



Expériences d'utilisation des modèles phosphore en lac

Yann Boissonneault, biol. M.Sc.

**14^e Rendez-vous des OBV
ROBVQ**

24 octobre 2013



Estimation des apports en phosphore des bassins versants des lacs des Six, Héroux et Plaisant



Estimation de la contribution relative en phosphore des activités reliées à l'ensemencement de poissons



Programme de suivi environnemental des lacs :

1- Identification de lacs problématiques

- Mesure d'oxygène
- Conductivité
- Transparence

2- Évaluation des symptômes des lacs identifiés

- Phosphore et productivité (RSVL)
- Plantes aquatiques
- Bandes riveraines

3- Détermination des causes de perturbation

- Phosphore des tributaires
- Identification des apports sédimentaires
- Analyse du bassin versant du lac (modèles)



Programme de suivi environnemental des lacs :

Phase 1- Identification de lacs problématiques

Consiste à caractériser les premiers symptômes d'eutrophisation des lacs à partir des mesures physico-chimiques de l'eau telles la concentration en oxygène et la conductivité.

Depuis 2009, 63 lacs ont fait l'objet d'un suivi dans 4 municipalités:

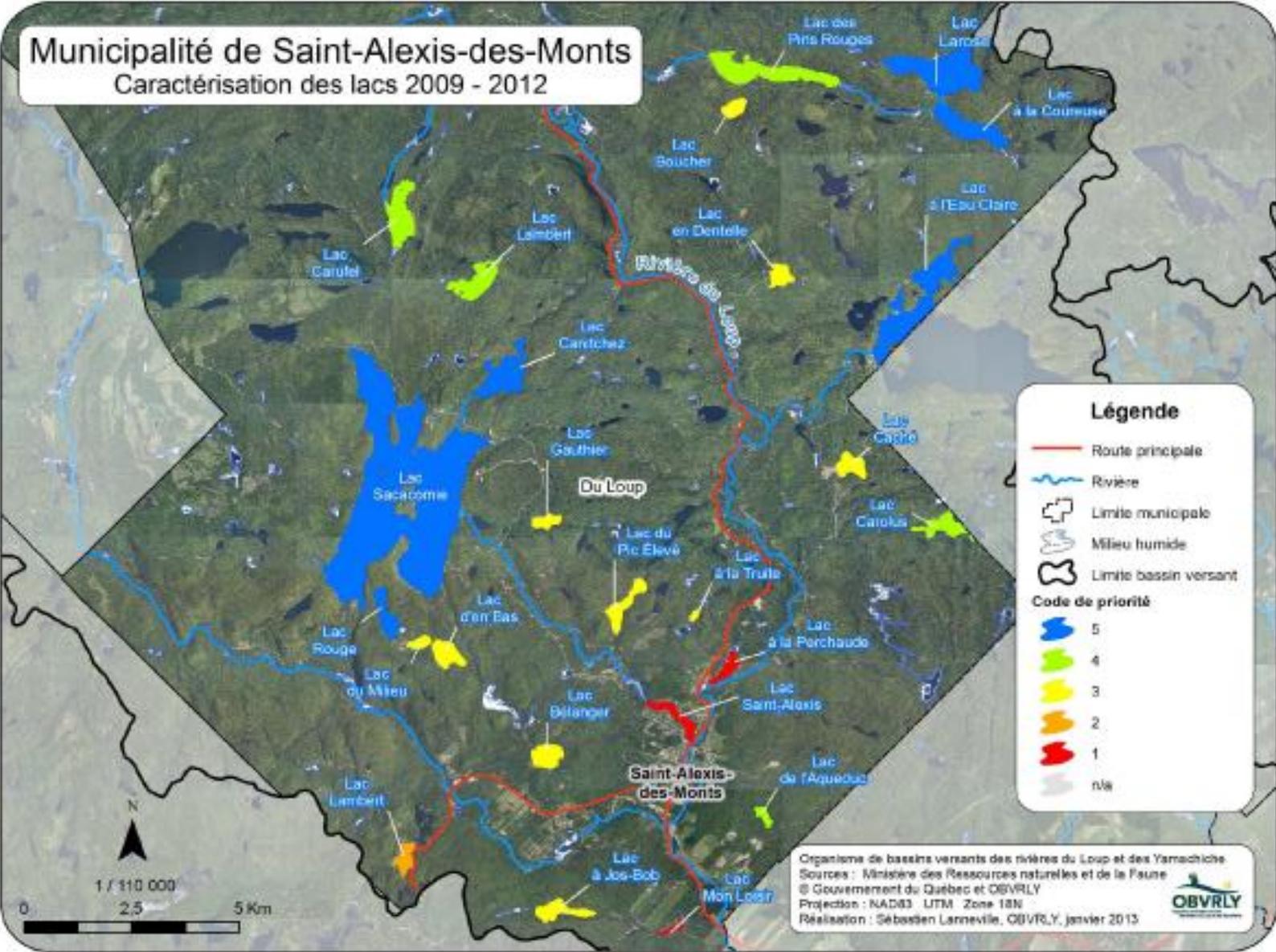
- St-Alexis-des-Monts
- St-Élie-de-Caxton
- St-Boniface
- St-Mathieu-du-Parc



- T°
- O₂
- pH
- Conductivité

- Disque de Secchi

Mise en contexte



Programme de suivi environnemental des lacs :

Phase 2- Évaluation des symptômes d'eutrophisation des lacs identifiés

Consiste à:

- Mesurer les concentrations en nutriments (phosphore) et la productivité (Chlorophylle « a ») des eaux de surface du lac.
- Caractériser le littoral des lacs par l'analyse des macrophytes, la sédimentation et l'abondance du périphyton.
- Caractériser les rives à partir de l'indice de qualité des bandes riveraines (IQBR).

Programme de suivi environnemental des lacs :

