

semences ont été utilisés, soit un tapis de l'hépatique *Cladopodiella fluitans*, un tapis de sphaignes et un substrat de tourbe, ainsi que deux niveaux d'eau par rapport à la surface du lit de semences, selon un plan en blocs complets aléatoire avec six répétitions. Les semences des sept espèces de plantes vasculaires ont été introduites en groupes purs distribués aléatoirement au sein de chaque unité expérimentale, de façon à pouvoir les traiter individuellement.

2.2.2 Établissement des lits de semences

Récolte des lits de semences

Le matériel servant à la création des lits de semences a été récolté autour de mares d'une tourbière naturelle à Saint-Charles-de-Bellechasse, QC (46°46' N, 71°00' O), en septembre 2007. Des sphaignes de la section taxonomique *Cuspidata* (principalement composées de *Sphagnum cuspidatum* Hoffman et *S. fallax* (H. Klinggräff) H. Klinggräff) ont été récoltées puis entreposées dans des sacs de plastique, à 4 °C, jusqu'à leur utilisation. Des tapis de *Cladopodiella fluitans* (Nees) H.Buch. ont été prélevés et entreposés dans des bacs de plastique, au congélateur (-4 °C) jusqu'à leur utilisation. Les tapis ont été sélectionnés pour l'uniformité du couvert de *C. fluitans* et l'absence d'algues, de nécroses ou de plantes vasculaires.

Mise en place des bacs

Les lits de semences ont été établis en mars 2008 dans des bacs de plastique (70 L x 40 l x 50 P cm) en serre. Les bacs ont été modifiés de façon à contrôler et à y suivre le niveau d'eau (Figure 2.1). Les bacs ont été remplis avec 33 cm de tourbe de grade H4 selon l'échelle de Von Post (Parent 2001), puis arrosés avec de l'eau distillée jusqu'à humidification complète de la tourbe. Les bacs ont par la suite été drainés et la surface de la tourbe nivelée. Pour les sphaignes, un tapis continu de 2-3 cm d'épaisseur a été recréé pour

chacun des bacs à partir de fragments récoltés sur le terrain alors que pour *Cladopodiella fluitans*, un tapis dense et continu récolté sur le terrain a été transféré dans chacun des bacs. Le niveau d'eau a été maintenu à 5 cm sous la surface du lit de semences pour tous les bacs pendant la période d'établissement des tapis, soit 4 mois de mars à juin 2008. Durant cette période, les bacs ont été désherbés régulièrement et la température moyenne a été maintenue à $21,5 \pm 0,4$ / $16,0 \pm 0,5$ °C (jour/nuit) avec une humidité relative de l'air à $68,2 \pm 2,4$ / $71,1 \pm 3,8$ % (jour/nuit). L'éclairage naturel associé au besoin avec un éclairage d'appoint artificiel (lampes sodium 400W) a permis de maintenir une photopériode à un ratio de 16:8 h (jour:nuit) avec une intensité moyenne de $35 \text{ mol/m}^2/\text{jour}$ (PAR). L'arrosage de tous les bacs durant l'établissement des tapis a été effectué avec une solution Rudolph modifiée (Faubert et Rochefort 2002) afin d'obtenir rapidement des tapis uniformes de sphaignes. L'ensemble des bacs a été randomisé après 1,5 mois, afin de limiter l'impact potentiel d'un gradient de ventilation et de lumière sur l'établissement des lits de semences.

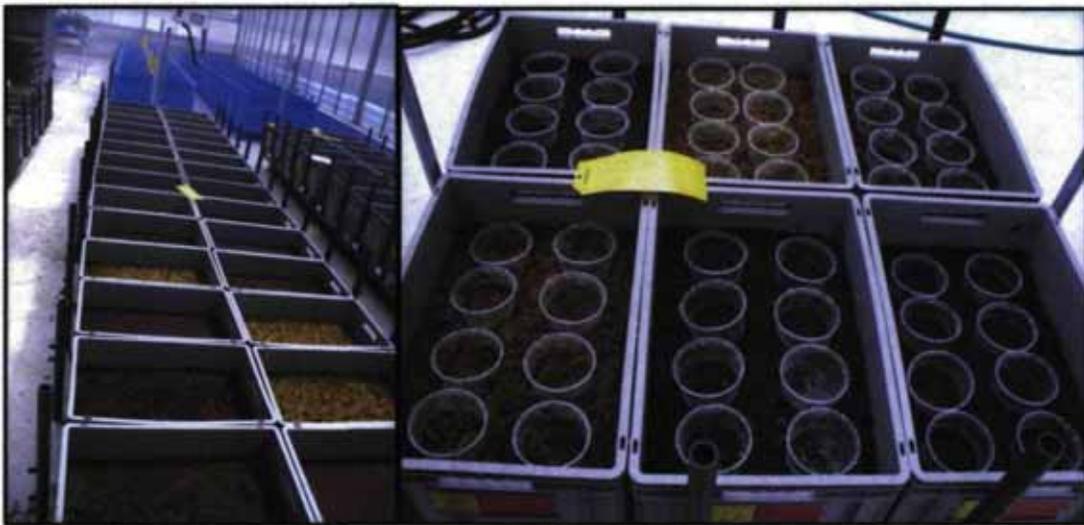


Figure 2.1 Dispositif de l'expérience en serre testant l'effet de trois lits de semence et deux niveaux d'eau. À gauche, bacs et lits de semences lors de l'établissement des tapis; à droite, pots de plastique destinés à contenir les semences des sept espèces pendant l'expérience ainsi que du témoin.

Suite à la période d'établissement des lits de semences, les niveaux d'eau des bacs ont été ajustés à 0 et -10 cm par rapport à la surface du lit de semences, de manière à créer un traitement humide et un plus sec pour représenter les différentes conditions prévalant près

des mares en tourbières naturelles. Cet ajustement s'est effectué une semaine avant les semis.

Pour le reste de la durée de l'expérience, les bacs ont été arrosés avec de l'eau de pluie. La variation du niveau d'eau par rapport à la surface a été mesurée avant chaque arrosage, soit trois fois par semaine, et ce, jusqu'à la fin de l'expérience. L'abaissement moyen des niveaux d'eau par rapport à la surface au cours de l'expérience, tout lit de semences confondu, s'est établi à $-3,9 \pm 0,25$ cm pour le traitement le plus humide alors qu'il est parvenu à $-16,8 \pm 0,47$ cm pour le traitement le plus sec.

Récolte et entreposage des semences

Nous avons sélectionné sept espèces qui colonisent habituellement le bord des mares ou les dépressions humides en tourbières naturelles. Certaines de ces espèces ont été identifiées comme étant fortement associées aux mares en tourbières naturelles et absentes des sites restaurés (Fontaine et al. 2007). Les infructescences de *Carex limosa* L., *C. oligosperma* Michx., *C. pauciflora* Lightf., *C. magellanica* Lamarck subsp. *irrigua* (Wahlenburg) Hiitonen, *Drosera intermedia* Hayne, *Rhynchospora alba* (L.) Vahl. et *Scheuchzeria palustris* L. ont été récoltées à leur maturité entre le 5 août et le 15 septembre 2007 au sein de différentes mares dans dix tourbières naturelles du Québec et du Nouveau-Brunswick (Tableau 2.1). Les infructescences récoltées ont été séchées pendant trois mois à l'air libre au laboratoire. Les semences et les périgynes¹ ont par la suite été séparées manuellement des hampes florales et des débris végétaux. Le terme 'semences' sera utilisé dans ce texte référant à la propagule sexuée utilisée au cours des expériences, autant lorsqu'il est question d'un fruit (ex : périgynes de *Carex*) que de graines (ex : *D. intermedia*). Une vanneuse a été utilisée pour le nettoyage les semences d'espèces dont le diamètre est supérieur à 2 mm, alors que les semences de plus petit gabarit (*D. intermedia*, *R. alba*) ont été nettoyées manuellement. Pour chaque espèce, les semences provenant des différentes localités de récoltes ont été mélangées afin d'éviter l'effet propre à la localité dans les

¹ Périgyne: Bractée concrescente par ses bords et qui enveloppe le fruit, l'achaine, chez les *Carex* (Marie-Victorin 1995).

traitements appliqués par la suite. Elles ont ensuite été stratifiées entre des papiers-filtres humides à 4 °C durant quatre mois, de janvier à mai 2008.

Tableau 2.1 Coordonnées, localités et numéro de référence des dix tourbières naturelles où les semences des espèces à l'étude ont été récoltées. (LIM : *Carex limosa*, MAG : *Carex magellanica*, OLI : *Carex oligosperma*, PAUCI : *Carex pauciflora*, DRO : *Drosera intermedia*, RHY : *Rhynchospora alba*, SCH : *Scheuchzeria palustris*).

Sites	Localités	Coordonnées	Numéro de référence ^a	Espèces récoltées							
				LIM	MAG	OLI	PAUCI	DRO	RHY	SCH	
Sungro Horticulture Canada Ltée.	Chiasson Village, NB	47° 45' N, 64° 37' O	591		☼						
Mousse Acadienne Ltée.	Lamèque, NB	47° 50' N, 64° 35' O	568				☼				
Tourbes Nirom Peat Moss inc.	Saint-Charles-de-Bellechasse, QC	46° 46' N, 71° 00' O	360002	☼		☼		☼	☼	☼	
Tourbière naturelle	Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier, QC	46° 52' N, 71° 35' O	380003	☼		☼	☼	☼			☼
Lac Jaune, Duschenay	Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier, QC	46° 52' N, 71° 40' O	N/D	☼				☼	☼		
Tourbière naturelle	Saint-Étienne-de-Lauzon, QC	46° 39' N, 71° 19' O	370005			☼	☼		☼		
Tourbière naturelle	Saint-Narcisse-de-Rimouski, QC	48° 17' N, 68° 26' O	N/D	☼							
Tourbière naturelle	Saint-Valérien-de-Rimouski, QC	48° 20' N, 68° 40' O	190006	☼							
Terre de la Couronne	Shippagan, NB	47° 44' N, 64° 42' O	527		☼						
Lac Le goulet	Shippagan, NB	47° 43' N, 64° 43' O	527		☼						

^a Lorsque disponible, les numéros de références pour les sites dans la province de Québec sont issus de l'Atlas des tourbières du Québec méridional (Buteau 1989), alors que ceux des sites du Nouveau-Brunswick correspondent à ceux qui leur sont attribués par le Ministère des Ressources Naturelles de la province (Dept. of Natural Resources, 2008).

Viabilité des semences

Afin de vérifier si les semences utilisées étaient viables et pour expliquer l'éventuelle absence de germination, un test de tétrazolium (Grabe 1970) a été effectué sur les lots stratifiés, juste avant le semis. La viabilité de quatre lots de 25 semences pour chaque espèce a été évaluée, sauf dans le cas de *C. magellanica* où $n = 3$. Les tests de viabilité ont indiqué que les semences des espèces à l'étude étaient viables, mais que la viabilité variait considérablement d'une espèce à l'autre (Tableau 2.2). Les taux de viabilité estimés

variaient de 20 à 73 % selon les espèces, *C. limosa* présentant les valeurs les plus faibles. Les semences ont été utilisées telles quelles, sans ajustement sur le taux de semis en fonction de leur viabilité.

Tableau 2.2 Viabilité des semences utilisées (erreur type entre parenthèses) pour l'expérience de germination et de croissance des sept espèces associées aux bords de mares, estimée par un test de tétrazolium (lot de 25 semences, n = 4, sauf *C. magellanica* où n = 3).

Espèces	moyenne (%)
<i>Carex limosa</i>	20 (2)
<i>Carex magellanica</i>	32 (6)
<i>Carex oligosperma</i>	37 (3)
<i>Carex pauciflora</i>	30 (6)
<i>Drosera intermedia</i>	49 (5)
<i>Rhynchospora alba</i>	73 (3)
<i>Scheuchzeria palustris</i>	57 (3)

2.2.3 Suivi de la germination et de la croissance

Au début du mois de juin 2008, des pots de polypropylène (TwinPak™, 500 ml, Ø 107 mm), dont le fond a été enlevé, ont été utilisés pour circonscrire l'introduction des semences de chaque espèce au sein des bacs. Les sept espèces et un témoin (aucune introduction) ont été attribués aléatoirement aux huit pots placés systématiquement dans chacun des bacs (Figure 2.1).

Cent semences préalablement stratifiées (voir ci-haut) ont été placées dans chaque pot en les déposant sur le lit de semences. Le suivi de la germination a été fait trois fois par semaine pendant les six premières semaines, puis une fois par semaine jusqu'à la fin de l'expérience, soit pendant 91 jours. À chaque arrosage, un soin particulier a été pris pour s'assurer qu'aucune semence ne restait adhérente à la paroi du pot de plastique. Les cinq premières plantules qui ont levé ont été conservées pour le suivi de la croissance. Toutes les plantules excédentaires ont été enlevées à l'aide de pinces dès leur levée. Une semence a

été considérée comme ayant germé lorsque le tégument était fracturé et que les appareils photosynthétiques étaient visibles. Dans le cas de *D. intermedia*, le décompte était fait dès que la première feuille avait développé complètement ses tentacules, vu la difficulté de les distinguer de la végétation à des stades plus jeunes. Le suivi de la croissance des plantes a été fait mensuellement. Le nombre de feuilles complètement déployées, le nombre et la hauteur des tiges de chaque plante ont été mesurés. Dans le cas de *D. intermedia*, nous avons mesuré le diamètre de la plante. Durant les trois mois de suivi de la germination et de la croissance, la température moyenne était de $23,5 \pm 1,3$ °C / $18,8 \pm 1,2$ °C (jour/nuit) et l'humidité relative de $67,0 \pm 4,1$ % / $75,4 \pm 7,3$ % (jour/nuit).

Une application d'insecticide systémique a été nécessaire le 28 juillet 2008 pour contrôler une infestation de pucerons sur les Cypéracées de l'expérience. Une seule application d'Intercept™ 60 WP (Imidacloprid, Bayer CropScience), à une concentration de 0,13 g/L, a été faite sur l'ensemble des plantes de l'expérience pour contrôler efficacement l'infestation.

Les parties aériennes des plantes ont été récoltées après trois mois de croissance, séchées à l'étuve à 70 °C pendant 48 heures, puis pesées à l'aide d'une balance électronique (Sartorius MC1 Laboratory LC 620 P) à une précision de 0,001 g.

2.2.4 Analyses statistiques

Une ANOVA à deux voies avec un plan en blocs complets aléatoires a été effectuée sur les données de germination et de biomasse aérienne. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de la procédure GLM du logiciel de traitement statistique SAS (version 9.3.1, SAS Institute). Pour toutes les analyses, le niveau de signification a été établi à $p = 0,05$. Les données ont aussi été testées pour l'homogénéité de la variance et la normalité de leurs résidus. Dans le cas d'un effet significatif, les différences entre les traitements ont été déterminées à l'aide de la procédure LSMEANS, alors qu'en présence d'interaction significative entre les traitements, l'option SLICE a été utilisée en conjonction avec le

LSMEANS pour cerner l'effet des facteurs les uns sur les autres.

Chaque espèce a été traitée individuellement pour les analyses statistiques. Une correction a été apportée sur les totaux de germination de *D. intermedia* et *R. alba* afin de tenir compte de la germination spontanée de semences présentes initialement dans les tapis. Ces deux espèces sont les seules à avoir été retrouvées dans les pots 'témoin' au cours du suivi de la germination. Lorsque présentes, le nombre de plantules dénombrées dans le témoin a été soustrait du nombre de germinations observées dans un bac, et ce, pour chaque espèce. Dans le cas de *D. intermedia*, le dénombrement des plantules s'est effectué sur la base du genre *Drosera*, les espèces de ce genre pouvant être difficiles à distinguer à de jeunes stades de croissance.

2.3 Résultats

Germination et production de biomasse aérienne

Le taux de viabilité relativement bas de certaines espèces (Tableau 2.2) a eu une influence directe sur les taux de germination de l'expérience (Figure 2.2). Des taux de germination très bas, comme pour *Carex limosa* et *C. pauciflora*, étaient dus au fait qu'initialement les taux de viabilité étaient également bas et que nous n'avons pas augmenté le nombre de semences utilisées pour l'expérience en serre. En général, les taux de germination ont été favorisés par un niveau d'eau élevé, ainsi que sur les lits de tourbe et de sphaignes (Figure 2.2), ces traitements produisant généralement un nombre de plantules plus élevées dans un plus court laps de temps (Figure 2.3). Les périodes de germination les plus longues coïncidaient souvent avec une combinaison de traitements plus secs, sur un lit de semence plus dense où les semences étaient davantage exposées et avaient peu de contact avec le lit de semences (*Cladopodiella*). Quant à la production de biomasse, les espèces semblent être favorisées par des conditions bien définies, qui varient d'une espèce à l'autre. Les membres du genre *Carex* ont eu une meilleure production sur les lits de semences de sphaignes, alors

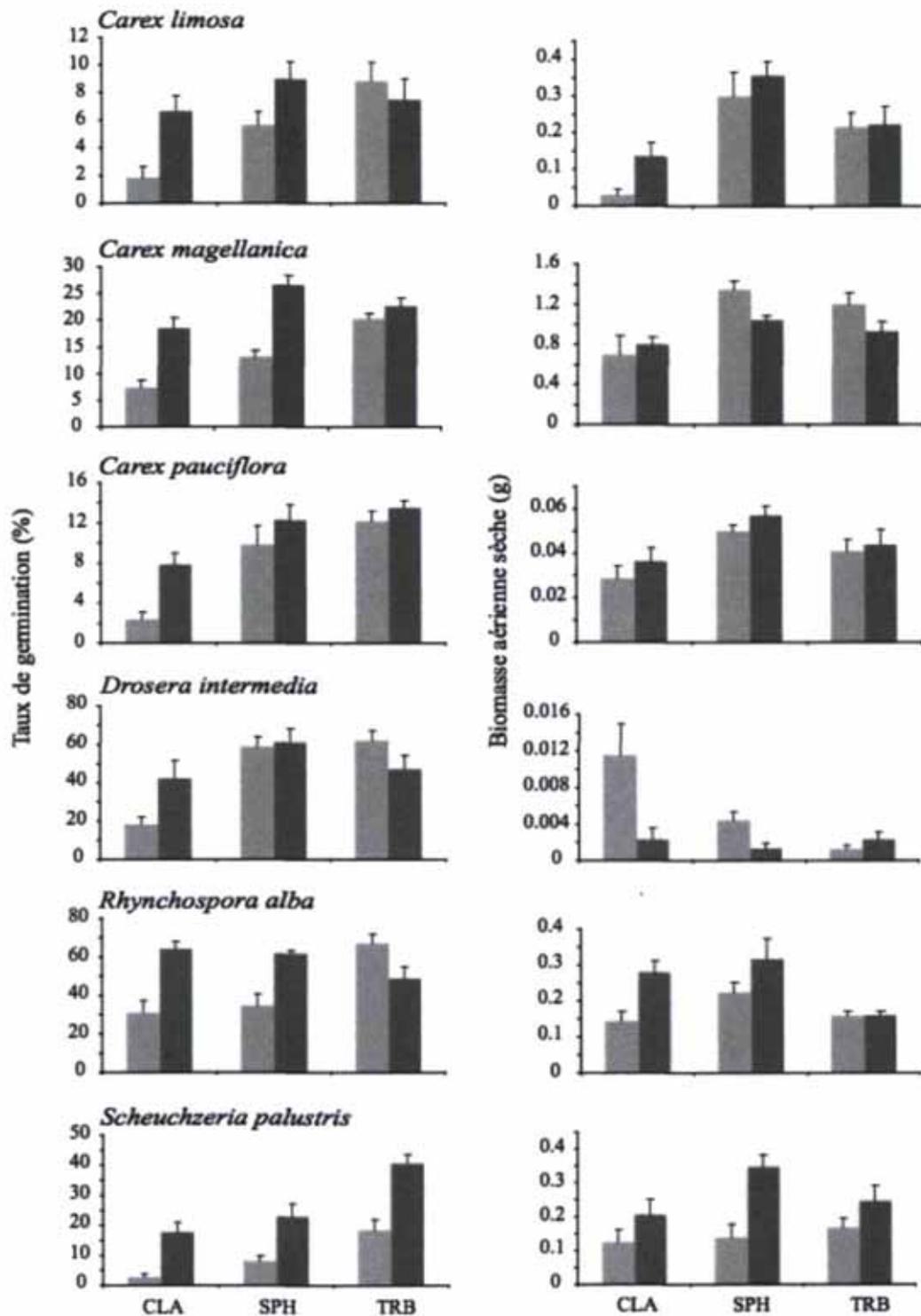


Figure 2.2 Taux de germination et production de biomasse aérienne chez six espèces associées aux bords de mares selon deux niveaux d'eau (gris foncé : 0 cm; gris pâle : -10 cm) et trois types de lit de semence (CLA : *C. fluitans*, SPH : *Sphagnum*, TRB : Tourbe). Les barres d'erreur représentent l'erreur-type. N.B. Attention aux échelles différentes entre les espèces.

