

Géologie, pédologie et autres facteurs d'influence sur la santé des lacs

Ce que révèle le réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL)

Comment je vois les lacs des Laurentides

Richard Carignan



Lacs LaSalle, Lavallée et Bélair (Val-Morin), août 2015

Contenu

- **Le phosphore et la santé des lacs (grands et petits)**
- **La géologie, les sols et le phosphore des lacs**
- **Le réseau RSVL**
- **Impact de l'occupation humaine sur le phosphore**
 - Historique de l'occupation humaine dans Laurentides-Lanaudière
- **L'influence des milieux humides**
- **Ce que montrent les données RSVL**
- **Mieux comprendre les lacs : le futur**

Santé des lacs : Définition

Plusieurs possibles

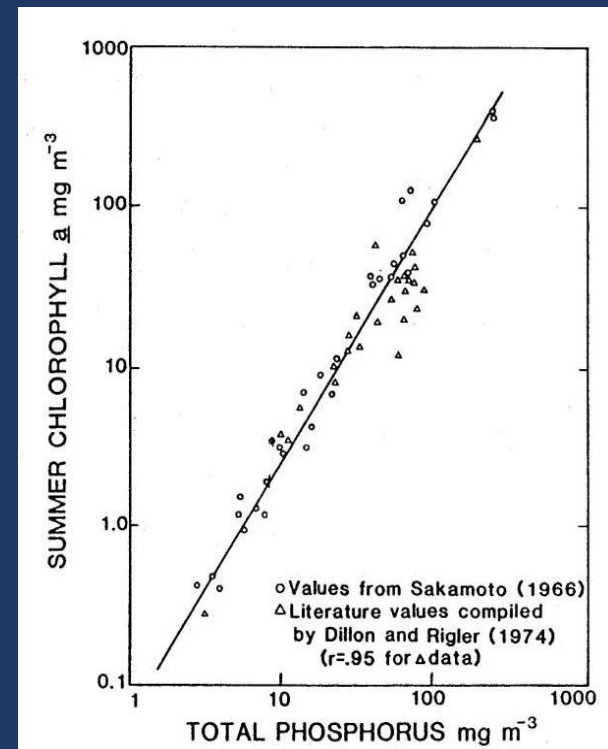
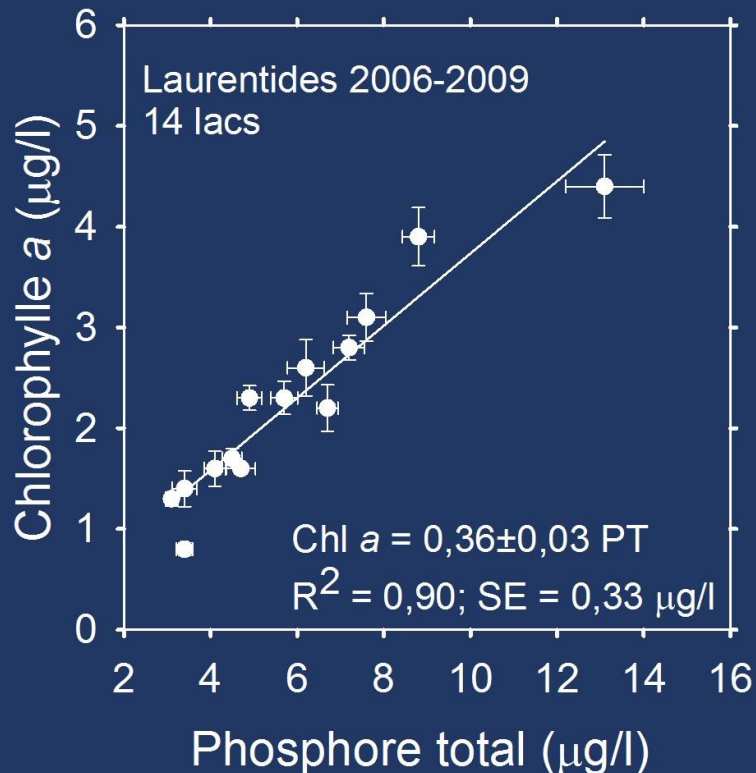
- Propriétés chimiques de l'eau
- Propriétés biologiques
- Espèces nuisibles (exotiques envahissantes, cyanobactéries)

Communément, la concentration en phosphore est la propriété chimique utilisée

Pourquoi ?

- **Facile à mesurer**
- Le phosphore limite généralement la quantité de matière biologique qui peut être produite dans la colonne d'eau (Sakamoto, 1966)
- D'autres caractéristiques importantes des lacs, comme l'oxygène dissous en profondeur dépendent de la production planctonique en surface, donc indirectement du phosphore

(il y a 57 ans !)



D'où vient le phosphore dans les lacs de villégiature ?

des habitations ?

d'autres propriétés naturelles des lacs et de leurs bassins versants ?

Quelles sont les relations entre le phosphore des lacs et les propriétés de leurs cuvettes et de leurs bassins versants ?

Sources potentielles de phosphore vers les lacs habités

Agriculture non durable



Atmosphère



Habitations

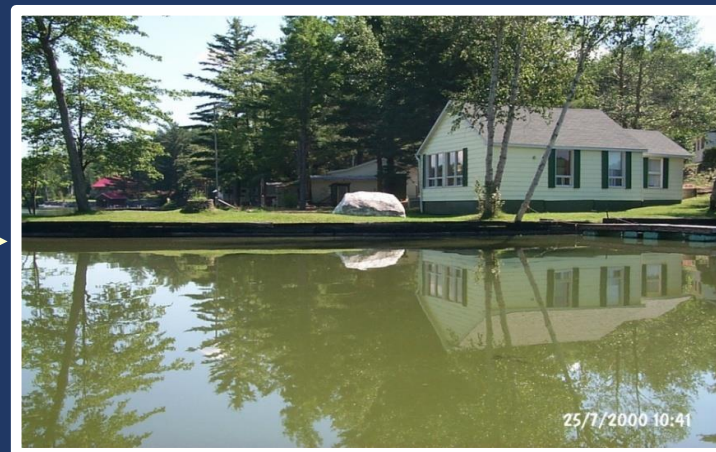
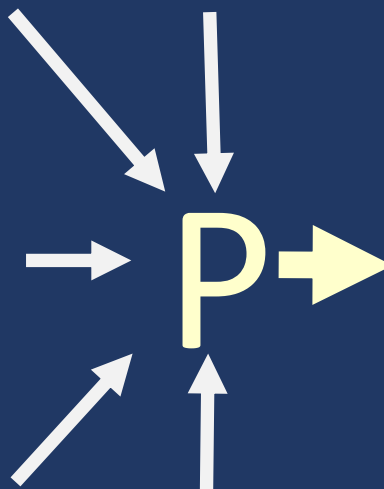
Installations septiques
Fertilisants
Déboisement



Milieux humides

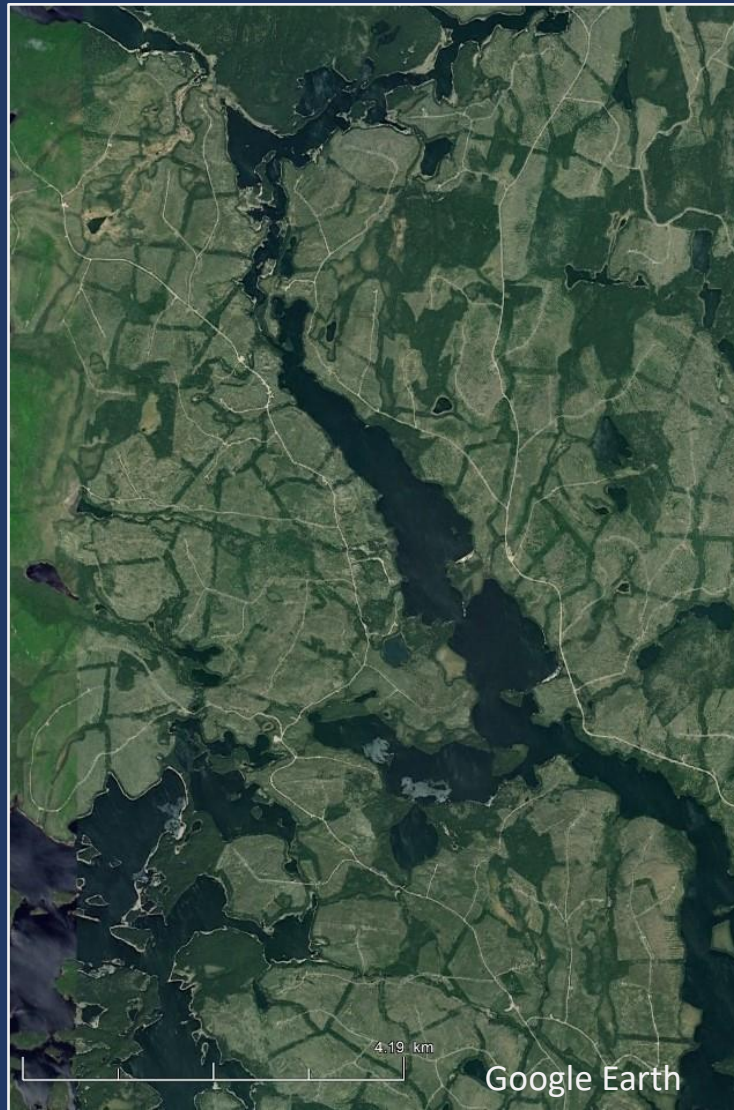


Forêts et sols



En forêt boréale, la coupe forestière libère des quantités importantes de phosphore, méthyl-mercure toxique et carbone organique dissous coloré vers les lacs (impacts différents de ceux des feux de forêt)

Haute-Mauricie, près du réservoir Gouin, juin 2012



Lac Kataway, Lanaudière (RSVL 445), septembre 2019

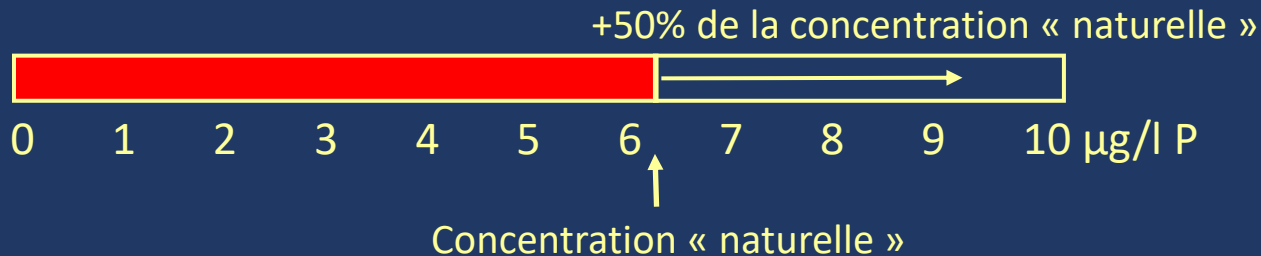


Le seuil et les critères de qualité des eaux pour le phosphore

Protection de la vie aquatique en lac selon le MELCCFP (2 seuils)

- 1- Lacs dont la concentration est **ou était** inférieure à 10 µg/l : 50% de la concentration naturelle sans dépasser 10 µg/l
- 2- Lacs dont la concentration naturelle se trouve ou se trouvait entre 10 et 20 µg/l : 50% d'augmentation par rapport à la concentration naturelle, sans dépasser un maximum de 20 µg/l afin d'éviter l'eutrophisation des lacs

MELCCFP, MOE : Phosphore total 10 µg/l, 20 µg/l



30 ans de recherches sur la biologie des lacs des Laurentides ont montré que ces seuils sont incomplets et inadéquats pour la protection des lacs

Critères abandonnés vers 2013 par le MELCCFP mais encore présents dans leurs documents et remplacés par rien

Insuffisance des seuils de concentration du MELCCFP pour la protection des lacs

Difficulté de définir la concentration naturelle parce qu'elle demande :

Des observations sur un grand nombre de lacs non-habités
dans des contextes hydrologiques et géologiques variés

ou

Un modèle prédictif précis, exact, tenant compte des
propriétés hydrologiques, géologiques et de l'occupation
humaine des bassins versants

Nous n'avons pas ces connaissances

Insuffisance des seuils de concentration du MELCCFP pour la protection des petits lacs

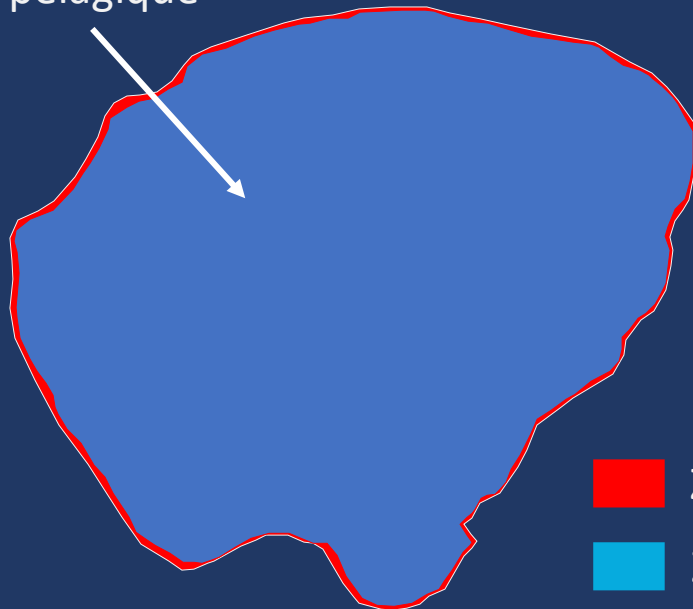
Il faudra reconnaître que le fonctionnement des lacs varie selon leur taille

