



MUNICIPALITÉ DE RAWDON LAC PONTBRIAND : AVIS TECHNIQUE

Juin 2022

Table des matières

SOMMAIRE EXÉCUTIF	2
DESCRIPTION DU MANDAT	3
MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL	4
LE CADRE GÉOGRAPHIQUE	5
CADRE LIMNOLOGIQUE	15
NIVEAU TROPHIQUE	24
CADRE ANTHROPIQUE	26
IMPACTS DES ACTIVITÉS NAUTIQUES MOTORISÉES	41
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	56
RÉFÉRENCES	58

SOMMAIRE EXÉCUTIF

L'analyse que nous avons réalisée nous a permis de déterminer que la qualité d'eau du lac Pontbriand est excellente, et que cet état est favorisé par le bon taux de renouvellement de ses eaux. Un seul paramètre, soit celui de la transparence, nous semble problématique. En effet, avec seulement 2,5 m de transparence au-dessus des profondeurs de 9 m, cette donnée suggère qu'il y a une remise en suspension des sédiments de fond au cours de la période estivale, soit lors de la prise des mesures.

Les sédiments de fond, composés majoritairement de boues ayant une fraction organique, sont sensibles à leur remise en suspension lorsqu'il y a brassage des eaux. L'origine de ces boues peut difficilement être associée à une production primaire *in situ* (algues) compte tenu des faibles teneurs des eaux en éléments nutritifs (phosphore). Dans ce contexte, une caractérisation physico-chimique de ces boues est recommandée.

La bathymétrie réalisée récemment a démontré la présence de nouveaux hauts fonds sableux dans la partie amont du lac, qui semblent en progression vers la partie aval du lac. Ce faisant, graduellement, le lac Pontbriand, qui est déjà un lac peu profond, perdra de la profondeur.

L'observation détaillée des rives suggère que celles-ci sont très majoritairement dans un état naturel. Les enrochements et murets de protection, bien que présents, demeurent ponctuels. En contrepartie, nous avons noté la présence d'indices d'érosion de l'avant-rive (partie sous l'eau juste en avant des berges) ce qui pourrait signifier, de par leur abaissement, qu'éventuellement les vagues vont atteindre plus directement les berges et causer leur érosion.

Nous considérons que le principal enjeu pour l'avenir du lac Pontbriand est de nature sédimentaire, et qu'un suivi serré concernant l'érosion des rives et la remise en suspension des sédiments de fonds doit être mis en place.

C'est d'ailleurs dans ce contexte qu'un tracé de sillage de *wake boat* a été proposé pour en limiter les impacts environnementaux sur le lac Pontbriand. La collaboration des usagers de cette pratique nautique est essentielle pour en contrôler les effets négatifs sur le lac.

DESCRIPTION DU MANDAT

La Municipalité de Rawdon a mandaté *Pierre Bertrand Consultant* pour réaliser le présent mandat qui vise essentiellement à rédiger un *Avis technique* sur la situation du lac Pontbriand, notamment, mais s’y limiter, avec une emphase sur la problématique de l’érosion des berges.

Plus spécifiquement, le mandat comprend les activités suivantes :

- Compiler, analyser et faire une analyse critique des informations disponibles sur le lac.
- Dresser la liste des principales menaces et enjeux reliés à la santé du lac.
- Effectuer une visite du lac à l’été 2022, et réaliser des observations qualitatives du lac, de son bassin versant et des rives.
- Documenter et présenter les impacts reconnus sur les rives et sur la santé d’un lac des activités reliées à la navigation, à l’artificialisation des rives, ainsi que de multiples puisards présents en périphérie du lac.
- Proposer des solutions réalistes et cohérentes pour atténuer les impacts.
- Formuler des recommandations, ainsi qu’une stratégie de communication pour rejoindre les riverains, les informer des solutions à mettre en œuvre et de l’importance de leur participation.
- Produire un *Avis technique*.

MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

Le présent document constitue un *Avis technique* portant sur un ou des sujets maîtrisés par le rédacteur. La rédaction repose d'une part sur l'expertise acquise par celui-ci eu égard au sujet, et à la gestion des lacs, et d'autre part sur la documentation publiée par d'autres experts reconnus sur l'un ou l'autre des sujets traités dans la documentation.

Entendu qu'un expert est reconnu comme tel lorsque ses compétences sont établies, qu'il est qualifié et que ses écrits sont fondés sur des principes qui font consensus par d'autres experts.

Il ne s'agit pas ici ni d'un article scientifique ni d'un rapport de recherche, et le style de rédaction est volontairement télégraphique pour en faciliter la lecture. Ce document s'adresse avant tout à des gestionnaires de lacs : associations, municipalités, etc.

Notre démarche a consisté à compiler les informations pertinentes et disponibles, à en vérifier l'origine ainsi que la méthodologie utilisée pour les obtenir, et enfin analyser les interprétations qui en ont été tirées dans le but de formuler un *Avis technique* ayant comme but spécifique de permettre à la Municipalité de Rawdon d'obtenir de l'information objective susceptible de l'aider à prendre position sur les enjeux environnementaux reliés au maintien à long terme d'un lac en bonne santé.

LE CADRE GÉOGRAPHIQUE

Contexte

Comme plusieurs lacs au Québec, le lac Pontbriand est un lac-réservoir, soit un lac formé par la mise en place d'un barrage sur une rivière. Le barrage actuel a été créé en 1913, en travers de la rivière Ouareau, ce qui a mené à la submersion définitive de sa plaine inondable.

Figure 1. Retenue du barrage de Rawdon



Le barrage de Rawdon, d'une longueur de 240 m, est constitué d'un remblai en terre de 16,88 m, et est déposée sur du roc (Chute à Magnan). La hauteur de la retenue est 14,82 m (Figure 1). À cette élévation, le lac Pontbriand est d'une superficie de 194 ha.

À l'échelle du Québec, le lac Pontbriand est considéré comme étant un lac de dimension moyenne (Tableau 1), offrant un ratio largeur-longueur de 1/50.

Tableau 1 : Taille des plans d'eau du Québec

Taille des plans d'eau	Nombre
Très petit (de 0 à 25 ha)	3 490 851
Petit (de 25 à 125 ha)	71 728
Moyen (de 125 à 625 ha)	15 842
Grand (de 625 à 3 125 ha)	2 693
Très grand (de 3 125 à 15 625 ha)	343
Immense (de 15 625 à 390 625 ha)	63

Géomorphologie

La région de Rawdon est divisée en deux unités physiographiques distinctes : les hautes-terres des Laurentides au nord et à l'ouest, ce qui comprend le lac Pontbriand, et les basses-terres du Saint-Laurent au sud et à l'est. Le contact entre les deux unités est représenté par un escarpement bien défini, la faille de Sainte-Julienne, et relativement linéaire s'allongeant du sud-ouest au nord-est en passant par Rawdon et le Pied-de-la-Montagne (Figure 2).

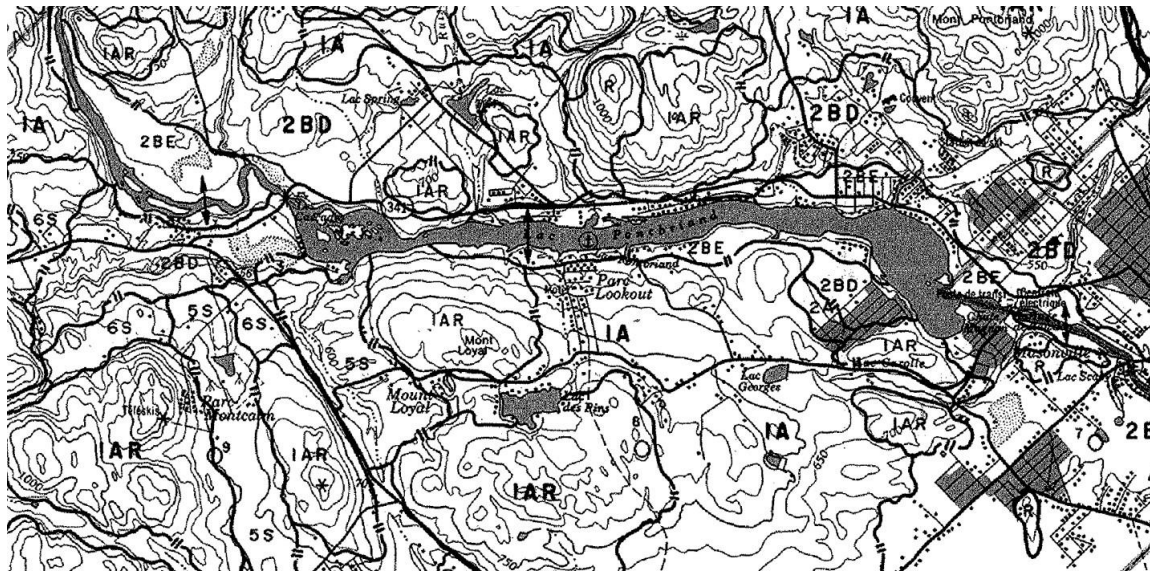
Figure 2. Faille de Saint-Julienne séparant la plaine du Saint-Laurent des Laurentides (vert foncé)



Les hautes-terres des Laurentides dominant de façon marquée les basses-terres du Saint-Laurent. Leur altitude varie de 200 m à 700 m au-dessus du niveau moyen de la mer. La topographie est marquée de nombreuses collines rocheuses arrondies qui, ici et là, montrent des falaises abruptes et des escarpements de quelques centaines de mètres. Les seules vallées importantes sont celles des rivières Ouareau et l'Assomption.