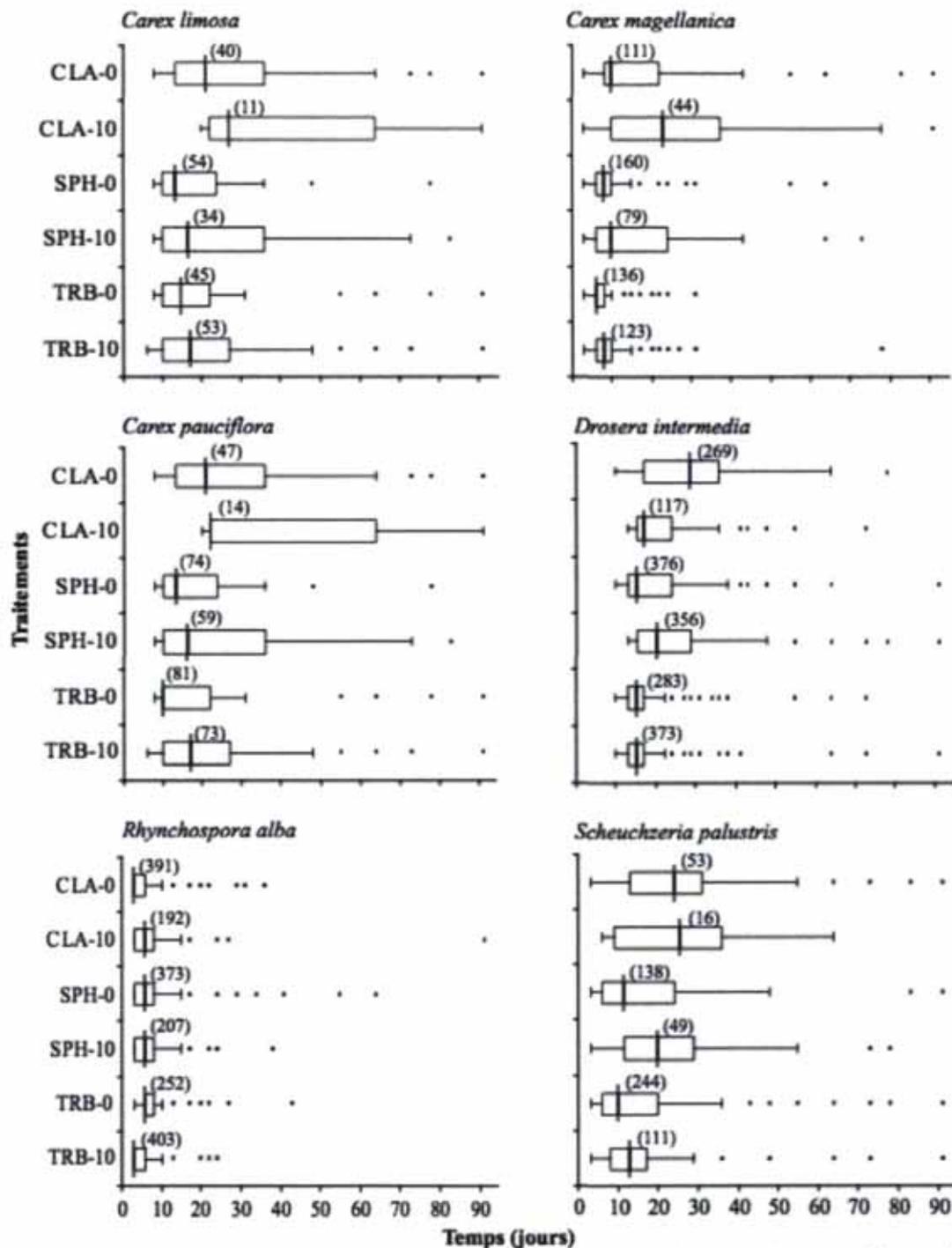


Figure 2.3 Répartition de la germination des semences à travers le temps de six espèces associées aux bords de mares en fonction des traitements à l'étude. (lit de semences : CLA = *C. fluitans*, SPH = *Sphagnum*, TRB = Tourbe; niveaux d'eau : 0 = niveau d'eau à 0 cm par rapport à la surface, 10 = -10 cm). Les nombres entre parenthèses représentent le total du décompte des plantules pour les six réplicats. Les boîtes représentent 25 et 75 % de la germination, alors que les lignes horizontales dénotent la germination initiale et finale, sauf pour les extrêmes (*). La ligne verticale la plus longue représente la médiane (50 %). Note : les valeurs utilisées n'ont pas été corrigées par rapport aux témoins.

que *D. intermedia* a montré un meilleur taux de croissance sur le traitement le plus sec de *Cladopodiella* (Figure 2.2). *R. alba* s'est aussi illustré avec une meilleure production de biomasse aérienne sur *Cladopodiella*, mais aussi sur la sphaigne, pour le niveau d'eau le plus élevé. Finalement, la croissance de *S. palustris* a été favorisée simplement par un niveau d'eau maintenu près de la surface, peu importe le traitement. Une analyse plus détaillée de ces résultats pour chacune des espèces est présentée dans la section suivante.

Carex limosa

Avec *Carex pauciflora*, *Carex limosa* est l'espèce qui a montré les taux de germination les plus faibles (6,6 % en moyenne), mais la viabilité des semences était également basse initialement ($20 \pm 2\%$; Tableau 2.2). Le lit de semences de *Cladopodiella* a nuit à la germination des semences de *C. limosa*, les taux de germination y ayant été 1,9 et 1,7 fois plus faible que sur la tourbe ou la sphaigne (Figure 2.2, Tableau 2.3). Un niveau d'eau élevé a favorisé un taux de germination plus élevé chez *C. limosa*, générant 1,4 fois plus de plantules qu'au niveau d'eau le plus bas. La vitesse de germination sur la tourbe et la sphaigne a aussi été plus rapide que sur *Cladopodiella*. De plus, un niveau d'eau élevé accélérât davantage la germination au sein de chaque lit de semences (Figure 2.3). Quant à la production de biomasse aérienne, les plants de *C. limosa* ont produit une quantité maximale de biomasse sur la sphaigne, une quantité intermédiaire sur la tourbe et la plus faible biomasse sur *Cladopodiella*. Le niveau d'eau n'a pas eu d'impact sur la production de biomasse pour cette espèce.

Carex magellanica

Les taux de germination obtenus pour *Carex magellanica* étaient de 18 % en moyenne. Au niveau d'eau le plus bas, la germination a été meilleure sur la tourbe, alors qu'avec un niveau d'eau élevé, ce sont à la fois la sphaigne et la tourbe qui ont favorisé les plus hauts taux de germination (Figure 2.2, Tableau 2.3). L'effet du niveau d'eau n'a été marqué que sur le tapis d'hépatique et sur la sphaigne, où des taux de germination 2,5 et 2 fois plus

Tableau 2.3 ANOVA à deux voies pour un plan en bloc complet aléatoire afin d'évaluer l'effet du lit de semence et du niveau d'eau sur la germination et la production de biomasse aérienne chez six espèces associées aux bords de mares. Les valeurs de p en caractères gras soulignent les différences significatives.

<i>C. limosa</i>		Germination		Biomasse	
Sources de variations	dl	F	p	F	p
bloc	5	0,2	0,967	0,8	0,548
eau	1	4,8	0,039	2,0	0,167
lit de semences	2	5,21	0,013	12,3	<0,001
eau x lit de semences	2	3,2	0,059	0,5	0,622
erreur	25				
Total	35				
<i>C. magellanica</i>		Germination		Biomasse	
Sources de variations	dl	F	p	F	p
bloc	5	0,5	0,783	1,7	0,183
eau	1	51,9	<0,001	3,2	0,085
lit de semences	2	17,8	<0,001	9,4	<0,001
eau x lit de semences	2	7,4	0,003	2,2	0,130
erreur	25				
Total	35				
<i>C. pauciflora</i>		Germination		Biomasse	
Sources de variations	dl	F	p	F	p
bloc	5	0,7	0,619	3,2	0,023
eau	1	9,1	0,006	2,8	0,106
lit de semences	2	20,6	<0,001	11,2	<0,001
eau x lit de semences	2	1,4	0,256	0,2	0,813
erreur	25				
Total	35				
<i>D. intermedia</i>		Germination		Biomasse	
Sources de variations	dl	F	p	F	p
bloc	5	0,8	0,596	1,0	0,431
eau	1	0,5	0,502	8,1	0,009
lit de semences	2	11,0	<0,001	5,6	0,010
eau x lit de semences	2	4,1	0,028	5,1	0,014
erreur	25				
Total	35				
<i>R. alba</i>		Germination		Biomasse	
Sources de variations	dl	F	p	F	p
bloc	5	2,0	0,113	0,7	0,625
eau	1	12,7	0,002	8,7	0,007
lit de semences	2	2,9	0,073	6,0	0,007
eau x lit de semences	2	17,3	<0,001	2,4	0,115
erreur	25				
Total	35				
<i>S. palustris</i>		Germination		Biomasse	
Sources de variations	dl	F	p	F	p
bloc	5	0,9	0,505	1,1	0,398
eau	1	48,5	<0,001	14,7	<0,001
lit de semences	2	21,6	<0,001	2,0	0,154
eau x lit de semences	2	0,9	0,403	1,6	0,2276
erreur	25				
Total	35				

élevés ont été observés au niveau d'eau élevé. Les trois traitements ayant produit les meilleurs taux de germination ont également été ceux favorisant une germination rapide (SPH0, TRB0, TRB10; Figure 2.3). Quant à la biomasse, la meilleure production a été observée sur la sphaigne et la tourbe, indépendamment des niveaux d'eau (Figure 2.2, Tableau 2.3), ces deux lits de semences ayant favorisé une accumulation de biomasse environ 1,5 fois plus élevée que le tapis d'hépatiques.

Carex oligosperma

Bien que les semences de *C. oligosperma* aient été testées comme étant viables à $37 \pm 2,5$ % par le test de tétrazolium lors du semis (Tableau 2.3), aucune germination ou plantule n'a été observée tout au long de l'expérience, et ce, pour tous les traitements.

Carex pauciflora

Tout comme pour *Carex limosa*, les taux de germination pour *Carex pauciflora* étaient faibles (9,6 % en moyenne), alors que la viabilité des semences était intermédiaire initialement ($30 \pm 6\%$; Tableau 2.2). La germination de *C. pauciflora* a été favorisée par le maintien de l'eau près de la surface (Figure 2.2, Tableau 2.3). En effet, un niveau d'eau élevé augmentait d'environ 1,4 fois le taux de germination en comparaison avec le niveau le plus bas. Quant aux lits de semences, le tapis de *Cladopodiella* a été défavorable à la germination, produisant des taux de germination de 2,2 et 2,4 fois plus bas comparativement à la sphaigne et à la tourbe (Figure 2.2, Tableau 2.3). La différence de temps requis pour obtenir la majorité de la germination était moins marquée entre les divers traitements que chez les autres *Carex*. En effet, bien que la germination sur un tapis d'hépatiques plus sec (CLA10) se soit étirée davantage dans le temps, la plupart des traitements ont permis à la majorité des graines de germer en moins de 35 jours (Figure 2.3). À l'instar de *Carex limosa*, la plus forte production de biomasse a été obtenue sur la sphaigne et la moins forte production sur le tapis d'hépatique (Figure 2.2,

Tableau 2.3). Tout comme pour les deux autres *Carex*, le niveau d'eau n'a pas eu d'impact sur la quantité de biomasse produite.

Drosera intermedia

Pour *Drosera intermedia*, les taux de germination ont été relativement élevés (48 % en moyenne), tout comme la viabilité lors du semis ($49 \pm 5\%$; Tableau 2.2). La germination de *D. intermedia* a été moindre seulement sur les tapis de *Cladopodiella* au niveau d'eau le plus bas (Figure 2.2, Tableau 2.3). Les taux de germination sur les tapis de *Cladopodiella* plus sec ont été environ 3,3 fois plus bas que sur la tourbe et la sphaigne au niveau d'eau le plus bas. Le tapis d'hépatique est le seul où le niveau d'eau a eu un effet déterminant sur la germination, des taux 2,3 fois plus élevés ayant été observés au niveau d'eau près de la surface. La répartition de la germination au fil du temps a en revanche été restreinte à une plus courte période sur la tourbe, alors qu'on a pu observer des périodes relativement similaires pour les deux autres lits de semences. Les niveaux d'eau n'ont pas eu d'influence prononcée sur la répartition de la germination au fil du temps, sauf dans le cas du tapis d'hépatiques, chez lequel un niveau d'eau plus élevé a prolongé la durée de germination, un grand nombre de plantules y ayant été recensées sur plus de 60 jours (Figure 2.3). Quant à la croissance, la nature du lit de semences a influencé le taux de croissance seulement au niveau d'eau le plus bas, où la biomasse aérienne sur *Cladopodiella* a été 3 et 6 fois plus élevée que sur la sphaigne et la tourbe respectivement (Figure 2.2, Tableau 2.3). En contrepartie, aucune différence significative n'a été observée entre les lits de semences à un niveau d'eau maintenu près de la surface. En fait, la réponse de la croissance a été à l'inverse de la germination, avec des taux de croissance maximaux sur un tapis d'hépatique sec.

Rhynchospora alba

Les trois types de lits de semences ont donné de très bons taux de germination pour *Rhynchospora alba* (51 % en moyenne), bien que les résultats variaient en fonction du

niveau d'eau (Tableau 2.3, Figure 2.2). Au niveau d'eau le plus bas, les semences ont présenté des taux de germination environ 2 fois plus bas sur *Cladopodiella* et sur la sphaigne comparativement à la tourbe. *R. alba* est également l'espèce qui a montré la réponse de germination la plus rapide, la levée de la majorité des plantules s'étant produite sur l'ensemble des traitements en moins de 15 jours (Figure 2.3). La plus forte croissance de *R. alba* a été observée sur les lits de bryophytes les plus humides (Figure 2.2, Tableau 2.3). Le niveau d'eau élevé a en effet permis une production de biomasse aérienne 1,3 fois plus élevée que lorsque l'eau était maintenue à son niveau le plus bas. Quant aux lits de semences, la sphaigne et le *Cladopodiella* ont permis d'obtenir 1,7 et 1,3 fois plus de biomasses aériennes que la tourbe.

Scheuchzeria palustris

Pour *Scheuchzeria palustris*, le succès de germination a été intermédiaire, en comparaison avec les autres espèces (18 % en moyenne), en dépit du fait que les semences aient montré un bon taux de viabilité lors du semis (57 ± 3 %; Tableau 2.2). Un niveau d'eau en surface a permis un taux de germination trois fois plus élevé qu'un niveau d'eau plus bas (Figure 2.2, Tableau 2.3). De plus, le taux de germination des semences a été 2 et 3 fois supérieur sur la tourbe que sur les tapis de sphaignes et d'hépatiques respectivement. La tourbe a aussi permis un taux de germination plus rapide que les autres lits de semences, alors que le niveau d'eau a eu peu d'effet sur l'étalement de la germination dans le temps (Figure 2.3). Par contre, seul le niveau d'eau a influencé la production de biomasse aérienne (Tableau 2.3), où la biomasse produite au niveau d'eau élevé a été 2 fois plus élevée qu'en conditions plus sèches (Figure 2.2).

2.4 Discussion

2.4.1 Germination

Pour la majorité des espèces à l'étude, les taux de germination étaient plus élevés lorsque le niveau d'eau était maintenu près de la surface. De plus, un niveau d'eau élevé atténuait l'effet du lit de semences sur la germination pour toutes les espèces étudiées. Ces résultats vont de pair avec l'étude de Keddy et Constabel (1986) en milieux lacustres, qui a montré qu'un niveau d'eau près de la surface favorisait la germination et diminuait l'effet du gradient de granulométrie du lit de semences sur la germination de plusieurs espèces et cela de façon plus marquée pour les semences de petites tailles. La proximité de l'eau par rapport à la surface faciliterait l'imbibition des semences. Par exemple, on a montré que pour les semences de plantes agricoles, la facilité avec laquelle elles peuvent obtenir l'eau nécessaire à leur imbibition lorsqu'elles sont semées à la surface d'un lit de semences influe sur les taux de germination (Harper et Benthon 1966). La germination est ainsi plus élevée lorsque la tension d'eau est plus faible ou lorsque la semence est soit ensevelie, en meilleur contact avec le lit de semences ou protégée de l'évaporation.

Dans notre expérience, les particules fines de la tourbe, de nature instable, ont pu partiellement ensevelir les semences et améliorer leur contact avec l'eau du sol, facilitant ainsi leur imbibition et la survie de la plantule. Le tapis de sphaigne est également perméable aux semences et a pu maintenir un microclimat favorable à leur germination (Hörnberg et al. 1997, Gunnarsson et Rydin 1998, Rydin et al. 2006). En revanche, le tapis d'hépatique a plutôt maintenu les semences en surface, ce qui aurait réduit leur imbibition. Les feuilles et les tiges de cette hépatique forment un tapis très serré et stable, où seules les plus petites semences peuvent pénétrer et bénéficier ainsi d'une protection grâce à un microclimat favorable. Ce sont en effet les espèces avec les semences les plus petites (*D. intermedia*, *R. alba*) qui ont obtenu de meilleurs taux de germination sur les tapis d'hépatique.