Grand lac

10 km

Zone littorale exposée aux vagues et
aux courants

Biologie du lac dominée par la zone
pélagique

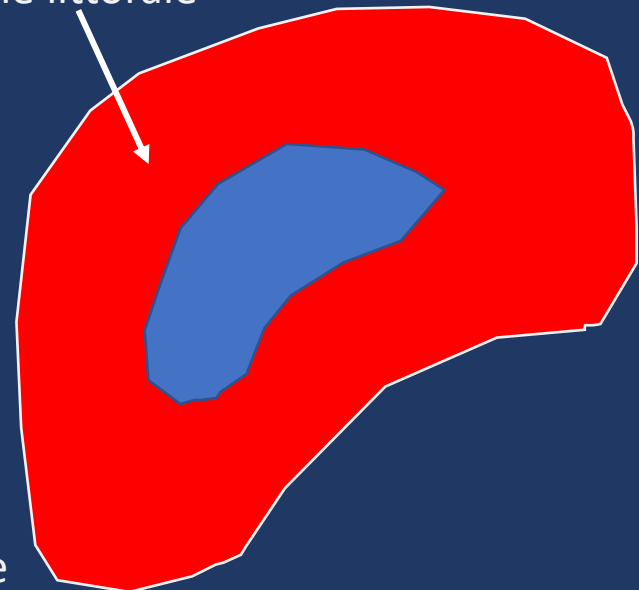


Petit lac (en majorité)

1 km

Zone littorale protégée des vagues et
courants

Biologie du lac souvent dominée par la
zone littorale



■ Zone littorale
■ Zone pélagique

Presque inhabité (une maison)
en santé



Insuffisance des seuils de concentration du MELCCFP pour la protection des petits lacs

Roche, bien visible, lac Morin (inhabité), Saint-Sauveur,
août 2009

Phosphore total pélagique RSVL₂₀₀₇ = 4 µg/l

Très habité, malade



Roche, complètement recouverte d'une épaisse
communauté péiphytique, lac Guindon, Sainte-Anne-
des-Lacs, juillet 2009

Phosphore total pélagique RSVL = 6 µg/l

Très habité, malade



Zone littorale, lac Saint-Amour, Sainte-Anne-des-Lacs,
août 2008

Phosphore total pélagique RSVL = 7 µg/l

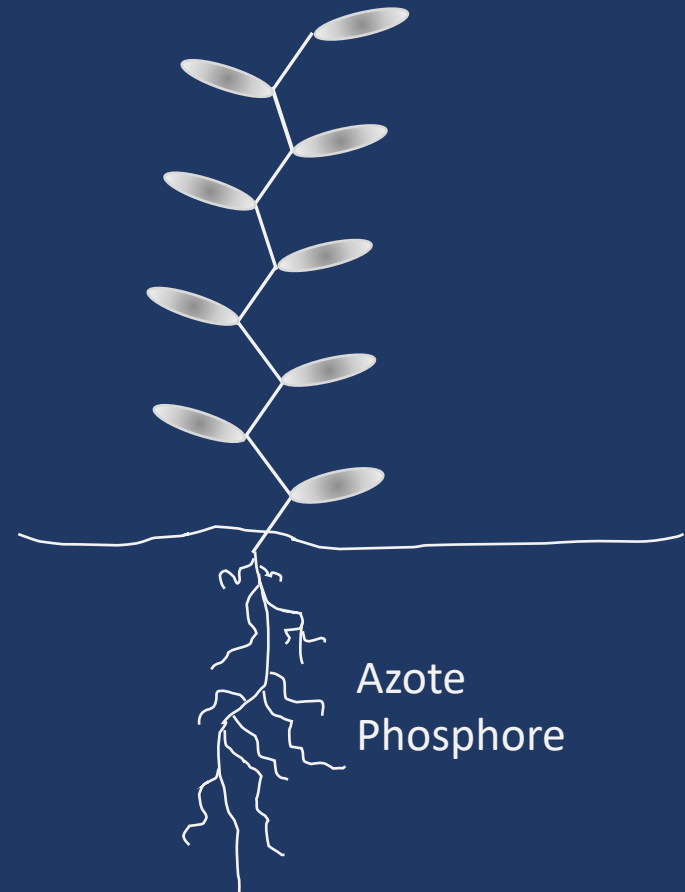
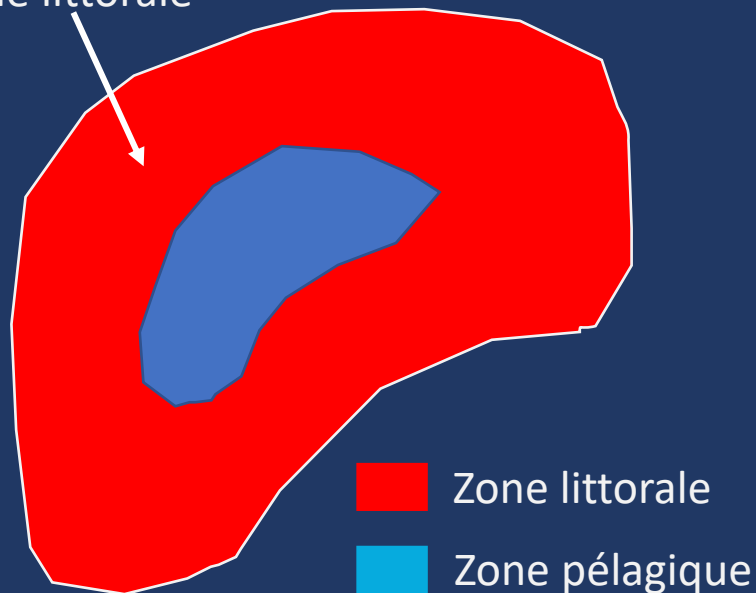
Insuffisance des seuils de concentration du MELCCFP pour la protection des petits lacs

Les plantes aquatiques sont alimentées par leurs racines et ont besoin de sédiments fertiles produits par l'accumulation de débris planctoniques au fil des décennies

Production planctonique élevée $\xrightarrow{\text{Décennies}}$ Accumulation de sédiments fertiles

Zone littorale protégée des vagues et courants

Biologie du lac souvent dominée par la zone littorale



Macrophytes

Insuffisance des seuils de concentration du MELCCFP pour la protection des petits lacs

Lac à la Truite, Sainte-Agathe-des-Monts, 2003-2005

P total trace estival (Carignan) = 5 $\mu\text{g/l}$



Invasion par le myriophylle à épis

Cyanobactéries

Insuffisance des seuils de concentration du MELCCFP pour la protection des petits lacs



Photo: Richard Carignan

Lac Beaulac, Chertsey, novembre 2007
Phosphore total trace RSVL = 5 $\mu\text{g/l}$



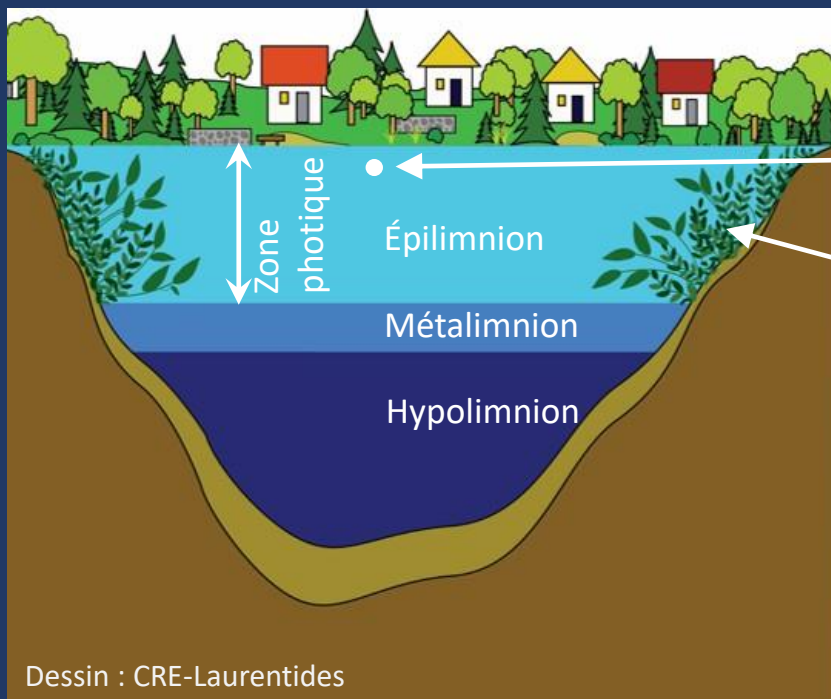
Photo: Johanne Joliat

Lac Bellevue, Sainte-Adèle, septembre 2022
Phosphore total trace RSVL = 10 $\mu\text{g/l}$

Insuffisance des seuils de concentration du MELCCFP pour la protection des petits lacs

Les propriétés pélagiques telles le phosphore et la chlorophylle sont des indicateurs peu sensibles de perturbation des lacs

Beaucoup d'autres choses changent avant le phosphore et la biomasse planctonique



Échantillon RSVL dans la colonne d'eau

Communauté littorale de macrophytes + périphyton parfois importante dans les petits lacs

Éventuellement, il faudra trouver des métriques autres que le phosphore total pélagique pour caractériser la santé des lacs

Lac $\neq$ colonne d'eau

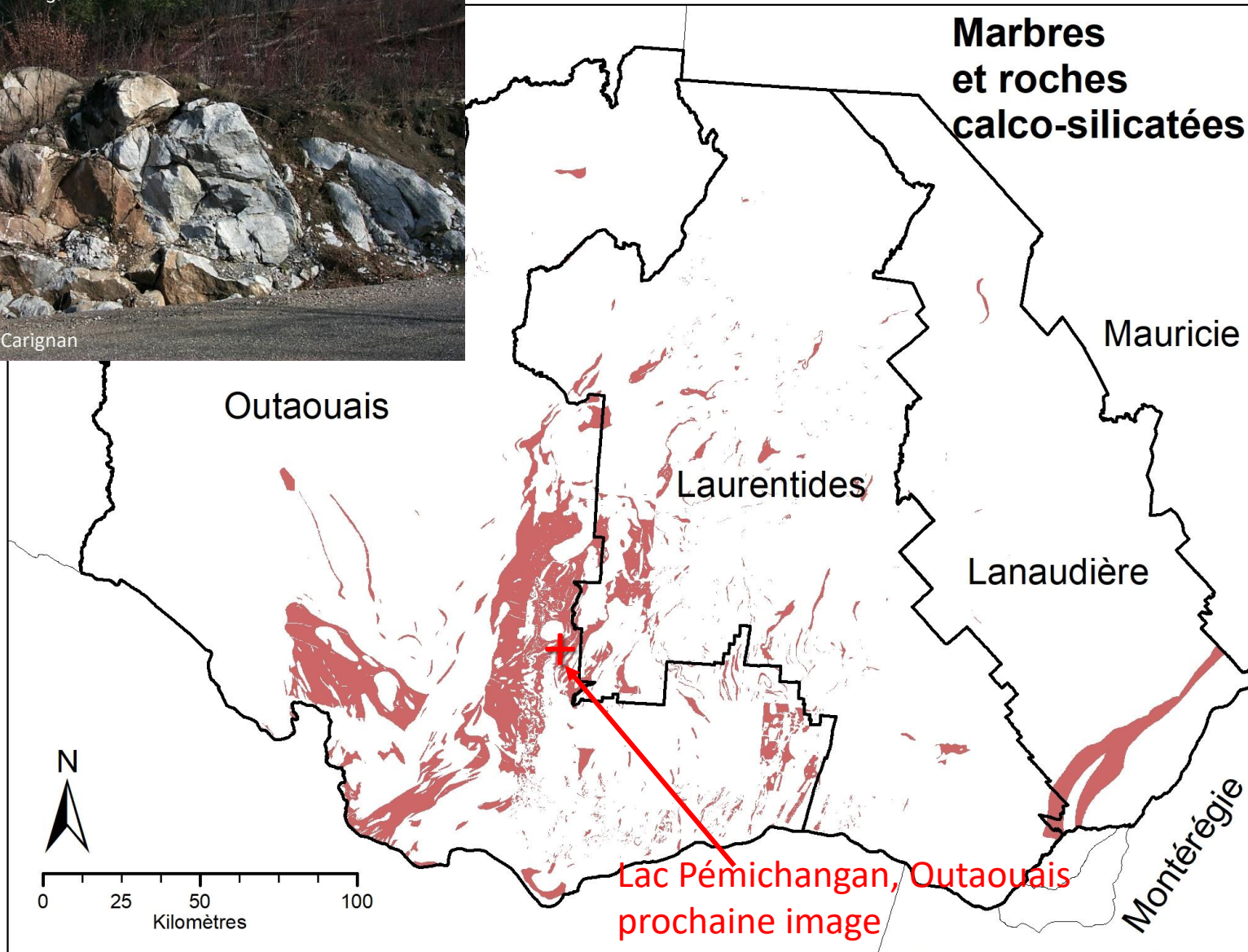
La géologie, les dépôts meubles et le phosphore des lacs

La géologie, les dépôts meubles et le phosphore des lacs

Données Sigéom (<https://sigeom.gouv.qc.ca>, géologie du socle, *incomplet*)

