

Association de la protection de l'environnement du lac à l'Anguille inc.



## Résultats du projet pilote de restauration du lac à l'Anguille

### Volet 1 : Expérimentation d'un îlot végétal flottant pour capter le phosphore présent dans le lac

#### Rapport final

Présenté au ministère du Développement durable,  
de l'Environnement et de la Lutte contre les changements  
climatiques

2016

ISBN 978-2-9815799-0-4



*Développement durable,  
Environnement et Lutte  
contre les changements  
climatiques*

Québec 



## Résultats du projet pilote de restauration du lac à l'Anguille

### Volet 1 : Expérimentation d'un îlot végétal flottant pour capter le phosphore présent dans le lac

Dans le cadre de l'action 1.4 du Plan d'intervention sur les algues  
bleu-vert 2007-2017  
Avec le soutien du ministère du Développement durable,  
de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

Janvier 2016 Préparé par : Alexandre Roy, biologiste, TEA, T.P.10292  
Chargé de projet

## **Équipe de réalisation**

### **Responsable de projet**

Alexandre Roy

Biologiste, TEA, T.P., Groupe AIM inc.

### **Rédaction**

Alexandre Roy

Biologiste, TEA, T.P., Groupe AIM inc.

### **Équipe terrain**

Alexandre Roy

Biologiste, TEA, T.P., Groupe AIM inc.

Annick Dumouchel

Biologiste, TEA, Groupe AIM inc.

Éric Manseau

Biologiste, TACH, Groupe AIM inc.

Geneviève Faille

M. Sc., Biologiste, Groupe AIM inc.

Étienne Bachand

M. Sc., Géographe, Groupe AIM inc.

### **Traitement des données**

Alexandre Roy

Biologiste, TEA, T.P., Groupe AIM inc.

Annick Dumouchel

Biologiste, TEA, Groupe AIM inc.

### **Analyses statistiques**

Bruno Vincent

Statisticien, Ph. D., Université du Québec  
À Rimouski (UQAR)

Adéline Piot

Ph. D., auxiliaire d'enseignement, UQAR

### **Graphisme**

Paul Pelletier, concepteur-graphiste

Groupe AIM inc.

### **Correction du français**

Maggie Lia-Durette

Biologiste, Groupe AIM inc.

Francesca Roy

M. Sc. linguistique, Groupe AIM inc.

### **Sites web**

*Association de la protection de l'environnement du lac à l'Anguille inc.*

[www.apelast-anaclet.org](http://www.apelast-anaclet.org)

*Groupe AIM inc.*

[www.groupeaim.com](http://www.groupeaim.com)

Référence à citer :

Roy, A. 2016. *Résultats du projet pilote de restauration du lac à l'Anguille : Volet 1; expérimentation d'un îlot végétal flottant pour capter le phosphore présent dans le lac.* Groupe AIM inc. Rimouski (Québec) Canada. 64 p. et annexes. ISBN 978-2-9815799-0-4.

## Préambule

Ce projet est l'un des quatre projets pilotes qui s'inscrivent dans l'action 1.4 du *Plan d'intervention sur les algues bleu-vert 2007-2017*. Entre 2008 et 2012, grâce au *Plan d'intervention sur les algues bleu-vert 2007-2017* et à l'appui financier d'organismes du milieu (Conférence régionale des éluEs du Bas-Saint-Laurent, Organisme des bassins versants du Nord-Est du Bas-Saint-Laurent), deux biotechnologies vertes à l'échelle expérimentale ont été adaptées au milieu naturel afin de valider leur capacité à retirer du milieu le phosphore, élément clé dans l'évolution du phénomène d'eutrophisation et dans l'occurrence des explosions algales de cyanobactéries en milieu aquatique.

Le site ayant servi de laboratoire naturel est le lac à l'Anguille. Plan d'eau de taille moyenne (98 ha), il est situé dans la municipalité de Saint-Anaclet-de-Lessard, Bas-Saint-Laurent, Québec (Canada). Habité depuis plus de 100 ans, on y dénombre en bordure 82 résidences permanentes isolées ainsi qu'une entreprise agricole de type laitière comptant quelque 300 têtes. Seuls trois petits tributaires de faibles débits l'alimentent, et sa masse d'eau est relativement stagnante. Les conditions favorables pour une accumulation progressive et excessive de phosphore dans ses eaux y sont réunies.

L'Association de la protection de l'environnement du lac à l'Anguille est l'organisme communautaire responsable de veiller à la sauvegarde de l'intégrité des écosystèmes présents. Des épisodes d'efflorescences algales (*algal blooms*) y sont observés périodiquement depuis environ 30 ans et, depuis le début des années 2000, le phénomène s'avère récurrent et d'intensité accrue. Les deux innovations sont l'îlot végétal flottant (IVF) et le marais filtrant à écoulement horizontal surfacique (MFEHS). Ces biotechnologies vertes, bien qu'employées de par le monde à des fins de traitement des eaux usées de diverses sources (villages écologiques, entreprises bovines et porcines, aquaculture, sites miniers, aéroports, etc.), n'ont pour le moment pas été appliquées et intégrées au milieu naturel pour restaurer des habitats pollués et perturbés par l'homme. Le but de ce suivi expérimental est de statuer sur la pertinence et le potentiel qu'offrent ces deux approches en tant que méthodes curatives pour les plans d'eau québécois aux prises avec la problématique d'eutrophisation liée aux surplus de phosphore. Ainsi, l'objectif du projet consiste à quantifier le phosphore pouvant être retiré du milieu par ces deux biotechnologies au cours d'une saison ou d'une année. À cet objectif principal s'est greffée une multitude de paramètres connexes qui nécessitaient un suivi.

Ce document présente la méthodologie, les objectifs et les résultats obtenus pour le volet 1 du projet pilote de restauration du lac à l'Anguille, soit le suivi de l'IVF (*artificial floating island* (AFI) ou *floating treatment wetlands* (FTW)) durant les années 2008, 2009, 2010 et 2012. Pour sa part, le volet 2 traite des résultats de l'expérimentation d'un marais filtrant pour réduire les apports de phosphore au lac (Roy 2016).

## Remerciements

L'auteur tient à remercier particulièrement et chaleureusement le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (MDDELCC), la Conférence régionale des éluEs, de même que l'OBV du Nord-Est du Bas-Saint-Laurent. D'une part, ce projet n'aurait été possible sans leur intérêt profond dans le développement de méthodes curatives avant-gardistes et durables. D'autre part, sa réalisation repose en grande partie sur les contributions financières accordées à diverses étapes de sa réalisation.

J'exprime ainsi toute ma gratitude envers monsieur André Lévesque (président de l'APELA inc.), ainsi qu'à monsieur Bruno Vincent (UQAR), madame Adeline Piot (UQAR), monsieur Éric Manseau (biologiste, Groupe AIM inc.), mesdames Annick Dumouchel et Geneviève Faille (biologistes, Groupe AIM inc.) et monsieur Paul Pelletier (graphiste, Groupe AIM inc.).

Merci également à tous ceux et celles qui ont contribué à ce projet de manière moins marquée, mais dont l'apport, si petit soit-il, a été tout aussi important et apprécié.

Enfin, un merci spécial à madame Lise Boudreau (biologiste, MDDELCC), coordonnatrice des projets pilotes au MDDELCC, tant pour son professionnalisme que pour sa passion, sa patience, sa diplomatie, son empathie et son soutien constamment renouvelé.

## Résumé

Un suivi préliminaire du potentiel de l'IVF a eu lieu à la saison 2008. Le projet pilote a permis d'améliorer et de poursuivre ce suivi pour une durée de 2 années (2009 et 2010). En 2012, grâce à l'appui financier de l'OBVNEBSL, des analyses tissulaires supplémentaires ont été effectuées. Ces analyses étaient essentielles, car au cours des années de suivis antérieures (2008, 2009 et 2010), la quantité de phosphore retirée par les plantes sur l'IVF était estimée pour le spécimen en entier, tiges et racines confondues, alors qu'en situation d'utilisation comme moyen de lutte aux cyanobactéries, seule la partie aérienne (tige) de la plante est récoltée. Dix (10) espèces de plantes ont été suivies. La disponibilité des données de rendement par espèce est variable selon l'année, car certaines espèces ont démontré des problèmes d'adaptation au milieu lors de la plantation, alors que d'autres ont été affectées par la déprédation.

La croissance des plantes sur l'îlot en 2008 a été remarquable. Pour 2009 et 2010, la croissance des plantes a été beaucoup moins importante que celle des spécimens de la cohorte de 2008. Il importe de spécifier que les semis implantés sur l'îlot en 2008 étaient issus de spécimens matures par bouturage ou division, tandis que les nouveaux semis à l'essai sur l'IVF en 2009 étaient immatures et issus de graines. Ainsi, un délai a été nécessaire afin de leur permettre d'atteindre leur maturité et d'exprimer leur pleine capacité filtrante. De plus, la croissance des nouveaux semis de 2009 a été affectée par un stress post-plantation potentiellement dû aux températures froides enregistrées en juin, juillet et début août 2009, ce qui n'a pas été le cas pour les semis de 2008. Les semis immatures mis en place en 2009 ont régressé (jaunissement et mortalité de la tige) pour ensuite redémarrer leur croissance tardivement (nouvelle tige), de telle sorte que la croissance enregistrée en 2009 fut faible pour la majorité des nouveaux semis ensemencés sur l'îlot. En 2010, les semis de 2009 sont demeurés sur l'îlot et ont connu une croissance positive, sans toutefois atteindre leur taille maximale. La croissance de 2012 a été excellente, les spécimens immatures étant devenus matures entre-temps.

Dans l'ordre, les espèces les plus performantes ont été la *Typha l.*, l'*Iris p.* et la *Spartina p.* Les résultats de 2009 et 2010 pour le retrait total de phosphore par saison pour l'IVF de 20 m<sup>2</sup> ont varié de 8 816 mg à 9 295 mg, correspondant à un taux de retrait journalier moyen de 4,1 mg/m<sup>2</sup> et maximal spécifique de 14,6 mg/m<sup>2</sup> en 2009 et, dans le même ordre, de 4,3 et 17,6 mg/m<sup>2</sup> en 2010. La récolte du phosphore aérien (PT dans la tige) des spécimens matures en 2012 a permis le retrait de 12 275 mg, sans compter la portion du phosphore racinaire (non déterminée). La récolte de la tige de la *Typha l.* offre le meilleur taux de retrait (10 mg de P/m<sup>2</sup>/j). La valeur référence de taux de retrait de PT de 10 mg/m<sup>2</sup>/j et de 1 000 mg/m<sup>2</sup> par saison est recommandée dans le calcul de détermination de la superficie d'IVF requise pour traiter le lac à l'Anguille. On évalue à 7 % la surface d'îlots requise pour un traitement rapide et complet et à 3 % la valeur d'impact pour restaurer à moyen ou long terme ce plan d'eau de type mésotrophe au Bas-Saint-Laurent.

## Table des matières

	Page
Équipe de réalisation .....	i
Préambule.....	ii
Remerciements.....	iii
Résumé .....	iv
Liste des tableaux .....	vii
Liste des figures .....	viii
Liste des annexes.....	x
1.0 Introduction .....	1
1.1 Mise en situation .....	1
1.2 Une biotechnologie prometteuse.....	1
1.3 Objectif de l'étude .....	3
1.4 Justification du projet .....	4
2.0 Matériel et méthodes.....	5
2.1 Site d'étude.....	5
2.2 Historique du suivi de 2008 .....	8
2.3 Suivi 2009, 2010 et 2012.....	8
2.3.1 <i>Croissance, survie et adaptation</i> .....	10
2.3.2 <i>Échantillonnage, analyses en laboratoire et performances épuratrices des plantes et du substrat</i> .....	10
2.3.2.1 Échantillonnage.....	10
2.3.2.2 Analyses de laboratoire .....	11
2.3.2.3 La siccité.....	11
2.3.2.4 Le phosphore total (PT) .....	11
2.3.2.5 Le PT et le substrat.....	12
2.3.2.6 Particularités de 2012 .....	13
2.3.3 <i>Paramètres physico-chimiques et répartition spatiale de l'échantillonnage</i> ....	13
2.4 Ajustements au protocole.....	14
2.5 Transparence du milieu .....	15
2.6 Analyse des composantes structurelles de l'îlot.....	15
3.0 Résultats et Discussion .....	16
3.1 Évolution des tailles et des poids moyens.....	16
3.1.1 Comparaison des tailles moyennes interannuelles.....	18
3.2 Taux de survie, résistance et adaptation.....	22
3.2.1 Saison 2008 .....	22
3.2.2 Saison 2009 .....	23
3.2.3 Saison 2010 .....	23

3.3 Performances épuratrices de l'îlot et des espèces à l'essai .....	25
3.3.1 Concentrations tissulaires en PT à la plantation .....	25
3.3.2 Concentrations tissulaires en PT à la récolte.....	27
3.3.3 Concentrations en PT du substrat .....	30
3.3.4 Accumulation tissulaire spécifique par unité de surface (plantes) .....	31
3.3.5 Accumulation spécifique par unité de surface (substrat).....	33
3.3.6 Taux de retrait par unité de surface et de temps.....	33
3.3.6.1 <i>Le substrat</i> .....	33
3.3.6.2 <i>Les plantes</i> .....	34
3.3.6.3 <i>Retrait associé à la récolte de la tige</i> .....	35
3.3.6.4 <i>Les plantes et le substrat</i> .....	35
3.3.7 <i>PT retiré annuellement par l'IVF de 20 m<sup>2</sup></i> .....	36
3.3.8 <i>L'influence du substrat</i> .....	38
3.3.9 <i>L'influence de la concentration en PT du milieu</i> .....	39
3.3.10 <i>La récolte des tiges par faucardage</i> .....	40
3.3.11 <i>Les espèces vedettes</i> .....	41
3.4 Quantification des effets directs de l'îlot sur le milieu aquatique .....	42
3.4.1 Les paramètres de la qualité de l'eau .....	42
3.5 Évaluation structurelle des composantes de l'IVF.....	46
3.5.1 Solidité, flottabilité et durabilité.....	46
3.5.2 Système d'aération .....	47
3.6 Superficie d'îlots requise.....	48
4.0 Recommandations .....	51
5.0 Conclusion.....	53
6.0 Références, ouvrages et sites consultés.....	56
Annexe 1 : Tableaux des données .....	65
Annexe 2 : Exemple de calcul de la superficie d'IVF requise : le cas du lac à l'Anguille ....	76
Annexe 3 : Influence de l'IVF sur le milieu : traitement statistique .....	78

## Liste des tableaux

	Page
Tableau 1. Liste des 3 espèces les plus performantes selon l'année au cours du suivi.....	41
Tableau 2. Résultats de l'analyse statistique pour la saison chaude.....	42

## Liste des figures

	Page
Figure 1. Localisation géographique du lac à l'Anguille et de l'IVF.....	6
Figure 2. Poids moyens humides (g) en 2009.....	16
Figure 3. Poids moyens humides (g) en 2010.....	17
Figure 4. Poids moyens humides (g) 2012.....	17
Figure 5. Comparaison des tailles moyennes (mm) des cohortes de semis de 2008 à 2011..	18
Figure 6. Moyennes des tailles (mm) et poids (g) des diverses espèces de 2008 à 2012.....	20
Figure 7. Taux de survie des espèces présentes sur l'IVF en 2008.....	22
Figure 8. Survie des différentes espèces de la cohorte de semis nouvellement ensemencés sur l'IVF au printemps 2009.....	23
Figure 9. Taux de survie des diverses espèces de l'IVF entre la fin de la saison 2009 et la fin de la saison 2010.....	24
Figure 10. Teneurs et concentrations tissulaires en PT des espèces lors de la plantation en 2008.....	25
Figure 11. Teneurs et concentrations tissulaires en PT des espèces lors de la plantation en 2009.....	26
Figure 12. Teneurs et concentrations tissulaires en PT des espèces lors de la récolte automnale du 10 octobre, saison 2008.....	27
Figure 13. Teneurs et concentrations tissulaires en PT des espèces lors de la récolte automnale du 2 octobre, saison 2009.....	28
Figure 14. Teneurs et concentrations tissulaires en PT des espèces lors de la récolte automnale du 2 octobre, saison 2010.....	28
Figure 15. Teneurs et concentrations tissulaires moyennes pondérées (tige et racine) en PT des espèces lors de la récolte automnale du 30 août, saison 2012.....	28
Figure 16. Teneurs et concentrations tissulaires moyennes en PT de la partie aérienne (tige) des espèces lors de la récolte automnale du 30 août, saison 2012.....	29
Figure 17. Teneurs et concentrations tissulaires moyennes en PT de la partie racinaire (racine) des espèces lors de la récolte automnale du 30 août, saison 2012.....	29
Figure 18. Résumé de la teneur moyenne en PT des diverses espèces et des différentes parties de la plante (tige, racine ou complète pondérée) en date du 30 août 2012.....	29
Figure 19. Contenu de PT par m <sup>2</sup> et par espèce pour la saison 2009.....	31
Figure 20. Contenu de PT par m <sup>2</sup> et par espèce pour la saison 2010.....	32

Figure 21. Contenu moyen de PT (mg) par m <sup>2</sup> , présenté indépendamment pour la tige et la racine, par espèce pour la saison 2012.....	33
Figure 22. Taux de retraits journaliers des espèces de l'IVF en 2009 et 2010.....	34
Figure 23. Taux de retraits associés au faucardage de la tige des espèces de l'IVF en 2012..	35
Figure 24. Taux de retrait journalier de PT combiné (substrat + plante) des espèces de l'IVF en 2009 et en 2010.....	36
Figure 25. Taux de retrait en PT combiné (tige-substrat) des espèces de l'IVF en 2012.....	36
Figure 26. Retrait annuel total par espèce de l'IVF en PT (mg) pour la saison 2009.....	37
Figure 27. Retrait annuel total par espèce de l'IVF en PT (mg) pour la saison 2010.....	37
Figure 28. Retrait annuel total par espèce de l'IVF en PT (mg) aérien pour la saison 2012....	38
Figure 29. Variations intersites de la température.....	43
Figure 30. Variations intersites de la conductivité.....	44
Figure 31. Variations intersites de l'oxygène.....	44
Figure 32. Variations intersites de la turbidité.....	45
Figure 33. Variations intersites du pH.....	45

## Liste des annexes

	Page
Annexe 1 : Tableaux des données.....	65
Annexe 2 : Exemple de calcul de la superficie d'IVF requise : le cas du lac à l'Anguille.....	76
Annexe 3 : Influence de l'IVF sur le milieu : traitement statistique.....	78

## **1.0 Introduction**

### **1.1 Mise en situation**

Le Québec n'échappe pas au phénomène planétaire d'eutrophisation accélérée et d'explosion de cyanobactéries. Chaque année, de nouveaux lacs sont touchés et la liste des plans d'eau affectés s'allonge (MDDEFP 2014). Cette situation critique justifie l'expérimentation de nouvelles biotechnologies pouvant porter secours à nos plus grandes richesses : les lacs et les cours d'eau. L'expérience proposée et réalisée dans le cadre de ce suivi est probablement unique en son genre et, à notre connaissance, n'avait jamais été faite auparavant dans de telles conditions, soit un environnement entièrement naturel (plan d'eau de près de 100 ha). En tant que première, cette situation a inévitablement apporté son lot de défis à relever.

D'une durée initiale de deux ans, l'aide accordée a permis le déploiement et le suivi d'un îlot végétal flottant (*floating wetlands treatment systems*) expérimental harmonisé au milieu naturel. Selon Headley et Tanner (2006), l'îlot végétal flottant combine à la fois les avantages associés aux capacités épuratrices des milieux humides et la flexibilité d'un système de traitement s'adaptant aux fluctuations de débits et aux variations de niveaux, sans subir ni dommage ni perte d'efficacité. L'épais tapis racinaire établi sous l'îlot crée un milieu favorable aux échanges entre les racines, les micro-organismes et les nutriments contenus dans la colonne d'eau. Afin d'assurer leur croissance, les plantes présentes sur l'îlot doivent puiser les nutriments contenus dans la masse d'eau. Ce sont ces mêmes nutriments qui, lorsque présents en quantité excessive, causent l'eutrophisation. L'IVF est malléable, de taille adaptable et peut être positionné en zone littorale comme en zone profonde, ce qui accroît son potentiel d'application, de rendement et d'efficacité. D'aspect naturel, il est esthétiquement agréable et sa présence contribue à augmenter la qualité et la quantité d'habitats fauniques aquatiques (traduit de Headley et Tanner 2006). Si, à l'aide des îlots végétaux flottants filtrants artificiels, on parvient à extraire de l'eau les nutriments nuisibles, peut-être parviendrons-nous à ralentir ou à freiner le processus d'eutrophisation d'un plan d'eau.

### **1.2 Une biotechnologie prometteuse**

Depuis quelques années, l'emploi de l'IVF en tant que méthode de traitement des eaux usées est en pleine expansion. Alors que les études sur le sujet étaient rarissimes il y a à peine dix ans, d'importantes avancées ont été réalisées depuis. Davantage d'études se poursuivent afin de sélectionner les plantes les plus performantes selon les besoins des sites à restaurer (Fengliang 2012) et d'établir des normes d'application à grande échelle

(Headley et Tanner 2012). De nombreux pays autorisent cette méthode pour le traitement secondaire ou tertiaire des eaux usées et comme approche curative pour la restauration des lacs et cours d'eau eutrophes.

Les écrits scientifiques et revues de littérature disponibles sur le sujet tendent à confirmer le potentiel d'application de cette biotechnologie pour le biotraitement des eaux qualifiées usées de diverses sources ainsi que pour les eaux eutrophes des lacs et cours d'eau (Borne et coll. (2013), Smith et Kalin (2000), Boutwell (2002), Todd (2003), Hubbard (2004), Van der Moortel (2008), Park et coll. (2008, 2011), Sukias et coll. (2010 a, 2010 b), Headley et Tanner (2006, 2008, 2011), Tanner et Headley (2011), Fengliang et coll. (2012)...).

Le retrait du phosphore, exprimé par surface ou pour un volume, est comparable d'une étude à l'autre pour un milieu de croissance similaire. Cependant, on observe une certaine variabilité quant à la performance filtrante selon le contexte dans lequel se situe l'étude, variabilité qui semble essentiellement reliée au niveau de concentration initial en P disponible dans le milieu à l'étude. Des taux de retraits journaliers de phosphore de l'ordre de 0,002 à 0,005 g de P/m<sup>2</sup> pour de l'eau en provenance d'un lac eutrophe et traitée en circulation sont notés, alors que des taux de 0,054 à 0,058 mg de P/m<sup>2</sup> sont enregistrés pour de l'eau aux propriétés similaires à un lac eutrophe et traitée par un IVF dans des bassins contrôlés (Tanner et coll. 2011). Sukias et coll. (2011) enregistrent des valeurs variant de 0,011 à 0,015 g/m<sup>2</sup> et de 0,015 à 0,021 g/m<sup>3</sup> de retrait de phosphore total par jour pour de l'eau en provenance d'un lac eutrophe dont la [PT] varie de 0,017 à 0,019 g/m<sup>3</sup>.

Lors d'une expérience en milieu contrôlé d'une durée de dix mois avec des bassins alimentés en eaux usées ([PT] 2,2 ± 0,28 mg/l) puisées à l'usine de traitement des eaux, Van de Moortel (2008, 2010) observe une efficacité de retrait du phosphore total de 30 ± 22 % pour un microcosme avec IVF et de -4 ± 18 % pour le milieu témoin (sans IVF). En trois jours, Tanner et Headley (2011) ont enregistré un taux de retrait de 76 % du phosphore total dans des microcosmes munis de l'IVF et alimentés par l'eau soutirée d'un lac eutrophe. Fengliang et coll. (2012) ont noté, lors d'une expérience d'une durée de 16 jours, une réduction de 86,5 % de la concentration initiale en phosphore total pour une eau eutrophe d'origine naturelle. Des taux de retraits moyens en phosphore total de 64,5 % et de 26 % respectivement durant la période été-automne et la période printemps-hiver ont également été notés par les mêmes auteurs (Fengliang et coll. 2012) lors du traitement expérimental des eaux eutrophes ([PT]<sub>initial</sub> de 1,2 mg/dm<sup>3</sup>) d'une rivière de la province du Zhejiang en Chine. En termes de [PT] et autres paramètres de la qualité de l'eau, certaines de ces études se déroulent dans des environnements et des contextes expérimentaux aux conditions similaires à celles retrouvées au lac à l'Anguille (White et Cousins 2013, Tanner et Headley 2011, Li et coll. 2010, Suskias et coll. 2011, Fengliang et coll. 2012). Il est donc de mise de croire que les performances obtenues lors de ces expériences pourraient être renouvelées dans le cadre d'une application en milieu naturel et en sol québécois.

### 1.3 Objectif de l'étude

L'expérience consistait à déployer en milieu naturel une île artificielle flottante ensemencée de jeunes plantules. L'objectif est de déterminer combien de phosphore (en poids), et à quel rythme (en temps), les plantes et le substrat de l'IVF retirent du milieu naturel. Le phosphore est reconnu comme étant un élément clé dans le processus d'eutrophisation (Hade 2003). Pour cette raison et afin de réduire les coûts reliés aux analyses en laboratoire, un seul paramètre a été retenu pour cette expérience, soit le phosphore total. La mesure du phosphore total est révélatrice, car celui-ci contient les deux principales formes de phosphore présentes dans l'eau (P-particulaire et P-dissous). L'île végétale flottante employée durant l'expérience est dotée d'un substrat de croissance neutre et dépourvu de nutriments. En interaction avec la flore bactérienne qui se développe à l'intérieur du substrat et à l'interface racinaire appelée le biofilm, les plantes de l'IVF ont comme principale source d'alimentation les nutriments présents dans l'eau pour croître. Le prélèvement automnal des parties aériennes et racinaires des plantes après une saison de croissance et l'analyse de leur contenu tissulaire en phosphore total ont servi à mesurer la quantité de phosphore retirée du milieu par les différentes espèces de plantes filtrantes présentes sur l'îlot, et ce, en 2008 (prétest), 2009, 2010 et 2012.

Un premier essai, ou prétest a été réalisé à la saison 2008. Au printemps 2009, pour entreprendre le suivi, la majeure partie des spécimens servant au prétest de 2008 ont été retirés de l'îlot. L'îlot a été réensemencé d'une nouvelle cohorte de jeunes plants immatures, nommée cohorte 2009. Seule une partie des spécimens ensemencés lors du prétest de la saison 2008 a été conservée sur l'îlot pour la suite de l'expérience (cohorte 2008).

Du coup, l'étalement du projet sur plusieurs saisons (2009, 2010 et 2012) a permis de suivre deux cohortes de diverses espèces de plantes (2008 et 2009) au fil du temps et de constater l'effet de l'âge ou de la taille du spécimen sur ses performances filtrantes. De plus, il est d'autant intéressant de noter que la cohorte de 2008 est constituée de plants ensemencés de type forte taille et créés par division à partir de plants matures (plants mères), tandis que les spécimens composant la cohorte ensemencée en 2009 étaient issus de graines, immatures et de plus petites tailles.

L'automne venu, environ 5 spécimens par espèce ont été prélevés de l'îlot à des fins d'analyses en laboratoire, et ce, pour les deux cohortes. Le poids humide de chaque spécimen a été noté sur le terrain ou à l'arrivée au laboratoire. Leur taux de siccité a été obtenu en laboratoire afin d'en déduire le poids sec. Un échantillon de chaque spécimen a été prélevé et analysé. La teneur tissulaire en phosphore total présente dans l'échantillon a ensuite été employée pour quantifier le contenu de phosphore total par plant prélevé sur l'îlot. À l'aide des densités spécifiques respectives observées ( $n/m^2$ ), on obtient un taux moyen de retrait de phosphore total (PT) par unité de surface et par unité de temps (mg de

PT/m<sup>2</sup>/j) pour chaque espèce et cohorte présente sur l'IVF. Implicitement, le taux de retrait peut être déduit pour une journée (j), un mois ou une saison complète de croissance.

Tout au long du suivi, le décompte des spécimens ensemencés et la prise des mensurations mensuelles ont servi à évaluer la croissance et la survie des diverses espèces présentes sur l'IVF.

Cette étude vise également à quantifier les performances de chaque espèce dans le but de comparer son efficacité et, éventuellement, de cibler les plus performantes en termes de retrait de phosphore total, d'adaptation, de survie et de résistance au milieu naturel (croissance, multiplication, mortalité). Cette approche permettra d'optimiser une éventuelle application à grande échelle de cette méthode curative.

Enfin, ce projet présente des résultats pour un modèle *experimental* d'îlot végétal flottant. Ce dernier se distingue des modèles commerciaux existants par sa fabrication plus robuste et un substrat de tapis de noix de coco. Il a été conçu afin de résister aux rigueurs de l'hiver. Sa flottabilité a été accrue pour faciliter les déplacements et les manipulations requises à même l'îlot lors de l'expérience. Le suivi de l'état de ses composantes structurelles a été réalisé afin de confirmer la qualité de sa conception, en faire ressortir les avantages et les inconvénients, et, au besoin, y apporter les correctifs ou améliorations nécessaires. Ainsi, les bris, et les ajustements requis pour le bon fonctionnement de ce prototype d'IVF ont été notés en cours de route.

#### **1.4 Justification du projet**

Cette biotechnologie est pour le moment peu employée au Québec et ses performances pour notre province n'étaient pas suffisamment documentées. La présente étude avait pour objectif de vérifier l'efficacité de cette approche en milieu naturel québécois dans la perspective éventuelle de l'intégrer à la liste des actions autorisées pour lutter contre l'eutrophisation accélérée des milieux aquatiques.

Enfin, la mise à l'essai de cette biotechnologie verte dans un environnement naturel et représentatif devait permettre de cibler et de résoudre les problématiques potentielles afin de mieux définir les bases et les règles en vue d'un déploiement d'IVF à plus grande échelle.