Les dépôts de surface, dont la composition géologique et géochimique peut avoir une incidence sur la qualité d'eau du lac Pontbriand, sont majoritairement représentés par des tills aux épaisseurs variables. Très épais dans la vallée qui encadre la rivière Ouareau et le lac Pontbriand, ils s'amincissent sur les sommets au pourtour du lac pour atteindre très souvent moins de 1 m d'épaisseur au sud du lac. Les sommets situés au nord et nord-est du lac Pontbriand sont surtout caractérisés par des dépôts fluvioglaciers composés de sable, de gravier et de cailloux.

Figure 3. Carte des dépôts meubles : pourtour lac Pontbriand



Légende: AR= Till épais, IA = till mince, 2BD = fluvioglacière.

Bien que peu présente dans la région de Rawdon, des argiles présentes à l'ouest du lac Pontbriand témoignent de l'influence de la mer de Champlain dans le secteur. La mer de Champlain aurait bénéficié de la vallée encadrant la rivière Ouareau pour

épancher ses argiles au pourtour du lac Pontbriand situé à la limite nord de l'invasion marine postglaciaire. Cette argile est généralement de couleur grise, et souvent calcareuse.

Figure 4. Sable sur base argileuse (amont du lac Pontbriand)



La coupe stratigraphie type de la région de Rawdon s'énoncerait ainsi du bas vers le haut : un till, suivi d'un dépôt marin (argile) surmonté de dépôts fluvio-glaciaires.

Tableau 2. Coupe stratigraphique typique de la région de Rawdon

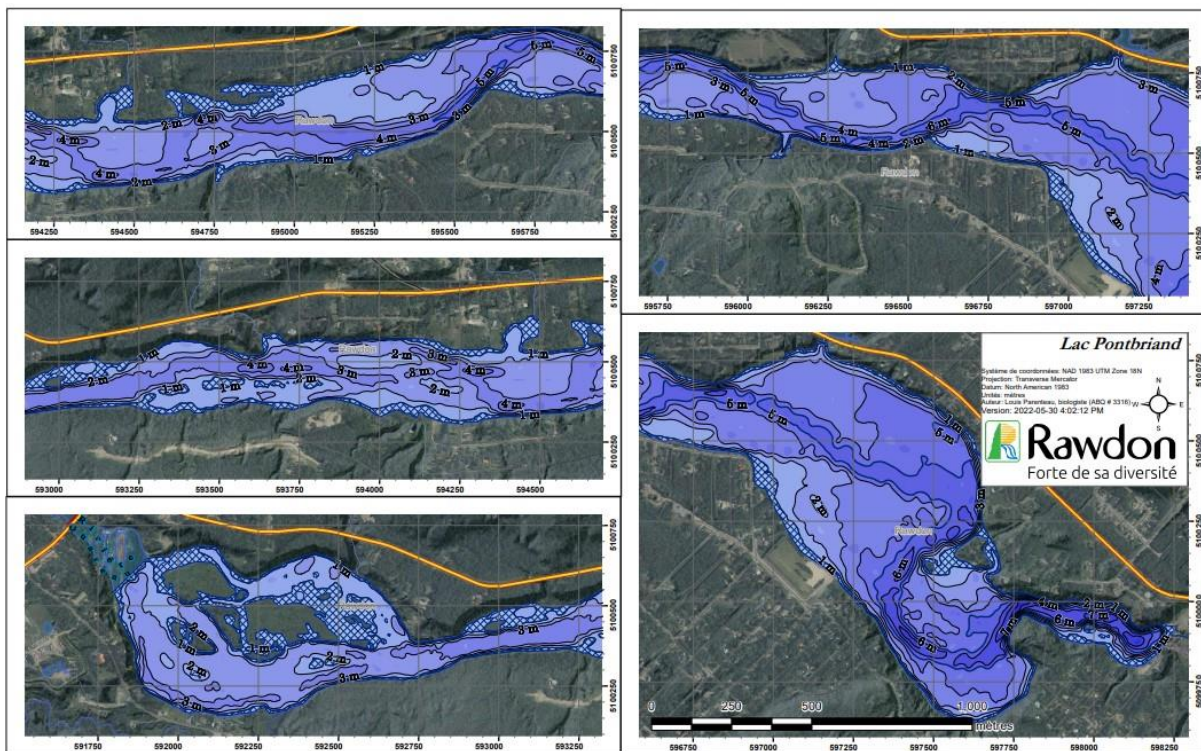
Type de dépôt	Caractéristiques	Notes
Dépôt fluvio-glaciaire	Sables, cailloux graviers	Épaisseur variable
Argile marine	Couleur grise basique	Imperméable
Till	Granulométrie variable	Présent sur les rives

Bathymétrie

La bathymétrie du lac Pontbriand est caractérisée par la présence de l'ancien tracé de la rivière Ouareau qui sillonne sur tout le fond du lac (Figure 5). C'est d'ailleurs au dessus de cet ancien tracé de la rivière qu'on retrouve les plus importantes profondeurs du lac. Celles-ci varient de 2 m, en amont, à plus de 8 m en aval, ce qui suggère la présence d'un processus actif de sédimentation dans la partie amont du lac.

De part et d'autre de ce paléo-tracé de la rivière, les profondeurs oscillent entre 2 m et 4 m sur 70 % de la surface du lac. Ces faibles profondeurs suggèrent que le lac Pontbriand est un lac thermiquement non stratifié, comme une rivière.

Figure 5 Bathymétrie Lac Pontbriand (2022)



Sédiment

Les sédiments constituent l'enveloppe physique d'un grand nombre de lacs du Québec méridionale. Leur composition granulométrique et géochimique joue un rôle déterminant dans le devenir des lacs et sur leur état de santé. Un lac aux rives composées de sédiments sera plus sensible aux problèmes d'érosion et présenteront une plus faible transparence.

Nous n'avons trouvé aucune donnée sur la nature des sédiments du lac Pontbriand. Il est cependant possible d'élaborer des hypothèses à partir d'informations indirectes.

Pour les rives, la nature des sédiments doit concorder avec la description des dépôts meubles que nous avons faite précédemment, à savoir des sections de till, et des sections de matériau granulaire typique des dépôts fluvio-glaciaires. Des poches d'argile marine affleurent aussi occasionnellement ici et là sur les rives (Figure 4).

En ce qui concerne les sédiments de fond du lac nous avons effectué une série de prélèvements (12) de sédiments de surface à l'aide d'une benne Ponar (Figure 6).

Figure 6 Benne Ponar



Il ressort de nos prélèvements que 75 % des sédiments de fond du lac Pontbriand (section sud-est) est constitué d'une boue composée d'argile et de limon, ainsi que d'une forte composante organique (Figure 7).

Au fil du temps, soit depuis la mise en place des barrages successifs, il est possible que des sédiments se soient déposés sur le till de fond.

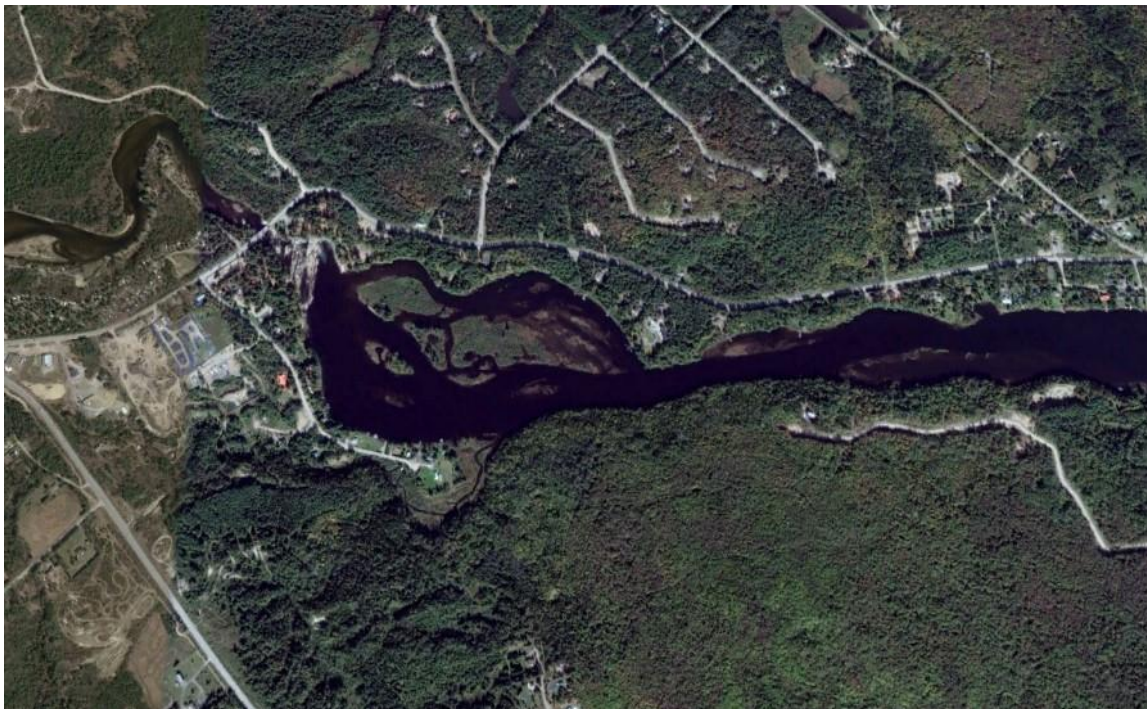
Figure 7. Sédiment lac Pontbriand



L'arrivée de sédiments dans un lac via un cours d'eau provoque leur sédimentation dans un ordre bien précis, à savoir les matériaux grossiers en amont, puis graduellement les matériaux les plus fins en aval. On parle alors d'un grano-classement.