Marbre (CaCO_3), lac Vert, Outaouais

Photo: Richard Carignan



Projection : NAD83 Québec Lambert conforme

Lac Pemichangan, Outaouais

Lacs à eaux saturées en CaCO_3 sur le Bouclier canadien

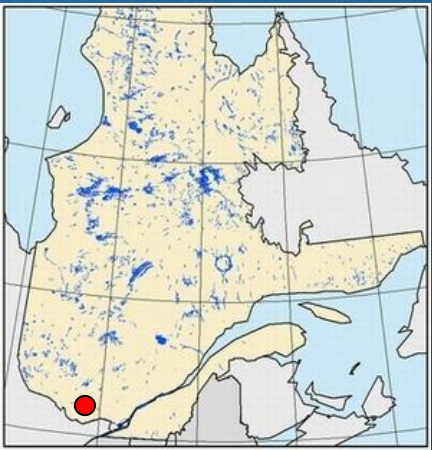


Photo R. Carignan

28/8/2002

Potamogeton
amplifolius

Lac Vert
vallée de la Gatineau
juillet 2003

Elodea canadensis

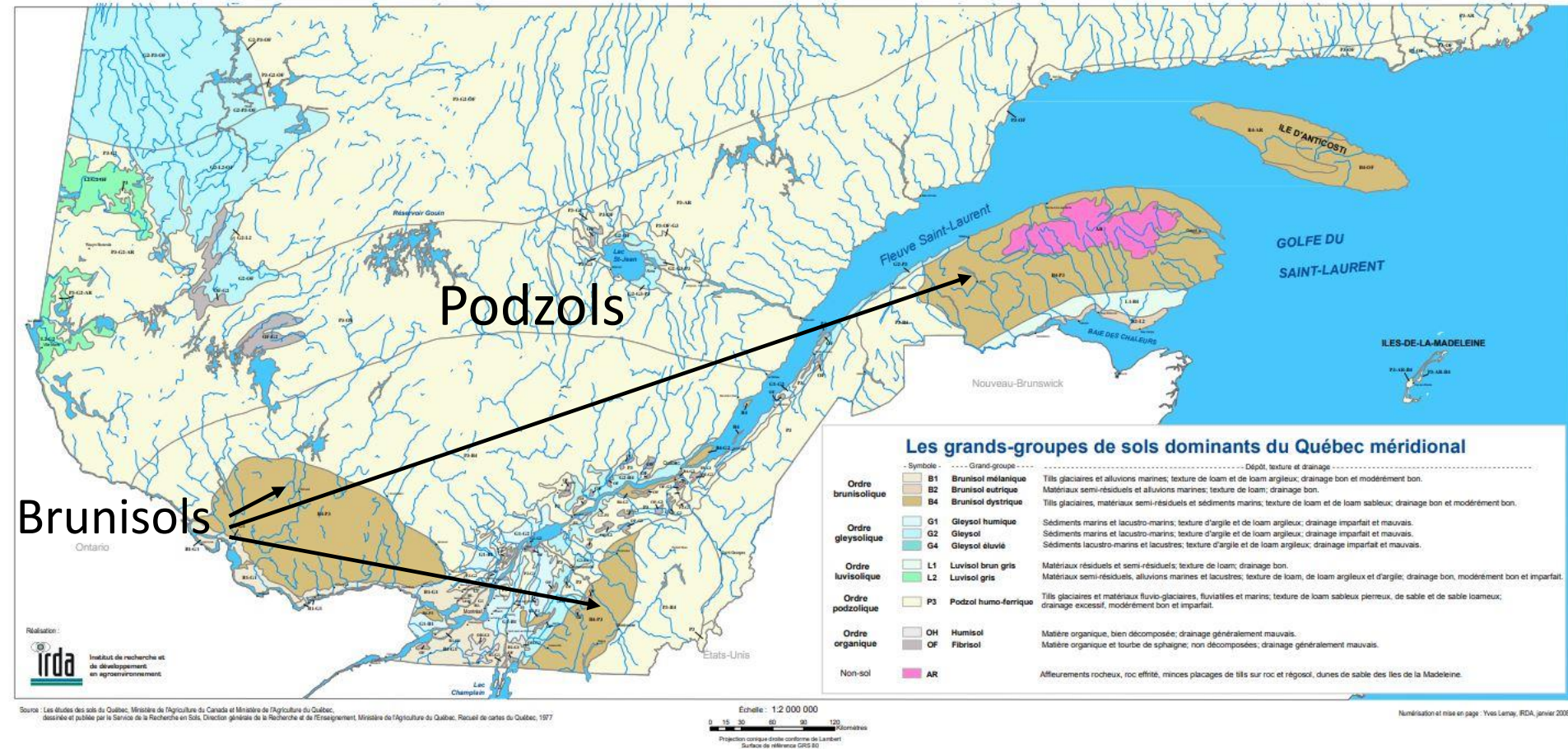
Ces dépôts de CaCO_3 affectent la chimie du phosphore

Potamogeton Richardsonii

La géologie et les dépôts meubles

Grands groupes de sols dominants du Québec méridional

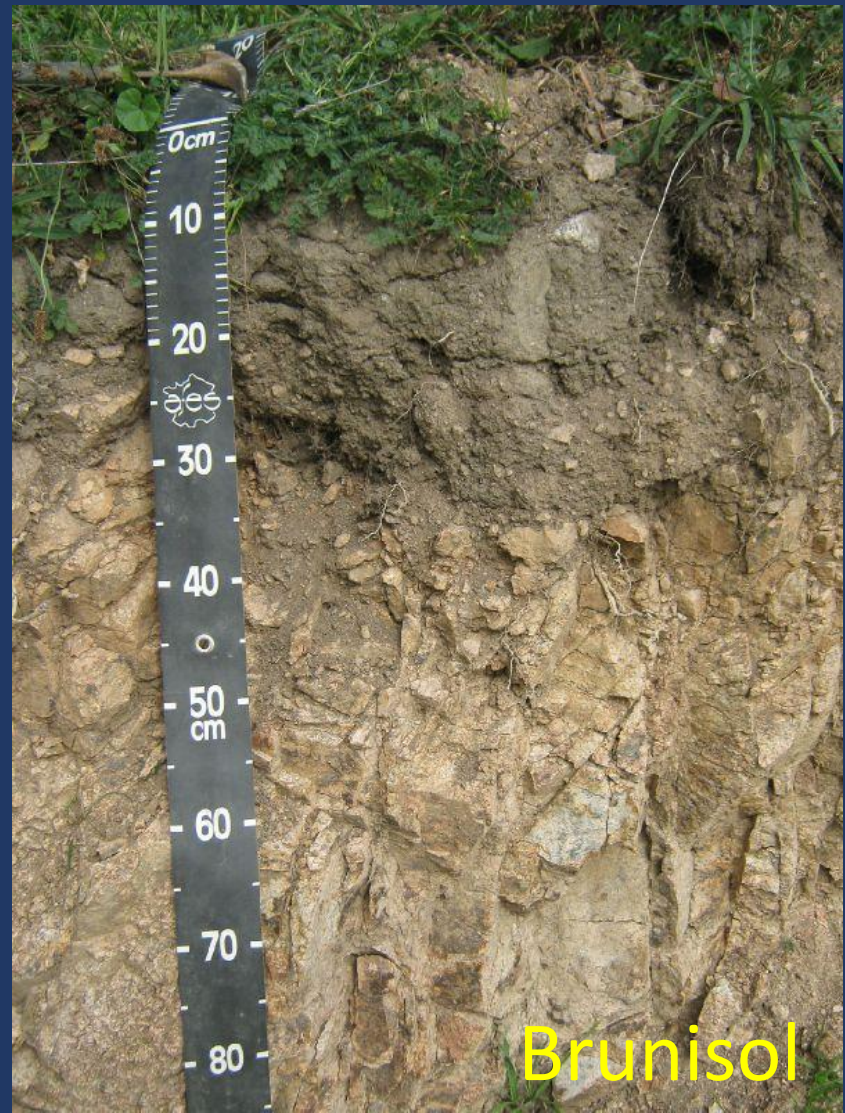
Les roches en place (carbonates et calco-silicatées vs silicatées) influencent directement les sols qui s'y sont formés (brunisol vs podzols)



Source: Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (<https://www.irda.qc.ca>)

Géologie et dépôts meubles : Géochimie du phosphore

La capacité de rétention du phosphore par les sols développés sur des roches silicatées (podzols) est beaucoup plus élevée que celle des sols (brunisol) développés sur des marbres et des roches calco-silicatées



La géologie et les dépôts meubles

Les oxydes de Fe et Al sont abondants dans les podzols acides du Bouclier précambrien
Leur affinité pour le $\text{PO}_4\text{-P}$ est très grande

Pour cette raison, la progression et la forme du panache de saturation en phosphore issu d'une installation septique ou de l'application d'engrais sont extrêmement difficiles à prévoir



Installation
septique
« conforme » ou
« non-conforme »

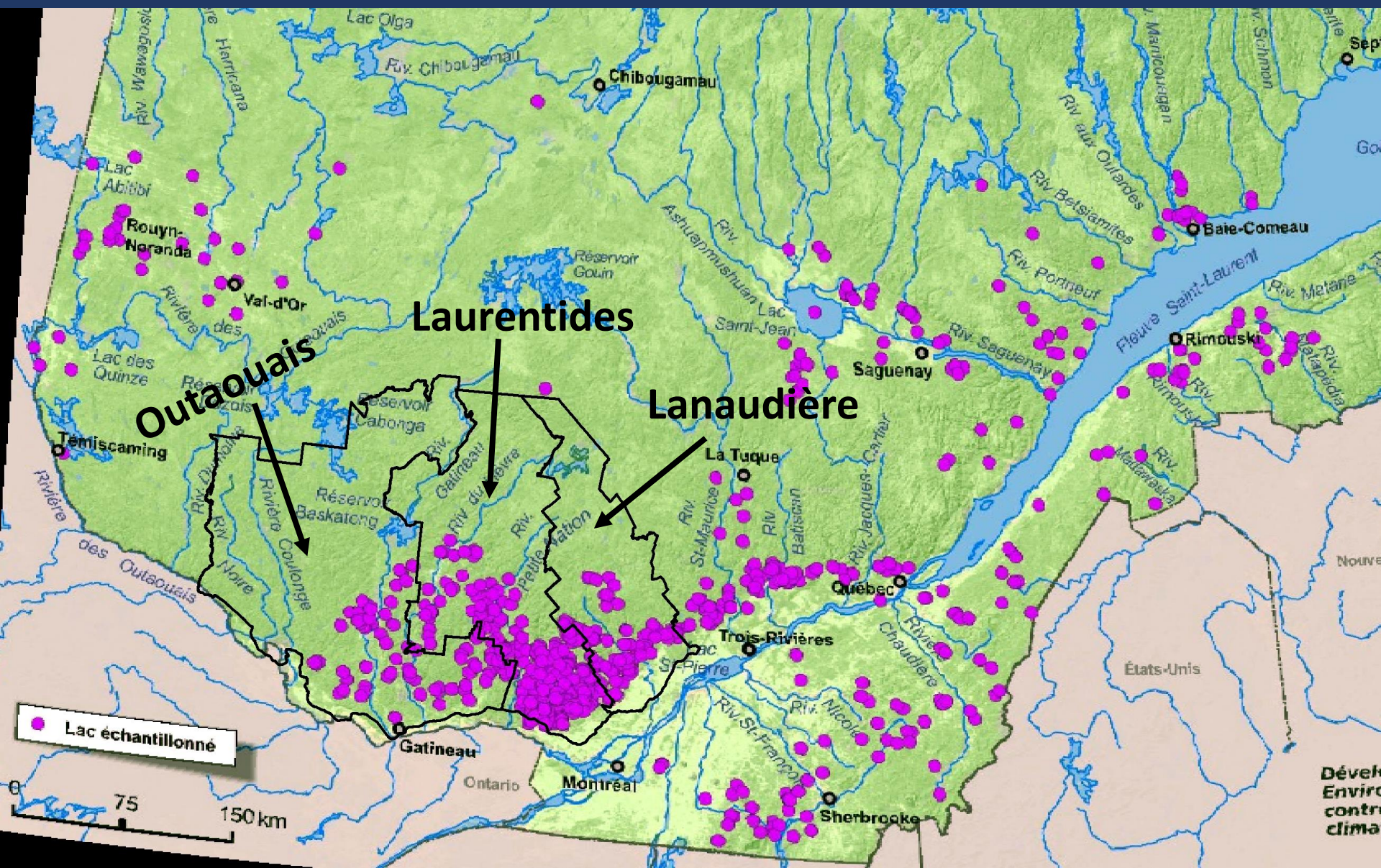
Saturation éventuelle de la capacité de rétention
des sols (1 an?, 10 ans?, 100 ans?, 1000 ans?) selon
les propriétés locales des sols et des dépôts meubles

P

Lac

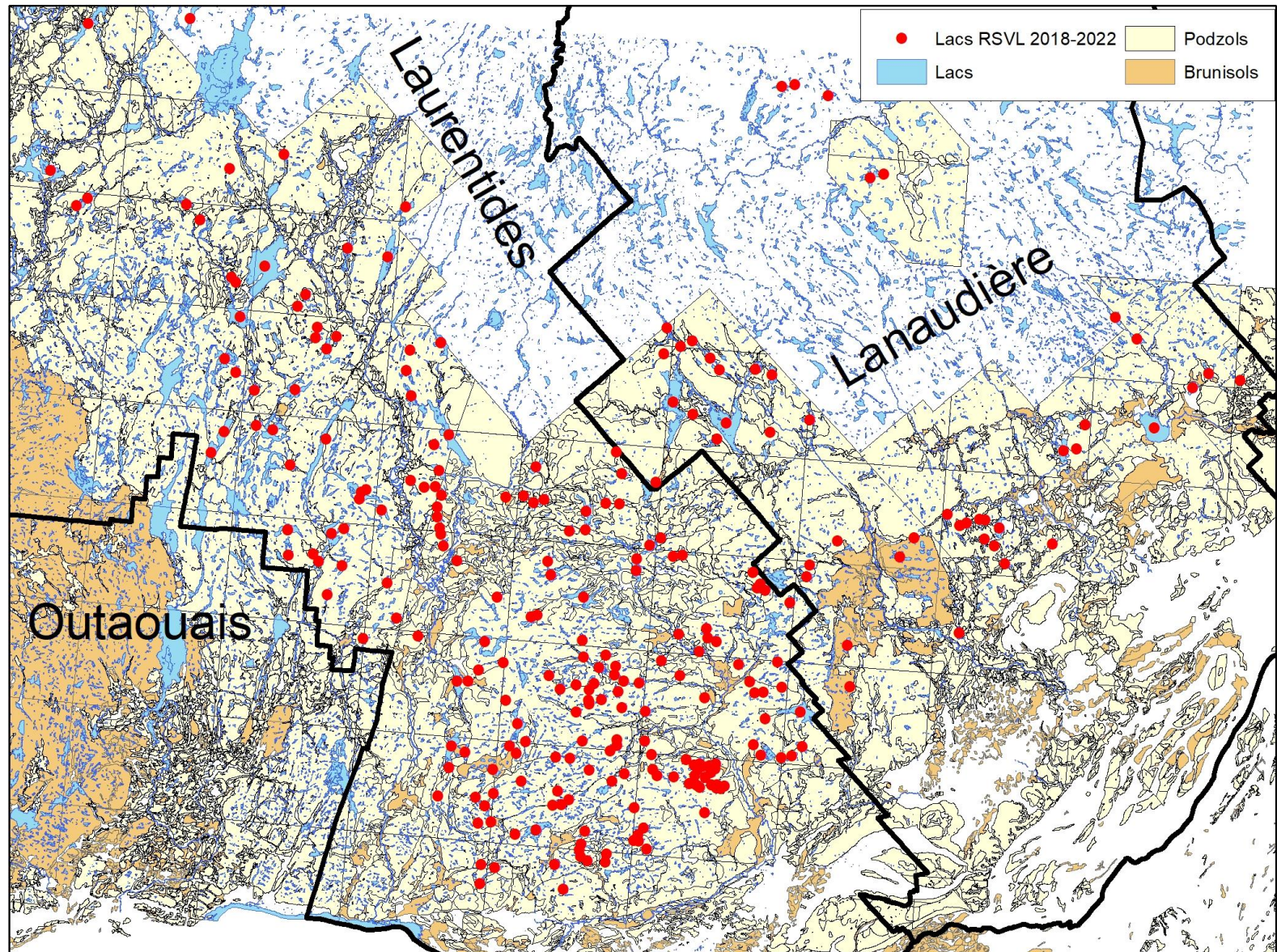
Difficulté supplémentaire: Évolution de la technologie des installations septiques

