

Université de Montréal

Effet de la salinité sur la compétition entre le roseau (*Phragmites australis*)
et les quenouilles (*Typha* spp.)

Par

Etienne Paradis

Département de Sciences biologiques

Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
En vue de l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M. Sc.)
en Sciences biologiques

Avril 2008

© Etienne Paradis, 2008

Université de Montréal
Faculté des Études Supérieures

Ce mémoire intitulé :
Effet de la salinité sur la compétition entre le roseau (*Phragmites australis*)
et les quenouilles (*Typha* spp.)

Présenté par
Etienne Paradis

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Luc Brouillet
Président-rapporteur

Jacques Brisson
Directeur de recherche

Stéphanie Pellerin
Membre du jury

Résumé

L'hypothèse que le sel de déglacage aurait favorisé l'envahissement des fossés autoroutiers par le roseau commun (*Phragmites australis*) a été soulevée à maintes reprises. Le présent mémoire tente de vérifier cette hypothèse en combinant des mesures de conductivité des sols de fossé autoroutier avec une approche expérimentale pour évaluer la compétitivité du roseau et des quenouilles (*Typha* spp.) à trois niveaux de salinité. Les diminutions relatives des biomasses aérienne et souterraine dues à la compétition indiquent que les individus isolés (issus de graines ou de rhizomes) des deux espèces ont une compétitivité similaire en absence comme en présence de salinité. En colonies, les roseaux sont plus compétitifs que les quenouilles en absence comme en présence de salinité. Dans tous les cas (individus isolés ou colonies), les diminutions relatives des biomasses aérienne et souterraine dues à la salinité ont été plus importantes pour les quenouilles que les roseaux.

Mots clés: interaction, compétition interspécifique, indice de compétition, stress, sel de déglacage, autoroute, fossé de drainage, macrophyte, stade de développement, semis, colonie.

Abstract

Since its introduction in northeastern North America, common reed (*Phragmites australis*) has rapidly invaded drainage ditches along all major highways, often replacing the formerly abundant cattails (*Typha* spp.). It has often been hypothesized that de-icing salt was responsible for this rapid invasion. This thesis attempted to verify this hypothesis by using an experimental approach in which common reed and cattails were planted together to measure their relative competitiveness at three salinity levels. The conductivity of soils in drainage ditches was also measured during the growing season. Calculated competition indices indicated that seedlings and isolated clones of both species are of similar competitiveness in freshwater and saline water. In colonies, the common reed is already more competitive at zero salinity and maintains its advantage at higher salinity levels. In all the experiments, the saline stress had a more negative direct effect on cattails than on common reeds.

Key-words: common reed, cattail, interaction, interspecific competition, competition index, stress, salinity, de-icing salt, highway, drainage ditch, macrophyte, development stage, seedling, colony.

Table des Matières

Résumé.....	iii
Abstract.....	iv
Table des Matières.....	v
Liste des Tableaux.....	viii
Liste des Figures.....	ix
Remerciements.....	xii
Chapitre 1 : Introduction.....	1
1.1 Mise en contexte.....	1
1.2 Le roseau.....	2
1.2.1 Le roseau, plante envahissante.....	2
1.2.2 La génétique du roseau.....	2
1.2.3 Le roseau exotique au Québec.....	3
1.3 Les quenouilles.....	5
1.4 La compétition entre le roseau et les quenouilles.....	6
1.4.1 Avantages du roseau.....	6
1.4.2 La progression en fossé autoroutier.....	8
1.5 La salinité.....	8
1.5.1 Tolérance au sel du roseau et des quenouilles.....	8
1.5.2 Le roseau exotique et la salinité.....	10
1.5.3 Effet du sel de déglacement sur la végétation en fossé autoroutier.....	10
1.6 Objectifs.....	13
1.7 Organisation du mémoire.....	14
Chapitre 2: Mesure de salinité en fossé autoroutier.....	15
2.1 Introduction.....	15
2.1.1 L'expansion d'aire des halophytes vers les fossés autoroutiers.....	15
2.1.2 La physicochimie des sels de déglacement.....	16
2.1.3 Objectif.....	17
2.2 Méthodologie.....	18
2.2.1 Récolte des échantillons.....	18
2.2.2 Analyse des échantillons en laboratoire.....	20
2.2.3 Analyses statistiques.....	21
2.3 Résultats.....	21
2.4 Discussion.....	25
2.5 Conclusion.....	27

Chapitre 3: L'effet de la salinité sur la compétition entre le roseau commun et les quenouilles.....	28
3.1 Introduction.....	28
3.1.1 Mesures de compétitivité.....	29
3.1.2 Effet de la salinité sur la compétition.....	31
3.1.3 Objectifs.....	37
3.2 Méthodologie.....	38
3.2.1 Généralités.....	38
3.2.2 Expériences avec semis.....	39
3.2.3 Expériences par multiplication végétative.....	44
3.2.4 Expérience de fronts de colonisation en bassins.....	50
3.2.5 Gestion de la salinité et des éléments nutritifs pour les trois expériences.....	52
3.2.6 Traitement des données et analyses statistiques.....	53
3.3 Résultats.....	55
3.3.1 Généralités.....	55
3.3.2 Résultats de l'expérience avec semis de 2006.....	56
3.3.3 Résultats de l'expérience avec semis de 2007.....	60
3.3.4 Résultats de l'expérience par multiplication végétative de 2006.....	65
3.3.5 Résultats de l'expérience par multiplication végétative de 2007.....	70
3.3.6 Résultats de l'expérience de fronts de colonisation en bassins en 2007.....	75
3.3.7 Différences entre les années et problèmes expérimentaux.....	78
3.4 Discussion.....	80
3.4.1 Effet de la compétition en absence de salinité.....	80
3.4.2 Effet de la salinité sans compétition.....	84
3.4.3 Interaction entre la compétition et la salinité.....	87
3.5 Conclusion.....	89
 Chapitre 4: Conclusion générale.....	 92
 Bibliographie.....	 95
ANNEXES.....	xiv
ANNEXE 1.....	xvi
ANNEXE 2.....	xvii
ANNEXE 3.....	xxi
ANNEXE 4.....	xxv
ANNEXE 5.....	xxx
ANNEXE 6.....	xxxv
ANNEXE 7.....	xxxvii
ANNEXE 8.....	xxxix

ANNEXE 9	xli
ANNEXE 10	xlii
ANNEXE 11	xliv
ANNEXE 12	xlvii

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Taux moyens hivernaux d'épandage de sel aux différentes bornes échantillonnées (tonnes par km) et mesures de conductivité (μS) des sols des fossés autoroutiers aux différentes dates au cours de l'été 2007.....	22
Tableau 2.2 : Analyse ANOVA des facteurs influençant la conductivité pour les 10 sites.....	23
Tableau 2.3 : Analyse ANOVA des facteurs influençant la conductivité pour les 6 sites dont les données d'épandage de sel sont disponibles.....	24
Tableau 2.4 : Mesures de conductivité (μS) des sols récoltés le 10 octobre 2007 au site à flore halophyte dans la bande centrale de l'autoroute 15	24
Tableau 3.1 : Légende de la présentation des résultats et des tests ANOVA sur les graphiques.....	55

Liste des figures

Figure 2.1 : Évolution de la conductivité moyenne (μS) dans les fossés des trois autoroutes au cours de la saison d'échantillonnage.....	23
Figure 3.1 : Différents scénarios de réponses possibles d'un trait quelconque aux facteurs de salinité et compétition.....	33
Figure 3.2 : Indices d'intensité relative de la compétition selon la salinité pour les modèles 3 et 4.....	35
Figure 3.3 : Schéma comparatif de la répartition des semis dans les pots en 2006 et en 2007.....	42
Figure 3.4 : Schéma de la répartition spatiale de l'expérience des semis en 2006 et en 2007.....	42
Figure 3.5 : Schéma comparatif de la répartition des rhizomes dans les pots en 2006 et en 2007.....	48
Figure 3.6 : Schéma de la répartition spatiale de l'expérience des rhizomes en 2006 et en 2007.....	49
Figure 3.7 : Biomasse aérienne (g) et souterraine (g), densité des tiges et hauteur maximale (cm) des roseaux et quenouilles de l'expérience des semis en 2006 exprimés sous forme de moyennes avec erreur-type.....	57
Figure 3.8 : Indice d'intensité relative de la compétition de l'expérience des semis 2006 en fonction de la salinité	58
Figure 3.9 : Indice de stress salin pour la biomasse aérienne des plantes de l'expérience de croissance par semis en 2006 selon la présence ou l'absence de compétition.....	58

Liste des figures (suite)

Figure 3.10 : Indice de stress salin pour la biomasse souterraine des plantes de l'expérience de croissance par semis en 2006 selon la présence ou l'absence de compétition.....	59
Figure 3.11 : Biomasse aérienne (g) et souterraine (g), densité des tiges et hauteur maximale (cm) des roseaux et quenouilles de l'expérience des semis en 2007 exprimés sous forme de moyennes avec erreur-type.....	62
Figure 3.12 : Indice d'intensité relative de la compétition de l'expérience des semis 2007 en fonction de la salinité	63
Figure 3.13 : Indice de stress salin pour la biomasse aérienne des plantes de l'expérience de croissance par semis en 2007 selon la présence ou l'absence de compétition.....	63
Figure 3.14 : Indice de stress salin pour la biomasse souterraine des plantes de l'expérience de croissance par semis en 2007 selon la présence ou l'absence de compétition.....	64
Figure 3.15 : Biomasse aérienne (g) et souterraine (g), densité des tiges des roseaux et quenouilles de l'expérience des rhizomes en 2006 exprimés sous forme de moyennes avec erreur-type.....	67
Figure 3.16 : Indice d'intensité relative de la compétition de l'expérience des rhizomes 2006 en fonction de la salinité	68
Figure 3.17 : Indice de stress salin pour la biomasse aérienne des plantes de l'expérience de croissance par rhizomes en 2006 selon la présence ou l'absence de compétition.....	68

Liste des figures (suite)

- Figure 3.18 : Indice de stress salin pour la biomasse souterraine des plantes de l'expérience de croissance par rhizomes en 2006 selon la présence ou l'absence de compétition.....69
- Figure 3.19 : Biomasse aérienne (g) et souterraine (g), densité des tiges et hauteur maximale (cm) des roseaux et quenouilles de l'expérience des rhizomes en 2007 exprimés sous forme de moyennes avec erreur-type.....72
- Figure 3.20 : Indice d'intensité relative de la compétition de l'expérience des rhizomes 2007 en fonction de la salinité73
- Figure 3.21 : Indice de stress salin pour la biomasse aérienne des plantes de l'expérience de croissance par rhizomes en 2007 selon la présence ou l'absence de compétition.....73
- Figure 3.22 : Indice de stress salin pour la biomasse souterraine des plantes de l'expérience de croissance par rhizomes en 2007 selon la présence ou l'absence de compétition.....74
- Figure 3.23 : Biomasse aérienne (g), densité des tiges et hauteur maximale (cm) des roseaux et quenouilles de l'expérience des bassins en 2007 exprimés sous forme de moyennes avec erreur-type.....76
- Figure 3.24 : Indice d'intensité relative de la compétition de l'expérience des bassins à la fin du deuxième été de croissance (2007) en fonction de la salinité.....77
- Figure 3.25 : Indice de stress salin pour la biomasse aérienne des plantes de l'expérience en bassins en 2007 selon la présence ou l'absence de compétition.....77

Remerciements

Mon histoire dans ce laboratoire commence en mai 2004 alors que Marie-Ève Bellavance débutait sa maîtrise. Étant un peu prise au dépourvu, elle s'est faite très insistante et convaincante pour m'avoir comme « aide de terrain ». Je lui suis très reconnaissant de m'avoir donné cette opportunité de découvrir une merveilleuse équipe de recherche. J'ai tant aimé mon expérience que j'ai décidé d'y passer un deuxième été de stage et même continuer à la maîtrise ! Merci Marie-Ève et merci à tous les autres membres du laboratoire, notamment Jacques Brisson, un excellent directeur de recherche sachant donner assez de liberté et suffisamment d'encadrement. Merci aussi pour ton hospitalité et pour l'organisation de tous ces fameux partys de labo ! Merci mille fois à notre professionnel de recherche Bastien Fontaine, un botaniste et écologiste brillant soulevant de bonnes idées de discussion, mais aussi un excellent horticulteur ! Cette maîtrise n'aurait pu se réaliser sans les semis et les rhizomes qu'il m'a fournis pour mes expériences. Il a aussi planifié et construit les expériences en bassins en plus de s'occuper de leur gestion en nutriments et de la récolte des résultats. Au besoin, c'est aussi lui qui a fait les traitements insecticides et herbicides en serres ou à l'extérieur. Il m'a appris énormément sur la culture hydroponique et les méthodes de germination. Je le considère comme mon codirecteur de maîtrise, il m'a toujours aidé sans jamais compter. Un autre merci particulier à Patrick Boivin, toujours disponible quand on a besoin d'aide. Je tiens aussi à remercier tous les autres membres du laboratoire pour leur aide lors de travaux ou pour des conseils lors de discussions : Vincent Gagnon, Marie Lapointe, Joëlle Midy, Maud Fillion, Gabriel Maltais-Landry, Marie-Eve Tousignant et Florent Chazarenc. Un énorme merci aux nombreux stagiaires et aides de terrains ayant fournis leurs habiles mains pour la récolte et le nettoyage de rhizomes, pour l'alimentation en eau pendant les fins de semaines et pour la récolte de résultats : Pierre-André Bernier, Lucie Bouchard, Noémie Boulanger-Lapointe, Marie-Laure de Boutray, Audrey Fort'homme, Yann Foucard, Nathanielle Major, Youri Tendland et Ramelot Lafleur-Tremblay.

Merci à Stuart Hay pour sa contribution à ma recherche bibliographique d'articles sur les flores halophytiques des fossés autoroutiers. Merci au statisticien Stéphane Daigle pour les plans d'expérimentation et les analyses statistiques. Merci à tous les horticulteurs responsables des serres expérimentales du Jardin Botanique de Montréal. Merci au reste de la « Famille IRBV » : professeurs, étudiants, professionnels de recherche et membres de l'administration. Merci à tous les autres membres du groupe *Phragmites* pour le partage de connaissances lors des Ateliers *Phragmites*.

Merci au Dr Ray Callaway, les étudiants de son laboratoire et son assistant de recherche Giles Thelen pour l'accueil chaleureux à la « University of Montana ». J'y ai appris énormément sur la dynamique de plusieurs espèces envahissantes, l'allélopathie et l'autécologie de plusieurs plantes des Rocheuses.

Mon étude a été rendue possible grâce à une subvention CRSNG Découverte à Jacques Brisson et à une subvention CRSNG Stratégique au groupe *Phragmites* (C. Lavoie, U. Laval; J. Brisson, UdeM; S. de Blois, U. McGill; F. Belzile, U. Laval). Mon stage de recherche au Montana a été réalisé grâce à la bourse Jacques Rousseau de l'IRBV et une bourse du Ministère de l'Éducation du Québec.

Finalement, un gros merci à mes amis, mon père, ma mère et mon frère pour leur soutien moral.

Chapitre 1 : Introduction

1.1 Mise en contexte

La compétition est l'un des facteurs principaux dans la formation des communautés végétales d'équilibre. Cependant, certains écosystèmes sont traditionnellement reconnus comme étant d'avantage régi par la compétition et d'autres par des stress ou des perturbations (Clements, 1916; Grime, 1977; Tilman, 1982). Par exemple, les marais naturels d'eau douce sont surtout dominés par des espèces ayant une forte compétitivité, tandis que les marais salés estuariens ou côtiers sont plus souvent dominés par des espèces possédant des mécanismes de tolérance aux conditions extrêmes de salinité (Clarke et Hannon, 1970; Cooper, 1982). La compétitivité de chaque espèce est ainsi dépendante de la salinité du milieu (Pennings et Callaway, 1992; Emery *et al.*, 2001).

S'appuyant sur ces connaissances globales des rôles de la compétition et de la salinité et connaissant l'importance des fossés autoroutiers comme habitat pour le roseau commun envahissant (Maheu-Giroux et de Blois, 2007; Jodoin *et al.*, 2008), des expériences s'avéraient nécessaires afin d'élucider le rôle du sel de déglacage dans la progression du roseau et le déclin des quenouilles, autrefois beaucoup plus répandues dans les fossés . Ce mémoire porte sur l'étude des effets d'un stress salin sur la compétitivité du roseau et des quenouilles à l'aide d'expériences factorielles. Afin de bien comprendre la problématique, les prochaines sections discuteront de l'écologie du roseau et des quenouilles.

1.2 Le roseau

1.2.1 Le roseau, plante envahissante

Les plantes exotiques amenées par l'homme sont l'une des principales menaces pour la biodiversité (Mooney et Cleland, 2001; Levine *et al.*, 2003 ; Gurevitch et Padilla, 2004). En compétitionnant avec les espèces indigènes, elles modifient les composantes biologiques des écosystèmes (richesse et abondance), elles peuvent même bouleverser les cycles de la matière et certaines propriétés physiques des milieux naturels (sol, lumière, humidité). Comme plusieurs graminées (Poaceae), le roseau commun (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud) figure parmi la grande liste des espèces envahissantes à l'échelle mondiale (Global Invasive Species Database, 2006). En 2005, il a aussi été reconnu comme une plante envahissante de statut de priorité maximal au Canada par un regroupement de botanistes canadiens utilisant les barèmes internationaux de l'organisme NatureServe (Catling, 2005).

1.2.2 La génétique du roseau

Selon la revue de littérature de Chambers *et al.* (1999), le roseau commun est présent dans la flore nord-américaine depuis plusieurs milliers d'années. Il a longtemps été considéré comme une espèce indigène à répartition « général[e], mais très clairsemé[e] dans le Québec » (Marie-Victorin, 1964). La situation est semblable aux États-Unis au début du 19^{ème} siècle où il est habituellement décrit comme étant peu commun ou rare (Chambers *et al.*, 1999). L'expansion explosive et soudaine de l'espèce à partir du début du 19^{ème} siècle a suscité beaucoup de recherche sur ce mystère (Chambers *et al.*, 1999). On croyait au départ que l'envahissement n'était lié qu'à des perturbations

anthropiques des milieux humides, comme la pollution en engrais et l'altération des régimes hydriques et de salinité. Or, des études génétiques de spécimen d'herbier ont démontré que c'est principalement l'introduction d'un génotype eurasiatique sur la côte Atlantique qui est responsable du changement de comportement observé (Saltonstall, 2002). À l'exception d'un cas isolé d'envahissement par le génotype indigène dans la région des Grands-Lacs (Lynch et Saltonstall, 2002), le génotype indigène n'a pratiquement jamais manifesté de comportement envahissant. Étant donné la similarité morphologique entre le roseau de génotype exotique et les génotypes indigènes, l'avancée du génotype exotique s'est souvent réalisée graduellement sans que personne ne s'y attarde jusqu'à ce qu'il y ait un bon établissement et une phase d'expansion exponentielle (Saltonstall, 2002). Dans le reste de ce mémoire, lorsqu'il est question du roseau, la sous-espèce exotique est sous-entendue, à moins de spécification contraire.

1.2.3 Le roseau exotique au Québec

Au Québec, les premiers spécimens d'herbier du roseau datent de 1820 dans les régions de Montréal et de Québec; on ne sait toutefois pas s'il s'agit du génotype eurasiatique (Delisle *et al.*, 2003). Jodoin *et al.* (2008) ont étudié les populations du roseau en bordure d'autoroute et il s'agit du génotype eurasiatique dans 99% des cas. L'hypothèse traditionnelle est que le roseau se serait surtout très bien implanté au Québec grâce à une bonne stratégie de reproduction végétative parfaitement adaptée aux conditions reliées à la construction des grandes autoroutes le long du fleuve Saint-Laurent pendant les années 1963-1984 (Delisle *et al.*, 2003; Lavoie *et al.*, 2003). Les morceaux de rhizomes oubliés sur les équipements de construction auraient agi comme

des propagules et se seraient enracinés pour former de nouvelles colonies (Gervais *et al.*, 1993). Ces milieux perturbés sont souvent les milieux plus rapidement colonisés par les espèces exotiques envahissantes. Le roseau y profite notamment de la présence de sol mis à nu lors de la construction et de l'entretien du réseau routier, des apports importants d'azote des régions agricoles avoisinantes et de l'absence de barrières de compétition pour ralentir sa progression linéaire (Jodoin *et al.*, 2008). Cependant, les patrons de répartition des colonies de roseau dans les fossés autoroutiers du sud du Québec suggèrent que la colonisation sexuée aurait aussi pu jouer un rôle important (Maheu-Giroux et de Blois, 2007). En effet, beaucoup de petites colonies isolées se développent dans les fossés, parfois à des endroits relativement éloignées des colonies déjà présentes (Maheu-Giroux et de Blois, 2007). Des semis retrouvés en fossé autoroutier après une perturbation supportent cette hypothèse (Brisson *et al.*, *sous-presse*). Peu importe s'il s'agit de la reproduction asexuée ou sexuée qui est la plus importante, les fossés autoroutiers possèdent des conditions physiques, chimiques et biologiques très différentes des milieux environnants. Ces conditions en font d'excellents lits de germination ou d'enracinement de rhizomes.

Étant donné que le roseau utilise efficacement les fossés autoroutiers comme couloirs de migration (Maheu-Giroux et de Blois, 2007), la plus grande menace du roseau vient justement de ces colonies présentes en fossé qui peuvent servir de sources de propagules vers des milieux naturels. D'ailleurs, plusieurs milieux naturels sont déjà très envahis, par exemple, dans les îles de Boucherville situées dans le fleuve Saint-Laurent, la superficie occupée par la plante est passée de 1 hectare en 1980 à 33 hectares en 2002

(Hudon *et al.*, 2005). La situation est semblable dans plusieurs autres îles fluviales du Saint-Laurent (Hudon *et al.*, 2005). De plus, dans plusieurs milieux humides le long du fleuve Saint-Laurent où le roseau est présent, les communautés de plantes indigènes comptent beaucoup moins d'espèces et possèdent des indices de diversité de Shannon plus faibles que dans tous les autres milieux, y compris ceux colonisés par des quenouilles ou d'autres espèces envahissantes (Lavoie *et al.*, 2003).

1.3 Les quenouilles

Au Québec, on retrouve deux espèces de quenouilles (famille : Typhaceae) : la quenouille à feuilles larges (*Typha latifolia* L.) et la quenouille à feuilles étroites (*Typha angustifolia* L.). Ces espèces peuvent se croiser pour ainsi former un hybride (*Typha ×glauc*a Godr.). On peut difficilement confondre les espèces pures, car elles sont différentes pour plusieurs traits morphologiques. Par contre, l'hybride possède des caractères intermédiaires et ressemble morphologiquement beaucoup aux deux espèces parentes. L'hybride étant aussi fertile, il peut y avoir des taux d'introgession variables avec les deux espèces parentes. Une étude génétique des quenouilles de la région des Grands-Lacs prouve d'ailleurs que la majorité des populations sont formées d'hybrides avec des proportions différentes des deux parents (Marburger *et al.*, 2006). Une étude précédente, avec d'autres marqueurs génétiques, avait portée sur des populations de quenouilles de différentes provinces et avait trouvé au Québec quatre colonies de quenouilles hybrides sur 33 colonies (Kuehn et White, 1999).

Les niches écologiques des deux espèces de quenouilles sont légèrement différentes. La quenouille à feuille large préfère les marais avec une plus faible profondeur d'eau que la quenouille à feuille étroite (Grace et Harrison, 1986). Ainsi, lorsque les deux espèces de quenouilles vivent ensemble dans des marais salés, *T. angustifolia* domine la partie basse et *T. latifolia* domine la partie haute (Grace, 1985).

Les quenouilles forment souvent des colonies qu'elles dominent largement puisqu'elles sont plus grandes que la majorité des herbacées de milieux humides. Les feuilles de *Typha domingensis* et *T. angustifolia* semblent également posséder des propriétés allélopathiques empêchant la germination et la croissance des semis de plusieurs espèces aquatiques (Leeds *et al.*, 2006). Comme les quenouilles sont reconnues comme étant des espèces très compétitives à caractère envahissant dans certains milieux (Woo et Zedler, 2002), la menace de leur remplacement en fossé autoroutier peut sembler peu préoccupante. Or, comme il a été démontré par les études de Lavoie *et al.* (2003), les communautés de roseau sont moins diversifiées que celles composées de quenouilles. Au Québec, les quenouilles forment beaucoup moins souvent des colonies pures que le roseau. Les colonies en fossé autoroutier semblent aussi suivre cette tendance (observations personnelles).

1.4 La compétition entre le roseau et les quenouilles

1.4.1 Avantages du roseau

Malgré que le roseau et les quenouilles partagent des niches écologiques très similaires, le roseau possède quelques avantages compétitifs sur les quenouilles. Premièrement,

selon les mesures de Bellavance (2007) pour des expériences en pot et des observations en fossés autoroutiers et en marais naturels, les roseaux sont souvent plus grands que les quenouilles. Les roseaux peuvent ainsi faire ombrage aux quenouilles qui sont considérées comme des plantes héliophiles, c'est-à-dire ayant besoin de beaucoup de lumière pour bien croître (Grace et Harrison, 1986). Deuxièmement, le roseau forme des clones beaucoup plus denses que les quenouilles (Bellavance, 2007). Cette plus forte densité de tiges se traduit en une hausse de l'évapotranspiration totale des espèces du milieu (Hudon *et al.*, 2005). Troisièmement, comme toutes les tiges meurent à chaque automne et qu'elles se décomposent lentement, il y a une accumulation de matière organique au sol, ce qui résulte en une élévation du milieu et un phénomène d'assèchement (Hudon *et al.*, 2005). Habituellement, le roseau tolère mieux ces nouvelles conditions plus xériques que la plupart des macrophytes aquatiques qui formaient l'ancienne communauté (Hudon *et al.*, 2005). Quatrièmement, selon Bellavance (2007), le roseau est probablement plus plastique que les quenouilles. La plasticité de croissance se définit comme la capacité d'un trait particulier d'avoir différentes réponses phénotypiques selon les conditions du milieu environnant (Bradshaw, 1965). Malgré tous ces avantages, les résultats d'études de compétition portant spécifiquement sur les relations entre la quenouille et le roseau n'arrivent pas à un consensus clair. Par exemple, une première étude expérimentale en Pologne (Szczepanska et Szczepanski, 1982) a montré que les performances de la quenouille à feuille large étaient supérieures à celles du roseau. Dans une étude américaine (Konisky et Burdick, 2004), les résultats sont similaires. Cependant, dans l'étude de Bellavance

(2007) en marais naturel, en fossés autoroutiers et en expériences contrôlées, les résultats semblent montrer un avantage compétitif pour le roseau.

1.4.2 La progression en fossé autoroutier

Plusieurs indices laissent croire que l'expansion du roseau dans les fossés autoroutiers du sud du Québec s'est fait au détriment des quenouilles (*Typha angustifolia*, *T. latifolia* et *T. ×glauca*) qui dominaient ces habitats, notamment 1) la forte avancée unilatérale du roseau dans les marais à quenouilles, souvent corrélée à un recul des quenouilles (Bellavance, 2007); 2) le savoir écologique local et 3) la répartition actuelle des quenouilles dans les fossés sur les routes plus au Nord, hors du corridor du Saint-Laurent, pas encore colonisées par le roseau (observations personnelles).

1.5 La salinité

1.5.1 Tolérance au sel du roseau et des quenouilles

En raison de la forte représentativité des quenouilles et du roseau en marais salés partout sur la planète, on trouve dans la littérature plusieurs valeurs de tolérance de salinité (Hellings et Gallagher, 1992; Chambers *et al.*, 1999; Adams et Bate, 1999; Mauchamp et Mesleard, 2001; Vasquez *et al.*, 2005; Vasquez *et al.*, 2006). Le roseau est habituellement considéré comme une plante non-halophile, mais il survit très bien en eau saumâtre à 25 g/L et même dans l'eau de mer à 35 g/L si les racines sont en zone d'eau saumâtre 25-30 g/L (Adams et Bate, 1999; Warren *et al.*, 2001). Il parvient même à germer en condition salée (30 g/L) (Greenwood et MacFarlane, 2006). La tolérance des quenouilles à la salinité est moins bien connue que celle du roseau, mais elle est

probablement plus faible. Pour la quenouille à feuilles étroites, des diminutions de croissance (densité, hauteur et diamètre des tiges) ont été observées dans les milieux avec des concentrations de sel de 4,5 g/L (Whigham *et al.*, 1989), elle survit en salinité de 11-17 g/L (Farnsworth et Meyerson, 2003), mais elle ne survit pas à 23 g/L (Konisky et Burdick, 2004). Les tolérances de la quenouille à feuilles larges ne sont pas connues car l'espèce est moins présente en marais salé et se retrouve principalement dans la région des Grands Lacs, une région sans salinité naturelle.

Hootsmans et Wiegman (1998) ont comparé quatre macrophytes héliophiles au niveau de leur tolérance et de leur capacité de rétablissement suite à un stress salin (stress temporaire ou permanent de 1,8 et 18 g/L). Contrairement aux quenouilles (*T. latifolia* dans cette expérience), le roseau a une période de croissance accrue après le stress. Cette courte période de croissance compensatoire du roseau permet aux plantes stressées d'obtenir une biomasse finale similaire à celle des témoins sans stress.

Sinicrope *et al.* (1990) ont étudié la dynamique des populations de macrophytes suivant la restauration d'un régime naturel de marées dans un marais salé. Durant les premières années suivant la restauration, le roseau a proliféré rapidement et la quenouille a disparu rapidement. Ils soulèvent l'hypothèse que les marées d'eau salée auraient affaibli ou tué rapidement les quenouilles, le roseau aurait profité de l'affaiblissement de la compétition.

1.5.2 Roseau exotique et salinité

À l'échelle mondiale, la problématique du roseau est d'avantage liée à la conservation et la restauration de marais côtiers. Le génotype exotique est très compétitif dans ces milieux et il y croit habituellement plus rapidement que les autres espèces, notamment le roseau de génotype indigène (Vasquez *et al.*, 2005), les quenouilles (Warren *et al.*, 2002) et certaines espèces de spartine (*Spartina* spp.) (Chambers *et al.*, 1999; Bart et Hartman, 2000). Le roseau y devient habituellement envahissant suite à des baisses de salinité dans les estuaires à cause de modifications dans l'écoulement de l'eau des terres. En effet, la salinité a un rôle primordial dans la formation de zones de plantes en marais salé puisqu'elle influence directement la compétitivité des différentes espèces selon leurs adaptations aux stress du milieu. Par exemple, une étude sur l'effet du sel sur la compétition interspécifique entre *Spartina alterniflora* et *P. australis* souligne que ce dernier est plus compétitif que la spartine en eau douce (0 g/L), qu'il codomine à 15 g/L, mais qu'il est moins compétitif que la spartine à 30 g/L (Wang *et al.*, 2006). Les résultats de cette étude japonaise correspondent bien aux nombreuses études réalisées dans les marais salés des baies de Chesapeake et Delaware aux États-Unis (Chambers *et al.*, 1999; Sinicrope *et al.*, 1990; Bart et Hartman, 2000; Vasquez *et al.*, 2006).

1.5.3 Effet du sel de déglacement sur la végétation en fossé autoroutier

Considérant le succès du roseau dans les marais salés, l'hypothèse que le sel de déglacement ait facilité ou accéléré la colonisation des fossés de drainage des autoroutes du Québec a souvent été soulevée (Maheu-Giroux et de Blois, 2007, Jodoin *et al.*, 2008). Catling et Carbyn (2006) suggèrent aussi que le sel de déglacement affaiblirait les

espèces colonisant les fossés autoroutiers, laissant ainsi la voie libre de compétition pour l'envahissement par le roseau.

Au Québec, on épand 700 000 tonnes de sel de déglacage sur les routes pendant l'hiver (Soprin Experts-Conseils, 1994; cité par Jodoin *et al.*, 2008). Ce sel épandu pour maintenir une bonne sécurité routière est graduellement lessivé dans le fossé pendant la période de dormance des plantes, mais une certaine partie y reste aussi pendant tout le printemps et l'été (Galvez-Cloutier *et al.*, 2006). Le sel peut même s'y concentrer au fur et à mesure que l'eau disparaît du fossé pendant l'été (Galvez-Cloutier *et al.*, 2006). Les salinités mesurées dans les fossés de cette étude s'apparentent à celles trouvées en marais salés oligohalins (0,5 à 5 g NaCl /L).