Phase 3- Détermination des causes de perturbation

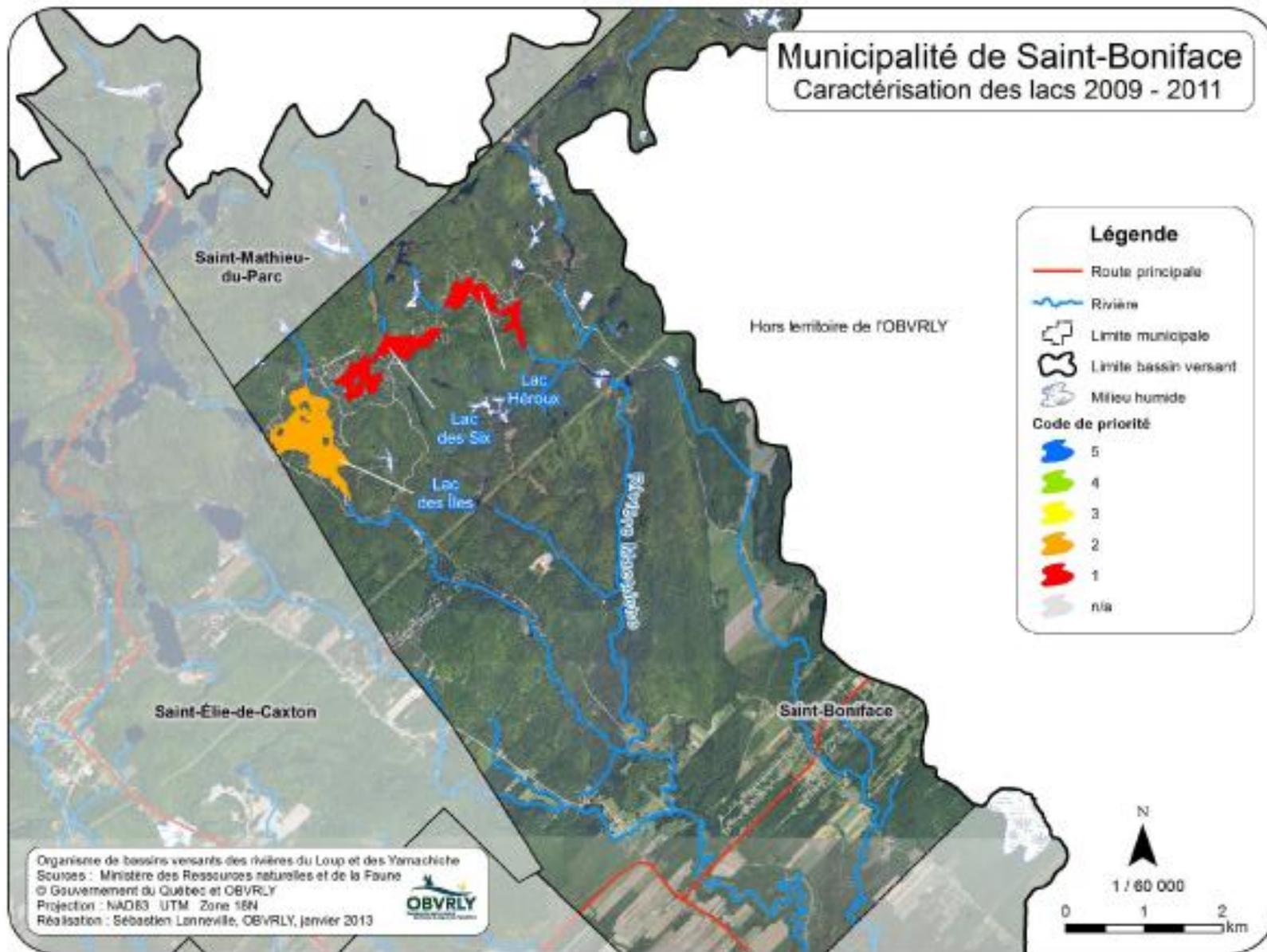
Consiste à :

- Analyser le territoire naturel et occupé du bassin versant du lac,
- Mesurer la qualité de l'eau des ruisseaux se jetant dans le lac
- Identifier les causes de perturbations que les lacs subissent sur le terrain et par secteur du bassin versant (foyers d'érosion, eaux usées, etc.).
- Estimer la contribution en phosphore des activités humaines (modèles).



Pour des lacs avec problématiques particulières

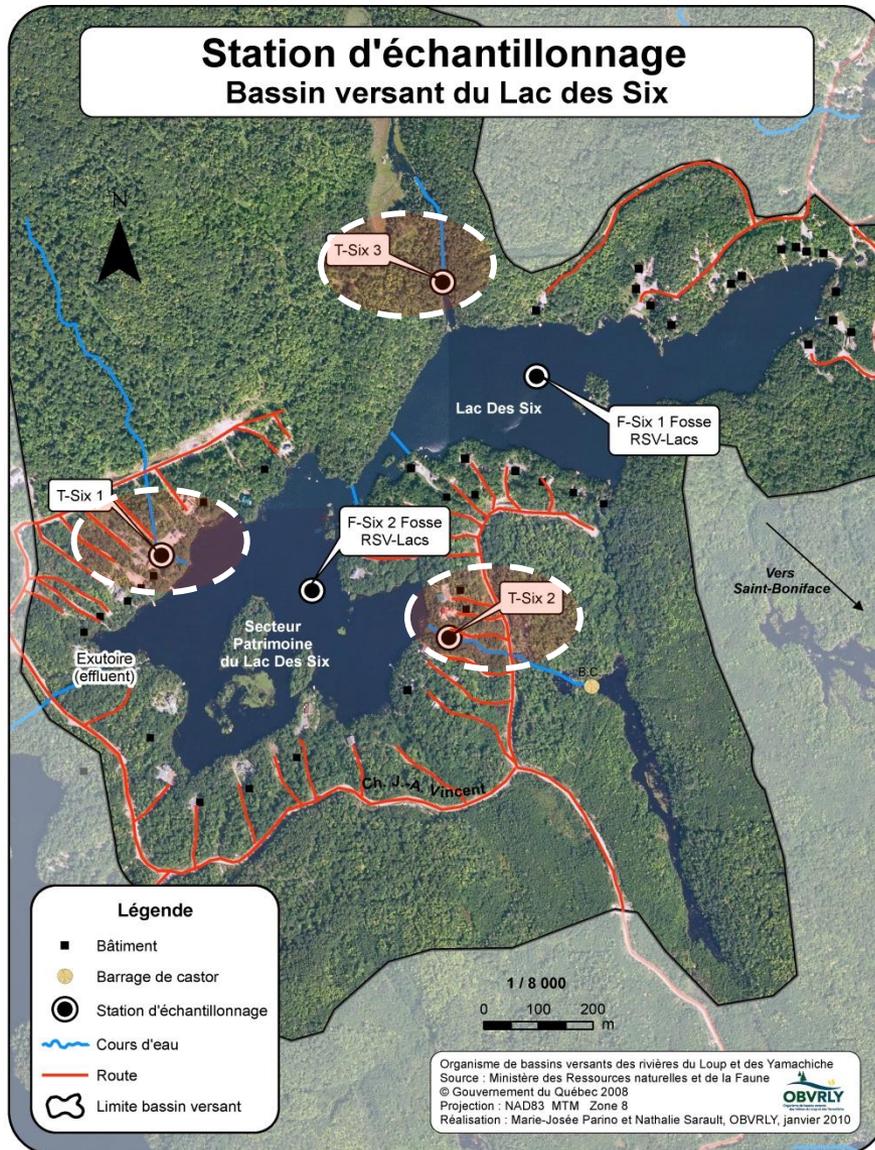
Mise en contexte



Lacs St-Boniface

Lac	Type de suivi (années de suivi)	Principaux symptômes	Recommandations	Code priorités
Des Îles	Phase 1 et 2 (2010 et 2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Déficits en oxygène dans moins de 50% des eaux profondes. - Quelques signes d'eutrophisation dans le littoral. 	Effectuer une étude préliminaire du bassin versant (ruissellement, milieux humides, etc.). (étude phase 3 préliminaire).	2
Des Six	Phase 1, 2 et 3 (2009 et 2010)	<ul style="list-style-type: none"> - Floraisons de cyanobactéries signalées en 2008 et 2009. - Déficits en oxygène dans plus de 50% des eaux profondes. - Concentrations élevées en phosphore (tributaires et lac). - Plusieurs signes d'eutrophisation observés dans le littoral (envasement, abondance élevée des macrophytes, présence d'algues filamenteuses et périphytiques). - Présence de l'Hydrocharide grenouillette (une plante introduite envahissante). 	Mettre en oeuvre un plan directeur de l'eau (PDE) du bassin versant du lac.	1
Héroux	Phase 1, 2 et 3 (2009 et 2010)	<ul style="list-style-type: none"> - Floraisons de cyanobactéries signalées en 2008 et 2009. - Déficits en oxygène dans plus de 50% des eaux profondes. - Concentrations relativement élevées en phosphore (tributaires et lac). - Plusieurs signes d'eutrophisation observés dans le littoral (envasement, abondance élevée des macrophytes, présence d'algues filamenteuses et périphytiques). 	Mettre en oeuvre un plan directeur de l'eau (PDE) du bassin versant du lac.	1

Lac des Six, phase 3



Phosphore dans les tributaires

T-Six 1:

Mai = 12 $\mu\text{g/l}$

Juillet = 24* $\mu\text{g/l}$

T-Six 2:

Mai = 23* $\mu\text{g/l}$

Juillet = 34* $\mu\text{g/l}$

T-Six 3:

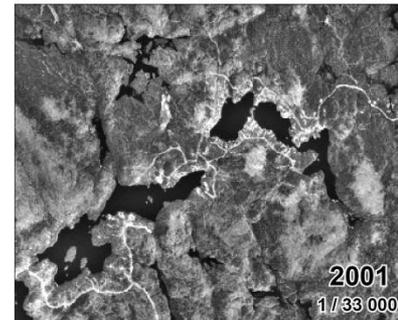
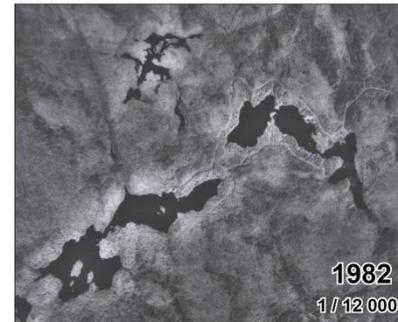
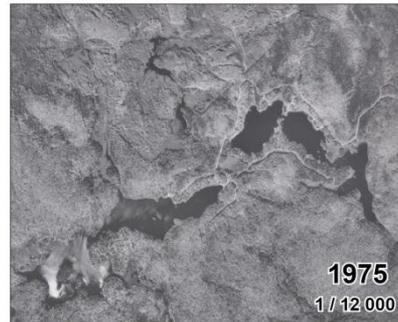
Mai = 49* $\mu\text{g/l}$

Juillet = 56* $\mu\text{g/l}$

*Dépassement du Critère
> 20 $\mu\text{g/l}$ de phosphore

Lac des Six, phase 3

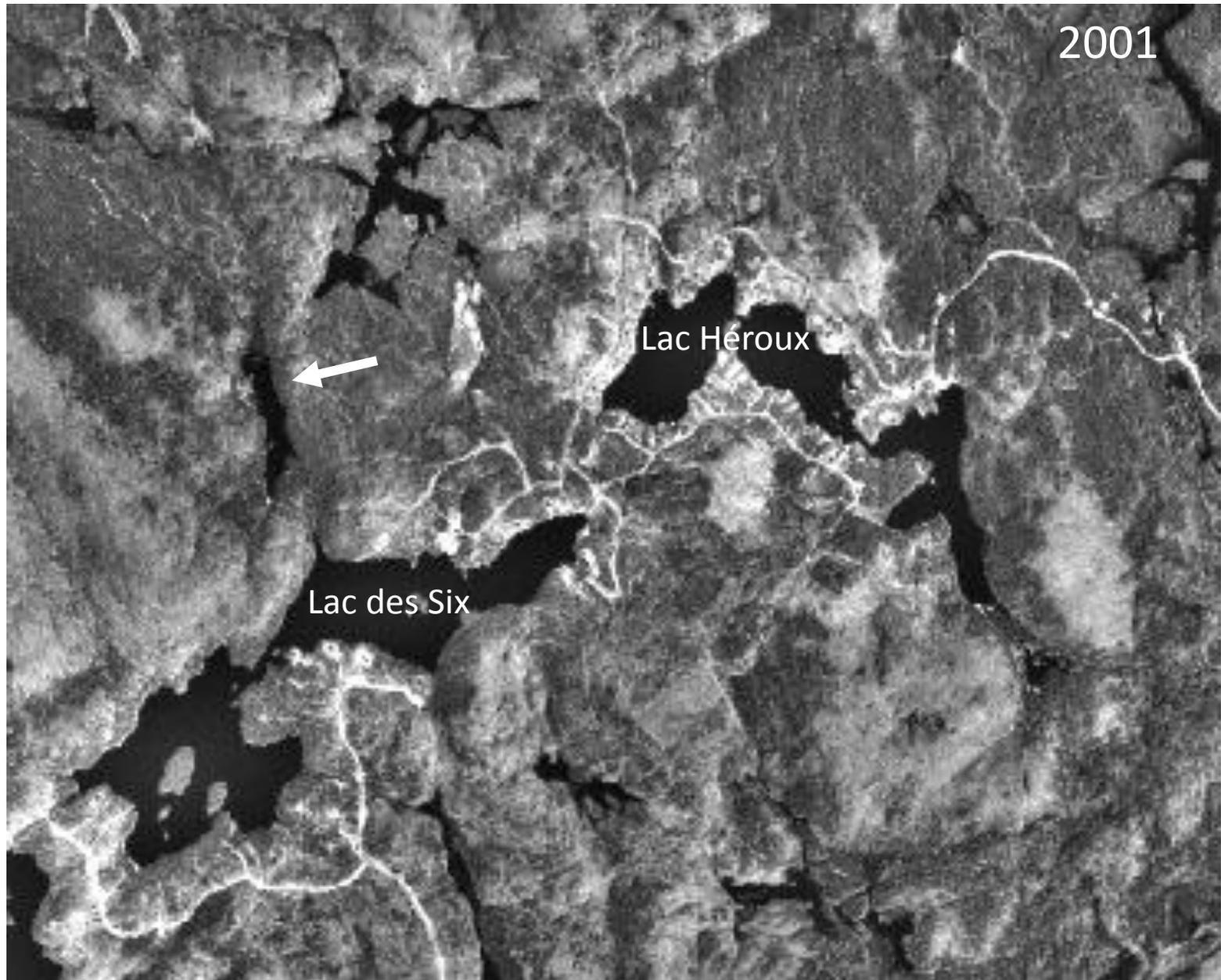
Évolution des bassins versants des lacs Des Six et Héroux 1975 à 2008



Organisme des bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche
Sources : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
© Gouvernement du Québec
Projection : NAD83 MTM Zone 8
Réalisation : Marie-Josée Parino, OBVRLY, janvier 2010