L'effet de l'ensevelissement sur l'exposition à la lumière ne semble pas avoir affecté les espèces à l'étude, les meilleurs taux de germination ayant été observés bien souvent sur la tourbe et la sphaigne (Figure 2.2, Figure 2.3). Il est cependant connu que l'exposition à la lumière revêt une grande importance pour la germination de plusieurs espèces de milieux humides (Baskin et Baskin 1998, Schültz 2000, Campbell et Rochefort 2003, Kettering et al. 2006). À cet égard, la tourbe et la sphaigne ne laisseraient filtrer la lumière qu'à une faible profondeur. La quantité de lumière transmise serait pratiquement inexistante à partir de quelques millimètres de profondeur pour la tourbe, tel qu'assumé par Campbell et Rochefort (2003) en comparant les valeurs pour des sols de couleur et texture similaires dans la littérature. Pour la sphaigne, la lumière pénétrerait jusqu'à une profondeur de 2 cm, selon l'espèce composant dans le tapis (Robroeck et al. 2009). L'état des lits de semences dans les bacs expérimentaux de la présente étude, tel qu'une plus grande compaction du substrat de tourbe et une plus faible densité de sphaignes, pourrait avoir permis une bonne exposition à la lumière.

Les traitements plus humides ont provoqué généralement une levée plus rapide des plantules. Néanmoins, la tourbe, suivie de la sphaigne, favorisait aussi une levée plus rapide, *C. fluitans* étant souvent le tapis où la germination était la plus lente. Une germination rapide et massive des semences introduites pourrait favoriser l'introduction de ces espèces dans les sites restaurés, limitant ainsi la fenêtre temporelle pendant laquelle les semences sont exposées aux risques d'être balayées par le vent et les précipitations. Une germination des semences sur une plus courte durée de temps pourrait permettre, dans le cas d'une introduction manuelle, de déterminer la meilleure période de semis. Cette opportunité permettrait d'éviter les risques de mortalité dus au soulèvement gélival (tôt au printemps) et les risques accrus de dessiccation des semences et plantules durant les chaleurs estivales, pour les semis tardifs. Dans le cas de *D. intermedia* sur le tapis d'hépatique humide (CLA0; Figure 2.3), la répartition de la germination sur une plus longue période que tous les autres traitements pourrait être due à la difficulté de discerner les jeunes plantules au travers du tapis d'hépatiques.

Une dormance non levée de la semence pourrait être la cause de l'absence de germination chez *C. oligosperma*, les semences ayant été testées comme étant viables (Tableau 2.2). Bien que Campbell et Rochefort (2003) aient obtenu la germination de graines de *C. oligosperma* après une incubation dans la tourbe pendant 54 semaines à 4 °C, leur essai préliminaire avec une scarification du tégument de l'achaine et une stratification au froid (20 semaines, 4 °C) n'avait pas provoqué de germination. Il est donc possible que *C. oligosperma* nécessite une stratification froide plus longue que les autres espèces de *Carex*, ou que la levée de sa dormance et sa germination nécessitent des conditions très particulières et complexes à cibler, tel que pour d'autres *Carex* (Baskin et Baskin 1998, Schültz 2000, Kettering et al. 2006).

2.4.2 Biomasse aérienne

Les espèces du genre *Carex* ont montré une meilleure croissance sur les tapis de sphaignes, sans influence marquée du niveau d'eau. Seul *C. magellanica* a obtenu d'aussi bons taux d'accumulation de biomasse aérienne sur la tourbe. Tous les lits de semences de bryophytes dans nos bacs avaient un substrat sous-jacent de tourbe. Le microclimat offert par le tapis de sphaigne et la protection relative contre le mouvement du substrat lors des arrosages ont donc probablement favorisé l'implantation de jeunes plantules comparativement aux bacs contenant seulement de la tourbe à nu. La nature plus poreuse du tapis de sphaigne a aussi pu permettre un meilleur développement des racines en surface, les semences ayant parfois de la difficulté à s'implanter sur des surfaces lisses ou compactes (Sheldon 1974, Chambers et MacMahon 1994). Comme le taux de pénétration des racines est directement relié au succès d'établissement des plantules (Campbell et Rochefort 2003), la perméabilité du lit de semence a pu favoriser une plus grande accumulation de biomasse par les *Carex* ensemencés sur la sphaigne. Le niveau d'eau n'a toutefois pas eu d'effet sur la croissance des trois espèces de *Carex*. Dans le cas de *C. magellanica*, les racines ont fortement colonisé les bacs, même sous la ligne du niveau d'eau, ce qui peut avoir contribué à atténuer l'effet du niveau d'eau. Néanmoins, plusieurs auteurs ont rapporté des résultats similaires, à l'effet que la quantité de biomasse totale produite par certains *Carex* a été la

même, bien que la croissance de ces plantes se soit réalisée à des niveaux d'eau différents (Gold 2000, Visser et al. 2000, Weltzin et al. 2000).

Dans le cas de *D. intermedia*, le tapis d'hépatique sec s'est clairement démarqué des autres lits de semence en donnant des quantités de biomasse aérienne beaucoup plus grandes. Une fois la plantule levée, son succès d'établissement dépendrait de son habileté à croître rapidement en évitant la compétition par les autres plantes. Plusieurs plantes carnivores sont reconnues pour être intolérantes à l'ombrage (Brewer 1998, Ellison 2006) et la petite taille des plantules de *Drosera* les rend vulnérables à l'ensevelissement par des particules instables (Brewer 1999) comme la tourbe ou par les plantes environnantes. Tel que constaté à l'œil nu, les tapis de *Cladopodiella* au niveau d'eau le plus bas ont montré une apparence jaunie et une croissance ralentie, dues probablement aux conditions plus sèches que celles retrouvées dans son habitat naturel (Bragazza et Gerdol 1996, Nordbakken 1996). Les plantules de *D. intermedia* ont donc pu y croître plus rapidement puisque la compétition par les tiges de *Cladopodiella* y était réduite. En milieu naturel, la *D. intermedia* est principalement retrouvée sur des tapis de *Cladopodiella* ainsi que sur les tapis de sphaignes flottants dans les mares (Thum 1986, Weltzin et al. 2000, Schnell 2002).

Pour sa part, *R. alba* a produit plus de biomasse aérienne sur la sphaigne et le tapis d'hépatiques à des niveaux d'eau élevés. Ces résultats concordent avec les conditions sous lesquelles *R. alba* est fréquemment rencontrée en bordures des mares sur des tapis de sphaignes et de *C. fluitans* (Rybnicek 1970, Backéus 1985, Ohlson et Malmer 1990, obs pers.), à des niveaux d'eau généralement élevés (Rybnicek 1970, Nordbakken 1996, Weltzin et al. 2000, Gignac et al. 2004). Elle serait probablement aussi favorisée par les milieux ouverts offrant peu de compétition (Ohlson et Malmer 1990).

S. palustris a accumulé davantage de biomasses à un niveau d'eau élevé, sans égard à la nature du lit de semences. En milieu naturel, cette espèce pousse dans les tapis de sphaignes, les mares à fonds boueux (Backéus 1985), ainsi que sur des tapis de sphaignes flottants dans les mares (Tallis et Birks 1965). Cette espèce semble donc tolérer différentes

conditions de lits de semences, même ceux plus instables, ce qui peut expliquer qu'elle n'ait pas répondu au type de lit de semence dans notre expérience. Weltzin et al. (2000) n'ont pas observé de différence de biomasse aérienne chez *S. palustris*, après avoir fait varier la hauteur de la nappe d'eau en tourbière à des niveaux comparables aux nôtres. Toutefois, nos observations cadrent avec la répartition *in situ* de cette espèce, étant souvent rencontrée dans les parties les plus humides des tourbières (Tallis et Birks 1965, Bragazza et Gerdol 1996, Soro et al. 1999).

2.4.3 Implications pour la restauration

- En comparant les facteurs de l'étude favorisant à la fois la germination et la croissance, on peut émettre la recommandation d'introduire les semences préférentiellement sur des tapis de sphaignes, en conjonction avec un niveau d'eau près de la surface, afin de favoriser les taux de germination et l'implantation chez la majorité des espèces à l'étude.

-L'état des lits de semences, de l'hydrologie et les conditions ambiantes de notre étude contrastent avec celles prévalant suite à la restauration par la technique de transfert de sphaignes (Quinty et Rochefort 2003). En tourbière restaurée, la densité initiale plus faible du tapis de sphaignes et l'utilisation de paillis pourraient influencer la germination et l'établissement des plantules en modifiant, entre autres, la quantité de lumière et l'humidité relative dans les lits de semences. Les semences pourraient alors être introduites plusieurs années après l'établissement des lits de semences végétaux, tels que les tapis de sphaignes ou de *Cladopodiella*, afin de favoriser un milieu de germination plus stable et homogène pour les semences. Toutefois, la compétition, notamment celle des plantes vasculaires, risque d'y être plus intense et d'affecter l'établissement et la croissance des plantules. Il serait préférable d'utiliser les semences préalablement stratifiées et de les introduire au printemps, une fois les crues printanières passées, afin de les placer dans des conditions hydriques favorables pour chaque espèce.

-Le semis des espèces sur des lits de sphaignes bien établis, dont la structure pourrait agir entre autres à retenir et protéger les semences («seed trap») comme dans le cas d'autres bryophytes (Griggs 1956, Mallik et al. 1984, van Tooren 1988, Kikvidze 1993, Groeneveld et al. 2007), permettraient d'éviter le lessivage des semences dans les mares et la perte de plantes par le soulèvement gélival (Groeneveld et Rochefort 2005) durant les périodes de gel.

-Chez les *Carex*, les taux de germination et de croissance élevés obtenus sur les tapis de sphaignes nous permettent de croire qu'il pourrait être avantageux d'y introduire les semences dans les projets de restauration de bord de mares pour un établissement rapide et efficace.

-La préférence de *S. palustris* pour un niveau d'eau élevé, sans égard au lit de semences, ainsi que sa présence sur les tapis de sphaignes très lâches flottant dans les mares et les parties les plus humides des tourbières (Tallis et Birks 1965, Bragazza et Gerdol 1996, obs. pers.) portent à croire que cette espèce pourrait s'implanter en milieux inondés ou sur des tapis flottants artificiels en bordure des mares, quoique cette hypothèse mérite d'être étudiée.

-La spécialisation de *R. alba* pour les tapis de *C. fluitans* et de sphaignes laisse l'opportunité de semer cette espèce sur les deux tapis. Néanmoins, *C. fluitans* étant une espèce fortement associée aux mares naturelles en tourbières (Fontaine et al., 2007), un effort vers l'établissement de ce type de tapis revêt une importance écologique dans une optique d'optimisation de la biodiversité en milieu restauré. Outre *R. alba*, d'autres espèces, telles *D. intermedia* et *Utricularia cornuta*, y semblent intimement liées en tourbières naturelles. Le tapis d'hépatiques est d'ailleurs le lit de semences sur lequel les plus hauts taux de biomasse de *D. intermedia* ont été observés au cours de cette étude.

2.5 Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Sébastien Nadeau, Jérémy Détrée, Mathieu Frégeau, Josée Landry, Mylène Marchand-Roy et Isabelle Casaubon pour l'aide apportée sur le terrain, ainsi que Claudia Saint-Arnaud pour ses conseils et son soutien logistique. Nous sommes aussi redevables à Stéphanie Boudreau pour l'aide statistique et ses conseils. Cette étude a été soutenue par la Chaire de recherche industrielle du CRSNG en aménagement des tourbières, le Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, la Canadian Sphagnum Peat Moss Association et ses membres. Des remerciements sont également adressés à Les Tourbes Nirom Peat Moss inc., La Mousse acadienne (1979) ltée, Sun Gro Horticulture inc., ainsi qu'à la station touristique Duchesnay pour l'accès à leur propriété et la collecte de matériel, de même qu'à l'équipe de techniciennes des serres, notamment Carole Martinez et Claudette Roy de l'Université Laval pour le suivi et les conseils en serre. Tommy Landry a bénéficié d'une bourse d'études de 2e cycle de la part du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada.

Chapitre 3

Effet de l'entreposage sur la viabilité de semences de plantes de bords de mares

3.1 Introduction

L'utilisation de semences lors de projets de restauration peut être une entreprise fastidieuse, nécessitant de bien connaître la biologie des espèces végétales afin d'assurer le succès de leur introduction et de leur survie. Bien que délicate, l'utilisation de semences favoriserait une plus grande diversité génétique dans le milieu restauré comparativement aux techniques de transplantation de matériel végétatif, soit de plants entiers, de rhizomes ou de propagules, à partir d'un même site d'emprunt. Selon les sources de récolte de semences, leur utilisation pourrait favoriser l'établissement d'individus mieux adaptés aux conditions du milieu hôte. Également, une plus grande diversité génétique augmenterait la résilience de la population restaurée (Linhart et Grant 1996, Montalvo et *al.* 1997, Luck et *al.* 2003, Falk et *al.* 2006). Toutefois, il peut être difficile d'obtenir ces semences en quantité et diversité suffisantes pour des projets de restauration. Ainsi, les compagnies de semences commerciales peuvent être limitées en nombre d'espèces disponibles ou en quantité de semences pour certaines espèces cibles. La provenance et le coût des semences commerciales sont aussi des freins majeurs à leur utilisation à des fins de restauration. La collecte de semences en milieu naturel permettrait de pallier au problème d'approvisionnement, mais la distance entre les sites, la répartition des espèces sur le territoire, le temps alloué à la prospection et les différentes fenêtres de maturité des semences entraînent également des coûts prohibitifs. Afin de rentabiliser la récolte et l'usage de semences issues de populations naturelles, leur entreposage en grandes quantités apparaît comme une option durable pour des projets de restauration. Il importe par contre de cerner les conditions permettant de préserver la viabilité des semences dans le temps.

Le maintien ou la perte de viabilité des semences lors de leur entreposage dépend de l'espèce et des conditions prévalentes. Roberts (1973, cité par Hong et Ellis 1996) a originellement divisé les semences en deux groupes : les semences orthodoxes et les récalcitrantes. Essentiellement, les semences dites orthodoxes conservent une plus grande viabilité sous des conditions froides et sèches et leur viabilité décline de manière prédictible. À l'opposé, les semences récalcitrantes et leurs variantes (Hong et Ellis 1996) regroupent celles qui subissent une forte perte de viabilité lorsque séchées ou dont la viabilité décline plus rapidement sous des conditions froides.

L'impact des conditions d'entreposage sur la viabilité des semences de tourbières n'a pas fait l'objet de beaucoup d'études, malgré l'importance des projets de restauration et le potentiel d'utilisation des semences pour la restauration des mares, un habitat de prédilection pour la biodiversité (Chapitre 2). À ce titre, les semences de plusieurs espèces retrouvées autour des mares, telles que certains *Drosera* et *Rhynchospora*, sont présumées appartenir au groupe des semences orthodoxes (Royal Botanic Gardens Kew 2008). Par contre, cette information reste à confirmer pour la plupart des espèces de tourbières. On a aussi rapporté que les semences de certains *Carex* de milieux humides conservent davantage leur viabilité sous des conditions d'entreposage humides (Comes et al. 1978, Schmid 1984, Budelsky et Galatowitsch 1999, van der Valk et al. 1999, Jones et al. 2004), ce qui soulève un questionnement quant à la stratégie d'entreposage à adopter pour ces semences. Les conditions d'entreposage optimales semblent ainsi varier entre les espèces d'un même habitat comme les mares de tourbières, ce qui souligne l'importance d'étudier leur impact sur la viabilité des semences de plusieurs espèces dans un même dispositif.

Le but de cette étude est de déterminer les conditions d'entreposage optimales pour les semences d'espèces associées aux bords de mares dans les tourbières. Les taux de viabilité des semences ont été suivis pendant un an en fonction de traitements qualitatifs combinant des conditions d'humidité et de température différentes. Huit espèces vasculaires typiques des bords de mares et dépressions humides dans les tourbières ont été testées afin d'optimiser leur introduction dans les mares créées dans les tourbières restaurées.

3.2 Matériel et méthodes

3.2.1 Récolte et entreposage des semences

Semences fraîchement récoltées

Nous avons sélectionné huit espèces qui colonisent habituellement le bord des mares ou les dépressions humides en tourbières naturelles et qui sont généralement absentes des sites restaurés. Les infructescences de *Carex echinata* Murray, *Carex limosa* L., *C. oligosperma* Michx., *C. pauciflora* Lightf., *C. magellanica* Lamarck *subsp. irrigua* (Wahlenburg) Hiitonen, *Drosera intermedia* Hayne, *Rhynchospora alba* (L.) Vahl. et *Scheuchzeria palustris* L. ont été récoltées à leur maturité du 5 août au 15 septembre 2007 au sein de différentes mares dans dix tourbières naturelles du Québec et du Nouveau-Brunswick (Tableau 3.1). Les infructescences récoltées ont été séchées pendant trois mois à l'air libre et à la température de la pièce, jusqu'à leur utilisation. Les semences ont par la suite été séparées manuellement des hampes florales et des débris végétaux, les périgynes² étant utilisés entiers. Le terme 'semences' sera utilisé dans ce texte référant à la propagule sexuée utilisée au cours des expériences, autant lorsqu'il est question d'un fruit (ex : périgynes de *Carex* contenant l'achaine) que de graines (ex : graines de *D. intermedia* extraites de la capsule). Une vanneuse a été utilisée pour le nettoyage des semences d'espèces dont le diamètre est supérieur à 2 mm, alors que les semences de plus petit gabarit (*D. intermedia*, *R. alba*) ont été nettoyées manuellement. Pour chacune des espèces, les semences provenant des différentes localités de récolte ont été mélangées entre elles afin d'éviter l'effet propre à la localité dans les traitements appliqués par la suite. La nomenclature taxonomique des espèces citées a été tirée de Flora of North America (Flora of North America Editorial Committee, 1993+).

² Périgyne: bractée concrescente par ses bords et qui enveloppe le fruit, l'achaine, chez les *Carex* (Marie-Victorin 1995).