Par ailleurs, le rôle du sel de déglacage comme agent pouvant favoriser un envahissement par le roseau a déjà été démontré par une étude dans une tourbière au Massachussets. Dans cette étude, Richburg *et al.* (2001) ont montré qu'une perte de biodiversité dans certains fens calcaires près de fossés autoroutiers pouvait être expliquée par la présence combinée du roseau et du sel. En effet, comparativement à la majorité des autres espèces végétales présentes, le roseau était peu sensible aux concentrations de sel (112 mg Na /L et 54 mg Cl /L) et pouvait ainsi profiter de l'affaiblissement de la compétition.

Or, il est reconnu que les quenouilles sont aussi relativement tolérantes au sel de déglacage. En Indiana, la pollution provenant d'un site d'entreposage de sel de

déglacage non couvert a contaminé pendant une dizaine d'années le Pinhook bog adjacent au site (Wilcox, 1986). Cette contamination a été suffisante pour augmenter les concentrations de sodium à 0,468 g/L et les concentrations de chlore à 1,215 g/L dans une partie du bog. Ces concentrations ont été suffisantes pour éliminer complètement les espèces tourbicoles et favoriser un envahissement par des quenouilles. Ensuite, au cours des quatre années de l'étude, les concentrations de sel ont diminué de 50% et les espèces tourbicoles ont commencé à recoloniser le bog. Les populations des espèces envahissantes, notamment celles des quenouilles, ont régressé. Suite à cette étude, des chercheurs du Minnesota (Miklovic et Galatowitsch, 2005) ont tenté de comprendre les mécanismes de l'envahissement dans ce milieu humide afin de mieux cibler leurs efforts de restauration. Ils ont étudié de façon expérimentale en serre comment le sel de déglacage (0 à 1000 mg/L) avait pu favoriser l'envahissement d'une communauté d'espèces indigènes par *Typha angustifolia*. Ils ont trouvé des effets directs du sel sur la biomasse de la communauté à 500 et 1000 mg/L, mais aussi un effet indirect du sel à 1000 mg/L. Cet effet indirect sur la communauté serait lié à la combinaison du stress lié au sel et du stress lié à la compétition des espèces avec la quenouille. Des différences dans la richesse et la diversité des espèces se sont aussi manifestées avec l'augmentation de la salinité.

1.6 Objectifs

Pour répondre à l'hypothèse que le sel de déglçage aurait favorisé la colonisation des fossés autoroutiers par le roseau au détriment des quenouilles, le mémoire poursuit trois objectifs complémentaires.

- Le premier objectif est de déterminer la plage de variation de la salinité en fossé autoroutier afin d'évaluer si le sel y constitue réellement un stress écologique significatif.
- Le deuxième objectif est de définir le rôle de la salinité sur la compétition entre le roseau et les quenouilles.
- Le troisième objectif est de déterminer si les différents stades de développement des deux espèces réagissent différemment à la compétition en milieu salé.

Un bref échantillonnage des fossés autoroutiers du sud du Québec a été effectué pour répondre au premier objectif. Cette étude doit être considérée comme une étude exploratoire, n'ayant été réalisée que sur une seule saison de croissance. Pour répondre aux deux derniers objectifs, une approche expérimentale factorielle a été choisie où les deux espèces ont été plantées seules ou en compétition dans des pots ou des bassins où les différents niveaux de salinité pouvaient être contrôlés. Les valeurs de salinité qui ont été choisies pour ces expériences ont été déterminées suite à une revue de littérature sur les tolérances physiologiques des espèces.

1.7 Organisation du mémoire

Au chapitre 2, on trouvera les résultats trouvés pour l'échantillonnage des fossés autoroutiers (premier objectif). Au chapitre 3, on trouvera les résultats des expériences de compétition en milieu contrôlé (deuxième et troisième objectif). Finalement, en conclusion, on discutera brièvement de l'interprétation des résultats des expériences à la lumière des valeurs de conductivité trouvées en fossé autoroutier et on reviendra sur l'atteinte des trois objectifs. En Annexe 1, on trouvera la recette de la solution nutritive utilisée pour les expériences. En Annexe 2 à 6, on trouvera les tableaux des données récoltées à la fin des expériences de compétition. En Annexe 7 à 12, on trouvera les résultats des tests statistiques sur ces données.

Chapitre 2 : Mesure de salinité en fossé autoroutier

2.1 Introduction

2.1.1 L'expansion d'aire des halophytes vers les fossés autoroutiers

Chez la majorité des plantes vasculaires, le sel en excès est habituellement considéré comme un stress à la croissance (Larcher, 2003). Cependant, certaines espèces, désignées halophytes, se sont tellement bien adaptées et spécialisées aux conditions salines que l'on ne les retrouve habituellement que sur des bords de mers ou à l'intérieur de déserts salés (ex. : Great Basin, États-Unis). Les halophytes sont les seules espèces capables de compléter leur cycle vital en présence d'un stress salin important, c'est-à-dire supérieur à 0,1M (Larcher, 2003). Certaines d'entre elles, surtout des plantes en C4, peuvent même avoir une croissance accrue en présence de faibles concentrations de sodium (Larcher, 2003).

Depuis une trentaine d'années, on observe, à l'échelle mondiale, une expansion d'aire importante de ces espèces halophytes vers les corridors routiers à l'intérieur des terres, probablement à cause des conditions salines qui y prévalent. Par exemple, l'aire de répartition de *Puccinellia distans* s'est accrue en Europe centrale depuis l'utilisation du sel de déglacage (Seybold 1973, cité par Liem *et al.*, 1985). De nombreuses observations similaires ont aussi été faites sur les routes du Nord et de l'Est de l'Angleterre et du Pays-de-Gales : on y trouve notamment *Puccinellia distans*, *Plantago maritima* et *Spergularia marima* (Scott et Davison, 1985). Les auteurs expliquent la plus forte présence d'halophytes dans cette région par l'utilisation de beaucoup plus de sel de déglacage qu'ailleurs au pays, principalement à cause de différences climatiques

et de la densité du trafic routier. Plus près de nous, dans le nord-est des États-Unis, on observe depuis une vingtaine d'années l'expansion d'une halophyte, *Solidago sempervirens*, vers l'intérieur du continent (Brauer et Geber, 2002). Selon les auteurs, l'expansion se fait seulement le long des routes à partir d'habitats naturellement salins et le phénomène semble coïncider avec l'épandage de sel de déglacage. En Ontario, on retrouve aussi certaines espèces halophytes dans les régions périurbaines de Toronto, notamment *Carex praegracilis*, venant des régions intracontinentales naturellement plus salines de l'Ouest des États-Unis (Cusick, 1984; Reznicek et Catling, 1987). Catling et McKay (1980) ont étudié différents types de milieux contaminés par le sel dans le sud de l'Ontario, notamment plusieurs fossés routiers, et y ont trouvé 36 espèces tolérantes au sel. Au moins 17 de ces espèces colonisent aussi les fossés autoroutiers du Québec (Hay, 1989; Bailleul *et al.*, 2006). Ces deux études québécoises en fossé autoroutier sont plutôt d'aspect floristique ou biogéographique, sans caractérisation des sols, mais elles soulignent qu'il est très probable que le sel de déglacage ait joué un rôle dans les expansions d'aire.

2.1.2 La physicochimie des sels utilisés

Au Québec, comme dans tous les milieux tempérés-boréaux de la planète, on n'utilise pratiquement que le chlorure de sodium comme sel de déglacage sur les autoroutes à cause de sa disponibilité à de faibles coûts (Riversides Stewardship Alliance et Sierra legal Defence Fund, 2006). En ville, on utilise fréquemment d'autres sels qui offrent de meilleurs rendements à très basses températures et qui sont parfois moins dommageables pour l'environnement, mais ceux-ci sont beaucoup plus dispendieux.

Les taux d'applications des différents sels sont bien connus, mais encore peu d'études ont porté sur les effets à long terme de ces sels dans l'environnement (Riversides Stewardship Alliance et Sierra legal Defence Fund, 2006). La majorité de celles qui décrivent quantitativement les concentrations de sel présentes dans l'environnement sont en milieu aquatique et portent sur les effets du sel sur la santé des poissons, des invertébrés ou des humains (lien connu entre le sodium et l'hypertension) (Riversides Stewardship Alliance et Sierra legal Defence Fund, 2006). La caractérisation de sol de fossé autoroutier est peu fréquente, bien qu'il existe une étude portant sur le rôle des sels de déglacage dans l'eutrophisation du lac Saint-Augustin dans la région de Québec (Galvez-Cloutier *et al.*, 2006). Selon cette étude hydrologique des tributaires du lac, les concentrations en sel dans les fossés autoroutiers augmentent au cours de l'été, avec des conductivités électriques moyennes atteignant 4383 μS . Les concentrations moyennes mesurées en chlorure et en sodium sont respectivement de l'ordre de 1 g/L et 0,3 g/L. Les auteurs décrivent un patron saisonnier de la variation des concentrations en sel dans le fossé : 1) à partir du début de juin, une augmentation rapide des conductivités électriques à cause d'un phénomène de concentration des sels suite à l'augmentation de l'évapotranspiration dans les fossés; 2) les concentrations en sel restent importantes tout au long de l'été; 3) elles diminuent à l'automne.

2.2 Objectif

Tel que mentionné en introduction, le sel de déglacage a souvent été ciblé comme étant un facteur responsable de l'envahissement du roseau en fossé autoroutier. Cependant, peu d'études ont été réalisées en fossé autoroutier pour y déterminer les concentrations

de salinité. Des études plus approfondies devaient donc se réaliser pour en connaître d'avantage sur la plage de variation des conditions de salinité des fossés autoroutiers de la région de Montréal, une région dont pratiquement toutes les autoroutes sont envahies par le roseau commun. Les données de salinité recueillies permettront ainsi de mieux comprendre les résultats des expériences réalisées au chapitre 3.

2.3 Méthodologie

2.3.1 Récolte des échantillons

Dix sites ont été choisis sur trois autoroutes du sud du Québec pour des mesures de salinité. Les autoroutes échantillonnées sont l'autoroute 10 (4 stations entre l'autoroute 20 et Sherbrooke), l'autoroute 55 (3 stations entre Sherbrooke et Drummondville) et l'autoroute 30 (3 stations entre Sorel et Boucherville). Ces autoroutes ont été choisies pour plusieurs raisons. Premièrement, elles traversent la Montérégie, une des régions les plus touchées par l'envahissement du roseau au Québec (Maheu-Giroux et de Blois, 2007 et Jodoin *et al.*, 2008). Deuxièmement, elles sont relativement proches du laboratoire d'étude et permettent de réaliser un échantillonnage maximisant la diversité des sites visités pendant une même tournée. Par exemple, le début du trajet sur l'autoroute 10 et toute la portion étudiée de l'autoroute 30 se situent dans les basses terres riches longeant le Saint-Laurent, une région relativement plane dominée par des champs avec de grandes monocultures intensives. La fin du trajet sur l'autoroute 10 et toute l'autoroute 55 se situent dans une région avec un relief un peu plus diversifié, les terres sont donc plus souvent dominées par des forêts ou des pâturages. L'autoroute 55 a d'ailleurs aussi été choisie car elle est beaucoup plus jeune que les autres autoroutes,

elle n'est donc pas encore envahie par le roseau comme les deux autres autoroutes. La tournée des autoroutes se faisait en partant de Montréal en prenant l'autoroute 10 vers Sherbrooke. À partir de Sherbrooke, l'autoroute 55 était utilisée jusqu'à Drummondville où des routes locales étaient ensuite utilisées jusqu'à Sorel, pour finalement aboutir sur l'autoroute 30 qui était utilisée pour le retour vers Montréal. Les arrêts aux stations ont été effectués dans le fossé d'accotement de la voie de droite vis-à-vis les bornes kilométriques indiquées au tableau 2.1. Les stations d'échantillonnage ont été déterminées de façon à ce qu'ils soient suffisamment distancés entre eux, mais aussi selon la possibilité d'arrêt (largeur de l'accotement, absence de courbe, bonne visibilité) du véhicule de façon sécuritaire. L'échantillonnage des sols s'est réalisé de façon mensuelle d'avril à septembre 2007, les dates exactes variant selon les conditions météorologiques, les constructions routières et la disponibilité du véhicule. Des échantillons d'environ 200 mL de sol provenant des 10 premiers centimètres de l'horizon superficiel ont été récoltés sur chacun des sites. D'ailleurs, dans la majorité des sites, il était impossible de prélever du sol plus profondément.

Le site avec une flore riche en halophytes décrit dans l'article de Bailleul *et al.* (2006) a pu être visité le 10 octobre 2007. Ce site est situé dans le fossé du terre-plein (bande centrale) de l'autoroute 15 à Laval, à la hauteur du viaduc de Saint-Elzéard. Des échantillons de sols ont été prélevés sur le site et analysés comme pour les 10 sites des autres autoroutes.

2.3.2 Analyse des échantillons en laboratoire

La salinité des échantillons de sol a été évaluée en utilisant un conductimètre de modèle EcoSense® EC300 (Y.S.I. Inc.), un appareil permettant de mesurer la conductivité d'une solution. La conductivité est liée de façon proportionnelle à la concentration totale des différents ions en solution (Carter, 1993). Dans les sols de fossés de drainage d'autoroutes du Québec, les concentrations en chlorure et en sodium sont probablement les variables expliquant la plus forte partie de la variation des mesures de conductivité car le chlorure de sodium est un sel fortement soluble, c'est-à-dire pratiquement toujours dissocié en solution.

Avant d'analyser les sols, les échantillons ont été nettoyés en enlevant les particules minérales grossières de plus de 0,5 cm de diamètre (graviers et roches). Puisque certains sols n'étaient pratiquement composés que de matière organique, les particules organiques grossières ont été laissées dans les échantillons lors des analyses.

La mesure de conductivité électrique des sols s'est faite sur une solution sol:eau à dilution 1 :5 puisque cette technique (habituellement abrégé EC 1 :5) permet de déterminer la quantité de sel présent dans un sol peu importe son degré de saturation (Carter, 1993). La première étape est le séchage d'un sol humide dans un four à 40°C pendant quelques jours jusqu'à stabilisation de la masse du sol sec. Ce sol sec est ensuite dilué dans l'eau selon un rapport constant, le rapport le plus souvent utilisé est 1 masse de sol pour 5 masses d'eau distillée. Quelques essais préliminaires avaient été réalisés afin de déterminer la durée nécessaire pour que la conductivité de la solution de

sol se stabilise de façon similaire pour tous les échantillons. La méthode choisie est de bien brasser le sol et l'eau jusqu'à dilution complète du bloc de sol sec en une solution homogène. Laisser reposer environ cinq minutes, remélanger pendant deux minutes, laisser reposer environ cinq minutes, remélanger pendant deux minutes, laisser reposer environ cinq minutes. Finalement, prendre la mesure de conductivité en insérant la sonde du conductimètre dans la partie aqueuse. Cette mesure est prise en utilisant le mode de compensation automatique pour la température.

2.3.3 Analyses statistiques

Une première ANOVA a été réalisée pour tester l'influence de la date et de l'autoroute de provenance sur les résultats de conductivité des dix sites.

Pour six des dix sites, il a été possible d'obtenir des données sur les moyennes hivernales d'épandage de sel de la part des directions régionales du Ministère des Transports du Québec. Ces données ont été incorporées dans une deuxième ANOVA basée sur le même modèle que la première, en omettant les quatre sites sans données.

Les deux tests statistiques ont été réalisés avec le logiciel JMP IN 5.1 (SAS Institute Inc.).

2.4 Résultats

Les valeurs de conductivité trouvées en laboratoire à partir des sols prélevés lors de la tournée mensuelle des dix sites sont présentées au tableau 2.1.

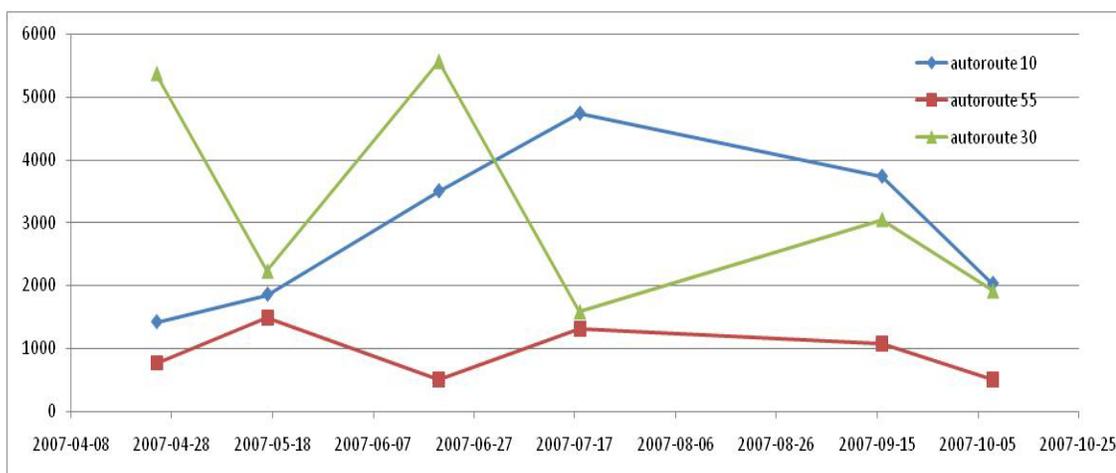
Tableau 2.1 : Taux moyen d'épandage hivernal de sel aux différentes bornes échantillonnées (tonnes par km) et conductivité* (μS) des sols des fossés autoroutiers aux différentes dates au cours de l'été 2007.

AUT.	BORNE	ÉPANDAGE	25 avril	17 mai	20 juin	18 juil.	16 sept.	18 oct.	Moyenne par borne	Moyenne par autoroute
10	24	N.D			7900	10025	4425	3625	6494	2992
10	51,4	N.D	986,5	1491,5		1740,5			1406	
10	61	N.D			1240,5		1310	1030	1194	
10	98	31	2222,5	574	2900	2525	4400	2730	2559	
10	135	19	1044,5	3505	1967,5	4650	4805	730	2784	
55	78,7	21	902	977,5	420	2120	1315	670	1067	951
55	106,5	21	632,5	569,5	380	950	1020	445	666	
55	123	21		2925	700	860	877,5	405	1154	
30	175	41	4935	634,5	6700	1445,5	845,5	445	2501	3282
30	139,5	29	5800	3815	4420	1714,5	5250	3375	4062	
Moyenne par date			2360	1812	2959	2892	2694	1495	2389	

* Les valeurs de conductivité EC 1:5 ont déjà été multipliées par 5 pour donner l'équivalent en EC 1:1.

Il faut noter qu'il n'y a pas eu de mesures au mois d'août à cause de problèmes techniques. Une mesure au kilomètre 108 a été réalisée le 17 mai 2007 à cause d'une impossibilité d'arrêter au kilomètre 107. Des constructions se sont déroulées par intermittence au niveau des bornes 51 et 61, empêchant ainsi tout arrêt. Deux sites additionnels ont été ajoutés aux bornes 24 (autoroute 10) et 123 (autoroute 55) en début d'été suite à la découverte de ces emplacements disponibles relativement facile d'accès.

Figure 2.1 : Évolution de la conductivité moyenne (μS) dans les fossés des trois autoroutes au cours de la saison d'échantillonnage.



Le tableau 2.1 et la figure 2.1 montrent un patron similaire à ceux de l'étude de Galvez-Cloutier (2006), c'est-à-dire des valeurs de conductivité plus élevées au milieu de l'été qu'au printemps et à la fin de l'été. Malgré cette tendance apparente, l'ANOVA présentée au tableau 2.2 n'a pas détecté de différence significative entre les dates. Cependant, des différences significatives ont été détectées entre les autoroutes ($p=0,003$). En effet, l'autoroute 55 a des sols avec des conductivités plus faibles que les deux autres autoroutes. Cette tendance est discernable sur la figure 2.1 qui montre la salinité des trois autoroutes au cours de la saison.

Tableau 2.2 : Analyse ANOVA des facteurs influençant la conductivité pour les 10 sites

Facteur	DF	F Ratio	Prob > F
autoroute	1	9,7755	0,003
date	1	0,165	0,686

autoroute*date	1	0,6157	0,437
-----------------------	---	--------	-------

Tableau 2.3 : Analyse ANOVA des facteurs influençant la conductivité pour les 6 sites dont les données d'épandage de sel sont disponibles

Facteur	DF	F Ratio	Prob > F
autoroute	1	9,7755	0,003
date	1	0,165	0,686
autoroute*date	1	0,6157	0,437
taux d'épandage	1	3,3643	0,0777
date*taux d'épandage	1	1,0969	0,3042

Tableau 2.4 : Mesures de conductivité* (μS) des sols récoltés le 10 octobre 2007 au site à flore halophyte dans la bande centrale de l'autoroute 15

Endroit spécifique	Conductivité
En bordure de la chaussée	6630
Horizon A au centre du fossé dans un endroit un peu plus humide (au pied d'un <i>Triglochin maritima</i>)	2705
Horizon A au centre du fossé	8005
Horizon B au centre du fossé	4750
Moyenne	5523

* Les valeurs de conductivité EC 1:5 ont déjà été multipliées par 5 pour donner l'équivalent en EC 1:1.

Dans le deuxième test statistique présenté au tableau 2.3 intégrant les taux hivernaux d'épandage de sels, les résultats montrent que les conductivités mesurées sont influencées principalement par l'autoroute, mais le taux d'épandage de sel est presque statistiquement significatif à $p=0,08$.

Comme il était prévisible par la présence d'une flore halophyte, les données présentées au tableau 2.4 pour l'autoroute 15 sont plus élevées que celles des autres autoroutes (voir tableau 2.1) au même moment de l'année (moyenne 1495 μS pour les autoroutes 10, 30 et 55).

2.5 Discussion

Les différences de conductivité entre l'autoroute 55 et les deux autres autoroutes s'expliquent probablement par l'achalandage moindre résultant en un plus faible épandage de sel. Cette autoroute est aussi beaucoup plus jeune que les deux autres. Une autoroute de construction plus récente n'aura pas eu le temps d'accumuler autant de sel qu'une plus âgée. L'application des sels sur les trois autoroutes étant gérée par quatre administrations différentes au sein du Ministère des Transports (Centre-du-Québec, Montérégie Est, Montérégie Ouest et Estrie), les pratiques d'épandage peuvent différer.

Les résultats des ANOVA indiquent qu'il est probable que les conductivités mesurées en fossé proviennent bel et bien du sel épandu pendant l'hiver. Plusieurs facteurs locaux peuvent aussi influencer l'accumulation ou le lessivage des sels en fossé autoroutier, les plus importants sont probablement l'achalandage routier, les précipitations hivernales

(application des sels) et pendant la saison de croissance (lessivage des sels), l'âge de l'autoroute (accumulation des sels), la nature des sols (capacité d'échange cationique), l'emplacement du fossé par rapport aux vents dominants (piégeage des aérosols), la hauteur de la végétation (piégeage des aérosols) et la pente et la distance des fossés (microtopographie influençant l'écoulement des terres vers le fossé et écoulement du fossé vers le réseau hydrographique naturel).

Il est important de mentionner que les mesures de conductivité présentées sont seulement des approximations de la salinité des sols, puisqu'une partie inconnue de cette conductivité peut aussi provenir d'autres ions en solution. Par exemple, selon Maheu-Giroux et de Blois (2007) et Jodoin *et al.* (2008), le drainage des terres agricoles riches en nutriments vers les fossés routiers peuvent aussi avoir facilité l'invasion par le roseau. Dans la littérature agronomique locale (Association des Surintendants de Golf du Québec, 2008; Couture, 2008), on trouve que les eaux d'irrigation pour alimenter les terres ne devraient pas avoir des conductivités qui dépassent 750 μS (préférentiellement moins de 400 μS) pour ne pas limiter la croissance des plantes. Les valeurs de conductivité des fossés de drainage des terres ne sont pas connues, mais elles ne sont probablement pas aussi élevées que les valeurs ayant été mesurées dans mon étude (jusqu'à 10 025 μS). Aussi, par leur emplacement en bordure des autoroutes, il est légitime de croire que, de façon générale, la conductivité des fossés échantillonnés est probablement beaucoup plus influencée par les sels de déglacage que par les contaminants provenant des terres plus éloignées.

Lorsque comparées aux valeurs citées dans l'introduction du présent mémoire et aux valeurs retrouvées dans la littérature agronomique locale (Association des Surintendants de Golfs du Québec, 2008; Couture, 2008), les valeurs de conductivité trouvées dans les fossés des autoroutes 10 et 30 sont clairement suffisantes pour influencer la croissance des plantes glycophytes, mais aussi celle des macrophytes résistants comme le roseau et les quenouilles. Les valeurs du site de l'autoroute 15 sont élevées par rapport à celles d'octobre des sites des autoroutes 10 et 30. La forte conductivité des sols de ce site explique bien la dominance d'une flore halophytique. Puisque peu d'espèces de plantes vasculaires sont capables de vivre dans des conditions aussi salées, les halophytes sont libres de toute compétition. À l'opposé, les valeurs trouvées dans les fossés de l'autoroute 55 sont très faibles; elles sont tout juste suffisantes pour imposer un stress salin à des glycophytes.

2.6 Conclusion

À l'exception de certains sites contaminés par l'entreposage de sel de déglacage étudiés par Catling et McKay (1980), les données de conductivité prises dans la grande région de Montréal sont supérieures à la plupart des données des études citées en introduction. Bien que les conductivités élevées peuvent refléter des concentrations d'autres sels dissous en solution comme les rejets des terres agricoles, les résultats des tests statistiques montrent que les valeurs de conductivité sont expliquées en partie par les taux d'épandage du sel de déglacage, il est donc probable qu'une grande partie de la conductivité mesurée soit composée de sels de déglacage. Une aussi forte concentration

en sels de déglacement serait suffisante pour limiter et même empêcher la croissance de la majorité des espèces de plantes vasculaires.

Chapitre 3 : Influence de la salinité sur la compétition entre le roseau commun et les quenouilles : expériences en milieu contrôlé

3.1 Introduction

La compétition pour les ressources limitantes (eau, nutriments, lumière, espace) est un des facteurs les plus importants qui modèlent les communautés végétales (Grime, 1977; Tilman, 1982). Plusieurs stress environnementaux peuvent à leur tour influencer la compétitivité des espèces, notamment la salinité, le régime de feu, la température, la sécheresse ou l'inondation, l'anoxie racinaire, l'herbivorie et la présence de produits toxiques (métaux lourds, molécules allélopathiques, polluants organiques, etc.).

Dans la revue de littérature de Grubb (1977) sur l'importance de la niche de régénération, on trouve beaucoup d'évidences soulignant que le stade de développement des plantes peut grandement influencer leur tolérance aux stress et leur compétitivité. Le roseau (Hara *et al.*, 1993; Lissner et Schierup, 1997; Amsberry *et al.*, 2000) et les quenouilles (Grace, 1985) sont des exemples typiques d'espèces dont les individus matures utilisent l'intégration clonale pour favoriser le développement de nouvelles tiges dans les milieux plus hostiles (stress biotique ou abiotique) que des jeunes semis ne pourraient coloniser.

Un premier exemple de différences dans la tolérance des stades de développement aux stress environnementaux vient d'une étude sur la dynamique du dépérissement du roseau en Europe (Lissner et Schierup, 1997). Pour mieux comprendre ce phénomène, Lissner et Schierup (1997) ont réalisé des expériences de croissance de semis et de

plants provenant de rhizomes de roseau dans des milieux contrôlés avec différents niveaux de salinité. Ils ont trouvé que pour un même stress, la tolérance des semis et la tolérance des plants provenant de rhizome pouvaient différer : par exemple, 75% des plantes provenant de rhizomes ont survécu à un stress salin de 22 g/L, tandis que seulement 12% des semis y ont survécu.

Un deuxième exemple de compétitivité différente aux stades de semis et de plantes matures est expliqué dans l'article de Grace (1985). On y trouve que les semis de *Typha latifolia* et *T. domingensis* sont de compétitivité similaire dans leurs niches de régénération respectives : *T. latifolia* dominant la partie haute plus sèche et *T. domingensis* dominant la partie basse plus humide. Chez les plantes adultes, *T. latifolia* domine tout le gradient.

3.1.1 Mesures de compétitivité

Il y a beaucoup de façon de mesurer la compétitivité des plantes. La plus simple consiste à comparer une mesure de performance d'un individu en absence et en présence de compétition. Parmi les mesures de performance les plus souvent utilisées, on retrouve les biomasses aérienne et souterraine, le nombre et la hauteur des tiges et des mesures de reproduction sexuée.

Chez les plantes, les produits de la photosynthèse sont soit ré-alloués dans la production de tissus photosynthétiques pour acquérir de nouveaux sucres, soit alloués à la reproduction sexuée, soit entreposés dans les tissus de réserve. Les plantes clonales

pérennes comme le roseau et la quenouille allouent habituellement une grande partie de l'énergie aux parties souterraines pour l'entreposage sous forme d'amidon pour les prochaines saisons et pour la colonisation de nouveaux milieux de façon végétative (Amsberry *et al.*, 2000; Grace et Harrison, 1986). Peu d'études ont porté sur la compétition souterraine en milieux humides. Twolan-Strutt et Keddy (1996) ont fait des expériences de compétition en transplantant des individus dans des marais à faible et forte productivité. Les plantes étaient transplantées dans des parcelles soit sans compétition (traitées à l'herbicide), soit avec compétition racinaire seulement (tiges coupées) ou avec compétition aérienne et souterraine. Les résultats indiquent qu'il existe une dichotomie entre les réponses aériennes et souterraines. La compétition souterraine semble moins sensible aux changements de productivité et aux changements dans l'ouverture de la canopée.

Contrairement aux diminutions de biomasse souterraine qui mènent à des répercussions à long terme sur la survie et la compétitivité des plantes, les parties aériennes meurent à chaque année et leur importance représente surtout comment la plante réagit à court terme pour tirer profit des conditions environnantes. En plus d'une mesure de biomasse sèche, des mesures morphologiques de la partie aérienne comme la densité des tiges et la hauteur maximale permettent d'évaluer l'occupation du territoire et la dominance d'une espèce dans le milieu.

Une autre façon de mesurer la compétitivité des plantes passe par le calcul d'un indice de compétition. Weigelt et Jolliffe (2003) ont d'ailleurs fait une revue de littérature

comparant 25 indices servant à mesurer l'intensité et l'importance de la compétition. L'un des indices les plus utilisés dans des expériences sur l'intensité de la compétition entre deux espèces est l'indice d'intensité relative de la compétition ($RCI = [biomasse\ témoin - biomasse\ compétition] / biomasse\ témoin$). En calculant cet indice indépendamment pour chaque espèce et chaque traitement, il est possible d'isoler la réduction relative en biomasse seulement due à la compétition.

3.1.2 Effet de la salinité sur la compétition

Comme mentionné à l'introduction du mémoire (point 1.5), la salinité est un stress important qui peut affecter la compétitivité des plantes. Or, on ne peut présumer de l'effet de la salinité sur la compétition entre deux espèces en ne se basant que sur l'effet isolé de la salinité sur la croissance de celles-ci. Idéalement, il faut étudier la compétition sous différents niveaux de salinité. Par exemple, en choisissant trois niveaux de salinité, on peut s'attendre à plusieurs types de réponses possibles. Quelques-unes de ces possibilités sont illustrées à la figure 3.1 et ensuite expliquées par après.

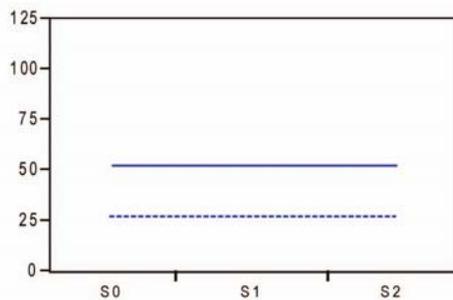
On peut étudier ces scénarios fictifs par deux approches principales, soit une approche statistique traditionnelle pour trouver les interactions statistiquement significatives, soit une approche d'étude qualitative des indices de compétition ou de stress salin. La comparaison de ces deux approches dans les pages qui suivent permet notamment de souligner leurs limites respectives. Par exemple, des interactions statistiques traditionnelles pourraient ne pas s'avérer significatives dans certains tests, alors qu'il y

aurait quand même un changement dans l'intensité de la compétition aux différents niveaux de salinité (figure 3.2).