Mise en contexte

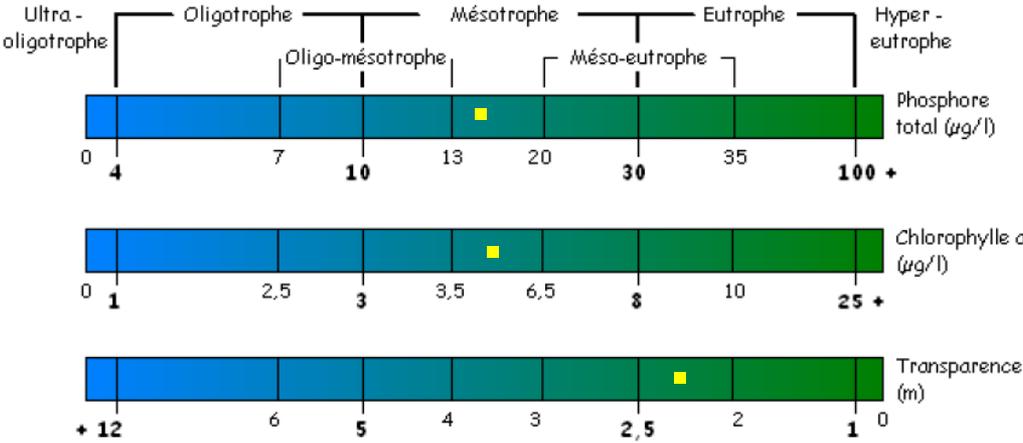


Mise en contexte



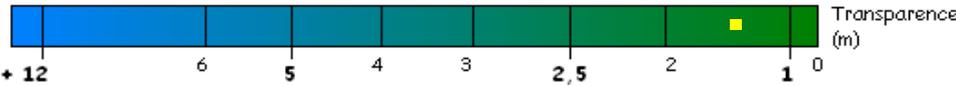
Mise en contexte

Classement du niveau trophique du Lac des Six en 2007

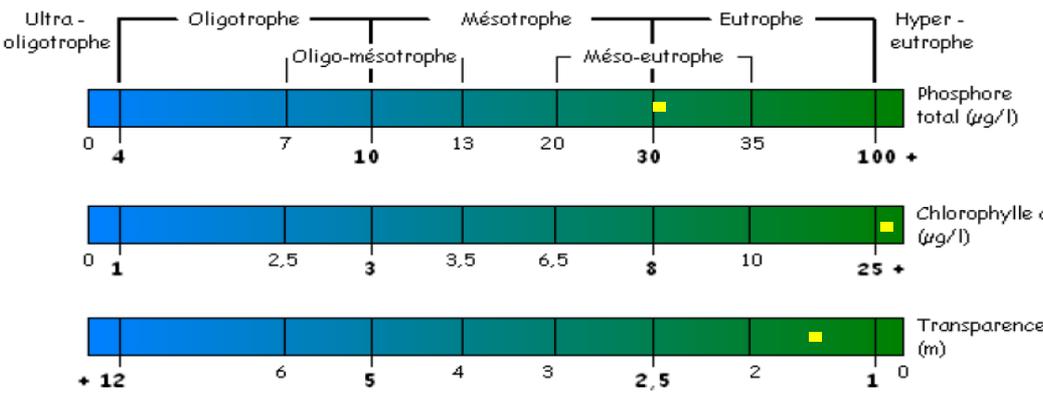


Classement du niveau trophique du Lac des Six en 2008

Rupture du barrage de castor →



Classement du niveau trophique du Lac des Six en 2009



Lac des Six, phase 3

Sources de Phosphore:

Anthropiques

Artificialisation du territoire

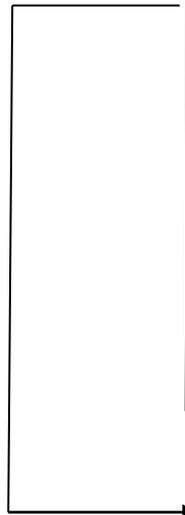
- Bandes riveraines inadéquates
- Déboisement
- Chemins, routes
- Carrière/sablière

Fosses septiques

Naturelles

Forêt

Milieux humides + castors



Quantifier la contribution en Phosphore, en 2010
(coefficients d'exportation, modèles P)

Estimation des apports en phosphore du bassin versant du lac des Six

Deux types de modèles prédictifs du phosphore :

→ **1. Les modèles empiriques**

2. Les modèles par bilan de masse

Que très partiellement (coefficients d'exportation en P seulement)

Estimation des apports en phosphore du bassin versant du lac des Six

1. Les modèles empiriques de *Richard Carignan*

- volume d'eau du lac (VOL)
- nombre d'habitations dans le premier 100 mètres autour du lac (Batim 100m)
- superficie des milieux ouverts (MOUV)
- concentration en carbone organique dissous (COD)

Prédire la [phosphore] dans les eaux de surface du lac

$$[\text{Pte}] = 0,09 \pm 0,050 + 1,20 \pm 0,13 (\text{COD}) + 52\,236 \pm 5516 (\text{batim } 100/\text{Vol}) + 1,49 \pm 0,71 (\text{MOUV}/\text{Vol})$$

Estimation des apports en phosphore du bassin versant du lac des Six

Précision modèle de *Carignan* :

Concentration en phosphore total :	
... estimée à l'aide du modèle	10,5 µg/l
... mesurée en 2007	15,3 µg/l *
Erreur relative (précision)	32 %

La précision de ce modèle était près de la précision obtenue pour 50 lacs (erreur relative moyenne de 24 %) qui furent testés dans la région des Laurentides dans le cadre du projet *CS SIADL*.

Estimation des apports en phosphore du bassin versant du lac des Six

Précision modèle de Carignan :

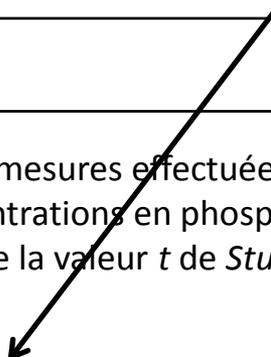
Concentration en phosphore total :

... estimée à l'aide du modèle 10,5 µg/l

... mesurée en 2007 15,3 µg/l *

Erreur relative (précision) 32 %

*Valeurs moyennes calculées à partir de 3 mesures effectuées en 2007.
La précision des mesures *in situ* des concentrations en phosphore ($\pm 17,5$ µg/l) a été obtenue à partir de l'erreur type et de la valeur *t* de Student (niveau de confiance à 95%).



Confiant à 95% que la [P] moyenne mesurée
se situait entre 0 et 32,8 µg/l

Incertitude relative de la [P] moyenne mesurée = 114%

Expérience d'utilisation des modèles phosphore

Précision modèle de *Carignan*

	Lac des Six	Lac Héroux	Lac Plaisant
[P] moyenne mesuré	15,3 µg/l	9,7 µg/l	4,4 µg/l
Nombre d'échantillons	3 (en 2007)	6 (en 2007 et 2009)	11 (en 2007, 2008 et 2009)
Incertitude (%)	$\pm 17,5 \mu\text{g/l}$ (114%)	$\pm 4,9 \mu\text{g/l}$ (50%)	$\pm 1,6 \mu\text{g/l}$ (36%)
[P] estimée - modèle	10,5 µg/l	13,9 µg/l	6,4 µg/l
Erreur relative (%)	32 %	30 %	31 %

Estimation des apports en phosphore du bassin versant du lac des Six

Résultats modèle de *Carignan* :

[P _{Te}] avec résidences et milieux ouverts en 2007	[P _{Te}] avant le développement résidentiel (<u>conditions naturelles</u>)	Augmentation de la concentration en phosphore par rapport à la situation naturelle
10,5 µg/l	9,7 µg/l	17 %

Une augmentation de seulement 10 % des concentrations en phosphore par rapport aux concentrations naturelles serait suffisante pour apporter des changements significatifs de l'état du lac (Carignan, R. dans Laniel, M. 2008).

Expérience d'utilisation des modèles phosphore

Différents scénarios modèle de *Carignan* :

Lac des Six

Scénario actuel (43 résidences en 2009) : **17 %**

Scénario hypothétique (20 résidences) : **10 %**

En bleu:

[P] actuelle par rapport à la [P] en situation naturelle.

Lac Héroux

Scénario actuel (65 résidences en 2009) : **34 %**

Scénario hypothétique (11 résidences) : **10 %**

En noir:

Augmentation de moins de 10 % de la [P] par rapport à la situation naturelle.

Lac Plaisant

Scénario actuel (77 résidences en 2009) : **34 %**

Scénario hypothétique (14 résidences) : **10 %**

Critère proposé par R. Carignan.

Programme de suivi environnemental des lacs :

Phase 3- Détermination des causes de perturbation

Priorités:

1. Diagnostic sur le terrain et à partir des SIG
 - identifier les causes de perturbations (ruissellement, foyers d'érosion, eaux usées, etc.).
 - mesurer la qualité de l'eau des ruisseaux se jetant dans le lac.
2. Estimer la contribution en phosphore des activités humaines à l'aide de modèles.

Recommandations générales

Toutes les mesures qui visent à diminuer les apports en phosphore vers le lac doivent être prises.

Ces mesures concernent :

- le suivi de la conformité des installations septiques
- le suivi de la revégétalisation des bandes riveraines
- la promotion de l'utilisation de savons sans phosphate
- l'utilisation d'engrais
- la gestion environnementale des eaux de ruissellement
- l'exploitation forestière en forêt privée
- le suivi des barrages de castors
- l'élaboration du plan directeur du bassin versant du lac

Estimation des apports en phosphore des bassins versants des lacs des Six, Héroux et Plaisant



Estimation de la contribution relative en phosphore des activités liées à l'ensemencement de poissons



Projet de recherche sur les impacts potentiels des activités d'ensemencement de poissons sur les écosystèmes lacustres 2011-2012.