## 2.0 Matériel et méthodes

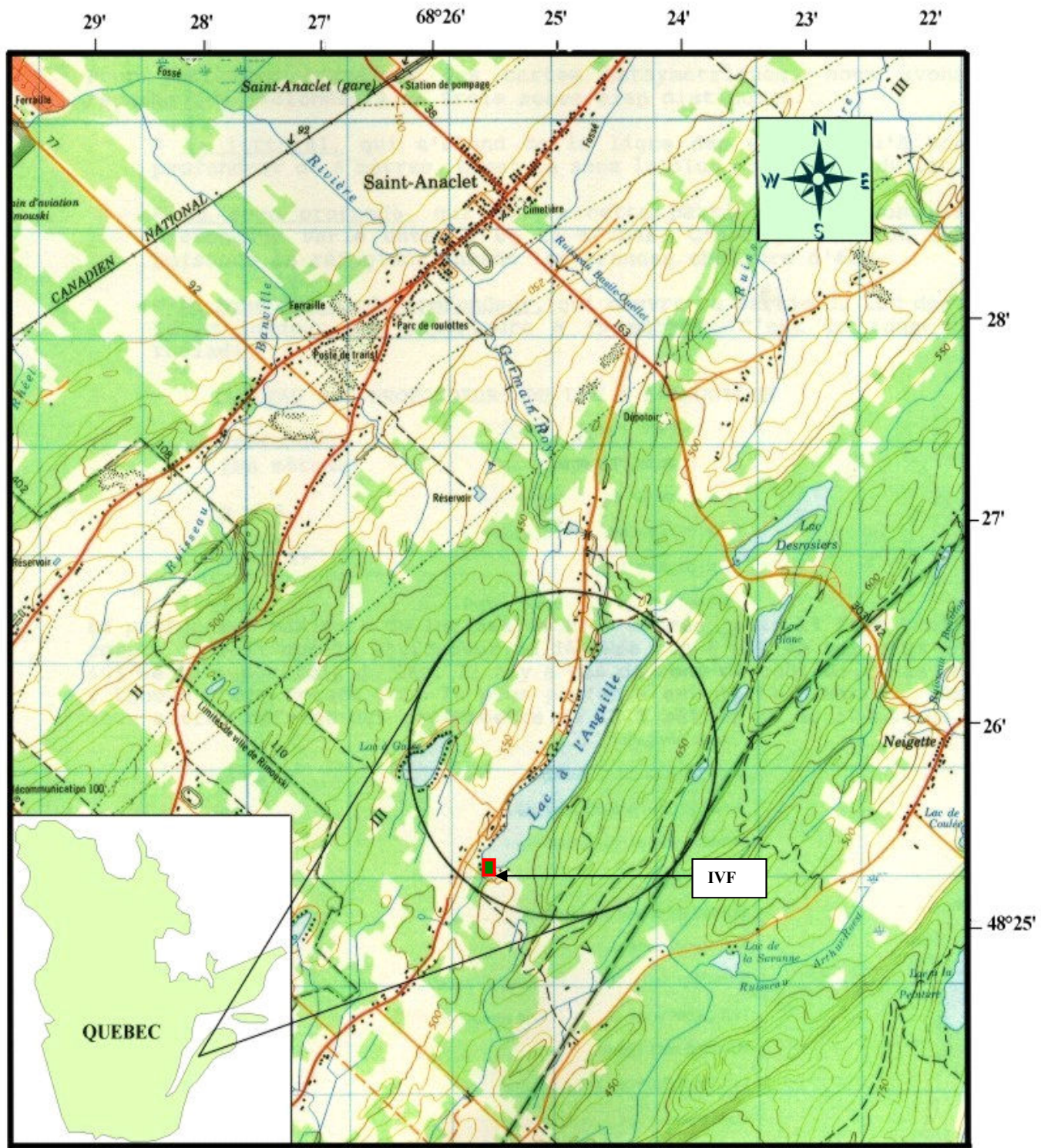
Le suivi expérimental de l'IVF s'est déroulé de 2009 à 2010, et une série d'analyses complémentaires ont été ajoutées en 2012. En 2008, un suivi de base a été réalisé à titre privé par le consultant. Ce suivi ne faisait pas partie du suivi prévu au projet pilote. Cependant, puisque certaines données intéressantes en ont découlées, elles ont été incorporées à la présente étude.

### 2.1 Site d'étude

Au printemps 2008, l'îlot végétal flottant expérimental de 20 m<sup>2</sup> (photo 1) a été installé au lac à l'Anguille, plan d'eau méso-eutrophe de la municipalité de Saint-Anaclet-de-Lessard, région du Bas-Saint-Laurent (Québec, Canada) (figure 1).



Photo 1. Modèle expérimental de l'IVF



Échelle 1: 50 000

Figure 1. Localisation géographique du lac à l'Anguille et de l'IVF

Sur une structure protectrice en aluminium munie d'un cadre flottant et d'un support métallique central, diverses espèces de macrophytes issus de plants matures par bouturage ou division ont été ensemencées dans des tapis de noix de coco déployés sur l'IVF.

Les 8 espèces sélectionnées en 2008 étaient : 100 spécimens de Quenouilles à larges feuilles (*Typha latifolia*) et d'Éléocharides de Smaal (*Eleocharis smallii*), 50 Joncs épars (*Juncus effusus*) et Scirpes vigoureux (*Scirpus validus*); 25 Sagittaires à larges feuilles (*Sagittaria latifolia*), Pontédéries cordées (*Pontederia cordata*), Iris versicolores (*Iris versicolor*) et Iris des marais (*Iris pseudacorus*).



Photos 2 et 3. Mise en place des semis en 2008

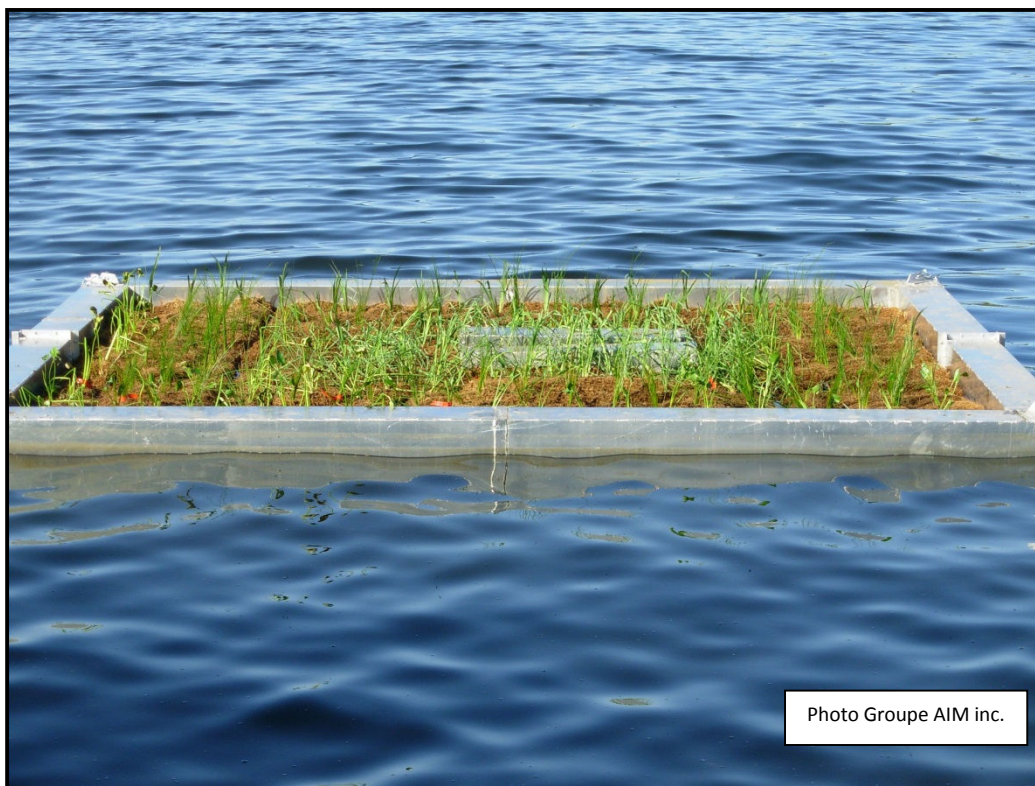


Photo 4. Ilot végétal flottant déployé le 4 juin 2008 au lac à l'Anguille

## 2.2 Historique du suivi de 2008

Dans le cadre de son département de R et D, le Groupe AIM inc., grâce au soutien financier de la Conférence régionale des éluEs du Bas-Saint-Laurent, a pu concevoir et mettre en place un IVF expérimental au lac à l'Anguille au printemps 2008. Un certificat d'autorisation pour mettre à l'essai cette biotechnologie avait préalablement été obtenu du MDDELCC en 2008 par le consultant.

L'objectif principal de 2008 était de quantifier les taux de survie et de croissance de chaque espèce de plantes ayant séjourné sur l'IVF durant une année complète, ainsi que sa teneur tissulaire en phosphore total (PT). En effet, bien que cette méthode affiche des rendements intéressants sur la plupart des continents, rien ne garantissait son efficacité sous nos conditions, ainsi que la survie des plantes lors de la période hivernale. La mesure de la croissance mensuelle des plantes ainsi que l'analyse de la teneur tissulaire des plantes en phosphore (tige et racine confondues) à partir du prélèvement de 3 à 5 spécimens entiers (analyses en laboratoire) en début et en fin de suivi annuel étaient notées. Ces deux paramètres devaient permettre, avec un budget très restreint, de cibler les espèces les plus performantes à employer sur un IVF, soit celles ayant affiché les meilleurs taux de croissance et les plus fortes teneurs tissulaires en phosphore. L'effet de l'îlot sur les conditions du milieu était vérifié par la prise de données physico-chimiques ( $O_2$ , conductivité, pH, température, turbidité, PT) sous et en périphérie de l'IVF.

## 2.3 Suivi 2009, 2010 et 2012

La première année de suivi (2008) a servi de base à élaboration du protocole de suivi dans le cadre du projet pilote (2009, 2010 et 2012). La méthodologie de suivi de 2009-2010 (Roy 2008; Roy et coll. 2010) s'apparente à celle développée en 2008.

Une partie des plantes ensemencées sur l'îlot en 2008 a été retirée et remplacée par un lot de nouveaux semis afin d'avoir un îlot présentant des spécimens en début de croissance et constituant l'état de référence. Les semis de la cohorte 2009 ensemencés sur l'IVF étaient des spécimens issus de la graine et de moins d'un an d'âge (0 +). En 2009, certaines espèces mises à l'essai en 2008 ont été remplacées par de nouvelles espèces en raison soit de leur difficulté d'adaptation à l'IVF (c.-à-d. *Scirpus validus*), ou de leur vulnérabilité à la déprédation par broutage de leurs tiges aériennes ou de leurs systèmes racinaires par les canards (c.-à-d. *Sagittaria latifolia*, *Eleocharis smallii*). Néanmoins, des spécimens des espèces *prometteuses* mises à l'essai en 2008 (cohorte 2008) ont été conservés sur l'îlot afin de suivre leur évolution et de noter leurs performances filtrantes lors des prochaines années du suivi, et ce, en tant que spécimens matures et plus âgés.

Les espèces ensemencées pour le projet pilote 2009-2010 (cohorte 2009) étaient la *Typha latifolia* (*Typha l.*), le *Juncus effusus* (*Juncus e.*), l'*Iris versicolor* (*Iris v.*); l'*Iris pseudacorus* (*Iris p.*); la *Pontederia cordata* (*Pontederia c.*); le *Sparganium eurycarpum* (*Sparganium e.*), la *Spartina pectinata* (*Spartina p.*) et la *Glyceria canadensis* (*Glyceria c.*). Les densités de plantation ont varié de 20 à 60 spécimens/m<sup>2</sup> selon l'espèce.



Photos 5 et 6. Mise en charge de l'îlot au printemps 2009 (cohorte 2009)



Photo 7. Les spécimens en avant-plan et de fortes tailles sont ceux issus de la cohorte de 2008 et conservés comme spécimens matures pour la suite du suivi

### **2.3.1 Croissance, survie et adaptation**

La croissance (mm) (sous-échantillon ou en totalité) a été notée mensuellement à partir de la mesure de la longueur de la tige principale (mm). L'objectif était de vérifier si la croissance des spécimens ensemencés sur l'IVF serait comparable à celle notée dans leur environnement naturel. Un nombre minimal de 25 spécimens par espèce a été mesuré tout au long des saisons de croissance 2008, 2009 et 2010. En 2012, seule la croissance totale a été notée en fin de saison. La croissance des diverses espèces de plantes (mm) a été comparée avec leur efficacité filtrante respective. La croissance pondérale (poids humide, balance électronique *OHAUS Valor 2000*) a été évaluée à partir des spécimens entiers (n = 2 à 5) récoltés à des fins d'analyses en laboratoire.

La résistance spécifique aux maladies, au broutage et à la compétition a été notée par observations visuelles en 2008, 2009 et 2010. Le taux de survie par espèce a été évalué en 2008, 2009 et 2010. Les taux de survie de 2008 et de 2009 ont été obtenus par décompte total du nombre de spécimens présents dans les parcelles (tapis de noix de coco) au début et en fin de saison respective. Le taux de survie de 2010 a été calculé à partir du nombre final à l'automne 2009 et du décompte de l'automne 2010. L'effet de colonisation et de multiplication des plants du printemps 2009 à l'automne 2010 a été déterminé par décompte total des individus de chaque espèce à la fin de la saison 2010 et comparé au nombre ensemencé initialement au printemps 2009. L'évaluation de la résistance spécifique au gel s'est avérée trop complexe et n'a pu être déterminée. Elle est incluse comme facteur de mortalité potentiel dans le taux de survie interannuel.

### **2.3.2 Échantillonnage, analyses en laboratoire et performances épuratrices des plantes et du substrat**

#### **2.3.2.1 Échantillonnage**

Chaque automne, un échantillon d'environ 3 à 5 spécimens entiers (tiges et racines) et représentatifs de chaque espèce et cohorte (2008 et 2009) a été récolté, pesé (poids humide) et acheminé au laboratoire pour analyses. Lors de la récolte automnale des spécimens à des fins d'analyses, les spécimens ont été sélectionnés pour être représentatifs de l'espèce et de son évolution sur l'îlot, et ce, afin d'obtenir un portrait fiable des performances filtrantes au moment de la récolte. Puisque certains spécimens croissent plus rapidement que d'autres en réponse aux conditions variables retrouvées en milieu naturel (exposition, position sur l'IVF, etc.), l'échantillonnage effectué lors de la récolte se trouve composé de spécimens de tailles différentes (petite, moyenne et grande). Les semis ensemencés sur l'îlot en 2009 étaient immatures et ont atteint leur taille maximale en 2011-2012. Si, lors des récoltes de 2009 et de 2010, l'échantillonnage avait

été réalisé de manière à cibler préférentiellement les spécimens les plus grands, les rendements obtenus s'en trouveraient biaisés (surestimés). Évidemment, une grande variation dans la taille des spécimens récoltés, couplée à un nombre restreint de spécimens de chaque espèce, fait en sorte que l'on obtient une grande variabilité intra spécifique au niveau des poids. Ceci affecte la portée de l'analyse pondérale et constitue une limite à l'étude. Toutefois, le portrait et les résultats obtenus témoignent d'un IVF dont la maturité des spécimens de la cohorte 2009 n'est pas atteinte. Cette variabilité intraspécifique au niveau des poids tend à disparaître une fois les plantes de l'IVF arrivées à maturité (2012). Ainsi, à maturité, la taille et le poids moyen d'une *Pontederia c.* ou d'une *Typha l.* sont supérieurs au poids moyen et à la taille d'une *Glyceria c.* ou d'une *Spartina p.*

### **2.3.2.2 Analyses de laboratoire**

Les analyses de concentrations tissulaires ont été réalisées dans un laboratoire accrédité et certifié (Laboratoire Biologie Aménagement BSL). Ces analyses ont pris en considération, pour 2008, 2009 et 2010, un sous-échantillon sec, pesé et composé de parties égales de tige et de racine pour chaque spécimen. La biomasse et la teneur en PT ont été comptabilisées au début et à la fin de la saison de croissance 2009-2010. Les poids humides et les densités observées, les taux de siccité ainsi que les teneurs en PT issues des analyses de laboratoire constituent des données brutes.

### **2.3.2.3 La siccité**

La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Elle a été déterminée en laboratoire. À partir du poids humide total et du taux de siccité, le poids sec total de chaque spécimen et le calcul du poids moyen sec par espèce ont été déterminés. Ces valeurs ont servi aux calculs des indices de performance.

### **2.3.2.4 Le phosphore total (PT)**

La teneur tissulaire moyenne en PT pour chaque espèce est exprimée en mg/kg de matière sèche ou en % tissulaire. Elle est obtenue par la compilation de la moyenne des analyses en laboratoire de la teneur en PT pour les échantillons secs et pesés de parties égales de racine et de tige des spécimens de chaque espèce et cohorte. La quantité de PT pour chaque spécimen a été obtenue à partir de la teneur tissulaire en phosphore et de son poids sec. Une moyenne par espèce a été calculée afin d'extrapoler, à partir des densités observées, la quantité totale de PT (g ou mg) pour chaque espèce. En multipliant le poids sec par la densité de plants observés dans un mètre carré, le poids sec par m<sup>2</sup> pour l'espèce

ciblée est obtenu. La moyenne pour les 5 spécimens est appliquée aux densités observées pour déterminer les indices suivants :

- Le contenu moyen de PT (mg) m<sup>-2</sup> par espèce et par saison :  
*(PT à la récolte — PT en début de saison) \* moyenne du poids \* densité*

Ainsi, à partir des données brutes (voir tableaux en annexe 1) découlent des indices servant à exprimer de manières différentes (unités) combien de phosphore (quantité en poids) les différentes plantes de l'IVF ont retiré du milieu naturel, et à quel rythme ou vitesse (en temps). L'indice le plus couramment employé dans la littérature scientifique est le taux de retrait journalier :

- Le taux de retrait journalier moyen de PT mg/m<sup>2</sup> /jour et par espèce :

*(PT à la récolte — PT en début de saison) / nombre de jours de croissance de la saison*

- Le contenu (poids) total en PT (mg) de l'ensemble des plantes de l'IVF pour une saison de croissance (en considérant que chaque espèce occupe une superficie équivalente). Cet indice exprime combien (somme globale) de phosphore a été retiré par l'ensemble des plantes de l'IVF durant une saison :

*∑ des espèces : (PT à la récolte — PT en début de saison) \* poids moyen \* densité \* superficie d'occupation équivalente*

Les teneurs tissulaires des plantes et du substrat ont aussi été considérées séparément afin de pouvoir quantifier l'effet de chacun d'eux, indépendamment, et lorsque combinés. La concentration en PT dans la matrice a été déterminée afin de prendre en considération le retrait de PT, ou la séquestration de PT effectuée par la flore bactérienne contenue à l'intérieur du substrat de noix de coco.

### **2.3.2.5 Le PT et le substrat**

La concentration en PT dans la matrice (substrat de noix de coco) avant expérimentation (2009) et en fin d'expérimentation (2010) a été déterminée en laboratoire par analyses du PT à partir de 3 échantillons entiers (blocs) de tapis de noix de coco de poids et de dimensions connus. La teneur notée dans les blocs de substrats est rapportée en valeur équivalente pour la matrice entière (surface de 20 m<sup>2</sup>). Le taux journalier de retrait de la matrice est ensuite estimé. Il faut noter qu'au départ, le tapis de noix de coco est un substrat neutre ne contenant aucun PT.

### **2.3.2.6 Particularités de 2012**

En 2012, la récolte et les mensurations (poids humide et taille) des parties racinaires et aériennes des spécimens ont été effectuées de façon indépendante. Les analyses de la teneur tissulaire en phosphore total ont été déterminées en laboratoire de façon similaire, mais séparément, c'est-à-dire indépendamment pour la tige et la racine. La part de phosphore total contenue dans le réseau racinaire peut alors être distinguée de celle issue de la tige au moment de la récolte. De plus, en 2012, les deux cohortes présentes sur l'îlot avaient atteint leur pleine maturité.

Également, deux espèces de plantes présentes en 2008 ont subi de la déprédation et seul leur réseau racinaire est demeuré dans le substrat de l'IVF, empêchant la récolte des spécimens à des fins d'analyses. En 2012, certaines de ces espèces sont réapparues et ont atteint leur maturité, permettant ainsi des analyses tissulaires de phosphore total. Puisqu'aucune donnée n'avait été prélevée à la saison 2011 et qu'une partie du phosphore présent dans les racines des plantes au printemps 2012 était attribuable à la saison de croissance 2011, il a été impossible de quantifier directement le taux de retrait total (tiges et racines ensemble) pour l'an 2012. Néanmoins, cette saison supplémentaire était essentielle afin de préciser le ratio de P dans le système aérien vs racinaire et quantifier le retrait direct de phosphore associé au faucardage de la tige pour cette saison.

Il n'a pas été nécessaire de procéder aux analyses statistiques afin de confirmer les différences dans les capacités filtrantes des diverses espèces de plantes en raison des résultats obtenus, lesquels démontrent, de visu, des variations et différences évidentes. Pour conclure, la surface d'îlot conseillée pour freiner l'eutrophisation du plan d'eau (voir détails du calcul en annexe 2) a été estimée.

### ***2.3.3 Paramètres physico-chimiques et répartition spatiale de l'échantillonnage***

À l'instar de 2008, le suivi de l'impact de l'IVF sur le milieu par récolte des paramètres physico-chimiques sous et en périphérie de l'IVF s'est poursuivi. Les relevés physico-chimiques ont eu lieu au centre de la colonne d'eau, à divers endroits : directement sous l'îlot en son centre; à l'entrée de l'îlot et perpendiculairement à sa paroi; 4 mètres en avant de l'îlot; immédiatement à l'arrière de l'îlot; perpendiculairement à sa paroi; à plus de 10 mètres au large en direction du centre du plan d'eau. L'objectif de cette partie du suivi était de déceler si la présence de l'IVF a une influence sur la qualité physico-chimique du milieu récepteur. Les données ont été analysées grâce à une ANOVA à 2 facteurs sans réplication. Elles ont été transformées lorsque nécessaire afin de répondre aux conditions de normalité (Shapiro-Wilk) et d'homogénéité (observation visuelle). Finalement, les différences statistiques entre les traitements ont été analysées grâce à un test post-hoc de Tukey.

## 2.4 Ajustements au protocole

Des événements terrain incontrôlables sont survenus, et certains éléments du protocole ont dû être ajustés en cours de route. Le stress de plantation en 2009 a fait en sorte que la tige des nouveaux semis est morte graduellement après la plantation. Cette tige et sa teneur en phosphore avaient été comptabilisées avec la racine (inclusivement) et servaient comme valeur de référence de départ (mg/PT/kg de matière sèche ou ms). La tige morte est tombée et il y a eu, tardivement, une faible croissance de nouvelles tiges à la base des semis. Ainsi, la plante a perdu sa partie aérienne et le phosphore qu'elle contenait pour ensuite amorcer une nouvelle croissance à partir des nutriments présents dans le milieu et, potentiellement, des minces réserves contenues dans ses jeunes racines. La valeur de départ en termes de biomasse de P contenu dans les semis de 2009 n'était donc plus valide. Pour corriger la situation, les valeurs initiales de départ (au temps 0) en termes de quantité de phosphore contenu dans chaque spécimen analysé en début de croissance 2009 ont été ajustées en fonction de la perte de la partie aérienne.

La partie aérienne de la plante compte habituellement pour 40 à 60 % de la valeur totale de la biomasse des macrophytes et, en fonction de la latitude, de 25 à 35 % des réserves rhizomales sont réemployées au printemps pour assurer le début de la croissance aérienne (Asaeda et coll. 2005). La proportion de P contenu dans la tige est d'autant importante en début de croissance, alors que les spécimens en provenance des pépinières exhibent une partie aérienne riche et bien développée pour un système racinaire minimal (parfois chétif).

Pour l'IVF, les analyses et résultats obtenus en 2012 indiquent que le ratio moyen de phosphore dans la partie aérienne et racinaire de l'IVF se situait autour de 60 % : 40 % (61,3 % tige et 39,7 % racine). Madisson et coll. (2009) observent chez la *Typha l.* un contenu en azote et en phosphore plus élevé dans la biomasse de la tige que dans la racine. Pour estimer les valeurs de taux de retraits, la perte de la tige en P (g) se doit d'être prise en considération et comptabilisée. Pour les besoins de l'étude, la quantité initiale moyenne de phosphore déterminée pour chaque espèce au départ en 2009 a donc été ajustée et réduite afin d'obtenir la valeur suite à la mort de la tige (annexe 1, — tableau 1). Sans ce correctif, la valeur initiale (plantation) de phosphore aurait été semblable à la valeur finale (récolte), n'indiquant aucun retrait de phosphore du milieu ni croissance, ce qui est contraire à nos observations. Ceci induit un léger biais dans l'étude, mais, à notre sens, cette approche constitue la façon la plus appropriée pour l'utilisation et l'obtention de données fiables et représentatives.

La valeur en phosphore de départ de 2009, toute proportion gardée (60 - 40 %), a été employée comme valeur de référence pour l'année subséquente de suivi (2010). Ainsi, les valeurs moyennes ajustées de contenu en P (g) de départ en phosphore total (g) pour chaque espèce à la saison 2009 ont servi comme valeurs à soustraire aux valeurs obtenues à la fin de la saison 2010.

Même si la séquestration du P par les racines est effective et bénéfique, sa contribution réelle au chapitre du retrait du phosphore d'un milieu eutrophe était difficilement quantifiable avec précision dans le cadre des deux premières années de suivi de cette expérience (2009-2010). En raison du stress de plantation non anticipé de 2009, il aurait été préférable de procéder à l'analyse automnale indépendante de la tige et de la racine (teneurs et poids indépendants/séparément). Néanmoins, les valeurs obtenues en 2009 et 2010 sont conservatrices, fiables et représentatives des performances filtrantes observées.

Devant cette situation, il a été décidé de poursuivre le suivi pour une année supplémentaire et en présence de plantes ayant atteint leur pleine maturité sur l'IVF. Ainsi, pour le suivi de l'IVF à la saison 2012, soit en présence de plantes matures possédant un réseau racinaire bien développé, les analyses ont été effectuées de façon à considérer l'apport indépendant des systèmes racinaires et aériens dans le retrait du phosphore. Pour le système racinaire, cet apport est mitigé ou partagé sur plusieurs années selon la cohorte.

Par contre, pour la partie aérienne, qui est retirée (faucardée) chaque automne, le retrait annuel de phosphore est plus facilement quantifiable avec certitude. En 2012, ceci a permis d'estimer avec précision le PT emmagasiné dans la tige et retiré du milieu par faucardage durant une saison de croissance. Conséquemment, les résultats présentés pour les années 2009-2010 nous offrent des valeurs approximatives, mais fiables, lesquelles sont raffinées et corroborées par les résultats enregistrés à la saison 2012.

## **2.5 Transparence du milieu**

À la saison 2009, la transparence du milieu au pourtour de l'îlot a été notée à l'aide du disque de Secchi. La prise de cette mesure a été arrêtée en 2010 en raison de son uniformité et de la constance des valeurs observées dans le milieu, indépendamment du site de relevé. De plus, il s'est avéré difficile de mesurer la transparence sous l'îlot une fois la végétation bien établie. Il est alors devenu évident que cette méthode d'évaluation ne s'appliquait plus à la situation. Enfin, l'uniformité des données de l'année 2009 et la difficulté de relier ce paramètre aux variations potentielles du suivi des performances de l'îlot justifiaient son abandon.

## **2.6 Analyse des composantes structurelles de l'îlot**

La durabilité de la structure et de ses composantes a été vérifiée tout au long du suivi. Un regard critique a été porté sur la structure afin de valider son potentiel en tant que modèle de déploiement pour un projet de démonstration à plus grande échelle.

### 3.0 Résultats et Discussion

#### 3.1 Évolution des tailles et des poids moyens

Les résultats de 2008 pour les diverses espèces de plantes présentes sur l'IVF indiquent une croissance constante et l'atteinte d'une taille maximale au mois d'octobre pour la majorité des espèces, à l'exception de la *Sagittaria l.*, victime de broutage, et du *Juncus e.*, dont la croissance moyenne maximale a été observée à la fin du mois d'août. Les tailles maximales notées pour les différentes espèces s'apparentent aux mensurations indiquées dans la littérature et chez les producteurs et fournisseurs de plantes aquatiques pour des plantes matures. On peut qualifier d'excellente la saison de croissance 2008. Le poids des spécimens analysés n'a pas été déterminé en 2008. Cependant, les photographies prises témoignent des fortes tailles enregistrées pour la saison de croissance 2008. De nouveaux semis (0 + issus de la graine) et de nouvelles espèces (*Spartina p.*, *Glyceria c.* et *Sparganium e.*) ont été introduits sur l'IVF au printemps 2009. La croissance des nouveaux semis à la saison 2009 a connu une tendance différente et inattendue. Le stress de plantation a occasionné le jaunissement et la mortalité des tiges. De nouvelles tiges sont réapparues en mi-saison et ont connu une certaine croissance, mais sans dépasser leur taille initiale à la plantation (mm). Seuls les nouveaux semis de *Typha l.* et d'*Iris p.* ont démontré une croissance positive et ont surpassé leur taille initiale à la plantation, sans toutefois atteindre la maturité ou taille maximale. N'ayant pas subi de stress de plantation, les semis d'*Iris p.*, de *Juncus e.* et de *Typha l.* présents sur l'IVF depuis 2008 ont enregistré une croissance et des tailles normales. Les poids humides moyens des spécimens de 2009 suivent cette tendance (figure 2, annexe 1 — tableau 2).

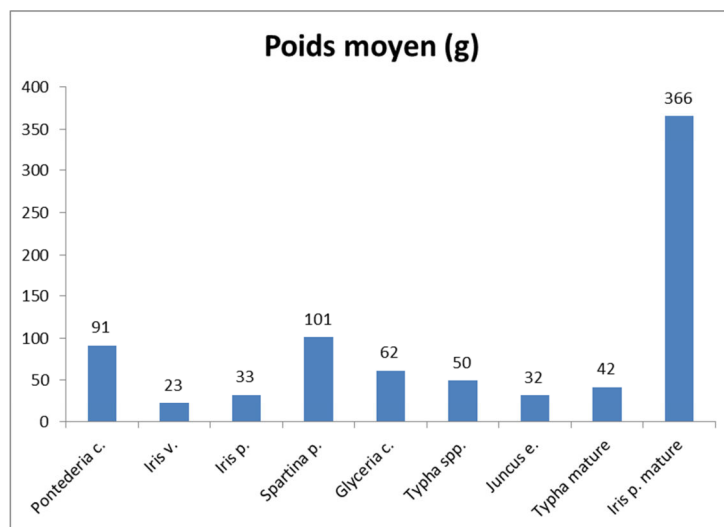


Figure 2. Poids moyens humides (g) en 2009

En 2010, les semis de la cohorte implantée en 2009 ont affiché une croissance positive. Certaines, comme la *Spartina p.* et la *Typha l.*, ont presque atteint des tailles représentatives de spécimens matures. Les spécimens de la cohorte de 2008 ont haussé légèrement leur taille maximale comparativement à l'année précédente. Cette progression témoigne de la maturité de cette cohorte, dont la taille maximale est majoritairement atteinte pour l'ensemble des spécimens qui la composent. Les poids humides moyens sont généralement à la hausse en 2010 (figures 3 et 5, annexe 1 – tableau 3).