Le réseau RSVL: environ 800 lacs inscrits au Québec – Que peut-il nous apprendre ?
Dans ma présentation, je n'utiliserai que les données RSVL acquises entre 2018 et 2022
dans les régions des Laurentides et de Lanaudière (362 lacs)



Effectif RSVL (2018-2022) dans Laurentides-Lanaudière

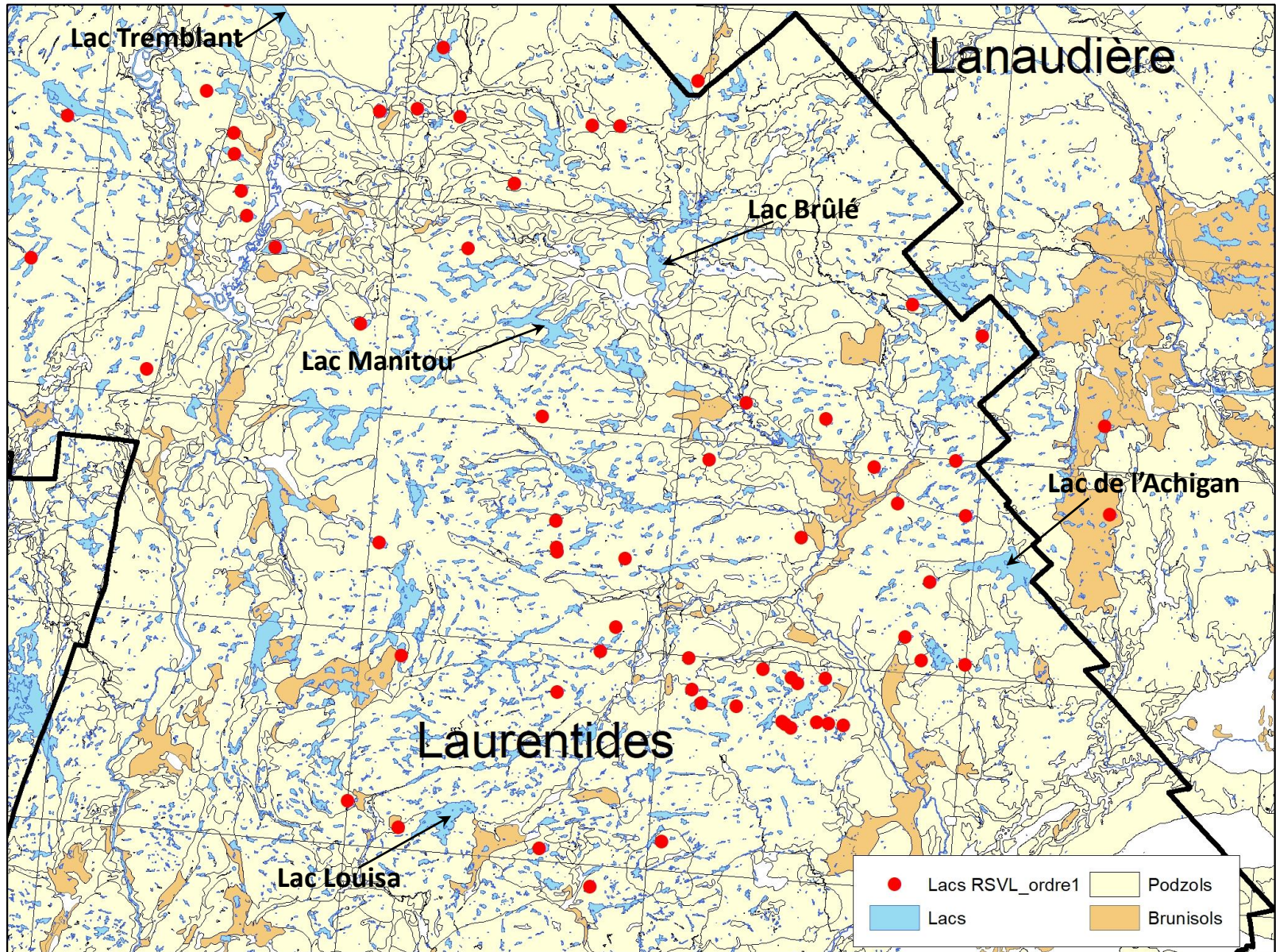
279 lacs dont nous connaissons la chimie et la bathymétrie (ce n'est pas un hasard)



Sources: IRDA, RSVL

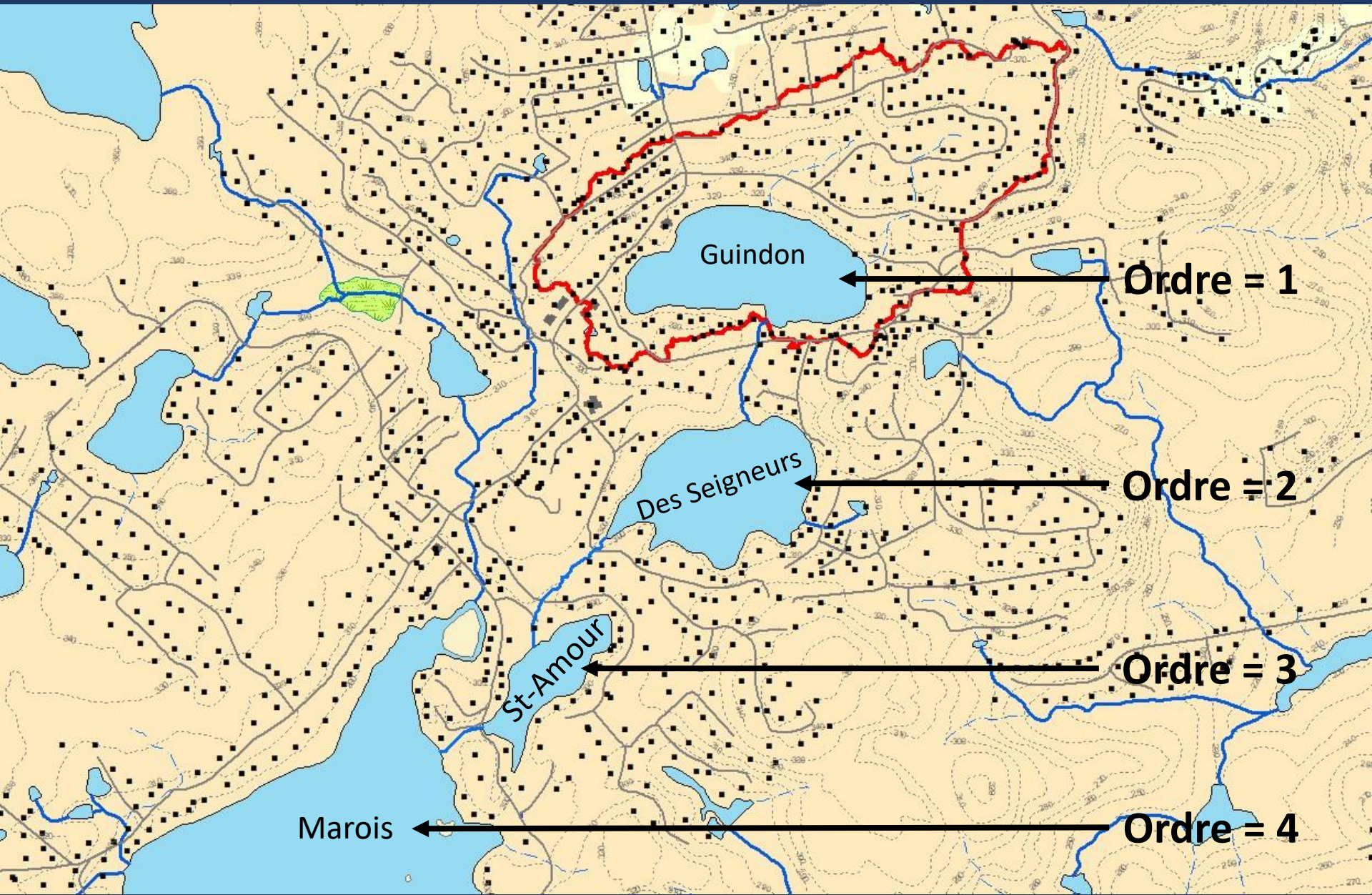
Effectif lacs RSVL de 1^{er} ordre dans Laurentides-Lanaudière :

74 lacs dont nous connaissons la chimie et la bathymétrie, dont seulement 54 sont naturels



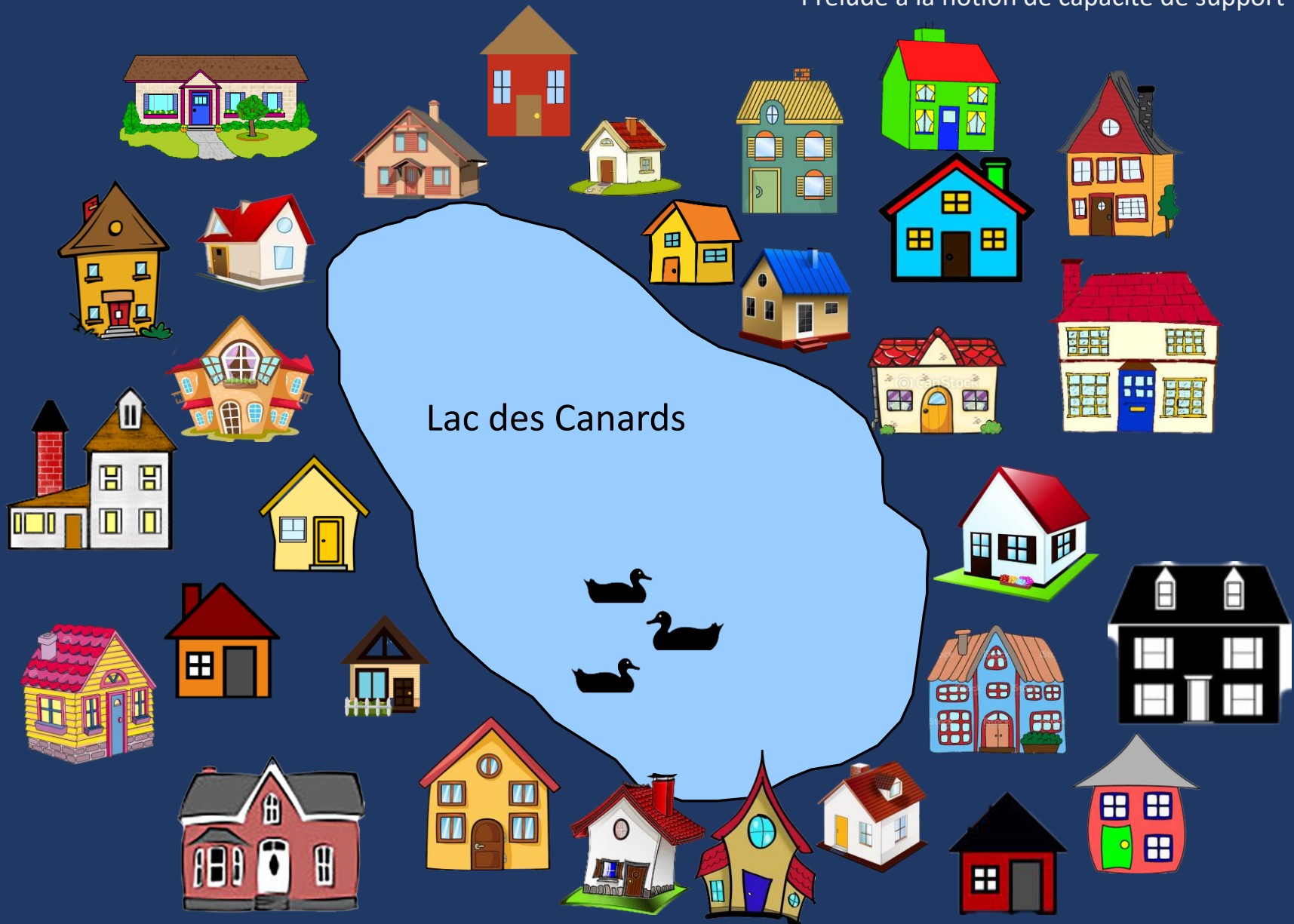
Sources: IRDA, RSVL

Ordre hydrologique des lacs Guindon, des Seigneurs et Saint-Amour (Sainte-Anne-des-Lacs, Laurentides)



Y a t'il un lien entre le phosphore des lacs et leur densité d'habitation ?