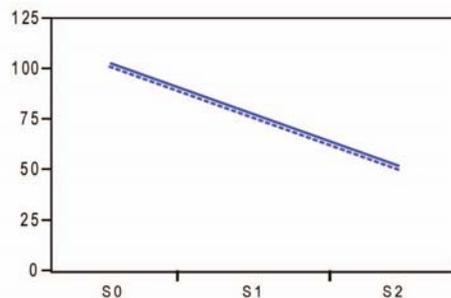
Il faut noter cependant que les deux approches offrent des informations différentes en utilisant des points de vue complémentaires. En effet, dans un cas, l'approche étudie l'effet de la compétition en « diminution absolue », tandis que dans l'autre cas, il s'agit d'une approche d'étude des « diminutions relatives ». Les phénomènes biologiques peuvent être étudiés qualitativement en comparant les indices de compétition et les indices de stress salin (définis à la méthodologie), mais ces indices ne peuvent pas toujours être testés statistiquement à cause de leur nature mathématique (design expérimental non-balancé : différences et divisions de moyennes avec des « n » différents et sans appariement possible).

Figure 3.1: Différents scénarios de réponses possibles d'un trait quelconque aux facteurs de salinité et compétition (en abscisse : trois niveaux de salinité ; en ordonnée : mesure de performance ; lignes pleines : sans compétition ; lignes pointillées : avec compétition)

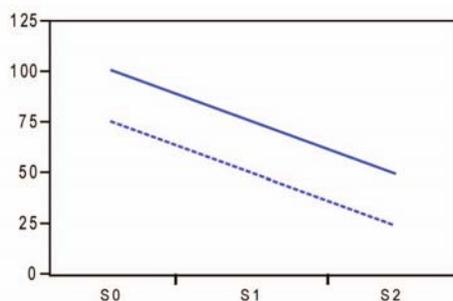
MODÈLE #1 :



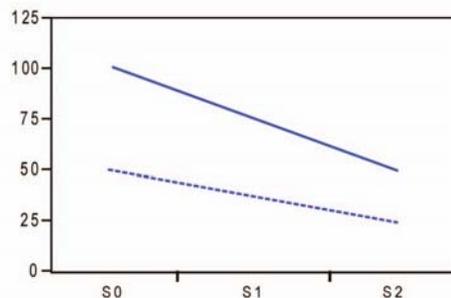
MODÈLE #2 :



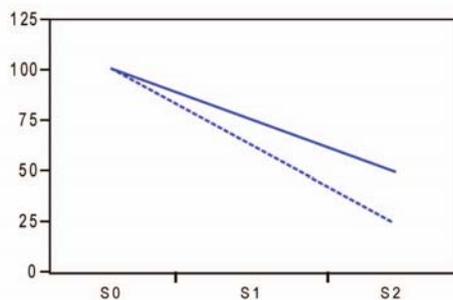
MODÈLE #3 :



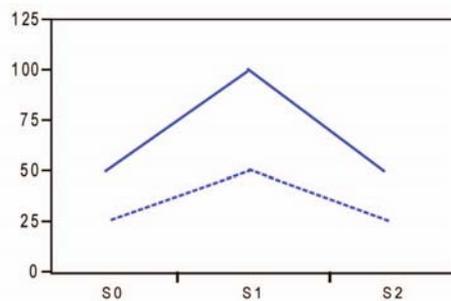
MODÈLE #4 :



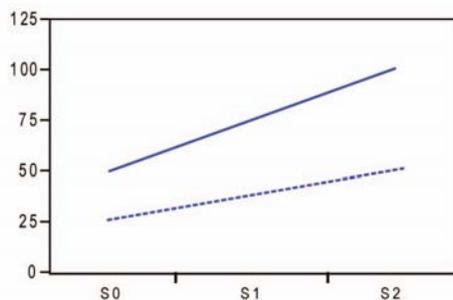
MODÈLE #5 :



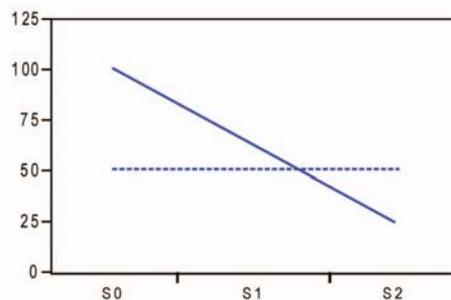
MODÈLE #6 :



MODÈLE #7 :



MODÈLE #8 :



MODÈLE #1

Il n'y a qu'un effet de compétition, pas d'effet de salinité, ni interaction.

MODÈLE #2 :

Il n'y a qu'un effet de salinité, pas d'effet de compétition, ni interaction.

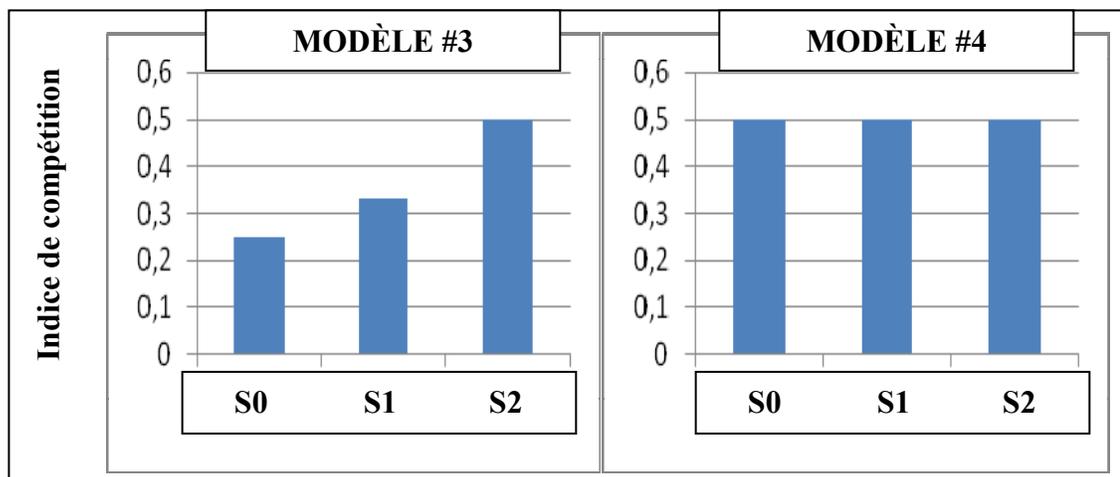
MODÈLE #3 :

Ce modèle est une combinaison du modèle 1 et 2. Au niveau statistique, on trouve un effet de la salinité et un effet de la compétition, mais pas d'interaction. Par contre, par l'étude des indices d'intensité relative de la compétition, on trouve que l'effet de la compétition augmente avec la salinité (figure 3.2). La réduction due à la compétition est de $(100-75)/100=25\%$ en S0, mais elle passe à $(50-25)/50=50\%$ en S2.

MODÈLE #4 :

Dans ce modèle, l'effet de la compétition demeure toujours proportionnel. On trouve donc des tendances différentes du modèle 3. Au niveau statistique, on trouve un effet de la salinité, un effet de la compétition et une interaction. Par contre, les indices d'intensité relative de la compétition indiquent que l'effet de la compétition est constante, peu importe la salinité (figure 3.2). La réduction due à la compétition est de $(100-50)/100=50\%$ en S0 et elle est encore à $(50-25)/50=50\%$ en S2.

Figure 3.2 : Indice d'intensité relative de la compétition selon la salinité pour les modèles 3 et 4.



MODÈLE #5 :

Ce modèle est une exagération du modèle 3 permettant de mieux illustrer le phénomène des stress additifs. Dans ces modèles, une plante en compétition sans sel croit très bien. Une plante sans compétition avec sel croit aussi relativement bien. Lorsqu'on additionne les deux stress, l'effet est plus fort que les stress isolés. Les plantes stressées par le sel seraient beaucoup plus affectées par le stress de la compétition. Au niveau statistique, on trouve des effets de la salinité et de la compétition. Contrairement au modèle 3, on trouve une interaction statistique dans le modèle 5. L'étude par les indices d'intensité relative de la compétition indiquent les mêmes résultats, la réduction due à la compétition est de $(100-99)/100= 1\%$ en S0, mais il est de $(50-25)/50=50\%$ en S2.

MODÈLES #6 et #7 :

Tous les modèles précédents peuvent aussi se présenter dans les deux variantes suivantes. Dans les graphiques, elles sont présentées sous leur forme la plus simple en suivant un modèle de compétition à taux constant.

MODÈLE #6 :

On trouve un optimum de croissance à salinité intermédiaire.

MODÈLE #7 :

Il y a un effet positif de la salinité sur le trait en question.

MODÈLE #8 :

Dans ce modèle, les effets de la salinité seraient totalement différents chez les plants sans compétition et ceux en compétition. Au niveau statistique, on trouve un effet de la salinité, un effet de la compétition et une interaction. Au niveau des indices d'intensité relative de la compétition, la réduction due à la compétition est de $(100-50)/100= 50\%$ en S0 et elle est de $(25-50)/25= -100\%$ en S2.

3.1.3 Objectifs

Le deuxième objectif de ce mémoire est de définir le rôle de la salinité sur la compétition entre le roseau et les quenouilles, notamment en tentant d'étudier les interactions entre la salinité et la compétition. La majorité des études de compétition se réalisent par transplantation de semis ou de rhizomes des espèces étudiées dans un milieu naturel libre de compétition, dans un milieu naturel de l'espèce étudiée, dans un milieu naturel avec son compétiteur et dans un milieu diversifié de plusieurs espèces. Cette approche est difficile à réaliser dans un cas comme le nôtre, les fossés étant des milieux complexes et diversifiés. Les concentrations de sel peuvent en effet varier spatialement et temporellement. La compétition pour l'eau, la lumière et les nutriments avec les autres espèces environnantes est difficile à isoler. La présence d'une interaction entre les facteurs sera donc recherchée en utilisant une approche expérimentale factorielle où on tentera de maximiser les effets de la compétition et de la salinité et de réduire les effets des autres facteurs environnementaux. La compétition se limite ici à une compétition pour l'espace et la lumière, puisque les nutriments et l'eau étaient toujours disponibles.

Le troisième objectif de ce mémoire est de déterminer si les différents stades de développement des deux espèces réagissent différemment à la compétition en milieu salé. Pour atteindre cet objectif, trois types d'expériences de compétition sous différents niveaux de salinité ont été réalisés, soit des expériences de compétition traditionnelle en pot avec des jeunes semis, des expériences de compétition traditionnelle en pot avec des individus issus de rhizomes prélevés sur des clones

matures et une expérience en gros bassins où des fronts de colonies matures des deux espèces s'affrontent.

3.2 Méthodologie

3.2.1 Généralités

Premièrement, à l'été 2006, trois expériences ont été conduites simultanément, soit une expérience avec semis (une seule saison de croissance), une expérience de croissance végétative par rhizomes (une seule saison de croissance) et une expérience de compétition de fronts de colonisation en bassin a été construite (une seule expérience sur plusieurs saisons de croissance). À l'été 2007, les expériences de semis et de croissance végétative par rhizomes ont été reproduites avec certaines modifications, tout en maintenant l'expérience en bassins.

Toutes ces expériences se sont déroulées sur le site du Jardin Botanique de Montréal (latitude: 45°33'28.30" N; longitude: 73°33'30.49" W). Les expériences avec des semis se sont déroulées dans les serres de recherche du Jardin Botanique de Montréal où il était plus facile de contrôler les conditions hydriques et de garder constante les concentrations de sel des réservoirs. Les expériences avec les rhizomes en pots et avec les fronts de colonisation en bassins ont été réalisées à l'extérieur.

Pour maintenir constantes les concentrations en sel et en éléments nutritifs, toutes les expériences se sont réalisées en culture hydroponique dans des contenants remplis de gravier et d'une solution nutritive (Annexe 1). Le gravier utilisé de 0,5-1 cm de

diamètre provient de Saint-Hippolyte (Hautes-Laurentides) et a une granulométrie d'environ 0,4. À la solution nutritive s'ajoutait différentes concentrations de sel qui étaient les mêmes pour toutes les expériences (voir 3.2.5).

Pour toutes ces expériences, des plans d'allocation aléatoire ont été utilisés pour disposer spatialement les pots, réservoirs et bassins en blocs. Ce design expérimental facilite les analyses statistiques en homogénéisant les traitements à l'intérieur d'un bloc et en permettant d'isoler la variation spatiale. J'ai ainsi divisé l'expérience avec semis (2006 et 2007) en 6 blocs-réplicats, l'expérience avec rhizomes 2006 en 4 blocs-réplicats, l'expérience avec rhizomes 2007 en 3 blocs-réplicats et l'expérience des 24 bassins en 2 blocs-réplicats. Chacun de ces blocs-réplicats contient les 3 types de pots ou bassins (compétition interspécifique, quenouilles-témoin, roseaux-témoin) dans les 3 salinités (S0, S1, S2), pour un total de 9 catégories de pots ou bassins.

3.2.2 Expérience avec semis

3.2.2.1 Milieu de croissance

Dans les expériences avec semis de 2006 et 2007 (figures 3.3 et 3.4), 72 pots remplis de gravier (13,5 cm long x 13,5 cm large x 13,5 cm profond) ont été troués au fond et de chaque côté pour favoriser les échanges entre la solution du réservoir et du pot. Les pots ont été placés par groupe de quatre à l'intérieur de 18 réservoirs (70 cm long x 15 cm large x 15 cm profond) et remplis de gravier jusqu'à environ 2 cm du rebord. Les pots et réservoirs de 2006 ont été nettoyés et ré-utilisés en 2007.

3.2.2.2 Établissement des semis

Les graines de quenouilles ont été récoltées à Saint-Hilaire à l'automne 2005 pour l'expérience 2006 et sur le site du Jardin Botanique de Montréal à l'automne 2006 pour l'expérience de 2007. Les graines de roseau ont été récoltées dans le Parc des Salines à Saint-Hyacinthe à l'automne 2005 pour l'expérience 2006 et sur le site du Jardin Botanique de Montréal à l'automne 2006 pour l'expérience 2007. Elles ont été ensemencées en terre le 13 avril 2006 pour l'expérience de 2006 et le 19 décembre 2006 pour l'expérience de 2007. Dans les deux cas, les semis ont grandi sous des néons en plateau commun en laboratoire pour le début de la croissance. Ils ont ensuite été repiqués en cellules individuelles (format : 72 cellules par plateau) et acclimatés en serre pendant 2-3 semaines avant leur transplantation pour l'expérience.

Au début de l'expérience de 2006, les semis de quenouille avaient tous une tige seulement. Les semis ont été mesurés (moyenne 68 cm, minimum 41, maximum 97) et ensuite répartis de façon uniforme entre les différents traitements de compétition et de salinité. Les semis de roseau sélectionnés avaient 3 tiges et mesuraient environ 35 cm (± 3 cm). La transplantation des semis dans leur pot s'est faite le 30 mai 2006. Les semis des pots témoins ont été plantés seuls, un semis par pot; tandis que ceux des pots en compétition ont été placés de façon à ce qu'il y ait un semis de chaque espèce à l'intérieur d'un même pot. Les semis des deux espèces ont été plantés à environ 5 cm sous la surface avec les tiges émergeant du gravier.

Au début de l'expérience de 2007, les semis étaient très uniformes pour les 2 espèces. Les quenouilles avaient 1 tige de départ et les roseaux de 3 à 5 tiges. La transplantation des semis en pot s'est effectuée le 11 avril 2007. Comme la compétition n'était pas sortie statistiquement significatives dans les expériences de 2006, la densité d'individus de départ de chaque espèce a été doublée dans tous les pots en 2007, comme l'illustre la figure 3.3.

Figure 3.3 : Schéma comparatif de la répartition des semis dans les pots en 2006 et en 2007 (P : roseaux; T : quenouilles).

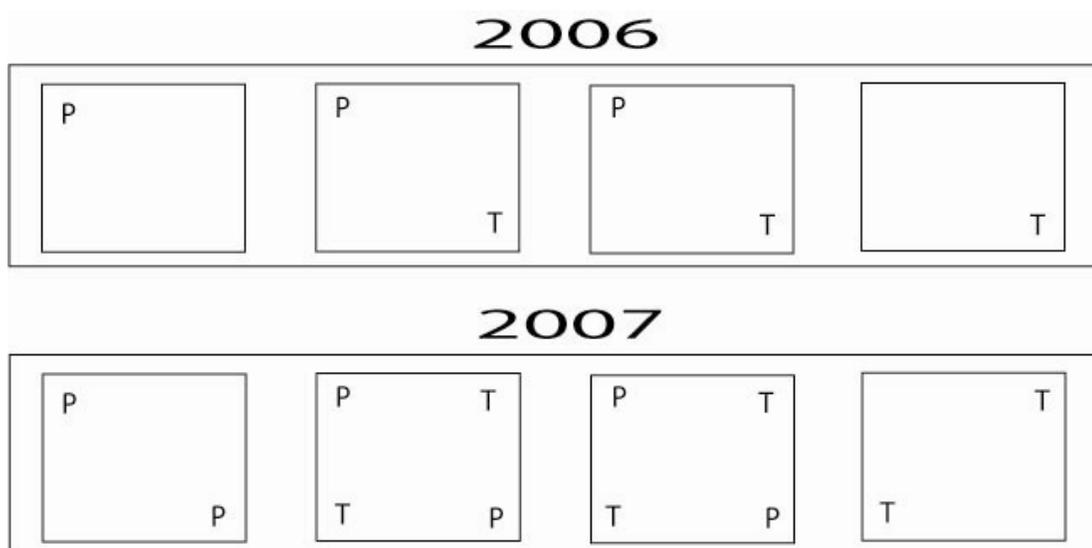
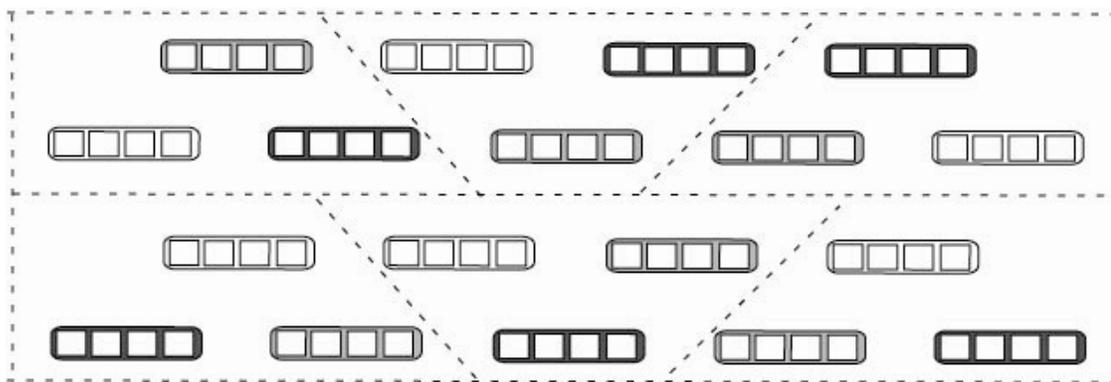


Figure 3.4 : Schéma de la répartition spatiale de l'expérience des semis en 2006 et en 2007. Les blocs sont désignés par des lignes pointillées. La couleur des rectangles désigne le traitement de salinité (sans couleur : S0; gris : S1; noir : S2).



3.2.2.3 Déroulement des expériences

À partir de la transplantation, une période de 4 semaines (même durée en 2006 et 2007) avec engrais seulement, sans stress salin, a été fixée pour favoriser l'établissement des semis dans leur nouvelle condition de croissance. Ensuite, les niveaux de salinité ont été ajustés et maintenus constants selon le protocole décrit au point 3.2.5.

Des traitements foliaires de nutriments (manganèse, magnésium, fer) ou d'insecticides spécifiques ont été appliqués au besoin lorsque des symptômes de carences ou d'infestations de pucerons ou cochenilles se manifestaient. Des tuteurs et des cordes ont aussi été placés pour empêcher les semis de fléchir. Le fléchissement était probablement dû au mauvais ancrage des racines dans le gravier, à l'étiollement et au manque de vent relié aux conditions de croissance en serre.

À la fin des expériences (du 11 au 13 septembre 2006 et le 1^{er} août 2007), les plantes ont été coupées en deux sections, à 2 cm au-dessus du sol, pour peser isolément la biomasse de la partie aérienne et de la partie souterraine. Les parties souterraines ont été minutieusement nettoyées de leur substrat de gravier. Les parties coupées ont ensuite été mises quelques jours dans un séchoir à 40°C et pesées à tous les jours jusqu'à l'obtention d'une stabilisation du poids sec. Les tiges ont été comptées et, en 2007 seulement, la longueur de la plus grande tige a été notée.

Mis à part l'âge et la condition des semis de départ, il existe quelques différences importantes entre les méthodologies de l'expérience de 2006 et celle de 2007.

- Dans les expériences de 2006, des symptômes de jaunissement des feuilles étaient visibles sur tous les roseaux en absence de salinité. Nous avons cependant réglé une partie du problème de jaunissement en ajoutant environ 0,01M de chlorure de sodium aux réservoirs sans salinité.
- Les serres utilisées pour les expériences n'étaient pas les mêmes, la serre utilisée en 2007 avait beaucoup de soleil de l'ouest et du sud comparativement à celle de 2006 qui n'en avait que du sud. À cause de la transplantation plus hâtive, la luminosité pendant les 6 premières semaines de l'expérience de 2007 a été maintenue constante 16 heures par jour grâce à des lampes de serre.
- Finalement, la durée de l'expérience de 2007 est un peu plus longue que celle de 2006.

3.2.3 Expérience par multiplication végétative

3.2.3.1 Milieu de croissance

Pour l'expérience en pots avec transplantation de rhizomes de 2006 (figures 3.5 et 3.6), 84 pots de 6 litres (30 cm de diamètre) ont été troués au fond et de chaque côté pour favoriser les échanges entre la solution du réservoir et du pot et ensuite remplis de gravier. Ces pots ont été placés dans 84 réservoirs individuels contenant 6,5 litres de solution chacun (après y avoir mis le pot).

En 2006, un problème technique important s'est manifesté au cours de l'expérience. La gestion de l'eau s'est avérée plus difficile que prévue car les réservoirs individuels étaient beaucoup trop petits pour la taille des plantes. Elles ressentaient donc

rapidement un stress hydrique. Les pots n'ayant pas tous la même quantité de plantes, ni la même concentration de sel, l'importance de ce stress hydrique a varié considérablement entre les traitements. Par exemple, la quantité de plantes dans un pot en compétition étant plus importante, le niveau d'eau baissait plus rapidement. Aussi, plus les plantes étaient stressées par la salinité, moins elles consommaient d'eau.

Pour corriger cette lacune, neuf gros réservoirs communs (120 cm x 180 cm x 30 cm = 648 litres) ont été construits pour optimiser la gestion de la solution (figure 3.6) dans l'expérience 2007. Ceux-ci contenaient environ 370 litres chacun après y avoir mis les 10 pots de gravier (valeur mesurée au début de l'expérience). Les pots de gravier de 2006 ont été nettoyés et ré-utilisés en 2007.

3.2.3.2 Établissement des rhizomes

Les rhizomes de roseau utilisés pour l'expérience de 2006 ont été récoltés au début de mai 2006 dans le Parc des Îles de Boucherville. Les roseaux utilisés pour l'expérience 2007 ont été récoltés au début de mai 2007 au même endroit. Les rhizomes de quenouilles utilisés pour les expériences de 2006 et 2007 ont été récoltés au cours de l'automne 2005 dans un fossé en bordure de l'autoroute 640 à Oka et gardés en terre jusqu'à leur transplantation.

Pour le roseau, les individus récoltés étaient tous facilement identifiables au génotype exotique. Pour les quenouilles, seulement des individus identifiables à la quenouille à feuilles étroites (*Typha angustifolia*) ont été sélectionnés pour ces expériences. Il est

toutefois probable qu'une certaine proportion de ces quenouilles soient en réalité des quenouilles hybrides (*Typha × glauca*), l'identification morphologique des espèces étant difficile avec des plantes sans inflorescence au printemps.

Pour l'expérience de 2006, la transplantation des rhizomes dans leur pot de compétition s'est effectuée le 23 mai 2006. Les rhizomes des roseaux et des quenouilles ont été nettoyés et répartis uniformément dans les pots en se basant sur leur apparence morphologique (taille et forme au niveau aérien et souterrain). Deux rhizomes de roseau de 10-15 cm de longueur à deux tiges ont été placés dans les pots de roseau témoins et en compétition, tandis qu'un rhizome de quenouille de 20-25 cm à deux tiges vivantes et une tige morte a été placé dans les pots de quenouilles témoins et en compétition (figure 3.5). Les rhizomes des deux espèces ont été plantés à la même profondeur, à environ 10 cm sous la surface avec les tiges émergeant du gravier.

Lors de la transplantation de 2006, les rhizomes de roseau étaient plus petits que les rhizomes de quenouilles. Le roseau semble d'ailleurs avoir eu d'avantage de difficulté à se remettre du stress de transplantation, il est resté chétif tout au long de l'expérience et il y a ainsi eu une nette dominance de la quenouille dès le début de l'expérience. En 2007, les rhizomes de roseau qui ont été choisis étaient plus gros qu'en 2006 et ceux des quenouilles plus petits avec une moindre intégration clonale. Les rhizomes de quenouille ont été choisis selon la taille de départ de la tige en développement et réparti de façon à ce que chaque pot ait un petit rhizome, un rhizome de taille moyenne et un gros rhizome. Trois rhizomes de roseau de 2 tiges (tous semblables) ont été placés dans

chaque pot. Les rhizomes de roseau ont été choisis s'ils avaient 2 tiges au-dessus du gravier et au moins un gros bourgeon vert en développement. Les rhizomes des deux espèces ont été coupés pour qu'ils aient la même longueur et approximativement la même masse de départ dans chaque pot (figure 3.5). La transplantation des rhizomes dans leur pot de compétition s'est effectuée le 29 mai 2007.

3.3.3.3 Déroulement des expériences

Puisque les plantes provenaient de sites loameux à argileux, le nettoyage des rhizomes a été difficile et presque toutes les racines et radicules ont été perdues. À partir de la transplantation, une période de 6 semaines avec engrais seulement, sans stress salin, a donc été fixée pour l'établissement des rhizomes en 2006. Cette période a été réduite à 3 semaines en 2007. Ensuite, les niveaux de salinité ont été ajustés et maintenus constants selon le protocole décrit en 3.2.5.

À la fin des expériences (10 octobre 2006 et 25 septembre 2007), les plantes ont été coupées en deux sections, à 2 cm au-dessus du sol, pour peser séparément la biomasse des parties aérienne et souterraine. Les parties souterraines ont été nettoyées de leur substrat. Les parties coupées ont ensuite été mises quelques jours dans un séchoir à 40°C et pesées à tous les jours jusqu'à l'obtention d'une stabilisation du poids sec. Les tiges ont été comptées et, en 2007 seulement, la longueur de la plus grande tige a aussi été notée.

Figure 3.5 : Schéma comparatif de la répartition des rhizomes dans les pots en 2006 et en 2007 (pots de roseaux plantés seuls, pots de quenouilles plantées seules, pots de compétition interspécifique). 2006 : Dans chaque pot, les deux rhizomes de roseau ont deux tiges et le rhizome de quenouilles a deux tiges vivantes et une tige morte. 2007 : Les trois rhizomes de roseau ont deux tiges et au moins un gros bourgeon en développement et les trois rhizomes de quenouilles ont des tiges de différentes tailles.

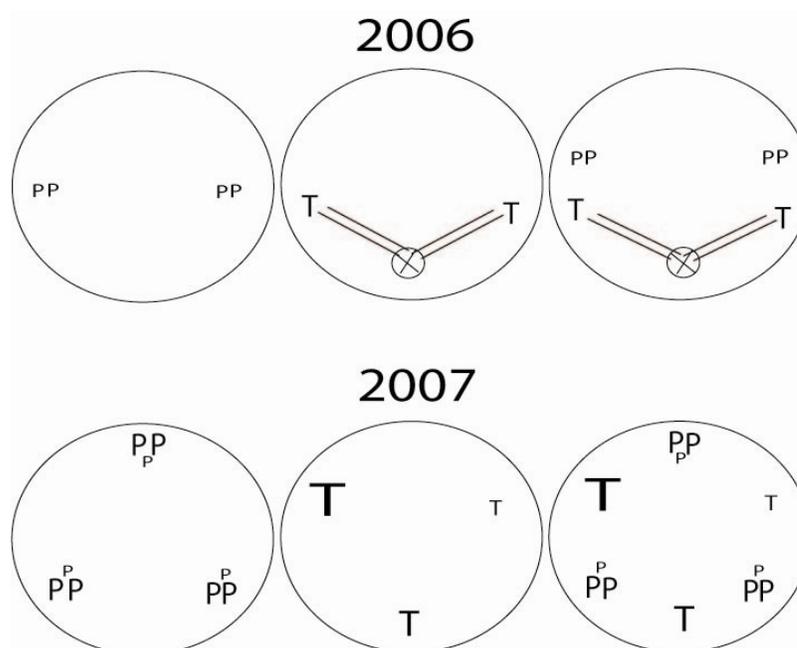
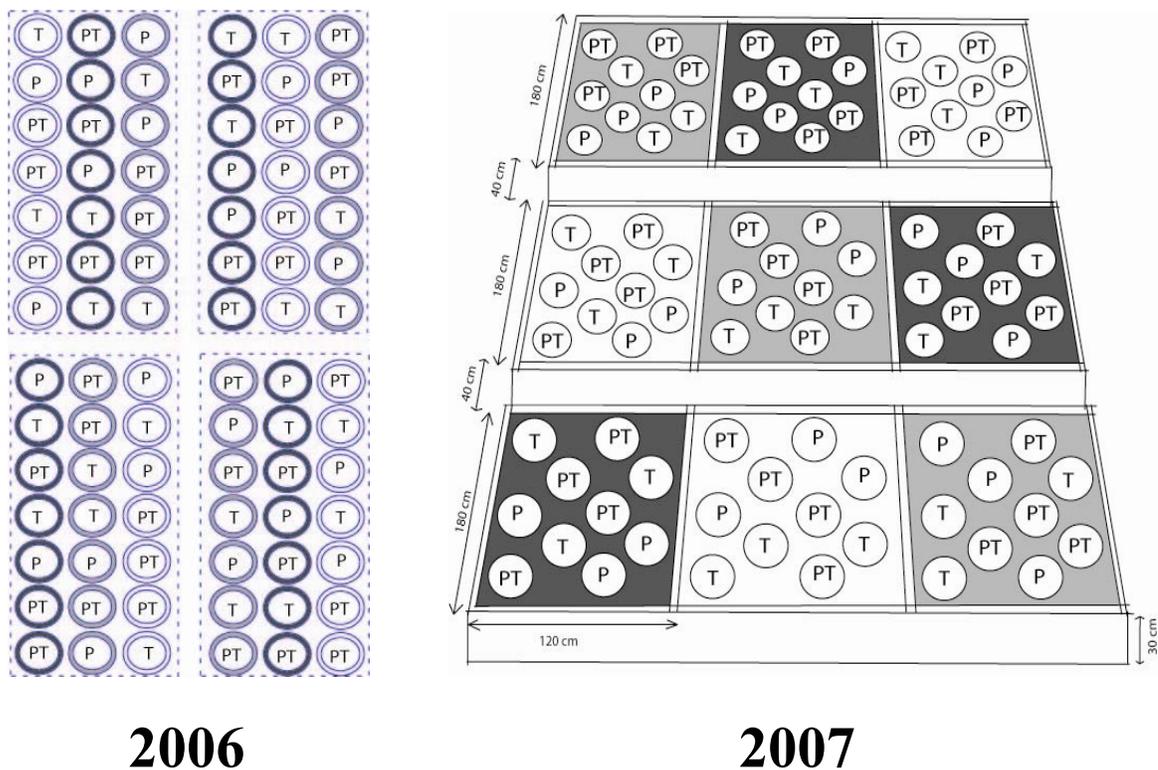


Figure 3.6 : Schéma de la répartition spatiale de l'expérience des rhizomes en 2006 et en 2007 (2006 : Les contours colorés représentent les réservoirs individuels. Les lignes pointillées représentent les 4 blocs. 2007 : Les grands rectangles colorés représentent les réservoirs communs. Les 3 blocs sont constitués des bassins réunis ensemble sur le plan horizontal. 2006 et 2007 : sans couleur : niveau de salinité S0; gris : niveau de salinité intermédiaire S1; noir : niveau de salinité élevée S2)



3.2.4 Expérience de fronts de colonisation en bassin

3.2.4.1 Mise en place de l'expérience

Vingt-quatre bassins (120 cm longueur x 75 cm largeur x 40 cm profondeur) ont été divisés en deux compartiments isolés (60 cm x 75 cm x 40 cm) en insérant une cloison de plastique au milieu de chacun d'eux. Des poutres de bois entre les bassins et des chaînes de métal à l'intérieur des bassins ont été installées pour empêcher les bassins de se déformer sous le poids du gravier. Des réservoirs supplémentaires reliés par tuyaux ont été installés pour augmenter la capacité de solution disponible au système et faciliter la gestion des mesures de conductivité. Les bassins ont ensuite été remplis de gravier au début mai 2006 jusqu'à environ 10 cm du rebord.