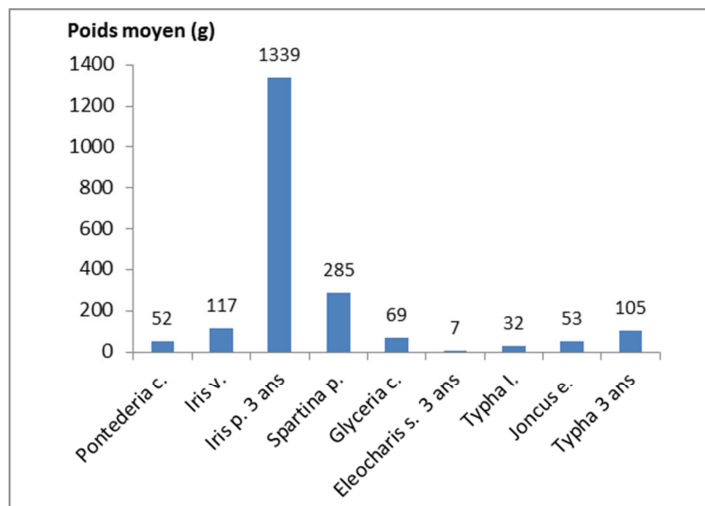


Figure 3. Poids moyens humides (g) en 2010

En 2012, l'évaluation de la croissance a été établie à partir des tailles moyennes des spécimens, toutes cohortes confondues. Les tailles enregistrées, de même que les poids moyens humides (figure 4, annexe 1 – tableau 4) sont typiques de spécimens matures.

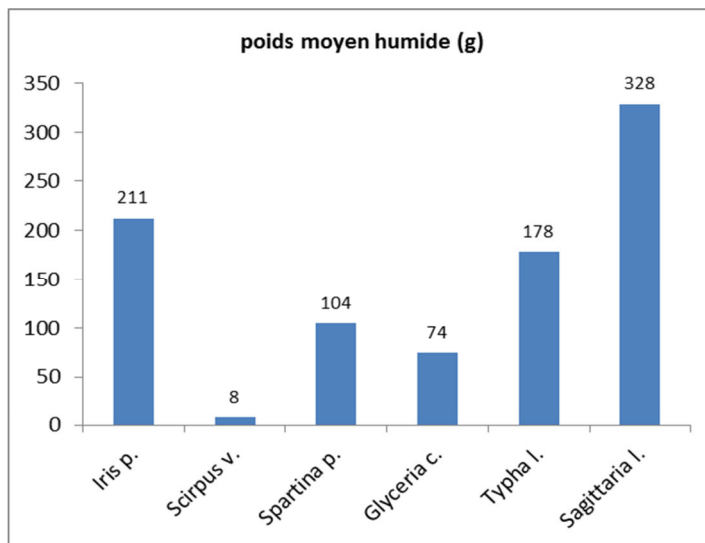


Figure 4. Poids moyens humides (g) en 2012

### 3.1.1 Comparaison des tailles moyennes interannuelles

La progression de la croissance des différentes cohortes est illustrée à la figure 5. À titre d'exemple, à gauche sur la figure, la cohorte de *Juncus e.* de 2008 affichait une taille moyenne de 692 mm, tandis que la taille des semis de la cohorte de 2009 était de 358,94 mm. Donc, un écart moyen de croissance de près de 333 mm sépare les deux types de semis ayant chacun séjourné une seule année sur l'IVF. En 2010, la cohorte de 2009 a affiché une taille moyenne de 468,2 mm, pour une variation positive de 100 mm. La cohorte de 2008 de *Juncus e.* a présenté une taille moyenne de 692 mm, laquelle passe à 697,69 en 2009 alors que cette cohorte en est à sa seconde année sur l'IVF (figure 5, annexe 1 – tableau 5).

En général, la comparaison de la croissance des deux cohortes de l'IVF (semis de 2008 et semis de 2009) illustre que les semis de 2008 ont eu une croissance supérieure aux semis de la cohorte de 2009. En 2010, les semis de 2009 n'ont toujours pas atteint la taille des semis de 2008 lors de leur première année de croissance sur l'IVF. Donc, deux années plus tard, les semis de 2009 demeurent de taille inférieure aux semis de 2008 à la fin de leur première année sur l'IVF. Même si la croissance en 2010 des semis de 2009 a été significative, elle n'a pas permis l'atteinte de tailles typiques de spécimens matures.

La taille des semis de 2008 (en fin de saison 2008) est légèrement moindre que celle notée pour les deux cohortes confondues en 2012. Ces résultats indiquent que la cohorte de semis de 2008 a atteint une taille moyenne élevée dès la première année de croissance sur l'IVF, tandis que les semis de 2009 mis en place pour l'expérimentation ont pris deux ans et plus avant d'atteindre une taille similaire.

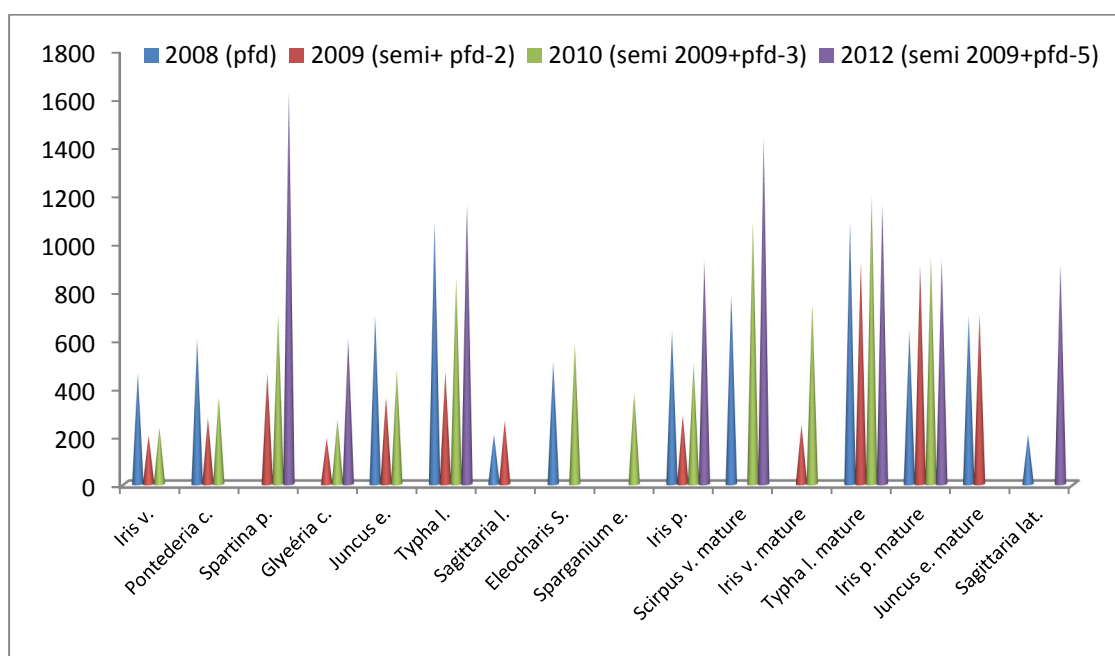


Figure 5. Comparaison des tailles moyennes des cohortes de semis, de 2008 à 2012

L'âge des semis à la plantation, leur origine (graine ou division), ainsi que le stress de plantation ont influencé la croissance des diverses espèces de plantes sur l'IVF. Pour de meilleurs résultats en termes de croissance, il est préférable d'opter pour des spécimens issus de plants matures par division ou bouturage et possédant préalablement au moins une saison de croissance en pépinière (développement réseau racinaire).

La figure 6 présente les poids moyens (rouge) et les tailles moyennes (bleu) notés tout au long du suivi (2008, 2009, 2010 et 2012). Les espèces atteignant les plus fortes tailles et les poids les plus considérables sont celles qui, en principe, devraient offrir les meilleurs rendements sur l'IVF. Par exemple, pour l'*Iris p.*, on a observé un poids moyen de 528 g et une taille moyenne de 698 mm.

Pour la durée du suivi, les espèces qui ont affiché les poids moyens les plus élevés sont, dans l'ordre, l'*Iris p.*, la *Sagittaria l.*, la *Spartina p.*, la *Typha l.*, la *Pontederia c.* et la *Glyceria c.* (figure 6). Cependant, il importe de garder à l'esprit que le stress de plantation de 2009, et son effet plus marqué sur le poids moyen de certaines espèces en particulier, peut avoir biaisé l'ordre de ces résultats. De plus, prise séparément, la biomasse n'est pas entièrement révélatrice de la performance filtrante des espèces sur l'IVF, car entrent également en jeu la survie et l'adaptation des espèces sur l'IVF, leur teneur tissulaire spécifique en PT ainsi que leur densité respective.

Ainsi, même si la *Spartina p.* est arrivée devant la *Typha l.* au chapitre de la biomasse, à long terme, la *Typha l.* a démontré de meilleures aptitudes sur l'IVF : taux de survie supérieur et croissance plus rapide. De même, elle s'est adaptée plus rapidement aux conditions du milieu, a subi peu ou moins de pertes qu'elle a compensées rapidement par de nouvelles tiges, tandis que la *Spartina p.* a mis plus de deux ans à s'y établir convenablement. La *Typha l.* est donc considérée plus performante et mieux adaptée à une utilisation sur un IVF de ce type (en milieu naturel) que la *Spartina p.*

Également, la *Sagittaria l.* a présenté une taille et un poids moyen élevés, générant ainsi une biomasse importante. Par contre, à son désavantage, elle est sujette à la déprédation et peine à s'établir sur l'IVF. N'eût été la déprédation, celle-ci aurait pris le premier ou le second rang des espèces les plus performantes, tel que noté en 2012, alors qu'elle s'est finalement bien établie sur l'IVF.

Pour l'*Iris v.*, la situation observée est contraire. Celle-ci n'a pas été capable de s'adapter au stress de plantation et aux conditions de vie sur l'IVF en milieu naturel. Il en va de même pour la *Pontederia c.* qui, en dépit d'une forte production de biomasse et de ses excellentes affinités pour le stockage du PT, n'a pas bien réagi face aux conditions de vie de l'IVF au Bas-Saint-Laurent.

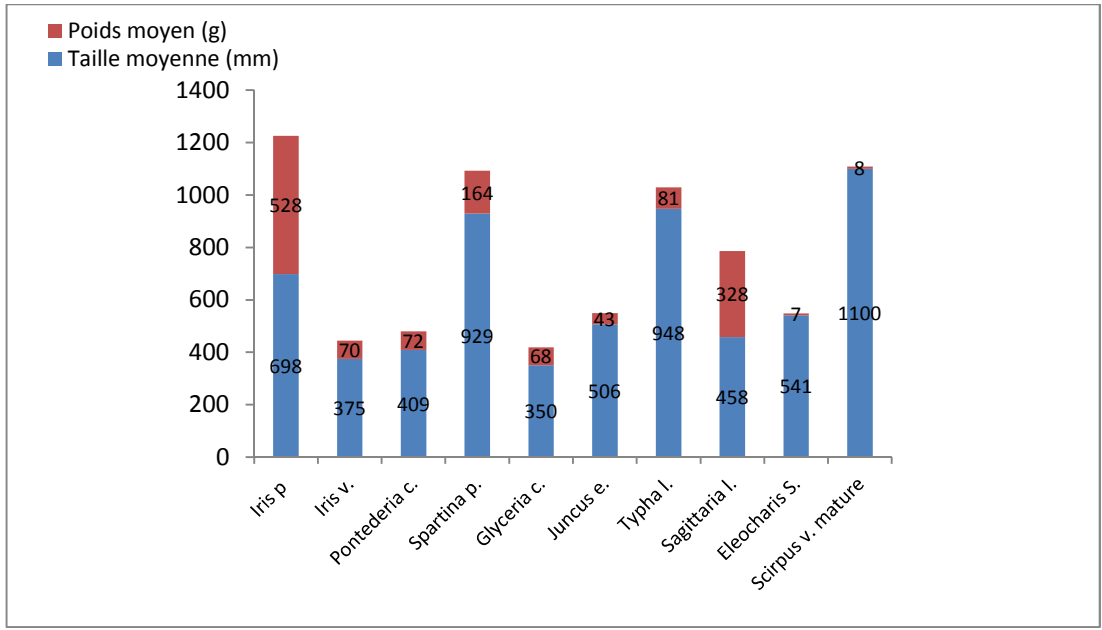


Figure 6. En bleu, la moyenne des tailles et en rouge, le poids moyen de diverses espèces de l'IVF, de 2008 à 2012



Photo 8. IVF saison 2008

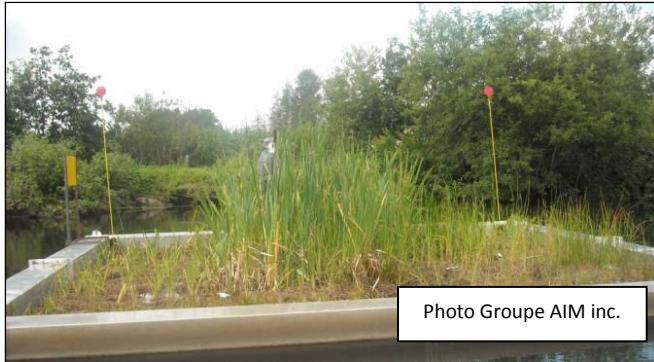


Photo 9. IVF saison 2009



Photo 10. IVF Saison 2010



Photo 11. IVF saison 2012

## 3.2 Taux de survie, résistance et adaptation

### 3.2.1 Saison 2008

En 2008, le taux de survie printemps-automne a été excellent pour 4 des 8 espèces implantées dans l'IVF. Les espèces ayant affiché 100 % de survie sont la *Typha l.*, le *Juncus e.*, la *Pontederia c.* et l'*Iris p.* (figure 7, annexe 1 – tableau 6). La *Sagittaria l.* (15,8 %), le *Scirpus v.* (33 %), l'*Eleocharis s.* (83,3 %) et l'*Iris v.* ont présenté des taux de survie moindres (figure 7, annexe 1 – tableau 6).

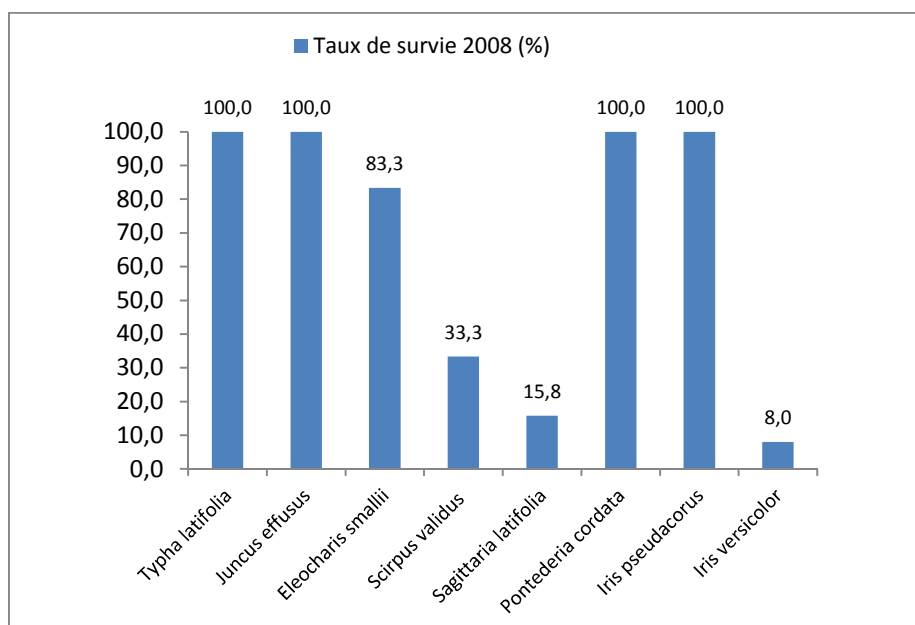


Figure 7. Taux de survie des espèces présentes sur l'IVF en 2008

Les faibles taux de survie de la *Sagittaria l.* et de l'*Eleocharis s.* sont essentiellement dus au broutage par la faune (canards) en raison de la comestibilité du système racinaire (nodules/tubercules) et aérien de la *Sagittaria l.* et des tiges de l'*Eleocharis s.* Le *Scirpus v.* est une espèce dont on attendait un meilleur rendement en raison de son affinité pour les milieux inondés et riches du Québec. Les spécimens ayant survécu ont connu une bonne croissance, mais la survie a été affectée en raison des mailles de l'enveloppe du tapis de substrat de noix de coco, lesquelles ont interféré avec la poussée des grosses tiges creuses du *Scirpus v.* (photos 5 et 6). Les autres espèces présentes ont occupé l'espace, limitant d'autant la reprise du *Scirpus v.* sur l'IVF. Enfin, l'*Iris v.* a eu de la difficulté à croître de manière satisfaisante, potentiellement en raison d'un niveau d'eau trop élevé et du contact prolongé des racines avec la nappe d'eau. De plus, l'*Iris v.* requiert un substrat organique lors de sa transplantation, ce qui n'est pas le cas du tapis de noix de coco, essentiellement composé de fibres séchées, neutres et dépourvues de nutriments.

### 3.2.2 Saison 2009

L'*Iris v.* (100 %) et l'*Iris p.* (91 %) ont bien réagi et, en dépit du stress de plantation, peu de pertes ont été notées en date du 31 août 2009. Il en va de même pour la *Spartina p.* (95 %) (figure 8, annexe 1 — tableau 6). Cette réponse efficace face au stress de plantation est probablement propre à la famille des graminées et le reflet d'un réseau racinaire (rhizomes) plus efficace et favorable à leur reprise. La *Glyceria c.* (89 %) et la *Pontederia c.* (83 %) ont légèrement moins bien réagi, tandis que le *Juncus e.* (74 %) et la *Typha l.* (78 %) ont subi des pertes d'environ 25 % (figure 8, annexe 1 — tableau 6).

Le *Sparganium e.* est l'espèce qui a eu le plus de difficulté. Près de 45 % des tiges implantées étaient en apparence mortes en date du 31 août 2009 et, lors de la récolte finale du mois d'octobre 2009, la situation s'était détériorée et plus aucun spécimen n'était visible sur l'IVF. Rappelons également que les semis de la cohorte de 2009 étaient au départ de plus petite taille et moins développés que ceux de la cohorte 2008.

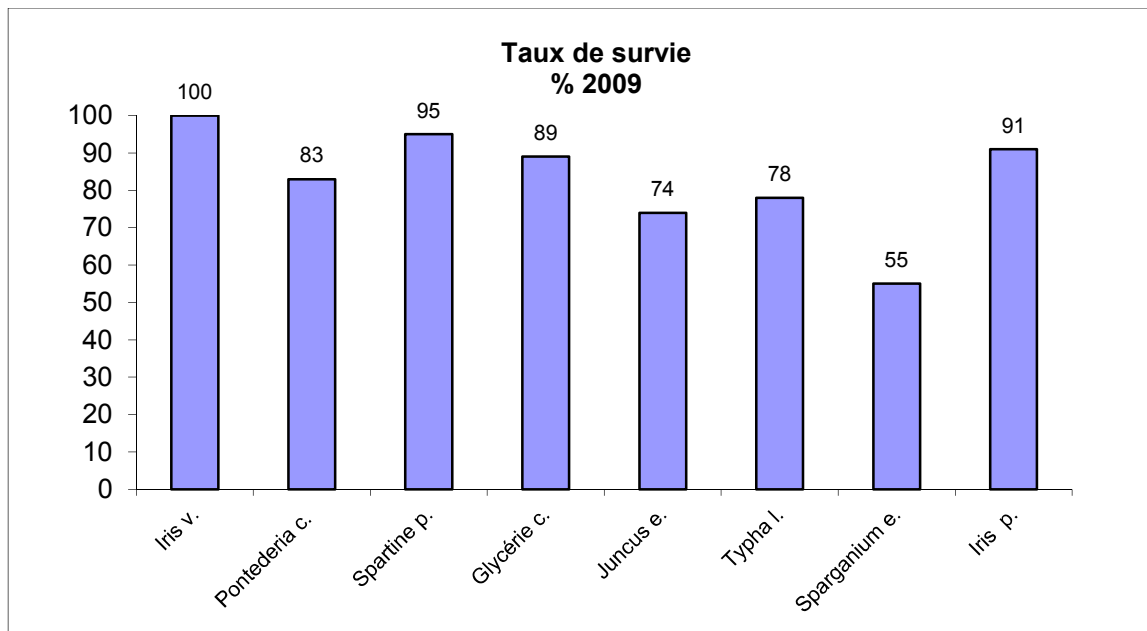


Figure 8. Survie des différentes espèces de la cohorte de semis nouvellement ensemencés sur l'IVF au printemps 2009

### 3.2.3 Saison 2010

On remarque d'entrée de jeu que la *Typha l.* (183 %), l'*Iris p.* (212 %) et l'*Eleocharis s.* (192 %) matures et issus des semis de 2008 ont présenté un taux de survie supérieur à 100 % (figure 9, annexe 1 – tableau 6). Ceci s'explique par le phénomène de multiplication, de propagation et de hausse de la densité des plants de ces espèces sur l'IVF. Il est d'autant plus intéressant de noter que, suite à sa quasi-disparition de l'IVF en 2008 et 2009 en

raison du broutage par la faune avienne, l'*Eleocharis s.* a effectué une repousse digne de mention sur l'îlot en 2010.

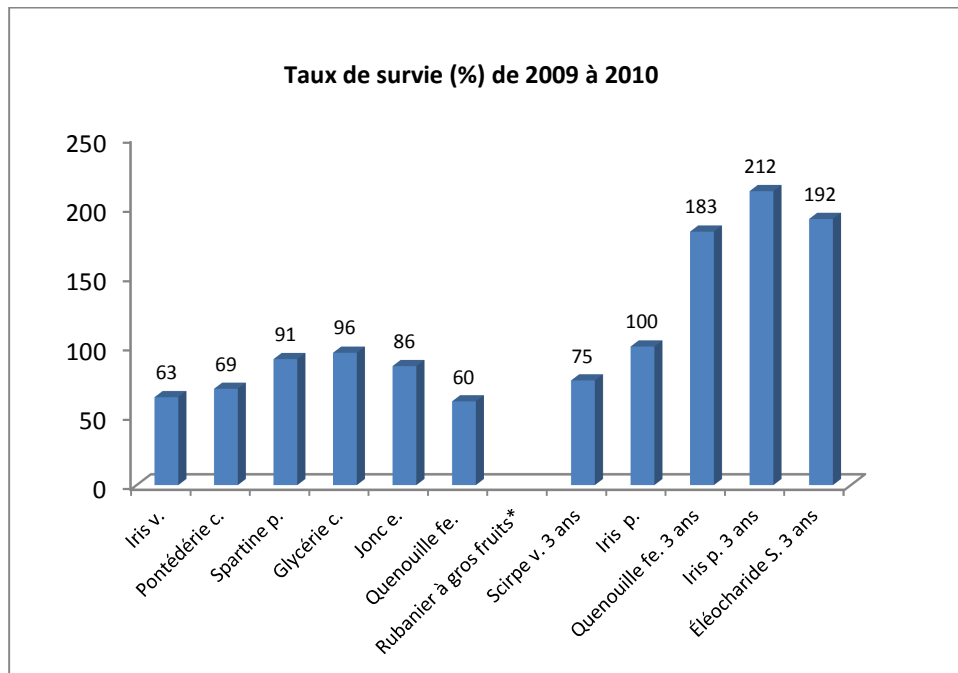


Figure 9. Taux de survie des diverses espèces de l'IVF entre la fin de la saison 2009 et la fin de la saison 2010

Ainsi, en dépit du broutage sévère dont elle a été victime au cours des deux premières années sur l'IVF, L'*Eleocharis s.* est parvenue à s'installer et à proliférer. Nos observations démontrent que cette adaptation progressive est intimement liée à son réseau racinaire dense et compact, qui s'étend et lui permet de survivre face à un haut niveau de broutage de ses tiges aériennes. De même, la hausse de la densité et de la taille des plants a sans doute contribué à limiter l'accès à l'IVF pour la faune aquatique ailée.

Pour des raisons qui sont difficilement identifiables avec assurance (substrat pauvre, niveau d'eau trop élevé et contact prolongé des racines avec l'eau), l'*Iris v.* a démontré un faible taux de survie (63 %) sur l'IVF. Pour ce modèle d'IVF, son utilisation et sa plantation sont peu recommandables (figure 9, annexe 1 – tableau 6). D'après Marie-Victorin (1964), écologiquement, l'*Iris v.* appartient à la zone intermédiaire entre le marais et le talus sec. De plus, l'*Iris v.* est éliminé par *les Typha spp.* si le terrain est trop mouillé, et par les Graminées *spp.* s'il est trop sec. La *Pontederia c.* (69 %) a également subi de lourdes pertes, lesquelles sont attribuées à la fragilité de ses rhizomes vis-à-vis du gel et à sa préférence pour un milieu chaud et ensoleillé (figure 9). Peu envahissante, elle est aussi sensible à la compétition. L'oxygénation du milieu sous l'îlot durant la période hivernale pourrait réduire les risques de gel (tolérance maximale au gel de -15 °C) et hausser le taux de survie de cette espèce fort intéressante de par son affinité au PT, sa taille et sa biomasse.

Les semis immatures de la *Typha l.* (60 %) et du *Juncus e.* (86 %) ont subi des pertes notables en 2010 (figure 9). Ce constat n'est pas observé pour les semis matures de 2008. Ainsi, un certain délai d'adaptation semble requis pour que la plante atteigne une taille ou un âge lui conférant un meilleur taux de survie sur l'IVF. Conséquemment, la plantation de ces espèces sur l'IVF doit idéalement être composée de spécimens matures issus par division et bien développés (semis de qualité). L'*Iris p.* (100 %), la *Glyceria c.* (96 %) et la *Spartina p.* (91 %) ont démontré les meilleurs taux de survie lorsqu'ils sont ensemencés à un jeune âge et à une faible taille (figure 9). Le taux de survie exceptionnel noté pour l'*Iris p.* se démarque de celui des autres espèces. Il est probablement lié à son affinité pour l'eau et à la tolérance de son système racinaire face à l'inondation prolongée. Contrairement à l'*Iris v.*, l'*Iris p.* est une plante aquatique qui peine à croître hors de l'eau.

### 3.3 Performances épuratrices de l'îlot et des espèces à l'essai

#### 3.3.1 Concentrations tissulaires en PT à la plantation

Les teneurs et concentrations en PT tissulaires à la plantation des deux cohortes suivies sont présentées aux figures 10 et 11 (annexe 1 — tableau 7). Pour la cohorte de 2008, composée de plants de forte taille issus de la division de plants matures, elles ont varié d'un maximum de 8 471 mg de P/kg ms (0,8471 %) pour la *Typha l.* à 1 716 mg de P/kg ms (0,1716 %) pour l'*Iris v.* Dans l'ordre, les 5 espèces ayant affiché des teneurs tissulaires élevées en phosphore total sont : la *Typha l.*, le *Scirpus v.*, l'*Eleocharis s.*, la *Sagittaria l.* et la *Pontederia c.* (figure 10).

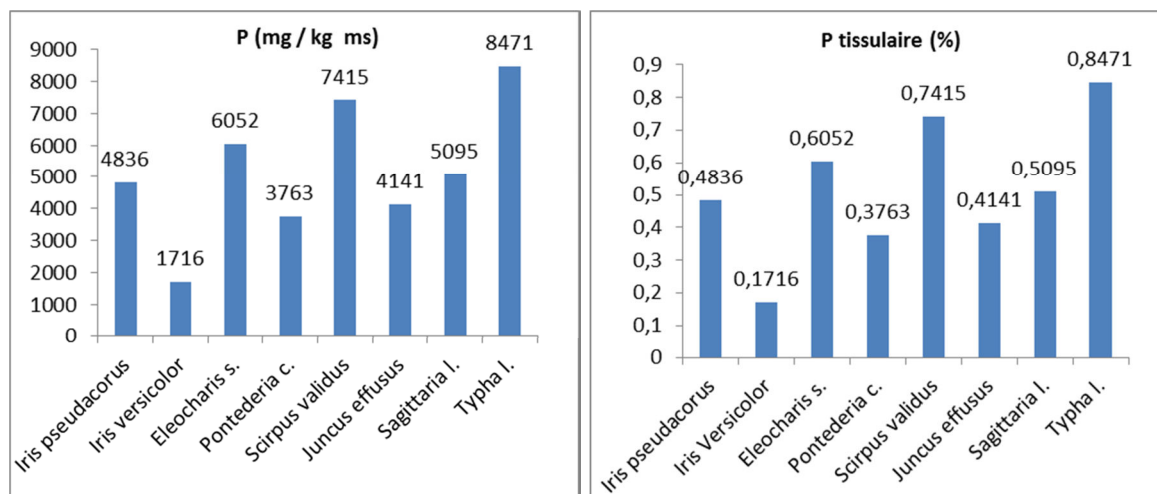


Figure 10. Teneurs et concentrations tissulaires en phosphore total des espèces lors de la plantation en 2008

En 2009, la teneur en PT des nouveaux semis à la plantation a été généralement inférieure. Les semis de plantation issus de la graine (cohorte 2009) possédant les contenus en PT les plus élevés ont été, dans l'ordre, la *Pontederia c.*, l'*Iris p.*, le *Juncus e.* et la *Typha l.* (figure 11). La *Pontederia c.* a présenté le plus fort contenu de PT avec 3 802 mg/kg ms (0,3802 %) et l'*Iris v.*, le plus bas à 779 mg/kg ms (0,0779 %) (figure 11).

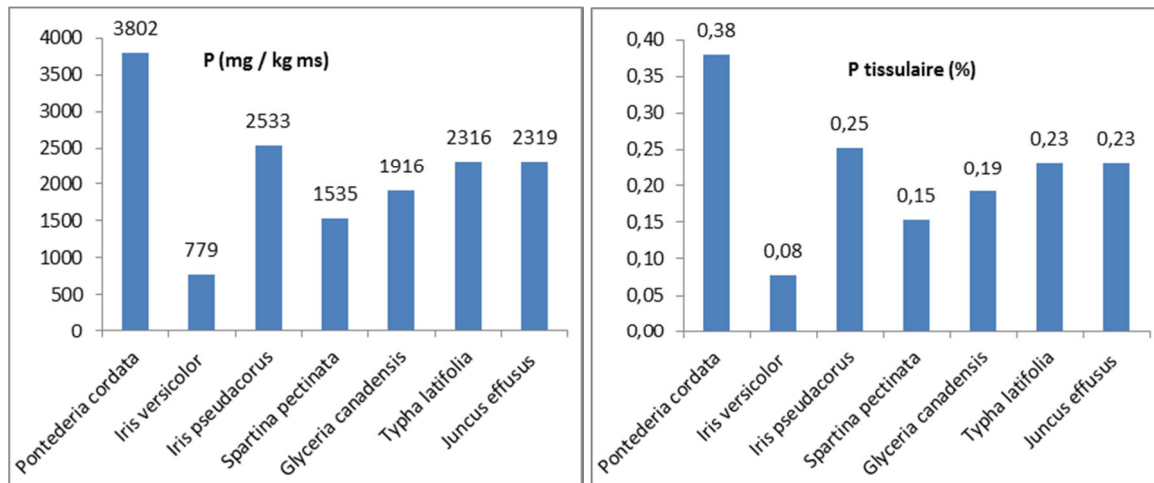


Figure 11. Teneurs et concentrations tissulaires en phosphore total des espèces lors de la plantation en 2009

Les valeurs observées à la plantation des semis sont d'une part élevées et, d'autre part, variables selon l'espèce et l'année. Les plants produits à des fins commerciales sont élevés en milieux contrôlés où les apports en nutriments sont maximisés à des fins de productivité. Ceci explique les fortes teneurs en PT observées pour la majorité des plants et espèces des deux cohortes à la plantation (printemps 2008 et 2009).