Les faciès sédimentaires du lac Pontbriand ne font pas exception, comme le démontre la présence de plusieurs accumulations formant des îlots en amont du lac (Figure 8). L'analyse comparative des relevés bathymétriques effectuées en 1977, puis en 2022, suggèrent que de nouveaux amoncellements de sables et graviers se sont constitués dans la partie amont du lac Pontbriand. Il s'agit en fait de la formation active d'un delta à partir des sédiments transportés par la rivière Ouareau.

Figure 8. Présence d'accumulations en amont du lac Pontbriand (2017)



La composition granulométrique de ce matériel, nous l'avons noté précédemment, est grossière et présente peu ou très peu de particules fines. Ce faisant, même s'il présente une faible cohésion, c'est un matériel moins propice à devenir une source de particules en suspension dans les eaux du lac.

Les apports en éléments nutritifs dans les lacs, en particulier le phosphore, se font prioritairement via les fines particules de sols qui présentent une plus grande surface spécifique d'adsorption. Rappelons que 75 % du fond du lac est constitué de particules fines, dont nous n'en connaissons pas les teneurs chimiques, dont en particulier le phosphore.

Bassin versant

Le régime hydraulique de plusieurs lacs est régi par leurs tributaires, qui forment un lien à la fois géochimique et biologique entre eux et leur bassin versant. L'influence des tributaires sur les conditions lacustres est fonction de leur débit par rapport au bilan hydrologique du lac et du degré de mélange des eaux affluentes aux eaux lacustres.

La superficie du bassin versant du lac Pontbriand est de 125 900 ha, alors que celui du lac est de 194 ha. On parle donc d'un ratio bassin versant-lac de 1/640, ce qui est très élevé. Un tel ratio suggère que le bassin versant joue un rôle déterminant dans le devenir et l'état actuel du lac tant du point de vue limnologique, qu'hydrologique et sédimentaire.

Hydrologie

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le lac Pontbriand est un lac réservoir formé par la mise en place d'un barrage sur la rivière Ouareau, seul affluent d'importance du lac Pontbriand. La capacité de retenu en eau est de 5 796 417 m³. Il s'agit d'un réservoir considéré comme étant à forte contenance.

En période de crues, généralement au début du mois de mai, le débit de la rivière Ouareau, au barrage, est de plus ou moins 100 m³/s, alors qu'il n'est que de 10 m³/s lors de la période d'étiage qui s'étend du mois de juillet au mois d'octobre.

Le renouvellement des eaux du lac Pontbriand est de 16 hrs en période de crues, et de 7 jours en période d'étiage. Il s'agit d'un faciès hydrique typique d'un lac-réservoir peu profond. Même en période d'étiage, le renouvellement des eaux est excellent.

Ce qu'il faut retenir

- Le lac Pontbriand est un lac formé par la mise en place d'un barrage en travers de la rivière Ouareau.
- Avec une longueur de 50 fois celle de sa largeur, le lac Pontbriand présente un faciès de rivière.
- Bien que des dépôts sableux soient présents sur les hauteurs collinaires, les rives du lac Pontbriand présentent elles des formations géomorphologiques variées : sables, graviers et argile.
- La présence de dépôts sableux sur les collines, lorsqu'elles présentent une épaisseur adéquate (+ de 2m), constituent un excellent milieu pour la mise en place de champs d'épuration pour les résidences.
- La présence de particules fines sur la plus grande partie du fond du lac Pontbriand dénote un processus actif de sédimentation qui peut, dans certaines conditions, avoir des conséquences négatives sur la qualité de l'eau du lac.

CADRE LIMNOLOGIQUE

Généralités

Les lacs possédant des décharges de surface peuvent être considérés comme des bassins de rétention et de mélange pour les cours d'eau où ils se déversent. Le temps de rétention de l'eau dans un lac permet à la sédimentation et aux réactions lentes de se poursuivre davantage que dans les réseaux fluviaux (ruisseaux et rivières).

Les termes oligotrophe, mésotrophe et eutrophe décrivent la productivité biologique d'un lac. Les eaux oligotrophes sont celles ayant une basse teneur en substances nutritives (phosphore) et une faible activité biologique, et les eaux mésotrophes, celles ayant une productivité moyenne. Le terme eutrophe s'applique à des eaux très productives ayant des teneurs élevées en substances nutritives.

L'eutrophisation entraîne une augmentation de la population de certaines espèces de phytoplancton (algues), de la turbidité et de la couleur des eaux; elle provoque une diminution de la teneur en oxygène dissous par suite de la mort et de la décomposition des plantes aquatiques.

Par contre, le caractère limnologique des rivières, comme celle de la Ouareau, et des ruisseaux est déterminé par la vitesse du courant, qui dépend de la largeur, de la profondeur et de la pente du cours d'eau, de la rugosité du lit ainsi que de son débit, lequel est sujet à des fluctuations saisonnières. La vitesse du courant joue un rôle primordial sur la répartition des matières en solution, sur la quantité de sédiments (limon, sable, argile et matières organiques) en suspension et en voie de décantation, sur la composition du lit et sur le développement, la répartition et la stabilité des communautés biologiques.

Le transport des matières dans l'eau se fait surtout par advection et par dispersion. L'advection est le processus de transport de matières en solution ou de matières particulaires fines à la vitesse du courant dans le sens longitudinal, latéral ou vertical. La dispersion est le processus de mélange de ces substances dans la colonne. Les matières plus denses subissent l'effet du courant mais leur transport est modifié par un autre phénomène, la sédimentation. La turbulence des eaux vives n'est pas uniforme; elle contribue fortement à l'instabilité des sédiments de fond.

La teneur des eaux vives en substances chimiques varie grandement d'une région à l'autre; elle reflète la géographie locale, les effets saisonniers et l'importance du ruissellement et des processus biologiques. La concentration, la composition et la distribution longitudinale des matières solides en solution diffèrent dans les eaux des rivières par rapport aux eaux lacustres, vu les différences du volume d'eau et du rapport surface-volume et parce que le mélange des eaux y dépend des fluctuations de débit plutôt que de la stratification.

Un lac réservoir

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le lac Pontbriand est un réservoir dont les niveaux eaux sont régulés par des structures de contrôle. Pour cette raison, il présente des caractéristiques particulières.

En effet, bien que les mêmes processus physiques, chimiques et biologiques de base se produisent dans les réservoirs et les lacs naturels ; l'âge, la morphologie, l'emplacement dans le bassin versant et les caractéristiques hydrologiques font des réservoirs des écosystèmes uniques :

- Étant donné que les réservoirs sont souvent des vallées inondées, ils sont souvent longs et étroits plutôt que circulaires ou ovoïdes, et ils ont tendance à avoir des rives irrégulières.
- Alors que les lacs naturels reçoivent souvent de l'eau de plusieurs petits ruisseaux et eaux souterraines, un seul grand affluent alimente généralement les réservoirs.

Temps de renouvellement

Le renouvellement des eaux du lac Pontbriand est de 16 hrs en période de crues, et de 7 jours en période d'étiage. Il s'agit lac d'un faciès hydrique typique d'un lac-réservoir peu profond. Même en période d'étiage, le renouvellement des eaux demeure bon.

Qualité de l'eau

Lac Pontbriand

Selon les objectifs poursuivis (prise d'eau potable, baignade, eutrophisation, etc.), il existe plusieurs méthodes pour caractériser les eaux d'un lac, et chacune d'elle implique un choix de paramètres spécifiques et des analyses particulières (*in situ* et laboratoires).

Le Ministère de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MELCC) propose une méthodologie simple basée sur des mesures directes au lac (transparence) et sur le prélèvement de quelques échantillons d'eau au-dessus des parties les plus profondes du lac (fosses), qui, contrairement à ce qui est souvent véhiculé, ne correspond pas nécessairement au centre des plans d'eau. Le lac Pontbriand constitue un bel exemple de cette situation.