Traitements d'entreposage

Quatre traitements d'entreposage des semences ont été mis à l'étude quatre mois après la récolte (janvier 2008) : 1- à la température ambiante de la pièce, au sec (AmbSec) ; 2- au frais et au sec (FroidSec) ; 3- au frais, humides (FroidHum) ; 4- au frais, submergées (FroidSub). Au cours de l'expérience, les conditions prévalant à la température ambiante de la pièce se sont maintenues à $22,0 \pm 0,7$ °C / $42,4 \pm 11,3$ % (température/humidité relative) alors que celles observées pour les semences entreposées au froid se sont établies à $7,5 \pm 2,1$ °C / $58,1 \pm 12,3$ %. Pour les deux traitements au sec, les semences ont été placées dans des enveloppes de papier kraft (90 x 56 mm, Staples) alors que pour le traitement humide, les semences ont été placées entre 2 papiers-filtres Whatman no 1 (diamètre : 55 mm). Elles ont été humidifiées avec de l'eau déionisée puis scellées dans des boîtes de pétri (60 mm x 15 mm, Fisher Scientific) à l'aide de Parafilm™ (American National Can). Pour le traitement submergé, les semences ont été placées dans des fioles en verre de type entomologique de 70 x 21 mm (Fisher Scientific) remplies avec de l'eau déionisée. La viabilité initiale des semences ($t = 0$) a été déterminée sur quatre lots de 100 semences pour chacune des espèces. La détermination de la viabilité des semences selon les traitements d'entreposage a par la suite été effectuée après 3, 6 et 12 mois suivant le début de l'expérience, avec 25 semences par unité expérimentale. Le dispositif expérimental est un plan en tiroir avec les traitements d'entreposage en parcelles principales (4 niveaux) et le temps en parcelles secondaires (3 niveaux), la période de temps 0 lors de l'estimation de la viabilité initiale n'étant pas incluse dans les analyses.

Semences entreposées depuis dix ans

Des semences récoltées en 1998 ont aussi été incluses dans le suivi de la viabilité, à titre indicatif. Celles-ci ont été récoltées sur plusieurs individus provenant d'un seul site de récolte par espèce, dans des tourbières aux environs de Rivière-du-Loup et de Québec (Campbell et Rochefort 2003). Dès leur récolte en 1998, les semences ont été nettoyées et séchées à l'air ambiant pendant 2 à 3 semaines pour ensuite être entreposées au

réfrigérateur (7 °C) dans des enveloppes en papiers (50 semences par enveloppes), le tout placé dans un bocal de verre fermé hermétiquement. La viabilité des semences a été déterminée en février 2008 avec une demi-enveloppe par espèce (25 semences), ce qui est ici considéré comme étant un échantillon. Il y avait quatre répliqués (demi-enveloppes) par espèce.

Tableau 3.1 Coordonnées et localités des différents sites où les semences des espèces à l'étude ont été récoltées. (ECHI : *Carex echinata*, LIM : *Carex limosa*, MAG : *Carex magellanica*, OLI : *Carex oligosperma*, PAUCI : *Carex pauciflora*, DRO : *Drosera intermedia*, RHY : *Rhynchospora alba*, SCH : *Scheuchzeria palustris*).

Sites	Localités	Coordonnées	Numéro de référence ^a	Espèces récoltées								
				ECH	LIM	MAG	OLI	PAUCI	DRO	RHY	SCH	
Sungro Horticulture Canada Ltée.	Chiasson Village, NB	47° 45' N, 64° 37' O	591			✿						
Mousse Acadienne Ltée.	Lamèque, NB	47° 50' N, 64° 35' O	568	✿				✿				
Tourbes Niron Peat Moss inc.	Saint-Charles-de-Bellechasse, QC	46° 46' N, 71° 00' O	360002	✿	✿		✿		✿	✿	✿	✿
Tourbière naturelle	Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier, QC	46° 52' N, 71° 35' O	380003		✿		✿	✿	✿			✿
Lac Jaune, Duschenay	Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier, QC	46° 52' N, 71° 40' O	N/D		✿				✿	✿		
Tourbière naturelle	Saint-Étienne-de-Lauzon, QC	46° 39' N, 71° 19' O	370005				✿	✿		✿		
Tourbière naturelle	Saint-Narcisse-de-Rimouski, QC	48° 17' N, 68° 26' O	N/D		✿							
Tourbière naturelle	Saint-Valérien-de-Rimouski, QC	48° 20' N, 68° 40' O	190006		✿							
Terre de la Couronne	Shippagan, NB	47° 44' N, 64° 42' O	527			✿						
Lac Le goulet	Shippagan, NB	47° 43' N, 64° 43' O	527			✿						

^a Lorsque disponible, les numéros de références pour les sites dans la province de Québec sont issus de l'Atlas des tourbières du Québec méridional (Buteau 1989), alors que ceux des sites du Nouveau-Brunswick correspondent à ceux qui leur sont attribué par le Ministère des Ressources Naturelles de la province (Dept. of Natural Resources, 2008).

3.2.2 Analyses de la viabilité des semences

Solution de tétrazolium

La viabilité des semences a été estimée à l'aide du test de tétrazolium (Grabe 1970). Une solution tampon a d'abord été réalisée en mélangeant 5,68 g de Na_2HPO_4 (BDH) à 3,63 g de KH_2PO_4 (BDH) dans 1 L d'eau déionisée. Une solution de tétrazolium à concentration de 1 % a ensuite été obtenue en y ajoutant 10 g de chlorure de tétrazolium (2,3,5-Triphenyl-2H-tétrazolium chloride, Sigma-Aldrich) par litre de solution tampon. La solution a été conservée au frais (4 °C) pendant toute la durée de l'expérience, dans une bouteille de plastique opaque. La viabilité des semences de *Drosera intermedia* n'a pas été évaluée au temps 0 en raison de difficultés rencontrées dans l'évaluation de la viabilité à l'aide du test de tétrazolium, dues entre autres à la très faible taille des semences.

Préparation et évaluation des semences

Le protocole utilisé pour la préparation des semences au test de coloration au tétrazolium a été adapté de Grabe (1970) et de Hurd et Shaw (1992) selon les types de semences à l'étude. Dans le cas particulier de *D. intermedia*, une méthode a dû être élaborée et raffinée dans les premiers mois du suivi afin d'améliorer la coloration et l'interprétation des résultats étant donné la petite taille des semences. Les semences entreposées au sec ont été préalablement humidifiées entre deux papiers-filtres 12 heures avant les manipulations. Ensuite, toutes les semences ont été coupées transversalement à l'aide d'un scalpel sous une loupe binoculaire, afin d'exposer l'intérieur de la graine sans endommager l'embryon. Dans le cas de *S. palustris*, le tégument de la semence a été enlevé complètement suite au trempage dans l'eau, selon une technique décrite par Grabe (1970) pour les semences imperméables au tétrazolium. Dès que la coupe a été effectuée, les semences ont été placées dans la solution de tétrazolium, dans une boîte de pétri, puis recouvertes d'un papier-filtre afin de les maintenir dans la solution. Les boîtes de pétri ont été placées à l'étuve à 30 °C pendant la nuit jusqu'à leur analyse le lendemain. Les semences étaient alors taillées une à

une longitudinalement, afin d'exposer l'embryon, sauf dans le cas de *S. palustris*, où un coup d'œil rapide aux semences permettait de déterminer leur viabilité. Une semence était jugée viable si son embryon était ferme, avec une coloration rouge, et ne présentait pas de nécrose des tissus. Les semences présentant un blanchiment ou une teinte rose pâle, des tissus flasques ou présentant des lésions étaient considérées comme non viables (Annexe 3.1).

3.2.3 Analyses statistiques

Une ANOVA à deux voies avec un plan tiroir a été effectuée sur les données de viabilité, en considérant le traitement d'entreposage en parcelles principales et le temps en parcelles secondaires. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de la procédure MIXED du logiciel de traitement statistique SAS (version 9.3.1, SAS Institute). Pour toutes les analyses, le niveau de signification a été établi à $p = 0,05$. Les données ont aussi été testées pour l'homogénéité de la variance et la normalité. Dans le cas d'un effet principal significatif, les différences entre les traitements d'entreposage ont été déterminées à l'aide de contrastes simples *a priori* et les différences entre les temps d'entreposage ont été comparées deux à deux avec la procédure LSMEANS. En présence d'une interaction significative entre les conditions et le temps d'entreposage, des contrastes *a priori* pour chaque temps ont été effectués. Chaque espèce a été analysée individuellement pour les analyses statistiques. Les résultats obtenus à partir des semences récoltées en 1998 n'ont pas été soumises aux analyses statistiques puisqu'elles ne faisaient pas partie du dispositif expérimental. Seules les semences fraîchement récoltées ont été analysées. Les taux de viabilité initiaux ($t = 0$) n'ont pas été inclus dans les analyses statistiques étant donné qu'ils n'étaient associés à aucun traitement d'entreposage. Le tableau 3.2 résume les traitements et les contrastes établis pour les analyses de données.

Tableau 3.2 Description des traitements d'entreposage et des contrastes simples planifiés *a priori* pour déterminer l'effet des conditions d'entreposage sur le taux de viabilité de semences d'espèces associées aux bords de mares en tourbières.

Traitements d'entreposage		
No	Température	Humidité
1	ambiante	sec
2	froide	sec
3	froide	humide
4	froide	submergé
Contrastes simples		
Sec vs humide (n° 1, 2 vs 3, 4)		
Ambiant vs froid (n° 1 vs 2, 3, 4)		
Humide vs submergé (n° 3 vs 4)		

3.3 Résultats

3.3.1 Semences fraîchement récoltées

Pour la majorité des espèces testées, la viabilité des semences n'a pas été affectée par les conditions d'entreposage. En effet, la viabilité des semences de *C. echinata*, *C. limosa*, *C. oligosperma*, *C. pauciflora* et de *Scheuchzeria palustris* n'a pas varié selon qu'elles étaient entreposées sèches, humides ou submergées et selon qu'elles étaient au froid ou à la température ambiante. Par contre, parmi ces espèces, les semences de *Carex oligosperma*, *C. pauciflora* et *Scheuchzeria palustris* ont vu leur taux de viabilité varier au fil du temps (Tableau 3.3). Plus particulièrement, le taux de viabilité des semences de *C. pauciflora* a diminué de manière appréciable au cours des premiers mois du suivi (Figure 3.1). Diminuant presque de moitié entre le 3^e et 6^e mois ($p = 0,006$), il s'est stabilisé dès le 6^e mois à un taux de viabilité avoisinant les 11 %, valeur près de trois fois inférieure au taux de viabilité initial. Au contraire, les semences de *S. palustris* ont maintenu un taux de viabilité autour de 65 % durant les 6 premiers mois pour ensuite décliner légèrement jusqu'à 55 % au terme des six derniers mois. Cela constitue néanmoins une diminution significative de la viabilité des semences comparativement aux périodes de 3 mois

Tableau 3.3 Effet des conditions d'entreposage et du temps sur la viabilité des semences fraîchement récoltées de huit espèces associées aux bords de mares de tourbière, selon une ANOVA à 2 voies effectuée avec un plan en tiroirs et selon des contrastes *a priori*. Les valeurs de *p* en caractères gras soulignent les différences significatives (niveau alpha = 0,05). En présence d'interactions, l'analyse des contrastes simples a été effectuée pour chaque période de temps. Le temps 0 n'a pas été considéré dans les analyses statistiques.

Parcelles principales	dl	<i>C. echinata</i>		<i>C. limosa</i>		<i>C. oligosperma</i>		<i>C. pauciflora</i>		<i>C. magellanica</i>		<i>D. intermedia</i>		<i>R. alba</i>		<i>S. palustris</i>	
		F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>
Répétitions	3																
Traitements	3	1,26	0,302	0,12	0,946	1,39	0,261	1,25	0,307	2,20	0,104	20,65	<0,001	5,25	0,009	0,36	0,786
erreur a	9																
Sous-parcelles																	
Temps	2	2,88	0,069	2,86	0,070	3,28	0,049	5,20	0,010	0,02	0,979	23,32	<0,001	2,59	0,098	4,33	0,021
Temps x traitements	6	0,41	0,869	1,28	0,291	0,38	0,887	0,92	0,494	3,29	0,011	9,00	<0,001	0,66	0,685	0,66	0,679
erreur b	24																
Total	47																
Contrastes simples																	
sec vs humide	1	1,51	0,140	-0,19	0,849	-1,77	0,085	1,27	0,211					-3,75	0,001	-0,05	0,958
t = 3 mois						0,63	0,534					-2,15	0,039				
t = 6 mois						-1,88	0,068					-1,39	0,172				
t = 12 mois						-1,13	0,266					-9,76	<0,001				
ambient vs froid																	
froid	1	-0,08	0,933	-0,22	0,825	1,24	0,222	0,11	0,917					3,96	<0,001	-0,70	0,490
t = 3 mois						0,65	0,518					2,23	0,032				
t = 6 mois						-1,52	0,137					-1,67	0,103				
t = 12 mois						-0,65	0,518					4,89	<0,001				
humide vs submergé																	
submergé	1	-0,76	0,454	-0,41	0,686	0,98	0,332	1,03	0,310					-1,28	0,216	0,52	0,607
t = 3 mois						-1,07	0,294					-1,21	0,233				
t = 6 mois						1,6	0,119					0,76	0,453				
t = 12 mois						-1,78	0,084					-0,76	0,453				

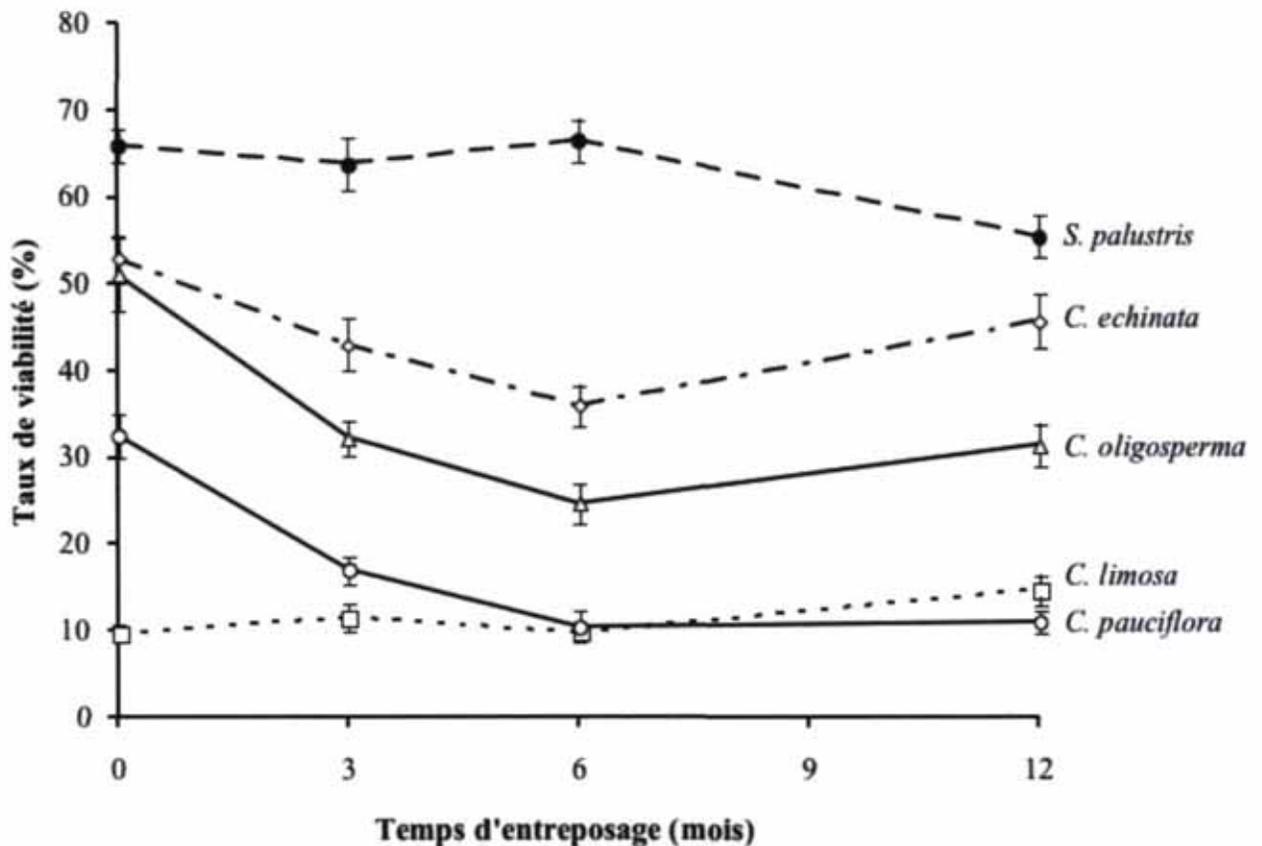


Figure 3.1. Taux de viabilité (%) au fil du temps des semences fraîchement récoltées de cinq espèces associées aux bords de mares, tout traitement d'entreposage confondu.

($p = 0,040$) et de 6 mois ($p = 0,008$) après le début de l'expérience. Les semences de *C. oligosperma* quant à elles ont subi une perte de viabilité au cours des 6 premiers mois suivie, contre toute attente, d'une remontée. Plus spécifiquement, le taux de viabilité a chuté d'environ 7 % entre le 3^e et 6^e mois ($p = 0,026$), mais est ensuite remonté à 32 %, 12 mois après le début de l'expérience ($p = 0,044$ pour la période entre 6 et 12 mois). Les semences de cette espèce n'ont ainsi pas subi de perte de viabilité globalement pour la période entre 3 et 12 mois ($p = 0,818$). Cependant, si la viabilité initiale avait été considérée dans les analyses statistiques, une perte significative de viabilité globale aurait probablement été enregistrée.

Quant à *Carex echinata* et *Carex limosa*, les taux de viabilité de leurs semences sont restés constants au fil du temps, celui de *C. limosa* étant particulièrement bas (Tableau 3.3, Figure 3.1). La viabilité de *C. limosa* s'est en effet maintenue aux alentours de 10 à 15 %, alors que celle de *C. echinata* est demeurée à près de 40 % au courant des 12 mois de l'expérience.

Chez *Rhynchospora alba*, seules les conditions d'entreposage ont eu un effet marqué sur le taux de viabilité des semences, sans égard à la durée d'entreposage (Tableau 3.3, Figure 3.2). L'analyse des contrastes simples sur les conditions d'entreposage révèle que les semences sous conditions sèches ont conservé un taux de viabilité près de 1,25 fois plus élevé que celles soumises aux différentes conditions d'humidité (Tableau 3.3). Pour sa part, l'entreposage à la température ambiante a permis de conserver davantage la viabilité des semences qu'en conditions froides (Tableau 3.3), avec des valeurs environ 1,2 fois supérieures. Aucune différence n'a cependant été détectée entre les taux de viabilité des semences entreposées en conditions humides et celles en conditions submergées.

Chez *C. magellanica*, seul le traitement d'entreposage sous conditions froides et sèches (FroidSec) a causé une variation significative du taux de viabilité des semences dans le temps, selon l'analyse de la procédure SLICE ($p = 0,010$). En fait, sous ces conditions, la viabilité des semences s'est étonnamment avérée 1,75 fois plus faible à trois mois qu'à six mois ($p = 0,003$) pour ensuite se maintenir au même niveau, soit autour de 36 %, jusqu'à la fin du suivi (Figure 3.3). La viabilité des semences soumises aux autres conditions d'entreposage est restée stable dans le temps. Également, aucun des contrastes simples planifiés sur l'effet des conditions d'entreposage à chaque période de temps (Tableau 3.3) ne s'est avéré significatif pour *C. magellanica*.