Prélude à la notion de capacité de support



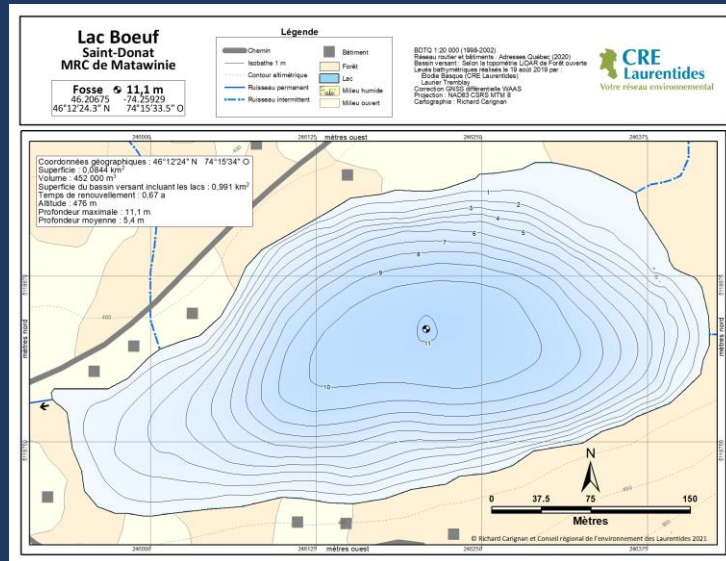
Avant de suggérer une capacité de support, encore faut-il démontrer l'existence d'une relation entre le phosphore des lacs et leur densité d'habitation !



Phosphore total trace RSVL

Données nécessaires (74 lacs de 1^{er} ordre)

Volume du lac, profondeur moyenne

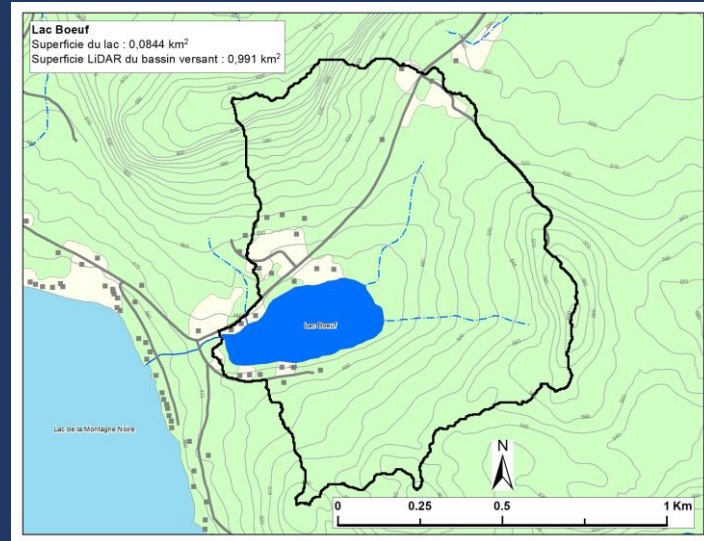


Cartographie des milieux humides
effectuée par Canards Illimités
pour le MELCCFP



Disponible dans les Laurentides-sud mais
très peu dans l'Outaouais et Lanaudière

Superficie du bassin versant, géologie, temps de
renouvellement, occupation humaine (Adresses
Québec) dans le bassin versant et autour du lac



Historique du lac

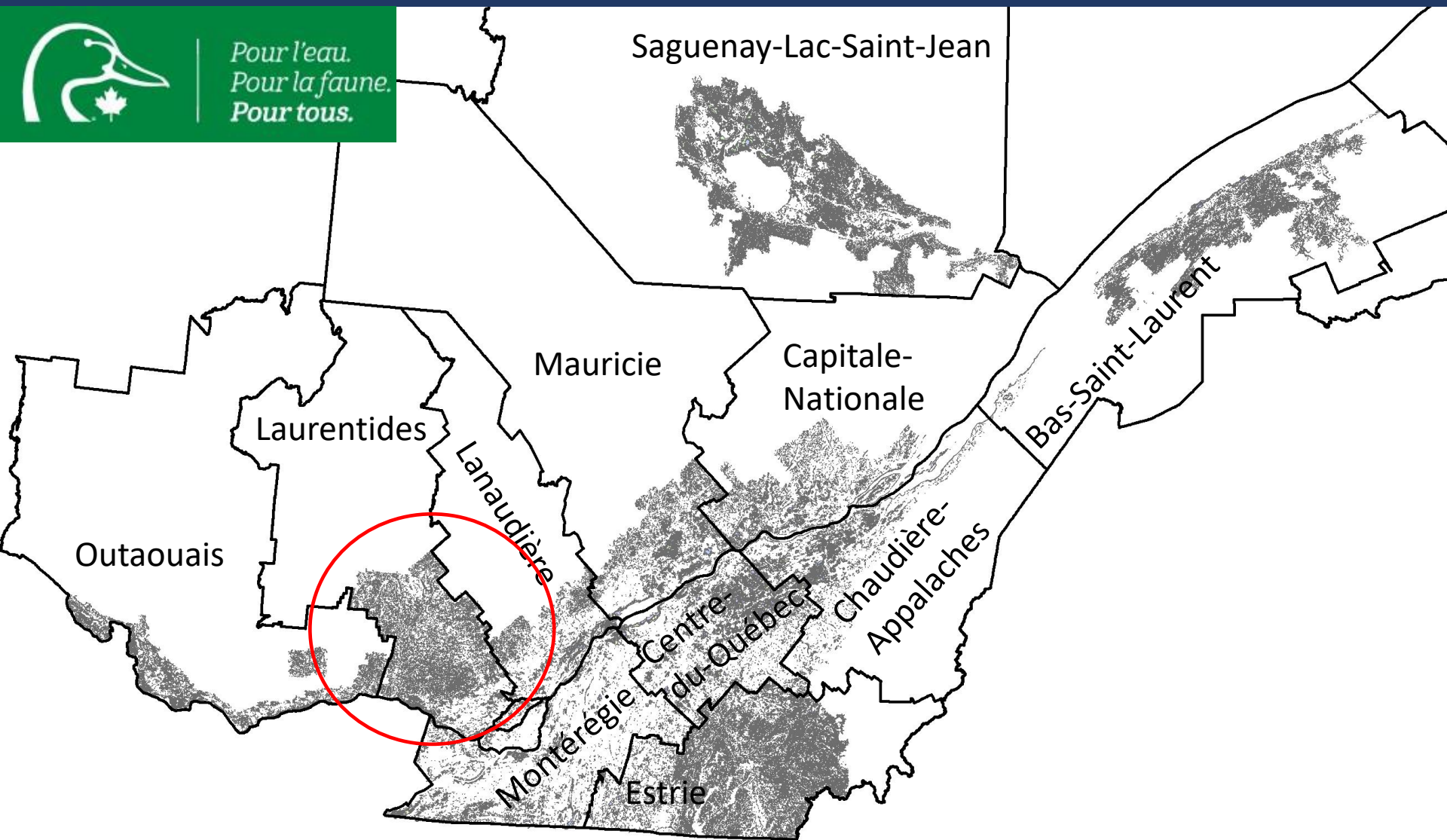
- Naturel ou artificiel ?
- Rehaussé ?
- Quand ?

Source des données

- Photothèque canadienne 1930-1935
- Répertoire des barrages CEHQ

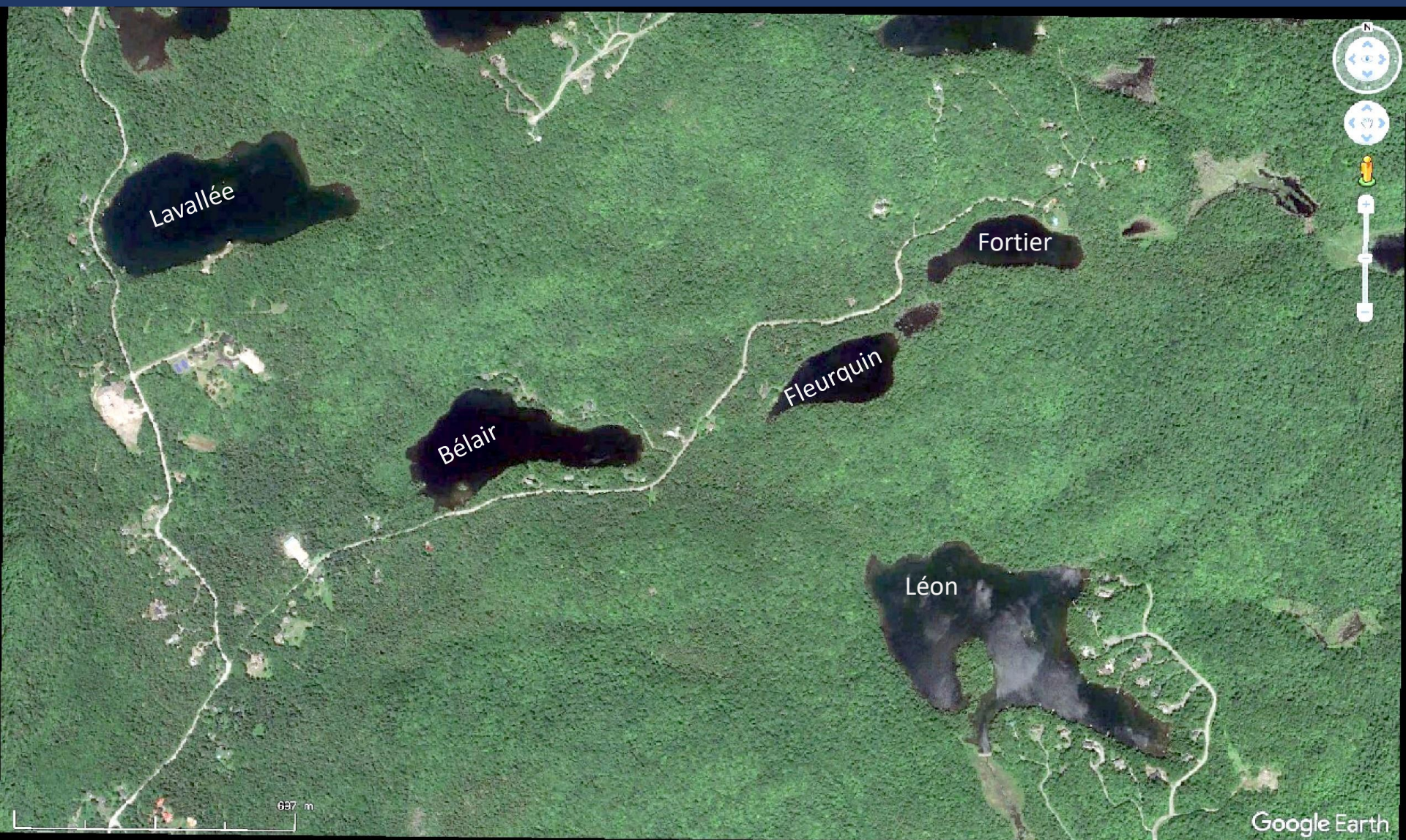
Couverture des milieux humides de Canards Illimités au Québec

Disponible dans les Laurentides-sud mais très peu dans l'Outaouais et Lanaudière



Pour l'eau.
Pour la faune.
Pour tous.

Historique des lacs et de leur bassins versants
Lacs Lavallée, Fortier, Fleurquin, Bélair et Léon (Val-Morin)
Juillet 2019



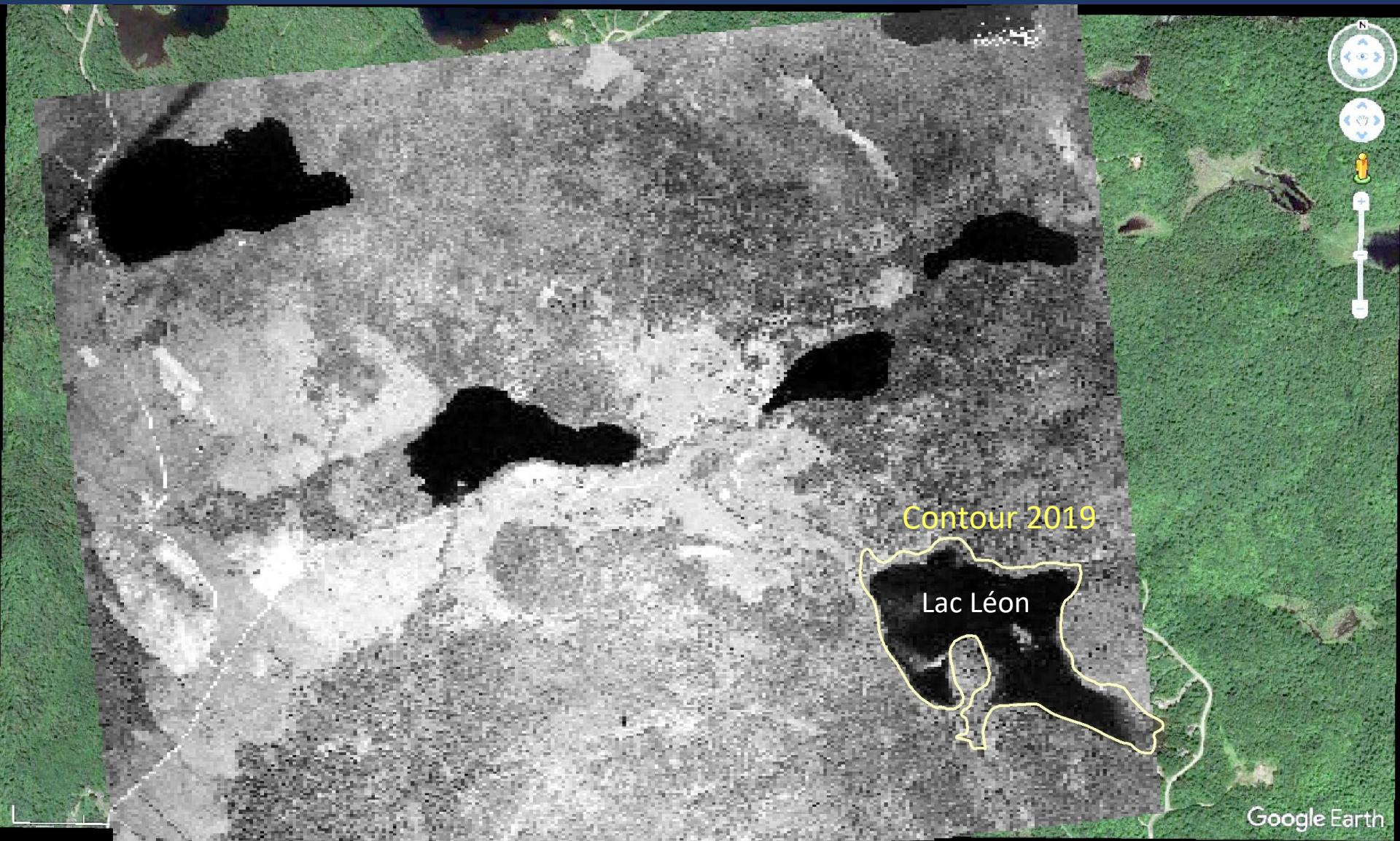
Historique des lacs et de leur bassins versants
Lacs Lavallée, Fortier, Fleurquin, Bélair et Léon (Val-Morin)
Juin 1931