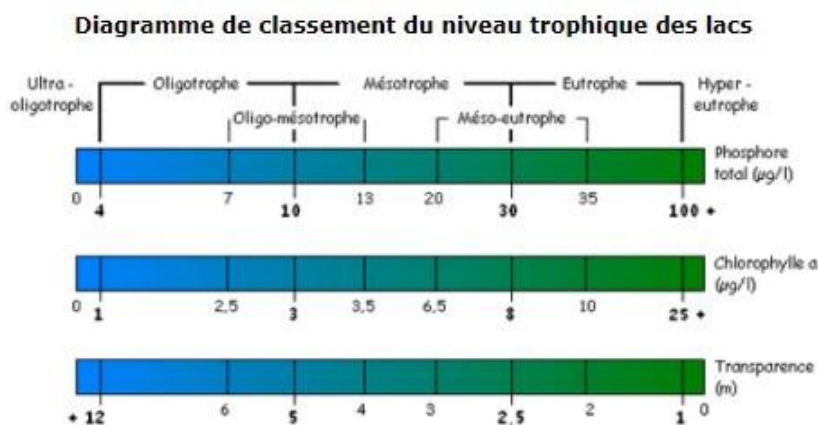
Les résultats obtenus suite aux échantillonnages des lacs sont ensuite évalués en fonction de différentes valeurs, et compilés pour fixer le niveau trophique des lacs selon la méthode de classification proposée par le MELCC (Figure 9).

Les paramètres proposés et suivis par le MELCC pour établir le niveau trophique des lacs sont les suivants :

Le phosphore total (PT):

- Il est un élément nutritif qui se trouve généralement en faibles concentrations dans l'eau des lacs. Il y a un lien étroit entre la concentration de phosphore et l'abondance des algues et le niveau trophique d'un lac. Les lacs eutrophes ont généralement une plus forte concentration de phosphore.
- Dans les lacs des Laurentides, les concentrations moyennes annuelles du phosphore total (Pt) en conditions naturelles varient entre 3 et 20 ug/L dans les lacs individuels, avec une moyenne de 7 ug/L.
- Des analyses réalisées par le MELCC à partir d'une vaste banque de données suggèrent aussi que la concentration naturelle pour les lacs des Laurentides serait de l'ordre de 7 µg/l.
- Ces données suggèrent donc que le bruit de fond en phosphore des lacs de la région des Laurentides est de 7 ug/L.

Figure 9. Classement trophique des lacs du Québec.



La chlorophyll *a* (chl*a*):

- C'est la mesure d'un pigment vert que l'on retrouve dans la composition des plantes et des algues. Il s'agit donc d'un excellent indicateur de la biomasse (quantité) des algues microscopiques qui sont en suspension dans l'eau du lac. La concentration de chlorophylle *a* augmenté en fonction de la concentration des matières nutritives, en particulier le phosphore. Il y a donc un lien entre cette augmentation et le niveau trophique d'un lac. Les lacs eutrophes sont souvent aux prises avec une production importante d'algues.

Le carbone organique dissous (COD):

- Cet élément provient de la décomposition des organismes. La concentration de COD dans l'eau est fortement associée à la présence des matières qui sont responsables de sa coloration jaunâtre ou brunâtre, notamment l'acide humique provenant des milieux humides (comme les marécages, les tourbières et les marais) et de la décomposition des matières organiques dissoutes provenant des installations septiques.
- La mesure du COD permet d'avoir une appréciation de la coloration de l'eau, qui est un des facteurs qui influencent sa transparence. La transparence de l'eau diminue avec l'augmentation de la concentration du carbone organique dissous.

- Il s'agit essentiellement d'acide humique provenant des sols forestiers et des milieux humides. La transparence de l'eau est aussi fortement influencée par la coloration de l'eau.

Il est possible de qualifier l'origine de la matière organique dans un lac en utilisant les valeurs obtenues pour le carbone organique dissous dans le développement de l'indice SUVA. Le développement de cet indice permet de vérifier, par exemple, si une fraction de la matière organique présente dans un lac est d'origine humaine ou non (installations septiques).

La transparence de l'eau:

- Étant donné que l'augmentation des concentrations en phosphore dans l'eau des lacs conduit généralement et disons, éventuellement, à l'augmentation des algues microscopiques dans l'eau, donc à une diminution de la clarté de l'eau, la mesure de la transparence de l'eau est une mesure générique et peu coûteuse à réaliser dans le suivi de la qualité d'eau des lacs.
- C'est pour cette raison que le suivi de ce paramètre est si important pour les gestionnaires de lacs, car il y a un lien fort entre la transparence de l'eau d'un lac et son état trophique. Les lacs eutrophes sont généralement caractérisés par une faible transparence de leur eau (- 1 à -2m).

Le lac Pontbriand a fait l'objet de plusieurs études au cours des dix dernières années. Plusieurs d'entre elles ont été effectuées dans le cadre du programme Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL), parrainé par le MELCC, et d'autres par la Municipalité de Rawdon. Il est important de noter que les résultats obtenus dans le cadre du RSVL proviennent d'analyses faites dans les laboratoires du Centre d'expertise hydrique du Québec, alors que les résultats obtenus dans le cadre des études réalisées par la Municipalité de Rawdon proviennent de laboratoires du secteur privé. Aucun de ces derniers est accrédité pour les analyses du paramètre phosphore (Accréditation 95).

Tableau 3. Synthèse des données sur la qualité de l'eau : Lac Pontbriand

Paramètres/Années	2011	2012	2013	2014	2016	2019	Moy.
Pt (ug/l)	6,1	4,6	6,3/10,0	6,4	4,0	4,7	6,0
Chla (ug/l)	2,0	3,2	2,1	2,4	0,28	1,6	1,9
COD (mg/l)	4,5	5,0	5,0	4,9	3,30	4,6	4,5
Transparence (m)	2,4	2,6	2,4	2,5	2,4/3,0	3,0	2,6
Coli. F.(UFC/100ml)	NA	NA	NA	8	2/200	2	NA

On aura compris, à la lecture des lignes précédentes, que le paramètre déterminant pour statuer sur le niveau trophique d'un lac et en faire son suivi est le phosphore. Les valeurs du phosphore sont fortement corrélées aux valeurs obtenues pour la chlorophylle *a*, la transparence et souvent au carbone organique dissous.

L'analyse du phosphore est une analyse complexe. Il existe d'ailleurs deux méthodes pour en faire l'analyse. Une de ces méthodes, dite *usuelle*, la plus répandue dans les laboratoires privés, comprend l'analyse séparée des phases dissoutes et particulaire du phosphore. Bien qu'il n'y ait pas une séparation naturellement nette entre les deux phases, il est convenu de nommer particulaire les substances qui sont retenues dans les filtres dont les pores ont des dimensions plus ou moins inférieures à 0,45 ou 0,50 μm . Cette méthode a une limite de détection de 10 ug/l pour le phosphore dissous et de 1 $\mu\text{g/L}$ pour le phosphore particulaire.

L'autre méthode, dite *en traces*, est une adaptation de la méthode au persulfate et mesure le phosphore total (dissous et particulaires) avec une limite de détection de 2 $\mu\text{g/l}$. *C'est la méthode que nous proposons d'utiliser en tout temps.*

Les analyses faites dans le cadre du RSVL sont réalisées par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. C'est ce laboratoire qui agréé les laboratoires du Québec par paramètres ou par groupes de paramètres.

En 2016 le MELCC a observé, par comparaison pluriannuelle dans les valeurs du RSVL des concentrations anormalement basses dans plusieurs lacs du Québec. Suite à des analyses spécifiques, des anomalies ont été détectées dans le processus d'échantillonnage (bouteilles, réactif, volume d'eau, délai). La découverte de ces

anomalies a amené le RSVL a informé ses membres que certaines des valeurs obtenues (phosphore uniquement) pour leurs lacs pouvaient êtes sujettes à révision à la hausse ou même être considérées comme invalides.

Dans ce contexte, pour le lac Pontbriand, il est intéressant de noter que l'ensemble des valeurs obtenues pour le Pt au gré du temps sont très cohérentes d'une année à l'autre (Tableau 3).

Rappelons que le bruit de fond naturel pour le phosphore des plans d'eau du Bouclier canadien au Québec, donc de tous les lacs des Laurentides, est de 7 ug/l, ce qui fait du lac Pontbriand un lac d'une exceptionnelle qualité.

Le lac Pontbriand est donc un lac d'une exceptionnelle qualité par les faibles teneurs en phosphore, en chlorophylle a, en carbone organique dissous de ses eaux, bien que la transparence de l'eau soit faible. Le brassage des sédiments de fond au cours de la période estivale est probablement en cause.

Rivière Ouareau

La rivière Ouareau, est le plus important tributaire du lac Pontbriand et du bassin versant de la rivière L'Assomption. Prenant sa source dans le lac Ouareau, la rivière, d'une longueur d'environ 60 kilomètres en amont du barrage, coule en direction du sud-est jusqu'à Rawdon pour aller se jeter dans la rivière L'Assomption, à la hauteur de Joliette.

Au Lac Pontbriand, le bassin versant de la rivière Ouareau est de 1259 km² (CEHQ).

Le tableau suivant (Tableau 4) présente une synthèse des données colligées eu égard à la qualité de l'eau de la rivière Ouareau en amont et en aval du lac Pontbriand.

Tableau 4. Synthèse des données sur la qualité de l'eau de la Rivière Ouareau¹.