Les teneurs en PT à la plantation nous révèlent que la majorité des espèces ont la faculté de contenir des taux relativement élevés de phosphore lorsque le milieu de croissance n'est pas limitant en PT. La teneur tissulaire en PT des macrophytes est donc en partie régulée par la disponibilité du PT dans le milieu. Il est intéressant de noter que plus le milieu de croissance est riche en phosphore, plus la teneur tissulaire de phosphore total de la plante est élevée, ce qui est corroboré dans la littérature scientifique (Headley et Tanner 2012, Headley et Tanner 2006).

Cette prémisse est d'autant plus intéressante que plus un milieu est eutrophe et chargé en PT, plus la plante est performante et plus elle capte et soutire le PT du milieu. Il est donc raisonnable de penser que l'efficacité filtrante de l'IVF augmente avec la quantité de PT dans le plan d'eau.

### 3.3.2 Concentrations tissulaires en PT à la récolte

Les figures 12 à 18 présentent les résultats des années 2008, 2009, 2010 et 2012 des différents taux (%) et contenus (mg/kg ms) tissulaires de phosphore des diverses espèces lors de la récolte automnale (annexe 1 — tableaux 4, 8, 9, 10). En 2008, l'*Iris p.* (1 832 mg/kg ms ou 0,18 %) et la *Pontederia c.* (1 552 mg/kg ms ou 0,16 %) sont les deux espèces possédant les plus fortes teneurs tissulaires en PT lors de la récolte (figure 12).

En 2009, les spécimens de *Typha l.* et d'*Iris p.* issus de la cohorte de 2008 ont dominé avec respectivement 0,21 % et 0,14 % de PT tissulaire (figure 13). Parmi les nouveaux spécimens implantés en 2009, la *Pontederia c.* et la *Glyceria c.* ont affiché les plus fortes concentrations tissulaires en PT avec, dans le même ordre, 0,12 % et 0,06 % (figure 13). En 2010, la *Glyceria c.* et la *Typha l.* ont surpassé les autres espèces avec des teneurs respectives de 0,11 % et 0,06 % de PT tissulaire (figure 14).

En 2012, quoique les différences interspécifiques aient été moins éloquentes, la *Sagittaria l.* et la *Glyceria c.* se sont illustrées avec une teneur moyenne, tiges et racines confondues, de 0,16 et 0,14 % (figure 15). Pour cette même année, lorsque la teneur en PT de la tige est considérée, la *Glyceria c.* et la *Typha l.* sont arrivées en tête de liste avec 0,23 % et 0,20 % de PT tissulaire (figure 16). Pour le PT contenu dans la racine en 2012, le *Scirpus v.* et la *Sagittaria l.* ont enregistré les taux les plus élevés : 0,17 et 0,13 % (figure 17).

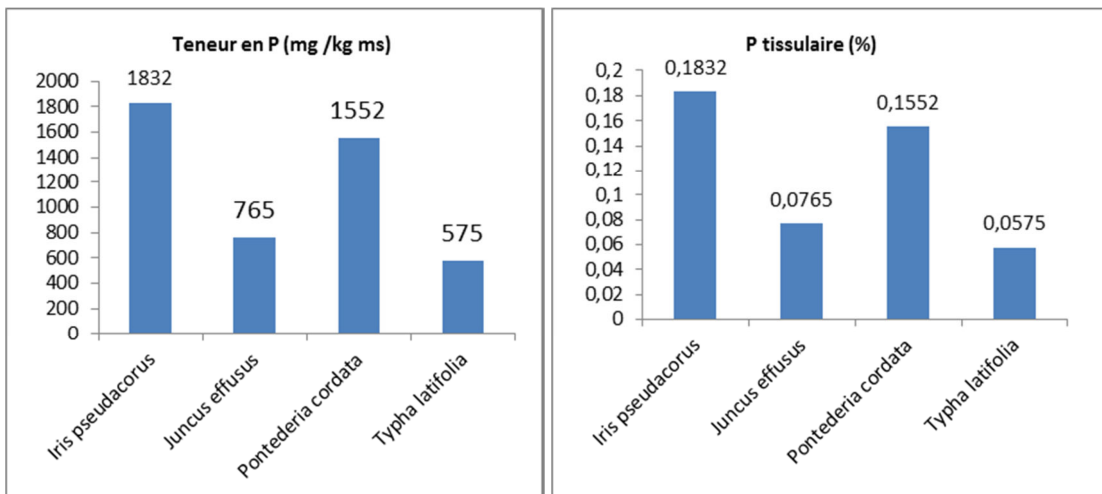


Figure 12. Teneurs et concentrations tissulaires moyennes en PT des espèces lors de la récolte automnale du 10 octobre, saison 2008

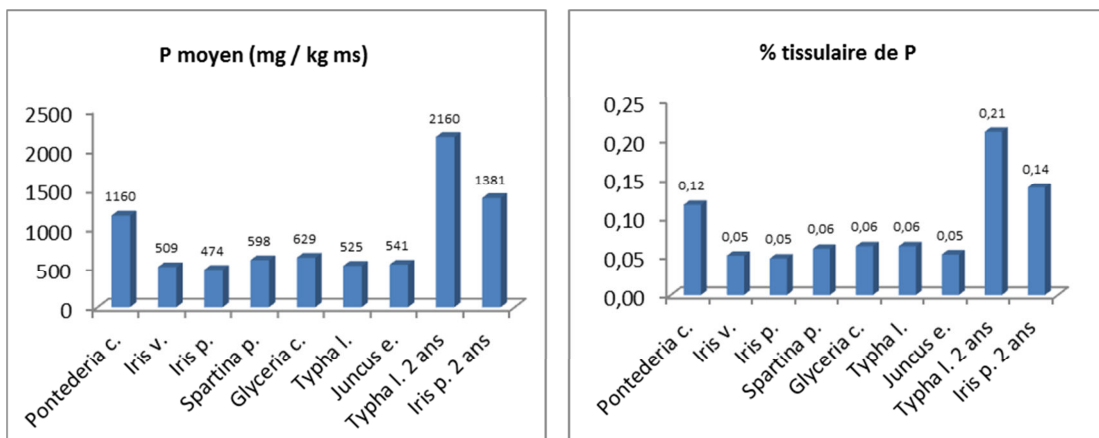


Figure 13. Teneurs et concentrations tissulaires moyennes en PT des espèces lors de la récolte automnale du 2 octobre, saison 2009

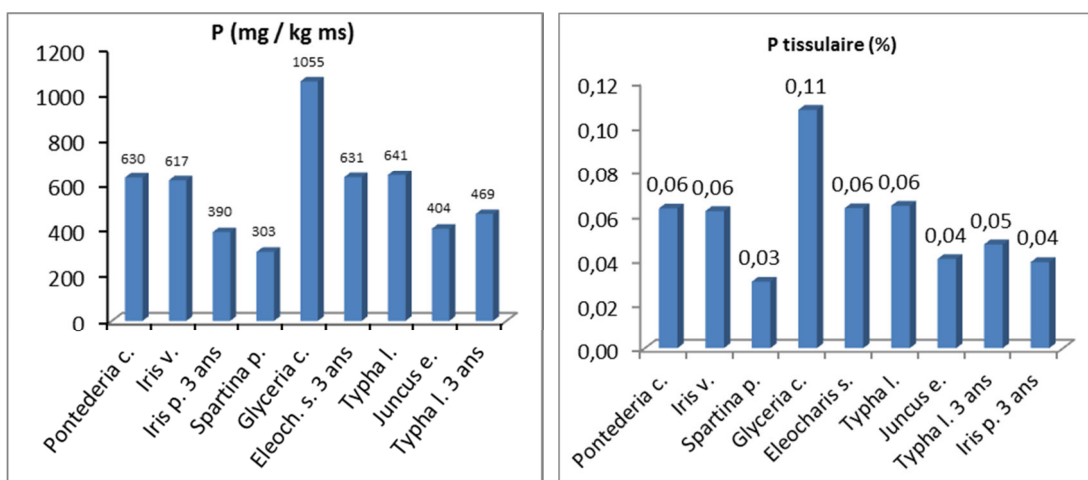


Figure 14. Teneurs et concentrations tissulaires moyennes en PT des espèces lors de la récolte automnale du 2 octobre, saison 2010

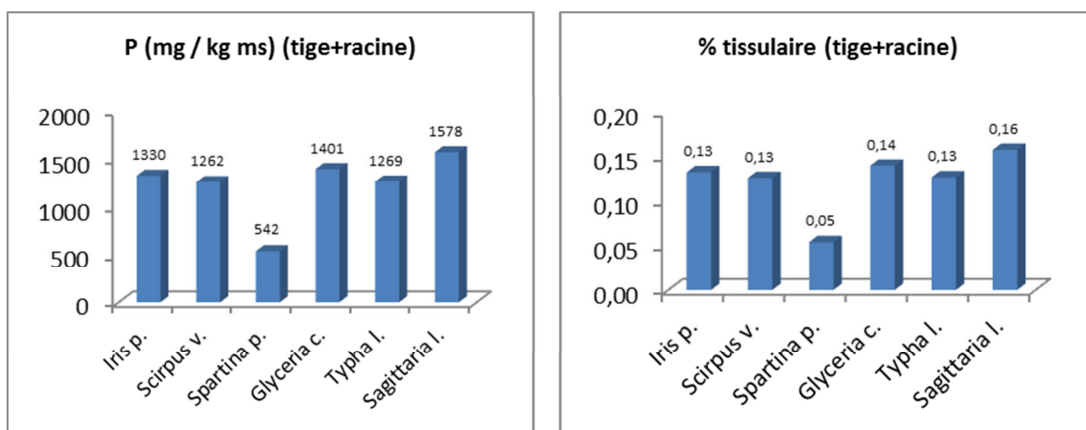


Figure 15. Teneurs et concentrations tissulaires moyennes pondérées (tige et racine) en PT des espèces lors de la récolte automnale du 30 août, saison 2012

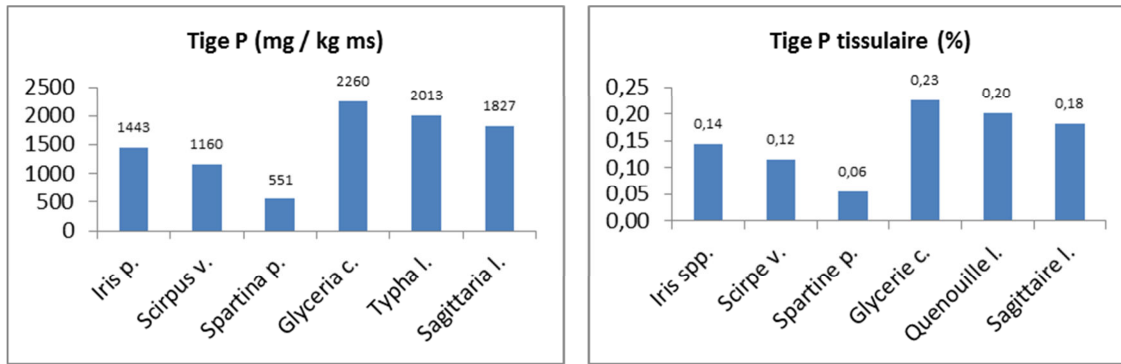


Figure 16. Teneurs et concentrations tissulaires moyennes en PT de la partie aérienne (tige) des espèces lors de la récolte automnale du 30 août, saison 2012

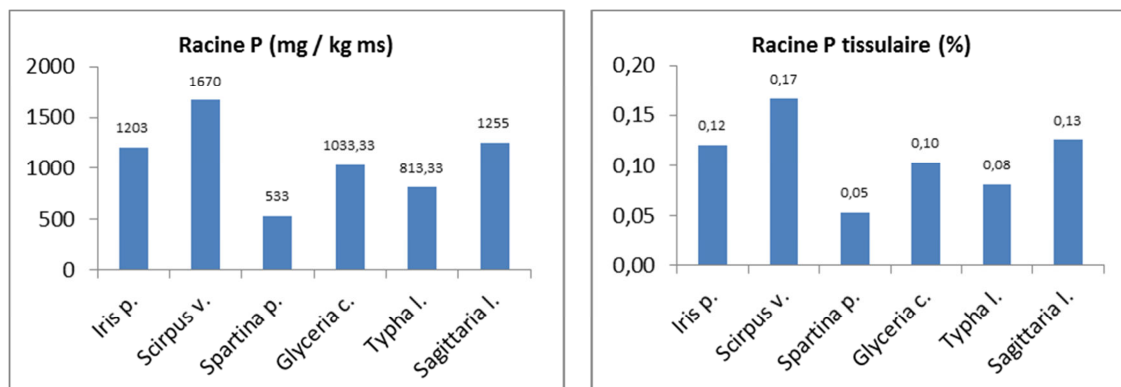


Figure 17. Teneurs et concentrations tissulaires moyennes en PT de la partie racinaire (racine) des espèces lors de la récolte automnale du 30 août, saison 2012

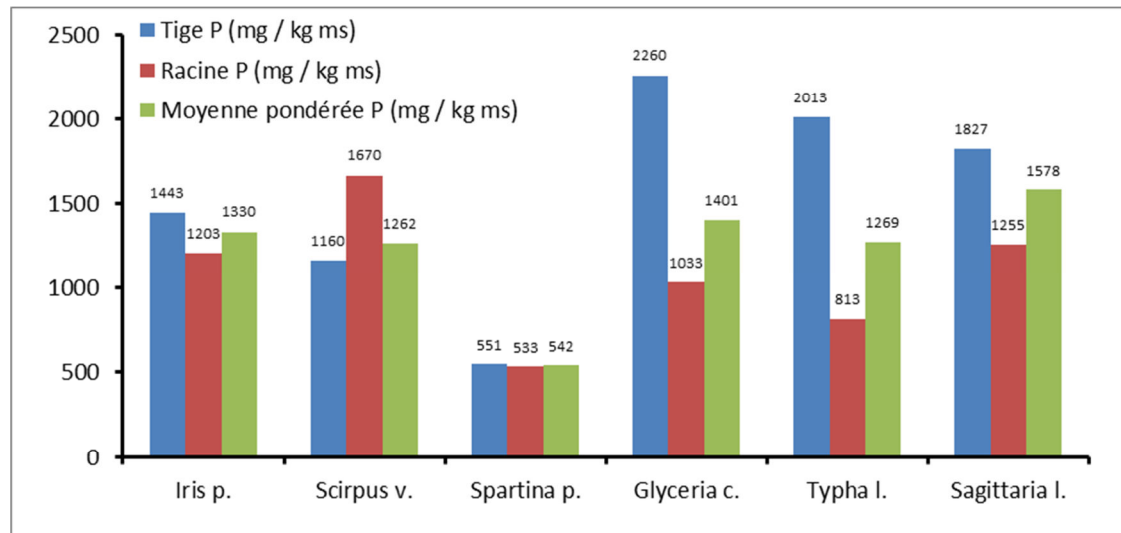


Figure 18. Résumé de la teneur tissulaire moyenne en PT des diverses parties de la plante (tige, racine ou complète pondérée) par espèce en date du 30 août 2012

Les espèces affichant les plus fortes teneurs en PT tissulaire de 2008 à 2012 ont été la *Sagittaria l.*, la *Pontederia c.*, la *Glyceria c.*, la *Typha l.* et l'*Iris p.* Toutefois, elles ne sont pas forcément les plus performantes. Ce sont plutôt les espèces offrant à la fois des taux tissulaires en PT aérien élevés et dont la combinaison entre la survie et la biomasse produite est maximale qui doivent être priorisées à des fins d'utilisation comme plantes filtrantes sur un IVF.

À ce chapitre, les deux espèces qui semblent les mieux adaptées et les plus performantes sont la *Typha l.* et l'*Iris p.*. L'emploi de la *Sagittaria l.* serait de mise si on parvient à réduire l'effet de la déprédation. L'utilisation de la *Pontederia c.* est recommandée si on réussit à limiter la mortalité associée au gel, par exemple par la mise en place d'un système d'aération réduisant l'emprise des glaces au pourtour de l'IVF. Le besoin en ensoleillement et la tolérance à la compétition sont d'autres points importants à respecter lors de l'ensemencement d'un IVF. Les plantes affichant les tailles les plus élevées doivent être positionnées au centre ou à l'ouest, les moins compétitives isolées des envahissantes.

Enfin, il est intéressant de noter que, comparativement aux taux de PT élevés observés lors de la plantation, les taux à la récolte sont généralement de beaucoup inférieurs. Ceci est vraisemblablement dû à l'abondance ou à la disponibilité du PT dans l'environnement de croissance. Le lac à l'Anguille est un milieu mésotrophe et la disponibilité du PT y est moindre que dans un milieu de croissance où le phosphore abonde, comme c'est le cas en pépinière ou en milieu eutrophe ou hypereutrophe. La teneur tissulaire en phosphore est donc partiellement dépendante de la teneur en phosphore du milieu dans lequel la plante croît. Cette observation est corroborée dans la majorité des études sur le sujet. Ainsi, on doit s'attendre à des taux tissulaires à la récolte plus élevés pour des lacs ou milieux plus sévèrement affectés (eutrophiés) que le lac à l'Anguille.

### **3.3.3 Concentrations en PT du substrat**

Le tapis de fibre de noix de coco employé comme substrat de plantation sur l'IVF dans le cadre de cette expérience offre de multiples avantages écologiques. La fibre de coco est un matériau lignifié inerte. Elle est de pH neutre, non toxique et biodégradable. Elle respecte les plus hautes normes environnementales. Elle n'a aucune valeur nutritive et ne contient aucun phosphore. La teneur initiale de phosphore dans le substrat à la plantation est nulle (0). Toutefois, la teneur de phosphore dans le substrat lors de la récolte est variable. Le substrat est colonisé par des bactéries et autres organismes, et une certaine quantité de PT s'y trouve ou s'y accumule. Trois blocs entiers de substrat (toute l'épaisseur de la matrice) de surface et poids connus ont été prélevés à trois sites distants (et exempts de plante) sur l'IVF, inspectés et débarrassés des racines si présentes, séchés, pesés et analysés en laboratoire pour en déterminer la teneur moyenne en phosphore total (mg/kg ms). Les analyses effectuées en 2010 indiquent que la teneur du substrat est en moyenne de 507 mg/kg ms de PT ou 0,05 %.

### 3.3.4 Accumulation tissulaire spécifique par unité de surface (plantes)

L'accumulation tissulaire de PT par unité de surface durant la saison de croissance 2009 est très variable. Elle a été d'aussi peu que 3 mg/m<sup>2</sup> pour l'*Iris v.* à un maximum de 1 796 mg/m<sup>2</sup> pour l'*Iris p.* mature âgé de deux saisons sur l'IVF et issu de la cohorte de plantation de 2008 (figure 19, annexe 1 — tableau 11). L'*Iris p.* et la *Typha l.* de deux ans de la cohorte de 2008 ont été les espèces offrant les meilleurs résultats. Parmi les espèces implantées en 2009, la *Spartina p.* (715 mg/m<sup>2</sup>), la *Pontederia c.* (282 mg/m<sup>2</sup>) et la *Glyceria c.* (239 mg/m<sup>2</sup>) ont été les plus performantes (figure 19, annexe 1 — tableau 11). L'*Iris v.* a connu une très faible croissance et a affiché un faible taux tissulaire de PT, ce qui lui a valu le dernier rang. À leur première saison (semis de faible taille), l'*Iris p.* et la *Typha l.* de la cohorte 2009 ont présenté de faibles taux de retraits, respectivement de 65 mg/m<sup>2</sup> et 27 mg/m<sup>2</sup> (figure 19, annexe 1 — tableau 11).

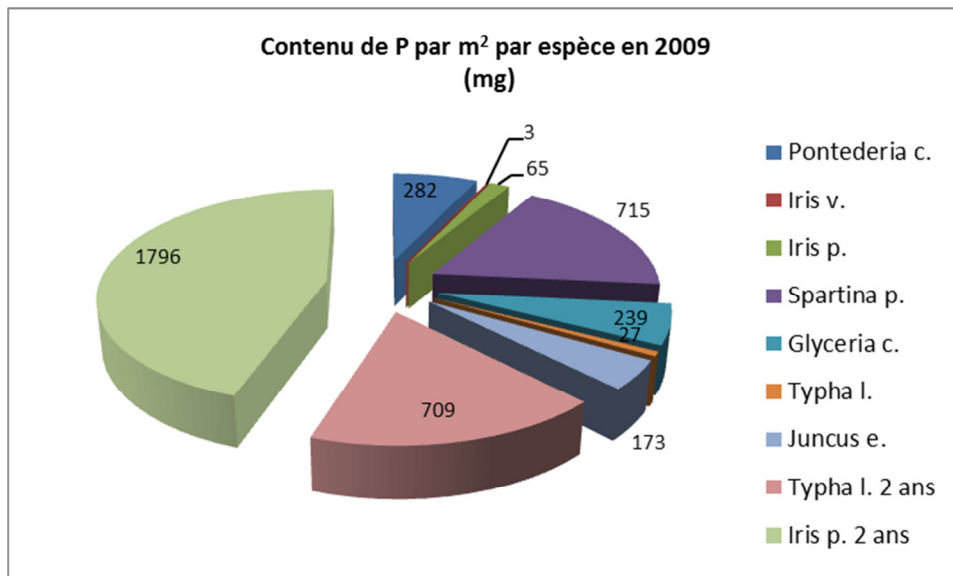


Figure 19. Contenu de PT par m<sup>2</sup> et par espèce pour la saison 2009

Comparativement à 2009, la plupart des espèces ont connu une hausse de leur contenu en phosphore en 2010 (figure 20, annexe 1 — tableau 12). Les trois espèces prépondérantes en termes de contenu de PT (mg) par unité de surface ont été l'*Iris p.*, la *Spartina p.* et la *Glyceria c.* (figure 20, annexe 1 — tableau 12). Le plus faible contenu noté est de 23 mg/m<sup>2</sup> pour la *Pontederia c.* (figure 20, annexe 1 — tableau 12). L'*Eleocharis s.*, l'*Iris v.* et la *Typha l.* ont démontré des valeurs intermédiaires, respectivement de l'ordre de 166, 162 et 155 mg/m<sup>2</sup> (figure 20, annexe 1 — tableau 12). La valeur élevée observée pour la *Spartina p.* (1 063 mg/m<sup>2</sup>) est en majeure partie reliée à son poids (figure 6) moyen imposant (biomasse) et non pas à son contenu tissulaire en P (%), lequel est relativement faible (figure 14).

La *Typha l.* âgée de 3 ans a affiché un contenu de 141 mg/m<sup>2</sup>, légèrement inférieur aux spécimens de 2 ans (figures 19 et 20). L'*Iris p.* a affiché une donnée record de 2 193 mg/m<sup>2</sup>, similaire à l'année précédente (figure 20) pour la cohorte des spécimens de deux ans de la plantation de 2008 (figures 19 et 20). Malheureusement, seuls les spécimens d'*Iris p.* de 3 ans ont été récoltés et les résultats pour les spécimens issus de la cohorte des *Iris p.* de 2009 ne sont pas disponibles (aucune analyse tissulaire en laboratoire). Toutefois, la croissance et le poids moyen des *Iris p.* de deux ans (cohorte 2009) indiquent qu'ils n'ont pas atteint leur taille maximale en 2010. On peut croire que les rendements de cette cohorte ont suivi la même tendance et n'en sont pas à leur maximum en 2010. Ainsi, il faut compter 3 années de croissance sur l'IVF pour qu'un *Iris p.* issu d'une graine et âgé d'un an atteigne la maturité et exhibe ses pleines capacités filtrantes. D'après nos observations, l'emploi d'un spécimen de 1 an issu de plants matures par division de l'*Iris p.* offre d'excellents rendements dès sa première saison sur l'IVF.

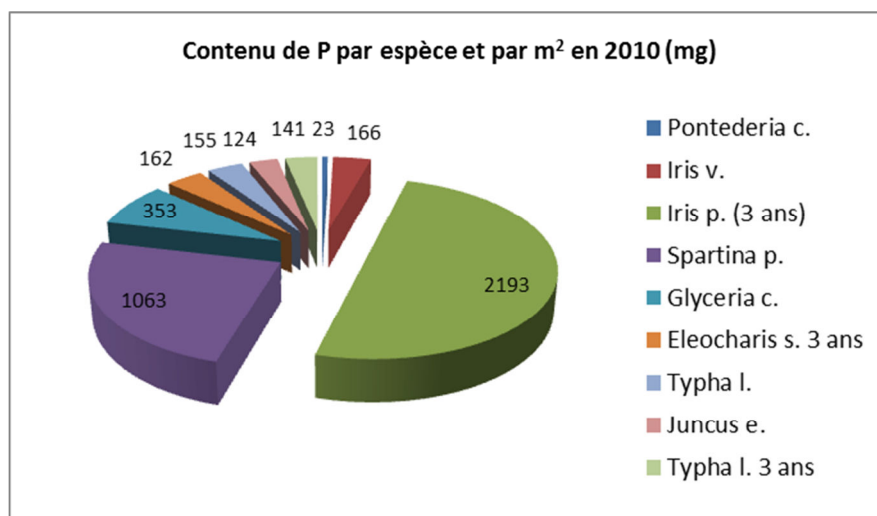


Figure 20. Contenu de PT par m<sup>2</sup> et par espèce pour la saison 2010

En 2012, l'analyse séparée de la tige et de la racine des spécimens désormais matures offre une perspective plus précise du rôle des différentes parties de la plante dans le retrait du phosphore. Généralement, la teneur en phosphore dans la plante est légèrement plus importante dans la tige que dans la racine (figure 21, annexe 1 – tableaux 13, 14 et 15).

La *Typha l.* a été l'espèce contenant le plus de phosphore dans sa partie aérienne (1 221 mg/m<sup>2</sup> de PT) (figure 21, annexe 1 – tableau 13). L'*Iris p.* (762 mg/m<sup>2</sup> de PT) et la *Sagittaria l.* (615 mg/m<sup>2</sup> de PT) ont également été performants (figure 21). La tige de la *Glyceria c.* offre un rendement moyen (440 mg/m<sup>2</sup> de PT) tandis que celui du *Scirpus v.* est faible (115 mg/m<sup>2</sup> de PT) (figure 21, annexe 1 – tableau 13), essentiellement en raison de sa faible biomasse (figure 6).

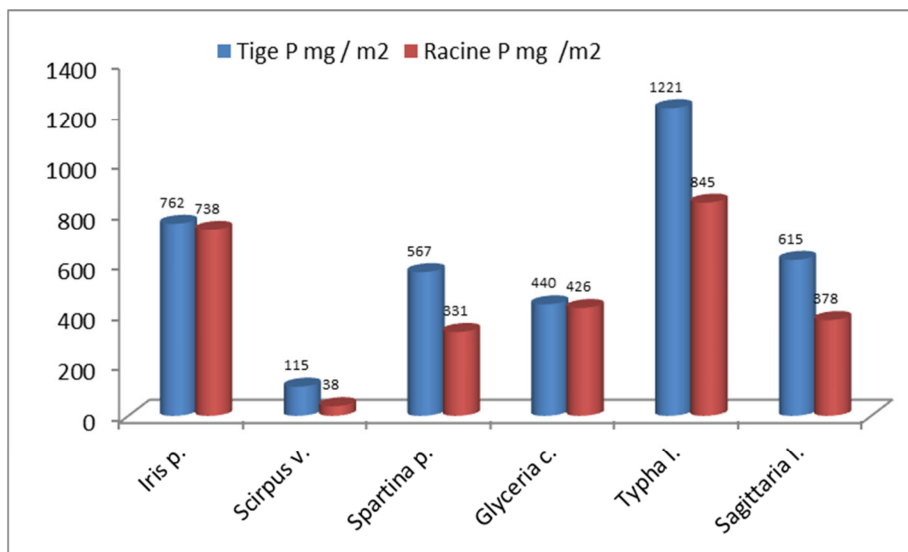


Figure 21. Contenu moyen de PT (mg/m<sup>2</sup>) pour la tige et la racine par espèce (2012)

### 3.3.5 Accumulation spécifique par unité de surface (substrat)

L'accumulation de PT par unité de surface du substrat a été évaluée uniquement en 2010, l'équipe terrain de 2009 ayant omis de récolter le substrat en fin de saison. Ainsi, au terme de deux saisons, l'accumulation totale de PT notée était de 18 360 mg/m<sup>2</sup> ou en moyenne 9 180 mg/m<sup>2</sup> par saison. Cette valeur élevée bonifie le système et rehausse son efficacité et sa performance à capter le phosphore.

### 3.3.6 Taux de retrait par unité de surface et de temps

#### 3.3.6.1 Le substrat

Les analyses à la fin de la saison 2010 ont indiqué une concentration de 506,67 mg/kg ms de PT pour le substrat de tapis de fibres de coco. Réparti sur deux saisons, on a obtenu un taux de retrait journalier annuel moyen de 72 mg/m<sup>2</sup>/j de PT. Ce taux est supérieur aux taux notés pour les plantes et bonifie grandement l'efficacité de l'IVF.

### 3.3.6.2 Les plantes

Tout au long du suivi, les taux de retraits ont varié d'une espèce à l'autre et, pour certaines espèces, d'une année à l'autre. La cohorte de 2009 présente les taux de retraits les plus faibles, lesquels ont varié de 0,1 mg/m<sup>2</sup>/j pour l'*Iris v.* à 7,1 mg/m<sup>2</sup>/j pour la *Spartina p.* (figure 22, annexe 1 – tableau 11).

Toutefois, en 2009 et en 2010, l'*Iris p.* âgé de deux saisons sur l'IVF (2 ans) et issu de la cohorte 2008 s'illustre avec un taux de retrait de 14,6 et 17,8 mg/m<sup>2</sup>/j (figure 22, annexe 1 – tableaux 11 et 12).

Les trois espèces les plus performantes de 2009 ont été l'*Iris p.*, (2 ans), la *Typha l.* (2 ans) et la *Spartina p.* (1 an). À l'instar de 2009, l'*Iris p.* (17,8 mg/m<sup>2</sup>/j) et la *Spartina p.* (8,6 mg/m<sup>2</sup>/j) dominent le classement de 2010 (figure 22, annexe 1 – tableau 12). Le taux de retrait de la *Typha l.* de la cohorte 2009 a peu progressé en 2010 (figure 22). Il en va de même pour la *Glyceria c.*, dont le rendement est légèrement supérieur à l'année précédente, soit 2,9 comparativement à 2,5 mg/m<sup>2</sup>/j (figure 22). La majorité des semis de 2009 n'ont pas atteint la maturité et demeurent peu performants en 2010 (figure 22).