L'activité n° 3 de ce projet « Évaluation de la vulnérabilité à l'eutrophisation des lacs ensemencés » avait 2 volets:

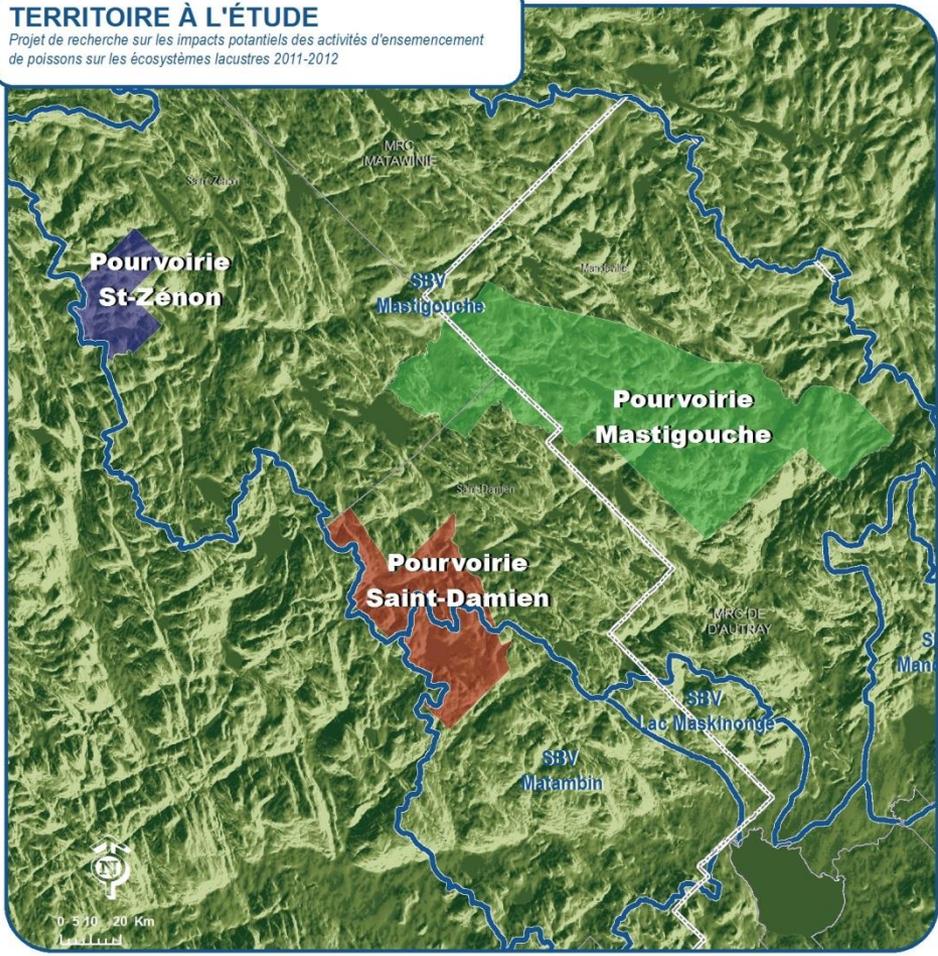
1. L'évaluation du niveau trophique de 10 lacs (diagnostic).
2. **L'estimation de la contribution relative en phosphore des activités reliées à l'ensemencement de poissons de 30 lacs.**

Collaboration:
Anny Malo, biologiste, *B.Sc.*
Aménagement bio forestier Rivest (ABFR)

Mise en contexte

TERRITOIRE À L'ÉTUDE

Projet de recherche sur les impacts potentiels des activités d'ensemencement de poissons sur les écosystèmes lacustres 2011-2012



- LÉGENDE:
- Pourvoirie Mastigouche
 - Pourvoirie Saint-Damien
 - Pourvoirie St-Zénon



Sources:
© Gouvernement du Québec, tous droits réservés.
Conception:
Danielle Jacques, géographe AGIR Maskinonge
Anny Malo, biologiste ABFR
Mars 2012

L'estimation de la contribution relative en phosphore des activités reliées à l'ensemencement de poissons.

Objectifs spécifiques:

- Estimer d'une part la contribution en phosphore des poissons.
- Estimer d'autre part la contribution en phosphore des apports naturels et anthropiques provenant du bassin versant et de l'environnement immédiat du plan d'eau.

L'estimation de la contribution relative en phosphore des activités reliées à l'ensemencement de poissons.

2 voies d'analyses différentes:

1- Approche modélisation (bilan de masse)

2- Approche statistique (corrélation, régression)

1- Approche modélisation (bilan de masse)

La modélisation de la [P] a été réalisée à l'aide de l'équation de Vollenweider 1969 ; 1975 :

$$[P] = L_p \cdot (1 - R_p) / Q_s$$

où

[P] : Concentration en phosphore estimée dans les eaux de surface du lac.

L_p : Charge en phosphore / la superficie du lac. La charge en phosphore est obtenue en additionnant les charges spécifiques aux différentes utilisations du territoire (forêt, milieux humides, etc.) qui est calculé à partir des coefficients d'exportation en phosphore.

R_p : Coefficient de rétention lacustre basé sur le modèle de rétention du phosphore de Vollenwieder, 1975.

Q_s : Charge en eau reçue par année par unité de surface (charge hydraulique / surface du lac).

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Coefficients d'exportation en phosphore utilisés pour les apports diffus.

Utilisation du territoire	Coefficient d'exportation en phosphore (mg/m ² /an)	Référence
Forêts - roches ignées (naturel)	5	Travaux de Richard Carignan, Louis Roy, communications personnelles, 2011
Milieus humides (naturel)	180	Crago, 2005
Dépôts atmosphériques - plans d'eau (naturel)	17	Paterson et coll., 2006
Milieus ouverts autour des bâtiments (anthropique)	10 *	Sonzogni, 1980
Chemins (anthropique)	64 **	USEPA, 1976

Le choix des coefficients d'exportation en P ?

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Coefficients d'exportation en phosphore utilisés pour les apports diffus.

Utilisation du territoire	Coefficient d'exportation en phosphore (mg/m ² /an)	Référence
Forêts - roches ignées (naturel)	5	Travaux de Richard Carignan, Louis Roy, communications personnelles, 2011
Milieux humides (naturel)	180	Crago, 2005
Dépôts atmosphériques - plans d'eau (naturel)	17	Paterson et coll., 2006
Milieux ouverts autour des bâtiments (anthropique)	10 *	Sonzogni, 1980
Chemins (anthropique)	64 **	USEPA, 1976

Les coefficients d'exportation (CE) en P disponibles se situent entre 25 et 214 mg/m²/an.

Nous avons choisi le CE en P de Crago, car les milieux humides étaient généralement récents ou issus de l'activité du Castor.

La classification des milieux humides n'était pas disponible pour le territoire à l'étude.

Expérience d'utilisation des modèles phosphore

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Coefficients d'exportation en phosphore utilisés pour les apports diffus.

Utilisation du territoire	Coefficient d'exportation en phosphore (mg/m ² /an)	Référence
Forêts - roches ignées (naturel)	5	Travaux de Richard Carignan, Louis Roy, communications personnelles, 2011
Milieus humides (naturel)	180	Crago, 2005
Dépôts atmosphériques - plans d'eau (naturel)	17	Paterson et coll., 2006
Milieus ouverts autour des bâtiments (anthropique)	10 *	Sonzogni, 1980
Chemins (anthropique)	64 **	USEPA, 1976

*Cette valeur correspond au coefficient proposé par Sonzogni (1980) pour des terres agricoles non exploitées (prairie) sur une texture limoneuse moyenne ou à une terre cultivée mixte sur sable.