Chez *D. intermedia*, l'évolution du taux de viabilité des semences dans le temps n'a pas été le même pour les différents traitements d'entreposage (Tableau 3.3). Alors que le taux de viabilité des semences entreposées à la température ambiante au sec (AmbSec) s'est maintenu stable au cours des douze mois (SLICE $p = 0,784$ et $p = 0,138$), des variations

significatives de viabilité ont été observées pour les trois autres traitements (Figure 3.4). En effet, après un maintien de leur viabilité jusqu'à six mois, les semences entreposées au froid et submergées ont vu par la suite leur taux de viabilité passer de 45 à 8 % entre le 6^e et le 12^e mois d'entreposage ($p < 0,001$). Pour leur part, les semences maintenues au froid, sèches ou humides, ont connu une augmentation de leur taux de viabilité entre le 3^e et 6^e mois ($p = 0,001$ et $p = 0,005$, respectivement). Par la suite, le taux de viabilité des semences entreposées au froid et au sec s'est maintenu jusqu'à la fin de l'expérience ($p = 0,138$) alors qu'à l'instar des semences submergées (FroidSub), les semences sous conditions froides et humides (FroidHum) ont subi des pertes draconiennes (47 %) de viabilité après le 6^e mois ($p < 0,001$).

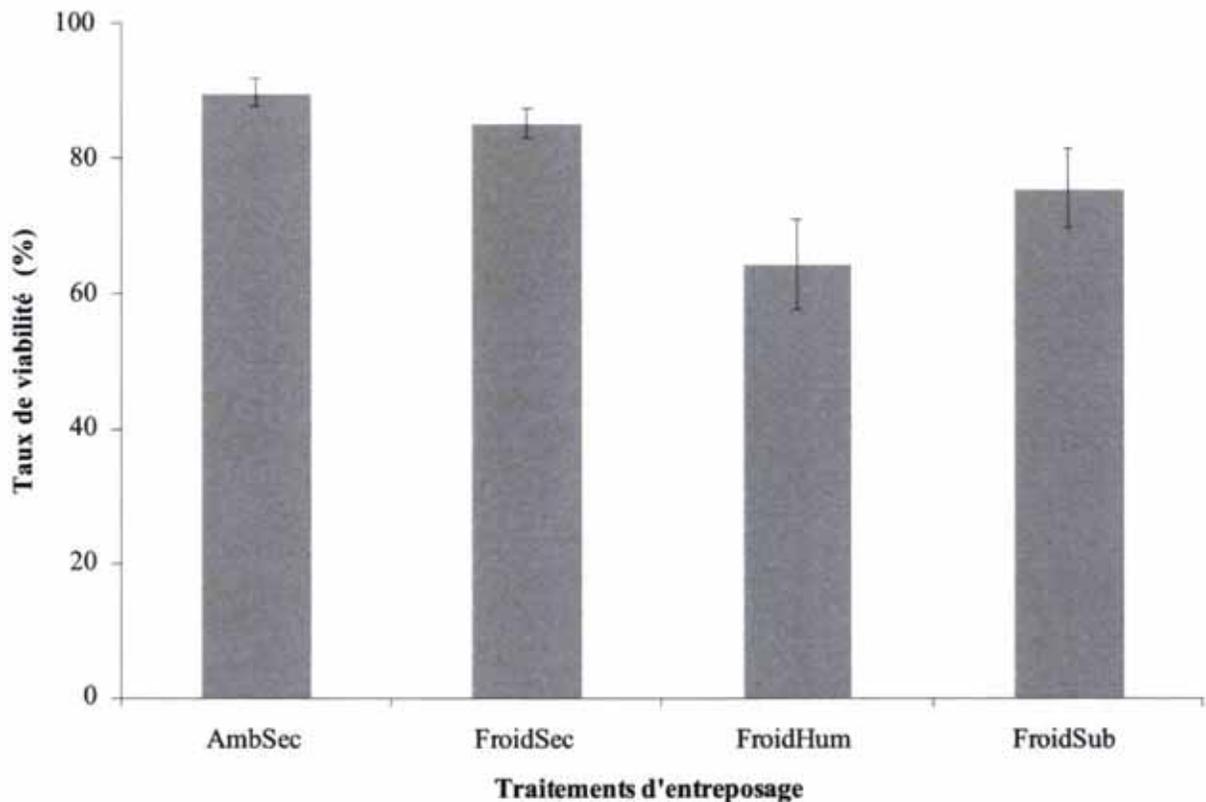


Figure 3.2 Taux de viabilité (%) des semences fraîchement récoltées de *Rhynchospora alba* selon quatre traitements d'entreposage, estimés par un test de tétrazolium. (AmbSec : Température ambiante de la pièce, au sec, FroidSec : au froid et au sec, FroidHum : au froid et humide et FroidSub : au froid et submergé).

Ces observations vont de pair avec les résultats des contrastes simples pour chaque période de temps (Tableau 3.3). Des conditions sèches auraient permis de conserver un taux de viabilité des semences environ 1,3 fois et près de 9 fois plus élevé à trois mois et à 12 mois respectivement qu'en conditions humides (Figure 3.4). Également, l'entreposage des semences à la température ambiante a engendré des taux de viabilité de 1,3 à 2,2 fois supérieurs à ceux obtenus en conditions réfrigérées, pour les mêmes périodes de temps. Aucune différence n'a cependant été décelée entre les traitements humides et submergés, à aucun moment de l'expérience.

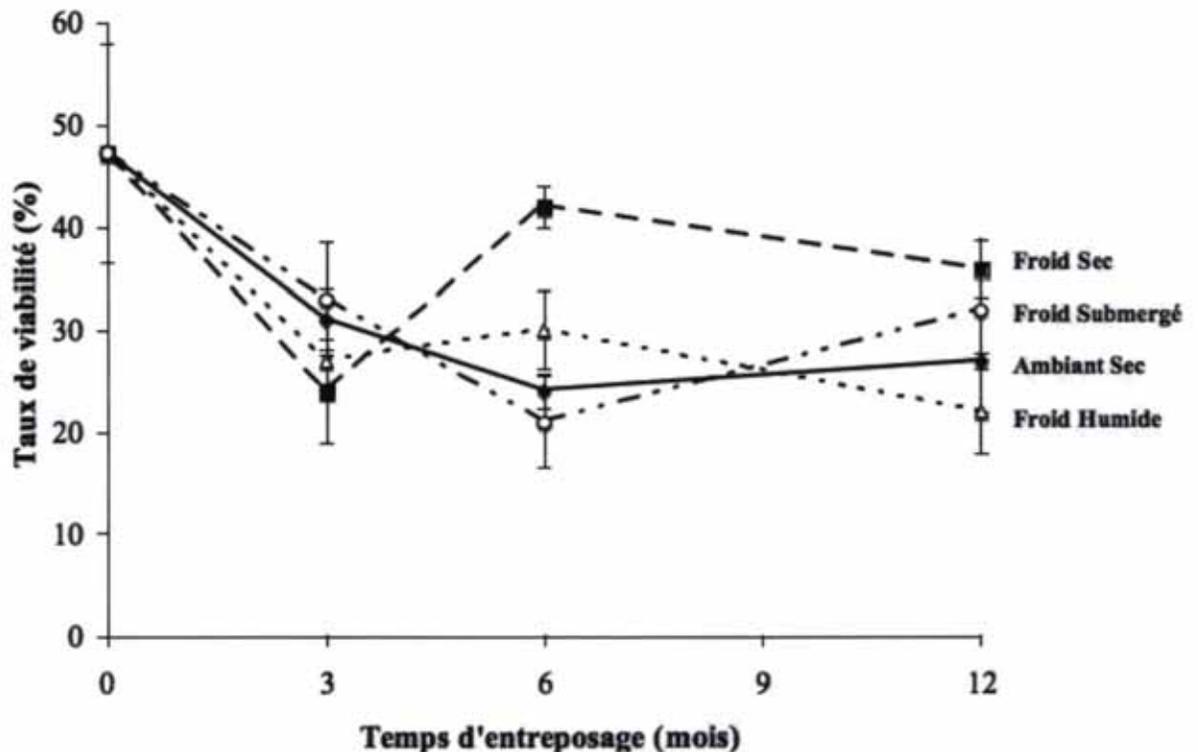


Figure 3.3 Taux de viabilité (%) des semences fraîchement récoltées de *Carex magellanica*, au fil du temps déterminé selon un test de tétrazolium, pour quatre traitements d'entreposage.

3.3.2 Semences entreposées depuis dix ans

Les taux de viabilité observés pour les semences entreposées depuis dix ans sont très variables entre les espèces, bien que les semences de plusieurs espèces semblent avoir conservé une bonne partie de leur viabilité. Mis à part *Carex canescens* et *Eriophorum angustifolium*, la plupart ont maintenu une viabilité d'au moins 10 % (Tableau 3.4). Parmi celles-ci, les semences des espèces communes à celles traitées à la section précédente (*C. limosa*, *C. oligosperma*, *R. alba*) ont montré un taux de viabilité après dix ans d'entreposage semblable à celui des semences fraîchement récoltées .

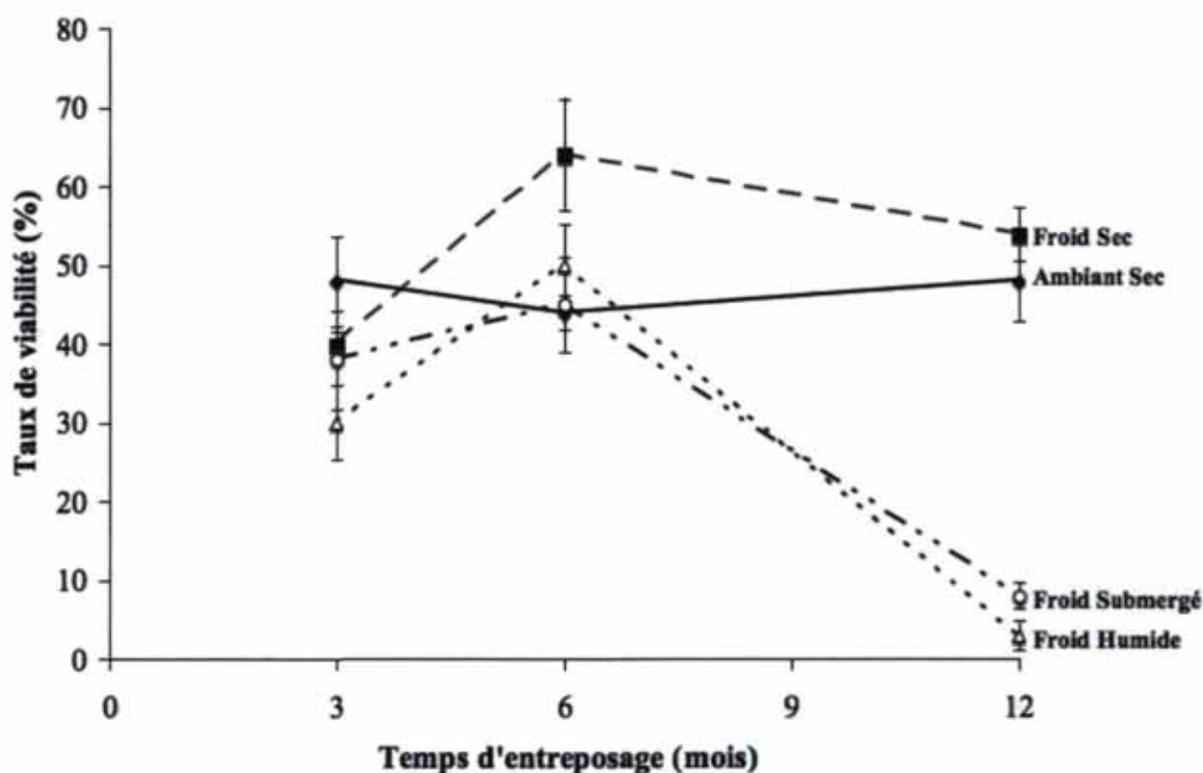


Figure 3.4 Taux de viabilité (%) des semences fraîchement récoltées de *Drosera intermedia* au fil du temps, déterminé selon un test de tétrazolium, pour quatre traitements d'entreposage.

Tableau 3.4 Taux de viabilité moyens, évalués sur des lots de 25 graines ($n = 4$), obtenus par un test de tétrazolium sur des semences entreposées pendant dix ans de sept espèces végétales de tourbières. Les nombres entre parenthèses représentent les erreurs-types.

Espèces	% Viabilité (\pm SE)
<i>Carex canescens</i>	1,0 (1,0)
<i>Carex limosa</i>	10,0 (2,6)
<i>Carex oligosperma</i>	54,0 (9,3)
<i>Eriophorum angustifolium</i>	8,0 (2,8)
<i>Eriophorum spissum</i>	67,0 (6,2)
<i>Eriophorum virginicum</i>	10,0 (5,3)
<i>Rhynchospora alba</i>	63,0 (6,6)

3.4 Discussion

Les conditions d'entreposage à température ambiante et froide associées à des conditions sèches, humides ou submergées ont eu peu d'effet sur le maintien de la viabilité des semences de plusieurs espèces associées aux bords de mares. En effet, cinq des huit espèces n'ont pas été influencées par les conditions d'entreposage, ce qui va plutôt à l'encontre de la littérature pour les espèces herbacées de milieux humides (Budelsky et Galatowitsch 1999, van der Valk et al. 1999).

Chez *R. alba* les conditions d'entreposage à température ambiante ont été favorables au maintien des taux de viabilité des semences sur 12 mois comparativement aux conditions froides. Par contre, les semences de deux des trois traitements au froid étaient maintenues humides ou submergées, ce qui a pu favoriser les maladies fongiques et bactériennes. En effet, des moisissures ont été notées sur les semences et le papier-filtre des traitements humides. Des biofilms ont aussi été observés dans les flacons des semences submergées. Les traitements en conditions humides et submergées ont ainsi contribué à diminuer la moyenne de la viabilité des traitements au froid, comparativement au traitement à la température ambiante qui était appliqué sur des semences sèches seulement. On devrait ainsi interpréter prudemment le résultat selon lequel la température ambiante permet un meilleur maintien du taux de viabilité des semences de *R. alba*. Il reste clair par contre que

la viabilité se maintient davantage en conditions sèches qu'en conditions humides pour *R. alba*.

Ce sont aussi les conditions sèches qui ont clairement permis un meilleur maintien de la viabilité des semences de *D. intermedia*, au terme des douze mois d'entreposage. Cette observation concorde avec les pratiques généralisées chez certains horticulteurs spécialistes de plantes carnivores, qui préconisent une méthode de conservation des semences au sec et au réfrigérateur, et ce, pour la plupart des genres appartenant à ce groupe de plantes carnivores (Pietropaolo et Pietropaolo 1986). Les conditions d'entreposage sous des conditions d'humidité élevée seraient donc à proscrire dans le cas de cette espèce, celles-ci ayant réduit la viabilité des semences à près de 5 % en moyenne après 12 mois.

Chez *C. magellanica*, le changement de viabilité des semences dans le temps semble dû uniquement à une valeur moyenne plus basse après 3 mois d'entreposage pour le traitement en conditions sèches et froides. Outre une possible erreur d'échantillonnage, exacerbée par le faible nombre de semences dans chacun des échantillons, il est difficile d'expliquer une viabilité plus faible à 3 mois qu'à 6 et 12 mois d'entreposage. Sans la valeur de viabilité pour le traitement en conditions sèches et froides à trois mois d'entreposage, il semble que la différence entre les traitements et les périodes de temps aurait probablement été minime, voire inexistante. Comme il n'y avait aucun contraste significatif à chaque temps d'entreposage, on peut conclure que la viabilité des semences de *C. magellanica* n'était pas influencée par les conditions d'entreposage et qu'elle est restée plutôt stable dans le temps.

Globalement, le faible nombre de semences évaluées par réplicat a pu rendre les estimations de viabilité moins précises, ce qui pourrait expliquer l'absence d'effet des conditions d'entreposage pour la majorité des espèces. Des contraintes de temps nous ont forcés à ne tester seulement qu'un total de 100 semences par traitement (25 par unité expérimentale, 4 réplicats) pour chacune des espèces, sauf pour la période de viabilité initiale, où 400 semences ont été utilisées au total. Ainsi, Grabe (1970) conseille qu'un minimum de 200 semences soit utilisé au total pour chacun des traitements évalués à l'aide du test de tétrazolium. Malgré tout, seulement deux des huit espèces testées ont eu une

perte rapide de viabilité durant les six premiers mois, soit *C. pauciflora* et *C. oligosperma*. Wein et MacLean (1973) ont également observé un déclin de viabilité de près de 50 % suivant les dix premiers mois d'entreposage de semences d'*Eriophorum spissum*, suivi d'une période de stabilisation jusqu'à 19 mois. Les auteurs supposent que la perte de viabilité rapide, durant les premiers mois d'entreposage, provient de la mortalité massive des semences moins résistantes et de celles qui sont plus légères, donc qui ont potentiellement moins de tissus de réserve. Mis à part *C. limosa* et *C. pauciflora*, les espèces testées ici ont conservé néanmoins des taux de viabilité prometteurs pour la restauration. Bien évidemment, des taux de viabilité initiaux les plus élevés possible sont désirables, la viabilité des semences utilisées étant le premier élément limitant dans un contexte d'établissement de plantules. À cet égard, Kettenring et Galatowitsch (2007a,b) ont aussi eu à travailler avec des lots de semences de *Carex* avec des viabilités très faibles lors d'expériences de levée de dormance et de germination. L'utilisation d'un type de vanneuse (*air column seed separator*) a permis de séparer par gravité les périgynes viables de ceux non viables ou vides, portant ainsi les taux de viabilité initiaux qui étaient autour de 1 % à des taux variant de 3 à 42 %, selon les espèces et les années de récolte. Dans notre cas, la vanneuse utilisée n'a pas permis une telle ségrégation des périgynes matures. L'usage d'un équipement plus adéquat ou modifié pour ce type de semences pourrait grandement améliorer la qualité du matériel utilisé en regard de la viabilité lors de projets de restauration. Le tri manuel demeure une seconde option, quoique beaucoup plus coûteuse.

Les taux de viabilité déterminés restent dépendants de la technique et de l'interprétation du test de coloration au tétrazolium. Même si des tests de germination n'ont pas été effectués conjointement sur les lots qui ont servis à l'étude de la viabilité des semences, un des traitements d'entreposage à l'étude (humide et froid) présente des conditions de température, d'humidité et une durée d'entreposage similaire aux lots qui ont subi une période de stratification lors de l'expérience de germination présentée au Chapitre 2. Il est donc possible de comparer la justesse des résultats du test de tétrazolium avec les taux de germination observés dans cette autre expérience (Tableau 3.5). Il y a peu d'écarts entre les taux de viabilité et les taux de germination pour chacune des espèces à l'étude, sauf pour

Carex oligosperma chez qui aucune germination n'a été observée et *D. intermedia* dont le nombre de plantules était deux fois plus élevé que le nombre de graines estimées viables.