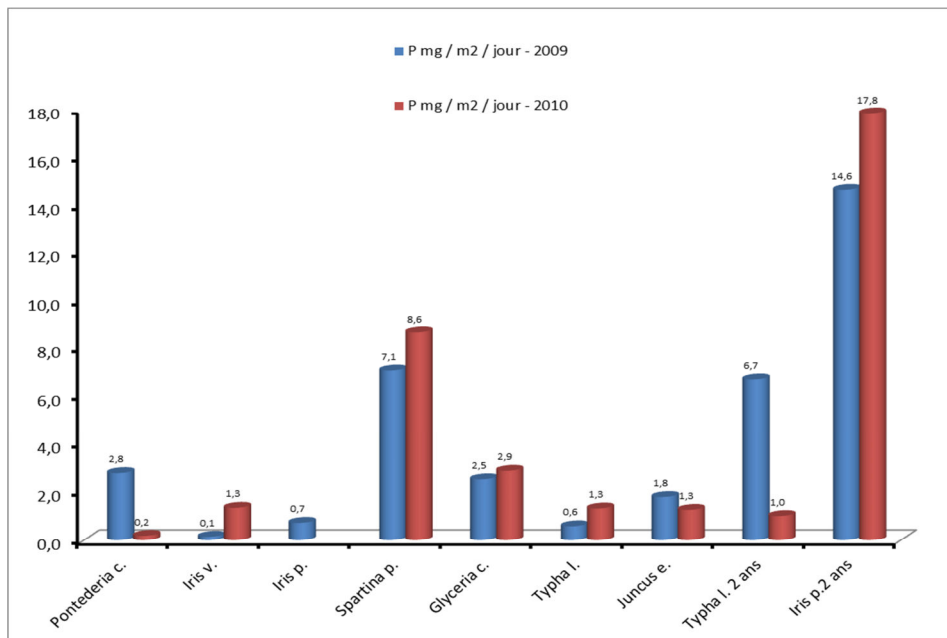


Figure 22. Taux de retraits journaliers moyens des espèces de l'IVF en 2009 et 2010

De 2009 à 2010, les espèces ayant offert des taux de retraits élevés et constants sont l'*Iris p.*, la *Spartina p.*, et la *Typha l.* (matures - 2 - 3 ans — cohorte de 2008) (figure 22, annexe 1 – tableaux 11 et 12).

### 3.3.6.3 Retrait associé à la récolte de la tige

En situation de récolte de la tige par faucardage, les taux de retrait direct de PT pour les espèces de l'IVF en 2012 ont oscillé entre un minimum de 1 mg de PT/m<sup>2</sup>/j pour le *Scirpus v.* et un maximum 10 mg de PT/m<sup>2</sup>/j chez la *Typha l.* (figure 23, annexe 1 – tableau 13). L'*Iris p.* arrive deuxième avec 6 mg de PT/m<sup>2</sup>/j. La *Spartina p.* et la *Sagittaria l.* offrent un taux de retrait aérien en PT similaire (5 mg/m<sup>2</sup>/j), suivies de près par la *Glyceria c.* (4 mg/m<sup>2</sup>/j) (figure 23 annexe 1 – tableau 13).

En 2012, alors que l'apport en phosphore de la plante est comptabilisé selon ses parties aériennes et racinaires, la récolte de la tige équivaut au retrait d'environ 50 % du PT contenu dans la plante entière, et ce, pour la majorité des espèces présentes sur l'IVF. Cette récolte s'est concrétisée par le retrait de 1 000 mg ou 1 g de PT/m<sup>2</sup>/saison pour la *Typha l.* en 2012 (figure 23, annexe 1 – tableau 13).

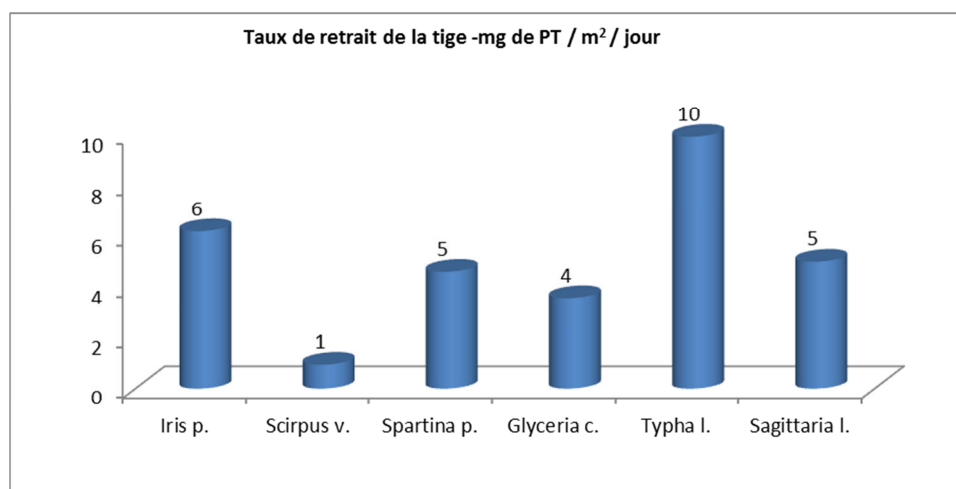


Figure 23. Taux de retraits associés au faucardage de la tige des espèces de l'IVF en 2012

### 3.3.6.4 Les plantes et le substrat

La performance filtrante de l'IVF est grandement rehaussée lorsque l'on additionne le contenu en PT présent dans le substrat à celui des plantes. On obtient alors des taux de retraits de PT oscillant entre 72 mg/m<sup>2</sup>/j de PT et 90 mg/m<sup>2</sup>/j, selon l'espèce (figure 24).

À partir des résultats de 2012, lorsque l'on considère uniquement le retrait du PT contenu dans la tige, les taux de retraits combinés tige + substrat ont varié de 73 à 82 mg/m<sup>2</sup>/j de PT (figure 25). Ces valeurs sont près de celles incluant la totalité de la plante et son substrat (tige + racine + substrat) pour les années 2009 et 2010 (figure 28).

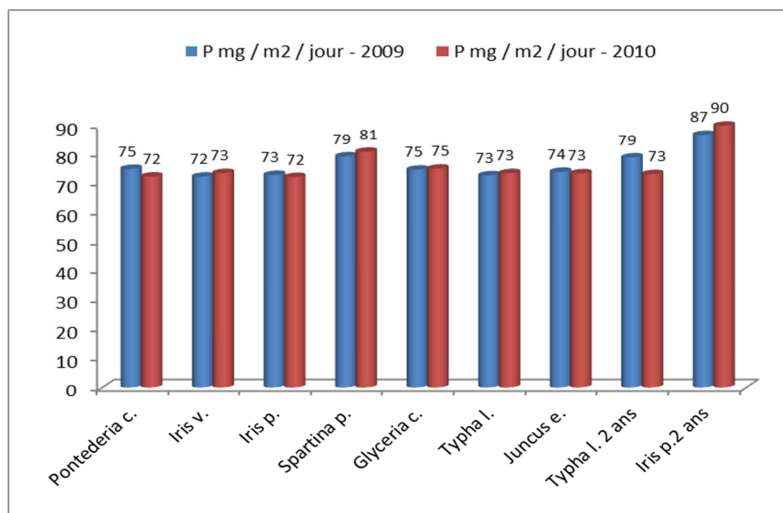


Figure 24. Taux de retrait journalier de PT combiné (substrat + plante) des espèces de l'IVF en 2009 et en 2010

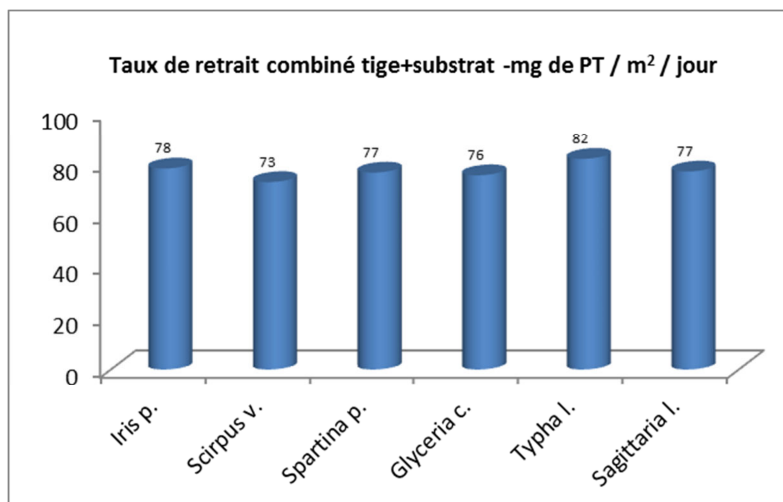


Figure 25. Taux de retrait en PT combiné (tige + substrat) des espèces de l'IVF en 2012

### 3.3.7 PT retiré annuellement par l'IVF de 20 m<sup>2</sup>

L'évaluation du bilan annuel pour le retrait total de phosphore par saison pour les plantes de l'IVF a varié de 8 816 mg/20 m<sup>2</sup> en 2009 à 9 278 mg/20 m<sup>2</sup> en 2010 (figures 26 et 27, annexe 1 – tableau 16). Pour 2012, puisque les valeurs initiales de PT de départ n'ont pas été évaluées et soustraites, il est impossible de statuer précisément sur le retrait total de PT pour la plante entière (tiges + racines). Par contre, lorsque l'on considère uniquement le PT contenu dans la tige au moment du faucardage à la saison 2012, cela a représenté un retrait de 12 275 mg de PT (figure 28, annexe 1 – tableau 16).

L'atteinte de la maturité des plantes en 2012 a produit une récolte en PT aérien plus importante que les récoltes en PT combinées (tiges + racines) lors des années antérieures du suivi (2009 et 2010) pour des plants majoritairement immatures.

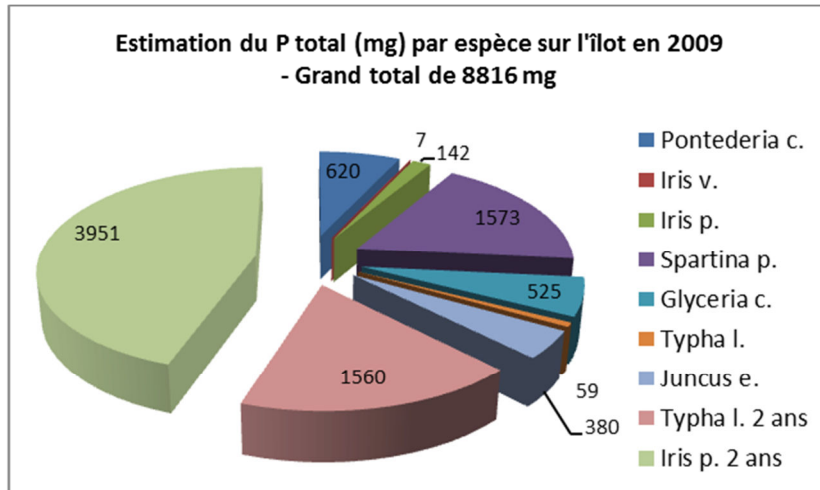


Figure 26. Retrait annuel total par espèce de l'IVF en PT (mg) pour la saison 2009

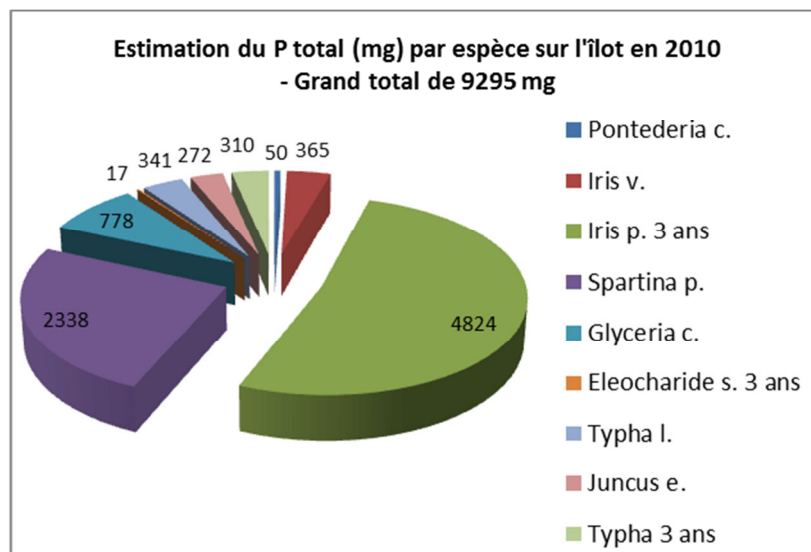


Figure 27. Retrait annuel total par espèce de l'IVF en PT (mg) pour la saison 2010

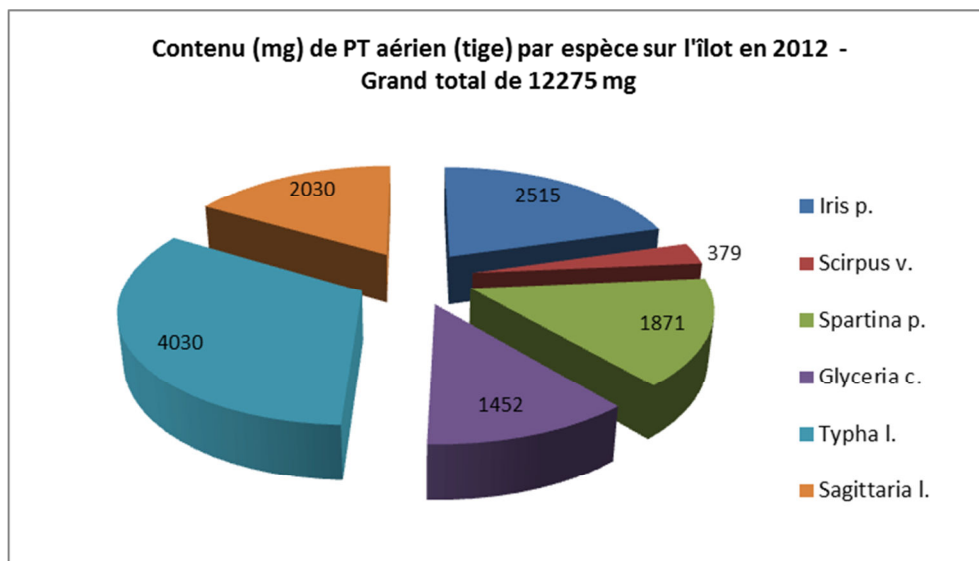


Figure 28. Retrait annuel total par espèce de l'IVF en PT aérien (mg) pour la saison 2012

### 3.3.8 L'influence du substrat

Lorsque les plantes sont supportées par un substrat comparativement à aucun substrat, Hu et coll. (2010) notent que les performances de traitement d'un IVF pour le retrait du PT sont trois fois supérieures pour les 3 températures testées, atteignant en moyenne 78 % d'efficacité. Le substrat de l'IVF est colonisé par une multitude de micro-organismes (bactéries et micro-organismes), dont des organismes accumulateurs de phosphore (PAO). Les PAO sont employés dans le traitement biologique des eaux usées et le retrait des nutriments tel le phosphore (Brdjanovic et coll. 1998, Wagner et Loy 2002, dans Mulkerrins et coll. 2003).

Les taux de retraits notés pour le substrat de l'IVF indiquent que les PAO jouent un rôle très actif. Selon les conditions physico-chimiques du milieu de traitement (pH, température, cations, COD, DO, etc.), les PAO accumulent ou relarguent le phosphore sous l'effet des pressions ou des stress environnementaux (Mulkerrins et coll. 2003). Dans des conditions de vie normales (conditions physico-chimiques relativement stables), l'accumulation du phosphore est le processus prédominant (Mulkerrins et coll. 2003).

Les études consultées confirment le rôle et l'importance du substrat. Par exemple, Van de Moortel (2008) observe une augmentation des taux de retrait en PT de l'ordre de + 31 % lorsque la croissance des plantes est supportée par la présence d'un substrat. Cependant, la comptabilisation et l'addition de la performance filtrante du substrat de l'IVF à celle de la plante sont un sujet délicat auquel certaines questions demeurent sans réponses. En effet, existe-t-il un seuil de saturation au-delà duquel le substrat et la communauté bactérienne ne fonctionneront plus et libéreront le PT dans le milieu? Selon Janssen (1988), lorsque

saturées, les bactéries pourraient relarguer rapidement le PT dans la colonne d'eau. Le relargage en situation de saturation est donc une réaction possible et à éviter.

Gantes et Terremorell (2005), et Terremorell et Gantes (2010) (dans Headley et Tanner 2012) fournissent des évidences que la partie organique contenant les nutriments captés par l'IVF demeure liée au substrat matriciel, sans retour ou relargage direct vers le milieu aquatique. Dans des systèmes naturels d'îles flottantes, les nutriments ont tendance à se concentrer en profondeur dans le substrat, et, éventuellement, des parties de ce substrat se détachent, coulent et se lient aux sédiments benthiques (Sasser et coll. 1991, dans Headley et Tanner 2012).

Même s'il est présentement litigieux de considérer l'effet du substrat dans la balance de l'efficacité de l'IVF, certains auteurs et études procèdent ainsi lors de l'évaluation des performances des IVF.

On constate qu'un substrat naturel de type noix de coco est apte et favorable à accueillir une flore bactérienne riche et diversifiée pouvant contribuer positivement et significativement au processus de captation du phosphore et de purification du milieu. De plus, après environ 6 à 10 ans, la fibre naturelle comme le coco ou, encore, la fibre de laine de tremble, sont complètement biodégradées et converties en sol. Alors, le substrat en place ainsi que la biomasse végétale deviennent un terreau naturel et riche pouvant servir au compostage et à l'amendement à des fins agricoles ou horticoles (Li et coll. 2013). Cela n'est pas le cas pour un îlot dont le substrat de plantation est artificiel et dont l'avantage principal est d'être réutilisable. Lors du retrait complet de la matrice à des fins de valorisation et, encore plus, dans le cadre d'un projet à grande échelle, le retrait du substrat de type naturel des IVF d'un plan d'eau constituera probablement l'enlèvement instantané d'une très grande quantité de phosphore.

Ainsi, bien qu'indéniable, l'effet du substrat et de sa flore bactérienne en milieu naturel reste à évaluer à plus long terme afin de préciser son importance dans la balance du retrait global de PT par l'IVF. À la fin d'un projet de restauration ou lors du changement de la matrice des IVF, le phosphore présent dans le substrat pourra être récupéré et valorisé (compostage de la matrice).

### ***3.3.9 L'influence de la concentration en PT du milieu***

Lorsque la concentration en phosphore dans le milieu récepteur est plus importante, Li et coll. (2010) et Yang et coll. (2008, dans Headley et Tanner 2012) indiquent respectivement des taux de retraits journaliers de  $180 \text{ mg/m}^2/\text{j}$  et de  $60 \text{ mg/m}^2/\text{j}$ . Lors d'un traitement primaire des eaux usées en lagunage à fortes concentrations en PT (c.-à-d.  $34 \text{ g/m}^3$  et  $23,8 \text{ g/m}^3$ ), les taux de retraits en PT atteignent en accordance  $880 \text{ mg/m}^2/\text{j}$  (Kansiime et

coll. 2005) et  $1\,910\text{ mg/m}^2/\text{j}$  (Kyambadde et coll. 2005, dans Headley et Tanner 2012). Les taux de retraits journaliers observés lors de ce suivi ont varié selon l'espèce et l'année. En considérant les plantes les moins performantes et le stress de plantation subi par les semis de la cohorte de 2009, les taux de retraits enregistrés durant ce suivi ( $0,1$  à  $17,8\text{ mg/m}^2/\text{j}$ ) sont comparables à ceux cités dans la littérature pour des environnements et conditions trophiques similaires (mésotrophie) (Kadlec et Wallace 2009; White et Cousins 2013, Tanner et Headley 2011, Li et coll. 2010, Suskias et coll. 2011, Fengliang et coll. 2012).

### **3.3.10 La récolte des tiges par faucardage**

Pour les marais filtrants, certains auteurs recommandent la récolte des tiges comme moyen de retrait du PT (Wang et Mitsch 2000, dans Kadlec et Wallace 2009) alors que d'autres mentionnent qu'elle s'avère peu significative dans le bilan global (Crites et Tchobanogoulos 1998). Brix (1994) soutient que l'effet du faucardage est valide en situation d'apports modérés en nutriments. Vymazal (2004, 2007) conclut que, même si le faucardage des tiges permet habituellement de retirer peu de phosphore, dans le cas d'un traitement tertiaire de polissage de moins de  $20\text{ g PT/m}^2/\text{an}$  comme apports, cette approche peut s'avérer concluante et significative.

Concrètement, cette pratique permet de retirer de manière définitive une partie du phosphore contenu dans la plante et provenant du milieu. Hosoi et coll. (1998, dans Kadlec et Wallace 2009) ont étudié l'effet de diverses stratégies de récolte de la tige chez les *Phragmites* et concluent qu'elle permet l'enlèvement de  $2$  à  $3\text{ g}$  de  $\text{PT/m}^2$  par faucardage. Les valeurs observées en 2012 ne sont que très légèrement inférieures à celles indiquées par Hosoi et coll. (1998, dans Kadlec et Wallace 2009).

Dans une expérience employant des concentrations en PT similaires à celles notées pour les eaux du lac à l'Anguille, White et Cousins (2013) constatent que le faucardage de la tige du *Juncus* permet le retrait de  $1,69 \pm 0,2\text{ g P/m}^2/\text{saïson}$ , alors que le *Canna* emmagasine  $1,05 \pm 0,2\text{ g P/m}^2/\text{saïson}$ . Ces auteurs concluent que l'utilisation de cette biotechnologie peut s'avérer des plus efficaces pour les milieux de relativement faible concentration de PT lorsqu'il est nécessaire de polir et d'abaisser le PT du milieu à des concentrations très faibles. Cette conclusion correspond à la situation que l'on retrouve dans les lacs eutrophes du Québec, c'est-à-dire : un milieu relativement pauvre en PT comparativement à une eau usée, mais où l'on doit quand même abaisser la concentration en PT à un niveau encore plus bas pour éviter les conséquences de l'eutrophisation.

Headley et Tanner (2012) soulignent l'importance de la récolte de la partie aérienne pour le retrait de PT du milieu. Tel que décrit par Hogg et Wein (1987) et Sasser et coll. (1991), l'accumulation de phosphore sous ses différentes formes au niveau du substrat organique peut favoriser le relargage de la forme soluble de P dans le milieu. La récolte automnale

des tiges limite l'accumulation de PT au niveau du substrat et diminue du coup les risques de relargage de phosphore dans le milieu.

De plus, comme conseillé par White et Cousins (2013), le retrait de PT suite au faucardage du système aérien (la tige) s'avère, à notre avis, la donnée de mesure d'efficacité du système IVF la plus fiable.

### 3.3.11 Les espèces vedettes

Il est intéressant de souligner que les taux de retraits maximaux observés pour les spécimens matures des espèces *Typha l.*, et *Iris p.* sont similaires à ceux notés dans la littérature pour un environnement de croissance du même type (mésio-eutrophe), soit de 10 à 20 mg/m<sup>2</sup>/j (Tanner et Headley 2006) et de 20 à 50 mg/m<sup>2</sup>/j en milieu contrôlé (Tanner et Headley 2011). Suskias et coll. (2011) observent des rendements de 11 à 15 mg/m<sup>2</sup>/j pour des eaux naturelles eutrophes. Van de Moortel et coll. (2010) obtiennent des taux de retraits variant entre 20 et 30 mg/m<sup>2</sup>/j.

L'*Iris p.* est l'espèce ayant démontré le plus de constance. Elle est présente dans le classement des 3 espèces les plus performantes durant les trois années de suivi et elle se retrouve au premier rang deux années sur trois, de même qu'au second rang en regard du retrait de PT associé à sa partie aérienne (tableau 1).

La *Typha l.*, la *Spartina p.* et la *Glyceria c.* se classent deux années sur trois parmi les meilleures espèces. La récolte des tiges de la *Typha l.* permet le retrait de la plus grande quantité de phosphore, suivi par l'*Iris p.* et la *Sagittaria l.* (tableau 1).

**De ce contingent, les trois espèces les plus performantes sont, dans l'ordre, l'*Iris p.*, la *Typha l.* et la *Spartina p.***

Tableau 1. Liste des 3 espèces les plus performantes selon l'année au cours du suivi

Rang	2009	2010	2012	2012 – tige
1	<i>Iris p.</i>	<i>Iris p.</i>	<i>Typha l.</i>	<i>Typha l.</i>
2	<i>Spartina p.</i>	<i>Spartina p.</i>	<i>Iris p.</i>	<i>Iris p.</i>
3	<i>Typha l.</i>	<i>Glyceria c.</i>	<i>Glyceria c.</i>	<i>Sagittaria l.</i>

### 3.4 Quantification des effets directs de l'îlot sur le milieu aquatique

#### 3.4.1 Les paramètres de la qualité de l'eau

La comparaison des paramètres de la qualité de l'eau en amont, en bordure avant et arrière de l'IVF, ainsi que sous l'IVF et à plus de 10 m de l'IVF (témoin), a été réalisée en 2009 et en 2010 afin de valider l'influence de l'IVF sur le milieu immédiat (annexe 1 — tableaux 17 et 18).

Parmi les paramètres analysés (la turbidité, la conductivité, l'oxygène dissout, le pH, la température, et la transparence de l'eau), seule la température sous l'îlot présente des valeurs significativement différentes des autres sites (annexe 3 — tableaux 1, 2 et 3).

De plus, cette variation a été significative uniquement durant la période chaude de l'été (tableau 2). Plus spécifiquement, on a noté une température significativement moins élevée sous l'îlot qu'à l'avant. La variation de température entre l'avant de l'îlot et sous l'îlot a été de 0,63 °C.

Tableau 2. Résultats de l'analyse statistique pour la saison chaude

	dl	SC	F	p
<b>Température (carré)</b>				
Date	4	96 189,16	465,73	<0,0001
Site	3	1 692,43	10,93	0,0017
Erreur		51,63		
<b>pH (inverse)</b>				
Date	2	0,00	11,49	0,0089
Site	3	0,00	2,17	0,1922
Erreur		0,00		

Note : Le site lac a été exclu des analyses puisqu'il est situé hors de la zone d'influence de l'îlot.

L'analyse visuelle des données laisse entrevoir des variations très minimes (figures 29 à 33). La température sous l'îlot est visiblement inférieure (figure 29). **La Conductivité** est légèrement plus basse le 5/08/2009 sous l'îlot qu'aux autres sites (figure 30). **L'oxygène dissout** affiche une très légère hausse sous l'îlot par rapport aux autres sites le 18/05/2010 de même qu'une légère diminution le 02/07/2010 (figure 31). **La turbidité** est très légèrement plus élevée sous l'îlot qu'aux autres sites le 05/08/2009 et le 11/09/2009 (figure 32). Toutefois, cette augmentation est insuffisante pour en tirer des conclusions. Ici aussi, les variations sont trop faibles et les écarts trop minces. **Le pH** sous l'îlot est très légèrement en dessous des valeurs observées aux autres sites le 29/09/2009 et le 11/09/2009. Cependant, il est question d'écarts subtils (2<sup>d</sup> chiffre après la virgule) probablement attribuables à la marge d'erreur de la sonde (figure 33).

De plus, les changements ou variations observées sont tellement minimes qu'ils peuvent simplement refléter la variabilité naturelle du milieu ou la précision des appareils terrain de mesure des divers paramètres. En outre, la variabilité entre les sites est tellement grande qu'il s'agit sûrement là aussi de la variabilité naturelle du milieu plutôt que de l'effet de l'îlot. Ces interprétations n'ont aucune valeur statistique.

Seules les variations d'oxygène aux divers sites ont l'air plus prononcées, ce qu'on ne parvient toutefois pas à confirmer statistiquement. Par ailleurs, des concentrations plus faibles en oxygène sous les matelas/matrices des îlots flottants artificiels et naturels sont mentionnées dans la littérature (Sasser et coll. 1993, Headley et Tanner 2011, 2012, Brix 1993, Karnchanawong et Sanjitt 1995).

La difficulté à faire ressortir l'influence de l'IVF sur les paramètres physico-chimiques est probablement attribuable à la faible superficie de l'IVF à l'essai au lac à l'Anguille. Ainsi, l'unité d'IVF de 20 m<sup>2</sup> ne semble pas avoir d'impact sur la qualité physico-chimique de son milieu, outre le fait d'abaisser sensiblement la température de l'eau durant la saison chaude. L'influence significative de l'IVF sur la température en période chaude s'explique simplement. L'îlot crée de l'ombre sous sa matrice, ce qui diminue le taux de pénétration de lumière et réduit le réchauffement de l'eau. Cet effet se manifeste encore plus lors des jours ensoleillés et chauds. Lorsque le milieu est bien oxygéné, cet impact peut s'avérer bénéfique pour la faune aquatique (Floating Island International 2010).