Le coefficient proposé vise à rendre compte de l'enlèvement d'une partie de la végétation et de l'aménagement de chemins et fossés.

Notons que ce coefficient d'exportation ne tient pas compte de la contribution en phosphore des installations septiques.

Expérience d'utilisation des modèles phosphore

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Coefficients d'exportation en phosphore utilisés pour les apports diffus.

Utilisation du territoire	Coefficient d'exportation en phosphore (mg/m ² /an)	Référence
Forêts - roches ignées (naturel)	5	Travaux de Richard Carignan, Louis Roy, communications personnelles, 2011
Milieus humides (naturel)	180	Crago, 2005
Dépôts atmosphériques - plans d'eau (naturel)	17	Paterson et coll., 2006
Milieus ouverts autour des bâtiments (anthropique)	10 *	Sonzogni, 1980
Chemins (anthropique)	64 **	USEPA, 1976

**Le coefficient d'exportation en phosphore pour les chemins est une adaptation de la valeur attribuée pour les milieux urbains dans USEPA (1976).

Nous assumons que la contribution en phosphore des chemins est la même que la contribution des milieux urbains en raison de l'effet de l'imperméabilisation des surfaces sur le ruissellement de surface.

Afin de ne pas surestimer les charges en phosphore des chemins de gravier, nous avons utilisé un coefficient d'exportation en phosphore parmi les plus faibles disponible pour les milieux urbains.

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Apports ponctuels

Fosses septiques \longrightarrow 0,7 kg de P / pers. / an

Taux d'occupation :

- résidence principale = 2,5 personnes / an
- résidences secondaires = 0,825 personne /an



2,5 personnes pour 4 mois (120 jrs)

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Apports ponctuels

Fosses septiques → 0,7 kg de P / pe

Taux d'occupation :

- résidence principale = 2,5 personnes / an
- résidences secondaires = 0,825 personne /an

↓
2,5 personnes pour 4 mois (120)

De plus, le coefficient d'exportation en phosphore que nous avons choisi de 0,7 kg/capita/an, est-il représentatif?

**Le coefficient d'exportation en phosphore que nous avons choisi est 0,7 kg/capita/an, valeur à la sortie de la fosse septique avant que les eaux usées entrent dans l'élément épurateur : le champ d'épuration.

Afin d'estimer les apports potentiels en phosphore à la source, comme pour les apports diffus, nous ne tenons pas compte des facteurs de rétention du phosphore par les sols pour les eaux usées en aval de l'élément épurateur.

Nous n'avons pas tenu compte de la distance des éléments épurateurs aux plans d'eau.

1- Approche modélisation (bilan de masse)

La modélisation de la concentration en phosphore a été réalisée à l'aide de l'équation de Vollenweider 1969 ; 1975 :

$$[P] = L_p \cdot (1 - R_p) / Q_s$$

où

[P] : Concentration en phosphore estimée dans les eaux de surface du lac.

L_p : Charge en phosphore / la superficie du lac. La charge en phosphore est obtenue en additionnant les charges spécifiques aux différentes utilisations du territoire (forêt, milieux humides, etc.) qui est calculé à partir des coefficients d'exportation en phosphore.

R_p : Coefficient de rétention lacustre basé sur le modèle de rétention du phosphore de Vollenwieder, 1975.

Q_s : Charge en eau reçue par année par unité de surface (charge hydraulique / surface du lac).

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Phosphore excrété par les poissons ensemencés non capturés

Utilisé comme un coefficient d'exportation en P

Dans l'étude de la SODIM on a évalué les rejets en phosphore à **4,64 kg** excrété par les poissons (Omble de fontaine) pour une tonne de poissons produite pendant **3 mois** d'élevage.

Bien que l'alimentation de cette espèce en milieu naturel ne soit pas totalement de sources allochtones (*c.-à-d.* provenant hors du lac), comme en condition d'élevage, nous avons assumé que le phosphore excrété par les poissons constituait un apport supplémentaire de phosphore dans les lacs ensemencés.

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Phosphore excrété par les poissons ensemencés

Estimation de la quantité de phosphore excrété par les poissons ensemencés non capturés en 2011 pour 9 lacs de la pourvoirie Saint-Zénon.

Lacs	Superficie du lac (ha)	Densité d'ensemencement de poissons en 2011 (kg/ha)	Densité de poissons ensemencés non capturés en 2011 (kg/ha)	Poissons non capturés en 2011 (%)	Phosphore excrété par les poissons ensemencés <u>non capturés</u> en 2011 (kg/an)
Bois Franc	32,0	298	53,2	18	15,8
Petit bois Franc	6,7	173	51,9	30	3,22
Caché	6,6	140	59,4	42	3,65
Carotte	2,6	431	170	39	4,13
De la Fraye	3,4	320	66,2	21	2,08
De la Tour	3,5	280	105	38	3,38
Mario	9,0	61	28,7	47	2,39
Noir	2,4	438	103	24	2,33
Paul	3,1	319	42,1	13	1,22

Expérience d'utilisation des modèles phosphore

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Phosphore excrété par les poissons ensemencés

Charges annuelles en phosphore (P) estimées pour les principales utilisations du territoire du bassin versant des lacs de la Pourvoirie de Saint-Zénon en 2011 et leur contribution relative (* lacs protocole A).

Lac	Forêt kg/an (%)	Dépôts atmosphériques, plan d'eau kg/an (%)	Milieux humides kg/an (%)	Sous total charges naturelles en P kg/an (%)	Milieux ouverts autour des bâtiments kg/an (%)	Chemins kg/an (%)	Installation s septiques, bâtiments kg/an (%)	Poissons ensemencés non capturés kg/an (%)	Sous total charges anthropiques en P kg/an (%)	Charge total en P kg/an (%)
Bois Franc*	343 (53,7)	54 (8,5)	108 (16,9)	506 (79,1)	3,8 (0,6)	108 (17)	5,8 (0,9)	15,8 (2,5)	134 (20,9)	640 (100)
Petit bois Franc	205 (65,9)	11 (3,7)	29 (9,3)	245 (78,8)	2 (0,5)	58 (18,7)	2 (0,7)	3,2 (1,0)	65 (21)	311 (100)
Caché	18 (27,4)	11 (17,0)	13 (19,1)	42 (63,6)	0,1 (0,2)	20 (30,1)	1 (0,9)	3,6 (5,5)	24 (36,7)	66 (100)
Carotte	7 (17,5)	4 (11,1)	16 (39,6)	27 (68,2)	0,3 (0,8)	8 (20,4)	1 (1,4)	4,1 (10,3)	13 (33)	40 (100)
De la Fraye	327 (63,1)	6 (1,1)	107 (20,7)	440 (84,9)	3 (0,5)	73 (14,1)	1 (0,1)	2,1 (0,4)	78 (15,1)	518 (100)
De la Tour*	112 (76,9)	6 (4)	16 (10,8)	134 (91,8)	0,9 (0,6)	7,1 (4,9)	0,6 (0,4)	3,4 (2,3)	12 (8,2)	146 (100)
Mario*	362 (55,2)	15 (2,3)	153 (23,3)	530 (80,8)	3,1 (0,5)	117 (17,9)	2,3 (0,4)	2,4 (0,4)	125 (19,1)	656 (100)
Noir*	159 (72,7)	4 (1,9)	18 (8,2)	181 (82,9)	1,1 (0,5)	32 (14,6)	1,7 (0,8)	2,3 (1,1)	37 (16,9)	219 (100)
Paul	142 (76,2)	5 (2,9)	16 (8,5)	163 (87,6)	1 (0,5)	20 (10,8)	1 (0,6)	1,2 (0,7)	23 (12,6)	186 (100)