3.2.4.2 Établissement des colonies

Les 17 et 18 mai 2006, des rhizomes provenant de colonies matures de roseau et de quenouilles ont été nettoyés et transplantés dans les compartiments des bassins pour former soit des colonies monospécifiques de quenouilles, soit des colonies monospécifiques de roseau. Certains bassins contenaient une colonie monospécifique dans un compartiment et une colonie de l'autre espèce dans l'autre compartiment; tandis que d'autres jouaient un rôle de témoin en n'ayant des plantes que dans un compartiment.

À l'intérieur de colonies naturelles de macrophytes, les vents sont beaucoup moins importants qu'en milieu ouvert comme sur nos terrains expérimentaux. Par contre, la compétition pour la lumière y est beaucoup plus forte. Ainsi, pour mieux simuler ces

conditions naturelles et limiter les effets de bordure dus à ces deux facteurs, des écrans en tissus blancs ont été érigés au-dessus des quatre côtés des bassins, jusqu'à une hauteur d'environ 1,5m.

3.2.4.3 Déroulement de l'expérience en 2006

Pendant l'été, l'alimentation en solution nutritive se faisait sur une base hebdomadaire, en faisant des suivis constants de la conductivité des solutions dans les réservoirs auxiliaires après avoir mélangé l'eau du réservoir auxiliaire avec l'eau du bassin. L'ajustement se faisait de la même façon que pour les expériences en pots (voir 3.2.5). À l'automne, les tiges aériennes des bassins ont été récoltées et les bassins ont été recouverts d'un plastique et de paille pour les protéger des froids hivernaux.

3.2.4.4 Déroulement de l'expérience en 2007

L'alimentation s'est fait de la même manière qu'en 2006. La paroi séparant les bassins a été retirée le 13 juin 2007 et les fronts de compétition ont pu commencer leur progression. À l'automne, la biomasse aérienne a été récoltée, les tiges ont été comptées et la longueur de la plus grande tige a été notée. La récolte de la biomasse aérienne s'est faite de façon divisée pour 13 des bassins et de façon totale pour les 11 autres. Pour la récolte de façon divisée, les mesures ont été notées selon le côté d'origine de chaque tige récoltée, c'est-à-dire soit du côté de la colonie monospécifique de départ, soit du côté de la nouvelle colonisation depuis le retrait de la cloison. Seule la partie aérienne a été récoltée pour cette expérience, car l'expérience se poursuit pour la saison de croissance

2008, en dehors du contexte de ma maîtrise. L'hivernation des bassins s'est déroulée de la même manière qu'en 2006.

3.2.5 Gestion de la salinité et des éléments nutritifs pour les trois expériences

En culture hydroponique, les nutriments sont donnés aux plantes par l'ajout d'engrais à la solution ambiante de croissance. Au fur et à mesure que les plantes croissent, elles puisent les éléments dans la solution et l'appauvrissent. La solution doit donc être renouvelée en nutriments de façon régulière. La solution nutritive ambiante était ajustée de façon hebdomadaire en mesurant la conductivité de la phase liquide à l'aide d'un conductimètre de modèle EcoSense® EC300 (Y.S.I. Inc.). Cette conductivité était ajustée à 1,8mS pour les deux premières semaines de chaque expérience pour ne pas brusquer les plantes par un régime trop riche. La conductivité a ensuite été maintenue en moyenne à 2,2 mS pour la composante « engrais » du mélange (Annexe 1). Elle était rétablie à 2,5 mS lorsqu'elle était rendue vers 1,9 mS. Pour optimiser la biodisponibilité des éléments nutritifs, le pH de la solution des pots était ajusté entre 5,5 et 6,5 en même temps que l'engrais en utilisant de l'acide nitrique ou chloridrique. De façon générale, les réservoirs et bassins avec des solutions salines étaient naturellement plus acides. Deux causes expliquent ce phénomène. Premièrement, la captation des ions de sodium (Na^+) résulte, par plusieurs mécanismes biochimiques, en une excrétion accrue d'ions H^+ par la plante, notamment pour conserver le gradient électrochimique utilisé pour l'entrée des autres cations (Blumwald, 2000). Deuxièmement, l'eau de la ville était légèrement alcaline et le remplissage était beaucoup plus fréquent dans les bassins sans stress salin à cause de la plus forte évapotranspiration.

Puisque seule la conductivité était mesurée, il fallait toujours tenir compte des deux composantes de la solution, l'engrais et le sel. Le sel a été ajouté au début des expériences pour donner des solutions nutritives non-salées (2,2 mS), à salinité intermédiaire (12 mS) ou à forte salinité (22 mS). Au début de la saison de croissance, les fortes baisses de conductivité des solutions de croissance indiquaient clairement que les plantes absorbaient une grande quantité de sodium et/ou de chlorure de la solution environnante. Les solutions devaient donc être vidangées complètement aux deux semaines pour rétablir les conditions initiales de stress salin. À la fin de la saison de croissance, je vidangeais à tous les trois ou quatre semaines car les concentrations semblaient plus stables.

Le sel utilisé pour établir les niveaux de salinité est un sel de table fin acheté en vrac, comme celui disponible dans toute épicerie. Ce sel est composé à plus de 99% de chlorure de sodium. Des « pré-tests » de toxicité ont été effectués sur des semis avant de commencer à distribuer le sel pour s'assurer de ne pas utiliser des concentrations léthales pour nos écotypes. Après la période d'établissement, les concentrations de sel ont graduellement été ajustées sur une période de 2 semaines dans la solution hydroponique jusqu'à 6 g NaCl /L pour les réservoirs à salinité intermédiaire (S1) et 12 g NaCl /L pour les réservoirs à forte salinité (S2).

3.2.6 Traitement des données et analyses statistiques

Les tests statistiques utilisés sont des ANOVA qui donnent des statistiques F. Des probabilités p sont obtenues en fonction de ces statistiques F et du nombre de degrés de

liberté pour chacun des facteurs isolés (salinité, compétition, bloc) et chacune des interactions entre ces facteurs. Le facteur bloc et ses interactions avec les facteurs de compétition et salinité ont été introduits dans le modèle comme facteur aléatoire. Pour chacune des expériences, ces tests ont été réalisés sur toutes les données pour chaque espèce séparément, c'est-à-dire la biomasse aérienne des quenouilles, la biomasse aérienne du roseau, la biomasse souterraine des quenouilles, la biomasse souterraine du roseau, la densité des tiges des quenouilles, la densité des tiges du roseau, la hauteur des tiges des quenouilles, la hauteur des tiges du roseau. Les tests statistiques ont tous été réalisés avec le logiciel JMP IN 5.1 (SAS Institute Inc.).

Les données ont été analysées avec l'indice d'intensité relative de la compétition cité en introduction qui permet d'isoler l'effet de la compétition aux différents niveaux de salinité. Les données ont aussi été analysées sous un autre angle en utilisant une méthode similaire pour isoler l'effet de la salinité aux différents niveaux de compétition. Pour nos besoins, un indice de stress salin (ISS) a été créé : $ISS = (biomasse \text{ à salinité } X - biomasse \text{ à salinité } Y) / biomasse \text{ à salinité } X$

Pour ces deux indices de stress (compétition et salinité), plus les valeurs sont grandes, plus l'écart entre les mesures des plantes témoins et des plantes stressées est important. Lorsque les valeurs sont positives, le stress a un effet négatif sur les plantes, tandis que lorsque les valeurs sont négatives, le stress a un effet positif sur les plantes.

3.3 Résultats

3.3.1 Généralités

Les données brutes sont disponibles dans les Annexes 2 à 6. Les résultats des tests d'ANOVA sont synthétisés sur les graphiques (fig. 3.7, fig 3.11, fig. 3.15, fig 3.19, fig. 3.23) expliqués par la légende au tableau 3.1. Les interactions entre l'effet bloc aléatoire et les facteurs expérimentaux ne sont toutefois pas indiqués sur les graphiques. Si on désire avoir d'avantage d'informations sur les résultats des ANOVA, les tables de résultats peuvent être trouvés aux Annexes 7 à 12.

Tableau 3.1 Légende de la présentation des résultats des tests d'ANOVA sur les graphiques

C :	facteur compétition significatif entre 0,05 et 0,10
C* :	facteur compétition significatif entre 0,01 et 0,05
C** :	facteur compétition significatif à moins de 0,01
S :	facteur salinité significatif entre 0,05 et 0,10
S* :	facteur salinité significatif entre 0,01 et 0,05
S** :	facteur salinité significatif à moins de 0,01
I :	facteur interaction (C x S) significatif entre 0,05 et 0,10
I* :	facteur interaction (C x S) significatif entre 0,01 et 0,05
I** :	facteur interaction (C x S) significatif à moins de 0,01

3.3.2 Résultats de l'expérience avec semis de 2006

Dans l'expérience des semis 2006, les conditions de base nécessaires à l'étude de l'interaction statistique entre la compétition et la salinité n'ont pas été remplies: la salinité a eu un effet significatif important chez les deux espèces, mais il n'y a pas vraiment eu de compétition intense suffisante pour influencer les biomasses (figure 3.7).

Pour la biomasse aérienne, le roseau et les quenouilles ont été influencés seulement par la salinité. Pour la biomasse souterraine, les deux espèces n'ont été affectées ni par la salinité, ni par la compétition (figures 3.7 et 3.8). La densité des tiges des deux espèces n'a été affectée significativement que par la compétition. Bien que les effets de la compétition ne soient pas sortis statistiquement significatifs (figure 3.7), on peut observer sur la figure 3.8 une tendance qui indique que les impacts de la compétition sont plus grands sur le roseau que sur les quenouilles, autant au niveau aérien que souterrain. Pour les deux espèces, l'effet de compétition semble maximal en présence de sel. Le roseau en compétition semble avoir souffert un peu plus du stress salin que le roseau sans compétition, tandis que la tendance ne semble pas aussi claire pour les quenouilles (figures 3.9 et 3.10). Les réductions de biomasse dues au sel sont très similaires chez les deux espèces.

Figure 3.7 : Biomasse aériennes (g) et souterraine (g) et densité des tiges des roseaux et quenouilles de l'expérience des semis en 2006 exprimés sous forme de moyennes avec erreur-type (voir légende au tableau 3.1). Les lignes pleines représentent les séries de données des pots des témoins (monoculture) et les lignes pointillées représentent les séries de données des pots des plantes en compétition.

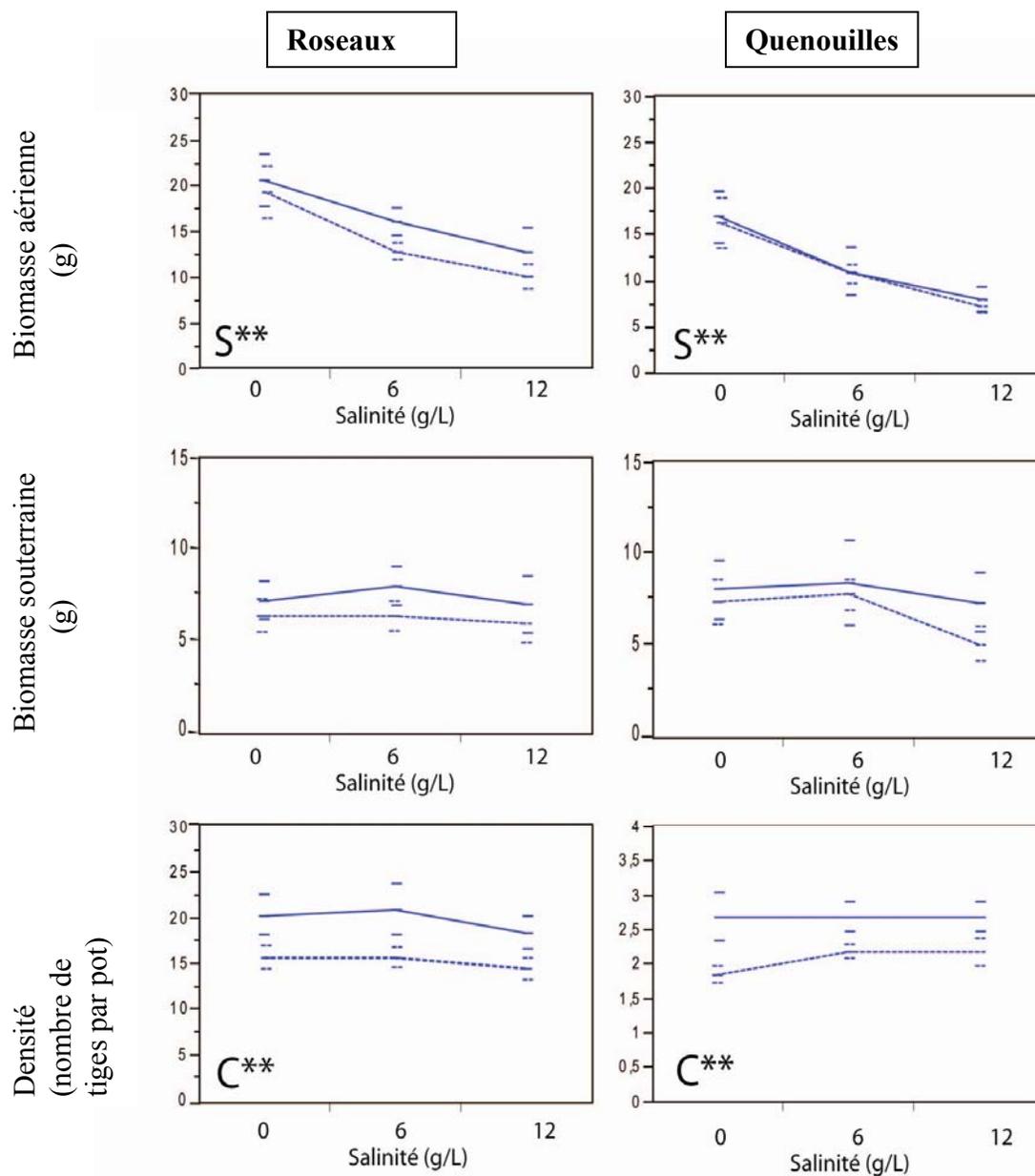


Figure 3.8 : Indice d'intensité relative de la compétition de l'expérience avec semis en 2006 en fonction de la salinité (barres grises pâles : roseaux ; barres grises foncées : quenouilles). S0 : absence de salinité; S1 : salinité intermédiaire; S2 : salinité élevée.

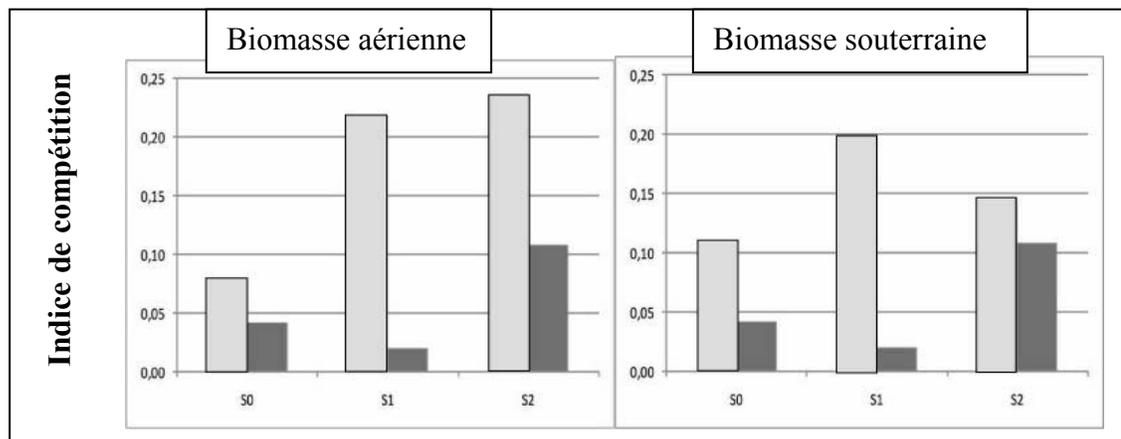


Figure 3.9 : Indice de stress salin pour la biomasse aérienne des semis en 2006 selon la présence ou l'absence de compétition (barres foncées : stress dû à la salinité modérée $[(S0-S1)/S0]$; barres pâles : stress dû à la salinité élevée $[(S0-S2)/S0]$)

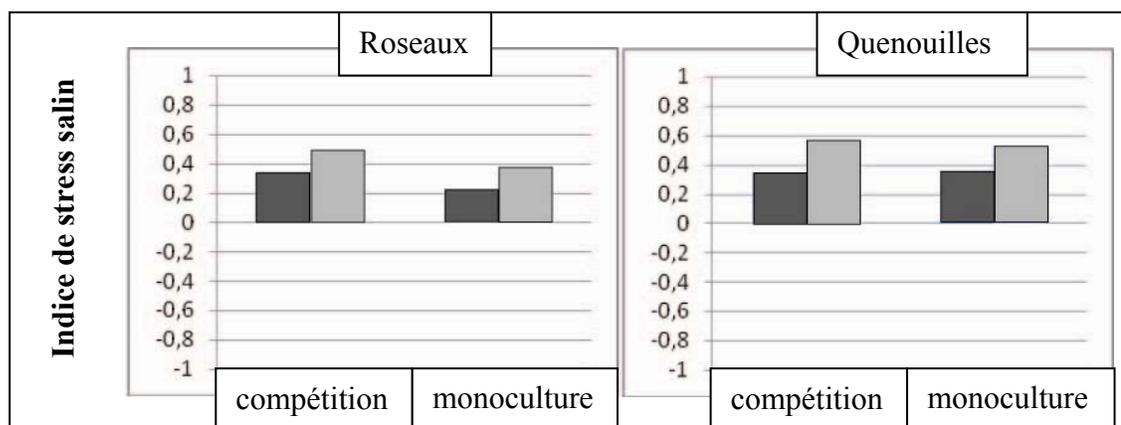
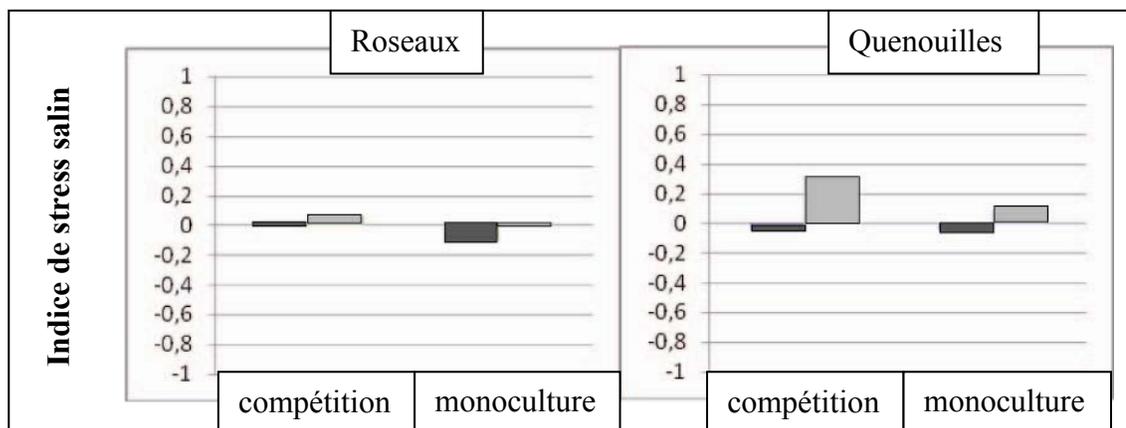


Figure 3.10 : Indice de stress salin pour la biomasse souterraine des semis en 2006 selon la présence ou l'absence de compétition (barres foncées : stress dû à la salinité modérée $[(S0-S1)/S0]$; barres pâles : stress dû à la salinité élevée $[(S0-S2)/S0]$)



3.3.3 Résultats de l'expérience avec semis de 2007

Pour les tests statistiques, le bloc 2 a dû être omis du calcul en raison du manque de réplication des quenouilles. Lors de la plantation, une erreur s'est produite dans ce bloc : deux pots de monocultures de quenouilles ont aussi reçu des semis de roseau. Il manquait donc un pot de quenouilles (sans compétition) en S0 et un autre en S2. Les deux conditions de base nécessaires à l'étude de l'interaction entre la compétition et la salinité ont toutefois bien été remplies : il y a eu des effets significatifs au niveau de la compétition et du stress salin (figure 3.11). Les résultats de l'expérience ressemblent à ceux de 2006, mais avec une meilleure résolution. La majorité des facteurs qui étaient significatifs dans les tests ANOVA de 2006 sont encore significatifs, mais de nouveaux se sont ajoutés.

Pour la biomasse aérienne, les deux espèces ont été influencées par la salinité, mais un effet de compétition est aussi apparu chez les quenouilles (figure 3.11). Pour la biomasse souterraine, les deux espèces ont été affectées par la compétition, mais un effet de salinité est aussi apparu chez les quenouilles. La densité des tiges des quenouilles a été affectée significativement par la compétition. Il n'y a pas eu d'effet de compétition sur la densité de tiges du roseau, mais il y a eu un effet d'interaction qui est probablement dû au plus gros effet de compétition en absence de salinité. La hauteur des tiges des deux espèces a été affectée à la fois par la compétition et la salinité. Il est toutefois intéressant de noter que les quenouilles dominaient le roseau en hauteur en absence de salinité, mais il s'est produit une perte de cette dominance avec l'augmentation de salinité pour en arriver à une codominance. La dominance d'une

espèce semble aussi liée à une augmentation de la hauteur chez l'autre espèce. Il s'agit probablement d'une réponse plastique pour capter d'avantage de lumière.

Des résultats difficilement explicables sont apparus dans cette expérience, il y a eu un effet positif de la compétition sur la biomasse souterraine (faiblement significatif statistiquement) et aérienne (non-significatif statistiquement) du roseau (figure 3.12). Étant donné le faible seuil du test statistique, il est aussi possible qu'il n'y ait pas réellement d'effet et que les tendances soient dues à de la variation aléatoire.

Le roseau sans compétition semble avoir souffert d'avantage du stress salin que le roseau avec compétition (figures 3.13 et 3.14). La tendance n'est pas aussi claire pour les quenouilles, mais il semble que celles avec compétition ont souffert d'avantage du stress salin que celles sans compétition, du moins pour le niveau de salinité intermédiaire. Cependant, en analysant les valeurs maximales atteintes par l'indice de stress salin, les quenouilles ont beaucoup plus souffert du stress salin que le roseau.

Figure 3.11 : Biomasse aérienne (g) et souterraine (g), densité des tiges et hauteur maximale (cm) des roseaux et quenouilles de l'expérience des semis en 2007 exprimés sous forme de moyennes avec erreur-type (voir légende au tableau 3.1). Les lignes pleines représentent les séries de données des pots des témoins (monoculture) et les lignes pointillées représentent les séries de données des pots des plantes en compétition.

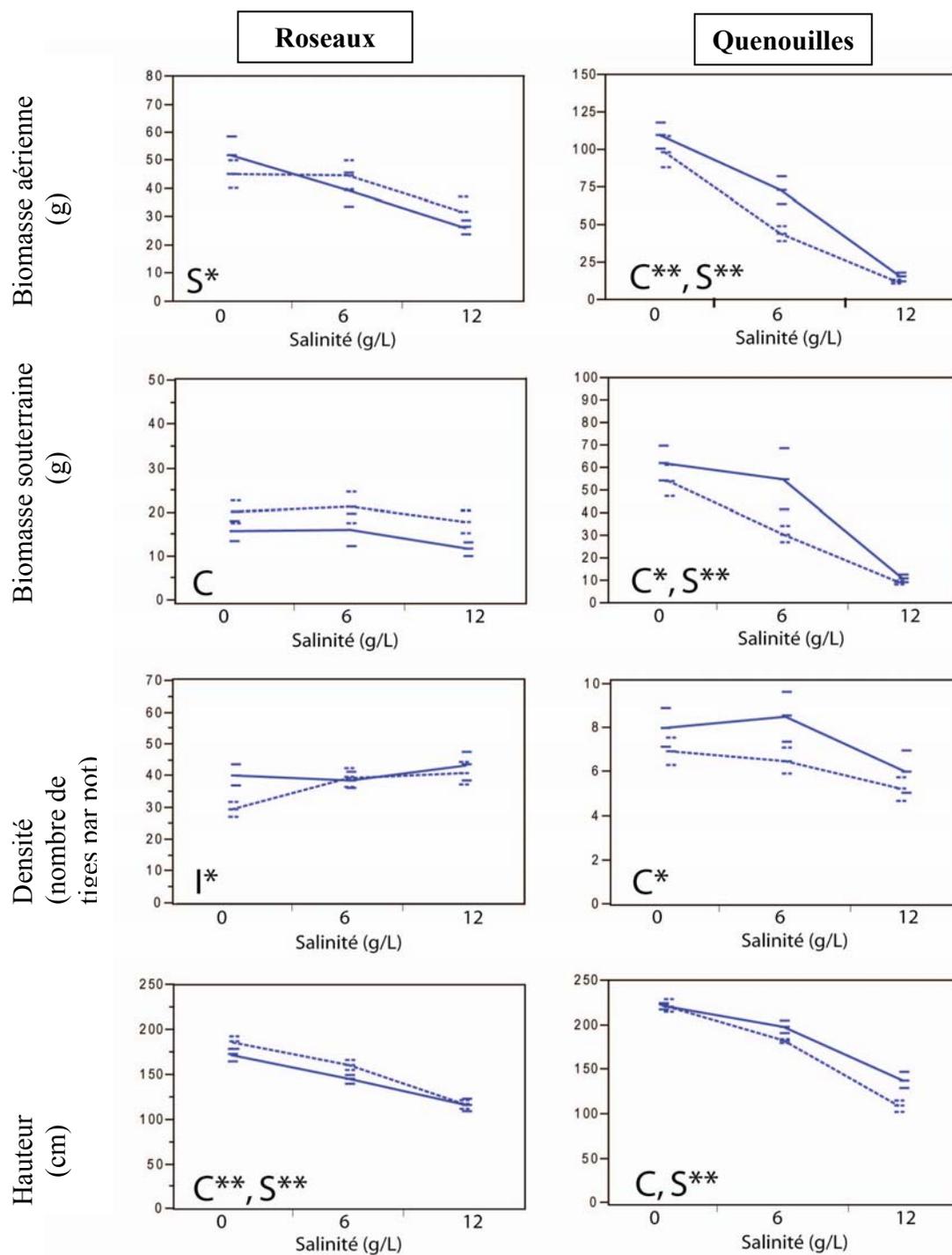


Figure 3.12 : Indice d'intensité relative de la compétition de l'expérience des semis 2007 en fonction de la salinité (barres grises pâles : roseaux ; barres grises foncées : quenouilles). S0 : absence de salinité; S1 : salinité intermédiaire; S2 : salinité élevée.

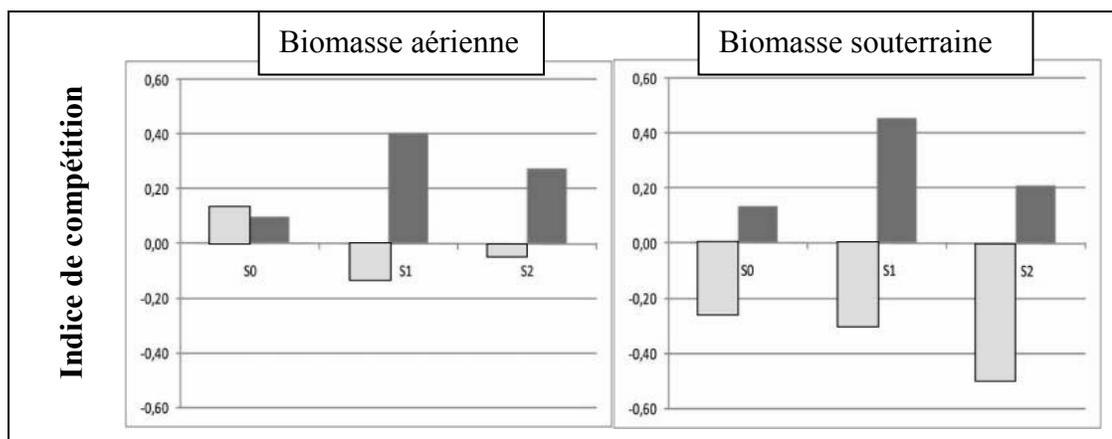


Figure 3.13 : Indice de stress salin pour la biomasse aérienne des semis en 2007 selon la présence ou l'absence de compétition (barres foncées : stress dû à la salinité modérée $[(S0-S1)/S0]$; barres pâles : stress dû à la salinité élevée $[(S0-S2)/S0]$)

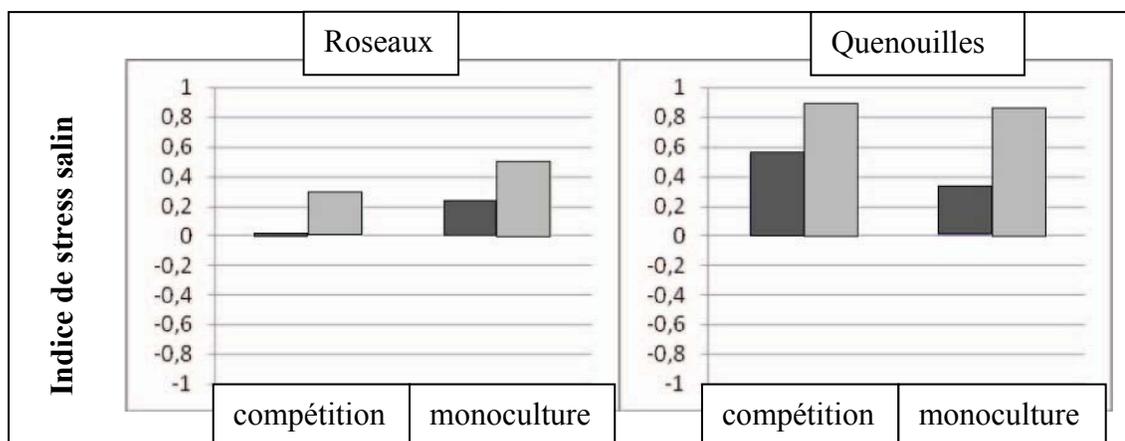
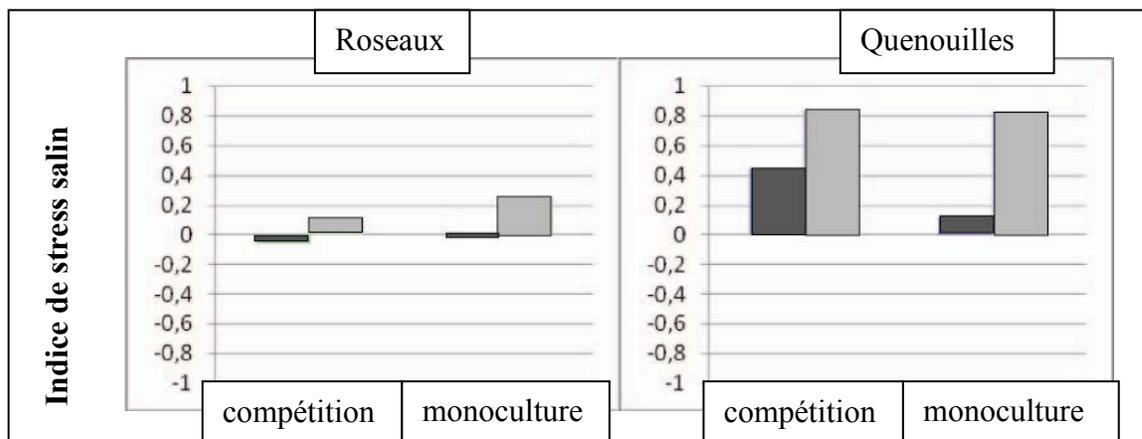


Figure 3.14 : Indice de stress salin pour la biomasse souterraine des semis en 2007 selon la présence ou l'absence de compétition (barres foncées : stress dû à la salinité modérée $[(S0-S1)/S0]$; barres pâles : stress dû à la salinité élevée $[(S0-S2)/S0]$)



3.3.4 Résultats de l'expérience par multiplication végétative de 2006

Dans l'expérience de 2006 sur la multiplication végétative par rhizomes, les deux conditions de base nécessaires à l'étude de l'interaction entre la compétition et la salinité ont été remplies : il y a eu des effets significatifs aux niveaux de la compétition et du stress salin (figure 3.15), et quelques interactions faiblement significatives.