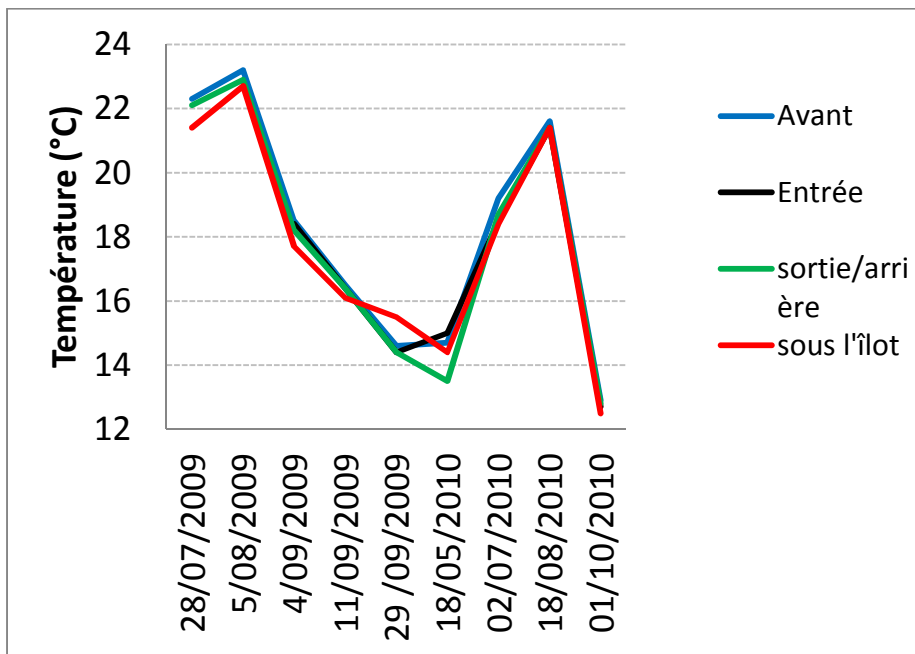


Figure 29. Variations intersites de la température

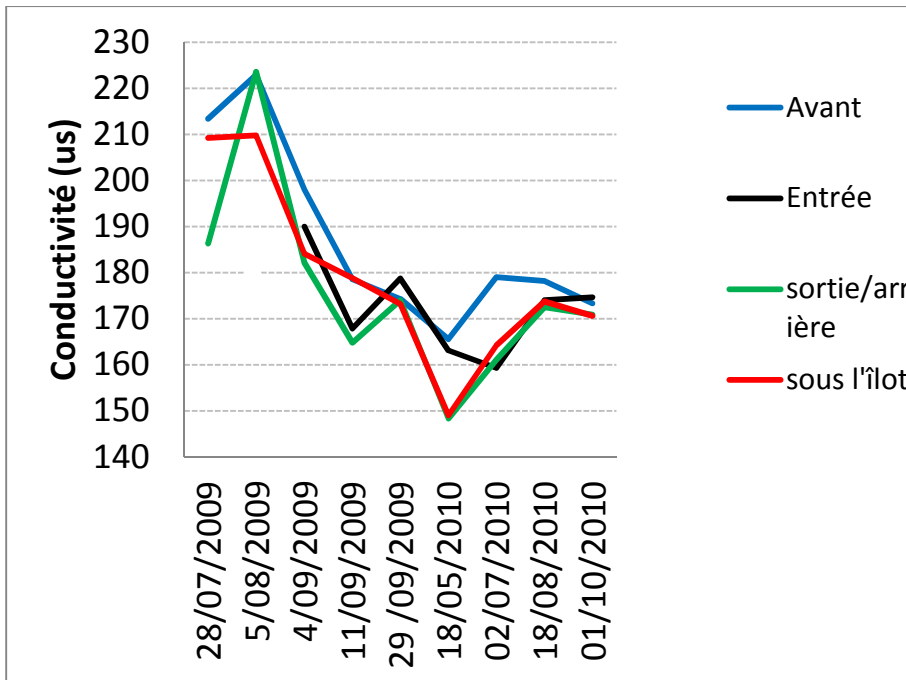


Figure 30. Variations intersites de la conductivité

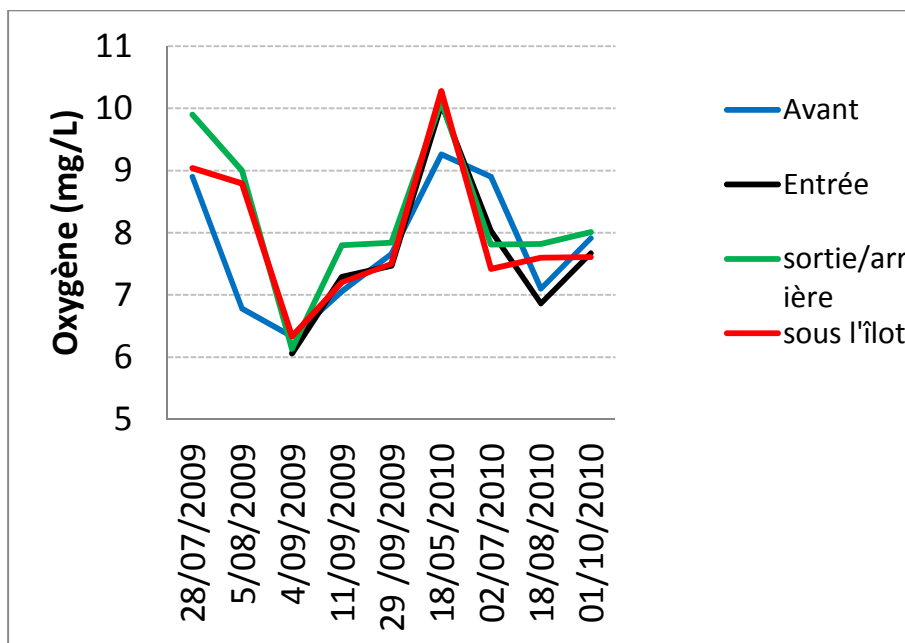


Figure 31. Variations intersites de l'oxygène

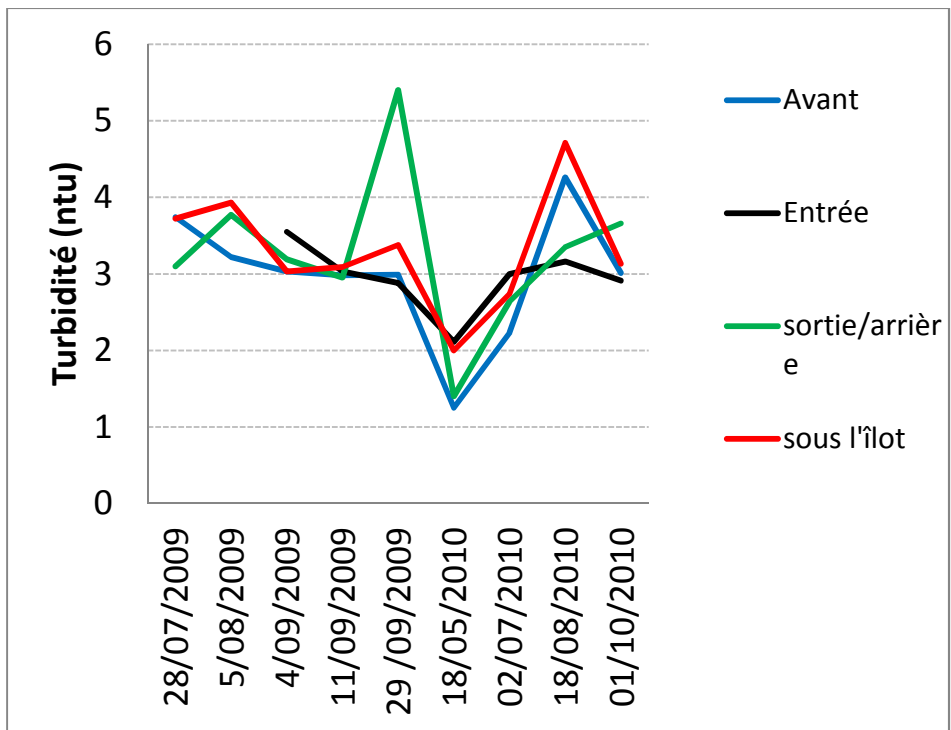


Figure 32. Variations intersites de la turbidité

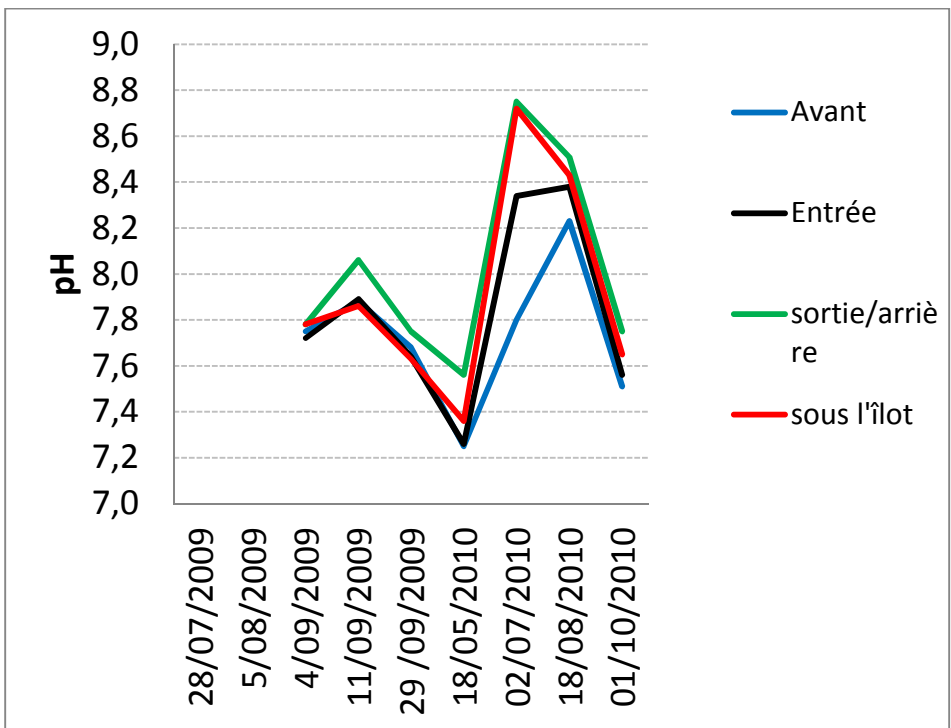


Figure 33. Variations intersites du pH

Pour certains types de plans d'eau, le phytoplancton représente une source importante de production de l'oxygène dissout aqueux. En ce sens, en milieu lacustre calme et soumis à peu d'apports d'oxygène de sources exogènes (brassage par les vagues, sources tributaires, etc.), la création de grandes superficies aphotiques pourrait entraîner la baisse du taux d'oxygène dans le milieu immédiat. Un manque sévère d'oxygène au niveau du substrat pourrait alors stimuler le relargage du phosphore contenu dans la couche superficielle des sédiments.

Vu la petite superficie de notre IVF et une aération adéquate de la masse d'eau, cette situation n'a pas été observée ou mise en évidence. Lors d'un déploiement à grande échelle dans des milieux à faibles teneurs en oxygène, on devra prendre soin de laisser des zones ouvertes entre les îlots afin de ne pas créer de zones aphotiques et d'interférer avec les processus phytoplanctoniques créateurs d'oxygène.

Pour les milieux les plus sensibles et à risques, en plus de l'espacement entre les IVF, l'oxygénation du milieu par un système de diffusion de microbulles d'air sous l'îlot pourrait s'avérer préférable. De plus, l'ajout d'un système d'oxygénation bonifie l'efficacité et les performances filtrantes des systèmes IVF (Todd 2003, Wu et coll. 2006, Stewart et coll. 2008).

### **3.5 Évaluation structurelle des composantes de l'IVF**

#### **3.5.1 Solidité, flottabilité et durabilité**

L'IVF développé dans le cadre de ce suivi expérimental devait être muni d'une excellente flottabilité afin de supporter le poids des expérimentateurs et faciliter les manipulations sur l'IVF. De plus, sa taille (20 m<sup>2</sup>) était apte à recevoir une grande quantité et diversité d'espèces à des fins de comparaisons. Sa construction robuste (fer et aluminium) et résistante aux intempéries garantissait un milieu stable pour la réalisation d'un suivi de longue durée. La partie externe du cadre flottant en aluminium a dû être recouverte d'une membrane afin de réduire la réflexion du soleil sur les plantes en bordure de l'IVF.

Durant ses quatre premières années sur le plan d'eau (2008 à 2011), aucun bris ni modification de structure n'a été noté sur l'IVF. La structure, demeurée en lac durant les saisons hivernales, a entièrement résisté à la pression des glaces. Quelques attaches (rivets) reliant le grillage en acier au cadre flottant de l'IVF ont cédé sous le poids des expérimentateurs en 2011. Le tout a alors été réparé temporairement sur-le-champ à l'aide de cordages. La corrosion galvanique entre l'aluminium du cadre flottant et l'acier du grillage a probablement contribué à l'arrachement de rivets. Les futurs IVF devront être construits d'un seul matériau, y compris les boulons et attaches, soit en aluminium ou en

acier. Les besoins en termes de flottabilité seront différents lors d'un déploiement à grande échelle. Une version améliorée de l'IVF, tout aussi durable, mais plus légère, pourra être développée en série, et ce, à des coûts de production beaucoup moins élevés.

### 3.5.2 Système d'aération

La mise en place de grandes étendues contiguës d'IVF influe sur la disponibilité de l'oxygène dissout en limitant les transferts interface air - eau ainsi que le brassage par les vagues et la photosynthèse algale (Karnchanawong et Sanjitt 1995, dans Headley et Tanner 2012). Mulkerrins et coll. (2003) indiquent qu'il y a des avantages pour chaque voie métabolique de retrait du phosphore (aérobie et anaérobie). L'oxygénation lors du traitement des eaux usées par des organismes biologiques (bactéries, plantes) permet de hausser les performances et d'atteindre un taux d'enlèvement de phosphore global de 80 à 90 % (Mino et coll. 1998, dans Mulkerrins et coll. 2003). D'autre part, l'incorporation d'une phase anoxique au processus de traitement permet de retirer à la fois l'azote et le phosphore des eaux usées (Metcalf et Eddy 1991, Crites et Tchobanoglous 1998, dans Mulkerrins et coll. 2003).

L'ajout d'un système d'aération à l'IVF peut s'avérer bénéfique pour l'optimisation des processus biochimiques de transformation des matières enrichissantes (DBO<sub>5</sub>, dégradation, nitrification) (Todd et coll. 2003). Des taux de retraits et des rendements accrus sont notés par certains auteurs suite à l'ajout de système d'aération à l'IVF (Stewart et coll. 2008, Wu et coll. 2006). Cependant, ces systèmes nécessitent une alimentation électrique et génèrent des coûts supplémentaires de fonctionnement et d'entretien. Ils peuvent également induire un brassage de la colonne d'eau, risquant de remettre en suspension les nutriments séquestrés dans le lit benthique.

Headley et Tanner (2012) proposent de laisser des espaces vides suffisamment grands entre les diverses unités/surfaces d'IVF afin d'assurer l'aération de la masse d'eau par les processus naturels.

Il est de mise de croire qu'un plan d'eau plus vaste et bien oxygéné est moins à risque qu'un petit plan d'eau isolé. Dans le cas du lac à l'Anguille, l'exposition aux vents dominants et la forme allongée de son bassin favorisent l'emprise des vagues et une oxygénation adéquate de la couche superficielle 0 - 5 m (Roy 1999). Au besoin, l'ajout d'un système d'aération de type microbulles sous forme de tubulures serait à notre avis approprié. Fixé en surface ou au centre de la colonne d'eau et localisé à proximité des unités d'IVF, ce système pourrait assurer l'oxygénation adéquate de la masse d'eau et optimiser le rendement des plantes de l'IVF sans créer de turbulence au niveau des sédiments.

### 3.6 Superficie d'îlots requise

À maturité, les diverses espèces de plantes mises à l'épreuve sur l'IVF dans le cadre de l'essai dans le milieu naturel du lac à l'Anguille ont affiché des taux de retraits journaliers de 1 à 10 mg/m<sup>2</sup>/j pour la récolte de la tige uniquement, de 1,4 à 18,7 mg de PT/m<sup>2</sup>/j pour la plante entière, et de 72 à 91 mg/m<sup>2</sup>/j pour la plante et le substrat. Tel que mentionné, nous proposons, pour un plan d'eau mésotrophe tel le lac à l'Anguille, une valeur conservatrice de taux de retrait journalier référence de 10 mg/m<sup>2</sup>/j, correspondant à 1 000 mg/m<sup>2</sup>/saison de croissance. Ces valeurs références sont celles observées pour le retrait du PT contenu dans la tige de la *Typha l.* lors du faucardage annuel (2012). On précise qu'il est question de valeurs conservatrices, puisque ces taux de retraits ne prennent pas en compte le phosphore retiré du milieu par la racine ni par le substrat.

Le taux de retraits journaliers de PT cités dans deux ouvrages compilant les résultats de centaines d'études et articles scientifiques sur le sujet indiquent des valeurs moyennes références de 16 mg/m<sup>2</sup>/j (Kadlec et Wallace 2009) et de 100 mg/m<sup>2</sup>/j (Headley et Tanner 2012), tous types de milieux confondus. En étayant l'analyse des performances citées dans ces ouvrages, on remarque que la valeur moyenne de retrait de 16 mg de PT/m<sup>2</sup>/j se répertorie souvent pour des milieux dont la concentration en PT est similaire aux plans d'eau mésotrophes (< 0,03 mg/l), tandis que la valeur de retrait de 100 mg de PT/m<sup>2</sup>/j et plus est observable pour des sites fortement eutrophiés (> 0,1 mg/l). Pour les plans d'eau naturels eutrophes, la littérature suggère des taux de retraits moyens de l'ordre de 20 à 30 mg de PT/m<sup>2</sup>/j (Headley et Tanner 2012). Aux taux précités, on évalue les performances filtrantes d'un IVF en milieu eutrophe québécois entre 2 000 et 3 000 mg de PT/m<sup>2</sup> par saison.

Pour parvenir à quantifier la quantité approximative ou surface d'IVF requise dans un plan d'eau, il faut d'abord bien connaître son profil temporel de concentration en PT. Heureusement, plusieurs plans d'eau fortement affectés par la problématique d'eutrophisation accélérée participent au programme de suivi du *réseau de surveillance des lacs* du MDDELCC leur permettant d'avoir une très bonne idée de la concentration saisonnière moyenne en phosphore dans leur plan d'eau. À partir de cette concentration moyenne et d'un taux de retrait journalier ou saisonnier de référence, on peut estimer la superficie d'IVF requise pour limiter l'impact de l'anthropisation et de l'eutrophisation d'un plan d'eau. De même, pour des conditions d'eutrophie comparables, plus un plan d'eau est de grande taille, plus le nombre d'IVF nécessaire sera élevé. À notre avis, les coûts d'application de cette approche curative seront similaires et même moins élevés que ceux des autres méthodes connues.

Prenons l'exemple du lac à l'Anguille. Ce plan d'eau affiche un volume total de 5 183 661 m<sup>3</sup> d'eau (Manseau et Roy 2007) dont la concentration moyenne annuelle en PT est de 0,013 mg/l ou 0,013 g/m<sup>3</sup> (MDDEFP/RSVL 2010-2011). À partir d'un taux de retrait référence conservateur de 10 mg de PT/m<sup>2</sup>/j ou de 1 000 mg/m<sup>2</sup> par saison et une quantité

totale de phosphore estimée à 67 kg, il faut mettre en place  $\pm$  6,7 hectares d'îlots (67 000 m<sup>2</sup>) pour retirer la totalité du PT contenu dans la colonne d'eau. Cette surface d'îlot correspond à 7 % de la superficie totale du lac à l'Anguille.

Si l'on considère uniquement le traitement de la zone photique du lac, zone dans laquelle évoluent les communautés phytoplanctoniques, cela correspond approximativement à la moitié du volume d'eau du lac (transparence moyenne de 3 m, RSVL 2010-2011). Dans ce cas, la superficie d'IVF requise pour réduire de 50 % la teneur en PT du plan d'eau est rapidement estimée à 3,5 % (3,35 ha, 33 500 m<sup>2</sup>). En réalité, la bathymétrie du lac à l'Anguille révèle que la zone 0 - 3 mètres renferme 2 538 446 m<sup>3</sup>. Si l'on désire implanter une superficie d'IVF minimale et rapidement efficace pour traiter la zone photique, une surface de 33 000 m<sup>2</sup> d'IVF est requise ou 1 650 IVF de 20 mètres carrés.

Une superficie d'IVF correspondant à  $\pm$  3 % de la superficie totale d'un plan d'eau de type mésotrophe semble être, à priori, la valeur référence à respecter dans le cadre d'un projet de lutte à l'eutrophisation à grande échelle. Le but n'est pas de créer une carence en PT dans le plan d'eau à traiter, mais plutôt de diminuer la quantité de PT disponible de sorte à réduire les impacts négatifs associés, entres autres, à la prolifération excessive des cyanobactéries. Cette superficie ne permet pas d'éliminer complètement le PT en excès dans le plan d'eau dès la première année. À moyen ou long terme, et considérant des efforts fructueux de réduction des apports en PT à la source, on peut espérer atteindre l'objectif de restauration dans un horizon de 5 à 10 ans.

Les études consultées (Li et coll. 2013; Nakamura et Mueller 2008; Oshima et coll. 2001) avancent une superficie d'IVF à mettre en place équivalant à environ 10 % à 30 % de la superficie totale du plan d'eau à traiter. Le stade mésotrophe et la concentration en PT relativement basse font en sorte de diminuer la superficie d'IVF requise (7 % traitement complet ou 3 % traitement de la zone photique) pour traiter le lac à l'Anguille. En outre, plus la saison de croissance est longue et la température de l'eau à l'intérieur du registre optimal de la plante, plus le traitement sera efficace (Deng et Ni 2013). Les IVF implantés au Sud et au Centre-du-Québec présenteront de meilleurs rendements associés à une température moyenne plus clémente et une saison plus longue qui favoriseront une meilleure croissance et une plus grande accumulation de phosphore. Pour ces motifs, tenter d'imposer des valeurs de références ou barèmes de superficie d'IVF à mettre en place pour un plan d'eau de stade trophique divergent et de situation géographique différente est un exercice plutôt aléatoire. Il est préférable d'évaluer préalablement la quantité de phosphore contenue dans le plan d'eau, et, ensuite, de déterminer à l'aide d'un taux de retrait de référence, adapté au stade trophique et aux conditions climatiques du site (latitude, degrés-jours), la superficie d'îlots requise pour le traitement approprié du plan d'eau.

La malléabilité de cette approche permet de déplacer les IVF à notre guise sur le plan d'eau. Lorsque la concentration en PT dans le milieu d'implantation deviendra insuffisante

pour assurer la croissance des plantes sur l'IVF, il sera de mise de les déplacer pour étendre l'efficacité du traitement à d'autres secteurs du plan d'eau affichant de plus fortes concentrations en PT. À notre avis, le déplacement des IVF pourrait être requis dès la 2<sup>e</sup> ou 3<sup>e</sup> année d'implantation.

## 4.0 Recommandations

La toute première recommandation de ce suivi porte sur le choix de départ des semis de plantation. Il est conseillé d'employer des spécimens de bonne taille et issus de plants matures par division. Contrairement aux semis immatures et issus de la graine, ceux-ci s'adaptent rapidement aux conditions de vie sur l'IVF et affichent une très bonne croissance dès la première année. Durant ce suivi, quelques espèces ont démontré, avec constance, à la fois de bonnes aptitudes d'adaptation et de bons rendements. Leur utilisation à titre d'espèces à prioriser dans le cadre de cette approche de restauration des plans d'eau mésotrophe et eutrophes est suggérée :

- 1— *Typha latifolia* (Quenouilles à larges feuilles)
- 2— *Iris pseudacorus* (Iris des marais)
- 3— *Spartina pectinata* (Spartine pectinée)
- 4— *Glyceria canadensis* (Glycérie du Canada)

Malheureusement, même s'il est naturalisé, l'*Iris pseudacorus* demeure une espèce à statut mitigé. Parfois décrite comme envahissante, sa présence pourrait être nuisible aux autres espèces indigènes. Toutefois, lorsqu'employée sur l'IVF durant ce suivi, elle s'avère extrêmement précieuse et ne semble pas nuire aux autres espèces qualifiées de performantes. De plus, malgré une fructification et un système de reproduction-dissémination efficace, en quatre ans, elle n'a pas colonisé les rives et berges du plan d'eau. Une attention particulière est donc requise pour cette espèce afin de s'assurer que son emploi à plus long terme n'occasionne pas d'impact écologique négatif sur l'écosystème végétal riverain.

En ajout à cette liste, on recommande également l'emploi de la *Sagittaria l.*, et ce, en dépit de sa période d'adaptation au milieu, laquelle est vraisemblablement reliée au temps requis pour la croissance et la densification des tiges des espèces sur l'IVF. En effet, la croissance et la densification des tiges sur l'IVF limitent l'accès et la circulation des canards (brouleurs) sur l'îlot. La *Sagittaria l.* affiche d'excellents rendements une fois à l'abri de la déprédation. On peut aussi conseiller sans retenue l'emploi de la *Pontederia c.* lorsque l'IVF est muni d'un système d'aération qui limite l'atteinte du gel sur la structure et les plants. De plus, l'utilisation de la *Pontederia c.* est fortement recommandée pour les régions du Sud et du Centre-du-Québec, où l'hiver est beaucoup plus clément et les températures plus chaudes.

La disposition et la sélection végétale de l'IVF doivent prendre en compte les propriétés physiologiques, besoins écologiques et caractéristiques intrinsèques de chaque espèce (ensoleillement requis, tolérance à la compétition, etc.). Pour faciliter l'entretien d'un grand nombre d'îlots et limiter la compétition interspécifique, il est recommandé de réduire l'association végétale. La mise en place d'une (1) à quatre (4) espèces par IVF

permettra d'allier performances, esthétique et facilité d'entretien. La diversification des espèces se fera de par le nombre d'IVF employé et la variation de leur agencement spécifique. Ainsi, un IVF de 20 m<sup>2</sup> pourrait abriter la *Typha l.* et la *Spartina p.*, tandis qu'un autre sera composé d'*Iris p.*, de *Glyceria c.*, de *Typha l.* et de *Sagittaria l.* La monoculture sur une surface d'IVF restreinte (20 m<sup>2</sup>) peut aussi être envisagée pour certaines espèces plus sensibles à la compétition spatiale interspécifique (*Juncus e.*, *Scirpus v.*, *Pontederia c.*). L'emplacement de chaque espèce au sein de l'IVF est aussi un critère à considérer puisqu'elles n'atteignent pas toutes la même taille et nécessitent divers degrés d'ensoleillement pour bien s'épanouir.

Il importe également d'offrir un milieu de croissance optimal. Le tapis de noix de coco a depuis longtemps fait ses preuves. Toutefois, il est dispendieux à l'achat et nécessite un transport outre-mer (empreinte environnementale). L'achat de grandes quantités (conteneur) pourrait faire en sorte de diminuer le coût du substrat de coco. Le remplacement de ce type de substrat par une autre fibre transformée au Québec, telle la laine de tremble, est aussi une alternative intéressante. Produit québécois, la fibre de tremble est, entre autres, employée dans les boudins capteurs de sédiments et stabilisateurs de rive. Dans le cadre d'un projet à grande échelle, une entente avantageuse (volume et prix) avec le producteur de laine de tremble pourrait être conclue afin qu'il mette en production un tapis dont les caractéristiques seraient similaires à celui de la fibre de coco. Cette avenue consoliderait l'économie régionale et diminuerait grandement l'empreinte écologique de l'IVF. L'achat en vrac de laine de tremble et la confection d'un tapis adapté à l'IVF demeurent un exercice relativement simple à réaliser.

Pour l'évaluation de la quantité ou surface d'îlots requise pour traiter un lac (annexe 3), nous proposons une approche au cas par cas et respectant les étapes suivantes :

1. Détermination de la concentration saisonnière moyenne de PT dans le plan d'eau;
2. Détermination du volume d'eau du plan d'eau (bathymétrie);
3. Détermination de la quantité de phosphore dans la masse d'eau (kg);
4. Détermination de la surface requise d'IVF par :
  - Taux de retrait de référence de 10 mg/m<sup>2</sup>/j ou 1 000 mg/m<sup>2</sup>/saison pour les lacs mésotrophes du Bas-Saint-Laurent;
  - Taux de retraits de 20 à 30 mg/m<sup>2</sup>/j ou ±2 500 mg/m<sup>2</sup>/saison pour les lacs eutrophes du Bas-Saint-Laurent;
5. Taux de retrait bonifié pour les lacs du Sud et du Centre-du-Québec d'environ 60 mg/m<sup>2</sup>/j ou ± 6 000 mg/m<sup>2</sup>/saison;
6. Application du calcul pour traiter la zone photique du plan d'eau ou environ 50 % de son volume d'eau par année.

Enfin, le faucardage automnal des tiges, l'entretien mensuel des IVF (nettoyage, surveillance) et la réalisation d'un suivi de base sont des éléments à intégrer aux projets de restauration des lacs eutrophes à l'aide de cette biotechnologie verte.

## 5.0 Conclusion

Parmi les dix espèces à l'essai sur l'IVF de 2008 à 2012, certaines ont démontré de meilleures aptitudes et performances. Les critères de survie, teneur tissulaire en PT et biomasse par surface ont permis de cibler les espèces les mieux adaptées et les plus résilientes, lorsque mises en conditions réelles d'utilisation sur un IVF pour une période prolongée (4 saisons et 4 années). Bien que certaines espèces exhibent de bonnes affinités pour le retrait du phosphore, des difficultés d'adaptation ou leur production de biomasse par m<sup>2</sup> font en sorte qu'elles s'avèrent moins intéressantes. On pense ici plus particulièrement aux espèces :

- *Iris v.* : teneur en PT et biomasse faibles, difficulté d'adaptation;
- *Scirpus v.* : biomasse faible;
- *Eleocharis s.* : déprédation;
- *Pontederia c.* : teneur en PT élevée, biomasse élevée, survie hivernale faible;
- *Sagittaria l.* : biomasse et teneur tissulaire en PT élevées, croissance et survie affectées par la déprédation (période d'adaptation requise).

Les espèces ayant démontré une performance globale élevée sont, dans l'ordre, la *Typha latifolia*, l'*Iris pseudacorus*, la *Spartina pectinata*, la *Glyceria canadensis*, et, après adaptation à la déprédation, la *Sagittaria latifolia*. Les trois espèces dont le rendement a été le plus constant sont la *Typha latifolia*, l'*Iris pseudacorus* et la *Spartina pectinata*.

Lorsque l'on prend en considération le rôle du substrat, les performances du système de l'IVF sont accrues substantiellement et l'on note des taux de retraits maximaux d'environ 91 mg/m<sup>2</sup>/j. Toutefois, l'interaction à plus long terme entre le substrat et son environnement demeure à étudier plus en profondeur. À cet effet, la poursuite du suivi permettrait de vérifier l'évolution de la teneur en PT du substrat et de valider s'il y a accumulation temporelle de PT dans la matrice. Basé sur les résultats observés et la littérature consultée, nous proposons un taux de retrait de PT référence conservateur de 1 000 mg de PT m<sup>2</sup>/saison de croissance pour les sites mésotrophes et de 2 500 mg/m<sup>2</sup>/saison pour les plans d'eau eutrophes du Bas-Saint-Laurent aux prises avec la problématique des algues bleu-vert. Nous suggérons également la valeur référence de 3 % d'IVF pour traiter la superficie totale du lac à l'Anguille (98 ha).

La littérature démontre que plus un milieu est riche en phosphore, plus la disponibilité en phosphore est élevée, et plus les plantes et l'IVF sont performants (Li et coll. 2010, Kadlec et Wallace 2009, Yang et coll. 2008 dans Headley et Tanner 2012). La forte dépendance entre la teneur en phosphore du milieu et les taux de retraits observés confère une certaine adaptabilité, malléabilité et plasticité à cette approche verte et durable. Une telle caractéristique propre à l'IVF suggère une efficacité dans un large spectre de milieux souffrant d'eutrophisation.

La saison de croissance s'avère plus longue pour les plans d'eau situés dans le Centre et le Sud de la province, et plus courte pour ceux situés plus au Nord et à l'Est, ce qui influe sur la valeur référence de taux de retrait à employer d'une région à l'autre lors du calcul de la superficie d'IVF à planter. Pour les plans d'eau eutrophes du Sud et Centre-du-Québec, la valeur référence en termes de pourcentage d'IVF pour un plan d'eau à traiter sera dépendante de la concentration en PT, de la durée de croissance accrue (degrés - jour) et du taux de retrait bonifié pour ces plans d'eau. Selon la littérature, le taux de retrait de référence le plus approprié se situe entre 30 et 60 mg/m<sup>2</sup>/j, équivalant à un retrait moyen d'environ 4 500 mg de PT/m<sup>2</sup> par saison pour le Sud et le Centre-du-Québec.

La durée et la capacité de rétention du PT par le substrat et sa flore bactérienne nécessitent davantage d'investigations. De même, bien que l'IVF du lac à l'Anguille soit de plus en plus performant au terme de 5 ans, le taux de remplacement des végétaux et l'efficacité de l'IVF à plus long terme demeurent à valider. La réalisation de plusieurs projets à grande échelle et de durée prolongée (5 à 10 ans) répartis sur l'ensemble du territoire québécois permettrait d'améliorer nos connaissances et de répondre à ces interrogations. Ces projets comprendraient le déploiement d'une superficie adéquate d'îlots accompagnée d'un suivi de base prolongé de l'état de saturation du substrat et des performances de l'IVF.