Tableau 3.5 Comparaisons entre les taux de viabilité estimés par le test de tétrazolium sur le traitement d'entreposage FroidHum à 3 mois (lots de 25 graines, 4 répétitions) et les meilleurs taux de germination des lots de semences stratifiées pendant 4 mois dans les mêmes conditions (lots de 100 graines, 6 répétitions) pour l'expérience de germination et de croissance présentée au Chapitre 2. L'erreur-type pour chaque valeur est présentée entre parenthèses.

Espèces	Viabilité estimée (% ± SE)	Germination observée (% ± SE)
<i>Carex echinata</i>	40 (9)	N/D
<i>Carex limosa</i>	13 (2)	9 (1)
<i>Carex magellanica</i>	27 (4)	27 (2)
<i>Carex oligosperma</i>	34 (5)	0
<i>Carex pauciflora</i>	19 (4)	12 (2)
<i>Drosera intermedia</i>	30 (5)	63 (8)
<i>Rhynchospora alba</i>	71 (13)	67 (4)
<i>Scheuchzeria palustris</i>	61 (9)	41 (3)

Le test au tétrazolium semble ainsi inadéquat seulement pour *D. intermedia*, chez lequel des valeurs de germination largement supérieures à celles estimées par le test ont été obtenues. De tels résultats ont aussi été observés chez certaines semences de *Carex* (Budelsky et Galatowitsch 1999), pour qui les taux de viabilité estimés chez *Carex comosa* et *Carex stricta* étaient beaucoup plus bas que les taux de germination observés après 2,5 ans d'entreposage. Cette différence serait due à une analyse du taux de viabilité trop conservatrice de l'évaluateur, selon les auteurs. Campbell et Rochefort (2003) avaient pour leur part fait une inspection visuelle sommaire des semences de *Drosera rotundifolia* pour l'estimation de la viabilité des lots, alors que Baskin et al. (2001) n'ont disséqué seulement que les semences de *Drosera anglica* n'ayant pas germé pour déterminer la présence d'un embryon sain. Aucune de ces deux études n'a employé le chlorure de tétrazolium pour la détermination de la viabilité des semences de *Drosera*. L'absence de protocole standardisé pour le test au tétrazolium chez cette espèce, la taille minuscule des semences ainsi que la texture papilleuse de leur tégument rendent les différentes étapes du protocole difficiles à

standardiser (dissection, analyse, trempage et imbibition), malgré l'usage d'une loupe binoculaire et les efforts de minutie déployés. L'utilisation d'agent mouillant n'a été que partiellement efficace et l'usage de produits chimiques pour rendre le tégument translucide a été vaine. L'utilisation de lactophénol (Grabe 1970) ainsi que de cuvette sous vide ou d'agitateur pourrait aider à augmenter la surface de contact des produits avec les semences, mais ces approches n'ont pas été mises à l'essai ici.

Quant aux semences entreposées dans des conditions sèches et froides depuis dix ans, elles ont conservé une partie de leur viabilité. Par contre, n'ayant pas de données de viabilité au moment de la récolte et sachant que cette viabilité initiale est dépendante de plusieurs facteurs tels que la date de récolte et les caractéristiques du site, il est impossible de calculer la perte de viabilité depuis la récolte de ces semences. Tout de même, suite à près de dix ans d'entreposage, les semences de *C. limosa*, *C. oligosperma* et *R. alba* possédaient des taux de viabilité similaires ou supérieurs à des semences fraîchement récoltées pour ces mêmes espèces. On peut aussi constater que les semences d'*Eriophorum spissum* sont demeurées hautement viables malgré la longue durée d'entreposage. Cette observation soutient le fait que cette Cypéracée est reconnue pour former des banques de semences persistantes dans les endroits qu'elles colonisent (Bliss et Wein 1972, McGraw 1993, Vavrek et al. 1999), pouvant demeurer viables plusieurs mois une fois entreposées (Bliss 1958, Wein et MacLean 1973).

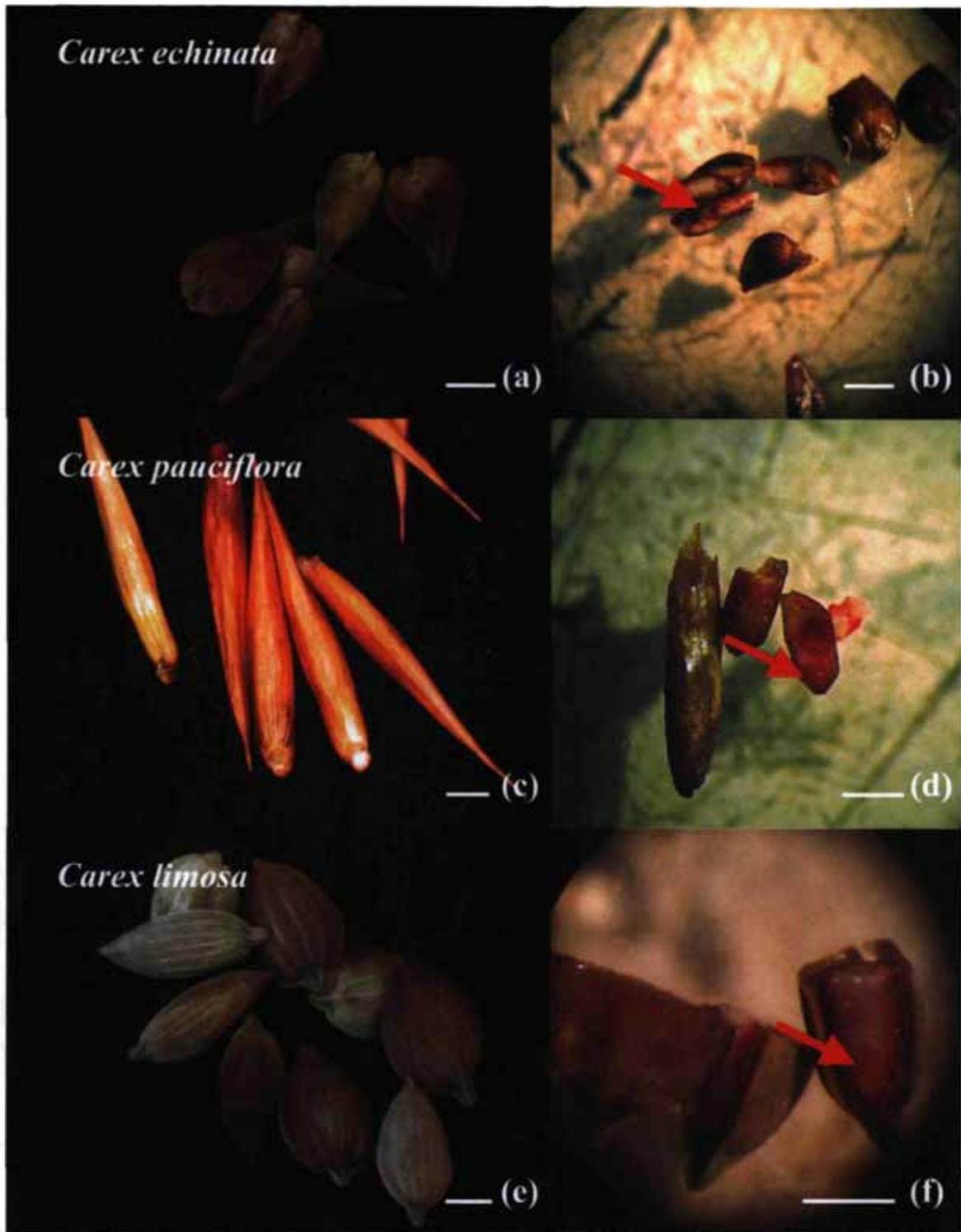
3.5 Conclusion

L'entreposage de semences d'espèces herbacées associées aux bords de mares est un domaine peu examiné par la littérature, limitant les connaissances de techniques de restauration appropriées. Cette étude n'a pas permis de déterminer les techniques à préconiser puisqu'un effet des conditions d'entreposage n'a été détecté que chez peu d'espèces, résultat probablement attribuable à la faible taille de l'échantillonnage. En revanche, le protocole d'évaluation de viabilité semble fiable sauf chez *D. intermedia*, ce qui est promoteur pour l'étude de la viabilité des semences de plantes de tourbières. La

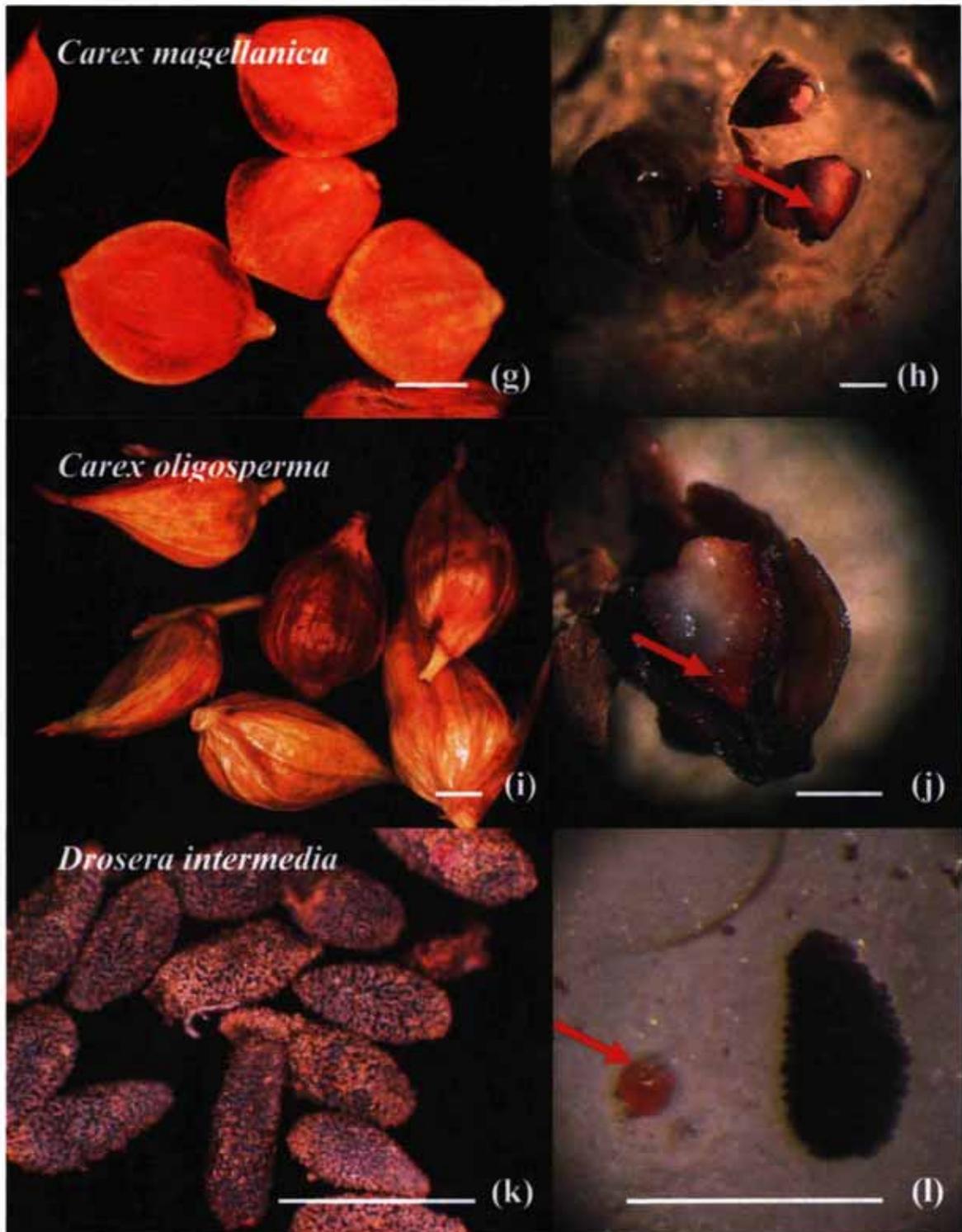
conservation des taux de viabilité au-delà de 30 % après 12 mois chez six espèces sur huit dans notre étude, ainsi que les taux de viabilité au-delà de 50 à 60 % chez certaines semences vieilles de dix ans (1998) témoignent du potentiel des semences d'espèces de bords de mares pour la restauration. Toutefois, des tests de germination pour ces espèces devraient être effectués pour valider les taux de viabilité des semences tels qu'estimés par les tests de tétrazolium après une période d'entreposage si longue. Strictement au plan de la viabilité, certaines espèces représentent cependant un défi pour la restauration, notamment *C. limosa* et *C. pauciflora* dont les semences présentent autour de 10 % de viabilité après 12 mois. Sans toutefois les écarter des projets de restauration, l'effet des populations sources et du moment de récolte mériterait cependant d'être étudié afin de mieux statuer sur le potentiel de ces deux espèces pour l'utilisation de semences en restauration. De plus, l'amélioration du tri des périgynes réalisé suite à la récolte permettrait potentiellement de mieux départager les semences viables des immatures, augmentant ainsi le taux initial de viabilité tout en réduisant le volume de semences à entreposer. Enfin, l'entreposage des semences implique des moyens faciles d'usage et peu coûteux, ce qui bonifie l'intérêt pour l'utilisation des semences en restauration.

3.6 Remerciements

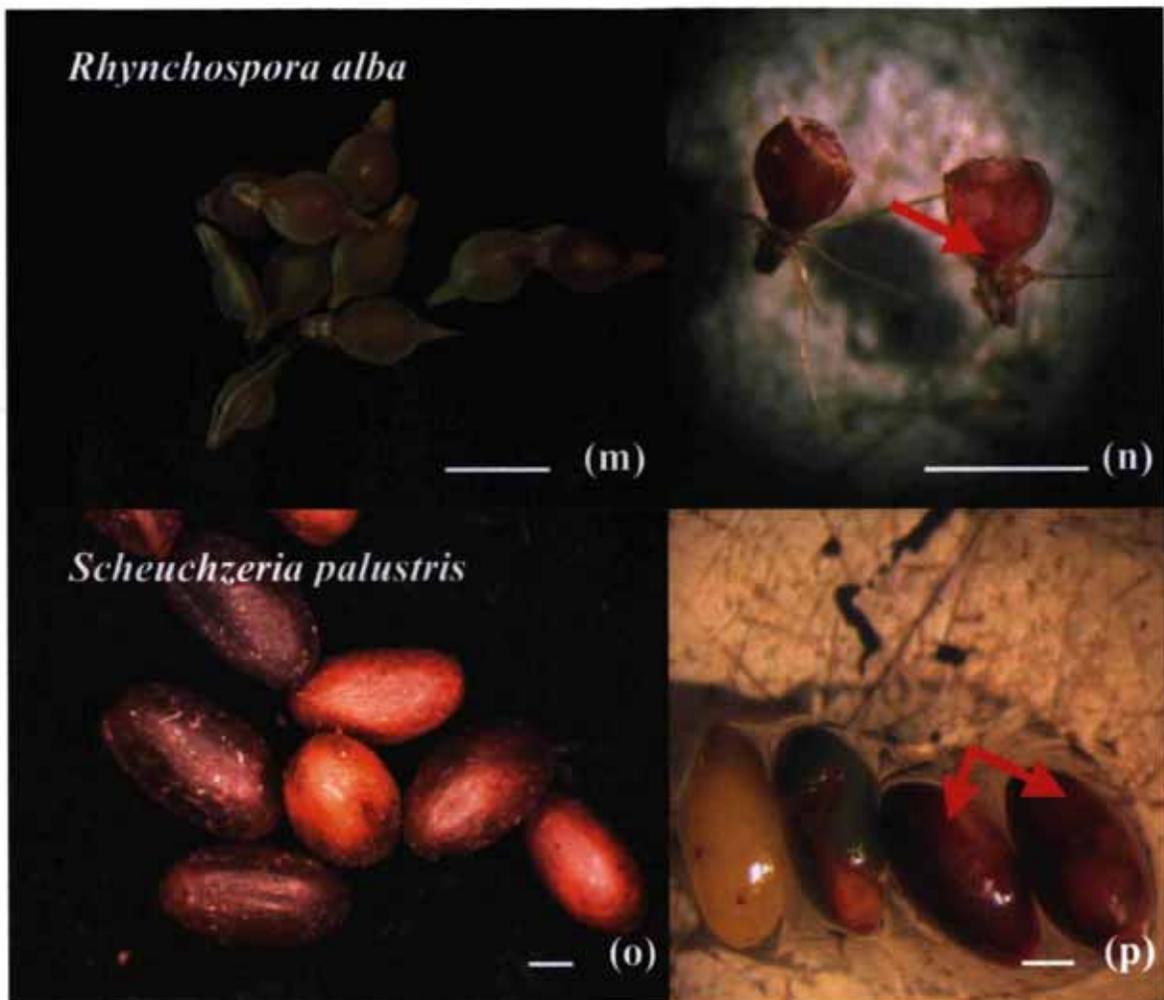
Les auteurs tiennent à remercier Sébastien Nadeau, Jérémy Détrée, Mathieu Frégeau, Josée Landry, Mylène Marchand-Roy et Isabelle Casaubon pour l'aide apportée sur le terrain. Nous sommes aussi redevables à Stéphanie Boudreau pour les conseils et Hélène Crépeau pour l'aide en analyses statistiques. Cette étude a été soutenue par la Chaire de recherche industrielle du CRSNG en aménagement des tourbières, le Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, la Canadian Sphagnum Peat Moss Association et ses membres. Des remerciements sont également adressés à Les Tourbes Nirom Peat Moss inc., La Mousse acadienne (1979) ltée, Sun Gro Horticulture inc., ainsi qu'à la station touristique Duchesnay pour l'accès à leur propriété pour la collecte de matériel. Tommy Landry a bénéficié d'une bourse d'études de 2e cycle de la part du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada.



Annexe 3.1 Semences et coloration de semences au chlorure de tétrazolium. Les flèches rouges indiquent un embryon viable, coloré au tétrazolium, dont la coloration est généralement rouge foncé sur les photos. La photo de gauche illustre la semence complète et celle de droite montre l'embryon à l'intérieur de la semence. La barre horizontale blanche indique une échelle de 1 mm pour chacune des photos.