Expérience d'utilisation des modèles phosphore

1- Approche modélisation (bilan de masse)

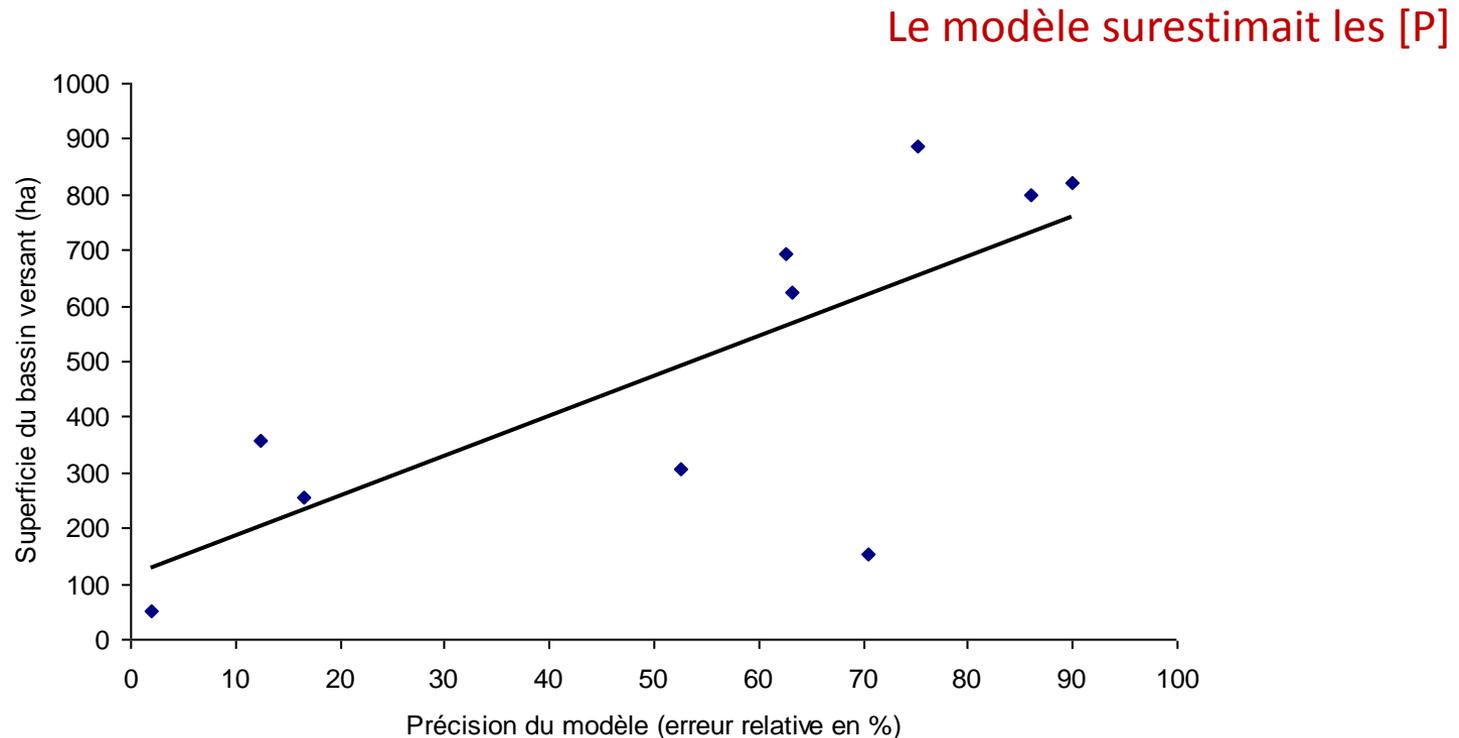
Précision du modèle par bilan de masse

Comparaison de la concentration moyenne en phosphore mesurée en 2011 et estimée à partir du modèle explicite d'exportation en phosphore des 10 lacs suivis dans le cadre du protocole A.

Lacs	Concentration moyenne en phosphore mesurée en 2011* (ug/L)	Précision de la concentration moyenne en phosphore mesurée en 2011** (ug/L)	Concentration en phosphore actuelle modélisée (ug/L)	Précision du modèle (erreur relative)
Pourvoirie Saint-Zénon				
De la Tour	6,8	± 1,3	5,8	16,5 %
Noir	6,2	± 0,8	7,1	12,3 %
Mario	5,3	± 1,5	21,4	75,2 %
Bois Franc (Grand)	4,4	± 4,0	31,3	85,9 %
Pourvoirie Saint-Damien				
Rond	6,3	± 4,3	17,1	63,3 %
Desroches	8,4	± 7,4	22,5	62,6 %
Marie	6,2	± 4,1	61,4	89,9 %
Anne	4,9	± 4,4	4,8	2,1 %
Pourvoirie Mastigouche				
William (Grand)	4,7	± 6,4	15,9	70,4 %
Priscilla	11,2	± 2,9	23,6	52,6 %

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Précision du modèle par bilan de masse



Relation entre la précision (erreur relative %) du modèle explicite d'exportation en phosphore et la superficie du bassin versant, 10 lacs suivis dans le cadre du protocole A. Coefficient de corrélation (r) = 0,75, coefficient de détermination (R^2) = 0,56, seuil de signification, $p \leq 0,01$.

1- Approche modélisation (bilan de masse)

La modélisation de la concentration en phosphore a été réalisée à l'aide de l'équation de Vollenweider 1969 ; 1975 :

$$[P] = L_p \cdot (1 - R_p) / Q_s$$

où

[P] : Concentration en phosphore estimée dans les eaux de surface du lac.

L_p : Charge en phosphore / la superficie du lac. La charge en phosphore est obtenue en additionnant les charges spécifiques aux différentes utilisations du territoire (forêt, milieux humides, etc.) qui est calculé à partir des coefficients d'exportation en phosphore.

R_p : Coefficient de rétention lacustre basé sur le modèle de rétention du phosphore de Vollenwieder, 1975.

Q_s : Charge en eau reçue par année par unité de surface (charge hydraulique / surface du lac).

N'a pas été calculé pour les lacs situés en amont dans les bassins versants

1- Approche modélisation (bilan de masse)

Conclusions du modèle par bilan de masse

La contribution moyenne en phosphore d'origine naturelle pour les 30 lacs à l'étude était de 85 % :

- la forêt (40 %),
- les milieux humides (37 %),
- les dépôts atmosphériques sur le plan d'eau (8 %).

La contribution moyenne en phosphore d'origine anthropique pour les 30 lacs à l'étude était de 15 % :

- les chemins (13 %), ←
- les poissonsensemencés non capturés (1,5%),
- les fosses septiques des résidences (0,6 %),
- les milieux ouverts autour des résidences (0,4 %).

L'estimation de la contribution relative en phosphore des activités reliées à l'ensemencement de poissons de 30 lacs.

2 voies d'analyse différentes:

1- Approche modélisation (bilan de masse)

2- Approche statistique (corrélation, régression)

2- Approche statistique

Coefficients de corrélation des variables indicatrices d'eutrophisation et des variables d'ensemencement de poissons pour les 10 lacs qui ont fait l'objet de mesures sur le terrain en 2011.