Les plans d'eau douce sont une ressource publique de valeur inestimable. Leur préservation et le maintien de leur qualité constituent une responsabilité commune. En tant qu'individus ou groupes, nous profitons tous de cette ressource et exerçons tous un impact, direct ou indirect, sur le milieu aquatique. Encore bien au-delà de ces considérations, il en va de l'avenir des générations futures et de leur qualité de vie. L'efficacité et les performances prometteuses de l'IVF justifient amplement que l'on applique cette biotechnologie à grande échelle et que l'on poursuive parallèlement l'acquisition de données afin de toujours raffiner et d'optimiser cette approche. À cette fin, une aide gouvernementale diversifiée (programmes d'aide, subventions, fonds) pour appuyer les associations bénévoles ainsi que les municipalités désireuses de passer à l'action devient indispensable. Les coûts associés à de tels projets doivent être soutenus par l'ensemble des ministères composant la société québécoise (Affaires municipales, Régions et Occupation du territoire, Santé et Service sociaux, Éducation, Loisir et Sport, Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques, Agriculture, Pêcheries et Alimentation, Énergie et Ressources naturelles, Forêts, Faune et Parcs, Transports, etc.).

De par le monde, c'est souvent l'équivalent de plusieurs millions de dollars par plan d'eau qui sont investis (Chine, Suède, Norvège, Australie, etc.) pour restaurer les lacs dans le cadre de la lutte à l'eutrophisation. Il s'agit d'un choix de société. Le statu quo est synonyme de coûts de restauration toujours plus élevés, et, inévitablement, il entraîne la perte d'une richesse collective capitale : l'eau et... *l'eau, c'est la vie!*

Saison 2013



Photo 12. Excellente croissance printanière sur l'IVF le 8 juin 2013



Photo 13. Croissance estivale sur l'IVF le 6 juillet 2013



Photo 14. Croissance automnale sur l'IVF le 8 août 2013

## 6.0 Références, ouvrages et sites consultés

- APHA, AWWA, WEF. 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20<sup>e</sup> éd., American Public Health Association, Washington, D.C.
- Asaeda, T., Ngoc Hai, D., Manatunge J., Williams, D., and J. Roberts. 2005. *Latitudinal characteristics of below – and- above ground biomass of Typha : a modelling approach*. *Annals of Botany* 96 : 299-312.
- Ash, R., and P. Truong 2003. *The use of Vetiver grass wetlands for sewerage treatment in Australia*. Esk Shire Council, Queensland, Australia. P. 132-141.  
[Http://www.vetiver.org/ICV3-Proceedings/AUS\\_sewage.pdf](http://www.vetiver.org/ICV3-Proceedings/AUS_sewage.pdf)
- Borne, K. E., Fassman, E. A., and C.C. Tanner 2013. *Performance comparison of a field-scale Floating Treatment Wetland for phosphorus, heavy metals and TSS removal from stormwater runoff*. Novatech. 8 p.
- Boutwell, J. E. 2002. *Water quality and plant growth evaluations of the floating islands in Las Vegas Bay, Lake Mead, Nevada*. Technical Memorandum No 8220-03-09. U. S. Department of Interior, Bureau of Reclamation. 69 p.
- Brdjanovic, D. van Loosdrecht, MCM., Alaerts, G.J., and J.J., Heijnen 1998. *Impact of excessive aeration on biological phosphorous removal from wastewater*. *Water Res*, 32 (1) : 200-208.
- Brix, H. 1994. *Function of macrophytes in constructed wetlands*. *Water Science and Technology*, Vol 29, No 4, p 71-78.
- Brix, H. 1993. *Macrophyte-mediated oxygen transfer in wetlands : Transport mechanism and rates*. *Constructed Wetlands for Water Quality Improvements*, Moshiri G.A. (ed.). Lewis Publisher : Boca Raton, Florida. P. 391-398.
- Crites, R. and G. Tchobanogoulos 1998. *Chapter 7: biological treatment and nutrient removal*. In Kane KT, Munson E, Haag G, Tchobanogoulos, editors. *Small and decentralised wastewater management systems*. USA:WCB Mc Graw Hill, p. 397-526.
- De Stefani G., Tocchetto D., Salvato M., and M. Borin 2009. *Applications of floating system for in stream water treatment*, *Proceeding of 4th Annual Meeting of the European Chapter of the Society of Wetlands Scientists (SWS)*, Erkner, Germany. P. 140-141.

- Deng, Y., and F. Ni 2013. *Review of Ecological Floating Bed Restoration in Polluted Water*. *Journal of Water Resource and Protection*, 2013, 5, 1 203-1 209.
- Fengliang, Z., Xi, S., Yang, X., Yang, W., Li, J., Gu, B., and Z. He 2012. *Purifying eutrophic river waters with integrated floating island systems*. *Ecological Engineering*, 40 : 53-60.
- Floating Island International® 2013. *BioHaven® living shorelines, BioHaven® floating breakwaters - Project location : Louisiana, USA*. Shepherd, MT, Floating Island International Inc., 5 p.
- Floating Island International® 2011. *Demonstrating treatment of landfill leachate using floating treatment wetland technology*. Project Location : McLean's Pit Landfill, Town of Greymouth, South Island, New Zealand. Floating Island International P.O. Box 252, Shepherd, MT 59079. 3 p.
- Floating Island International® 2011. *Latest generation floating treatment wetland technology : Achieving significant nutrient removal in aerated wastewater lagoons - Project location : Rehberg Ranch Residential Subdivision, Billings, Montana, USA*. Shepherd, MT, Floating Island International Inc., 4 p.
- Floating Island International® 2011. *Proving the concept : field test of floating treatment wetland technology's ability to treat simulated wastewater - Project location: Outdoor Test Ponds, Shepherd, Montana, USA*. Shepherd, MT, Floating Island International Inc., 3 p.
- Floating Island International® 2011. *Early-stage floating treatment wetland technology to achieve nutrient removal in aerated facultative wastewater treatment lagoons - Project location: Wiconisco Township, Pennsylvania, USA*. Shepherd, MT, Floating Island International Inc., 3 p.
- Floating Island International® 2011. *Phosphorus reduction with passive floating treatment wetlands - Project location : Mermaid Pool, Somerset County, New Jersey, USA*. Shepherd, MT, Floating Island International Inc., 2 p.
- Floating Island International® 2011. *Floating treatment wetlands demonstrate resilience in marine environment - Project location : Port Althorp and Elfin Cove, Southeast Alaska, USA*. Shepherd, MT, Floating Island International Inc., 5 p.
- Floating Island International® 2010. *Floating treatment wetlands to mitigate lake eutrophication : enhanced circulation and nutrient uptake expand fish habitat - Project location : research lake near Shepherd, MT, USA*. Shepherd, MT, Floating Island International Inc., 5 p.

- Gantes, P., and A. Torremorell 2005. *Production and decomposition in floating soils of the Ibera wetlands (Argentina)*. *Limnetica*, 24, 203-210.
- Garbutt, P. 2004. *An investigation into the application of floating reed bed and barley straw techniques for the remediation of eutrophic waters*. WEJ 2004, p. 174-180.
- Grace, J. B. and J.S. Harrison 1986. *The biology of Canadian weeds*. 73. *Typha latifolia* L., *Typha angustifolia* L. and *Typha xglauca* Godr. *Can J. Plant Sci.* 66 : 361-379.
- Grégoire, P., Boudreau, L., Fortier, S. et C. Anderson 2013. *Fiche technique sur les îlots flottants*. Ministère de l'Environnement, du Développement durable, de la Faune et des Parcs du Québec (document en préparation). 20 p.
- Hade, A. 2003. *Nos lacs : les connaître pour mieux les protéger*. Nouv. éd. Fides. 359 p. ISBN-2762125340
- Hart, B., R Cody and P. Truong 2003. *Hydroponic vetiver treatment of post septic tank effluent*. Guangzhou, P.R. China, Proceedings – The Third International Conference on Vetiver (ICV3), October 6–9.
- Headley, T. R., and C. C. Tanner 2012. *Constructed wetlands with floating emergent Macrophytes: An innovative stormwater treatment technology*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41:21, 2 261-2 310.
- Headley, T. R. and C.C. Tanner 2008. *Floating Treatment Wetlands : an Innovative Option for Stormwater Quality Applications*. 11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, November 1-7, Indore, India. P. 1 101-1 106.
- Headley, T. R., and C. C. Tanner 2006. *Application of floating wetlands for enhanced stormwater treatment : A review*. National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd. Hamilton, New Zealand. NIWA project : ARC06231. 93 p.
- Hosoi, Y., Kido, Y., Miki, M., and M. Sumida 1998. *Field examination on reed growth, harvest and regeneration for nutrient removal*. *Water Science and Technology*, 38 (1) : 351-359.
- Hogg, E.H. and R.W. Wein 1987. *Growth dynamics of floating Typha mats : Seasonal translocation and internal deposition of organic material*. *Oikos*, 50, 197-205.
- Hu, M-H., Yuan, J-H., Yang , X-E., and Z-L He 2010. *Effects of temperature on purification of eutrophic water by floating eco-island system*. *Acta Ecologica Sinica* 30 : 310–318.

- Hubbard, R.K. 2010. *Floating vegetated mats for improving surface water quality*. In Shah, V. (ed.), *Emerging Environmental Technologies*. Springer, New York. p. 211–44.
- Hubbard, R.K., G.J. Gascho and G.L. Newton 2004. *Use of floating vegetation to remove nutrients from swine lagoon wastewater*. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*, vol.47, no.6, p. 1 963-1 972.
- Jansson, M. 1988. *Phosphate uptake and utilization by bacteria and algae*. *Hydrobiologia*, vol.170, no.1, p.177-189.
- Kadlec, R.H. and S. Wallace 2009. *Treatment wetlands (2<sup>nd</sup> ed.)*. Boca Raton, FL :CRC Press. 943 p. + Appendix and Tables.
- Karnchanawong, S. and J. Sanjitt 1995. *Comparative study of domestic waste water treatment efficiencies between facultative pond and water spinach pond*. *Water Science and Technology*, 32, 263-270.
- Kelly, A. and R. R. Southwood 2006. *The creation of a floating island of native vegetation at Barton Broad, Norfolk, England*. The Broads Authority, 18 Colegate, Norwich, Norfolk NR3 1BQ UK. *Conservation Evidence* (2006) 3, 73-74.
- Kerr-Upal, M., M. Seasons and G. Mulamoottil 2000. *Retrofitting a stormwater management facility with a wetland component*. *Journal of Environmental Science and Health*, vol.35, no.8, p.1 289-1 307.
- Kyambadde, J., Kansiime, F., and G. Dalhaar 2005. *Nitrogen and phosphorous removal in substrat free pilot constructed wetlands with horizontal surface flow in Uganda*. *Water Research*, 38, 475-485.
- Li, Z., Y. Li, W. Huang and L. Sang 2013. *Artificial floating islands: a technology for clean water and agricultural production in rural China*. *International Journal of Environmental Protection*, vol. 3, no. 1, p.7-14.
- Maddison, M., T., Mauring, K., Remm, M., Lesta, and Ü., Mander 2009. *Dynamics of *Typha latifolia* L. populations in treatment wetlands in Estonia*. *Ecological Engineering*, 35 : 258–264.
- Manseau, É. et A. Roy 2007. *Évaluation de la productivité en fonction de la profondeur moyenne et détermination du niveau optimal pour diminuer la productivité du lac à l'Anguille*. Rimouski, Groupe AIM, 21 p.

- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2014. *Bilan de la gestion des épisodes de fleurs d'eau d'algues bleu-vert, de 2007 à 2012*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement. ISBN 978-2-50-70347-1 (PDF), 32 p.
- Mino, T., M.C.M., van Loodsrecht and J.J. Heijnen 1998. *Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process*. *Water Res* : 32 (11), 3 193-3 207.
- Mueller, G., J. Sartoris, K. Nakamura and J. Boutwell 1996. *Ukishima, floating islands, or chimmkampen?*. Lakeline, North American Lake Management Society. Volume 16, No 3.
- Mulkerrins, Dobson, A.W.D., and E. Colleran 2003. *Parameters affecting biological phosphate removal from wastewaters*. *Environment International* 30 : 249-259.
- Nakamura, K. 2003. *Artificial floating island*. Water quality improvement by ecotechnology, Shimatani, Y., M. Hosomi and K. Nakamura, eds. Soft Science, Tokyo, Japan, 251-259 dans Nakamura, K and G. Mueller (2008). *Review of the performance of the artificial floating island as a restoration tool for aquatic environments*. World Environmental and Water Resources Congress 2008 Ahupua'a, 10 p.
- Nakamura, K. and G. Mueller 2008. *Review of the performance of the artificial floating island as a restoration tool for aquatic environments*. World Environmental and Water Resources Congress 2008 Ahupua'a, 10 p.
- Nakamura, K., N. Kadokura, Y. Munakata, Y. Shimatani and T. Uda 1999. *Restoration of lakeshore vegetation by artificial floating island*. *Environmental Systems Research*, vol. 27, p. 305-314.
- Nakamura, K. and Y. Shimatani. 1997. *Water purification and environment enhancement by the floating wetland*. Proc., Asia WATERQUAL 1997 in Korea, IAWQ, p. 888-895.
- Nakamura, K., Y. Shimatan and Ol. Suzuki 1995. *The ecosystem of an artificial vegetated island, Ukishima , in Lake Kasumigaura*. Proceedings of the 6th International Conference on the conservation and management of lakes, Kasumigaura' 95, Japan, p. 406-409.
- Oshima, H., K. Karasawa and K. Nakamura 2001. *Water purification experiment by artificial floating island*. Proceedings of the Japan Society on Water Environment, vol.35, no.146 dans Nakamura, K and G. Mueller (2008). *Review of the performance of the artificial floating island as a restoration tool for aquatic environments*. World Environmental and Water Resources Congress 2008 Ahupua'a, 10 p.

- Park, J., Headley, T., Suskias, J. and C. C. Tanner 2008. *Attenuation of nutrients in eutrophic lake water using floating treatment wetlands – Mesocosm trials*. Report prepared for the Environmental Bay of Plenty. National Institute of Water and Atmospheric Research, Hamilton, New-Zealand. NIWA project : BOP07228. 47 p.
- Roy, A. 2016. *Résultats du projet pilote de restauration du lac à l'Anguille, volet 2 : expérimentation d'un marais filtrant pour réduire les apports de phosphore au lac*. Groupe AIM inc., Rimouski (Qc), Canada. 50 p et annexes.
- Roy, A. 2008. *Proposition d'un projet pilote comme modèle pour la restauration des lacs eutrophes avec épisodes d'explosions de fleurs d'eau (cyanobactéries) : Approche concertée de lutte intégrée pour la restauration du lac à l'Anguille (municipalité de Saint-Anaclet-de-Lessard, Bas-Saint-Laurent (01), Québec)*. Groupe AIM inc. Rimouski, Association de protection de l'environnement du lac à l'Anguille inc. 39 p.
- Roy, A. 1999. *Plan de mise en valeur du lac à l'Anguille visant à contrer le vieillissement accéléré du lac et à régénérer la qualité aquatique et multi-faunique de ses habitats*. Groupe AIM inc., Rimouski (Québec) Canada. 42 p. et annexes.
- Roy, A., A. Morissette, B. Vincent, R. Chabot, C. Nozais et A. Illinca 2010. *Protocole expérimental de suivi de l'îlot végétal flottant (IVF) et du marais filtrant à écoulement horizontal de surface pour le biotraitement des lacs eutrophes – Version finale*. Rimouski, Groupe AIM inc. pour l'Association de protection de l'environnement du lac à l'Anguille inc. (APELA), 59 p.
- Sasser, C.E., J.G. Gosselink and G.P. Shaffer 1991. *Distribution of nitrogen and phosphorus in a Louisiana freshwater floating marsh*. Aquatic Botany, vol. 41, p. 317-331.
- Smith, M. P., and M. Kalin 2000. *Floating wetland vegetation covers for suspended solids removal*. Paper presented at Treatment Wetlands for Water Quality Improvement, Quebec 2000 Conference, Quebec, Canada.
- Streb, C. 2013. *Building floating wetlands to restore urban waterfronts and community partnerships*. Environmental Law Institute, Washington, DC, USA. National Wetlands Newsletter, Vol 35, No 2 : 24-27.
- Stewart F.M., T. Mulholland., A.B. Cunningham, B.G. Kania and M.T. Osterlund 2008. *Floating islands as an alternative to constructed wetlands for treatment of excess nutrients from agricultural and municipal wastes – results of laboratory-scale tests*. Land Contamination & Reclamation, vol.16, no.1, p. 25-33.

- Stewart, F. 2007. *Biomimetic floating islands that maximise plant and microbial synergistic relationships to revitalize degraded fisheries, wildlife habitats and human water resources*. Final Report to Montana Board of Research and Commercialization Technology, 60 p.
- Sukias, J.P.S., Tanner, C.C., Park, J., Headley T.R. 2010. *Use of floating wetlands to treat nutrient-enriched lake water*. Proceedings of the New Zealand Water Conference 010 —Water our Key Strategic Resource, Water New Zealand, Christchurch. 22-24 Sept 2010.
- Sukias, J.P.S., Yates, C.R., Tanner, C.C. 2010. *Assessment of floating treatment wetlands for remediation of eutrophic lake waters – Maero Stream (Lake Rotoehu)*. NIWA Client Report for Environment Bay of Plenty, HAM2010-104, NIWA, Hamilton Dec. 2010.
- Tanner, C.C., and T.R. Headley 2011. *Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants*. *Ecological Engineering* 37 : 474-486.
- Tanner, C.C., Sukias, J. Park, J. Yattes, C. and T. Headley 2011. *Floating treatment wetlands: a new tool for nutrient management in lakes and waterways*. NIWA, PO Box 11-115, Hamilton. 12 p.
- Tanner, C. C. and T. Headley 2008. *Floating treatment wetlands – an innovative solution to enhance removal of fine particulates, copper and zinc*. National Institute of Water and Atmospheric Research, Hamilton, New-Zealand. Funded by the Auckland Regional Council. Reported at the 2008 Stormwater Conference. 9 p.
- Tian, Z., Zheng, B., Liu, M., & Z. Zhang 2009. *Phragmites australis and Typha orientalis in removal of pollutant in Taihu Lake, China*. *Journal of Environmental Sciences* 21 : 440-446.
- Tocchetto D., and M. Borin 2007. *Floating vegetated systems to reduce the effluent loads in aquaculture farms. Performance and system evolution*. Proceeding of International conference on Multi Functions of Wetland Systems, Legnaro (PD), Italy, p 42-43.
- Tocchetto, D., Borin, M. and G. Simonetti 2006. *Evaluation of floating vegetated systems to reduce the effluent loads from channel rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) farms*. University of Padova, Italy.
- Torremorell, A., and P. Gantes 2010. *Decomposition and nitrogen dynamics of Rhynchospora asperula in floating soils of Esteros de Ibera, Argentina*. *Wetlands Ecology and management*, 18, 191-201.

- Todd, J., E.J.G. Brown and E. Wells 2003. *Ecological design applied*. Ecological Engineering, vol. 20, p.421-440.
- Van Acker, J., L. Buts, C. Thoeys and, G. De Gueldre 2005. *Floating plant beds : BAT for CSO Treatment?*. Book of Abstracts from International Symposium on Wetlands Pollutant Dynamics and Control, Sept. 4-8, 2005, Ghent Belgium, p. 186-187.
- Van de Moortel, A.M.K. 2008. *Use of floating macrophyte mats for treatment of CSOs*. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 8 p.
- Van de Moortel A.M.K., Meers E., De Pauw N., and F.M.G Tack 2010. *Effects of vegetation, season and temperature on the removal of pollutants in experimental floating treatment wetlands*. *Water, Air and Soil Pollution* 212 : 281-297.
- Victorin, Frère M. 1964. *Flore Laurentienne (2<sup>de</sup> éd.)*. Les presses de l'Université de Montréal. 925 p.
- Vymazal, J. 2007. *Removal nutrients in various types of constructed wetlands*. *Science of Total Environment*, 380, 48-65.
- Vymazal, J. 2004. *Removal of phosphorous via harvesting of emergent vegetation in constructed wetlands for wastewater treatment*. Linéard, A., Burnett H. (eds). Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, 26-30 September 2004. Association technique et scientifique pour l'eau et l'environnement (ASTEE), Cemagref and IWA: Avignon (France) pp. 415-422.
- Vymazal, J., Kansime, F., and G. Dalhammar 2005. *Nitrogen and phosphorous removal in substrate free pilot-constructed wetlands with horizontal subsurface flow in Uganda*. *Water, Air, and Soil Pollution* (2005) 165 : 37-59.
- Wagner, M. and A. Loy 2002. *Bacterial community composition and function in sewage treatment systems*. *Curr Opin Biotechnol*, 13 (3) : 218-227.
- Wang, N., and W.J. Mitsch 2000. *A detailed ecosystem model of phosphorous dynamics in created riparian wetlands*. *Ecological Modelling*, 126 : 101-130.
- White, S.A., and M.M. Cousins. *Floating treatment wetland aided remediation of nitrogen and phosphorus from simulated stormwater runoff*. *Ecological Engineering*, Vol 61, part A, 207-215.
- Wu, Q.-T., Gao, T., Zeng, S., and H. Chua 2006. *Plants-biofilm oxidation ditch for in situ treatment of polluted waters*. *Ecological Engineering*, 28, 124-130.

Yang, Z., Zheng, S., Chen, J., and M. Sun 2008. *Purification of the nitrate rich agricultural runoff by a hydroponic system*. Bioresource Technology, 99, 8 049-8 053.

Yao, K., Song, S., Zhang, Z., Xu, J., Zhang, R., Liu, J., Cheng, L., and J. Liu 2011. *Vegetation characteristics and water purification by artificial floating island*. African Journal of Biotechnology, Vol. 10(82),p. 19 119-19 125.

## **Webographie**

Iris pseudacorus : [http://www.aquariomania.net/plantes-de-bassins-l-iris-des-Marais-Iris-pseudacorus-L\\_a662.html](http://www.aquariomania.net/plantes-de-bassins-l-iris-des-Marais-Iris-pseudacorus-L_a662.html)

Pontederia cordata : <http://clicimage.eklablog.com/pontederie-cordee-a2020220>  
[http://www.jardindupicvert.com/4daction/w\\_partner/pontederie\\_feuilles\\_cour\\_pontederia\\_cordata.600](http://www.jardindupicvert.com/4daction/w_partner/pontederie_feuilles_cour_pontederia_cordata.600)  
<http://www.1jardin2plantes.info/fiches/620/pontederia.php>

<http://jardin-obigies.blogs.lalibre.be/archive/2008/07/03/pontederia-cordata-une-des-plantes-incontournables-du-bassin.html>

<http://www.natureobaignades.fr/piscine-ecologique-biologique-naturelle-filtration-construction/Plantes-Aquatiques-et-accessoires/Plante-pour-zone-immeree-de-0-a-Floraison-ou-fructification-decorative/Pontederia-cordata-710.html>

Iris v. : <http://www.aujardin.info/plantes/iris-versicolor.php>  
[http://www.jardindupicvert.com/4daction/w\\_partner/iris\\_versicolor.5890](http://www.jardindupicvert.com/4daction/w_partner/iris_versicolor.5890)

## **Annexe 1 : Tableaux des données**

**Tableau 1. Contenu initial de phosphore total des semis de départ à la plantation ajusté en fonction de la perte de la tige (2009)**

Espèce	Teneur en P (%)	Poids total moyen initial en P (20 m <sup>2</sup> ) par espèce (g)	<sup>1</sup> Poids de P/m <sup>2</sup> pertes ajustées (g)	<sup>1</sup> P total initial moyen pertes ajustées 20 m <sup>2</sup> (g)
Pontederia c.	0,3802	2,630687452	0,059249717	1,18
Iris v.	0,07778	3,191963238	0,071891064	1,44
Iris p.	0,25332	2,532113884	0,057029592	1,14
Spartina p.	0,15348	2,273081419	0,051195527	1,02
Glyceria c.	0,19158	5,287061949	0,119077972	2,38
Eleocharis s.	nd	nd		nd (1,34)
Typha l.	0,23168	11,91001577	0,198500263	3,97
Juncus e.	0,2319	2,974331404	0,066989446	1,40

1- La perte est de 55% du poids initial en P, à l'exception de la Typha à 67% (valeur conservatrice) en raison du très faible développement racinaire à la plantation.

Note : semis chétifs, âgés de un an ou deux et issus à partir de la graine (pépinière Indigo).

**Tableau 2. Poids humides moyens (g) par espèce, fin saison 2009 (facteur de correction du poids pour les pertes et parties non récoltables appliqué à la valeur moyenne de + 15 % ou X 1,15)**

Espèce	Poids humide (g)					Moyenne (g) + 15%
	1	2	3	4	5	
Pontederia c.	47,7757	66,8058	48,390505	70,0304	164,683795	91,467826
Iris v.	16,171875	20,86537	19,733425	10,86704	33,285715	23,21238775
Iris p.	21,566525	33,05537	38,44151	19,136115	30,3002	32,7749356
Spartina p.	113,163105	84,24026	86,879855	50,91533	105,56632	101,3759201
Glyceria c.	76,82	63,678375	49,078665	40,962425	37,592235	61,670291
Typha l.	50,43279	41,991675	17,320725	67,14091	38,492225	49,53701475
Juncus e.	16,368065	20,53555	43,08268	30,017645	29,390665	32,06075915
Typha l. 2 ans*	34,837985	38,479				42,15726638
Iris p. 2 ans*	474,2945	161,5405				365,605125

\* : Dosage en juin

**Tableau 3. Poids humides moyens (g) et taille moyenne par espèce, saison 2010 (facteur de 1,15 appliqué pour correction du poids complet de la plante)**

Espèce	Poids humide (g)					Moyenne (g)
	Spécimens					
	1	2	3	4	5	
Pontereria c.	58,7765	84,709	46,7245	21,85	46,4945	52
Iris v.	32,1885	180,2395	97,29	221,2715	52,21	117
Iris p. 3 ans	1055,562	1151,541	1598,6495	1196,115	1691,8455	1339
Spartina p.	78,66	64,9865	144,44	646,7945	491,096	285
Glyceria c.	18,0205	124,89	50,5885	9,545	143,359	69
Eleocharis s. 3 ans	1,1845	4,5425	22,862	3,151	5,4395	7
Typha l.	58,995	33,8675	20,7	14,9845	32,177	32
Juncus e.	11,3045	54,303	53,406	52,6355	94,369	53
Typha l. 3 ans	50,669	154,2265	86,089	111,0095	123,0845	105

**Tableau 4. Moyenne des moyennes de tailles, de poids et de concentrations en P des tiges et racines (pondérées) des spécimens récoltés pour analyses le 30 août 2012**

Espèces	Taille moyenne (mm)	Poids moyen humide (g)	P (mg/kg/ms)	% tissulaire
Iris p.	929	211,475386	1330	0,1330
Scirpus v.	1430	8,3674	1262	0,1262
Spartina p.	1630	104,3257	542	0,0542
Glyceria c.	600	74,3096075	1401	0,1401
Typha l.	1162	177,73825	1269	0,1269
Sagittaria l.	910	328,25025	1578	0,1578

**Tableau 5. Comparaison des tailles moyennes des deux cohortes de semis (2008 et 2009)**

	Iris v.	Pon. c.	Iris p.	Spartina p.	Glyceria c.	Juncus e.	Typha l.	Sagitta. l.	Eleocharis s.	Sparganium e.	Scirpus v. mature	Iris v. mature	Typha l. mature	Iris p.	Jun. e. mature	Sagittaria lat.
2008 (pfd)	458	597	631	631		692	1082	203	504		785	(458)	(1082)	631	692	203
2009 (semis+ pfd-2)	199	270	282	458	188	359	466	260				242	920	907	698	
2010 (semis 2009+pfd-3)	231	359	499	698	263	468	855		579	375	1086	743	1200	943		
2012 (semis 2009+pfd-5)				1630	600		1162				1430		1162	929		910

**Tableau 6. Taux de survie des diverses espèces présentes sur l'IVF de 2008 à 2010**

Année	Espèces (survie %)														
	Iris v.	Pontederia c.	Spartina p.	Glyceria c.	Juncus e.	Typha l.	Sparganium e.	Sagittaria l.	Scirpus v.	Scirpus v.3 ans	Iris p	Typha l. 3 ans	Iris p. 3 ans	Eleocharis s	Eleocharis s. 3 ans
2008	8,0	100			100	100		15,8	33,3		100			83,3	
2009	100	83,3	95	89	74	78	nd				91				
2010	63	69	91	96	86	60	nd			75	100	183	212		192

Note : Le *Sparganium eurycarpum* semble avoir de la difficulté à s'adapter à l'îlot. Lors de la récolte des spécimens (2009-10-02) pour analyses en laboratoire, les tiges sont inapparentes, soient mortes ou broutées.

Note : Le *Sparganium eurycarpum* n'était pas disponible pour analyse, probablement en raison du surbroutage.

Note : Les données présentées pour les performances filtrantes sont des valeurs issues des moyennes de poids, de siccité et de teneur en P par espèce, et ce, à partir de 2 à 5 spécimens représentatifs de la diversité des spécimens (taille) présents sur l'îlot pour cette espèce.

**Tableau 7. Concentration tissulaire en phosphore total saisons 2008 (plantation et récolte) et 2009 (plantation)**

Espèce	2008		2009	
	Teneur tissulaire de PT à la plantation (mg/kg de ms)	Teneur tissulaire de PT à la récolte de fin de saison (mg/kg de ms)	Teneur tissulaire de PT à la plantation (mg/kg de ms)	Teneur tissulaire de PT à la plantation (%)
Iris p.	4836	1832	2533,2	0,253
Iris v.	1716	Volée?	777,8	0,078
Eleocharis s.	6052	Broutée		
Pontederia c.	3763	1552	3802	0,380
Scirpus v.	7415	Tiges cassées		
Juncus e.	4141	765	2319	0,232
Sagittaria l.	5095	Broutée		
Typha l.	8471	575	2316,8	0,232
Spartina c.			1534,8	0,153
Glyceria c			1915,8	0,192

Remarques terrains et constats, saison 2008 :

Très bonne croissance de ces semis issus de division ou bouturage de plants adultes matures avec systèmes racinaires bien développés et beau feuillage. Ajouts de nombreuses tiges aux plants initiaux en cours de croissance. La baisse drastique de la concentration en PT des spécimens est probablement liée à la disponibilité du phosphore dans le milieu (lac) comparativement à la fertilisation optimale en pépinière (pépinière aquatique AG Kerr, fournisseur de plantes aquatiques de haute qualité, mais plus dispendieuses). La plante s'adapte à la disponibilité du P. Plus il y en a dans le milieu, plus elle en soutire, jusqu'à l'atteinte de son optimum physiologique. Si la teneur en PT dans le milieu dépasse son optimum physiologique ou son minimum, cela peut devenir nuisible à sa croissance. Chaque espèce a un minimum et un optimum qui lui sont propres. E.x. : plantes de milieux eutrophes et plantes de milieux pauvres ou oligotrophes.