Pour la biomasse aérienne, les quenouilles ont été influencées par la salinité et la compétition (figure 3.15). Le roseau n'a pas été affecté par ces facteurs, mais par un effet d'interaction. Celui-ci semble attribuable au niveau de salinité faible (S0) où l'effet de compétition n'a pas été aussi fort que dans les autres niveaux de salinité (figure 3.16). Chez la quenouille, l'effet de compétition est déjà présent en absence de salinité, mais son importance relative augmente graduellement avec l'augmentation de salinité (figure 3.16). Pour la biomasse souterraine, les deux espèces ont été affectées par la compétition (figure 3.15). La quenouille a aussi été affectée par la salinité et un effet d'interaction. Ce dernier semble dû à la croissance exceptionnelle des quenouilles dans les pots sans compétition à salinité intermédiaire. On semble voir un changement de dominance au niveau souterrain selon la salinité : en absence de salinité, le roseau est plus affecté par la compétition que la quenouille; à salinité intermédiaire, les deux espèces sont très affectées par la compétition; mais à plus forte salinité, la quenouille est plus affectée que le roseau (figure 3.16). La densité des tiges des deux espèces n'a été affectée significativement que par la compétition, mais il y a une tendance indiquant que la densité augmente avec la salinité pour le roseau et une tendance contraire pour la quenouille (figure 3.15).

De façon globale, l'analyse des indices de stress salin indique que les impacts directs de la salinité sur la biomasse aérienne (figure 3.17) et souterraine (figure 3.18) ont été plus important chez la quenouille que chez le roseau.

Figure 3.15 : Biomasse aérienne (g) et souterraine (g) et densité des tiges des roseaux et quenouilles de l'expérience des rhizomes en 2006 exprimés sous forme de moyennes avec erreur-type (voir légende au tableau 3.1). Les lignes pleines représentent les séries de données des pots des témoins (monoculture) et les lignes pointillées représentent les séries de données des pots des plantes en compétition.

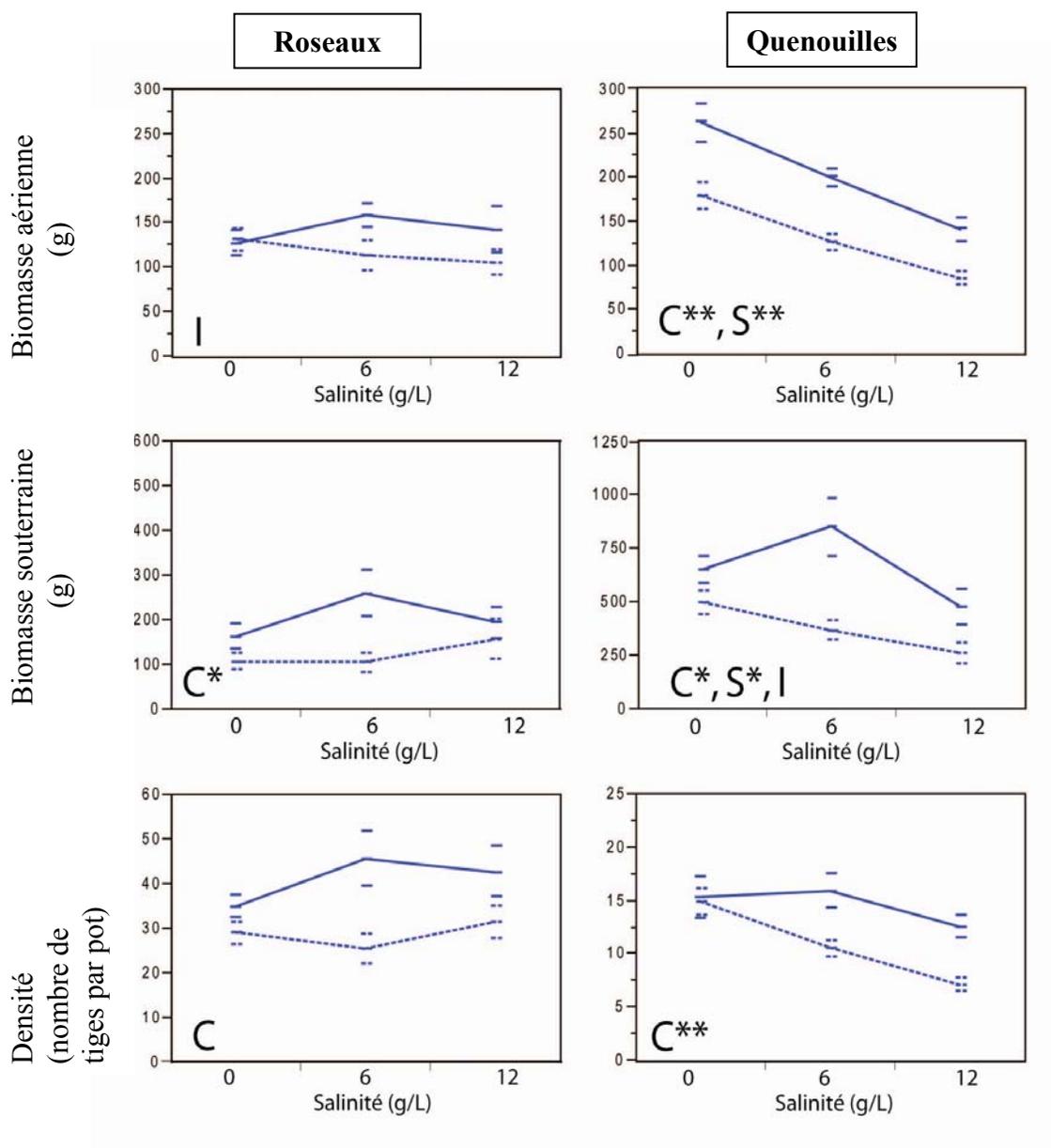


Figure 3.16 : Indice d'intensité relative de la compétition de l'expérience des rhizomes 2006 en fonction de la salinité (barres grises pâles : roseaux ; barres grises foncées : quenouilles). S0 : absence de salinité; S1 : salinité intermédiaire; S2 : salinité élevée.

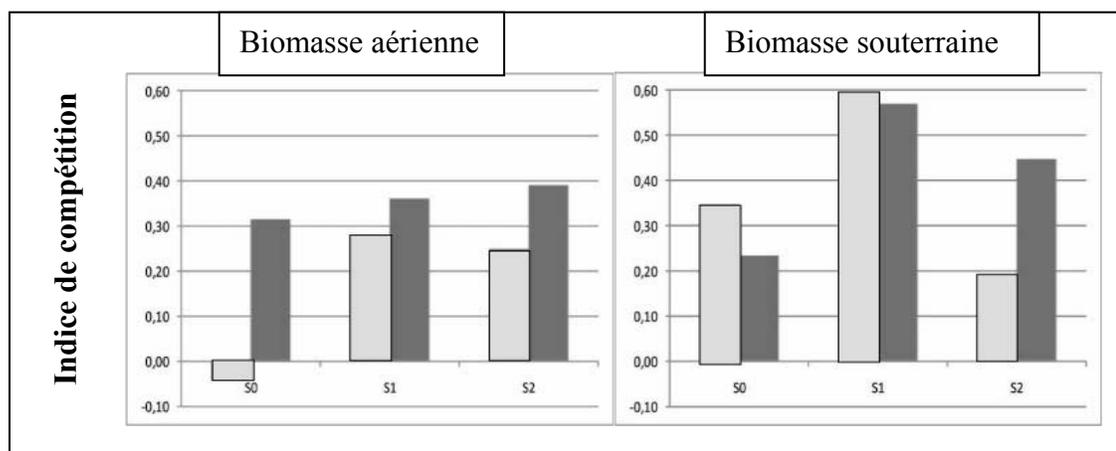


Figure 3.17 : Indice de stress salin pour la biomasse aérienne des plantes de l'expérience de croissance par rhizomes en 2006 selon la présence ou l'absence de compétition (barres foncées : stress dû à la salinité modérée $[(S0-S1)/S0]$; barres pâles : stress dû à la salinité élevée $[(S0-S2)/S0]$)

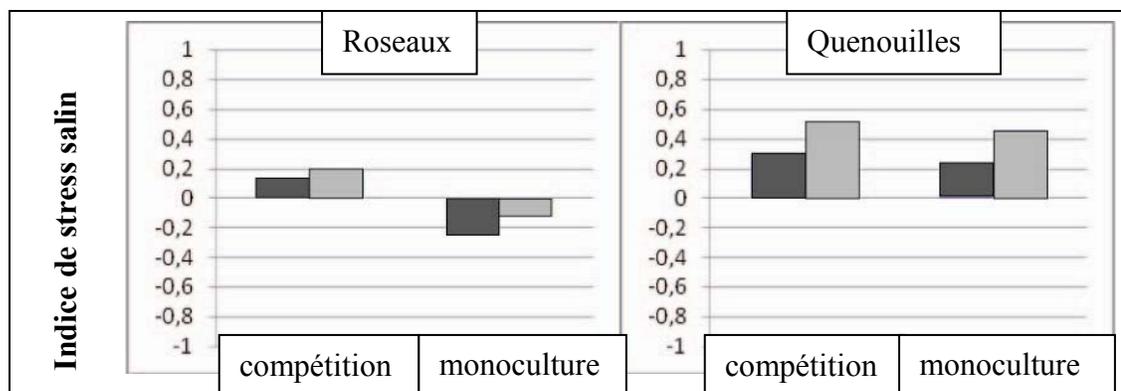
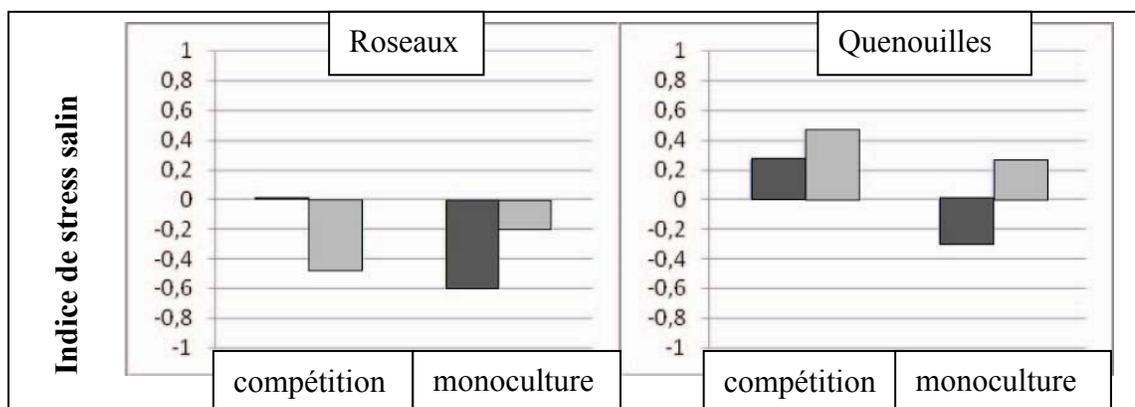


Figure 3.18 : Indice de stress salin pour la biomasse souterraine des plantes de l'expérience de croissance par rhizomes en 2006 selon la présence ou l'absence de compétition (barres foncées : stress dû à la salinité modérée $[(S0-S1)/S0]$; barres pâles : stress dû à la salinité élevée $[(S0-S2)/S0]$)



3.3.5 Résultats de l'expérience par multiplication végétative de 2007

Dans l'expérience de 2007 sur la multiplication végétative par rhizomes, les conditions de base nécessaires à l'étude de l'interaction entre la compétition et la salinité n'ont pas été remplies: la salinité a eu un effet significatif important chez les deux espèces, mais il n'y a pas vraiment eu de compétition intense assez longtemps (figure 3.19). Seulement la densité des tiges des quenouilles a été affectée par la compétition de façon significative.

Pour la biomasse aérienne, le roseau et les quenouilles ont été influencés seulement par la salinité (figure 3.19). Pour la biomasse souterraine, la quenouille a été affectée par la salinité, tandis que le roseau n'a été affectée ni par la salinité, ni par la compétition. Pour la biomasse aérienne et souterraine des deux espèces, les tendances des indices de compétition indiquent que la compétition est maximale en salinité forte, mais relativement faible en absence de salinité (figure 3.20). De façon globale, l'effet de la compétition semble plus fort sur la quenouille que sur le roseau. Pour les deux espèces, les effets de la salinité sont plus forts chez les plantes déjà stressées par la compétition que chez les plantes sans compétition (figures 3.21 et 3.22). Les valeurs maximales atteintes par l'indice de stress salin indiquent que les quenouilles ont été beaucoup plus affectées que le roseau. Pour la densité des tiges, la quenouille a été affectée statistiquement par la salinité et par la compétition, tandis que le roseau n'a été affectée statistiquement ni par la salinité, ni par la compétition (figure 3.19). Cependant, des tendances indiquent que le roseau est influencé par la compétition, mais sa densité semble augmenter avec la salinité. Pour la hauteur, les deux espèces ont été affectées

par la salinité, mais le roseau a aussi été affecté par un effet d'interaction faiblement significatif.

Figure 3.20 : Indice d'intensité relative de la compétition de l'expérience des rhizomes 2007 en fonction de la salinité (barres grises pâles : roseaux ; barres grises foncées : quenouilles). S0 : absence de salinité; S1 : salinité intermédiaire; S2 : salinité élevée.

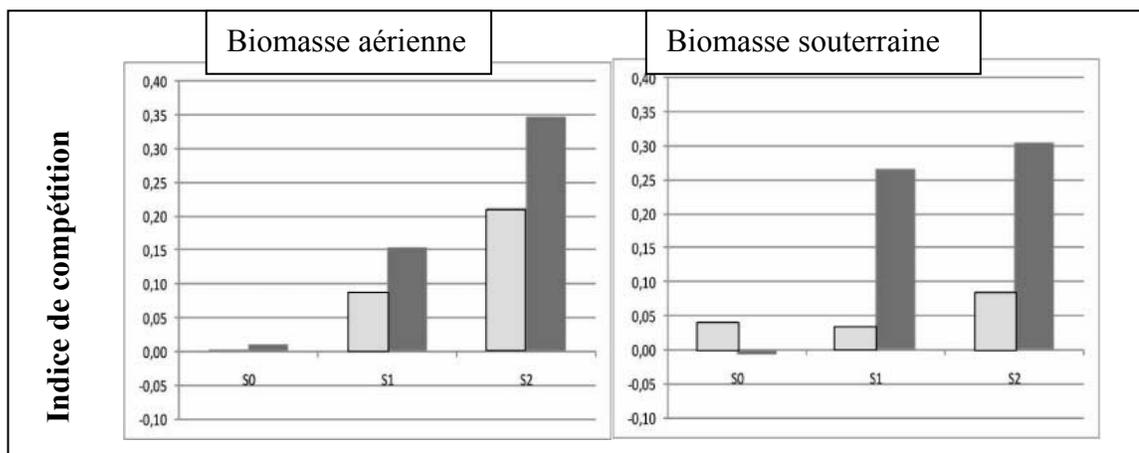


Figure 3.21 : Indice de stress salin pour la biomasse aérienne des plantes de l'expérience de croissance par rhizomes en 2007 selon la présence ou l'absence de compétition (barres foncées : stress dû à la salinité modérée $[(S0-S1)/S0]$; barres pâles : stress dû à la salinité élevée $[(S0-S2)/S0]$)

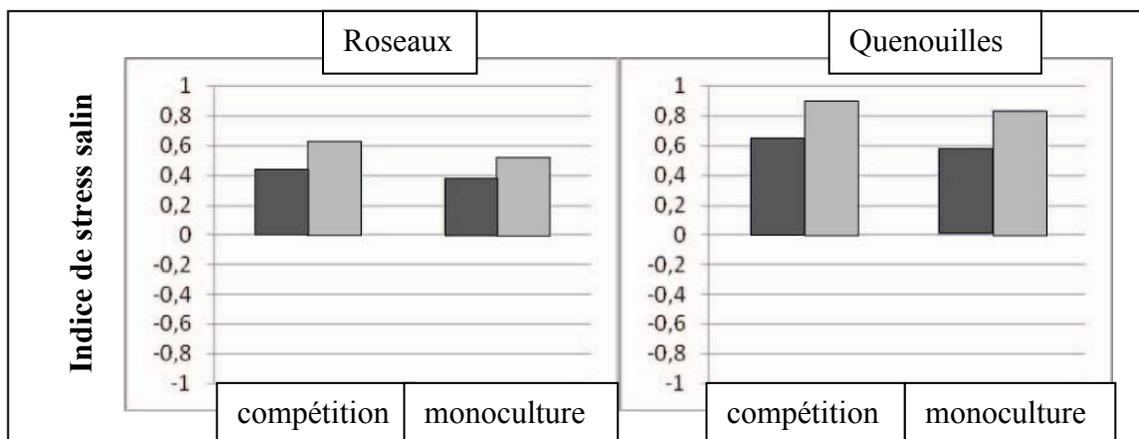
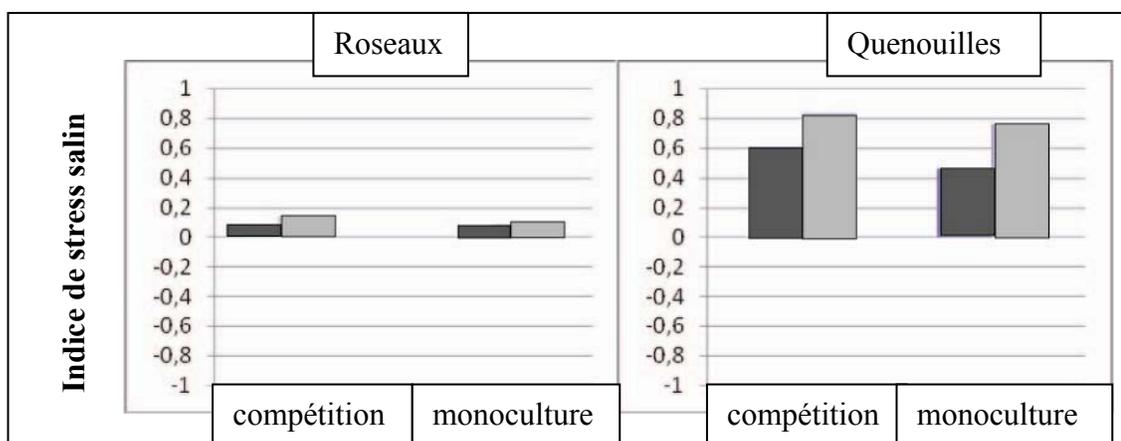


Figure 3.22 : Indice de stress salin pour la biomasse souterraine des plantes de l'expérience de croissance par rhizomes en 2007 selon la présence ou l'absence de compétition (barres foncées : stress dû à la salinité modérée $[(S0-S1)/S0]$; barres pâles : stress dû à la salinité élevée $[(S0-S2)/S0]$)



3.3.6 Résultats de l'expérience de fronts de colonisation en bassins en 2007

Dans les résultats de la deuxième saison de croissance (été 2007) de l'expérience en bassin, les conditions de base nécessaires à l'étude de l'interaction entre la compétition et la salinité ont bien été remplies : il y a eu des effets statistiquement significatifs aux niveaux de la compétition et du stress salin. Il y a par ailleurs eu des effets d'interactions statistiquement significatifs (figure 3.23).

Pour la biomasse aérienne, les deux espèces ont été influencées par la salinité. La quenouille a aussi été influencée par la compétition et par un effet d'interaction (faiblement statistiquement significatif). Pour la densité des tiges, les deux espèces ont été affectées à la fois par la salinité et la compétition. La hauteur des deux espèces a été affectée par la salinité. Celle de la quenouille a aussi été affectée par un effet d'interaction.

Pour les deux espèces, les indices de compétition semblent indiquer que l'effet de la compétition augmente avec la salinité (figure 3.24). Le roseau a un avantage compétitif sur la quenouille en absence de salinité et à salinité intermédiaire, mais il perd cet avantage en salinité élevée. L'indice de stress salin indique que les plantes en compétition interspécifique ont eu des diminutions plus importantes dues au sel que les plantes sans compétition (figure 3.25).

Figure 3.23 : Biomasse aérienne (g), densités de tiges et hauteur maximale (cm) des roseaux et quenouilles de l'expérience des bassins en 2007 exprimés sous forme de moyennes avec un erreur-type (voir légende au tableau 3.1). Les lignes pleines représentent les séries de données des pots des témoins (monoculture) et les lignes pointillées représentent les séries de données des pots des plantes en compétition.

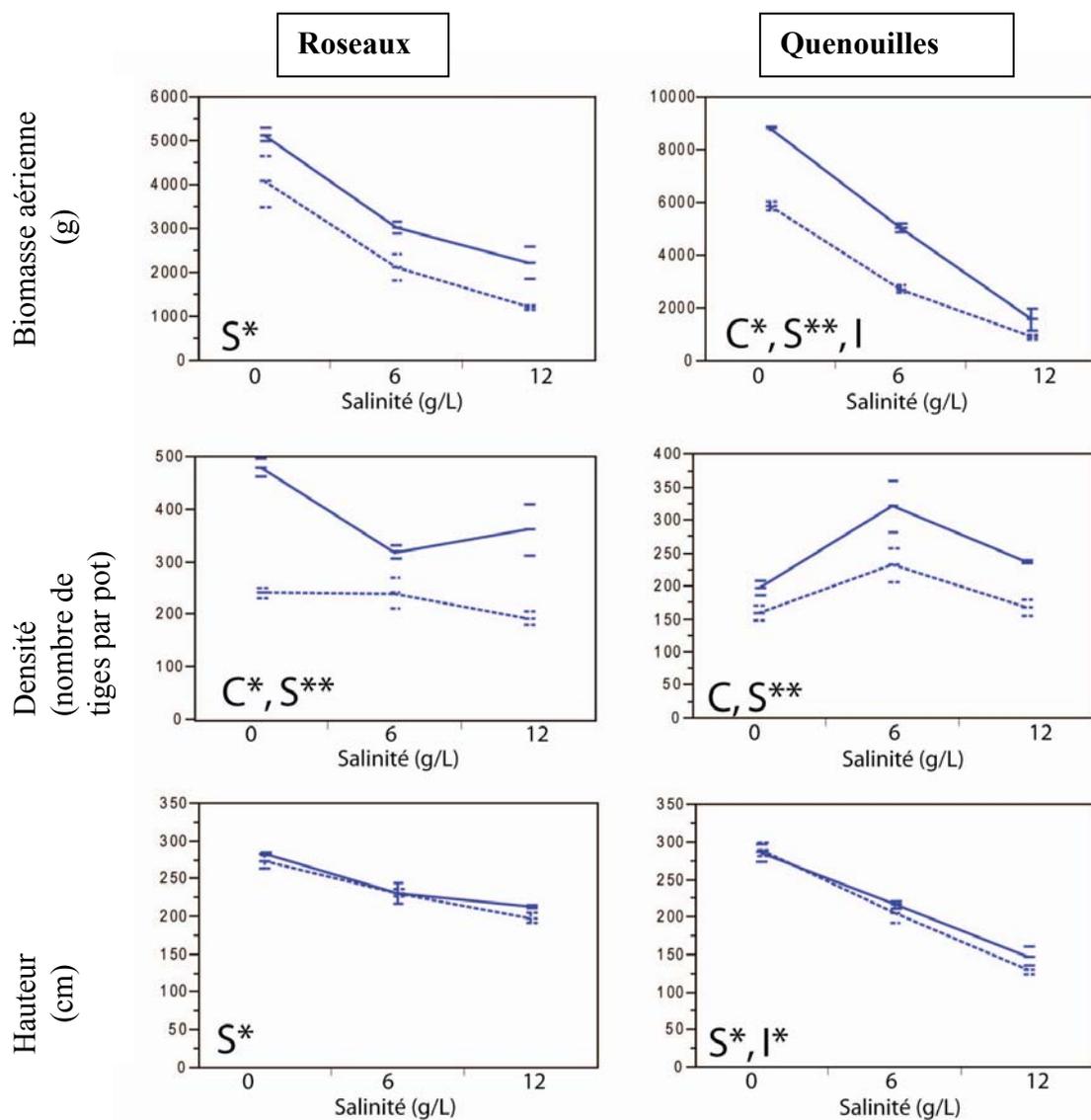


Figure 3.24 : Indice d'intensité relative de la compétition calculés sur la biomasse aérienne de l'expérience des bassins à la fin du deuxième été de croissance (2007) en fonction de la salinité (barres grises pâles : roseaux ; barres grises foncées : quenouilles). S0 : absence de salinité; S1 : salinité intermédiaire; S2 : salinité élevée.

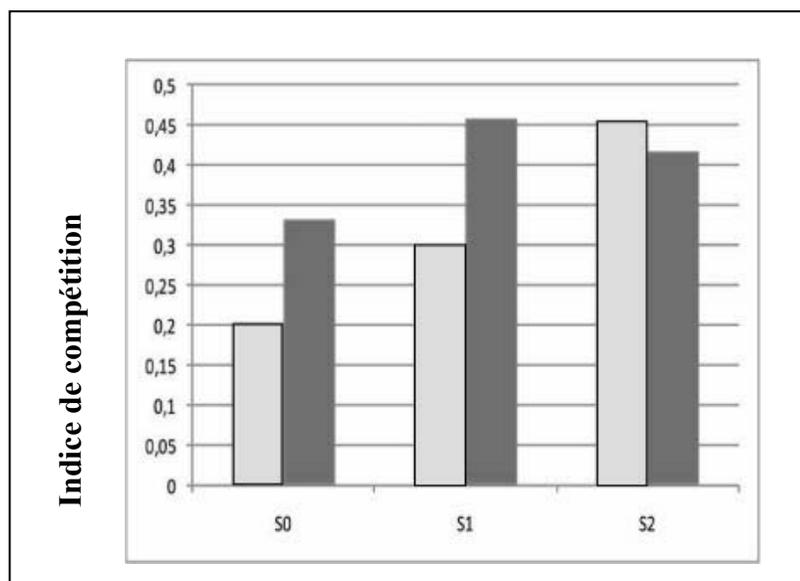
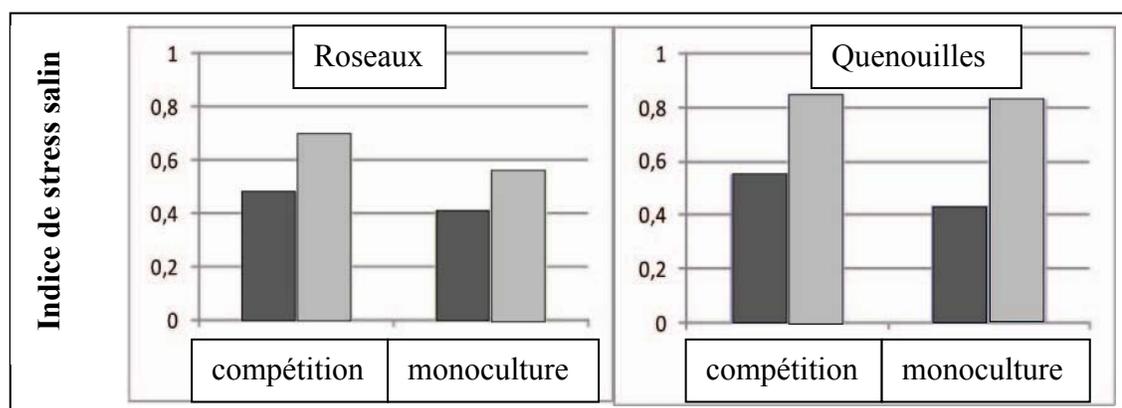


Figure 3.25 : Indice de stress salin pour la biomasse aérienne des plantes de l'expérience en bassins en 2007 selon la présence ou l'absence de compétition (barres foncées : stress dû à la salinité modérée $[(S0-S1)/S0]$; barres pâles : stress dû à la salinité élevée $[(S0-S2)/S0]$)



3.3.7 Différences entre les années et problèmes expérimentaux

Avant de s'attarder aux conclusions générales que l'on peut tirer des expériences, il est important de souligner les différences majeures entre les expériences de semis de 2006 et 2007 et entre les expériences de multiplication par rhizomes de 2006 et 2007.

En tenant compte de la densité initiale qui a été doublée, les semis du roseau de 2007 ont fini environ à la même taille qu'en 2006. Par exemple, en l'absence de salinité (S0), les semis de 2006 avaient une biomasse finale moyenne de 20 g, et ceux de 2007, une biomasse finale moyenne de 47 g. Par contre, les quenouilles ont terminé la saison de croissance avec une masse beaucoup plus forte en 2007 qu'en 2006. Par exemple, les quenouilles de 2006 avaient une biomasse finale moyenne de 16 g, et celles de 2007, une biomasse finale moyenne de 102 g. On trouve les mêmes phénomènes au niveau de la biomasse souterraine et la densité de tiges. La meilleure croissance de 2007 s'explique peut-être en partie par la différence d'âge des semis initiaux, la plus longue durée de l'expérience, le meilleur ensoleillement naturel de la serre, le meilleur système de tuteurs empêchant les feuilles de quenouilles de se briser et l'expérience acquise dans la gestion de la solution nutritive. La plus forte croissance a aussi résulté en une gestion plus difficile de l'eau à cause de la hausse de l'évapotranspiration, ce qui a pu mener à de courts stress hydriques.

Comme expliqué à la méthodologie, il existe deux différences majeures entre les expériences de multiplication par rhizomes de 2006 et de 2007.

Premièrement, les réservoirs individuels de 2006 étaient trop petits. Il est ainsi probable qu'une grande partie de l'effet de compétition qui ressort des tests statistiques soit attribuable à la compétition pour l'eau et les nutriments dans les réservoirs individuels. Les gros réservoirs de 2007 ont semblé de taille suffisante et la gestion de la salinité a beaucoup été simplifiée.

Deuxièmement, au début de l'expérience de 2006, les petits fragments de rhizomes de roseaux ont semblé désavantagés face aux plus gros rhizomes intacts de quenouilles. En 2007, des rhizomes de roseau un peu plus gros et des rhizomes de quenouilles un peu plus petits ont été choisis. Étant donné que les propagules de transplantation étaient des organes souterrains, il est probable que cette différence de transplantation initiale puisse expliquer que l'effet de la compétition ait été moins intense pour le roseau au niveau souterrain en 2007.

En analysant les valeurs maximales des différentes mesures de performance (biomasse aérienne et souterraine et nombre de tiges) obtenues pour les deux espèces, il semble que la croissance ait été similaire ou meilleure en 2007 pour tous les traits des deux espèces. Les conditions optimales semblent réellement atteintes pour les pots sans compétition interspécifique dans les réservoirs de 2007. Ainsi, la présence d'effets significatifs dus à la compétition en 2006 ne serait pas liée à l'espace limité dans le pot ou à la compétition pour la lumière, mais pourrait plutôt être attribuable à d'autres conditions limitant la croissance ou aux conditions de départ différentes.

3.4 Discussion

La compétition interspécifique et le stress salin sont des phénomènes complexes et il n'existe pas vraiment d'approche idéale pour les étudier. L'approche expérimentale adoptée ne reproduit pas exactement les conditions complexes de la réalité des fossés autoroutiers, mais elle a cependant l'avantage de pouvoir isoler l'importance relative des effets liés à la compétition, des effets liés à la salinité et des interactions entre ces facteurs. Malgré qu'il y ait eu quelques problèmes expérimentaux au niveau de la compétition, il y a plusieurs grandes leçons à tirer des résultats obtenus.

3.4.1 Effet de la compétition en absence de salinité

Dans nos expériences de semis en pots utilisant le même design expérimental que Bellavance (2007), on arrive à des conclusions similaires que celles qu'elle a énoncées, c'est-à-dire, il n'y a pas de dominance claire au stade de semis, les deux espèces pouvant être d'aussi bons compétiteurs en absence de salinité. En réalité, il n'y a pas de tendances communes entre les résultats des étés 2006 et 2007 qui indiqueraient clairement la dominance compétitive d'une espèce aux niveaux de la biomasse aérienne et de la biomasse souterraine. Les semis de quenouilles ont toujours été affectés négativement par la compétition dans les deux années, mais les semis de roseaux ont eu des réactions différentes entre les deux années. Puisque les pots de plantes en compétition et les pots de plantes en monoculture étaient placés dans les mêmes réservoirs, il est difficile d'isoler quels facteurs (âge des semis, densité initiale, éclairage de la serre, fluctuation du niveau d'eau) ont pu interagir pour favoriser le roseau en compétition en 2007, sans toutefois affecter le roseau sans compétition. La

cause serait peut-être liée à des différences entre le micro-environnement à l'intérieur des pots et la solution commune des réservoirs. Par exemple, la présence d'autres plantes dans un pot peut changer le niveau d'oxygénation de la solution; il est reconnu dans la littérature que les semis du roseau sont très sensibles aux conditions anoxiques (Bart et Hartman, 2002). Ces autres plantes peuvent aussi favoriser le phénomène d'acidification de la solution en captant d'avantage de cations d'éléments nutritifs ou dans des formes différentes de celles absorbées par le roseau. Un pH plus bas pourrait ainsi faciliter l'absorption d'autres nutriments lorsque le pH est trop haut dans le réservoir, puisque la biodisponibilité n'était peut-être pas toujours optimale pour les éléments limitant la croissance du roseau.