Paramètres/Stations	Entrée-lac	Sortie-lac	Prise d'eau	Pont 348	Pont 337
Pt (ug/l)	3,3 ²⁻⁵	7,2 ³	6,1	4,0	12,0
Chla (ug/l)	0,40	2,46		1,31	1,18
COD (mg/l)	3,6	3,16			
Transparence (m)	3,0				
Coli. F. (UFC/100ml)	84	5	5	174 ⁴	300

Notes:

- 1) La synthèse est réalisée à partir de l'ensemble des données disponibles :
 - a. Municipalité de Rawdon pour les années 2013, 2016 et 2019
 - b. Municipalité de Rawdon 2021 : Rapport d'analyse de la vulnérabilité de la source de prélèvement d'eau.
 - c. MELCC, Atlas de l'eau.
- 2) Données issues des échantillonnages réalisés par la Municipalité (2013, 2016 et 2019). Aucun des laboratoires détenaient une certification du CEQ pour le paramètre phosphore.
- 3) Les données sont tirées du Rapport d'analyse de la vulnérabilité de la source de prélèvement d'eau. Bien que les valeurs y soient présentées en mg/l, elles sont concordantes avec les valeurs obtenues en amont et dans le lac Pontbriand. Il s'agit donc d'une simple erreur de transcription, puisque l'ensemble des valeurs se situeraient sinon sous la limite de détection.
- 4) Moyenne de deux valeurs : 25 et 323.
- 5) Une valeur élevée a été obtenue (26 ug/l) en juin 2013, bien que la valeur en phosphore dissous (3) soit demeurée cohérente avec l'ensemble des valeurs disponibles.

L'analyse des données suggère que les eaux de la rivière Ouareau sont très faiblement enrichies en phosphore à l'entrée et à la sortie immédiate du lac. Il en est de même des valeurs en coliformes pour les eaux entrantes et sortantes du lac. On note cependant une augmentation significative de ces valeurs en aval de la prise d'eau.

Les valeurs en carbone organique dissous (COD) sont étonnamment faibles, compte tenu que les eaux entrantes proviennent du drainage d'un bassin versant de 1259 km².

Tributaires-Lac Pontbriand

Nonobstant la rivière Ouareau, qui est le principal tributaire du lac Pontbriand, quelques tributaires secondaires ont fait l'objet d'analyses, notamment en 2010 et en 2017.

De ces deux études nous retenons la plus récente, soit celle de 2017.

Au cours de cette étude deux tributaires ont fait l'objet de prélèvements et d'analyses. Le premier drainait le secteur de la rue Forest Hill, et le second était localisé au bout de la rue Lee.

Tableau 5. Données provenant de deux des tributaires du lac Pontbriand

SECTEURS	COD / ug/l	Chl A / ug/l	Coli. F. (UFC/100ml)
Rue de la Montagne	2,4	0,22 ¹	110
Rue Lee	5,4 ²	0,22	120

Note:

- 1) Cette valeur a été initialement présentée en mg/l, ce qui est une erreur. En mg/l la valeur serait de 220 ug/l ce qui est peu probable, voire impossible.
- 2) Cette valeur relativement élevée serait occasionnée par la présence de milieux humides dans le bassin versant du tributaire. Les milieux humides sont reconnus comme étant des sources importantes de phosphore dissous.

NIVEAU TROPHIQUE

Plusieurs activités humaines entraînent le rejet de nutriments dans les eaux de surface. Certains processus naturels, dont l'érosion des sols, sont également des sources de ces substances. Les roches et les sols étant variables d'une région à une autre, il est normal que les concentrations de nutriments dans les eaux de surface ne soient pas les mêmes partout. Il faut donc reconnaître que pour les nutriments et d'autres composés naturels, la qualité d'eau atteignable et, par conséquent, les critères sur la base desquels se juge cette qualité, pourraient varier d'une région naturelle à une autre.

Les critères de qualité de l'eau actuellement en vigueur au Québec pour le phosphore sont exprimés en phosphore total et les limites supérieures à ne pas atteindre pour éviter l'eutrophisation des plans d'eau sont *grosso modo* les suivantes :

- Dans les ruisseaux et les rivières: 30 µg/l;
- Dans les ruisseaux et les rivières qui se déversent dans les lacs : 20 ug/l;
- Dans les lacs : 20 ug/l.

Comme valeur de base (bruit de fond), on utilise une estimation de la concentration naturelle, qui est de 17 µg/l pour l'Abitibi, et de 11 µg/l pour le reste du Québec. Pour la région des Laurentides, des études récentes proposent que cette valeur soit de 7 ug/l. Rappelons que les valeurs sont de 3 ug/l à l'entrée du lac Pontbriand, et de 6 ug/l à la sortie.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, le MELCC utilise une nomenclature progressive, pour classer les valeurs obtenues pour l'ensemble de lacs du Québec. Selon cette nomenclature, le niveau trophique du lac Pontbriand et de la rivière Ouareau serait oligotrophe, donc faiblement enrichi en phosphore.

Bien que pratique, cette manière de classer les lacs en fonction d'un niveau trophique est critiquée par plusieurs scientifiques, car en réalité il y a un continuum de degrés d'eutrophisation, et les classes trophiques (oligo-, méso-, eutrophe, etc.) ne sont que des subdivisions arbitraires de ce continuum. Les limites entre les classes trophiques ne correspondraient pas à des seuils d'effets démontrés et, dans les faits, elles varient beaucoup selon les auteurs.

Ce qu'il faut retenir

- Le lac Pontbriand est un réservoir qui présente des caractéristiques hydrologiques et limnologiques de rivières. Il n'est donc pas approprié de le comparer à des lacs.
- Les données disponibles, bien qu'émanant de plusieurs sources et produites par des laboratoires différents d'une année à l'autre, présentent des valeurs cohérentes d'une année à l'autre et convergent vers des valeurs associées à un plan d'eau de grande qualité.
- En raison de sa faible profondeur, le lac Pontbriand a un temps de renouvellement de ses eaux assez court, ce qui diminue la stagnation de l'eau dans le réservoir et limite les inconvénients associés : forte sédimentation, production de phytoplancton (algues), cyanobactéries.
- La qualité de l'eau du lac Pontbriand des points de vue physico-chimique et bactériologiques est d'excellente qualité.
- Plusieurs indices laissent entrevoir qu'un processus actif de sédimentation est en cours dans le réservoir du lac Pontbriand : présence d'îlots sableux, remplissage graduel du réservoir par des boues.
- Dans un plan d'eau de faible profondeur la sédimentation est un enjeu important. Celle-ci peut provenir des tributaires, dont le principal est la rivière Ouareau, et de l'érosion des rives.
- L'absence de données sur les sédiments (granulométrie, distribution spatiale, caractéristiques physico-chimiques) constitue une lacune importante pour tracer un portrait adéquat du lac Pontbriand.

CADRE ANTHROPIQUE

Parmis les éléments anthropiques situés dans le bassin versant du lac Pontbriand, et qui sont susceptibles d'affecter la qualité de l'eau, les activités suivantes ont été identifiées :

- Les grands axes de transport
- Les rejets d'eau usées municipales
- Les sites contaminés
- Les secteurs résidentiels
- Les secteurs commerciaux
- Les activités industriels

Dans le cadre de l'étude portant sur la vulnérabilité de la source d'eau potable de Rawdon six indicateurs de vulnérabilité ont été analysés, dont cinq qui concernent plus particulièrement la qualité de l'eau du lac Pontbriand : les micro-organismes, les matières fertilisantes dont le phosphore, la turbidité, les substances inorganiques et les substances organiques.

Les données de chacun des indicateurs couvrent une période d'au moins 5 années consécutives.

Micro-organismes

Dans le cas de la prise d'eau de la municipalité de Rawdon, entre 2017 et 2020, la valeur médiane du dénombrement de bactéries Escherichia-coli a été de 5 UFC/100 mL et le 95^e percentile a été de 21,4 UFC/100 ml. La vulnérabilité aux micro-organismes serait donc faible. Mentionnons que pour ce paramètre qu'aucune donnée antérieure à 2017 n'est disponible, puisqu'il s'agit de l'année de l'entrée en service de la prise d'eau de surface.

Ces données confirment la situation décrite précédemment pour le lac Pontbriand. Les micro-organismes ne constituent pas un enjeu pour le lac.

Matières fertilisantes

Toujours dans le cadre de l'étude mentionnée antérieurement, des analyses de phosphore étaient disponibles entre 2018 et 2020. La concentration moyenne des mesures effectuées est de 6,2 µg/l. Les matières fertilisantes ne sont donc pas un enjeu pour la prise d'eau tout comme pour le lac.

Notons cependant que des données antérieures étaient disponibles pour les années 2011, 2012, 2013, 2014, 2016 et 2019 pour le lac situé à quelques dizaines de mètres en amont de la prise d'eau. L'ensemble des résultats convergent vers la même conclusion, le phosphore n'est pas un enjeu.

Turbidité

Rappelons que la turbidité désigne la teneur d'une eau en particules en suspension.

La turbidité peut être causée par :

- Des particules organiques comme des matières animales ou végétales décomposées ou des organismes vivants (par exemple des algues),
- Des particules inorganiques (limon, argile et composés chimiques naturels tels que le carbonate de calcium).