Source: Photothèque nationale de l'air



Historique des lacs et de leur bassins versants
Lac Léon, rehaussé (Val-Morin)
Juin 1931

Source: Photothèque nationale de l'air



Lac Léon (Val-Morin)

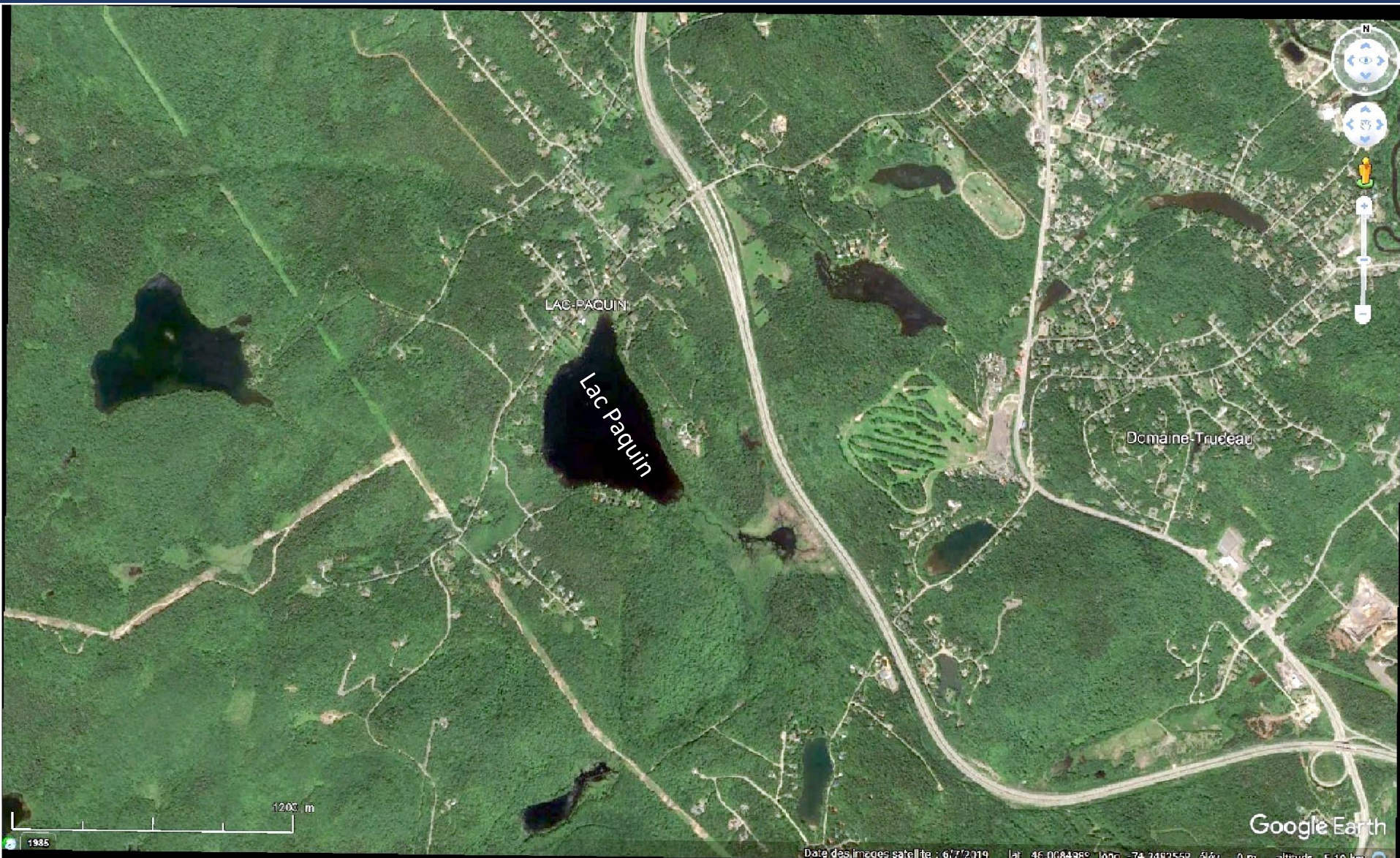
Beaucoup de plantes aquatiques à feuilles flottantes et submergées en raison du rehaussement du niveau de 1,3 m vers 1980 et de la décomposition des sols inondés

Lac Léon, 8 août 2015



Photo: Richard Carignan

Historique des lacs et de leur bassins versants
Lac Paquin (Sainte-Agathe-des-Monts)
Juillet 2019

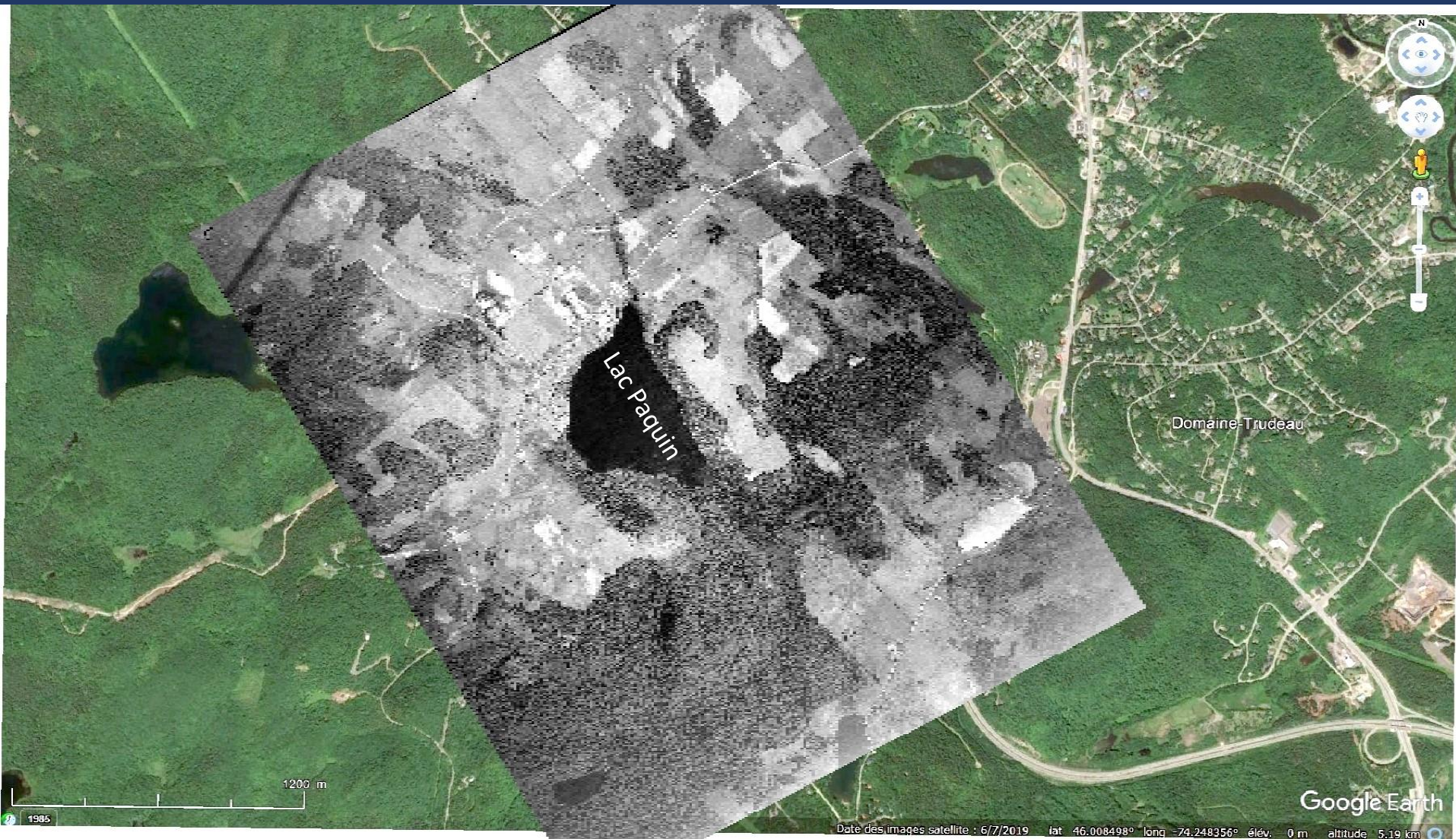


Historique des lacs et de leur bassins versants

Lac Paquin (Sainte-Agathe-des-Monts)

Juin 1931

Source: Photothèque nationale de l'air



Les milieux humides



Bassin versant du lac à l'Ours, Saint-Hippolyte

Photo: Richard Carignan



Bog minérotrophe, Lac Papineau,
Réserve Kenauk

Milieux humides communs dans les Laurentides



Marécage, Laval



Tourbière Boisée, Forêt Montmorency

Cartographie des milieux humides au sud du Québec par Canards Illimités (2016)

Lac à la Caille Mont-Blanc

— Bassin versant
— Bordure 100 mètres
— Tributaires

■ Bog minérotrophe ■ Tourbière boisée
■ Marécage ■ Prairie humide



Pour l'eau.
Pour la faune.
Pour tous.



(Pas de données pour Lanaudière)

Google Earth

Date des images satellite : 6/7/2019 lat 46.106763° long -74.447528° élév. 0 m altitude 2.62 km

Les lacs artificiels de 1^{er} ordre et ceux actuellement influencés par l'agriculture ont été ignorés

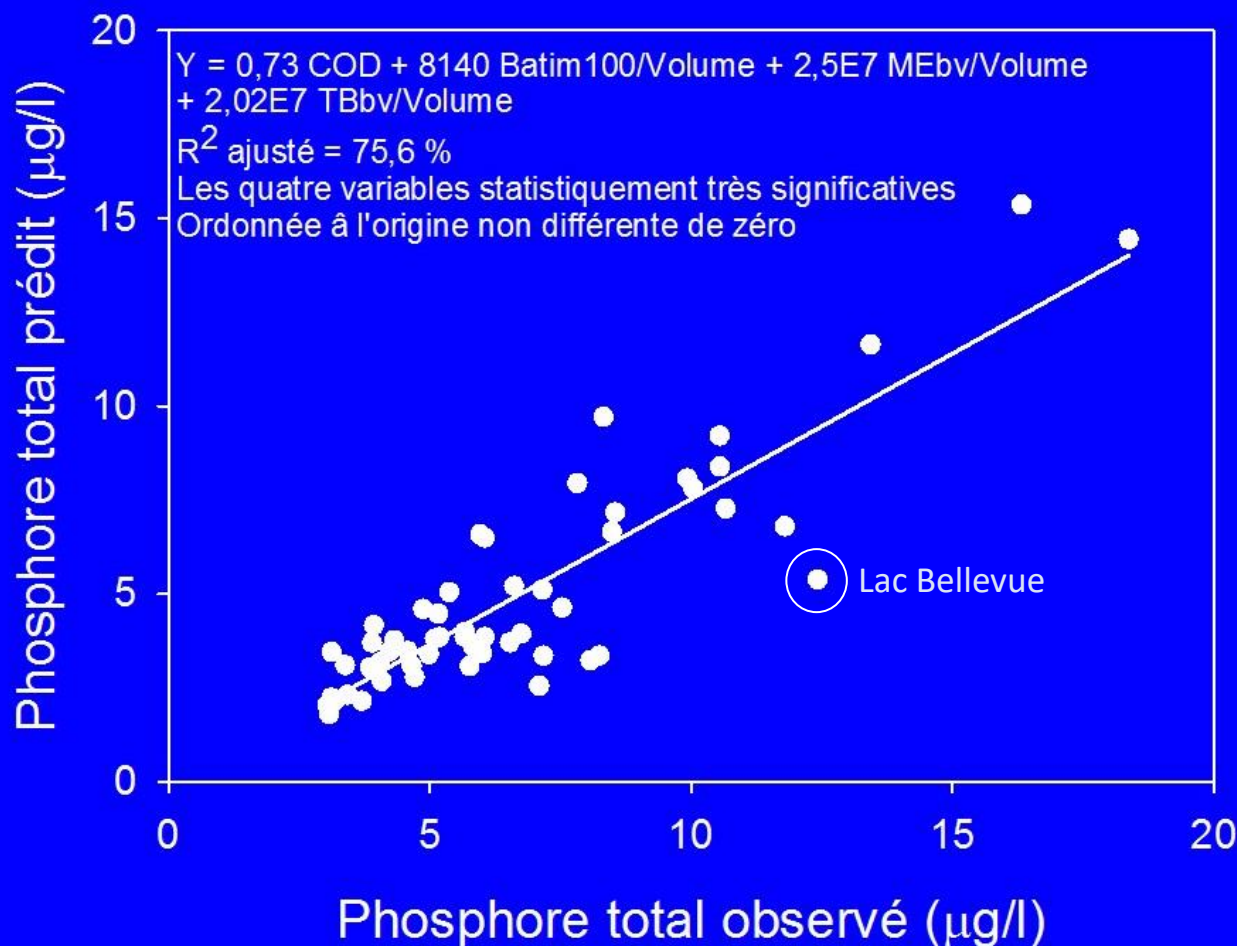


Quatre variables très hautement significatives ($p < 0,0001$)