Annexe 3.1 (suite)



Annexe 3.1 (suite)

Chapitre 4

Conclusion générale

L'utilisation de semences à des fins de restauration de populations végétales constitue une opération délicate en soi. Contrairement aux transplants, elle nécessite en effet une connaissance plus approfondie de la biologie des espèces en ce qui a trait à la germination et l'établissement des plantules. Elle demeure cependant une option viable dans un contexte de biodiversité lors de projets de restauration, étant une solution de rechange à l'utilisation de transplants ou de propagules. Les résultats obtenus au cours de ce projet de maîtrise permettent d'ailleurs de lever le voile sur quelques conditions favorisant la germination et l'établissement de plantules de six espèces associées aux bords de mares en tourbières. Il en ressort que l'utilisation de semences lors de projets de restauration est envisageable, les espèces à l'étude ayant généralement répondu favorablement aux essais de germination et de croissance. Néanmoins, l'absence totale de germination chez *Carex oligosperma* pose un problème, malgré un taux de viabilité acceptable des semences. Également, les faibles taux de viabilité observés chez *C. limosa* et *C. pauciflora* restreignent pour l'instant leur potentiel d'utilisation en restauration, du moins à la lumière des connaissances actuelles. L'étude de la variabilité inter-populations et de l'impact de la date de récolte des semences pourrait nous révéler leur réel potentiel pour la restauration à partir de semences. Pour les autres espèces, les taux de germination se sont avérés très acceptables. En fait, si l'on ne considère que les semences viables, plusieurs espèces ont montré des taux de germination des semences de plus de 70 % lorsqu'en présence des traitements les plus favorables (*Carex magellanica* : 86 %, *Rhynchospora alba* : 92 % et *Scheuchzeria palustris* : 70 %). La germination a été généralement favorisée sur les tapis de sphaigne ou de tourbe lorsque le niveau d'eau était élevé, chez la plupart des espèces. Fait à noter, seuls *Drosera intermedia* et *Rhynchospora alba* ont démontré des taux de germination appréciables sur les tapis d'hépatiques, où elles poussent abondamment en milieu naturel. Cependant, les différences entre les espèces ont été plus marquées lors du suivi de croissance des plantules. Cette différenciation quant aux lits de semences et niveaux d'eau optimaux revêt d'ailleurs une importance capitale pour définir les conditions à préconiser lors de l'implantation de

semences sur le terrain, afin de permettre aux plantules de bien s'établir et de perdurer dans le site à restaurer. Ainsi, les espèces appartenant au genre *Carex* ont démontré généralement les meilleurs taux de croissance sur les tapis de sphaignes sans égard au niveau d'eau, ce qui laisserait une certaine flexibilité au restaurateur sur le choix de l'emplacement pour l'introduction des semences le long du gradient de pente autour des mares artificielles. Les espèces aux semences de plus petit calibre, *D. intermedia* et *R. alba*, ont démontré de très bons taux d'établissement sur les tapis de l'hépatique *Cladopodiella fluitans*. Ceci est potentiellement dû à leur facilité à s'incorporer au tapis et au profil bas de l'hépatique, qui limiterait la compétition avec la plantule une fois bien établie. Cette observation offre ici une opportunité pour favoriser la biodiversité autour des mares en y implantant à la fois plusieurs espèces de plantes vasculaires ainsi qu'une diversité de tapis de bryophytes qui fait office de lits de semences. La préférence de *Scheuchzeria palustris* pour un niveau d'eau élevé sans égard au lit de semences ouvre des possibilités d'essais sous des conditions de croissance propres aux plantes aquatiques.

Un autre facteur d'importance pour optimiser les projets de restauration à l'aide de semences est de pouvoir prolonger la viabilité de ces dernières sur une échelle de temps la plus longue possible, par des techniques facilement accessibles aux restaurateurs. En ce sens, l'expérience sur l'influence des conditions d'entreposage sur la viabilité des espèces utilisées précédemment pour l'expérience de germination nous a révélé différents patrons de pertes de viabilité selon les espèces. Alors qu'il n'y a pas eu de perte de viabilité dans le temps chez *Carex limosa* et *C. echinata*, pour toutes les conditions d'entreposage, seul l'effet du temps a causé un déclin de viabilité chez près de la moitié des espèces à l'étude, soit *C. pauciflora*, *C. oligosperma* et *S. palustris*. Chez ces dernières, l'ampleur de la perte de viabilité a été variable, allant d'une légère diminution dans le cas de *S. palustris* à une réduction de trois fois sa valeur initiale chez *C. pauciflora*. Les semences de *R. alba* n'ont été influencées que par les conditions d'entreposage, des conditions sèches ainsi que l'entreposage à la température ambiante ayant favorisé un meilleur maintien de la viabilité. Chez *C. magellanica*, ce sont les conditions d'entreposage froides et sèches qui ont causé une variation dans le temps au niveau de la viabilité des semences. Cependant, devant la difficulté d'expliquer cette variation, ce résultat devrait être utilisé avec précautions. Quant

à *Drosera intermedia*, ce sont sous les conditions d'entreposage au sec que les semences ont maintenu davantage leur viabilité. Les conditions intrinsèques du dispositif expérimental ont pu avoir une influence sur la précision des résultats de cette expérience. L'augmentation de la taille des échantillons et l'utilisation d'un dessicatif à l'intérieur des contenants pour les traitements au sec pourraient en améliorer la précision, ainsi que l'essai de différentes températures en milieu réfrigéré. Il est difficile de statuer sur les meilleures conditions à utiliser pour de l'entreposage à long terme, les semences à l'étude n'ayant fait l'objet d'un suivi que sur une période de douze mois. Cependant, des semences datant de dix ans, entreposées sous conditions froides et sèches, se sont avérées toujours viables selon un test de viabilité au tétrazolium. Les taux de viabilité des semences de certaines espèces entreposées durant dix ans, notamment *R. alba* et *C. oligosperma*, étaient comparables après dix ans à celles fraîchement récoltées en 2007. Étant de longue haleine, mais relativement facile à réaliser, le suivi de la viabilité de semences pourrait être envisagé sur une plus longue période, avec une évaluation de la viabilité réalisée annuellement, afin de mieux statuer sur les conditions à préconiser dans le cadre d'entreposage à long terme.

Ce projet de maîtrise a été limité à des essais en milieu contrôlé. Bien que le contrôle de l'environnement permette de mieux cerner l'effet des traitements en minimisant les aléas du milieu, les conditions exercées sur les semences et les jeunes plantules ne reflètent pas complètement celles présentes sur les sites à restaurer. En ce sens, des essais sur le terrain restent à être mis en place sur des tapis bien établis, afin de confirmer la justesse des conclusions de cette étude dans un cadre de restauration. Entre autres, il faudrait évaluer la capacité des semences à résister aux pressions exercées par le milieu. Par exemple, la proximité des mares ajoute la possibilité d'entraînement des semences ou des jeunes plantules vers le plan d'eau. La capacité de flottaison et de survie à un tel événement, ou l'impact des vagues des mares sur les plantules en établissement (Coops *et al.* 1991, Coops et van der Velde 1995, Chambert et James 2009) demeurent inconnus pour les plantes de tourbières. Il en va de même de l'effet de la compétition de plantes opportunes présentes en grand nombre près des mares sur certains sites restaurés (*Typha latifolia* et *Eriophorum spissum* entre autres (Mazerolle *et al.* 2006, Fontaine *et al.* 2007)) sur l'établissement, la survie et le succès reproductif des jeunes plantules associées aux bords de mares. De plus,

plusieurs aspects devraient être explorés, comme l'évaluation des besoins pour l'établissement d'autres espèces associées aux bords de mares, voire même en incluant des espèces strictement aquatiques, telles que différentes espèces d'*Utricularia* ou de *Nuphar variegata*. L'implantation de semences sur des tapis à différents stades d'établissement suivant le processus de restauration serait aussi une avenue potentielle à tester, de manière à estimer la période du semis en fonction de la qualité de la restauration des sites. De plus, des observations personnelles m'ont permis de constater le grand pouvoir d'établissement des propagules asexuées de *R. alba* présent dans les tapis de bryophytes lors des essais en serre (Annexe 1). Malgré qu'étant d'origine clonale, réduisant ainsi l'apport en diversité génétique, le potentiel d'utilisation de ces propagules dans un contexte de restauration mériterait d'être étudié plus en profondeur. Leur utilisation pourrait être une solution de rechange pour les restaurateurs dans le cas d'une mauvaise levée suite au semis ou d'un projet mis sur pied après la période de récolte des semences. Enfin, la restauration des populations végétales autour des mares artificielles à l'aide de semences peut s'avérer une pratique délicate, mais nous demeurons confiants que les premières étapes réalisées dans ce projet ont contribué à établir certaines des bases à l'élaboration de techniques de restauration viables.

Références bibliographiques

- Backéus, I. 1985. Aboveground production and growth dynamics of vascular bog plants in central Sweden. *Acta Phytogeographica Suecica* 74: 1-98.
- Baskin, C.C. & Baskin J.M. 1998. *Seeds: Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*. Academic Press. San Diego, California. 666 p.
- Baskin, C.C., Milberg, P., Andersson, L. & Baskin, J.M. 2001. Seed dormancy-breaking and germination requirements of *Drosera anglica*, an insectivorous species of the Northern Hemisphere. *Acta Oecologica* 22: 1-8.
- Belyea, L.R. & Clymo, R.S. 1998. Do hollows control the rate of peat bog growth? p. 55-65 *dans* Standen, V., Tallis, J.H. & Meade, R. (éd.), *Patterned mires and mire pools – Origin and development; flora and fauna*. British Ecological Society, University of Durham, Durham.
- Bliss, L.C. 1958. Seed germination in arctic and alpine species. *Arctic* 11: 180-188.
- Bliss, L.C. & Wein, R.W. 1972. Plant community responses to disturbances in western Canadian Arctic. *Canadian Journal of Botany* 50: 1097-1109.
- Boudreau, S. & Rochefort, L. 2008. Plant establishment in restored peatlands: 10-years monitoring of sites restored from 1995 to 2003. *dans*: *Proceedings of the 13th International Peat Congress: After Wise Use – The Future of Peatlands, Volume 1: Oral Presentations*, Tullamore, Ireland, 8 - 13 June 2008. C. Farrell & J. Feehan (eds.). International Peat Society, Jyväskylä, Finland. p. 362-366.
- Bragazza, L. & Gerdol, R. 1996. Response surfaces of plant species along water-table depth and pH gradients in a poor mire on the southern Alps (Italy). *Annales Botanici Fennici* 33: 11-20.
- Brewer, J.S. 1998. Effects of competition and litter on a carnivorous plant, *Drosera capillaris* (*Droseraceae*). *American Journal of Botany* 85: 1592-1596.
- Brewer, J.S. 1999. Effects of fire, competition and soil disturbances on regeneration of a carnivorous plant (*Drosera capillaris*). *American Midland Naturalist* 141: 28-42.
- Budelsky, R.A. & Galatowitsch, S.M. 1999. Effects of moisture, temperature and time on seed germination of five wetland *Carices* : Implication for restoration. *Restoration Ecology* 7: 86-97.
- Buteau, P. 1989. *Atlas des tourbières du Québec méridional*. DV 89-02. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. 304 p., 110 cartes (échelle 1 : 250 000).

- Calmé, S. & Desrochers, A. 1999. Nested bird and micro-habitat assemblages in a peatland archipelago. *Oecologia* 118: 361-370.
- Campbell, D.R., Lavoie, C. & Rochefort, L. 2002. Surface stability and wind erosion in abandoned milled peatlands. *Canadian Journal of Soil Science* 82: 85-95.
- Campbell, D.R. & Rochefort, L. 2003. Germination and seedling growth of bog plants in relation to the recolonization of milled peatlands. *Plant Ecology* 169: 71-84.
- Chambers, J.C. & MacMahon, J.A. 1994. A day in a life of a seed: Movements and fates of seeds and their implication for natural and managed systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 25: 263-292.
- Chambert, S. & James, C.S. 2009. Sorting of seeds by hydrochory. *River Research and Applications* 25: 48-61.
- Clymo R.S. & Hayward P.M. 1982. The ecology of *Sphagnum*. p 229-289. *dans*: Smith AJE (ed) *Bryophyte ecology*. Chapman and Hall, London.
- Comes, R.D., Bruns, V.F & Kelley, A.D. 1978. Longevity of certain weed and crop seeds in fresh water. *Weed Science* 26: 336-344.
- Coops, H., Boeters, R. & Smit, H. 1991. Direct and indirect effects of wave on helophytes. *Aquatic Botany* 41: 333-352.
- Coops, H., & van der Velde, G. 1995. Seed dispersal, germination and seedling growth of six helophytes species in relation to water-level zonation. *Freshwater Biology* 34: 13-20.
- Crum, H. 1976. *Mosses of the Great Lakes Forest* (2e Édition). University Herbarium, University of Michigan, Ann Harbor, Michigan. 404 p.
- Damman, A.W.H. 1979. Geographic patterns in peatland development in eastern North America. *dans*: Proceedings of the International symposium on classification of peat and peatlands. Kivinen, E., Heikurainen, L. & Pakarinen, P. (eds). International Peat Society. Helsinki, Finland. p. 42-57.
- Ellison, A.M. 2006. Nutrient limitation and stoichiometry of carnivorous plants. *Plant Biology* 8: 740-747
- Falk, D.A., Richards, C.M., Montalvo, A.M. & Knapp, E.E. 2006. Population and ecological genetics in restoration ecology. *dans*: Falk, DA. Palmer, MA. & Zedler, JB. 2006. *Foundations of Restoration Ecology: The Science and Practice of Ecological Restoration* (The Science and Practice of Ecological Restoration Series). Island Press. p. 14-41.

- Faubert, P. & Rochefort, L. 2002. Response of peatland mosses to burial by wind-dispersed peat. *The Bryologist* 105: 96-103.
- Flora of North America Editorial Committee, eds. 1993+. *Flora of North America North of Mexico*. 12+ vols. New York and Oxford.
- Fontaine, N. 2008. La biodiversité et la restauration des mares de tourbières. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, Québec, Canada. En ligne : http://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrerecherche/Fontaine_MSC_thesis_2008_01.pdf
- Fontaine, N., Poulin, M. & Rochefort, L. 2007. Plant diversity associated with pools in natural and restored peatlands. *Mires and Peat* 2: art. 6, en ligne, http://www.miresand-peat.net/map02/map_02_06.htm.
- Foster, D.R. & King, G.A. 1984. Landscape features, vegetation and developmental history of a patterned fen in south-eastern Labrador, Canada. *Journal of Ecology* 72: 115-143.
- Foster, D.R., King, G.A., Glaser, P.H. & Wright, Jr., H.E. 1983. Origins of string patterns in boreal peatlands. *Nature* 306: 256-258.
- Foster, D.R. & Wright, Jr., H.E. 1990. Role of ecosystem development and climate change on bog formation in central Sweden. *Ecology* 71: 450-463.
- Gignac, L.D., Gauthier, R., Rochefort, L. & Bubier, J. 2004. Distribution and habitat niches of 37 peatland Cyperaceae species across a broad geographic range in Canada. *Canadian Journal of Botany* 82: 1292-1313.
- Glaser, P.H. 1992. Raised bogs in eastern North America: regional controls for species richness and floristic assemblages. *Journal of Ecology* 80: 535-554.
- Glaser, P.H. 1998. The distribution and origins of mire pools. pp.4-25, *dans*: Standen, V., Tallis, J.H. & Meade, R. (éd.), *Patterned mires and mire pools – Origin and development; flora and fauna*. British Ecological Society, University of Durham, Durham.
- Glaser, P.H. & Janssens, J.A. 1986. Raised bogs in Eastern North America : transition in landforms and gross stratigraphy. *Canadian Journal of Botany* 64: 395-415.
- Gold, L. 2000. Phenotypic plasticity of wetland species of *Carex*. M.Sc. Thesis, McGill University, Montréal, Québec, Canada. 106 p.
- Gorham, E., 1990. Biotic impoverishment in northern peatlands. p. 65-98 *dans*: G.M. Woodwell (éd.). *The Earth in Transition. Pattern and Processes of Biotic Impoverishment*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Gorham, E. & Janssens, J.A. 1992. Concepts of fens and bogs re-examined in relation to bryophyte cover and the acidity of surface waters. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 61: 7-20.
- Grabe, D.F. 1970. Tetrazolium testing handbook for agricultural seeds: Contribution no. 29. Association of Official Seeds Analysts. 62 p.
- Griggs, R.F. 1956. Competition and succession in a Rocky Mountain Fellfield. *Ecology* 37: 8-20.
- Groeneveld, E., Massé, A. & Rochefort, L. 2007. *Polytrichum strictum* as a nurse-plant in peatland restoration. *Restoration Ecology* 15: 709-719.
- Groeneveld, E. & Rochefort, L. 2005. *Polytrichum strictum* as a solution to frost heaving in disturbed ecosystems: A case study with milled peatlands. *Restoration Ecology* 13: 74-82.
- Gunnarsson, U. & Rydin, H. 1998. Demography and recruitment of Scots pine on raised bogs in eastern Sweden and relationships to microhabitat differentiation. *Wetlands* 18: 133-141.
- Harper, J.L. & Benton, R.A. 1966. The behaviour of seeds in soil: II. The germination of seeds on the surface of a water supplying substrate. *Journal of Ecology* 54: 151-166.
- Héban, C. 1977. The conducting tissues of bryophytes. J. Cramer, Vaduz, Germany. 157 p.
- Hong, T.D. & Ellis, R.H. 1996. A protocol to determine seed storage behavior. IPGRI Technical bulleting no. 1. (J.M.M. Engels and J. Tolls, vol. eds.). International Plant Genetic Ressources, Rome, Italy. 62 p.
- Hörnberg, G., Ohlson, M. & Zackrisson, O. 1997. Influence of bryophytes and microrelief conditions on *Picea abies* seed regeneration patterns in boreal old-growth swamp forests. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 1015-1023.
- Hurd, E.G. & Shaw, N.L. 1992. Seed technology for *Carex* and *Juncus* species of the intermountains region. dans: Landis, T.D., technical coordinator. Proceedings, Intermountain Forest Nursery Association; 1991 August 12-16, Park City, UT. General Technical Report RM-211. Fort Collin, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountains Forest and Range Experiment Station. p. 74-83. En ligne : <http://www.fcnet.org/proceedings/1991/hurd.pdf>.
- Ingram, H.A.P. 1982. Size and shape in raised mire ecosystems: a geophysical model. *Nature* 297: 300-303.
- Isselin-Nondedeu, F., Rochefort, L. & Poulin, M., 2007. Suivi à long terme de la dynamique de la végétation pour évaluer le succès de la restauration d'une tourbière exploitée (Québec, Canada). Colloque international « Tourbe et tourbières 2007, la

- tourbe en horticulture et la réhabilitation des tourbières après exploitation: quels enjeux pour demain? », Lamoura, France, October 8-11, 2007.
- Jones, K.L., Roundy, B.A., Shaw, N.L. & Taylor, J.R. 2004. Environmental effects on germination of *Carex utriculata* and *Carex nebrascensis* relative to riparian restoration. *Wetlands* 24: 467-479.
- Karofeld, E. 1998. The role of bottom erosion in the development of bog pools. p. 26-36. *dans*: Standen, V., Tallis, J.H. & Meade, R. (éd.), *Patterned mires and mire pools – Origin and development; flora and fauna*. British Ecological Society, University of Durham, Durham.
- Karofeld, E. 2004. Mud-bottom hollows: exceptional features in carbon-accumulating bogs? *The Holocene* 14: 119-124.
- Keddy, P.A. & Constabel, P. 1986. Germination of ten shoreline plants in relation to seed size, soil particle size and water level: An experimental study. *Journal of Ecology* 74: 133-141.
- Kellogg, C.H., Bridgham, S.D., & Leicht, S.A. 2003. Effects of water level, shade and time on germination and growth of freshwater marsh plants along a simulated successional gradient. *Journal of Ecology* 91: 274-282.
- Kettenring, K.M. & Galatowitsch, S.M. 2007a. Temperature requirements for dormancy break and seed germination vary greatly among 14 wetland *Carex* species. *Aquatic Botany* 87: 209-220.
- Kettenring, K.M. & Galatowitsch, S.M. 2007b. Tool for *Carex* revegetation in fresh water wetland: understanding dormancy loss and germination temperature requirements. *Plant Ecology* 193: 157-169.
- Kettenring, K.M., Gardner, G. & Galatowitsch, S.M. 2006. Effect of light on seed germination of eight wetland *Carex* species. *Annals of Botany* 98: 869-874.
- Kikvidze, Z. 1993. Plant species association in alpine-subnival vegetation patches in the Central Caucasus. *Journal of Vegetation Science* 4: 270-302.
- Kuhry, P., Nicholson, B.J., Gignac, L.D., Vitt, D.H. & Bayley, S.E. 1993. Development of *Sphagnum*-dominated peatlands in boreal continental Canada. *Canadian Journal of Botany* 71: 11-22.
- Linhart, Y.B. & Grant, M.C. 1996. Evolutionary significance of local genetic differentiation in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27: 237-77.
- Luck, G.W., Daily, G.C. & Ehrlich, P.R. 2003. Population diversity and ecosystem services. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 331-336.