Variables d'ensemencement de poissons	Phosphore total trace (µg/l)	Chlorophylle « a » (µg/l)	Macrophytes (% de recouvrement total)
Poids des poissons ensemencés en 2011	-0,374	-0,100	-0,281
Poids des poissons ensemencés (moyenne 2001 à 2011)	-0,390	-0,079	-0,228
Poids des poissons ensemencés (somme 2001 à 2011)	-0,387	-0,080	-0,232
Poids des poissons ensemencés non capturés en 2011	-0,392	-0,049	-0,236
Poids des poissons ensemencés non capturés (moyenne 2001 à 2011)	-0,407	-0,089	-0,216
Poids des poissons ensemencés non capturés (somme 2001 à 2011)	-0,403	-0,092	-0,224
Densité d'ensemencement des poissons en 2011 (kg/m ³)	-0,051	0,519	-0,070
Densité d'ensemencement des poissons (kg/m ³) (moyenne 2001 à 2011)	-0,042	0,538	0,058
Densité d'ensemencement des poissons en 2011 (kg/ha)	-0,193	0,397	-0,264
Densité d'ensemencement des poissons (kg/ha) (moyenne 2001 à 2011)	-0,151	0,478	-0,158

Seuils de signification obtenus à l'aide du test de *Bonferroni* : * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

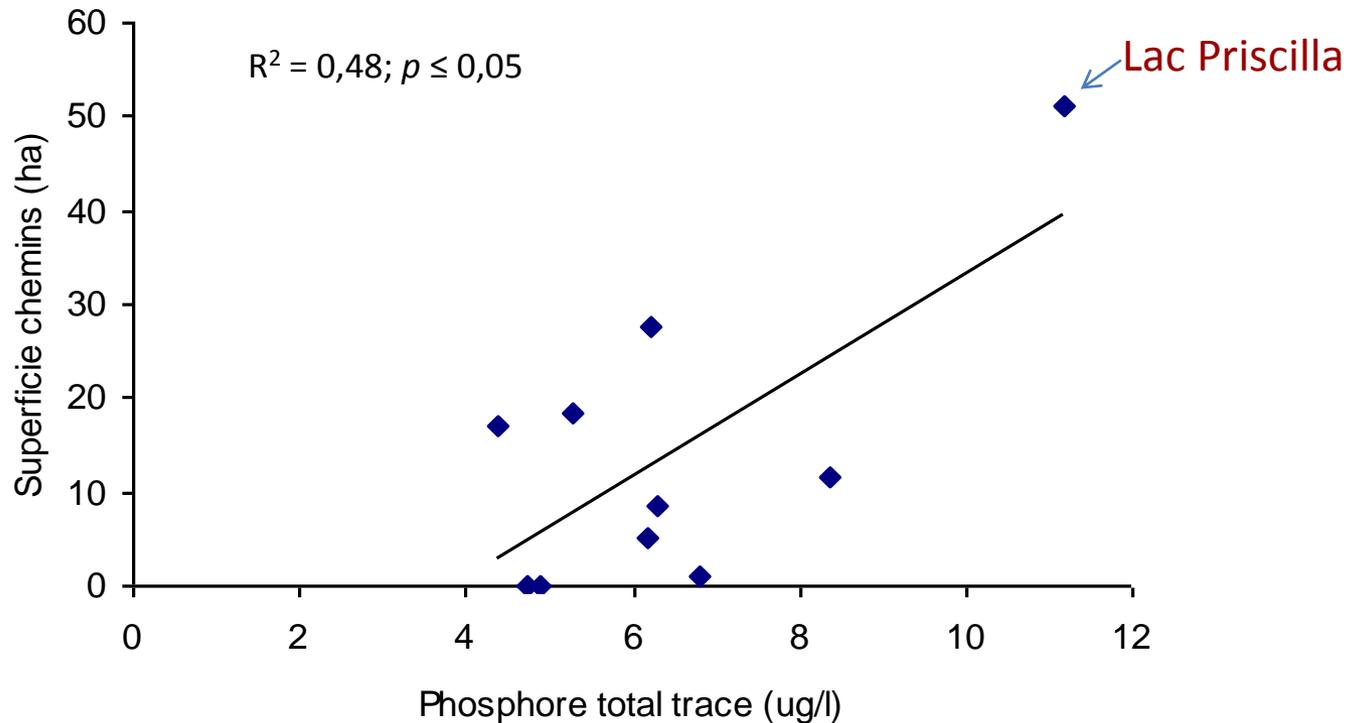
2- Approche statistique

Coefficients de corrélation des variables indicatrices d'eutrophisation et des variables environnementales pour les 10 lacs qui ont fait l'objet de mesures sur le terrain en 2011.

Variables environnementales	Phosphore total trace (µg/l)	Chlorophylle « a » (µg/l)	Macrophytes (% de recouvrement total)
Variables physiographiques			
Ratio de drainage	0,353	0,434	0,107
Superficie du lac	-0,535	-0,390	-0,241
Volume d'eau du lac	-0,568	-0,459	-0,408
Utilisation du territoire			
Superficie forêt	-0,094	0,052	0,429
Superficie milieux humides	0,244	0,147	0,243
Superficie milieux ouverts	-0,476	-0,301	0,338
Superficie chemins	0,690 *	-0,317	0,517
Nombre de bâtiments	-0,237	-0,035	0,108

Seuils de signification obtenus à l'aide du test de *Bonferroni* : * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

2- Approche statistique



Relation entre la superficie du bassin versant du lac occupée par les chemins et la concentration moyenne en phosphore trace obtenue pour les 10 lacs ayant fait l'objet de mesures effectuées sur le terrain en 2011 ($R^2 = 0,477$; $p \leq 0,05$).

L'estimation de la contribution relative en phosphore des activités reliées à l'ensemencement de poissons de 30 lacs.

2 voies d'analyse différentes:

1- Approche modélisation (bilan de masse)

2- Approche statistique (corrélation, régression)

Malgré les incertitudes, les chemins semblent contribuer le plus aux apports anthropiques en phosphore.



L'estimation de la contribution relative en phosphore des activités reliées à l'ensemencement de poissons de 30 lacs.

Recommandations pour cette étude

- Poursuivre la présente étude avec un plus grand nombre de lacs et avec plus de mesures des [P]
- Effectuer une étude paléolimnologique

Mises en garde

Pour la validation des modèles (empirique ou bilan de masses)

- Augmenter le nombre de mesures de la [P]

Modèle empirique de Carignan

- Utiliser pour des lacs situés dans les Laurentides

Mises en garde

Pour le modèle de bilan de masse

Le choix des coefficients d'exportation en P peut être difficile

- Pour les apports diffus et ponctuels
- Classification des milieux humides nécessaire

Considérer la rétention du P

- Lacs en amont dans le bassin versant (coefficients de rétention)
 - Nécessite des relevés bathymétriques pour plusieurs lacs.
- Distance des éléments épurateurs des eaux usées des plans d'eau.
- Type de sol, etc.

Projet de recherche sur les impacts potentiels des activités d'ensemencement de poissons sur les écosystèmes lacustres 2011-2012.



Association pour la gestion intégrée de la rivière Maskinongé

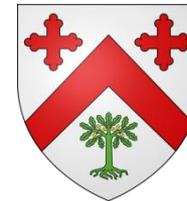
Conférence régionale des élus (es) Lanaudière Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier – Volet II.

Collaborateurs :

- M. Richard Handfield de la Pourvoirie Saint-Zénon et président de l'Association des pourvoyeurs de Lanaudière
- M. Bruno Dumont de la Fédération des pourvoiries du Québec
- Mme Muguette Baril de la Pourvoirie Saint-Damien
- M. Peter Koubec de la Pourvoirie Mastigouche

Remerciements

Estimation des apports en phosphore du bassin versant du lac



*La municipalité de
Saint-Boniface*



*Association des riverains du
lac Héroux et du lac des Six.*

*Association des riverains du
Patrimoine du lac des Six*