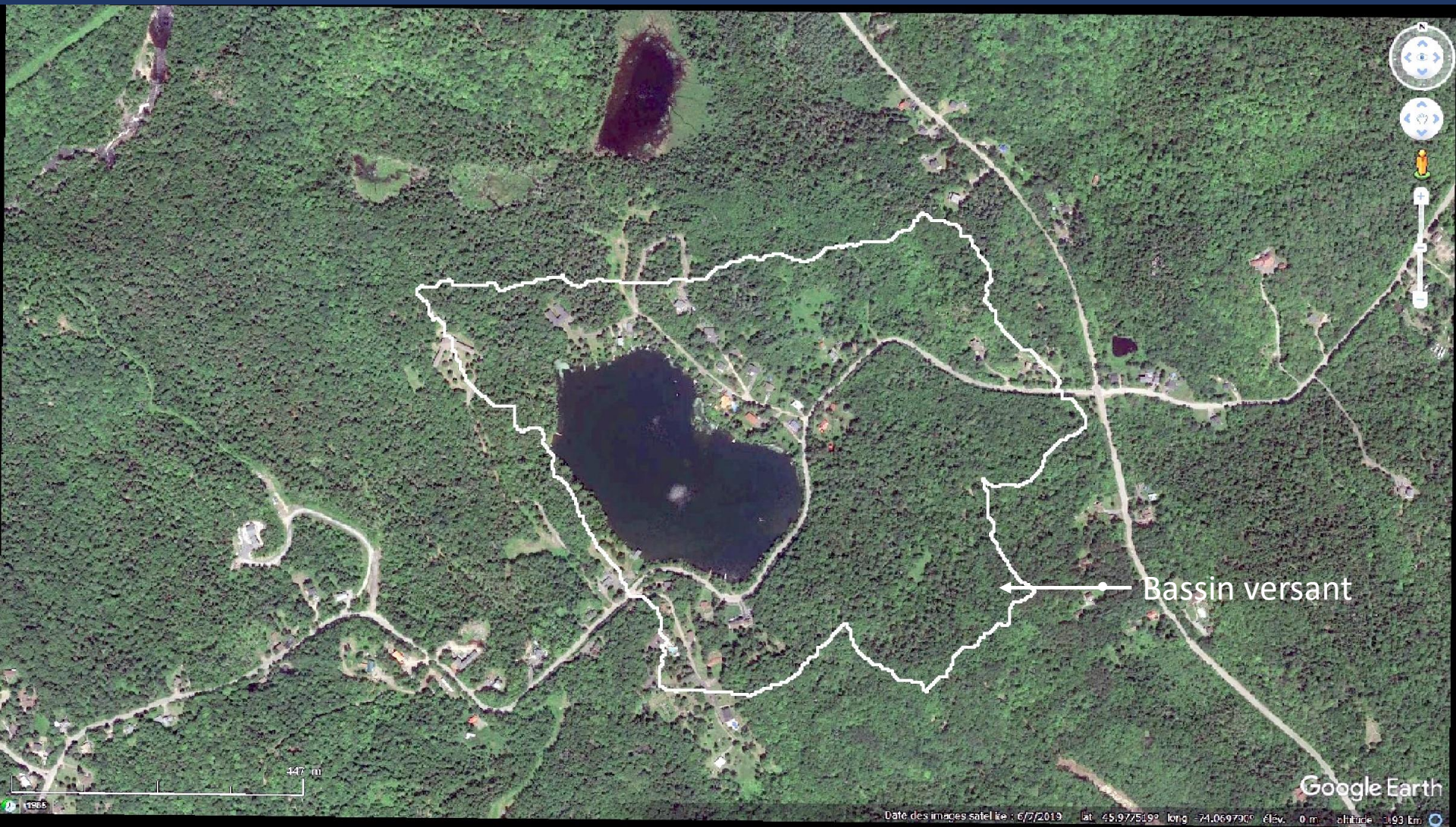
N = 54 lacs naturels de 1^{er} ordre des Laurentides

Modèle prédictif No. 2

Quatre variables: COD, densité des bâtiments, densité des tourbières boisées et des marécages

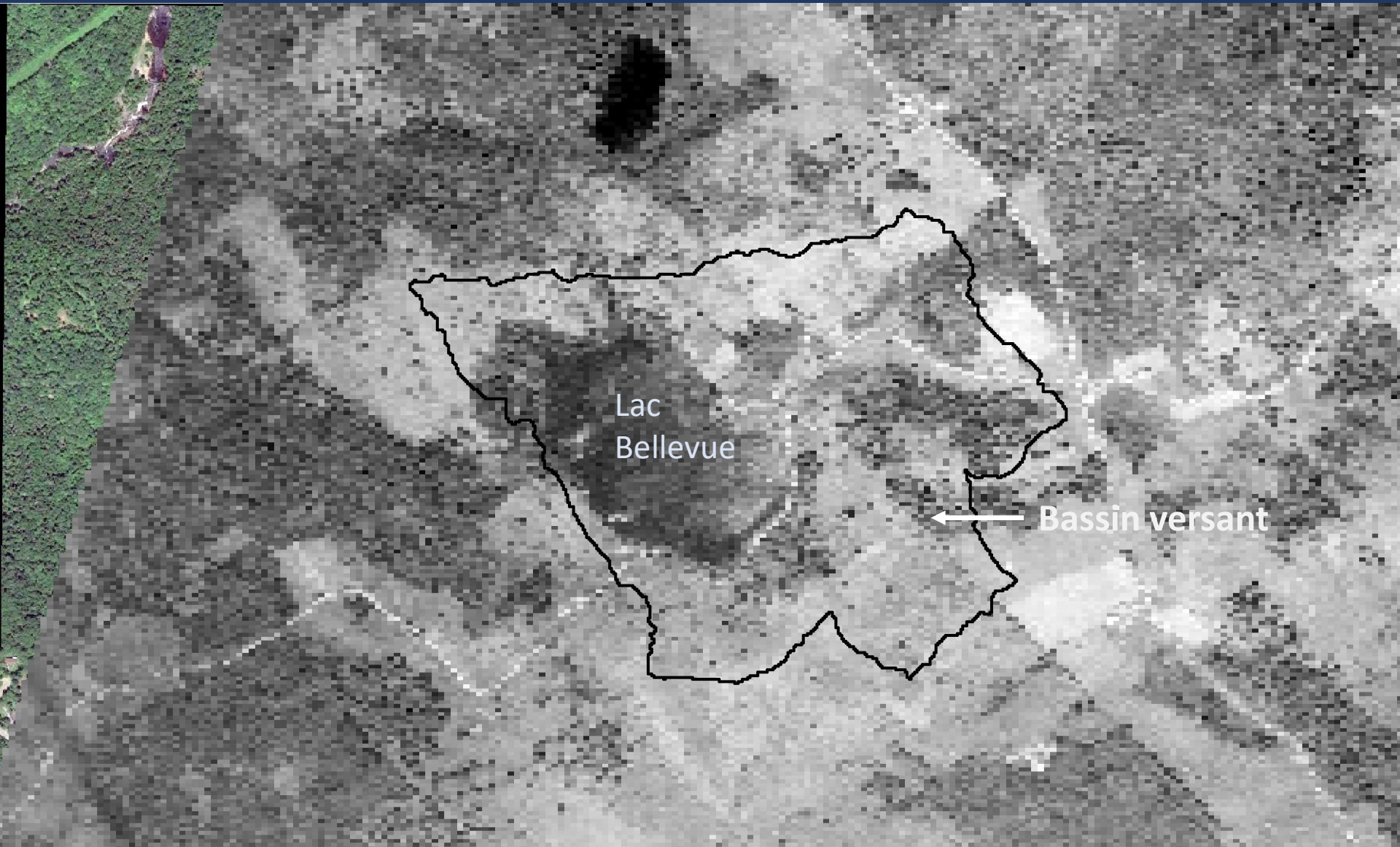


Lac Bellevue (Sainte-Adèle), juillet 2019, 90% boisé



Lac Bellevue (Sainte-Adèle), 27 mai 1931, 90% déboisé-agricole

Source: Photothèque nationale de l'air

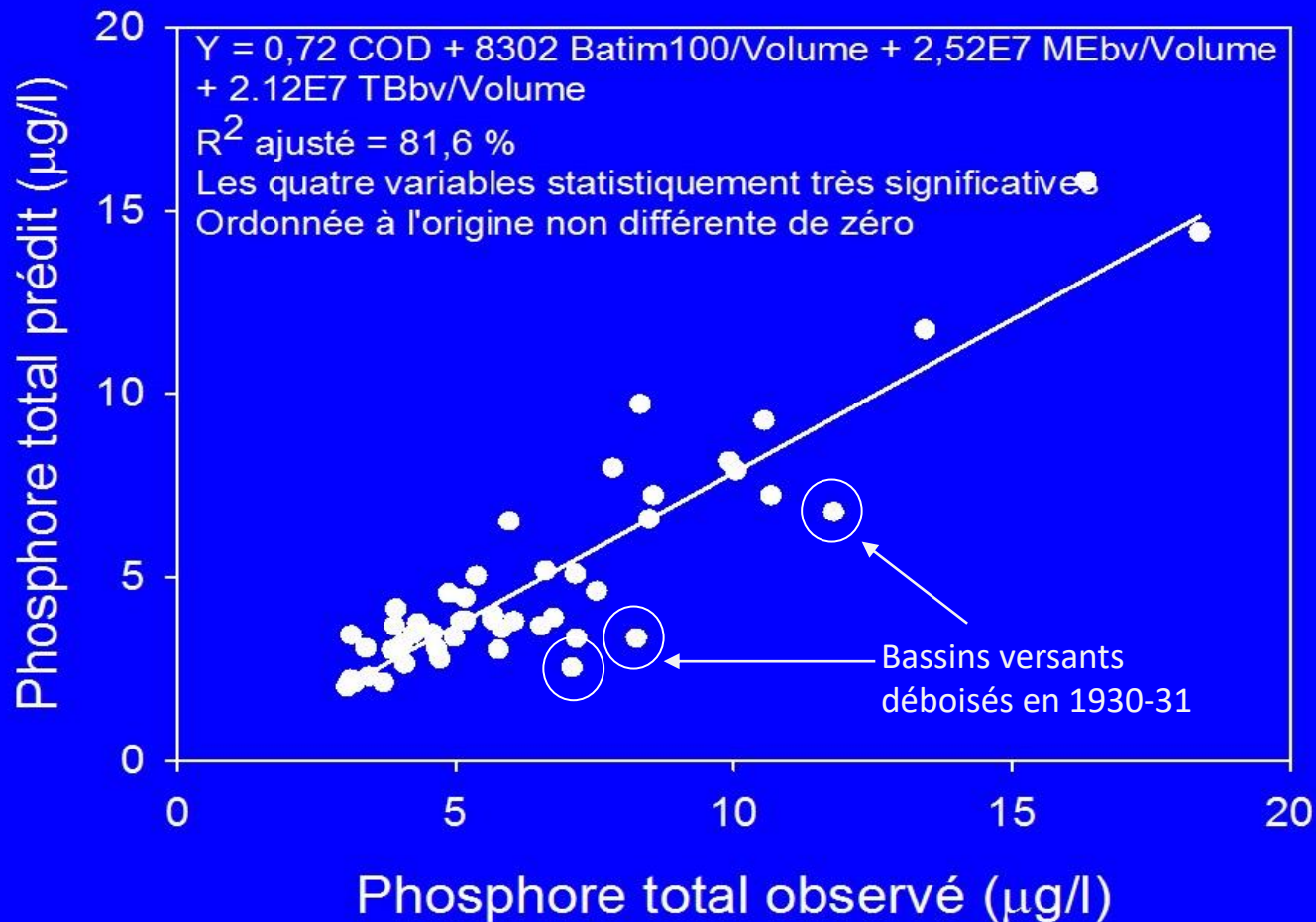


Quatre variables très hautement significatives ($p < 0,0001$)

N = 49 lacs naturels de 1^{er} ordre des Laurentides ayant au moins deux années d'observations

Modèle prédictif No. 3, au moins 2 années d'observation Lac Bellevue omis

Quatre variables: COD, densité des bâtiments, densité des tourbières boisées et des marécages



Ces résultats indiquent que, dans l'ensemble, les données RSVL sont réalistes

Un peu surprenant vu la diversité des contextes (dépôts meubles, épaisseur, pente, etc.)

Avons-nous là ce fameux modèle de « capacité de support » ?

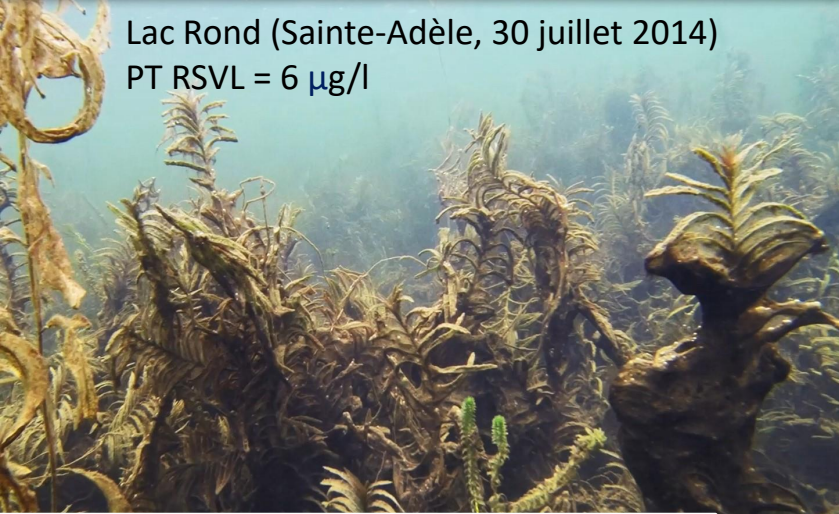
Pas du tout, pas encore...