- Mallik, A.U., Hobbs, R.J. & Legg, C.J. 1984. Seed dynamics in *Calluna-Arctostaphylos* in north-eastern Scotland. *Journal of Ecology* 72: 855-871.
- Marie-Victorin, F. 1995. Flore laurentienne. Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, Québec. 1093 p.
- Mazerolle, M.J., Poulin, M., Lavoie, C., Rochefort, L., Desrochers, A. & Drolet, B. 2006. Animals and vegetation patterns in natural and man-made bog pools: implications for restoration. *Freshwater Biology* 51: 333-350.
- McGraw, J.B. 1993. Ecological genetic variation in seed banks. IV. Differentiation of extant and seed bank derived populations of *Eriophorum vaginatum*. *Arctic and Alpine Research* 25: 45-49.
- Montalvo, A.M., Williams, S.L., Rice, K.J., Buchmann, S.L., Cory, C., Handel, S.N., Nabhan, G.P., Primack, R. & Robichaux, R.H. 1997. Restoration biology: A population biology perspective. *Restoration Ecology* 5: 277-290.
- Nordbakken, J.-F. 1996. Plant niches along water-table gradient on an ombrotrophic mire expanse. *Ecography* 19: 114-121.
- Ohlson, M. & Malmer, N. 1990. Total nutrient accumulation and seasonal variation in resource allocation in the bog plant *Rhynchospora alba*. *Oikos* 58: 100-108.
- Parent, L.-E. 2001. Classification, pédogénèse et dégradation des sols, dans : Rochefort L. et Payette, S. 2001. Écologie des tourbières du Québec-Labrador. Les Presses de l'Université Laval, Québec, QC, Canada. 621 p.
- Payette, S. 2001. Principaux types de tourbières. Pp. 39-80 dans: Payette, S. & Rochefort, L. (éd.), Écologie des tourbières du Québec-Labrador. Les Presses de l'Université Laval, Québec.
- Pietropaolo, J. & Pietropaolo, P. 1986. Carnivorous Plants of the World. Timber Press, Portland Oregon, USA. 206 p.
- Poulin, M., Careau, D., Rochefort, L. & Desrochers, A. 2002. From satellite imagery to peatland vegetation diversity: How reliable are habitat maps? *Conservation Biology* 6: 16, en ligne, <http://www.consecol.org/vol6/iss2/art16/>.
- Poulin, M., Rochefort, L. & Desrochers, A. 1999. Conservation of bog plant species assemblages: assessing the role of natural remnants in mined sites. *Applied Vegetation Science* 2: 169-180.
- Price, J. 1997. Soil moisture, water tension and water table relationships in a managed cutover bog. *Journal of Hydrology* 202: 21-32.

- Price, J., Rochefort & Quinty, F. 1998. Energy and moisture considerations on cutover peatlands: surface microtopography, mulch cover and *Sphagnum* regeneration. *Ecological Engineering* 10: 293-312.
- Quinty, F. & Rochefort, L. 2000. Bare peat instability in peatlands restoration: problems and solutions. *dans*: Rochefort, L. & Daigle, J-Y. (eds), *Sustaining our peatlands: Proceedings of the 11th international peat congress*. International Peat Society, Québec City. p 751-756.
- Quinty, F. & Rochefort, L. 2003. *Guide de restauration des tourbières*. Deuxième édition. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Québec, Québec. 119 p.
- Robroeck, B.J.M., Schouten, M.H.C., Limpens, J., Berendse, F. & Poorter, H. 2009. Interactive effects of water table and precipitation on net CO₂ assimilation of three co-occurring *Sphagnum* mosses differing in distribution above the water table. *Global Change Biology* 15:680-691.
- Rochefort, L. 2001. Restauration écologique. p. 349-504, *dans* : Payette, S. & Rochefort, L. (éd.), *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec.
- Rochefort, L., Quinty, F., Campeau, S., Johnson, K. & Malterer, T. 2003. North American approach to the restoration of *Sphagnum* dominated peatlands. *Wetlands Ecology and Management* 11: 3-20.
- Royal Botanic Gardens Kew. 2008. Seed Information Database (SID). Version 7.1. En ligne: <http://data.kew.org/sid/>
- Rybnicek, K. 1970. *Rhynchospora alba* (L.) Vahl., its distribution, communities and habitat conditions in Czechoslovakia, part 2. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica* 5: 117-219.
- Rydin, H., Gunnarsson, U. & Sundberg, S. 2006. The Role of *Sphagnum* in Peatland Development and Persistence. *dans*: *Ecological Studies*, Vol. 188. R.K.Wieder and D.H.Vitt (Eds.) *Boreal Peatland Ecosystems*. p. 47-65.
- Salonen, V. 1987. Relationship between the seed rain and the establishment of vegetation in two areas abandoned after peat harvesting. *Holarctic Ecology* 10: 171-174.
- SAS Institute. 1999-2001. SAS Proprietary Software. Release 8.02. Cary, N.C: SAS Institute, Inc.
- Schmid, B. 1984. Life histories in clonal plants in the *Carex flava* group. *Journal of Ecology* 72: 93-114.

- Schnell, D.E. 2002. Carnivorous plants of the United States and Canada. Timber Press, Portland, Oregon. 468 p.
- Schultz, W. 2000. Ecology of seed dormancy and germination in sedges (*Carex*). *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 3: 67–89.
- Sheldon, J.C. 1974. The behaviour of seeds in soil: III. The influence of seed morphology and the behaviour of seedlings on the establishment of plants from surface-lying seeds. *Journal of Ecology* 62: 47-66.
- Smits, M.J.A., van Duinen, G.A., Bosman, J.G., Brock, A.M.T, Javois, J., Kuper, J.T., Peeters, T.M.J., Peeters, M.A.J. & Esselink, H. 2002. Species richness in a species poor system: aquatic macroinvertebrates of Nigula Raba, an intact raised bog system in Estonia. p. 283-291 *dans*: Schmilewski, G. & Rochefort, L. (éds), Peat in horticulture, quality and environmental challenges. International Peat Society, Pärnu, Estonia.
- Soro, A., Sunberg, S. & Rydin, H. 1999. Species diversity, niche metrics and species associations in harvested and undisturbed bogs. *Journal of Vegetation Science* 10: 549-560.
- Tallis, J.H. & Birks, H.J.B. 1965. The past and present distribution of *Scheuchzeria palustris* L. in Europe. *Journal of Ecology* 53: 287-298.
- Thum, M. 1986. Segregation of habitat and prey in two sympatric carnivorous plant species, *Drosera rotundifolia* and *Drosera intermedia*. *Oecologia* 70: 601-605.
- van den Broek, T., van Diggelen, R. & Bobbink, R. 2005. Variations in seed buoyancy of species in wetland ecosystems with different flooding dynamics. *Journal of Vegetation Science* 16: 579-586.
- van der Valk, A.G., Bremholm, T.L. & Gordon, E. 1999. The restoration of sedge meadows: Seed viability, seed germination requirements, and seedling growth of *Carex* species. *Wetlands* 19: 756-764.
- van Duinen, G.-J.A., Brock, A.M.T., Kuper, J.T., Leuven, R.S.E.W., Peeters, T.M.J., Roelofs, J.G.M., van der Velde, G., Verberk, W.C.E.P. & Esselink, H. 2003. Dorestorement measures rehabilitate fauna diversity in raised bogs? A comparative study on aquatic macroinvertebrates. *Wetlands Ecology and Management* 11: 447-459.
- van Tooren, B.F. 1988. The fate of seeds after dispersal in chalk grassland: the role of the bryophyte layer. *Oikos* 53: 41-48.
- Vavrek, M.C., Fetcher, N., McGraw, J.B., Shaver, G.R., Stuart Chapin III, F. & Bovard, B. 1999. Recovery of productivity and species diversity in tussock tundra following disturbance. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 31: 254-258.
-

- Verberk, W.C.E.P., van Duinen, G.A., Brock, A.M.T., Leuven, R.S.E.W., Siepel, H., Verdonschot, P.F.M., van der Velde, G. & Esselink, H. 2006. Importance of landscape heterogeneity for the conservation of aquatic macroinvertebrate diversity in bog landscapes. *Journal for Nature Conservation* 14: 78-90.
- Visser, E.J.W., Bogemann, G.M., Van de Steeg, H.M., Pierik, R. & Blom, C.W.P.M. 2000. Flooding tolerance of *Carex* species in relation to field distribution and aerenchyma formation. *New Phytologist* 148: 93-103.
- Vitt, D.H., Li, Y. & Belland, R.J. 1995. Patterns in bryophyte diversity in peatlands of continental western Canada. *The Bryologist* 98: 218-227
- Wein, R.W. & MacLean, D.A. 1973. Cotton grass (*Eriophorum vaginatum*) germination requirements and colonizing potential in the Arctic. *Canadian Journal of Botany* 51: 2509-2513.
- Weltzin, J.F., Pastor, J., Harth, C., Bridgham, S.D., Updegraff, K. & Chapin, C.T. 2000. Response of bog and fen plant communities to warming and water-table manipulations. *Ecology* 81: 3464-3478.

Annexe 1 - Propagules de *Rhynchospora alba*

Dans le cadre de l'expérience portant sur la germination et la croissance des plantes associées aux bords de mares de tourbières (Chapitre 2), nous avons observé un mode de reproduction asexuée qui semble être prépondérant chez *Rhynchospora alba*. Le phénomène est décrit dans la présente annexe.

La mise en place des lits de semences dans les bacs expérimentaux en serre (chapitre 2) a nécessité le prélèvement des tapis de bryophytes provenant du pourtour des mares en milieu naturel. Les tapis ont été d'abord entreposés au froid pendant 5 mois, pour ensuite être installés dans les bacs expérimentaux pendant une période de trois mois avant le semis des espèces vasculaires et le suivi de leur succès d'établissement. Un désherbage intensif des plantes vasculaires présentes a été réalisé dès la mise en bacs des lits de semences. Ce désherbage s'est poursuivi périodiquement jusqu'à l'ajout des semences à l'étude, afin d'éliminer la levée spontanée de plantules due à la germination des semences et à la croissance de bourgeons sur des rhizomes présents initialement dans le tapis. Lors de ces entretiens périodiques, nous avons constaté la levée de plants à croissance très rapide. En effet, plusieurs individus avaient réussi à atteindre une taille impressionnante entre certaines périodes de suivi, donnant l'impression que le désherbage n'avait pas été complété adéquatement lors de la session précédente. Ces plants possédaient souvent plusieurs feuilles, et bien que l'enracinement était relativement superficiel, leur base était bien intégrée dans les tapis de sphaignes et d'hépatiques. Ces plants se sont avérés être des plants de *Rhynchospora alba* (Figure A1(a)).

L'observation de plants adultes de *Rhynchospora alba* en fin de saison de croissance, dans les traitements où les semences de cette espèce ont été introduites (Figure A1(b,c)), nous a permis de découvrir à leur base des structures végétatives de 1 à 3 cm de long, formées de feuilles fortement imbriquées et à cuticule épaisse. Elles ont aussi comme caractéristiques de se détacher facilement du plant porteur lors de manipulation et de ne pas avoir de racine. Elles pourraient agir à titre de propagules que l'on définit comme des bourgeons, feuilles

ou rameaux réduits, servant à la reproduction végétative (Crum 1976 cité par Ayotte 1994). Les plants suivis lors de l'expérience de croissance (chapitre 2) ont produit 5,3 propagules en moyenne par tige, tout traitement confondu (données non présentées), lors d'un décompte 91 jours après le semis. Un plant individuel en possédait même 20 à lui seul! Ces propagules ont également été observées directement en milieu naturel, sur des plants de *Rhynchospora* au pourtour des mares d'une tourbière naturelle (Figure A1b).

Quelques-unes de ces observations supportent celles effectuées par Backéus (1985). Dans sa thèse portant sur la productivité et la dynamique de la croissance des plantes vasculaires associées aux tourbières ombrotrophes de Suède, il notait que les propagules (auxquelles il réfère à titre de bourgeons : «buds») étaient des structures pérennes pouvant servir de diaspores. Ces structures ont été aperçues, flottant fréquemment lors d'inondations des populations de *R. alba*, supposant ici une méthode de dispersion pour cette espèce (Sernander 1901, cité par Backéus 1985). Leur nombre était cependant beaucoup moins élevé que dans le cas de notre étude, avec des estimés de 1,20 à 1,52 propagule par tige en moyenne, selon l'année d'inventaire. Le rôle de reproduction de ces propagules semble si prépondérant et évident pour Backéus qu'il affirme qu'elles constituent le mode de reproduction principal de l'espèce, d'autant plus qu'il avait observé l'absence totale de jeunes plantules dans les populations suivies.

D'origine clonale, et donc de génétique identique au plant mère, leur intérêt est moindre que l'utilisation de semences pour assurer une diversité génétique dans un contexte de restauration. Cependant, la quantité produite par plant en une saison de croissance et la facilité à les récolter tard à l'automne ou tôt au printemps en font une solution de rechange, lorsque les semences sont déjà tombées des hampes. De plus, leur taille compacte les rend faciles à manipuler et à récolter, pouvant ainsi facilement être semées à la volée ou encore incorporées au matériel de restauration dans l'épandeur latéral, lors du processus de restauration par la technique de transfert muscinal (Rochefort et Quinty 2003). Elles représenteraient donc une source secondaire intéressante de diaspores pour une espèce propre aux bords de mares, dont le potentiel d'utilisation en restauration reste à évaluer.

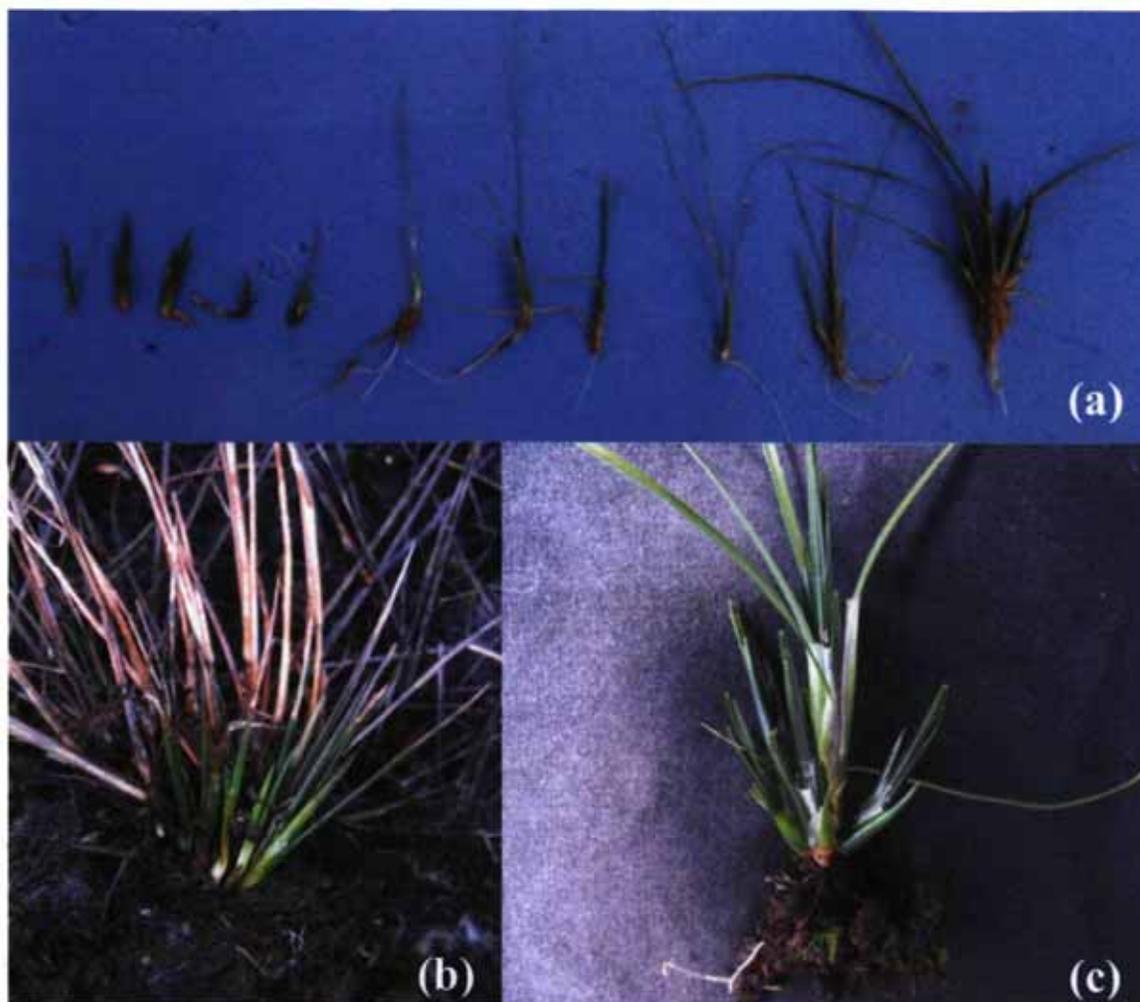


Figure A1. Propagules asexuées de *Rhynchospora alba*; (a) extraites des tapis expérimentaux, à différents stades de développement allant de propagules fraîchement séparées d'un plant mère à la production d'un plant adulte; (b) en bordure d'une mare en tourbière naturelle tôt au printemps parmi les débris végétaux; (c) détail du regroupement des propagules autour de la tige principale en croissance, au terme de l'expérience de croissance en serre (Chapitre 2).

Bibliographie

- Backéus, I. 1985. Aboveground production and growth dynamics of vascular bog plants in central Sweden. *Acta Phytogeographica Suecica* 74: 1–98.
- Ayotte, G. 1994. Glossaire de botanique, autoformation. Éditions Multimondes, Québec. 616 p.
- Quinty, F. & Rochefort, L. 2003. Guide de restauration des tourbières. Deuxième édition. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Québec, Québec. 120 p.