La turbidité dans les plans d'eau de surface est généralement attribuable à des matières organiques et inorganiques. Elle est causée par :

- Des pluies abondantes, des inondations et l'écoulement printanier,
- Des glissements de terrain et l'érosion des berges,
- Des éclosions de cyanobactéries,
- L'activité humaine et animale, ou la présence de bateaux perturbant les sédiments du lit et des rives,
- L'activité humaine perturbant les sols (par exemple la construction),
- La pollution par les eaux d'orage provenant du lessivage des terres.

Entre 2017 et 2020, la valeur du 99^e percentile a été de 3,0 UTN. Les plages connues de variation au Québec sont de 0,6 à 26,0 UTN (5^e et 95^e centiles). La limite de détection est de 0,03 UTN (Méthode par néphélométrie).

La vulnérabilité à la turbidité serait donc faible pour la prise d'eau et de très faible valeur pour le lac, à moins que celui-ci n'agisse comme décanteur des matières en suspension.

La mesure de la turbidité et de la transparence de l'eau demeure cependant des indicateurs à considérer pour faire un suivi des eaux du lac Pontbriand relativement aux enjeux reliés à la navigation (Power Boat).

Matières organiques et inorganiques

Les matières organiques et inorganiques en solution ont un rôle de première importance sur la fixation des métaux et des autres cations et sur la productivité des eaux, c'est-à-dire sur la disponibilité des micronutriments et sur la capacité de les assimiler. Par les algues par exemple.

Les composés inorganiques sont des composés chimiques qui intègrent d'une manière ou d'une autre, un ou plusieurs atomes métalliques dans leur structure.

Dans le cas de la prise d'eau de la municipalité de Rawdon, la vulnérabilité aux substances organiques et inorganiques est jugée faible.

Les principales activités anthropiques qui ont été jugées comme présentant un risque pour la qualité de l'eau du lac Pontbriand (aires de protection rapprochée et intermédiaire) sont les suivantes :

- La route 341 (sels de voirie).
- L'évacuation d'eaux usées domestiques (contaminants microbiologiques / 171 installations septiques).
- Pratique d'activités nautiques motorisées.
- Déversements accidentels d'hydrocarbures (génératrice de la centrale hydroélectrique).
- Lixiviation de produits chimiques (incendies et autres).

Notons que l'analyse des données à la prise d'eau n'a pas démontré pour l'instant une altération de la qualité de l'eau du lac Pontbriand qui serait associé à une ou l'autre de ces activités anthropiques.

En ce qui concerne les sels de voirie, il y a cependant lieu de rester attentif aux valeurs qui seront obtenues au cours des prochaines années étant donné qu'une des interférences reconnues dans l'analyse du phosphore est la présence de sels de déglacage (chlorures) dans les eaux des lacs.

ENJEUX ET MENACES

À la lumière des faits présentés précédemment, il est utile de circonscrire les menaces potentielles qui pèsent sur la santé du lac Pontbriand. C'est ce que nous allons tenter de faire dans les lignes qui suivent.

Les installations septiques

Depuis une vingtaine d'années, la qualité de l'eau de nos lacs est devenue un sujet majeur de préoccupation pour les propriétaires riverains. Cette préoccupation s'est même récemment accentuée avec l'arrivée massive des baby-boomers qui convertissent leurs résidences, autrefois saisonnières, en résidences permanentes.

À tort ou à raison, les résidents et villégiateurs autour des lacs sont inquiets, car la très grande majorité de ces résidences ne sont pas branchées à des infrastructures municipales de traitement des eaux usées résidentielles.

Mentionnons que les riverains ne sont pas les seuls à ne pas être branchés à de telles infrastructures. Au moins 3 millions de Québécois ne sont pas branchés à un système de traitement municipal de leurs eaux usées, et doivent eux-mêmes en assumer le traitement via différentes technologies.

Il a longtemps été de coutume au Québec, en guise de traitement des eaux usées des résidences secondaires, de tout simplement creuser un trou dans le sol (puisard), d'en stabiliser les parois avec toutes sortes de matériaux (blocs de béton, troncs d'arbres, poutres de rails de chemins de fer, etc.), et d'y vidanger les eaux usées produites par les occupants des chalets. Les volumes d'eau à traiter étaient alors bien différents de ce qu'ils sont aujourd'hui, car il y a deux décennies l'occupation des chalets était de beaucoup moindre qu'aujourd'hui, et il était rare d'y trouver un lave-vaisselle ou une machine à laver le linge.

Lorsqu'au bout d'un certain temps le trou dans le sol finissait par être rempli de boues organiques ou de sols en raison de l'affaissement des parois, il arrivait malheureusement que des riverains, au lieu de creuser un nouveau trou (que l'on appelle aujourd'hui un puits d'absorption) dans le sol, bricolassent un renvoi des liquides directement au lac et dans les cours d'eau.

Cette situation a conduit à une réelle dégradation microbiologique de plusieurs lacs et a entraîné dans certains cas des risques réels pour la santé des riverains et des villégiateurs. Aussi le gouvernement du Québec a-t-il exigé, surtout vers la fin des années 80, que les nouvelles résidences, même isolées, soient équipées d'un système de traitement de leurs eaux usées (Règlement Q-2, r.8 et Q-2, r-22).

Dès lors, des installations dites septiques se sont multipliées autour des lacs et des plans d'eau. Le système de traitement mis en place, et qui constitue encore aujourd'hui le système privilégié, consiste dans un premier temps à vidanger les eaux usées dans une fosse dans le but de ramasser les boues et d'en permettre la dégradation sur place (dégradation anaérobie). Puis, dans un deuxième temps, de faire s'écouler par gravité les liquides vers un système de tuyaux percés, déployés à l'horizontale, de manière à faciliter l'écoulement vertical dans le sol, c'est ce qu'on appelle le champ d'épuration (Figure 10).

Comme le champ d'épuration exige beaucoup de surface de terrain et un sol propice à l'égouttement vertical (sol sablonneux), plusieurs terrains autour des lacs ne pouvaient recevoir de résidences faute de pouvoir permettre l'installation de tels systèmes de traitement des eaux usées résidentielles. Il s'en est suivi le développement de nouvelles technologies de traitement des eaux usées pour permettre à ces terrains initialement impropres à la construction de recevoir dorénavant des chalets.

Figure 10 Schéma installation septique traditionnelle.

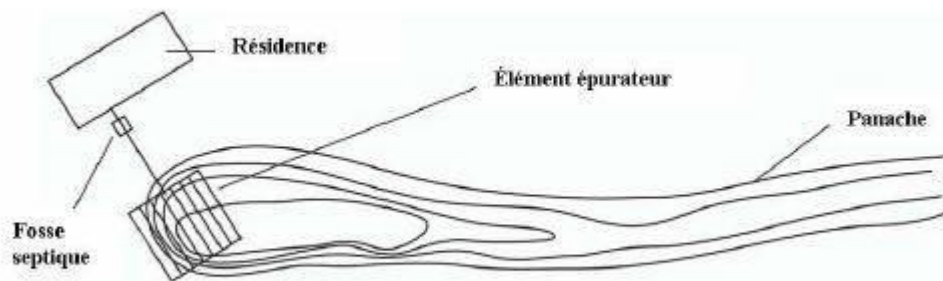


Figure 3. Exemple de panache d'effluent d'installation septique (USEPA, 2002).

Il est utile de mentionner que deux éléments surtout sont en cause dans la détérioration de la qualité d'eau des lacs: les coliformes et le phosphore. Le premier constitue un risque réel pour la santé publique, alors que le second est un risque tout aussi réel, mais pour la santé du lac (eutrophisation, cyanobactéries, etc.).

En ce qui concerne les coliformes le seul vrai risque est celui associé à une vidange directe dans un lac. Cette situation, si on se fie aux inventaires réalisés dans les dernières années par les municipalités et les MRC, demeure marginale. On parle en effet de plus ou moins 1 % des résidences inventoriées. Cette situation n'est pas vraiment inquiétante, car dès lors que les champs d'épuration se colmatent les liquides resurgissent, pour ne pas dire régurgitent, en surface des terrains ce qui les rend inutilisables pratiquement. Il s'ensuit généralement une réfection des champs d'épuration à court terme. Personne n'a intérêt à marcher dans ces liquides poisseux et qui dégagent des mauvaises odeurs.

Puisque les coliformes ne se reproduisent pas à l'air libre et encore moins sous le soleil en raison de la photolyse, la présence de coliformes dans les eaux d'un lac est nécessairement associée à une source continue. L'arrêt des rejets directs dans les eaux des lacs suffit généralement à mettre fin à la présence de coliformes d'origine humaine dans les eaux des lacs.

Ce qui n'exclut pas la présence de coliformes d'origine animale, souvent la source la plus importante de contamination des eaux riveraines. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'il n'est pas recommandé de nourrir des canards sur les lacs. D'autres sources importantes sont associées aux milieux humides où prennent souvent place des familles de castors et de loutres de rivière. Deux gros producteurs de matières fécales.