Ces modèles devront être confirmés par les analystes du MELCCFP

Il faudrait ensuite réanalyser les données RSVL des lacs de 1^{er} ordre en tenant compte des variables pédologiques, géologiques et des variables historiques issues de l'analyse des photos aériennes acquises par le Fédéral et le Provincial depuis 1928

Pour bien comprendre et protéger les lacs, il faudra aller beaucoup plus loin que le programme actuel du RSVL

Une suite logique pour la Direction de la qualité des milieux aquatiques du MELCCFP ?



Lac Rond (Sainte-Adèle, 30 juillet 2014)
PT RSVL = 6 $\mu\text{g/l}$



Lac Saint-Amour
(Sainte-Anne-des-Lacs, 16 août 2009)
PT RSVL = 7 $\mu\text{g/l}$



Lac Quenouille (Val-des-Lacs, 14 août 2017)
PT RSVL = 9 $\mu\text{g/l}$

Le Futur

Insuffisance des critères de qualité
des eaux pour protéger les petits lacs

30 ans de recherches sur la biologie des lacs des
Laurentides ont montré que les seuils du MELCCFP
sont inadéquats pour la protection des lacs

En réponse à la pression humaine, beaucoup de
choses changent dans les lacs avant les variables de
qualité des eaux comme le phosphore total trace
mesuré par le RSVL

Une suite logique pour la Direction de la qualité
des milieux aquatiques du MELCCFP ?

Insuffisance des critères de qualité des eaux pour protéger les petits lacs

Noter la grande densité des macrophytes et surtout l'épaisseur du biofilm qui étouffe les plantes

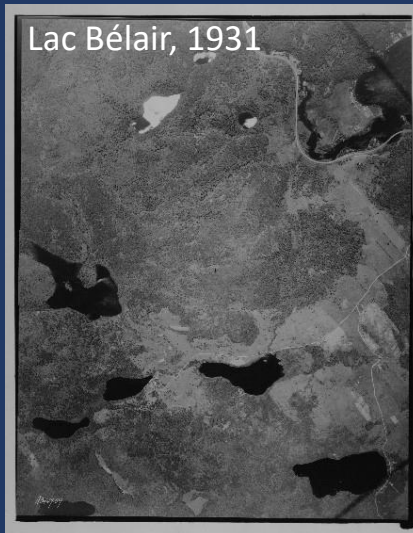
Lac Rond (Sainte-Adèle, 30 juillet 2014)

Phosphore total trace de la colonne d'eau = 6 $\mu\text{g/l}$



Pour la DQMA* et les chercheurs universitaires

Obtenir en haute résolution et géo-référencer les photographies aériennes historiques de tous les lacs RSVL afin de quantifier tous les secteurs défrichés et/ou cultivés à l'époque et inclure ces données aux modèles prédictifs de phosphore, végétation aquatique, etc...



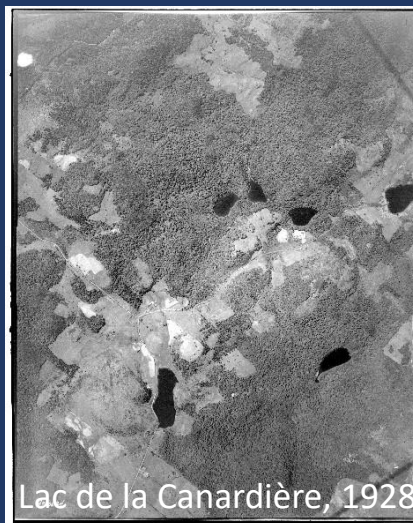
Lac Bélair, 1931



Lac Paquin, 1931



Lac Beaulac, juin 1931



Lac de la Canardière, 1928

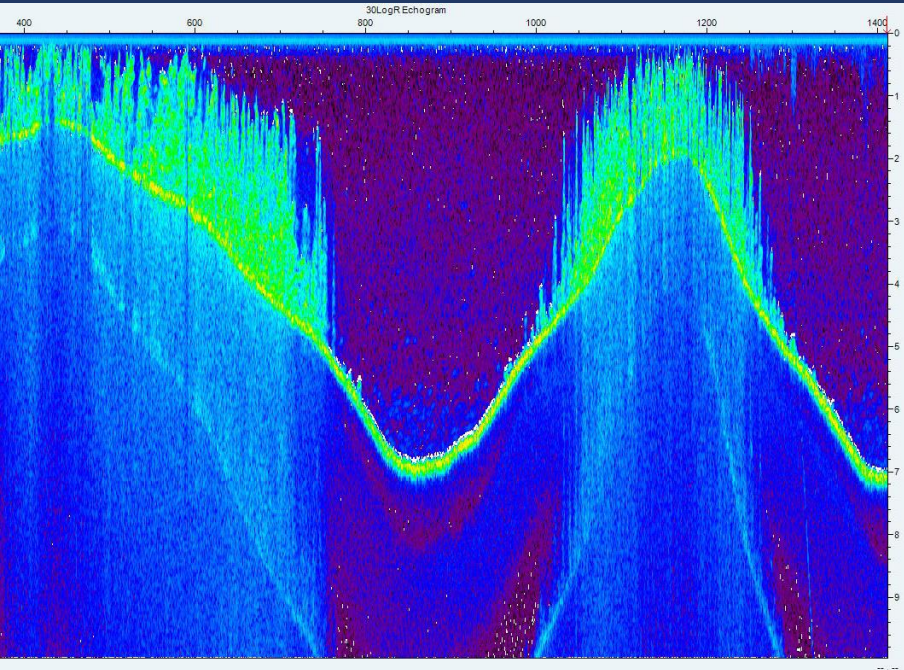


Lac à la Loutre, 1931



Lac Boileau, juin 1931

Pour la DQMA* et les chercheurs universitaires



Quantifier la couverture et la biomasse des macrophytes dans les 54 lacs (les méthodes existent) et relier les résultats à l'occupation humaine et autres propriétés des bassins versants



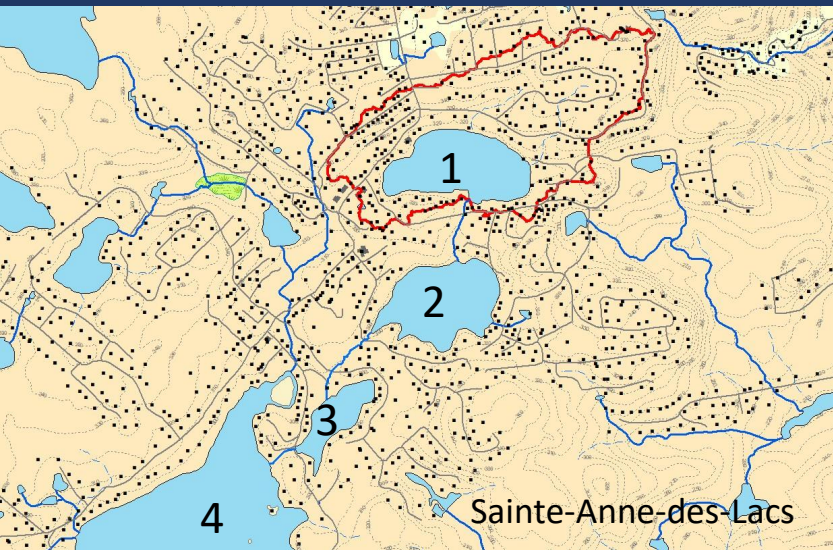
Trouver une façon simple de mesurer le biofilm associé aux substrats littoraux (plantes aquatiques, roches, bois) et relier les résultats à l'occupation humaine

Règle?

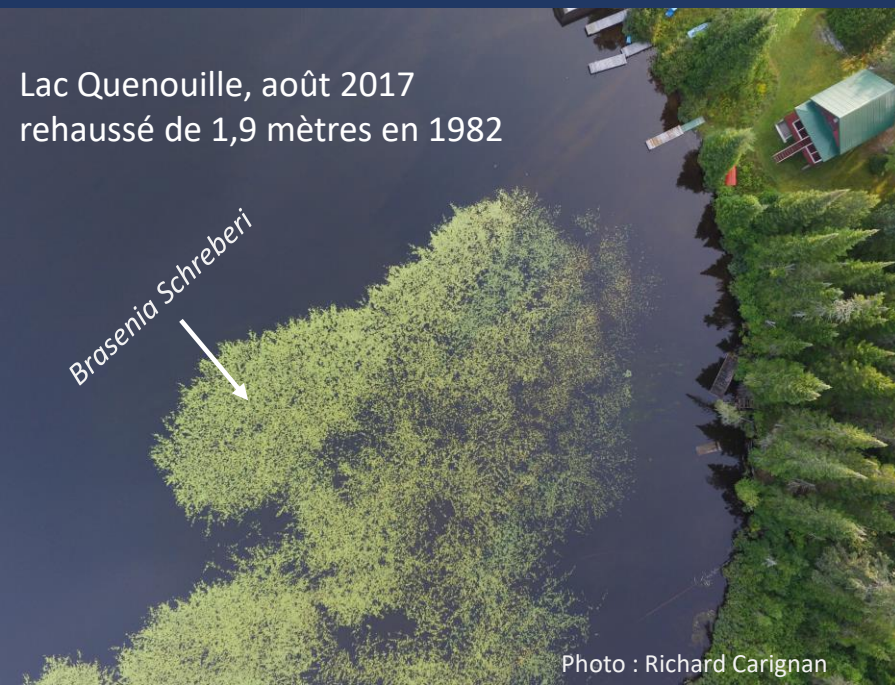
Photos?

Développer des méthodes échographiques?

Pour la DQMA* et les chercheurs universitaires



Propager les modèles empiriques pour les lacs de 1^{er} ordre vers les lacs d'ordre hydrologique supérieur (simple mais pourrait nécessiter beaucoup de bathymétrie de lacs en amont)

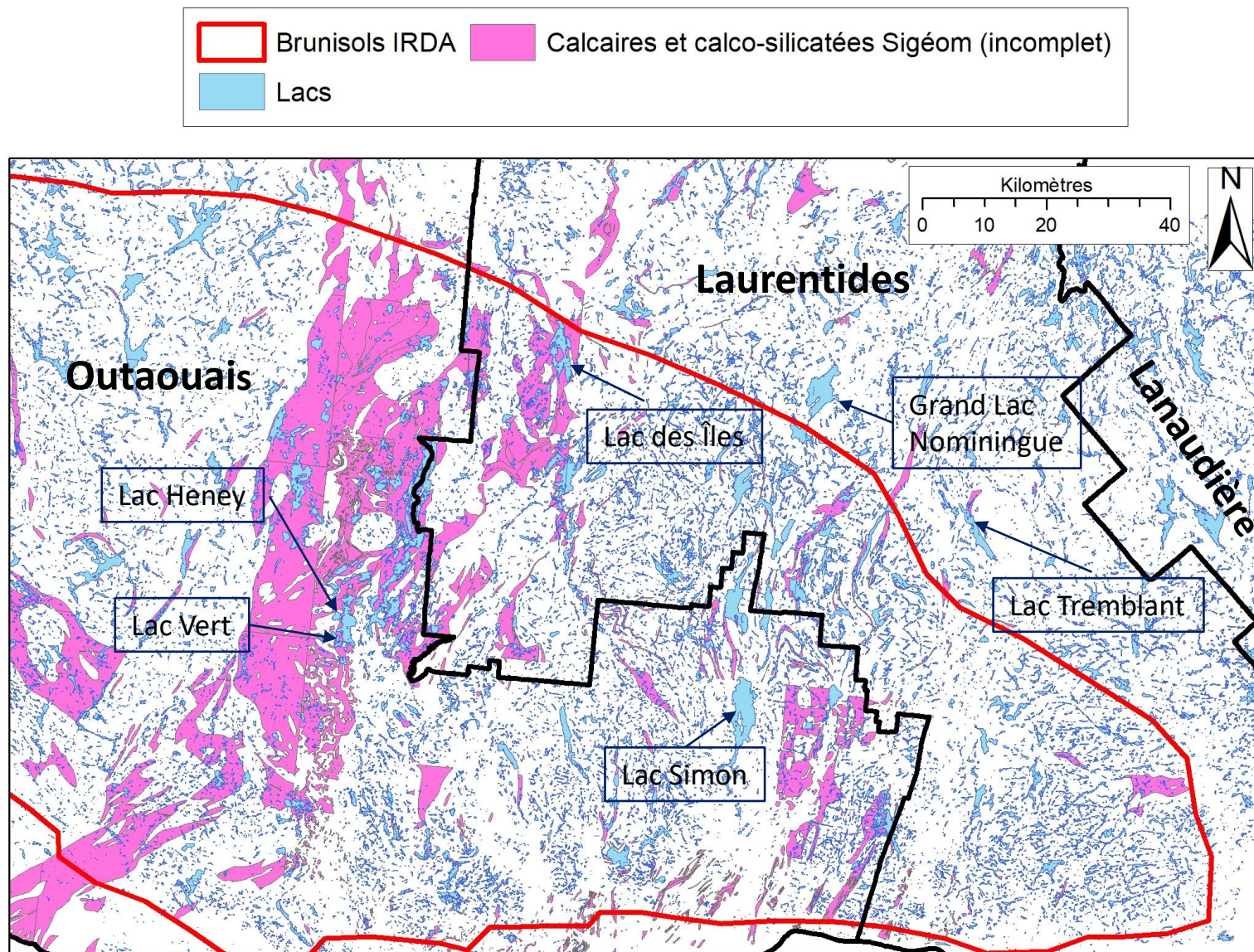


Pour mieux comprendre la zone littorale, cartographier au drone les plantes aquatiques à feuilles flottantes et relier leur abondance au caractère artificiel ou rehaussé des lacs

Dans les régions de l'Outaouais, Laurentides, et Lanaudière, tous les lacs où j'ai vu une quantité importante de brasénie sont artificiels ou rehaussés

Pour la DQMA* et les chercheurs universitaires

Refaire les modèles prédictifs pour les lacs dont les bassins versants sont occupés par des calcaires et des brunisols



Projection : NAD83 Québec Lambert conforme

Remerciements

Le réseau RSVL du MELCCFP et ses centaines de bénévoles

Le CRE Laurentides pour les données bathymétriques qui furent essentielles aux analyses et à l'interprétation des résultats

Photo: CRE-Laurentides



Photo: Richard Carignan