Pour les expériences de compétition par multiplication végétative de fragments de rhizomes en pots, les tendances communes aux deux années ne sont pas claires non plus. Dans l'expérience de l'été 2006, le roseau semble avoir un avantage au niveau de la biomasse aérienne, tandis que la quenouille a un léger avantage au niveau de la biomasse souterraine. Par contre, dans l'expérience de l'été 2007, les deux espèces ont atteint des biomasses plus importantes au niveau aérien; mais elles n'ont été que très peu affectées par la compétition. Il semble y avoir une faible différence entre les indices de compétition au niveau souterrain indiquant que les quenouilles sont un peu moins affectées par la compétition que le roseau en absence de salinité. Il est intéressant de noter que dans cette expérience, il semble y avoir eu de la compétition au niveau de la densité, mais cette compétition n'a pas résulté en une différence de biomasse. Peut-être que la croissance accrue en hauteur des plantes en compétition leur a permis de

compenser pour la plus faible densité. En général, les résultats ressemblent à ceux de Bellavance (2007) : il n'y a pas de forte dominance compétitive entre les deux espèces dans ce type d'expérience en absence de salinité.

Dans l'expérience de fronts de colonisation en bassins, les résultats ressemblent aussi beaucoup à ceux de Bellavance (2007) : la biomasse aérienne de la quenouille est plus influencée par la compétition que celle du roseau en absence de salinité.

Il est intéressant de noter que, dans toutes les expériences, la densité des tiges semble toujours réagir à la compétition pour les deux espèces : les analyses indiquent des différences significatives, même lorsqu'aucune autre variable n'est significativement affectée. Puisque les tiges sont directement ancrées dans le gravier, il est normal qu'il y ait eu une compétition plus féroce pour l'espace qui est plus limité à ce niveau du pot. Plus haut, les tiges peuvent pencher dans différentes directions ou croître en hauteur pour limiter la compétition pour la lumière. Il y a d'ailleurs souvent une légère différence de hauteur entre les plantes en compétition et sans compétition.

De nombreux facteurs pourraient expliquer les différences entre les résultats des expériences en pots et les résultats de l'expérience en bassins. Premièrement, il est reconnu que la floraison de la quenouille demande beaucoup d'énergie et consomme le méristème de la tige (Grace et Harrison, 1986). Une forte proportion des quenouilles en bassin ont fleuri tandis qu'elles n'ont jamais fleuri en pots. Deuxièmement, puisque le roseau est reconnu pour sa forte plasticité (Bellavance, 2007), la croissance dans la zone

libre de compétition a peut-être été meilleure pour le roseau que pour la quenouille. Troisièmement, puisque les bassins étaient isolés et que les plantes étaient en compétition pour l'eau et les nutriments (comme dans l'expérience des rhizomes 2006), il est possible que le roseau ait capté plus rapidement ou de façon plus efficace les nutriments dans la solution. Le roseau est habituellement reconnu comme supportant mieux les conditions de courtes sécheresse que les autres macrophytes (Hudon *et al.*, 2005). Quatrièmement, le roseau étant reconnu pour sa très bonne intégration clonale des ressources (Amsberry *et al.*, 2000), il est possible que cette intégration lui donne un avantage compétitif plus important lorsqu'il croît en colonie que lorsqu'il croît de façon plus isolée.

Nos résultats, tout comme ceux de Bellavance (2007), contredisent ceux de Szczepanska et Szczepanski (1982) et de Konisky et Burdick (2004). Szczepanska et Szczepanski (1982) ont trouvé que le roseau est clairement désavantagé face à la quenouille à feuille large. En monoculture expérimentale, il produisait des tiges plus hautes et plus massives qu'en culture mixte avec la quenouille; tandis que la quenouille produisait des tiges plus grandes et plus massives que le roseau. Konisky et Burdick (2004) ont trouvé que la quenouille à feuilles étroites a un net avantage compétitif sur le roseau. Dans les expériences de Bellavance (2007), les semis de quenouilles étaient de compétitivité similaire que ceux des roseaux, tandis que les roseaux matures en bassins et dans les fossés autoroutiers avaient clairement un avantage compétitif sur les quenouilles. Cependant, les expériences en pots de Szczepanska et Szczepanski (1982) et de Konisky et Burdick (2004) diffèrent des expériences de Bellavance (2007) et des

nôtres au niveau du substrat utilisé pour la croissance des plantes en compétition. Dans les premières, il s'agit d'un substrat de terre gardé inondé, tandis que dans les expériences de Bellavance (2007) et les nôtres, il s'agit d'un gravier grossier. Il est ainsi possible que les conditions d'oxygénation soient considérablement différentes entre les expériences, avec probablement des conditions plus anoxiques lorsque les particules sont plus fines. L'établissement du roseau est reconnu comme étant difficile en zone plus anoxique (Bart et Hartman, 2002). Bien que des conditions de terre gardée inondée puissent représenter plus efficacement la réalité, elles rendent beaucoup plus difficile la gestion des solutions nutritives et de la salinité et le nettoyage des rhizomes et des racines. Le bris de plusieurs racines lors du nettoyage précédant la transplantation a d'ailleurs peut-être favorisé l'établissement d'une espèce au détriment de l'autre. Certains substrats pourraient aussi faciliter certaines molécules allélopathiques selon leur taille et leur degré d'hydrophobicité, puisque les deux espèces produisent des substances allélopathiques très différentes (Szczepanska, 1971, lu dans Gopal et Goel, 1993; Leeds *et al.*, 2006; Rudrappa *et al.*, 2007).

3.4.2 Effet de la salinité sans compétition

Dans nos expériences, les tendances sont similaires à tous les stades de développement : les quenouilles sont beaucoup moins tolérantes à la salinité que le roseau. Les biomasses aérienne et souterraine des deux espèces sont très affectées par la salinité, mais celles des quenouilles le sont habituellement plus que celles du roseau. La densité des tiges est parfois affectée, mais généralement de façon moins forte que la biomasse aérienne. La densité du roseau est même parfois plus grande en salinité plus forte. La hauteur maximale des deux espèces est toujours très affectée par la salinité. Une

analyse globale de la combinaison de toutes les mesures aériennes (biomasse, densité et hauteur) indique qu'il semble y avoir un changement de dominance du milieu, passant d'une dominance de quenouilles ou d'une codominance en eau douce à une dominance du roseau en eau plus saline.

On peut comparer ces résultats à ceux retrouvés dans les principales études sur la croissance des roseaux et des quenouilles en milieu d'eau douce et d'eau salée, mais il faut toutefois noter que les méthodes d'étude varient énormément. Il n'existe donc pas beaucoup de tendances communes aux résultats des différentes études. Premièrement, dans les expériences de transplantation de Mauchamp et Mesléard (2001) sur la tolérance du roseau en stress salin intense (25 g/L pendant 25 jours), les effets du stress étaient significatifs pour la longueur des tiges, mais non-significatifs pour leur densité. Deuxièmement, dans des expériences de transplantation en milieu salin contrôlé, Hootsmans et Wiegman (1998) ont trouvé que la biomasse totale, la hauteur et la densité des tiges et le ratio d'allocation souterraine/aérienne de la quenouille à feuilles large (*T. latifolia*) et du roseau diminuent avec une augmentation de la salinité (1,8 g/L et 18 g/L). La quenouille n'a toutefois pas survécu aux transplantations dans le milieu le plus salin de cette expérience (18 g/L). Dans une autre expérience en milieu contrôlé de Vasquez *et al.* (2005) sur la croissance du roseau indigène et du roseau exotique dans des salinités de 0 M à 0,6 M, la hauteur, la densité des tiges, la biomasse souterraine sèche des deux sous-espèces diminuent drastiquement avec l'ajout de sel (à partir de 0 M). Dans une expérience similaire sur la croissance du roseau et de la spartine dans des salinités de 0 M à 0,6 M, la hauteur, la densité des tiges, la biomasse aérienne sèche

restent pratiquement les mêmes entre le traitement sans sel ou avec 0,1M de sel, mais les valeurs diminuent ensuite à partir de 0,1 M (Vasquez *et al.*, 2006).

Dans une étude en milieu naturel, en marais d'eau douce à marée (0 à 0,5 g/L) et en marais salé (17 à 23 g/L), Farnsworth et Meyerson (2003) ont comparé 19 traits écophysologiques du roseau, de la quenouille à feuilles étroites et de deux autres espèces (*Leersia oryzoides*, plante de marais d'eau douce et *Spartina alternifolia*, plante de marais salés). Selon leurs résultats, la hauteur du roseau est supérieure à celle de toutes les autres espèces dans les marais d'eau douce et les marais salés. En marais d'eau douce, la biomasse totale et la biomasse aérienne du roseau sont supérieures à celles de la quenouille. Par contre, en marais salé, les différences ne sont pas statistiquement significatives. Dans une autre étude de 27 milieux naturels des côtes du Danemark, Lissner et Schierup (1997) ont trouvé que le dépérissement du roseau se faisait habituellement avant la floraison dans des milieux dont la salinité de la zone racinaire était supérieure à 15 g/L. Dans des expériences en serres, pratiquement toutes les plantes ont survécu à des concentrations de 15 g/L, mais il se créait un écart important entre la mortalité des semis et des plants à croissance par rhizome à partir d'une concentration de 22 g/L.

Finalement, dans la revue de littérature de Meyerson *et al.* (2000) sur les tailles du roseau en marais salé et en marais d'eau douce sans marée et avec marées, on trouve que la biomasse aérienne et la hauteur du roseau est similaire en marais salé et en marais d'eau douce. Par contre, la densité des tiges est plus faible en marais intérieur sans

marée qu'en marais avec marée, peu importe si c'est de l'eau saumâtre ou de l'eau douce.

Des différences entre les résultats obtenus et ceux de certaines des études citées peuvent être expliquées par plusieurs facteurs, notamment la latitude à laquelle les expériences se sont déroulées, car selon Lissner *et al.* (1999), les populations de roseau plus nordiques seraient davantage stressées par la salinité. Les résultats des études peuvent aussi diverger selon le niveau d'oxygénation de la rhizosphère, qui en soit est dépendant de plusieurs facteurs (nature du substrat, type d'irrigation, activité microbienne et âge et santé physiologique des plantes). Des conditions différentes des semis et propagules de départ (âge, état physiologique, provenance) peuvent aussi modifier leur résistance aux stress.

3.4.3 Interaction entre la compétition et la salinité

De façon générale, les résultats ont semblé suivre un modèle où les réductions de croissance dues à la compétition se sont faites en valeurs absolues (modèle 3 à la figure 3.1) ou parfois à diminutions légèrement croissantes (modèle 5 à la figure 3.1) pendant que le sel a causé des réductions de façon plutôt linéaire. Ainsi, dans la majorité des cas, il n'y a pas eu beaucoup d'interaction statistique comme celle qui était recherchée (compétition x salinité) et elles ne sont sorties que faiblement significatives dans les tests statistiques. Malgré l'absence d'interactions statistiques, il y a eu beaucoup de phénomènes biologiques intéressants.

- Les études des indices d'intensité relative de la compétition quantifient la réduction d'un trait due à la compétition en faisant abstraction de la dimension salinité. En comparant ces indices aux différentes salinités, on trouve que, de façon générale, plus la salinité augmente, plus les plantes sont touchées par la compétition. Cette tendance se reflète dans toutes les expériences pour les quenouilles, tandis que pour les roseaux, elle n'est appuyée que par les expériences de multiplication végétative par rhizomes et l'expérience en bassins. La comparaison des indices entre les deux espèces pour déterminer une dominance compétitive s'avère peu concluante pour les expériences avec semis et les expériences avec fragments de rhizomes à cause des fortes différences dans les résultats entre les deux années, tandis que dans l'expérience en bassins, le roseau possède une avance compétitive en absence comme en présence de salinité.
- Les études des indices de stress salin quantifient la réduction d'un trait due à la salinité en faisant abstraction de la dimension compétition. En comparant ces indices pour des plantes en compétition et des plantes sans compétition, on trouve que les deux espèces semblent un peu plus affectées par la salinité lorsque les plantes sont en compétition. Lorsqu'on analyse les valeurs maximales atteintes pour les indices de stress salin du roseau et des quenouilles, ce qui représente en réalité des indices de tolérance, on arrive aux résultats attendus que les quenouilles sont beaucoup plus affectées par la salinité que le roseau.

Il est intéressant de mentionner que la plupart de ces tendances des indices de compétition et des indices de stress salin s'avèrent vraies même si on ne se fie qu'à la salinité intermédiaire qui peut sembler un niveau de salinité plus réaliste, car elle s'approche d'avantage de celles retrouvées en fossés autoroutiers. On peut noter cependant que selon les indices de stress salin, les quenouilles en colonies matures (en bassins) en salinité intermédiaire semblent un peu plus résistantes au sel que celles dans les deux autres types d'expériences (semis ou clones issus de rhizomes).

Une légère tendance indique que les plantes en absence de salinité auraient une croissance accrue en hauteur pour limiter les effets de la compétition. Le fait que cette différence soit surtout présente lorsque les plantes sont en faible salinité est peut-être due au fait d'un meilleur état de santé qui leur confère d'avantage d'énergie à allouer à ce mécanisme.

3.5 Conclusion

Il a été très difficile de générer à la fois des conditions de compétition pour l'espace ou pour la lumière et des conditions de stress salin constantes. Ces conditions étant nécessaires à la recherche d'interactions statistiques, il est normal que nous n'ayons pas trouvé beaucoup de fortes interactions.

Malgré tout, dans la majorité des expériences, les études des indices d'intensité relative de la compétition et de stress salin ont indiqué que les réductions relatives dues aux effets combinés de ces stress sont supérieures aux réductions relatives des stress isolés.

Les indices de compétition ont presque toujours indiqué que les effets relatifs de la compétition ont augmenté avec la salinité pour les deux espèces. Cependant, les indices de stress salin ont indiqué que les quenouilles ont connu des diminutions de croissance beaucoup plus fortes dues au sel, les proportions de réductions dues à la compétition ont donc été plus importantes que chez le roseau. Pratiquement tous les stades de développement ont été touchés par ces phénomènes biologiques. Il sera intéressant de voir si les tendances mentionnées se reflèteront dans les résultats du dernier été (2008) de l'expérience de colonisation en bassin contrôlé.

Dans l'éventualité où d'autres expériences hydroponiques sur les interactions entre la compétition de macrophytes et des facteurs abiotiques (salinité, disponibilité de nutriments, niveau d'eau, contaminants toxiques, pH, etc.) seraient réalisées, certaines recommandations devraient être prises en compte pour optimiser la planification expérimentale :

- 1) Pour la gestion de la solution, il vaut mieux utiliser un petit nombre de gros réservoirs communs que d'utiliser beaucoup de petits réservoirs. Il est aussi préférable de surestimer considérablement la taille des réservoirs nécessaire plutôt que de risquer de la sous-estimer.
- 2) Si on veut favoriser la compétition pour l'espace et la lumière, il peut être préférable d'augmenter la taille des pots et de diminuer le nombre de réplicats. En augmentant la taille des pots, on réduit le ratio « surface/bordure », ce qui peut réduire considérablement l'entretien nécessaire au désherbage de mauvaises herbes, au contrôle de stolons et rhizomes sortant des pots et à l'installation de

tuteurs. De plus, on réalise des expériences qui peuvent ressembler davantage à la réalité en colonie de macrophytes.

- 3) Il peut être intéressant d'utiliser un gravier un peu plus fin ou un peu plus grossier que celui utilisé afin de favoriser le nettoyage des parties souterraines, l'étape qui est définitivement la plus longue. Du sable ou un gravier plus fin serait peut-être retiré plus facilement en lavant à l'eau. Un gravier plus grossier permettrait probablement une meilleure détection des grains qui se sont intégrés dans des interstices lors du développement des racines et des rhizomes, ce qui diminuerait la quantité de racines à briser et la possibilité d'oubli de grains offrant ainsi des mesures de biomasses plus exactes.

Chapitre 4 : Conclusion générale

Malgré que l'appareil et la sonde utilisés ne quantifient pas directement les ions du sel de déglacage, les fortes mesures de conductivité des fossés autoroutiers du sud du Québec indiquent que de grandes quantités de sels solubles sont présentes pendant la période de croissance des plantes dans la majorité des fossés autoroutiers échantillonnés. Les conductivités dans les fossés varient beaucoup temporellement et spatialement, mais il semble y avoir une tendance pour un phénomène de concentration des sels pendant la période plus sèche du milieu de l'été. Les analyses statistiques indiquent que les conductivités des sites échantillonnés sont différentes selon les autoroutes échantillonnées. Les conductivités semblent aussi influencées par les taux hivernaux d'épandage de sel de déglacage. L'ensemble de ces résultats et les fortes valeurs de conductivité qui ont été notées dans un fossé dominé principalement par des espèces halophytes indiquent qu'il est probable que le sel de déglacage soit responsable en grande partie des fortes mesures de conductivité trouvées dans les fossés. Ce sel y serait donc en concentration suffisante pour limiter la croissance de la majorité des espèces végétales oligophytes et influencer la compétitivité d'espèces plus tolérantes comme le roseau et les quenouilles.

Le chlorure de sodium étant le sel de déglacage le plus utilisé sur les autoroutes, des expériences en milieu hydroponique ont été réalisées au cours des étés 2006 et 2007 pour déterminer son effet sur la compétitivité des roseaux et des quenouilles à différents stades de développement. Les trois niveaux de salinité utilisés dans ces expériences sont respectivement un niveau sans sel, un niveau à salinité modérée (0,1M) et un niveau à

salinité élevée (0,2M). Ces niveaux de salinité ont été choisis en se basant sur les seuils de tolérance des deux espèces retrouvés dans la littérature scientifique, c'est-à-dire que les deux espèces y subissent un stress important, mais leur survie n'est pas affectée. Le niveau de salinité modérée représente bien les plus fortes valeurs mesurées dans les fossés autoroutiers au cours de l'été 2007, tandis que le niveau de salinité élevée est environ le double des plus fortes valeurs mesurées. Les résultats des expériences ont été analysés par des tests d'ANOVA, par des indices de compétition et par des indices de stress salin.

Premièrement, en l'absence de salinité, les indices de compétition calculés indiquent que les semis de roseau et les semis de quenouilles semblent tous les deux de compétitivité similaire. En effet, on ne peut déclarer qu'une espèce domine l'autre puisque les résultats diffèrent considérablement entre les deux années. Dans les expériences de multiplication végétative par rhizomes, l'expérience de 2007 est beaucoup plus fiable en absence de salinité que l'expérience de 2006 où les plantes ont souvent manqué d'eau. Dans l'expérience de 2007, les deux espèces semblent d'aussi bons compétiteurs : les effets de la compétition sont relativement faibles chez les deux espèces. Dans les colonies matures en bassins, le roseau a été plus compétitif que les quenouilles en absence de salinité.

Deuxièmement, les indices de stress salin indiquent que des diminutions très importantes dues au sel ont été trouvées chez les deux espèces à tous les stades de développement. Cependant, les quenouilles sont beaucoup plus stressées par la salinité

que les roseaux, même lorsqu'on ne compare que les résultats du niveau de salinité modérée qui représente mieux les conditions en fossé que le niveau de salinité élevée.

Troisièmement, l'étude des interactions par les indices de compétition indique que, dans la majorité des expériences, les effets de la compétition augmentent chez les deux espèces avec l'augmentation de la salinité. Dans l'expérience des semis 2006, les quenouilles sont toujours plus compétitives que le roseau en absence et en présence de salinité (modérée ou élevée). Dans l'expérience des semis 2007, la présence d'un compétiteur dans le pot favorise le roseau et ces effets augmentent en même temps que le stress salin, tandis que les quenouilles sont affectées par la compétition à tous les niveaux de salinité. Dans l'expérience de multiplication végétative par rhizomes de 2006, les roseaux développent un avantage compétitif selon le gradient de salinité : ils sont aussi compétitifs que les quenouilles en absence de salinité et à salinité modérée, mais beaucoup plus compétitif à salinité élevée. Dans l'expérience de 2007, la même tendance est présente mais plus accentuée, les deux espèces sont de compétitivité similaire en absence de salinité, mais l'avantage compétitif se développe en présence de salinité. Dans l'expérience de colonies en bassins, le roseau est déjà plus compétitif que la quenouille en absence de salinité, il conserve son avantage à salinité intermédiaire, mais les deux espèces sont autant affectées par la compétition à salinité élevée.

Finalement, il semble que le stade de développement des individus isolés issus de fragments de rhizomes soit le seul stade du roseau qui bénéficierait réellement d'une compétitivité accrue dans les conditions de salinité modérée retrouvées dans certains

fossés autoroutiers. Il est donc probable que le roseau se serait répandu lors de l'entretien des fossés grâce aux fragments de rhizomes transportés sur la machinerie, même si ces milieux sont déjà colonisés par des fragments de rhizomes de quenouilles. Ces roseaux isolés auraient profité de la moindre compétitivité des quenouilles stressées par la salinité pour former plus rapidement des colonies plus compétitives. Cependant, la colonisation du roseau par voie sexuée a probablement été plus importante lors de la construction de nouvelles autoroutes qui créent des fossés libres de végétation plutôt que lors de l'entretien de fossés déjà colonisés par des quenouilles, car les semis de roseau sont relativement peu compétitifs, en absence comme en présence de salinité.

Il est toutefois important de rappeler que la durée de chacune des expériences de compétition en pots était limitée à une saison de croissance et l'expérience en bassin n'en était qu'à sa deuxième saison de croissance. En fossé autoroutier, les effets des stress s'accumulent au cours des années, il sera donc intéressant de voir comment les plantes réagiront au cours du troisième été de croissance des colonies en bassins puisque cette expérience représente mieux les conditions de stress prolongées.

Plusieurs études complémentaires pourraient être utiles, par exemple, il serait intéressant de tester *in situ* comment des graines peuvent germer ou comment des rhizomes de quenouilles peuvent s'implanter directement dans des vrais sols contaminés en sel de déglacage. On pourrait notamment aller effectuer des mesures de salinité dans les fossés déjà caractérisés par Bellavance (2007). D'autres expériences seraient aussi intéressantes à réaliser pour connaître les interactions possibles entre les différents

stades de développement (ex. : influence d'une colonie de quenouilles sur la croissance de semis de roseau et vice-versa). Il serait aussi pertinent de comparer l'importance relative des principaux stress environnementaux présents en fossé autoroutier (compétition + salinité + sécheresse/inondation + ombre + manque/surplus de nutriments) sur la compétitivité des deux espèces.

5.0 Bibliographie

Adams J. et G. Bate. 1999. Growth and photosynthetic performance of *Phragmites australis* in estuarine waters: a field and experimental approach. *Aquatic Botany* 64: 359–367.

Amsberry, L., M.A Baker, P.J. Ewanchuk et M.D. Bertness. 2000. Clonal integration and the expansion of *Phragmites australis*. *Ecological Applications* 10: 1110-1118.

Association des Surintendants de Golf du Québec. 2008. La qualité de l'eau d'irrigation. http://www.asgq.org/documents/docs.htm?key=arc_19.

Bailleul, S.M., F. Coursol. et S. Hay. 2006. Flore halophyte des bords de routes. *Bulletin Flora Quebeca* 11 : 10.

Bart, D. et J.M. Hartman. 2000. Environmental determinants of *Phragmites australis* expansion in a New Jersey salt marsh: an experimental approach. *Oikos* 89: 59–69.

Bart, D. et J.M. Hartman. 2002. Environmental constraints of early establishment of *Phragmites australis* in salt marshes. *Wetlands* 22: 201–213.

Bellavance, M-È. 2007. Compétition interspécifique et plasticité morphologique chez *Phragmites australis* et le complexe *Typha latifolia* - *Typha angustifolia*. M.Sc. Thesis, Université de Montréal, Montréal.

Blumwald, E. 2000. Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current opinion in Cell Biology* 12: 431-434.

Bradshaw, A.D. 1965. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Adv. Genet.* 13: 115–155.

Brisson, J., É. Paradis et M-È. Bellavance. *sous-presse*. Evidence of sexual reproduction in the invasive common reed (*Phragmites australis* subsp. *australis* : Poaceae) in eastern Canada : a possible consequence of global warming ? *Rhodora*.

Brauer, J. et M. A. Geber. 2002. Population differentiation in the range expansion of a native maritime plant, *Solidago sempervirens* L. *International Journal of Plant Science* 163: 141–150.

Carter, M.R. 1993. *Soil Sampling and Methods of Analysis*. CRC Press. 823 pp.

Catling, P. M. 2005. New "top of the list" invasive plants of natural habitats in Canada. BEN - Botanical Electronic News 345. <http://www.ou.edu/cas/botany-micro/ben/ben345.html>.

- Catling, P.M. et S. Carbyn. 2006. Recent invasion, current status and invasion pathway of European Common Reed, *Phragmites australis* subspecies *australis*, in the southern Ottawa district. *Canadian Field-Naturalist* 120: 307-312.
- Catling, P.M. et S.M. McKay. 1980. Halophytic plants in southern Ontario. *Canadian Field-Naturalist* 94: 248-258.
- Chambers, R. M., L.A. Meyerson et K. Saltonstall. 1999. Expansion of *Phragmites australis* into tidal wetlands of North America. *Aquatic Botany* 64: 261–263.
- Clarke, L.D. et N.J. Hannon. 1970. The mangrove swamp and salt marsh communities of the Sydney district. III. Plant growth in relation to salinity and waterlogging. *Journal of Ecology* 58: 351–369.
- Clements, F.E. 1916. Plant succession : an analysis of the development of vegetation. Carnegie Institute, Publication 242. Washington DC, États-Unis.
- Cooper, A. 1982. The effects of salinity and waterlogging on the growth and cation uptake of salt marsh plants. *New Phytologist* 90: 263-275.
- Couture, I. 2008. Analyse d'eau pour fin d'irrigation. http://www.mapaq.gouv.qc.ca/NR/rdonlyres/DF14CA04-75B6-440A-87E2-175B4C0B411B/7228/Analyse_eau_irrigation.pdf
- Cusick, A.W. 1984. *Carex praegracilis* : A halophytic sedge naturalized in Ohio. *Michigan Botanist* 23: 103-106.
- Delisle, F., C. Lavoie, M. Jean et D. Lachance. 2003. Reconstructing the spread of invasive plants: taking into account biases associated with herbarium specimens. *Journal of Biogeography* 30: 1033-1042.
- Emery, N.C, P.J. Ewanchuk et M.D. Bertness. 2001. Competition and salt-marsh plant zonation: stress tolerators may be dominant competitors. *Ecology* 82: 2471–2485.
- Farnsworth, E. J. et L.A. Meyerson. 2003. Comparative ecophysiology of four wetland plant species along a continuum of invasiveness. *Wetlands* 23: 750-762.
- Galvez-Cloutier, R., S. Leroueil et J.C. Pérez. 2006. Le lac Saint-Augustin, sa problématique d'eutrophisation et le lien avec les produits d'entretien de l'autoroute Félix-Leclerc. Rapport Technique Final 03605'3_06 présenté au Ministère de Transport de Québec. 51 pp.
- Gervais, C., D. Moreno, R. Trahan et A.M. Drolet. 1993. *Phragmites australis* of Quebec: geographical distribution, chromosome number and reproduction. *Canadian Journal of Botany* 71: 1386–1393.

Global Invasive Species Database, 2006. *Phragmites australis*. Disponible à : <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=301&fr=1&sts=sss> [Accédé le 20 novembre 2006].

Grace, J.B. 1985. Juvenile versus adult competitive abilities in plants: Size-dependence in cattails (*Typha*). *Ecology* 66: 1630-1638.

Grace, J.B. et J.S. Harrison. 1986. The biology of Canadian weeds. 73. *Typha latifolia* L., *Typha angustifolia* L. and *Typha ×glauca* Godr. *Canadian Journal of Plant Science*. 66: 361–379.

Greenwood, M.E. et G.R. MacFarlane. 2006. Effects of Salinity and Temperature on the Germination of *Phragmites australis*, *Juncus kraussii*, and *Juncus acutus*: Implications for Estuarine Restoration Initiatives. *Wetlands* 26: 854–861.

Grime, J.P. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist* 111: 1169-1194.

Grubb, P.J. 1977. The maintenance of species richness in plant communities : the importance of the regeneration niche. *Biological Review* 52: 107-145.

Gurevitch, J. et D.K. Padilla. 2004. Are invasive species a major cause of extinctions? *Trends in Ecology & Evolution* 19: 470-474.

Hara, T., J. van der Toorn et J. H. Mook. 1993. Growth dynamics and size structure of shoots of *Phragmites australis*, a clonal plant. *Journal of Ecology* 81:47-60.

Hay, S. G. 1989. La migration récente de plantes halophytes dans la région montréalaise. *Quatre-temps (SAJIB)* 13 : 7-12.

Hellings, S. E. et J. L. Gallagher. 1992. The effects of salinity and flooding on *Phragmites australis*. *Journal Applied Ecology* 29: 41-49.

Hootsmans, M.J.M. et F. Wiegman. 1998. Four helophyte species growing under salt stress: their salt of life?. *Aquatic Botany* 62 : 81–94.

Hudon, C., P. Gagnon et M. Jean. 2005. Hydrological factors controlling the spread of common reed (*Phragmites australis*) in the St. Lawrence River (Québec, Canada). *Écoscience* 12: 347–57.

Gopal, B et U. Goel. 1993. Competition and allelopathy in aquatic plant communities. *The Botanical review* 59: 155-210.

Jodoin, Y., C. Lavoie, P. Villeneuve, M. Theriault, J. Beaulieu, J. et F. Belzile. 2008. Highways as corridors and habitats for the invasive common reed *Phragmites australis* in Quebec, Canada. *Journal of Applied Ecology* 45 : 459–466.

- Konisky, R.A. et D.M. Burdick. 2004. Effects of stressors on invasive and halophytic plants of New England salt marshes: a framework for predicting response to tidal restoration. *Wetlands* 24: 434-447.
- Kuehn, M.M. et B.D. White. 1999. Morphological analysis of genetically identified cattails *Typha latifolia*, *Typha angustifolia*, and *Typha ×glauca*. *Canadian Journal of Botany* 77: 906–912.
- Larcher, W. 2003. *Physiological Plant Ecology*. 4ème édition. Berlin: Springer. 513 pp.
- Lavoie, C., M. Jean, F. Delisle et G. Letourneau. 2003. Exotic plant species of the St. Lawrence River wetlands: a spatial and historical analysis. *Journal of Biogeography* 30: 537-549.
- Leeds, J.A, S. Newmann et S.M. Smith. 2006. Factors affecting seed germination of *Eleocharis cellulosa* and *Rhynchospora tracyi* from the northern Everglades. *Wetlands* 26: 368-375.
- Levine, J. M., C.M. D'Antonio, J.S. Dukes, K. Grigulus, S. Lavorel et M. Vila. 2003. Mechanisms underlying the impacts of exotic plant invasions. *Proceedings of the Royal Society* 270: 775-781.
- Liem, A.S.N., A. Hendriks, H. Kraal et M. Loenen. 1985. Effects of de-icing salt on roadside grasses and herbs. *Plant and Soil* 84: 299-310.
- Lissner J. et H.H. Schierup. 1997. Effects of salinity on the growth of *Phragmites australis*. *Aquatic Botany* 55: 247–260.
- Lissner, J. , H.H. Schierup, F.A. Comín et V. Astorga. 1999. Effect of climate on the salt tolerance of two *Phragmites australis* populations. II. Diurnal CO₂ exchange and transpiration. *Aquatic Botany* 64: 335-350.
- Lynch, E. et K. Saltonstall. 2002. Paleoecological and genetic analyses provide evidence for recent colonization of native *Phragmites australis* populations in a Lake Superior wetland. *Wetlands* 22: 637–646.
- Maheu-Giroux, M. et S. de Blois. 2007. Landscape ecology of *Phragmites australis* invasion in a network of linear wetlands. *Landscape ecology* 22: 285-301.
- Marburger, J., S. Travis, et S. Windels. 2006, Cattail sleuths use forensic science to better understand spread of an invasive species. *NPS Natural Resource Year in Review 2005*:75-76. http://www2.nature.nps.gov/YearInReview/PDF/YIR2005_04.pdf.
- Marie-Victorin, F. 1964. *Flore Laurentienne*, 2ème édition. Les Presses de l'Université-de-Montréal, Montréal.