Dans le bilan final, la diminution de la teneur tissulaire en phosphore est compensée par la croissance de la plante et l'augmentation de sa masse par ajout de nouvelles tiges et développement des racines. Les plants à la fin de la saison 2008 sont beaucoup plus volumineux qu'au départ. Malheureusement, en 2008, ni le Groupe AIM inc. ni le personnel de laboratoire n'ont noté la masse des spécimens au départ et au final. En 2009 et 2010, ces informations ont été récoltées sur le terrain à l'aide d'une balance électronique haute précision.

**Tableau 8. Concentration tissulaire par spécimen, moyenne par espèce (mg/kg ms) et teneur tissulaire en phosphore (%), récolte saison 2009**

Espèce	Concentration en phosphore (mg/kg ms)					Moyenne (mg/kg ms)	P tissulaire (%)
	Spécimens						
	1	2	3	4	5		
Pontederia c.	1538	904	1327	1109	920	1159,6	0,116
Iris v.	450	464	565	645	422	509,2	0,051
Iris p.	479	476	654	310	450	473,8	0,047
Spartina p.	458	1061	433	721	318	598,2	0,060
Glyceria c.	947	402	717	442	639	629,4	0,063
Typha l.	676	653	566	316	414	525	0,053
Juncus e.	637	369	529	662	507	540,8	0,054
Typha l. 2 ans*	2552	1767				2159,5	0,216
Iris p. 2 ans	1650	1112				1381	0,138
						886,28	

\* Dosage printanier des cohortes de deux ans (lors de la plantation des nouveaux semis de 2009).

**Tableau 9. Concentration tissulaire par spécimen, moyenne par espèce (mg/kg/MS) et teneur tissulaire en phosphore (%), récolte saison 2010**

Espèce	Concentration en phosphore (mg/kg ms)					Moyenne (mg/kg ms)	P tissulaire (%)
	Spécimens						
	1	2	3	4	5		
Pontederia c.	480	674	842	657	495	629,6	0,063
Iris v.	642	545	534	631	736	617,6	0,062
Iris p. 3 ans	413	442	382	359	352	389,6	0,039
Spartina p.	601	199	233	242	239	302,8	0,030
Glyceria c.	1203	751	1537	1325	551	1073,4	0,107
Typha l.	467	785	817	476	661	641,2	0,064
Juncus e.	447	314	306	578	377	404,4	0,040
Typha l. 3 ans	400	438	436	376	695	469	0,047
Eleocharis s.	637	535	569	542	871	630,8	0,063

**Tableau 10. Teneur totale moyenne en P (mg/kg/ms) par espèce pour la tige et pour la racine et en pourcentage tissulaire en 2012 (récolte)**

Espèce	Tige P (mg/kg/ms)	Tige % tissulaire	Racine P (mg/kg/ms)	Racine % tissulaire
Iris p.	1442,6	0,1443	1203	0,1203
Scirpus v.	1160	0,1160	1670	0,167
Spartina p.	550,50	0,0551	533	0,0533
Glyceria c.	2260	0,2260	1033,33	0,1033
Typha l.	2013,33	0,2013	813,33	0,0813
Sagittaria l.	1826,67	0,1827	1255	0,1255

Note : pour la teneur totale pondérée en PT en 2012 (tige + racine combinées), voir le tableau 4.

**Tableau 11. Quantité totale de phosphore par espèce à partir de la densité et des moyennes des poids, de la siccité et de la teneur tissulaire en P respective, saison 2009**

Espèce	Densité tiges (n/m <sup>2</sup> )	Poids humide (g)	Siccité (%)	Poids sec (g/m <sup>2</sup> )	Poids sec total (20 m <sup>2</sup> ) (g)	Teneur en P (%)	Départ	<sup>1</sup> Poids total en P (20 m <sup>2</sup> )		P total (kg)	P/m <sup>2</sup> (g)	P (mg/m <sup>2</sup> )	Mono-spécifique P total 20 m <sup>2</sup> (mg)	Taux retrait journalier (g/m <sup>2</sup> /j)	Taux retrait journalier total (mg/m <sup>2</sup> )	Taux retrait journalier (mg/m <sup>2</sup> /j)	P îlot surface de 2,2 m <sup>2</sup> /sp (mg)
							P initial (g)	par espèce (g)	P (mg/m <sup>2</sup> )								
Pontederia cordata	17	91,47	18,90	293,95	5878,97	0,116	1,19	5,63	0,006	0,28	281,61	5632,26	0,05	45,79	2,29	619,55	
Iris v.	25	23,21	25,36	147,15	2943,10	0,051	1,44	0,06	0,000	0,00	3,04	60,80	0,00	0,49	0,02	6,69	
Iris pseudacorus	25	32,77	31,37	257,05	5141,08	0,047	1,14	1,30	0,001	0,06	64,76	1295,25	0,01	10,53	0,53	142,48	
Spartina pectinata	50	101,38	25,26	1280,58	25611,61	0,060	1,02	14,30	0,014	0,71	714,85	14296,96	0,12	116,24	5,81	1572,67	
Glyceria cana.	50	61,67	18,43	568,23	11364,60	0,063	2,38	4,77	0,005	0,24	238,57	4771,32	0,04	38,79	1,94	524,85	
Typha l.	50	49,54	17,32	428,94	8578,82	0,053	3,97	0,53	0,001	0,03	26,69	533,88	0,00	4,34	0,22	58,73	
Juncus effusus	50	32,06	27,65	443,24	8864,80	0,054	1,34	3,45	0,003	0,17	172,71	3454,29	0,03	28,08	1,40	379,97	
<sup>2</sup> Typha l. 2 ans	30	42,16	25,96	328,32	6566,42	0,216	nd	14,18	0,014	0,71	709,01	14180,17	0,12	115,29	4,76	1559,82	
<sup>2</sup> Iris pseud. 2 ans	15	365,61	25,39	1392,13	27842,66	0,138	nd	38,45	0,038	1,80	1795,93	38450,71	0,31	312,61	14,63	3951,05	
<b>Total :</b>																<b>8 815,79</b>	

1- Note : La quantité de phosphore présente au départ dans les semis de 2009 (avec ajustement de la perte de la tige) est soustraite à la valeur finale pour obtenir le poids total en P (20 m<sup>2</sup>) par espèce en grammes et les autres valeurs de performances filtrantes. Donc : (poids sec total X teneur) – P (g ou mg) initial de départ (ajusté, perte de la tige).

2-Valeurs pour deux années, sans la valeur initiale lors de la plantation (données non récoltées en 2008).

**Tableau 12. Quantité de phosphore par espèce à partir de la densité, des poids moyens, de la siccité moyenne et de la teneur tissulaire moyenne en P respective en 2010**

Espèce	Densité		Siccité (%)	Poids sec (g/m <sup>2</sup> )	Poids sec total (20 m <sup>2</sup> ) (g)	Teneur en P (%)	Départ 2009 P initial (g)	<sup>1</sup> Poids total en P (20 m <sup>2</sup> ) par espèce (mg)	P total (kg)	P/m <sup>2</sup> g	P (saison) (mg/m <sup>2</sup> )	P pour 2,2		P îlot - surface de 2,2 m <sup>2</sup> /sp (mg)	
	tiges (n/m <sup>2</sup> )	Poids humide (g)										Taux retrait journalier (g/m <sup>2</sup> /j)	Taux retrait journalier (mg/m <sup>2</sup> /j)		
Pontérerie cordée	17	51,7109	14,82	130,32	2606,31	0,063	1,19	460	0,0005	0,02	22,80	0,05	0,0002	0,19	50,15
Iris v.	25	116,6399	13,21	385,09	7701,73	0,062	1,44	3320	0,003	0,17	165,86	0,36	0,0013	1,35	364,90
Iris pseudacorus	25	1338,7426	17,25	5774,67	115493,32	0,039	1,14	43860	0,044	2,19	2192,78	4,82	0,0178	17,83	4824,12
Spartina pectinata	50	285,1954	25,80	3679,31	73586,12	0,030	1,02	21260	0,021	1,06	1062,90	2,34	0,0086	8,64	2338,38
Glyceria cana.	40	69,2806	16,16	447,72	8954,38	0,106	2,38	7070	0,007	0,35	353,44	0,78	0,0029	2,87	777,58
Eleocharis s. 3 ans	100	7,4359	43,95	326,82	6536,45	0,063	<sup>2</sup> 1,34	2780	0,003	0,01	7,66	0,02	0,0011	0,06	16,85
Typha l.	50	32,1448	21,55	346,33	6926,56	0,064	3,97	470	0,000	0,16	155,08	0,34	0,0002	1,26	341,17
Juncus effusus	50	53,2036	29,96	796,94	15938,73	0,040	1,34	5110	0,005	0,12	123,78	0,27	0,0021	1,01	272,32
Typha l. 3 ans	30	105,0157	22,96	723,29	14465,70	0,047	3,97	2810	0,003	0,14	140,72	0,31	0,0011	1,14	309,59
<b>Total :</b>														<b>9 295,04</b>	

1- Note : Pour toutes les cohortes: la quantité de phosphore présente dans la racine à la saison 2009 a été soustraite de la valeur de la saison 2010 pour obtenir le poids total (g, mg, kg) en P (20 m<sup>2</sup>) et les autres paramètres en fin de saison 2010. Donc : (poids sec total X teneur) – P (g ou mg) dans la racine à la saison 2009 (selon le ratio de 40 % racine et 60 % tige de la valeur, saison 2009). 2- Exception de l'Eleocharis s., pour laquelle les données initiales étaient non disponibles. Nous avons employé une valeur arbitraire moyenne.

**Tableau 13. Quantité de phosphore aérien (tige) par espèce à partir de la densité, des poids, de la siccité et de la teneur tissulaire en P respective, 30 août 2012**

Espèce	Densité (n/m <sup>2</sup> )	Poids humide (g)	Siccité (%)	Poids sec (g/m <sup>2</sup> )	Poids sec total (20 m <sup>2</sup> ) (g)	Teneur en P (%)	Poids total en P (20 m <sup>2</sup> ) par espèce (g)	P total (kg)	P/m <sup>2</sup> (g)	P surface égale de 3,33 m <sup>2</sup> /sp (g)	Retrait total de P		Taux de retrait journalier (mg/m <sup>2</sup> /jour)	
											par espèce pour 20 m <sup>2</sup> (mg)	P surface égale de 3,33 m <sup>2</sup> /sp (mg)		
Iris p.	15	112,39	31,33	528,21	10564,19	0,14	15,24	0,02	0,76	2,54	15239,90	2514,58	762,00	6,20
Scirpus v.	60	6,67	24,71	98,90	1978,03	0,12	2,29	0,00	0,11	0,38	2294,51	378,59	114,73	0,93
Spartina p.	50	53,82	38,27	1029,72	20594,44	0,06	11,34	0,01	0,57	1,89	11337,24	1870,64	566,86	4,61
Glyceria c.	40	21,06	23,12	194,69	3893,84	0,23	8,80	0,01	0,44	1,47	8800,07	1452,01	440,00	3,58
Typha l.	40	68,84	22,03	606,52	12130,35	0,20	24,42	0,02	1,22	4,07	24422,44	4029,70	1221,12	9,93
Sagittaria l.	15	196,98	11,40	336,74	6734,87	0,18	12,30	0,01	0,62	2,05	12302,35	2029,89	615,12	5,00

**Tableau 14. Quantité de phosphore <sup>1</sup>racinaire par espèce à partir de la densité, des poids, de la siccité et de la teneur tissulaire en P respective, 30 août 2012**

Espèce	Densité (n/m <sup>2</sup> )	Poids humide (g)	Siccité (%)	Poids sec (g/m <sup>2</sup> )	Poids sec total (20 m <sup>2</sup> ) (g)	Teneur en P (%)	Poids total en P (20 m <sup>2</sup> )		P surface égale de 3,33 m <sup>2</sup> /sp (g)	P surface égale de 3,33 m <sup>2</sup> /sp (mg)	Retrait total de P par espèce pour 20 m <sup>2</sup> (mg)	P/m <sup>2</sup> (mg)	Taux de retrait journalier (mg/m <sup>2</sup> /jour)	
							par espèce (g)	P total (kg)						
Iris p.	15	99,09	41,27	613,45	12268,98	0,12	14,76	0,01	0,74	2,46	2459,68	14759,58	737,98	6,00
Scirpus v.	60	1,70	22,43	22,83	456,66	0,17	0,76	0,00	0,04	0,13	127,09	762,61	38,13	0,31
Spartina p.	50	50,51	24,62	621,72	12434,36	0,05	6,63	0,01	0,33	1,10	1104,48	6627,51	331,38	2,69
Glyceria c.	40	53,25	19,34	411,90	8238,08	0,10	8,51	0,01	0,43	1,42	1418,64	8512,68	425,63	3,46
Typha l.	40	108,90	23,86	1039,33	20786,69	0,08	16,91	0,02	0,85	2,82	2817,47	16906,51	845,33	6,87
Sagittaria l.	15	131,27	15,31	301,45	6029,08	0,13	7,57	0,01	0,38	1,26	1260,96	7566,50	378,32	3,08

1- Données à titre indicatif seulement, car la quantité de phosphore racinaire est étalée sur 4 à 5 années de croissance, selon la cohorte (2008-2009 à 2012), et ne peut être considérée comme valeur annuelle ou journalière. On pourrait soustraire ces rendements racinaires de 60 % de la valeur totale en P de 2010 pour obtenir un portrait plus juste. Néanmoins, la croissance de 2011 n'étant pas connue, ces données seraient trop imprécises.

**Tableau 15. Quantités totales pondérées (tiges et racines) de phosphore par espèce à partir de la densité, des poids, de la siccité et de la teneur tissulaire en P respective, 30 août 2012**

Espèce	Densité (n/m <sup>2</sup> )	Poids humide (g)	Siccité (%)	Poids sec (g/m <sup>2</sup> )	Poids sec total (20 m <sup>2</sup> ) (g)	Teneur en P (%)	Poids total moyen en P (20 m <sup>2</sup> ) par espèce (g)		P/m <sup>2</sup> (g)	P/m <sup>2</sup> mg	Poids total moyen de P / espèce pour 20 m <sup>2</sup> (mg)		P relatif surface égale mg - pour 3,33 m <sup>2</sup>	Taux de retrait journalier mg/jour/m <sup>2</sup>
							P total (kg)	P/m <sup>2</sup> (g)			P/m <sup>2</sup> mg	P/m <sup>2</sup> mg		
Iris p.	15	211,48	36,30	1151,58	23031,57	0,13	30,63	0,03	1,53	1531,60	30631,99	5054,28	12,45	
Scirpus v.	60	8,37	23,57	118,33	2366,64	0,13	2,99	0,00	0,15	149,33	2986,69	492,80	1,21	
Spartina p.	50	104,33	31,44	1640,13	32802,61	0,05	17,78	0,02	0,89	888,95	17779,01	2933,54	7,23	
Glyceria c.	40	74,31	21,23	630,94	12618,76	0,14	17,68	0,02	0,88	883,94	17678,89	2917,02	7,19	
Typha l.	40	177,74	22,94	1631,16	32623,26	0,13	41,40	0,04	2,07	2069,95	41398,92	6830,82	16,83	
Sagittaria l.	15	328,25	13,35	657,49	13149,71	0,16	20,75	0,02	1,04	1037,51	20750,23	3423,79	8,44	
<b>Total :</b>											<b>21 652,25</b>	<b>8,89</b>		

**Tableau 16. Comparatif saisons 2009-2010-2012 de PT total retiré par l'îlot**

<b>Espèce</b>	<b>PT (mg) total par espèce pour l'îlot en 2009</b>	<b>PT (mg) total par espèce pour l'îlot en 2010</b>	<b>PT (mg) total par espèce pour l'îlot en 2012</b>
Pontederia c.	620	50	
Iris v.	7	365	
Iris p.	142	4824	2515
Spartina p.	1573	2338	1871
Glyceria c.	525	778	1452
Typha l.	59	341	4030
Juncus e.	380	272	
Typha l. 2-3 ans	1560	310	
Iris p. 2-3 ans	3951	nd	
Eleocharis s. 2-3 ans		17	
Sagittaria l.			2030
Scirpus v.			379
<b>Total 2009 - 2010 - 2012 (tige):</b>	<b>8 816</b>	<b>9 295</b>	<b>12 275</b>

**Tableau 17. Données brutes, physico-chimie, saison 2009**

<u>Saison 2009 : résultats selon la date</u>						
<b>Site de prélèvement</b>	<b>Date (jour-mois-année)</b>	<b>Température (°C)</b>	<b>Conductivité (us)</b>	<b>Oxygène dissout (mg/l)</b>	<b>Turbidité (ntu)</b>	<b>pH</b>
Avant	28/07/2009	22,3	213,4	8,90	3,74	nd
<b>Sous l'îlot</b>	28/07/2009	21,4	209,2	9,04	3,72	nd
Sortie/arrière	28/07/2009	22,1	186,3	9,90	3,10	nd
Lac	28/07/2009	22,2	177,6	7,97	3,32	nd
Avant	5/08/2009	23,2	222,9	6,78	3,22	nd
<b>Sous l'îlot</b>	5/08/2009	22,7	209,8	8,79	3,93	nd
Sortie/arrière	5/08/2009	22,9	223,6	9,00	3,77	nd
Lac	5/08/2009	22,7	178,5	7,44	2,97	nd
Avant	4/09/2009	18,5	198,0	6,33	3,03	7,75
Entrée	4/09/2009	18,4	190,0	6,06	3,55	7,72
<b>Sous l'îlot</b>	4/09/2009	17,7	184,1	6,33	3,03	7,78
Sortie/arrière	4/09/2009	18,2	182,1	6,13	3,19	7,78
Lac	4/09/2009	19,2	175,1	7,06	3,15	8,03
Avant	11/09/2009	16,5	178,5	7,06	2,98	7,88
Entrée	11/09/2009	16,4	167,8	7,29	3,03	7,89
<b>Sous l'îlot</b>	11/09/2009	16,1	178,8	7,20	3,09	7,86
Sortie/arrière	11/09/2009	16,4	164,8	7,80	2,95	8,06
Lac	11/09/2009	16,8	162	7,56	3,18	8,05
Avant	29/09/2009	14,6	174,3	7,66	2,99	7,68
Entrée	29/09/2009	14,4	178,7	7,47	2,88	7,64
<b>Sous l'îlot</b>	29/09/2009	15,5	173,2	7,50	3,38	7,63
Sortie/arrière	29/09/2009	14,4	174,0	7,84	5,40	7,75
Lac	29/09/2009	14,7	156,8	8,5	2,79	7,79

**Tableau 18. Données brutes, physico-chimie, saison 2010**

<b>Saison 2010 : résultats selon la date</b>						
<b>Site de prélèvements</b>	<b>Date (jour-mois-année)</b>	<b>Température (°C)</b>	<b>Conductivité (us)</b>	<b>Oxygène dissout (mg/l)</b>	<b>Turbidité (ntu)</b>	<b>pH</b>
Avant	18/05/2010	14,7	165,5	9,26	1,25	7,25
Entrée	18/05/2010	15,0	163,1	10,07	2,11	7,26
<b>Sous l'îlot</b>	18/05/2010	14,4	149,0	10,28	2,00	7,36
Sortie/arrière	18/05/2010	13,5	148,3	10,11	1,40	7,56
Lac	18/05/2010	14,8	151,3	10,13	1,36	6,86
Avant	02/07/2010	19,2	179,0	8,90	2,23	7,80
Entrée	02/07/2010	18,5	159,3	8,03	3,00	8,34
<b>Sous l'îlot</b>	02/07/2010	18,4	164,2	7,42	2,74	8,72
Sortie/arrière	02/07/2010	18,7	161,1	7,81	2,64	8,75
Lac	02/07/2010	18,7	161,4	8,02	2,56	8,86
Avant	18/08/2010	21,6	178,2	7,10	4,26	8,23
Entrée	18/08/2010	21,4	174,0	6,86	3,16	8,38
<b>Sous l'îlot</b>	18/08/2010	21,4	173,7	7,60	4,71	8,43
Sortie/arrière	18/08/2010	21,4	172,5	7,82	3,35	8,51
Lac	18/08/2010	21,6	168,9	8,23	3,47	8,71
Avant	01/10/2010	12,9	173,3	7,91	3,01	7,51
Entrée	01/10/2010	12,7	174,6	7,67	2,91	7,56
<b>Sous l'îlot</b>	01/10/2010	12,5	170,6	7,61	3,13	7,65
Sortie/arrière	01/10/2010	12,8	170,9	8,01	3,66	7,75
Lac	01/10/2010	13,1	162,8	8,18	2,82	7,86

Entrée : Les prélèvements ont été pris au centre de la colonne d'eau, immédiatement à l'avant de l'îlot, de façon perpendiculaire à sa bordure extérieure.

Sortie : Les prélèvements ont été pris au centre de la colonne d'eau, immédiatement à l'arrière de l'îlot, de façon perpendiculaire à sa bordure extérieure.

Avant : Les prélèvements ont été pris au centre de la colonne d'eau, à 3 - 4 mètres à l'avant de l'îlot.

Sous l'îlot : Les prélèvements ont été pris sous la structure et au centre de la colonne d'eau.

Lac : Les prélèvements ont été pris au large, à 10 mètres et plus de l'îlot et au centre de la colonne d'eau.

## **Annexe 2 : Exemple de calcul de la superficie d'IVF requise : le cas du lac à l'Anguille**

Note au lecteur :

Plusieurs facteurs peuvent influencer ce calcul, dont, par exemple, le taux de renouvellement de la masse d'eau et les apports de PT vers le plan d'eau. L'ajout de paramètres dans le calcul permettrait sans doute de raffiner le tout et de prédire la durée du traitement avec une superficie minimale ou optimale d'IVF. Cependant, ce niveau de précision n'est pas requis et la méthode proposée nous fournit une très bonne indication de la quantité d'îlots requise pour diminuer les effets néfastes associés à l'eutrophisation accélérée des plans d'eau. Ainsi, pour les besoins et objectifs de restauration, cela implique l'ajout d'informations terrain très coûteuses à obtenir et constitue des étapes complexes à franchir qui, en fin de compte, limitent inutilement l'application de la méthode.

## Étapes du calcul de la superficie d'IVF requise : le lac à l'Anguille

1. Détermination de la concentration saisonnière de PT dans le plan d'eau

Concentration de 0,013 mg/l (ou 0,013 mg/0,001 m<sup>3</sup>) ou 0,013g/m<sup>3</sup> de P

2. Détermination du volume d'eau du plan d'eau (bathymétrie)

Volume de 5 183 661 m<sup>3</sup>

3. Détermination de la quantité de phosphore dans la masse d'eau (kg)

$(5\ 183\ 661\ \text{m}^3 \times 0,013\ \text{g/m}^3) / 1\ 000\ \text{g/kg} = 67,39\ \text{kg}$

ou

Par règle de trois : si  $0,001\ \text{m}^3 = 0,013\ \text{mg}$   
 $5\ 183\ 661\ \text{m}^3 = ?\ \text{mg PT}$

67 387 593 mg ou 67 kg de PT dans la masse d'eau

4. Détermination de la surface requise d'IVF par le taux de retrait de référence de 10 mg/m<sup>2</sup>/j ou 1 000 mg/m<sup>2</sup>/saison pour les lacs mésotrophes du Bas-Saint-Laurent

On poursuit avec l'équivalence :

si :  $1\ \text{m}^2\ \text{d'îlot} = 1\ 000\ \text{mg/saison}$   
 $?\ \text{m}^2\ \text{d'îlot} = 67\ 387\ 593\ \text{mg}$

67 388 m<sup>2</sup> d'IVF ou 6,7 ha équivalent à 7 % de la surface totale (98 ha)

5. Application du calcul pour traiter le volume d'eau de la zone photique ou 50 % du volume d'eau annuellement selon la même démarche :

- Volume de la zone photique 0-3 m de 2 538 446 m<sup>3</sup>;
- À une concentration de 0,013 mg/0,001 m<sup>3</sup> = 32 999 798 mg ou 33 kg de Pt;
- Au taux de retrait référence de 1 000 mg/m<sup>2</sup>/saison = 32 998 m<sup>2</sup> ou 3,3 ha d'IVF représentant ± 3 % de la surface du plan d'eau.

## **Annexe 3 : Influence de l'IVF sur le milieu : traitement statistique**

## Résultats des analyses statistiques (sans le site lac)

### Analyses statistiques avec toutes les dates d'échantillonnage :

- il n'y a aucun effet de l'îlot sur aucun paramètre;
- le pH est plus élevé et la conductivité est plus basse à la sortie qu'à l'entrée.

Analyses en utilisant seulement les dates pendant la saison chaude (2009-08-05, 2009-07-28, 2010-08-18, 2010-07-02, 2009-09-04) :

- il y a un effet significatif de la présence de l'îlot sur la température (la température est moins élevée sous l'îlot qu'à l'avant).

Analyses en utilisant seulement les dates pendant la saison fraîche (2009-09-11, 2009-09-29, 2010-05-18, 2010-10-01) :

- il n'y a aucun effet de l'îlot sur aucun paramètre;
- le pH à la sortie est plus élevé que pour tous les autres sites échantillonnés pendant la saison fraîche.

### Analyse visuelle (non statistique) des données

En regardant les données, on ne voit pas vraiment d'effet de l'îlot sur les différents paramètres, excepté pour la température. Les seuls changements très minimes observables sont :

- turbidité : la turbidité est très légèrement plus élevée sous l'îlot qu'aux autres sites le 2009-08-05 et le 2009-09-11 (mais sûrement pas une assez grande augmentation pour en conclure quoi que ce soit);
- oxygène : très légère hausse de l'oxygène sous l'îlot (par rapport aux autres sites) le 2010-05-18, et très légère diminution le 2010-07-02;
- pH : le pH sous l'îlot est très légèrement en dessous des autres sites le 2009-09-29 et le 2009-09-11, mais on parle ici du 2<sup>d</sup> chiffre après la virgule et on est donc très probablement dans le pourcentage d'erreur de la sonde pour mesurer le pH;
- conductivité : la conductivité est légèrement plus basse le 2009-08-05 sous l'îlot qu'aux autres sites.

Ces interprétations n'ont aucune valeur statistique et les changements sont tellement minimes qu'ils peuvent simplement refléter la variabilité naturelle. Seules les variations d'oxygène ont l'air un peu plus prononcées, mais on ne parvient pas à faire ressortir cela statistiquement et la variabilité entre les sites est tellement grande qu'il s'agit probablement là aussi de la variabilité naturelle du milieu (et non pas de l'effet de l'îlot).

## Détail des statistiques

**Tableau 1. Sans le site lac / toutes les dates**

	dl	SC	F	P
<b>Température (carré)</b>				
Date	8	478776,66	440,61	<0,0001
Site	3	1131,04	2,78	0,0653
Erreur		135,80		
<b>Conductivité</b>				
Date	8	9660,86	32,77	<0,0001
Site	3	582,75	5,27	0,0068
Erreur		36,80		
<b>Oxygène</b>				
Date	8	36,13	18,87	<0,0001
Site	3	1,28	1,78	0,1803
Erreur		0,20		
<b>Turbidité</b>				
Date	8	2,04	9,02	<0,0001
Site	3	0,08	0,95	0,4326
Erreur		0,00		
<b>pH (inverse)</b>				
Date	6	0	29,77	<0,0001
Site	3	0	5,17	0,0094
Erreur		0,00		

Conductivité Site	Avant A			<b>187,0111111</b>
Conductivité Site	Entrée A	B		<b>181,1148148</b>
Conductivité Site	Îlot A	B		<b>179,1777778</b>
Conductivité Site	Sortie	B		<b>175,9555556</b>
Inverse (pH) Site	Sortie A			<b>8,0023929</b>
Inverse (pH) Site	Îlot A	B		<b>7,8943141</b>
Inverse (pH) Site	Entrée A	B		<b>7,8088532</b>
Inverse (pH) Site	Avant	B		<b>7,7182377</b>

➔ Si l'on prend toutes les dates ensemble, il n'y a aucun effet de l'îlot sur aucun paramètre.

➔ Le pH est plus élevé et la conductivité est plus basse à la sortie qu'à l'entrée si l'on prend toutes les dates ensemble.

**Tableau 2. Sans le site lac/ Saison chaude**

	dl	SC	F	P
<b>Température (carré)</b>				
Date	4	96189,16	465,73	<0,0001
Site	3	1692,43	10,93	0,0017
Erreur		51,63		
<b>Conductivité</b>				
Date	4	5550,61	29,60	<0,0001
Site	3	490,04	3,48	0,0581
Erreur		46,87		
<b>Oxygène</b>				
Date	4	16,30	9,02	0,0024
Site	3	0,89	0,66	0,5964
Erreur		0,45		
<b>Turbidité</b>				
Date	4	0,33	4,57	0,0234
Site	3	0,038	0,71	0,5691
Erreur		0,02		
<b>pH (inverse)</b>				
Date	2	0,00	11,49	0,0089
Site	3	0,00	2,17	0,1922
Erreur		0,00		

Différences pour la température :

Avant A                    21,037966;  
Sortie A        B        20,744686;  
Entrée A        B        20,706440;  
Îlot                B        20,411075.

➔ Si l'on prend seulement les sites échantillonnés pendant la saison chaude, il y a un effet de l'îlot sur la température (la température est moins élevée sous l'îlot qu'à l'avant).

**Tableau 3. Sans le site lac / Saison fraîche**

	dl	SC	F	P
<b>Température (carré)</b>				
Date	3	22413,41	42,73	<0,0001
Site	3	336,95	0,64	0,6068
Erreur		174,84		
<b>Conductivité</b>				
Date	3	866,98	9,59	0,0037
Site	3	163,37	1,81	0,216
Erreur		30,14		
<b>Oxygène</b>				
Date	3	16,93	75,38	<0,0001
Site	3	0,46	2,04	0,1791
Erreur		0,07		
<b>Turbidité</b>				
Date	3	1,41	11,24	0,0021
Site	3	0,11	0,86	0,4978
Erreur		0,04		
<b>pH (inverse)</b>				
Date	3	0,00	67,01	<0,0001
Site	3	0,00	10,82	0,0024
Erreur		0,00		

Différences pour le pH :

**Sortie A                    7,7759118;**  
**Îlot                    B        7,6208391;**  
**Entrée                    B        7,5807979;**  
**Avant                    B        7,5729075.**

➔ Si l'on prend seulement les sites échantillonnés pendant la saison fraîche, il n'y a aucun effet de l'îlot sur aucun paramètre.

➔ Le pH à la sortie est plus élevé que pour tous les autres sites échantillonnés pendant la saison fraîche.



***Lorsque l'on apprend à marcher, on apprend surtout à se relever.***

2008



2009



2010



2012



2013



Cette étude a été rendue possible grâce à nos généreux partenaires financiers

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

Conférence régionale des éluEs du Bas-Saint-Laurent

Organisme des bassins versants du Nord-Est du Bas-Saint-Laurent

***...par contre, la voie tracée est riche d'enseignement et gage de réussite!***