Le sol naturel est pourvu de bactéries suffisamment efficaces pour généralement dégrader les coliformes fécaux. C'est pour cette raison que les puits d'absorption (trou dans le sol) étaient et demeurent de très bons systèmes de traitement là où le puits n'était évidemment pas dans la nappe phréatique. Il en est de même pour les eaux rejetées par le champ d'épuration. C'est le sol naturel situé sous les tuyaux qui fait le travail. À partir du moment où les champs d'épuration se drainent bien dans le sol, le système naturel du sol fait tout le travail de traitement. Que le système soit conforme ou non (ne pas confondre avec polluant ou non) la santé des baigneurs n'est pas en danger et encore moins celle du lac.

En ce qui concerne le phosphore, principal stimulant de la production des algues, dont les cyanobactéries, la situation est différente. Dans la fosse septique, donc avant le champ d'épuration, les concentrations en phosphore peuvent atteindre des concentrations de 6 000 à 7 000 ug/l. Il est utile de mentionner qu'il faut éviter que les concentrations en phosphore mesurées dans nos lacs n'atteignent 20 ug/l (30 ug/l pour le lac Pontbriand). Il s'agit d'un seuil au-delà duquel la production de phytoplancton tel que les cyanobactéries prend des proportions alarmantes.

Les liquides qui sortent de la fosse et qui se dirigent vers les champs d'épuration sont dopés en phosphore et le champ d'épuration, tel que conçu actuellement, ne traite pas le phosphore. En effet, sans entrer dans les détails, disons que le sol utilisé par les entrepreneurs pour construire les champs d'épuration est souvent dépourvu de fer et d'aluminium, seuls éléments capables d'adsorber le phosphore et de l'immobiliser définitivement.

En effet les sols du Québec, extraits dans les 25 premiers centimètres de la surface, ont la capacité d'adsorber 3 gr de phosphore par kg de sols. C'est beaucoup. Comme les sols utilisés par nos entrepreneurs utilisent des sols de sablières prélevés dans la partie inférieure des sols, ces sols n'ont pratiquement aucune capacité de traitement du phosphore. On peut donc dire que nos systèmes de traitement (fosse septique-champ d'épuration) ne traitent pas le phosphore. Ce sont les sols naturels des terrains riverains qui font le travail. Au rythme d'adsorption de 3 gr par kg de sols, il y a évidemment danger de saturation des sols avec le temps.

Un inventaire des installations septiques réalisé par la Municipalité de Rawdon autour du lac Pontbriand en 2014, a permis de déterminer que sur 175 installations, 127 avaient été construites avant l'adoption du règlement Q-2, r-8. Plusieurs seraient des puisards tout simplement. Nous n'avons cependant aucune donnée concernant le taux de saturation des sols en phosphore, ou encore sur le niveau de contamination microbiologique de la nappe phréatique autour du lac Pontbriand.

Dans ce contexte et tenant compte des données factuelles présentées précédemment concernant la qualité bactériologique des eaux du lac Pontbriand et de quelques-uns de ses tributaires, nous recommandons fortement d'installer à des endroits stratégiques (forte densité résidentielle) des piézomètres de manière à faire un suivi de la qualité des eaux souterraines et d'en déterminer la direction d'écoulement.

Lorsque la nappe phréatique sera saturée en phosphore, elle deviendra une source importante de phosphore pour le lac Pontbriand. Les piézomètres pourraient par ailleurs servir pour faire une analyse bactériologique des eaux souterraines.

De plus nous recommandons que lors de la mise en place de nouvelles installations septiques, en raison de sa propension naturelle à adsorber le phosphore, que le sol minéral de surface (Horizons A et B) soit utilisé sous le système de traitement (média filtrant).

L'érosion des rives

Bien que le Québec compte plus de 3 millions de plans d'eau, nos connaissances concernant l'érosion des rives des lacs demeurent anémiques. De nombreuses études ont été réalisées, dont plusieurs par nous, sur les rives du fleuve, de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Pour ces milieux, les mécanismes en cause et même les solutions sont relativement bien connues. Mais il en est tout autrement pour les rives des milieux lacustres.

La problématique reliée à l'érosion des rives sur les lacs est complexe en raison des multiples facteurs qui entrent en ligne de compte dont:

- La dimension et l'orientation du lac en fonction du *fetch* (importance de l'aire de contact entre l'eau et le vent),
- La profondeur du lac,
- Les étiages (réservoir),
- La composition des sédiments de fond du lac,
- La présence ou non de grands herbiers,
- La morphologie et la composition granulométrique de l'avant-rive,
- La morphologie et la composition de la berge,
- La présence d'anses et de caps tout au long de la berge (diffraction et réflexion des vagues et addition des vagues),
- La fréquence et l'intensité des vagues.

Pour les besoins du présent *Avis technique* nous nommons berge la partie des terrains riverains comprise entre le haut et le bas du talus riverain, et rive l'ensemble de la surface située en contrebas de la berge, généralement submergée (sauf dans des lacs-réservoirs) et sous l'influence des vagues.

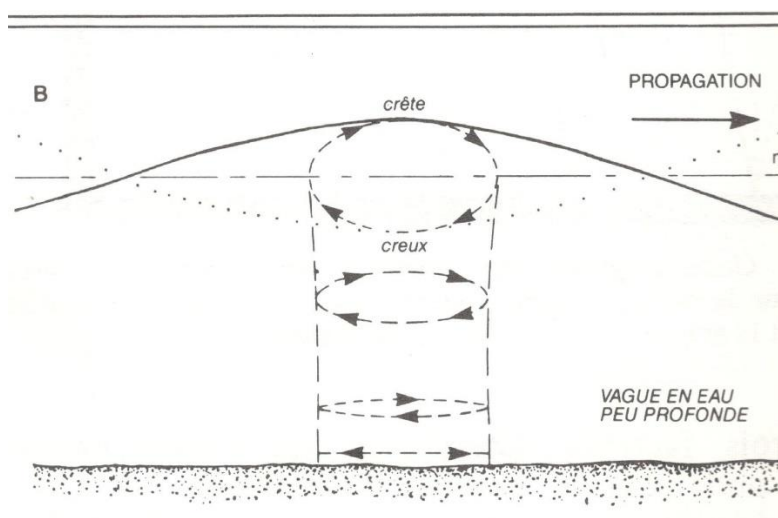
Une berge et une rive sont d'autant plus sensibles et affectées par les vagues que :

- Leur composition granulométrique est fine (argile, limon, sable fin, etc.).
- La rive est abrupte.
- Le profil longitudinal est sinueux : concentration des vagues autour des avancées.

Puisque l'érosion des berges est généralement associée aux vagues naturelles ou générées par des embarcations motorisées, il est important de bien comprendre leur mécanique générale.

Rappelons que les vagues résultent d'un mouvement ondulatoire, chaque molécule d'eau étant animée d'un mouvement orbitaire, si bien qu'en théorie chaque molécule repasse sans cesse au même endroit : c'est le propre d'un mouvement oscillatoire (Figure 11). En observant un objet flottant à la surface de l'eau, tel un copeau de bois par exemple, on peut observer ce phénomène. À l'approche d'une crête de la vague, le copeau avance; il s'arrête tandis que le creux progresse; puis il revient presque jusqu'à sa position initiale au passage du creux.

Figure 11 : Descriptif d'une vague oscillatoire



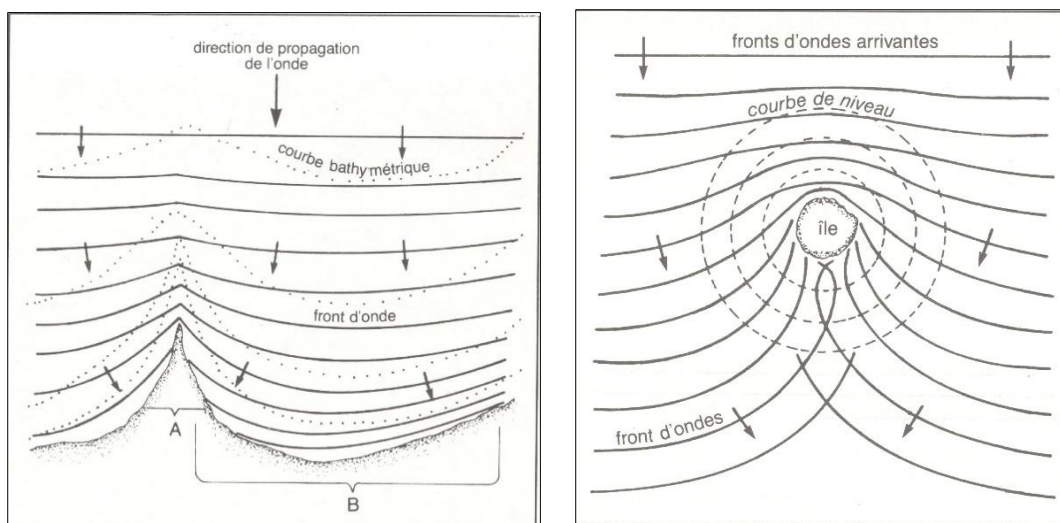
Concrètement la vague elle-même produit un faible courant, car le mouvement d'avancée de chaque molécule d'eau est un peu plus ample que le mouvement de retrait, si bien que chaque molécule d'eau ne repasse pas strictement parlant au même endroit.