- Mauchamp, A. et F. Mésleard. 2001. Salt tolerance in *Phragmites australis* populations from coastal Mediterranean marshes. *Aquatic Botany* 70: 39–52.
- Meyerson, F.A., K. Saltonstall, L. Windham, E. Kiviat et S. Findlay. 2000. A comparison of *Phragmites australis* in freshwater and brackish marsh environments in North America. *Wetland Ecology and Management* 8: 89-103.
- Miklovic S. et S.M. Galatowitsch. 2005. Effect of NaCl and *Typha angustifolia* L. on marsh community establishment : a greenhouse study. *Wetlands* 25: 420–429.
- Mooney, H.A. et E.E. Cleland. 2001. The evolutionary impact of invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 98 : 5446-5451.
- Pennings, S.C et R.M. Callaway. 1992. Salt marsh plant zonation: the relative importance of competition and physical factors. *Ecology* 73: 681–690.
- Reznicek, A.A. et P.M. Catling. 1987. *Carex praegracilis* (Cyperaceae) in Eastern North America: a remarkable case of rapid invasion. *Rhodora* 89: 205–216.
- Richburg, J.A., Patterson, W.A. et F. Lowenstein. 2001. Effects of road salt and *Phragmites australis* invasion on the vegetation of a western Massachusetts calcareous lake-basin fen. *Wetlands* 21: 247-255.
- Riversides Stewardship Alliance et Sierra legal Defence Fund. 2006. A low-salt diet for Ontario's roads and rivers. 44 p.
http://www.riversides.org/websitefiles/riversides_road_salts_report_final.pdf
- Rudrappa, T., J. Bonsall, J.L. Gallagher, D.M. Seliskar et H.P. Bais. 2007. Root-secreted Allelochemical in the Noxious Weed *Phragmites Australis* Deploys a Reactive Oxygen Species Response and Microtubule Assembly Disruption to Execute Rhizotoxicity. *Journal of Chemical Ecology* 33 : 1898-1918.
- Saltonstall, K. 2002. Cryptic invasion by a non-native genotype of the common reed, *Phragmites australis*, into North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 99: 2445–2449.
- Scott, N.E. et A.W. Davison. 1985. The distribution and ecology of coastal species on roadsides. *Vegetatio* 62:433–440.
- Seybold, S. 1973. Der Salzschwaden (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.) an Bundesstrassen und Autobahnen. *Göttinger Flor. Rundbriefe* 7: 70-73.
- Sinicrope, T.L., P.G. Hine, R.S. Warren et W.A. Niering. 1990. Restoration of an impounded salt marsh in New England. *Estuaries* 13: 25–30.

Soprin Experts-Conseils. 1994. Système D'entreposage et de Chargement de Sels de Déglaçage. Soprin Experts-Conseils, Longueuil, Canada.

Szczepanska, W. 1971. Allelopathy among the aquatic plants. Polish Archives of Hydrobiology 18: 17-30.

Szczepanska, W. et A. Szczepanski. 1982. Interactions between *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. and *Typha latifolia*. Ekologia Polska 30: 165-186.

Tilman, D. 1982. Ressource competition and community structure. Monographs in Population Biology. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. États-Unis.

Twolan-Strutt, L. et P.A. Keddy. 1996. Above- and belowground competition intensity in two contrasting wetland plant communities. Ecology 77: 259– 70.

Vasquez, E. A., E.P. Glenn, J.J. Brown, G.R. Guntenspergen et S. G. Nelson. 2005. Salt tolerance underlies the cryptic invasion of North American salt marshes by an introduced haplotype of the common reed *Phragmites australis* (Poaceae). Marine Ecology Progress Series 298: 1-8.

Vasquez, E. A., E.P. Glenn, G.R. Guntenspergen, J.J. Brown et S. G. Nelson. 2006. Salt tolerance and osmotic adjustment of *Spartina alterniflora* (Poaceae) and the invasive M haplotype of *Phragmites australis* (Poaceae) along a salinity gradient. American Journal of Botany 93: 1784-1790.

Wang, Q, C.H. Wang, C.H. Zhao, Z.J. Ma, Y.Q. Luo, J.K. Chen et Li B. 2006. Effects of growing conditions on the growth of and interactions between salt marsh plants: implications for invasibility of habitats. Biological Invasions 8: 1547–1560.

Warren, R.S., P.E. Fell, J.L. Grimsby, E.L. Buck, G.C. Rilling et R.A. Fertik. 2001. Rate, patterns, and impacts of *Phragmites australis* expansion and effects of experimental *Phragmites* control on vegetation, macroinvertebrates, and fish within tidelands of the lower Connecticut River. Estuaries 24: 90-107.

Warren, R. S., P.E. Fell, R. Rozsa, A.H. Brawley, A.C. Orsted, E.T. Olson, V. Swamy et W. A. Niering. 2002. Salt marsh restoration in Connecticut: 20 years of science and management. Restoration Ecology 10: 497–513.

Weigelt, A. et P.A. Jolliffe 2003. Indices of plant competition. Journal of Ecology 91: 707–720.

Whigham, D.F., T.E. Jordan et J. Miklas. 1989. Biomass and resource allocation of *Typha angustifolia* : The effects of within and between year variations in salinity. Bulletin Torrey Botanical Club 116: 364-370.

Wilcox, D. A. 1986. The effects of deicing salts on vegetation in Pinhook Bog, Indiana. *Canadian Journal of Botany* 64: 865–874.

Woo, I. et J.B. Zedler. 2002. Can nutrients alone shift a sedge meadow towards dominance by the invasive *Typha ×glauca*? *Wetlands* 22: 509-521.

Annexes : description des termes utilisés dans les tableaux des annexes 2 à 12

Définition des colonnes des tableaux de résultats présentés dans les annexes 2 à 6 :

Chaque ligne représente les données récoltées sur une espèce dans un pot. Les données sont cumulatives de tous les clones d'une même espèce dans un pot.

Variables contrôlées

ID UNIQUE : ce numéro permet d'identifier la ligne. Le numéro unique d'identification de la plante est composé du numéro de bloc, la salinité, l'espèce et le numéro du pot. Ce numéro est le seul identificateur pouvant servir à faire un appariement direct entre une plante de quenouille et une plante de roseau d'un même pot.

BLOC : numéro du bloc aléatoire

NUM-POT ou **NUM-BASSIN** : numéro du pot à l'intérieur d'un bloc aléatoire pour l'expérience avec les rhizomes ou à l'intérieur d'un réservoir dans l'expérience avec les semis ou numéro d'un bassin. Lorsqu'une lettre est placée seule, il s'agit d'un pot avec une seule espèce (P ou T), tandis que lorsque deux lettres sont collées (PT), il s'agit de l'espèce de la première lettre (P) en présence de la deuxième lettre (T).

SALINITE : salinité du milieu de croissance (S0 = sans sel ; S1 =salinité intermédiaire ; S2= salinité forte)

ESPECE : espèce de la plante (P=*Phragmites* ; T=*Typha*)

COMPETITION : plantes avec compétition interspécifique ou témoins sans compétition (C=compétition ; T=témoin)

Variables mesurées

B.AERIENNE : la biomasse aérienne sèche récoltée en fin de saison (valeurs en grammes)

B.SOUTERRAINE : la biomasse souterraine sèche récoltée en fin de saison (valeurs en grammes)

DENSITE : le nombre de tiges pouvant être compté en fin de saison (nombre entier)

HAUTEUR : la hauteur de la plus grande tige à l'intérieur du pot (valeurs en centimètres)

B.AERIENNE HUMIDE : la masse des parties aériennes avant séchage (valeurs en grammes), disponible seulement pour le bloc 3 et une partie du bloc 2 de l'expérience des rhizomes en 2007

INFLORESCENCES : le nombre d'inflorescence pouvant être compté en fin de saison (nombre entier), disponible seulement pour l'expérience des rhizomes en 2007. Aucune quenouille n'a produit d'inflorescences.

Définition des lignes et colonnes des tableaux des tests ANOVA présentés dans les annexes 7 à 12 :

Lignes :

BLOC :	facteur bloc [désigné comme facteur aléatoire]
SALINITE :	facteur salinité
COMPETITION :	facteur compétition
SALINITE*COMPETITION:	facteur interaction salinité x compétition
BLOC * COMPETITION&Random :	facteur interaction bloc x compétition [désigné comme facteur aléatoire]
BLOC *SALINITE&Random :	facteur interaction bloc x salinité [désigné comme facteur aléatoire]
BLOC *SALINITE*COMPETITION&Random :	facteur interaction bloc x salinité x compétition [désigné comme facteur aléatoire]

Colonnes :

F :	statistique F
d.l. :	nombre de degrés de liberté
P > F :	résultat du test (probabilité que le F soit plus grand que le F théorique)

Annexe 1

Masses de tous les produits utilisés pour faire 720 litres des solutions nutritives concentrées 120X. Lors de l'ajout de solution nutritives dans les bassins, on ajoute des proportions égales des solutions A et B pour former la « solution nutritive ». Ces deux constituants de la solution doivent être entreposés séparément à cause des réactions des produits formant des précipités insolubles.

SOLUTION A

Nitrate de Calcium	64,42	kg
Nitrate de Potassium	25,91	kg
Chelate de Fer	2,95	kg
Nitrate d'ammonium	17,39	kg

SOLUTION B

Nitrate de Potassium	25,91	kg
Phosphate monopotassiqu	24,98	kg
Sulfate de Potassium	0,00	kg
Nitrate de Magnesium	14,36	kg
Sulfate de magnesium	39,66	kg
Sulfate de Cuivre	0,04	kg
Chelat de manganese	1,32	kg
Sulfate de Zinc	0,03	kg
Molybdate de sodium	0,01	kg
Borax	0,47	kg

Annexe 2

Tableau des données de l'expérience des semis 2006 prises à la fin de la saison de croissance (11-13 septembre 2006)

ID UNIQUE	BLOC	NUM-POT	SALINITE	ESPECE	COMPETITION	B. AERIENNE	B. SOUTERRAINE	DENSITE
1-S0-PT1	1	PT1	S0	P	C	20,7	7,5	14
1-S0-PT2	1	PT2	S0	P	C	15,1	6,4	15
2-S0-PT1	2	PT1	S0	P	C	19,7	5,3	15
2-S0-PT2	2	PT2	S0	P	C	49,8	14,5	20
3-S0-PT1	3	PT1	S0	P	C	12,5	5,4	22
3-S0-PT2	3	PT2	S0	P	C	18,6	9,2	12
4-S0-PT1	4	PT1	S0	P	C	16,0	5,6	16
4-S0-PT2	4	PT2	S0	P	C	11,3	4,6	22
5-S0-PT1	5	PT1	S0	P	C	17,0	4,0	14
5-S0-PT2	5	PT2	S0	P	C	10,7	4,2	7
6-S0-PT1	6	PT1	S0	P	C	16,6	4,9	14
6-S0-PT2	6	PT2	S0	P	C	19,8	5,0	17
1-S1-PT1	1	PT1	S1	P	C	14,6	5,7	16
1-S1-PT2	1	PT2	S1	P	C	12,4	4,8	17
2-S1-PT1	2	PT1	S1	P	C	13,5	9,1	14
2-S1-PT2	2	PT2	S1	P	C	12,0	4,8	13
3-S1-PT1	3	PT1	S1	P	C	7,8	3,4	6
3-S1-PT2	3	PT2	S1	P	C	17,1	12,4	21
4-S1-PT1	4	PT1	S1	P	C	6,0	3,4	16
4-S1-PT2	4	PT2	S1	P	C	16,0	8,8	20
5-S1-PT1	5	PT1	S1	P	C	12,9	5,0	14
5-S1-PT2	5	PT2	S1	P	C	14,3	7,0	18
6-S1-PT1	6	PT1	S1	P	C	9,1	4,9	17
6-S1-PT2	6	PT2	S1	P	C	14,9	6,9	16
1-S2-PT1	1	PT1	S2	P	C	13,1	7,0	15
1-S2-PT2	1	PT2	S2	P	C	15,5	9,1	14
2-S2-PT1	2	PT1	S2	P	C	2,9	1,5	9
2-S2-PT2	2	PT2	S2	P	C	4,4	1,4	7

3-S2-PT1	3	PT1	S2	P	C	10,3	7,1	12
3-S2-PT2	3	PT2	S2	P	C	3,3	3,6	16
4-S2-PT1	4	PT1	S2	P	C	12,7	5,9	19
4-S2-PT2	4	PT2	S2	P	C	10,9	5,7	15
5-S2-PT1	5	PT1	S2	P	C	6,5	4,2	12
5-S2-PT2	5	PT2	S2	P	C	13,3	14,1	17
6-S2-PT1	6	PT1	S2	P	C	15,1	6,7	16
6-S2-PT2	6	PT2	S2	P	C	9,6	5,4	22
1-S0-P	1	P	S0	P	T	13,7	5,5	16
2-S0-P	2	P	S0	P	T	13,1	4,7	24
3-S0-P	3	P	S0	P	T	29,8	11,0	29
4-S0-P	4	P	S0	P	T	22,0	7,6	17
5-S0-P	5	P	S0	P	T	27,6	8,4	20
6-S0-P	6	P	S0	P	T	17,6	5,8	15
1-S1-P	1	P	S1	P	T	13,9	4,9	19
2-S1-P	2	P	S1	P	T	16,8	6,4	22
3-S1-P	3	P	S1	P	T	10,0	6,7	14
4-S1-P	4	P	S1	P	T	17,5	11,4	20
5-S1-P	5	P	S1	P	T	18,6	10,2	17
6-S1-P	6	P	S1	P	T	19,6	8,1	33
1-S2-P	1	P	S2	P	T	9,9	3,9	18
2-S2-P	2	P	S2	P	T	7,5	2,9	16
3-S2-P	3	P	S2	P	T	25,9	13,0	18
4-S2-P	4	P	S2	P	T	12,6	7,1	13
5-S2-P	5	P	S2	P	T	9,6	9,0	20
6-S2-P	6	P	S2	P	T	11,6	6,1	25
1-S0-TP1	1	TP1	S0	T	C	13,7	9,1	2
1-S0-TP2	1	TP2	S0	T	C	8,2	3,1	2
2-S0-TP1	2	TP1	S0	T	C	16,1	6,5	2
2-S0-TP2	2	TP2	S0	T	C	12,5	5,0	2
3-S0-TP1	3	TP1	S0	T	C	13,3	3,3	2
3-S0-TP2	3	TP2	S0	T	C	28,9	13,0	2
4-S0-TP1	4	TP1	S0	T	C	16,9	7,5	2
4-S0-TP2	4	TP2	S0	T	C	11,4	5,1	1

5-S0-TP1	5	TP1	S0	T	C	16,0	10,0	2
5-S0-TP2	5	TP2	S0	T	C	39,9	16,5	2
6-S0-TP1	6	TP1	S0	T	C	10,0	6,2	2
6-S0-TP2	6	TP2	S0	T	C	7,2	1,9	1
1-S1-TP1	1	TP1	S1	T	C	6,2	3,4	2
1-S1-TP2	1	TP2	S1	T	C	8,4	6,1	3
2-S1-TP1	2	TP1	S1	T	C	13,8	11,9	2
2-S1-TP2	2	TP2	S1	T	C	13,9	11,0	2
3-S1-TP1	3	TP1	S1	T	C	14,1	9,7	2
3-S1-TP2	3	TP2	S1	T	C	10,6	10,5	2
4-S1-TP1	4	TP1	S1	T	C	6,7	4,8	2
4-S1-TP2	4	TP2	S1	T	C	9,4	10,2	3
5-S1-TP1	5	TP1	S1	T	C	7,9	5,1	2
5-S1-TP2	5	TP2	S1	T	C	10,5	4,9	2
6-S1-TP1	6	TP1	S1	T	C	9,4	6,5	2
6-S1-TP2	6	TP2	S1	T	C	17,4	7,9	2
1-S2-TP1	1	TP1	S2	T	C	5,2	1,6	2
1-S2-TP2	1	TP2	S2	T	C	5,4	1,9	1
2-S2-TP1	2	TP1	S2	T	C	6,1	3,3	2
2-S2-TP2	2	TP2	S2	T	C	3,7	1,7	2
3-S2-TP1	3	TP1	S2	T	C	9,8	9,6	4
3-S2-TP2	3	TP2	S2	T	C	4,5	6,2	3
4-S2-TP1	4	TP1	S2	T	C	6,5	2,6	2
4-S2-TP2	4	TP2	S2	T	C	9,8	7,2	2
5-S2-TP1	5	TP1	S2	T	C	8,1	2,8	2
5-S2-TP2	5	TP2	S2	T	C	7,2	4,1	2
6-S2-TP1	6	TP1	S2	T	C	10,9	10,9	2
6-S2-TP2	6	TP2	S2	T	C	8,9	7,4	2
1-S0-T	1	T	S0	T	T	11,1	10,2	2
2-S0-T	2	T	S0	T	T	16,3	5,9	3
3-S0-T	3	T	S0	T	T	7,7	3,0	2
4-S0-T	4	T	S0	T	T	25,0	8,3	4
5-S0-T	5	T	S0	T	T	22,9	14,4	3
6-S0-T	6	T	S0	T	T	18,3	6,3	2

1-S1-T	1	T	S1	T	T	4,5	1,9	2
2-S1-T	2	T	S1	T	T	9,0	12,5	2
3-S1-T	3	T	S1	T	T	20,1	17,0	3
4-S1-T	4	T	S1	T	T	9,0	5,7	3
5-S1-T	5	T	S1	T	T	5,7	3,5	3
6-S1-T	6	T	S1	T	T	17,2	9,9	3
1-S2-T	1	T	S2	T	T	10,5	9,6	3
2-S2-T	2	T	S2	T	T	10,9	6,7	3
3-S2-T	3	T	S2	T	T	10,2	13,9	3
4-S2-T	4	T	S2	T	T	6,6	4,9	3
5-S2-T	5	T	S2	T	T	7,6	5,8	2
6-S2-T	6	T	S2	T	T	2,5	2,8	2

Annexe 3

Tableau des données de l'expérience des semis 2007 prises à la fin de la saison de croissance (1^{er} août 2007)

ID-UNIQUE	BLOC	NUM-POT	SALINITE	ESPECE	COMPET	B AERIENNE	B SOUT	DENSITE	HAUTEUR
1-S0-PT1	1	PT1	S0	P	C	44,0	23,4	31	172
1-S0-PT2	1	PT2	S0	P	C	70,3	36,2	36	225
2-S0-PT1	2	PT1	S0	P	C	49,1	23,8	23	217
2-S0-PT2	2	PT2	S0	P	C	16,0	4,7	16	173
2-S0-PT3	2	PT3	S0	P	C	26,1	15,5	23	154
3-S0-PT1	3	PT1	S0	P	C	37,5	18,1	31	187
3-S0-PT2	3	PT2	S0	P	C	69,3	25,4	43	165
4-S0-PT1	4	PT1	S0	P	C	40,2	36,3	26	197
4-S0-PT2	4	PT2	S0	P	C	57,2	17,0	32	174
5-S0-PT1	5	PT1	S0	P	C	41,5	11,6	40	200
5-S0-PT2	5	PT2	S0	P	C	49,8	13,2	34	184
6-S0-PT1	6	PT1	S0	P	C	19,1	13,4	17	171
6-S0-PT2	6	PT2	S0	P	C	63,4	21,0	28	180
1-S1-PT1	1	PT1	S1	P	C	34,8	10,1	26	182
1-S1-PT2	1	PT2	S1	P	C	39,9	21,9	34	154
2-S1-PT1	2	PT1	S1	P	C	36,8	17,3	49	139
2-S1-PT2	2	PT2	S1	P	C	25,6	10,3	25	150
3-S1-PT1	3	PT1	S1	P	C	79,4	41,5	57	185
3-S1-PT2	3	PT2	S1	P	C	70,5	50,8	42	198
4-S1-PT1	4	PT1	S1	P	C	51,7	19,1	48	155
4-S1-PT2	4	PT2	S1	P	C	49,8	18,5	32	171
5-S1-PT1	5	PT1	S1	P	C	23,9	14,2	34	126
5-S1-PT2	5	PT2	S1	P	C	45,4	18,6	51	163
6-S1-PT1	6	PT1	S1	P	C	45,8	13,3	33	161
6-S1-PT2	6	PT2	S1	P	C	31,0	17,6	39	139
1-S2-PT1	1	PT1	S2	P	C	35,9	19,3	32	140
1-S2-PT2	1	PT2	S2	P	C	24,9	13,3	52	119

2-S2-PT1	2	PT1	S2	P	C	26,8	13,8	34	113
2-S2-PT2	2	PT2	S2	P	C	13,1	7,7	24	129
2-S2-PT3	2	PT3	S2	P	C	15,5	8,9	25	115
3-S2-PT1	3	PT1	S2	P	C	22,0	14,1	47	102
3-S2-PT2	3	PT2	S2	P	C	23,7	12,1	40	100
4-S2-PT1	4	PT1	S2	P	C	86,6	41,0	64	125
4-S2-PT2	4	PT2	S2	P	C	45,4	25,1	35	143
5-S2-PT1	5	PT1	S2	P	C	31,4	27,0	39	128
5-S2-PT2	5	PT2	S2	P	C	13,7	9,1	28	89
6-S2-PT1	6	PT1	S2	P	C	36,6	20,8	53	98
6-S2-PT2	6	PT2	S2	P	C	37,4	18,0	55	111
1-S0-P	1	P	S0	P	T	73,5	25,6	53	181
2-S0-P	2	P	S0	P	T	42,8	15,1	34	170
3-S0-P	3	P	S0	P	T	41,1	13,8	46	167
4-S0-P	4	P	S0	P	T	72,3	19,0	35	200
5-S0-P	5	P	S0	P	T	43,3	11,8	39	147
6-S0-P	6	P	S0	P	T	38,0	9,9	34	167
1-S1-P	1	P	S1	P	T	34,6	10,9	37	160
2-S1-P	2	P	S1	P	T	29,4	23,5	43	142
3-S1-P	3	P	S1	P	T	65,6	29,9	48	157
4-S1-P	4	P	S1	P	T	25,0	8,1	30	141
5-S1-P	5	P	S1	P	T	46,3	8,1	39	136
6-S1-P	6	P	S1	P	T	35,1	16,6	34	133
1-S2-P	1	P	S2	P	T	38,3	17,0	64	126
2-S2-P	2	P	S2	P	T	26,3	10,1	42	114
3-S2-P	3	P	S2	P	T	27,2	12,2	43	102
4-S2-P	4	P	S2	P	T	23,0	13,9	36	130
5-S2-P	5	P	S2	P	T	21,6	5,4	33	133
6-S2-P	6	P	S2	P	T	18,9	12,4	40	92
1-S0-TP1	1	TP1	S0	T	C	123,5	60,7	8	225
1-S0-TP2	1	TP2	S0	T	C	110,2	87,2	7	183
2-S0-TP1	2	TP1	S0	T	C	67,7	53,1	9	219

2-S0-TP2	2	TP2	S0	T	C	163,2	86,1	10	255
2-S0-TP3	2	TP3	S0	T	C	145,2	65,4	11	220
3-S0-TP1	3	TP1	S0	T	C	136,1	85,4	6	225
3-S0-TP2	3	TP2	S0	T	C	49,8	48,7	5	195
4-S0-TP1	4	TP1	S0	T	C	95,4	16,1	4	253
4-S0-TP2	4	TP2	S0	T	C	85,5	42,9	7	230
5-S0-TP1	5	TP1	S0	T	C	60,9	29,5	6	214
5-S0-TP2	5	TP2	S0	T	C	59,4	16,3	5	189
6-S0-TP1	6	TP1	S0	T	C	111,3	75,6	5	270
6-S0-TP2	6	TP2	S0	T	C	73,9	31,4	6	201
1-S1-TP1	1	TP1	S1	T	C	38,1	35,3	7	183
1-S1-TP2	1	TP2	S1	T	C	84,4	42,7	9	190
2-S1-TP1	2	TP1	S1	T	C	52,3	44,8	6	191
2-S1-TP2	2	TP2	S1	T	C	32,8	32,9	6	175
3-S1-TP1	3	TP1	S1	T	C	42,3	34,4	6	186
3-S1-TP2	3	TP2	S1	T	C	56,2	41,3	7	183
4-S1-TP1	4	TP1	S1	T	C	46,7	42,1	11	174
4-S1-TP2	4	TP2	S1	T	C	37,6	23,9	6	191
5-S1-TP1	5	TP1	S1	T	C	46,4	20,1	5	176
5-S1-TP2	5	TP2	S1	T	C	44,4	19,3	5	184
6-S1-TP1	6	TP1	S1	T	C	13,9	9,5	5	174
6-S1-TP2	6	TP2	S1	T	C	27,8	12,8	4	195
1-S2-TP1	1	TP1	S2	T	C	20,8	12,4	9	137
1-S2-TP2	1	TP2	S2	T	C	16,2	12,1	7	130
2-S2-TP1	2	TP1	S2	T	C	9,9	10,9	5	136
2-S2-TP2	2	TP2	S2	T	C	17,7	12,6	7	129
2-S2-TP3	2	TP3	S2	T	C	10,5	9,7	3	109
3-S2-TP1	3	TP1	S2	T	C	5,8	3,8	3	70
3-S2-TP2	3	TP2	S2	T	C	8,5	6,3	5	80
4-S2-TP1	4	TP1	S2	T	C	14,4	10,4	6	135
4-S2-TP2	4	TP2	S2	T	C	9,6	6,5	7	110
5-S2-TP1	5	TP1	S2	T	C	8,2	8,7	5	113

5-S2-TP2	5	TP2	S2	T	C	7,0	6,2	3	95
6-S2-TP1	6	TP1	S2	T	C	10,8	7,9	4	90
6-S2-TP2	6	TP2	S2	T	C	2,9	3,1	3	101
1-S0-T	1	T	S0	T	T	121,5	87,0	9	218
3-S0-T	3	T	S0	T	T	132,1	74,5	11	220
4-S0-T	4	T	S0	T	T	103,1	44,5	7	210
5-S0-T	5	T	S0	T	T	110,1	52,3	7	226
6-S0-T	6	T	S0	T	T	79,5	51,4	6	230
1-S1-T	1	T	S1	T	T	108,8	95,7	11	202
2-S1-T	2	T	S1	T	T	91,0	91,4	8	177
3-S1-T	3	T	S1	T	T	68,0	59,3	11	197
4-S1-T	4	T	S1	T	T	60,3	33,3	10	187
5-S1-T	5	T	S1	T	T	54,2	38,2	7	197
6-S1-T	6	T	S1	T	T	56,2	11,5	4	224
1-S2-T	1	T	S2	T	T	23,5	10,3	6	128
3-S2-T	3	T	S2	T	T	7,6	6,0	3	143
4-S2-T	4	T	S2	T	T	21,0	14,4	9	150
5-S2-T	5	T	S2	T	T	15,0	14,9	6	160
6-S2-T	6	T	S2	T	T	8,3	8,3	6	105

Annexe 4

Tableau des données de l'expérience de multiplication végétative 2006 prises à la fin de la saison de croissance (10 octobre 2006)

ID-UNIQUE	BLOC	NUM-POT	SALINITE	ESPECE	COMPETITION	B. AERIENNE	B.SOUTERRAINE	DENSITE
1-S2-PT2	1	PT10	S0	P	C	78,4	81,6	17
1-S2-PT6	1	PT12	S0	P	C	92,3	54,8	20
1-S2-PT7	1	PT13	S0	P	C	111,0	70,1	28
2-S2-PT10	2	PT3	S0	P	C	221,7	169,0	47
2-S2-PT13	2	PT4	S0	P	C	153,6	122,9	27
2-S2-PT8	2	PT6	S0	P	C	180,4	115,0	27
3-S2-PT10	3	PT15	S0	P	C	86,6	58,3	19
3-S2-PT12	3	PT20	S0	P	C	84,4	53,5	30
3-S2-PT14	3	PT21	S0	P	C	121,8	248,7	40
4-S2-PT3	4	PT18	S0	P	C	177,2	100,1	35
4-S2-PT6	4	PT19	S0	P	C	129,4	107,2	32
4-S2-PT7	4	PT20	S0	P	C	145,1	90,0	23
1-S0-P11	1	PT15	S1	P	C	1,0	11,1	2
1-S0-P9	1	PT16	S1	P	C	197,0	188,5	38
1-S0-P2	1	PT18	S1	P	C	193,3	130,1	25
2-S0-P7	2	PT18	S1	P	C	108,4	97,5	26
2-S0-P17	2	PT19	S1	P	C	102,7	98,8	22
2-S0-P19	2	PT20	S1	P	C	79,4	58,6	34
3-S0-P15	3	PT1	S1	P	C	91,3	63,3	29
3-S0-P17	3	PT3	S1	P	C	160,2	75,7	44
3-S1-P17	3	PT7	S1	P	C	70,9	42,9	9
4-S1-P20	4	PT13	S1	P	C	61,4	55,4	22
4-S1-P15	4	PT8	S1	P	C	143,5	146,8	35
4-S1-P17	4	PT9	S1	P	C	156,8	290,7	16
1-S1-P2	1	PT2	S2	P	C	88,5	95,5	16

1-S1-P5	1	PT6	S2	P	C	151,9	96,5	36
1-S1-P12	1	PT7	S2	P	C	104,2	640,1	35
2-S1-P14	2	PT10	S2	P	C	102,8	207,8	21
2-S2-P4	2	PT13	S2	P	C	50,5	130,8	35
2-S2-P5	2	PT8	S2	P	C	132,3	97,2	34
3-S2-P11	3	PT10	S2	P	C	47,5	56,4	23
3-S2-P9	3	PT12	S2	P	C	93,3	88,3	27
3-S2-P11	3	PT14	S2	P	C	124,5	162,8	47
4-S2-P8	4	PT3	S2	P	C	42,6	23,9	10
4-S2-P1	4	PT6	S2	P	C	124,8	147,3	54
4-S2-P5	4	PT7	S2	P	C	214,6	134,4	36
1-S0-PT10	1	P11	S0	P	T	128,0	298,7	35
1-S0-PT12	1	P9	S0	P	T	55,8	89,2	19
2-S0-PT13	2	P2	S0	P	T	99,8	83,8	34
2-S0-PT3	2	P7	S0	P	T	133,3	142,8	38
3-S0-PT4	3	P17	S0	P	T	100,0	150,0	33
3-S0-PT6	3	P19	S0	P	T	145,6	95,2	43
4-S0-PT15	4	P15	S0	P	T	189,9	171,3	41
4-S0-PT20	4	P17	S0	P	T	159,5	265,3	37
1-S0-PT21	1	P17	S1	P	T	137,6	197,2	26
1-S0-PT18	1	P20	S1	P	T	174,6	578,8	36
2-S0-PT19	2	P15	S1	P	T	117,0	318,6	46
2-S0-PT20	2	P17	S1	P	T	107,6	123,8	35
3-S1-PT15	3	P2	S1	P	T	167,3	160,4	36
3-S1-PT16	3	P5	S1	P	T	214,8	282,4	67
4-S1-PT18	4	P12	S1	P	T	146,0	209,5	41
4-S1-PT18	4	P14	S1	P	T	199,5	205,1	77
1-S1-PT19	1	P4	S2	P	T	130,4	142,5	49
1-S1-PT20	1	P5	S2	P	T	50,3	37,7	54
2-S1-PT1	2	P11	S2	P	T	99,6	215,3	22
2-S1-PT3	2	P9	S2	P	T	61,7	122,3	21

3-S1-PT7	3	P11	S2	P	T	172,6	295,3	35
3-S1-PT13	3	P8	S2	P	T	169,0	350,7	42
4-S1-PT8	4	P1	S2	P	T	283,3	203,5	54
4-S1-PT9	4	P5	S2	P	T	169,2	188,8	65
1-S2-TP2	1	TP10	S0	T	C	134,8	250,5	6
1-S2-TP6	1	TP12	S0	T	C	237,5	775,3	11
1-S2-TP7	1	TP13	S0	T	C	225,2	583,2	9
2-S2-TP10	2	TP3	S0	T	C	81,0	127,3	4
2-S2-TP13	2	TP4	S0	T	C	220,7	552,0	15
2-S2-TP8	2	TP6	S0	T	C	220,6	648,5	11
3-S2-TP10	3	TP15	S0	T	C	181,9	546,6	11
3-S2-TP12	3	TP20	S0	T	C	239,5	624,6	15
3-S2-TP14	3	TP21	S0	T	C	178,7	522,0	9
4-S2-TP3	4	TP18	S0	T	C	110,8	300,3	6
4-S2-TP6	4	TP19	S0	T	C	151,6	579,7	9
4-S2-TP7	4	TP20	S0	T	C	170,4	483,4	8
1-S0-T14	1	TP15	S1	T	C	188,6	840,0	20
1-S0-T8	1	TP16	S1	T	C	117,5	324,4	13
1-S0-T1	1	TP18	S1	T	C	93,3	201,6	8
2-S0-T5	2	TP18	S1	T	C	112,4	281,0	15
2-S0-T16	2	TP19	S1	T	C	114,0	377,4	12
2-S0-T18	2	TP20	S1	T	C	89,2	248,2	11
3-S0-T16	3	TP1	S1	T	C	111,3	301,6	11
3-S0-T21	3	TP3	S1	T	C	151,0	317,0	9
3-S1-T19	3	TP7	S1	T	C	149,2	351,5	9
4-S1-T21	4	TP13	S1	T	C	149,2	333,9	12
4-S1-T16	4	TP8	S1	T	C	151,8	541,8	9
4-S1-T21	4	TP9	S1	T	C	97,4	260,1	9
1-S1-T4	1	TP2	S2	T	C	103,9	311,4	8
1-S1-T6	1	TP6	S2	T	C	84,3	285,3	10
1-S1-T10	1	TP7	S2	T	C	66,2	287,5	10

2-S1-T11	2	TP10	S2	T	C	88,9	153,8	10
2-S2-T1	2	TP13	S2	T	C	58,7	124,6	10
2-S2-T3	2	TP8	S2	T	C	103,0	291,0	10
3-S2-T12	3	TP10	S2	T	C	123,6	245,3	17
3-S2-T14	3	TP12	S2	T	C	80,8	178,0	10
3-S2-T13	3	TP14	S2	T	C	81,5	217,8	8
4-S2-T9	4	TP3	S2	T	C	131,6	753,7	7
4-S2-T2	4	TP6	S2	T	C	64,7	171,4	9
4-S2-T4	4	TP7	S2	T	C	44,1	145,4	4
1-S0-TP10	1	T14	S0	T	T	191,8	617,8	8
1-S0-TP12	1	T8	S0	T	T	295,9	842,5	15
2-S0-TP13	2	T1	S0	T	T	303,8	751,5	26
2-S0-TP3	2	T5	S0	T	T	159,9	316,1	10
3-S0-TP4	3	T16	S0	T	T	323,0	727,1	19
3-S0-TP6	3	T18	S0	T	T	299,1	559,6	17
4-S0-TP15	4	T16	S0	T	T	299,3	842,8	14
4-S0-TP20	4	T21	S0	T	T	223,5	564,6	14
1-S0-TP21	1	T19	S1	T	T	168,6	573,1	14
1-S0-TP18	1	T21	S1	T	T	237,4	896,4	25
2-S0-TP19	2	T16	S1	T	T	182,6	735,5	15
2-S0-TP20	2	T21	S1	T	T	200,0	1702,1	12
3-S1-TP15	3	T4	S1	T	T	186,1	505,9	19
3-S1-TP16	3	T6	S1	T	T	246,7	599,2	17
4-S1-TP18	4	T10	S1	T	T	195,4	1071,8	12
4-S1-TP18	4	T11	S1	T	T	176,3	718,8	13
1-S1-TP19	1	T1	S2	T	T	104,3	457,9	10
1-S1-TP20	1	T3	S2	T	T	131,7	702,1	16
2-S1-TP1	2	T12	S2	T	T	100,4	366,4	11
2-S1-TP3	2	T14	S2	T	T	212,7	395,7	11
3-S1-TP7	3	T13	S2	T	T	143,3	284,6	9
3-S1-TP13	3	T9	S2	T	T	177,0	351,7	18

4-S1-TP8	4	T2	S2	T	T	113,9	288,5	11
4-S1-TP9	4	T4	S2	T	T	145,8	975,3	14

Annexe 5

Tableau des données de l'expérience de multiplication végétative 2007 prises à la fin de la saison de croissance (25 septembre 2007)

ID-UNIQUE	BLOC	NUM -POT	SALI NITE	ESPECE	COMPE TITION	AERIENNE SECHE	SOUTER RAIN	DENSITE	HAUTEUR	AERIENNE HUMIDE	INFLORES CENCES
1-S0-PT2	1	PT2	S0	P	C	223,8	153,2	33	232		8
1-S0-PT5	1	PT5	S0	P	C	149,6	70,3	22	211		0
1-S0-PT8	1	PT8	S0	P	C	265,6	153,0	40	220		4
1-S0-PT9	1	PT9	S0	P	C	309,0	160,7	52	212		9
2-S0-PT2	2	PT2	S0	P	C	308,3	127,7	56	230	753,8	0
2-S0-PT3	2	PT3	S0	P	C	412,6	135,1	58	250	965,7	4
2-S0-PT6	2	PT6	S0	P	C	361,6	165,2	52	250	833,3	2
2-S0-PT9	2	PT9	S0	P	C	553,9	226,7	79	235	1202,7	0
3-S0-PT10	3	PT10	S0	P	C	402,4	215,3	61	200	906,8	12
3-S0-PT1	3	PT1	S0	P	C	242,1	108,1	34	230	550,0	5
3-S0-PT3	3	PT3	S0	P	C	437,6	166,4	27	210	1063,7	10
3-S0-PT6	3	PT6	S0	P	C	363,7	193,8	27	240	831,2	13
1-S1-PT1	1	PT1	S1	P	C	187,6	177,0	57	172		0
1-S1-PT2	1	PT2	S1	P	C	139,1	97,4	42	160		1
1-S1-PT4	1	PT4	S1	P	C	202,8	134,3	61	171		1
1-S1-PT5	1	PT5	S1	P	C	152,6	130,0	44	176		3
2-S1-PT10	2	PT10	S1	P	C	251,4	167,5	56	178		4
2-S1-PT1	2	PT1	S1	P	C	146,1	142,5	52	150		4
2-S1-PT3	2	PT3	S1	P	C	182,2	99,7	48	184		4
2-S1-PT6	2	PT6	S1	P	C	186,0	129,3	40	171		0
3-S1-PT2	3	PT2	S1	P	C	40,5	103,5	50	135	95,0	0
3-S1-PT6	3	PT6	S1	P	C	291,7	185,0	50	210	643,3	9
3-S1-PT7	3	PT7	S1	P	C	191,7	129,3	51	200	429,7	13
3-S1-PT8	3	PT8	S1	P	C	315,5	235,5	62	210	693,6	3
1-S2-PT10	1	PT10	S2	P	C	129,5	133,1	59	125		0

1-S2-PT1	1	PT1	S2	P	C	95,2	85,1	39	140		1
1-S2-PT2	1	PT2	S2	P	C	79,7	89,4	39	150		1
1-S2-PT8	1	PT8	S2	P	C	75,8	71,5	52	109		0
2-S2-PT2	2	PT2	S2	P	C	121,0	131,7	38	130		5
2-S2-PT6	2	PT6	S2	P	C	116,4	124,6	55	137		2
2-S2-PT7	2	PT7	S2	P	C	232,7	228,5	73	146		0
2-S2-PT8	2	PT8	S2	P	C	159,7	148,5	71	105		4
3-S2-PT2	3	PT2	S2	P	C	95,2	180,4	52	110	228,2	0
3-S2-PT3	3	PT3	S2	P	C	135,3	148,6	51	140	300,8	0
3-S2-PT6	3	PT6	S2	P	C	179,7	158,8	68	125	423,7	7
3-S2-PT9	3	PT9	S2	P	C	89,5	116,4	57	90	180,8	0
1-S0-P10	1	P10	S0	P	T	480,9	225,5	78	210		0
1-S0-P4	1	P4	S0	P	T	184,8	94,0	33	195		1
1-S0-P6	1	P6	S0	P	T	275,0	148,3	52	226		0
2-S0-P10	2	P10	S0	P	T	551,7	299,2	81	220	1281,8	9
2-S0-P5	2	P5	S0	P	T	475,8	222,2	56	250	1062,8	5
2-S0-P8	2	P8	S0	P	T	429,7	137,4	45	250	994,9	3
3-S0-P2	3	P2	S0	P	T	195,2	137,4	42	170	553,0	3
3-S0-P4	3	P4	S0	P	T	210,3	86,9	46	190	582,4	0
3-S0-P5	3	P5	S0	P	T	226,5	116,7	59	200	596,1	0
1-S1-P6	1	P6	S1	P	T	205,3	126,7	50	184		5
1-S1-P7	1	P7	S1	P	T	242,4	169,7	70	156		1
1-S1-P9	1	P9	S1	P	T	279,8	208,6	79	143		0
2-S1-P2	2	P2	S1	P	T	219,9	162,2	70	180		1
2-S1-P4	2	P4	S1	P	T	161,0	102,6	46	170		2
2-S1-P5	2	P5	S1	P	T	157,3	113,9	47	190		0
3-S1-P10	3	P10	S1	P	T	324,8	206,9	57	190	743,0	4
3-S1-P1	3	P1	S1	P	T	190,9	141,2	57	155	467,2	7
3-S1-P3	3	P3	S1	P	T	100,4	110,6	53	150	226,9	0
1-S2-P4	1	P4	S2	P	T	125,0	99,5	65	134		0
1-S2-P5	1	P5	S2	P	T	131,6	94,2	57	143		0

1-S2-P7	1	P7	S2	P	T	62,9	49,2	41	129		0
2-S2-P10	2	P10	S2	P	T	173,7	185,9	72	134		0
2-S2-P1	2	P1	S2	P	T	165,2	138,8	45	141		0
2-S2-P3	2	P3	S2	P	T	234,7	246,3	64	160		0
3-S2-P10	3	P10	S2	P	T	247,0	203,7	82	132	552,4	6
3-S2-P5	3	P5	S2	P	T	158,3	188,4	68	120	355,8	0
3-S2-P8	3	P8	S2	P	T	137,0	119,7	74	120	319,6	11
1-S0-TP2	1	TP2	S0	T	C	285,4	448,9	6	219		0
1-S0-TP5	1	TP5	S0	T	C	223,0	268,3	7	245		0
1-S0-TP8	1	TP8	S0	T	C	680,7	571,0	7	312		0
1-S0-TP9	1	TP9	S0	T	C	208,6	418,3	6	215		0
2-S0-TP2	2	TP2	S0	T	C	359,4	343,8	7	260	1253,6	0
2-S0-TP3	2	TP3	S0	T	C	256,3	391,8	7	253	878,0	0
2-S0-TP6	2	TP6	S0	T	C	268,0	403,1	8	260	955,9	0
2-S0-TP9	2	TP9	S0	T	C	266,8	530,1	10	245	889,1	0
3-S0-TP10	3	TP10	S0	T	C	280,2	593,0	14	200	988,7	0
3-S0-TP1	3	TP1	S0	T	C	236,4	488,3	10	235	821,0	0
3-S0-TP3	3	TP3	S0	T	C	359,4	564,4	8	250	1271,2	0
3-S0-TP6	3	TP6	S0	T	C	286,0	443,0	7	230	1007,5	0
1-S1-TP1	1	TP1	S1	T	C	82,2	146,8	6	153		0
1-S1-TP2	1	TP2	S1	T	C	66,6	72,9	7	129		0
1-S1-TP4	1	TP4	S1	T	C	162,0	198,9	11	181		0
1-S1-TP5	1	TP5	S1	T	C	173,5	293,5	15	174		0
2-S1-TP10	2	TP10	S1	T	C	163,9	215,6	8	175		0
2-S1-TP1	2	TP1	S1	T	C	110,3	201,8	4	180		0
2-S1-TP3	2	TP3	S1	T	C	125,8	155,0	6	181		0
2-S1-TP6	2	TP6	S1	T	C	83,4	152,6	5	167		0
3-S1-TP2	3	TP2	S1	T	C	120,7	204,6	7	160	362,8	0
3-S1-TP6	3	TP6	S1	T	C	100,6	144,1	8	175	280,7	0
3-S1-TP7	3	TP7	S1	T	C	75,0	199,7	5	170	232,6	0
3-S1-TP8	3	TP8	S1	T	C	62,5	157,8	5	165	170,9	0

1-S2-TP10	1	TP10	S2	T	C	26,9	49,5	4	116		0
1-S2-TP1	1	TP1	S2	T	C	36,0	73,8	5	128		0
1-S2-TP2	1	TP2	S2	T	C	110,3	151,1	7	142		0
1-S2-TP8	1	TP8	S2	T	C	49,1	70,7	8	117		0
2-S2-TP2	2	TP2	S2	T	C	45,8	121,5	5	116		0
2-S2-TP6	2	TP6	S2	T	C	36,0	81,9	4	114		0
2-S2-TP7	2	TP7	S2	T	C	17,7	52,2	4	106		0
2-S2-TP8	2	TP8	S2	T	C	16,7	45,4	3	95		0
3-S2-TP2	3	TP2	S2	T	C	17,2	57,8	5	90	32,1	0
3-S2-TP3	3	TP3	S2	T	C	23,2	80,2	4	105	42,3	0
3-S2-TP6	3	TP6	S2	T	C	10,0	62,2	5	90	20,2	0
3-S2-TP9	3	TP9	S2	T	C	3,9	58,1	5	63	6,4	0
1-S0-T1	1	T1	S0	T	T	432,3	465,4	13	232		0
1-S0-T3	1	T3	S0	T	T	218,1	250,8	8	228		0
1-S0-T7	1	T7	S0	T	T	464,9	608,8	12	236		0
2-S0-T1	2	T1	S0	T	T	428,5	489,2	14	237	1517,9	0
2-S0-T4	2	T4	S0	T	T	144,4	166,0	8	230	465,5	0
2-S0-T7	2	T7	S0	T	T	176,3	209,5	4	240	623,9	0
3-S0-T7	3	T7	S0	T	T	198,0	371,8	9	230	693,1	0
3-S0-T8	3	T8	S0	T	T	362,5	661,5	10	240	1275,0	0
3-S0-T9	3	T9	S0	T	T	385,7	845,4	14	220	1193,5	0
1-S1-T10	1	T10	S1	T	T	176,2	314,9	7	185		0
1-S1-T3	1	T3	S1	T	T	152,1	252,6	9	181		0
1-S1-T8	1	T8	S1	T	T	179,6	265,9	8	179		0
2-S1-T7	2	T7	S1	T	T	90,0	170,8	5	171		0
2-S1-T8	2	T8	S1	T	T	109,0	208,8	8	191		0
2-S1-T9	2	T9	S1	T	T	64,0	132,4	6	146		0
3-S1-T4	3	T4	S1	T	T	169,0	367,0	13	160	515,8	0
3-S1-T5	3	T5	S1	T	T	42,2	97,0	5	180	156,0	0
3-S1-T9	3	T9	S1	T	T	193,2	381,4	12	162	647,3	0
1-S2-T3	1	T3	S2	T	T	108,8	178,2	8	150		0

1-S2-T6	1	T6	S2	T	T	58,0	100,2	6	133		0
1-S2-T9	1	T9	S2	T	T	62,5	117,3	7	136		0
2-S2-T4	2	T4	S2	T	T	54,0	147,1	7	130		0
2-S2-T5	2	T5	S2	T	T	20,7	53,4	3	113		0
2-S2-T9	2	T9	S2	T	T	42,2	57,5	5	58		0
3-S2-T1	3	T1	S2	T	T	59,2	163,5	4	125	172,6	0
3-S2-T4	3	T4	S2	T	T	28,0	86,9	5	122	96,7	0
3-S2-T7	3	T7	S2	T	T	17,7	70,3	5	130	42,7	0

Annexe 6

Tableau des données de l'expérience des bassins en 2007 prises à la fin de la saison de croissance (octobre 2007)

ID-UNIQUE	BLOC	NUM-BASSIN	ESPECE	SALINITE	COMPETITION	DENSITE	HAUTEUR	INFLORESCENCES	AERIENNE VEGETATIF	AERIENNE REPRODUC TIF	AERIENNE TOTALE
1-S0-PT	1	1	P	S0	C	239	286	148	4151,2	545,0	4696,2
5-S0-PT	1	5	P	S0	C	262	276	119	4602,1	471,9	5074,0
13-S0-PT	2	13	P	S0	C	247	247	111	3303,1	284,6	3587,7
18-S0-PT	2	18	P	S0	C	221	285	97	3504,6	301,7	3806,3
10-S0-P	1	10	P	S0	T	495	283	196	6765,6	647,5	7413,1
24-S0-P	2	24	P	S0	T	462	287	93	5812,9	298,7	6111,6
3-S1-PT	1	3	P	S1	C	255	222	171	2827,8	509,8	3337,6
7-S1-PT	1	7	P	S1	C	309	240	84	1942,8	230,4	2173,2
14-S1-PT	2	14	P	S1	C	168	238	61	1792,1	143,1	1935,2
16-S1-PT	2	16	P	S1	C	231	225	96	2259,7	215,2	2474,9
2-S1-P	1	2	P	S1	T	303	217	143	2848,9	316,0	3164,9
19-S1-P	2	19	P	S1	T	332	245	149	3370,5	332,2	3702,7
4-S2-PT	1	4	P	S2	C	155	203	53	1177,3	92,0	1269,3
11-S2-PT	1	11	P	S2	C	201	205	44	1336,5	82,3	1418,8
17-S2-PT	2	17	P	S2	C	209	205	94	1230,1	165,8	1395,9
23-S2-PT	2	23	P	S2	C	212	177	26	1403,2	96,1	1499,3
9-S2-P	1	9	P	S2	T	410	216	131	2912,5	260,1	3172,6
20-S2-P	2	20	P	S2	T	312	211	92	2051,3	167,5	2218,8
1-S0-TP	1	1	T	S0	C	146	302	54	6743,5	1290,9	8034,4
5-S0-TP	1	5	T	S0	C	133	269	65	6652,9	2093,6	8746,5
13-S0-TP	2	13	T	S0	C	175	301	83	7468,2	1871,6	9339,8
18-S0-TP	2	18	T	S0	C	182	286	308	7569,1	1154,4	8723,5

12-S0-T	1	12	T	S0	T	206	295	81	10413,0	2412,0	12825,0
15-S0-T	2	15	T	S0	T	183	274	97	11329,1	2768,7	14097,8
3-S1-TP	1	3	T	S1	C	222	181	33	1111,7	102,8	1214,5
7-S1-TP	1	7	T	S1	C	304	198	46	3973,2	130,6	4103,8
14-S1-TP	2	14	T	S1	C	178	247	35	4386,0	142,5	4528,5
16-S1-TP	2	16	T	S1	C	222	198	35	3372,0	98,9	3470,9
8-S1-T	1	8	T	S1	T	281	212	82	6353,4	833,0	7186,4
21-S1-T	2	21	T	S1	T	359	221	81	7004,7	579,3	7584,0
4-S2-TP	1	4	T	S2	C	168	125	3	1247,6	3,5	1251,1
11-S2-TP	1	11	T	S2	C	133	131	17	840,1	6,4	846,5
17-S2-TP	2	17	T	S2	C	179	144	3	1359,7	2,0	1361,7
23-S2-TP	2	23	T	S2	C	189	118	6	1028,4	3,8	1032,2
6-S2-T	1	6	T	S2	T	238	160	2	2675,2	2,8	2678,0
22-S2-T	2	22	T	S2	T	233	135	3	1534,7	5,7	1540,4

Annexe 7

Résultats des ANOVA de l'expérience des semis 2006 pour tester l'effet des facteurs sur la biomasse aérienne, la biomasse souterraine et la densité de tiges.

Biomasse aérienne

Facteurs	ROSEAUX			QUENOUILLES		
	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	2	1,576	0,254	2	0,801	0,476
SALINITE	2	8,546	0,007	2	7,776	0,009
COMPETITION*SALINITE	4	0,215	0,927	4	0,251	0,906
BLOC&Random	5	0,094	0,984	5	1,465	0,452
BLOC*COMPETITION&Random	10	0,819	0,615	10	0,412	0,925
BLOC*SALINITE&Random	10	0,770	0,655	10	1,263	0,314
BLOC*COMPETITION*SALINITE&Random	20	.	.	20	.	.

Biomasse souterraine

Facteurs	ROSEAUX			QUENOUILLES		
	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	2	2,889	0,102	2	1,942	0,194
SALINITE	2	0,152	0,861	2	0,751	0,497
COMPETITION*SALINITE	4	0,082	0,987	4	0,255	0,903
BLOC&Random	5	0,990	0,543	5	0,738	0,623
BLOC*COMPETITION&Random	10	0,772	0,654	10	0,464	0,894
BLOC*SALINITE&Random	10	0,999	0,476	10	2,693	0,029
BLOC*COMPETITION*SALINITE&Random	20	.	.	20	.	.

Densité des tiges

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	2	10,554	0,003	2	12,400	0,002
SALINITE	2	0,454	0,647	2	0,769	0,489
COMPETITION*SALINITE	4	0,336	0,850	4	0,930	0,466
BLOC&Random	5	0,946	0,540	5	1,529	0,399
BLOC*COMPETITION&Random	10	0,607	0,790	10	0,581	0,810
BLOC*SALINITE&Random	10	1,462	0,225	10	1,209	0,343
BLOC*COMPETITION*SALINITE&Random	20	.	.	20	.	.

Annexe 8

Résultats des ANOVA de l'expérience des semis 2007 pour tester l'effet des facteurs sur la biomasse aérienne, la biomasse souterraine, la densité de tiges et la hauteur maximale des tiges. Les tests ont été faits en incluant le bloc 2.

Biomasse aérienne

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPET	1	0,352	0,579	0	0	-1
SALINITE	2	5,081	0,030	0	0	-1
SALINITE*COMPET	2	1,145	0,357	0	0	-1
BLOC&Random	5	1,567	0,312	4	16,434	0,593
BLOC*COMPET&Random	5	0,950	0,490	4	0,339	0,837
BLOC*SALINITE&Random	10	1,868	0,170	8	1,023	0,572
BLOC*SALINITE*COMPET&Random	10	0,801	0,630	8	0,481	0,855

Biomasse souterraine

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPET	1	5,638	0,064	0	0	-1
SALINITE	2	0,424	0,666	0	0	-1
SALINITE*COMPET	2	0,175	0,842	0	0	-1
BLOC&Random	5	0,736	0,611	4	2,597	0,139
BLOC*COMPET&Random	5	2,420	0,110	4	1,124	0,447
BLOC*SALINITE&Random	10	5,620	0,006	8	3,371	0,112

BLOC*SALINITE*COMPET&Random	10	0,506	0,866	8	0,881	0,549
-----------------------------	----	-------	-------	---	-------	-------

Densité des tiges

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPET	1	1,121	0,338	0	0	-1
SALINITE	2	1,969	0,190	0	0	-1
SALINITE*COMPET	2	5,151	0,029	0	0	-1
BLOC&Random	5	0,622	0,687	4	4,160	0,196
BLOC*COMPET&Random	5	5,372	0,012	4	0,467	0,759
BLOC*SALINITE&Random	10	4,164	0,017	8	1,593	0,295
BLOC*SALINITE*COMPET&Random	10	0,310	0,969	8	1,604	0,186

Hauteur maximale

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPET	1	35,368	0,002	0	0	-1
SALINITE	2	51,248	<,0001	0	0	-1
SALINITE*COMPET	2	1,344	0,304	0	0	-1
BLOC&Random	5	5,040	0,271	4	0,233	0,904
BLOC*COMPET&Random	5	0,145	0,977	4	1,169	0,426
BLOC*SALINITE&Random	10	1,499	0,267	8	1,390	0,376
BLOC*SALINITE*COMPET&Random	10	0,582	0,810	8	1,003	0,464

Annexe 9

Résultats des ANOVA de l'expérience des semis 2007 pour tester l'effet des facteurs sur la biomasse aérienne, la biomasse souterraine, la densité de tiges et la hauteur maximale des tiges. Les tests ont été faits en excluant le bloc 2.

Biomasse aérienne

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPET	1	0,929	0,390	1	40,987	0,003
SALINITE	2	3,787	0,070	2	128,945	<,0001
SALINITE*COMPET	2	0,897	0,445	2	1,408	0,299
BLOC&Random	4	0,967	0,515	4	.	.
BLOC*COMPET&Random	4	0,769	0,575	4	0,240	0,908
BLOC*SALINITE&Random	8	1,899	0,192	8	0,722	0,672
BLOC*SALINITE*COMPET&Random	8	0,881	0,554	8	0,688	0,696

Biomasse souterraine

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPET	1	17,781	0,014	1	8,601	0,043
SALINITE	2	0,180	0,839	2	15,348	0,002
SALINITE*COMPET	2	0,223	0,805	2	1,546	0,271
BLOC&Random	4	0,829	0,544	4	2,625	0,134
BLOC*COMPET&Random	4	1,079	0,427	4	1,083	0,426
BLOC*SALINITE&Random	8	6,618	0,008	8	3,247	0,058
BLOC*SALINITE*COMPET&Random	8	0,508	0,833	8	0,816	0,600

Densité des tiges

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPET	1	0,313	0,606	1	7,429	0,053
SALINITE	2	1,606	0,259	2	73,205	<,0001
SALINITE*COMPET	2	5,127	0,037	2	2,066	0,189
BLOC&Random	4	0,520	0,725	4	0,233	0,905
BLOC*COMPET&Random	4	5,117	0,024	4	1,170	0,392
BLOC*SALINITE&Random	8	4,233	0,029	8	1,391	0,326
BLOC*SALINITE*COMPET&Random	8	0,312	0,950	8	0,944	0,511

Hauteur maximale

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPET	1	31,887	0,005	1	17,241	0,014
SALINITE	2	36,322	<,0001	2	2,421	0,151
SALINITE*COMPET	2	1,354	0,312	2	0,600	0,572
BLOC&Random	4	5,085	0,316	4	3,824	0,160
BLOC*COMPET&Random	4	0,129	0,967	4	0,515	0,727
BLOC*SALINITE&Random	8	1,523	0,283	8	1,757	0,221
BLOC*SALINITE*COMPET&Random	8	0,751	0,649	8	1,618	0,201

Annexe 10

Résultats des ANOVA de l'expérience des rhizomes 2006 pour tester l'effets des facteurs sur la biomasse aérienne, la biomasse souterraine et la densité de tiges

Biomasse aérienne

Facteurs	ROSEAUX			QUENOUILLES		
	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	1	1,339	0,331	1	87,303	0,003
SALINITE	2	0,184	0,836	2	76,370	<,0001
SALINITE*COMPETITION	2	3,842	0,084	2	1,286	0,343
BLOC&Random	3	0,801	0,543	3	3,640	0,252
BLOC*COMPETITION&Random	3	7,566	0,018	3	1,129	0,410
BLOC*SALINITE&Random	6	4,111	0,055	6	1,011	0,495
BLOC*SALINITE*COMPETITION&Random	6	0,384	0,885	6	0,368	0,895

Biomasse souterraine

Facteurs	ROSEAUX			QUENOUILLES		
	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	1	23,328	0,017	1	24,377	0,016
SALINITE	2	2,203	0,192	2	5,648	0,042
SALINITE*COMPETITION	2	0,771	0,503	2	3,457	0,100
BLOC&Random	3	.	.	3	0,863	0,566
BLOC*COMPETITION&Random	3	0,172	0,911	3	1,099	0,420
BLOC*SALINITE&Random	6	0,243	0,946	6	1,294	0,381
BLOC*SALINITE*COMPETITION&Random	6	2,044	0,085	6	0,821	0,561

Densité des tiges

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	1	8,849	0,059	1	85,144	0,003
SALINITE	2	0,689	0,538	2	2,245	0,187
SALINITE*COMPETITION	2	2,304	0,181	2	0,876	0,464
BLOC&Random	3	0,969	0,492	3	2,944	0,373
BLOC*COMPETITION&Random	3	2,501	0,156	3	0,312	0,816
BLOC*SALINITE&Random	6	1,785	0,250	6	1,492	0,320
BLOC*SALINITE*COMPETITION&Random	6	0,703	0,649	6	0,723	0,634

Annexe 11

Résultats des ANOVA de l'expérience des rhizomes 2007 pour tester l'effets des facteurs sur la biomasse aérienne, la biomasse souterraine, la densité de tiges et la hauteur maximale des tiges

Biomasse aérienne

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	1	0,458	0,568	1	0,636	0,509
SALINITE	2	9,245	0,032	2	203,814	<,0001
SALINITE*COMPETITION	2	0,118	0,892	2	0,588	0,597
BLOC&Random	2	1,477	0,402	2	3,088	0,190
BLOC*COMPETITION&Random	2	0,890	0,479	2	6,113	0,061
BLOC*SALINITE&Random	4	1,866	0,280	4	2,667	0,183
BLOC*SALINITE*COMPETITION&Random	4	2,237	0,080	4	0,106	0,980

Biomasse souterraine

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	1	0,412	0,587	1	0,678	0,497
SALINITE	2	0,268	0,777	2	28,640	0,004
SALINITE*COMPETITION	2	0,031	0,970	2	1,310	0,365
BLOC&Random	2	1,103	0,447	2	1,064	0,420
BLOC*COMPETITION&Random	2	0,916	0,470	2	4,945	0,083
BLOC*SALINITE&Random	4	2,624	0,186	4	5,358	0,066
BLOC*SALINITE*COMPETITION&Random	4	1,339	0,270	4	0,475	0,754

Densité des tiges

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	1	6,316	0,129	1	22,229	0,042
SALINITE	2	0,872	0,485	2	12,317	0,020
SALINITE*COMPETITION	2	0,056	0,947	2	0,337	0,733
BLOC&Random	2	0,303	0,753	2	.	.
BLOC*COMPETITION&Random	2	2,204	0,226	2	0,102	0,905
BLOC*SALINITE&Random	4	5,732	0,060	4	0,653	0,655
BLOC*SALINITE*COMPETITION&Random	4	0,535	0,711	4	1,811	0,143

Hauteur maximale

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	1	0,376	0,602	1	0,181	0,712
SALINITE	2	51,858	0,001	2	120,379	0,000
SALINITE*COMPETITION	2	6,003	0,063	2	2,560	0,192
BLOC&Random	2	1,225	0,376	2	0,822	0,527
BLOC*COMPETITION&Random	2	6,003	0,062	2	2,291	0,217
BLOC*SALINITE&Random	4	6,273	0,052	4	1,869	0,280
BLOC*SALINITE*COMPETITION&Random	4	0,414	0,798	4	1,011	0,412

Annexe 12

Résultats des ANOVA de l'expérience en bassins pour tester l'effets des facteurs sur la biomasse aérienne, la densité de tiges et la hauteur maximale des tiges

Biomasse aérienne

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	1	6,7101	0,2345	1	77823,3	0,0023
SALINITE	2	90,4734	0,0109	2	604,31	0,0017
SALINITE*COMPETITION	1	.	.	1	.	.
BLOC&Random	1	0,7915	0,4675	1	0,001	0,9773
BLOC*COMPETITION&Random	2	0,1752	0,8509	2	0,4414	0,6937
BLOC*SALINITE&Random	2	0,0107	0,9894	2	9,9491	0,0913
BLOC*SALINITE*COMPETITION&Random	2	3,0614	0,1212	2	1,8293	0,2397

Densité des tiges

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	1	730,522	0,0235	1	90,1328	0,0668
SALINITE	2	517,361	0,0019	2	751,177	0,0013
SALINITE*COMPETITION	2	1,7452	0,3643	2	0,232	0,8117

BLOC&Random	1	.	.	1	.	.
BLOC*COMPETITION&Random	1	0,0287	0,8811	1	0,0443	0,8527
BLOC*SALINITE&Random	2	0,0047	0,9953	2	0,0046	0,9954
BLOC*SALINITE*COMPETITION&Random	2	5,7395	0,0404	2	4,834	0,0562

Hauteur maximale

	ROSEAUX			QUENOUILLES		
Facteurs	D.L.	F Ratio	Prob > F	D.L.	F Ratio	Prob > F
COMPETITION	1	1	0,5	1	0,3367	0,6653
SALINITE	2	35,6854	0,0273	2	73,4971	0,0134
SALINITE*COMPETITION	2	2,9459	0,2534	2	78,619	0,0126
BLOC&Random	1	0,0001	0,9948	1	0,0048	0,9507
BLOC*COMPETITION&Random	1	10,3583	0,0845	1	312,429	0,0032
BLOC*SALINITE&Random	2	6,5763	0,132	2	171,476	0,0058
BLOC*SALINITE*COMPETITION&Random	2	0,1353	0,876	2	0,0059	0,9941