Une vague poussée par le vent est une vague forcée. En revanche, on appelle houle la succession de vagues dues au vent, mais qui se propagent en dehors de la zone affectée par le vent.

Il est reconnu et établi qu'en condition de production naturelle de vagues-ondes, celles-ci commencent à sentir le fond et surtout à régler leur vitesse de propagation sur la bathymétrie lorsque la profondeur de l'eau est inférieure à $\frac{1}{4}$ de la distance crête-crête entre deux ondes successives.

La résultante pratique est que le parcours des vagues à l'approche des rives se fait toujours de façon que l'onde s'aligne sur les courbes bathymétriques. C'est ce qu'on nomme la réfraction des ondes, alors qu'on nomme diffraction le phénomène de concentrations des ondes derrière un obstacle (Figure 12). Dans ce cas il peut y avoir superposition des ondes (clapotis) et la formation de vagues aux dimensions imposantes. Il en est de même des ondes qui rebondissent sur un muret en rive pour former avec la vague d'arrivée une superposition d'ondes. Le processus de superposition des vagues et de leur énergie aux passages répétés et désordonnés de wakeboat est une réalité empirique, mais peu ou pas documentée pour l'instant.

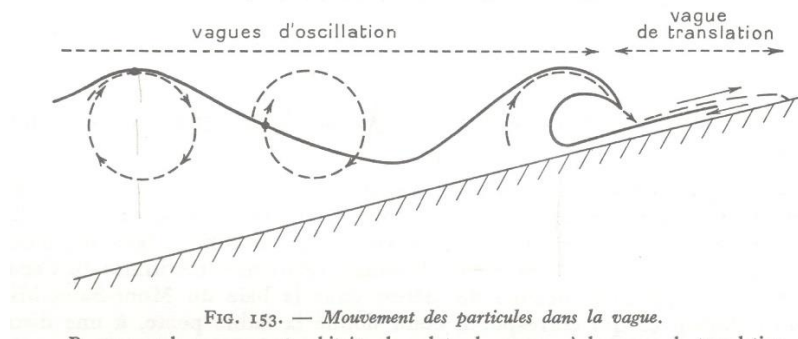
Figure 12 : Réfraction et diffraction



C'est la raison pour laquelle sur les plages les vagues sont toujours parallèles à la ligne de rivage juste avant de déferler. Le vieux dicton selon lequel les pointes de terre attirent les vagues, reflète le phénomène de la réfraction qui tend à concentrer les vagues près des caps, mais à les étaler dans les baies.

Lors de la réfraction de la vague, l'onde oscillatoire se transforme en onde de translation qui exerce alors une très grande pression sur l'avant-rive et un criblage de celle-ci via les éléments solides qu'elle transporte (Figures 13 et 14).

Figure 13 : Développement d'une vague de translation



Au moment du retrait de l'eau s'ensuit une succion des sédiments qui se fait sous l'action de la pesanteur suite au déferlement de la vague sur la berge ou la rive. Le mouvement des sédiments sur la rive est alors assujéti à des règles connues en géomorphologie, soit les courbes de Hjulstrom (Figure 15).

Figure 14 : Transport des sédiments

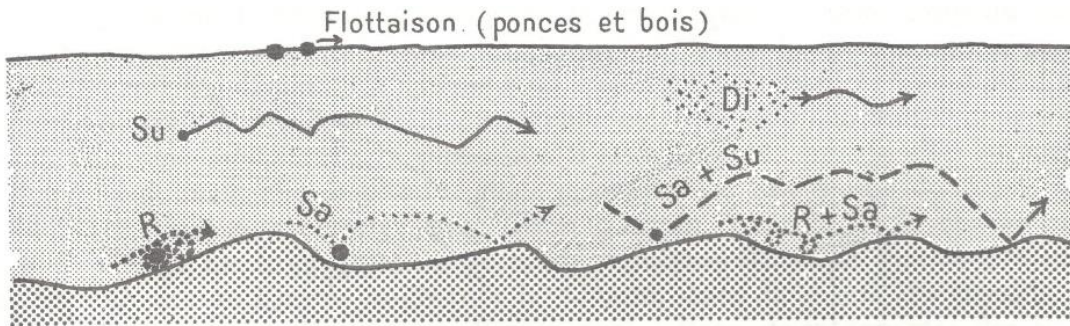


FIG. 23. — Modes de transport de la charge.

Di : dissolution; Su : suspension; Sa : saltation; R : roulement.

Figure 15 : Courbes de Hjulstrom

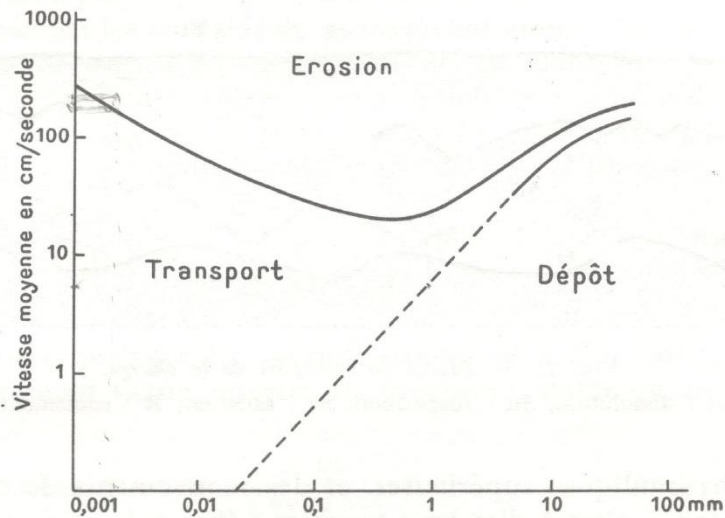


FIG. 22. — Courbes de Hjulström.

En observant ces courbes, on constate que :

- Le transport des particules de quelques microns de diamètre suppose une vitesse de fond de 0,08 m/s,
- Des particules de 0,1 mm une vitesse de 0,15 m/s,
- Des particules de 2,5 mm une vitesse de 0.30 m/s,
- 2,5 cm une vitesse de 0,70 m/s,
- Etc.

Les vitesses nécessaires à l'arrachement des particules sur les rives ne tient cependant pas compte de l'adhérence des matériaux de la rive, se sorte que dans la plupart des situations l'entraînement des sédiments exige des vitesses supérieures à celles indiquées dans les courbes. L'adhérence des matériaux est d'autant plus forte que ceux-ci sont plus fins. Cependant une fois enlevés, ils peuvent être transportés par un courant d'autant plus faible qu'ils sont plus petits. Pour des matériaux grossiers, l'érosion se fait dès que la vitesse suffit au transport.

Dans le but de procéder à une première évaluation de l'état des rives du lac Pontbriand nous avons procédé à une visite d'observation de celles-ci le 15 juin dernier. Pour ce faire nous avons circulé sur le lac à partir d'une embarcation motorisée et filmée avec l'aide d'un drone à haute résolution (4 K) l'ensemble des rives du lac. Par la suite une classification des observations a eu lieu et la géolocalisation des observations s'est faite en référence à une carte cadastrale selon les coordonnées (Google Map) enregistrées par le drone pour les prises de vue. Il ressort de ces observations :

- La grande majorité des rives est dans un état naturel,
- Les murs de protection et enrochement sont ponctuels,
- Les rives argileuses de la partie amont du lac sont en érosion et produisent probablement une grande partie des particules fines retrouvées en aval dans le lac (Figure 17),
- À plusieurs endroits, plus ou moins 25 % des rives, on observe l'érosion de l'avant rive, ce qui peut entraîner éventuellement l'érosion de la berge (Figure 16).

Figure 16. Érosion de l'avant berge



Figure 17. Érosion rives argileuses



IMPACTS DES ACTIVITÉS NAUTIQUES MOTORISÉES

Constat général

L'impact des embarcations à moteur sur les lacs est un sujet qui revient souvent dans l'actualité et qui est une source d'inquiétude pour les riverains et les associations de lacs. Il y a d'abord lieu de séparer les impacts reliés aux hydrocarbures de ceux reliés aux vagues générées par la circulation des embarcations. En ce qui concerne les hydrocarbures, il y aurait peu d'impact dans la mesure où au bout de quelques minutes voire quelques heures, suite à un déversement accidentel par exemple, l'essentiel des molécules se sont soit évaporées, soit fractionnées en des composantes inoffensives.

Cela est d'autant plus vrai que les moteurs sont de plus en plus des moteurs à quatre temps, donc n'utilisant pas d'huile mélangée à l'essence. L'huile se présentant sous forme de molécules plus lourdes, celles-ci avaient tendance à descendre dans la colonne d'eau et à s'accumuler pour un certain temps sur le fond des lacs, surtout au droit des marinas et infrastructures portuaires.

En ce qui concerne maintenant les impacts associés aux vagues, il y a effectivement des impacts réels et maintenant documentés. Les rives et les berges des lacs sont en équilibre avec l'hydrodynamique naturelle qui prévaut sur chacun d'eux et cela depuis des centaines voire des milliers d'années dans certains cas.

L'arrivée d'embarcations motorisées est venue changer cette dynamique surtout avec l'arrivée d'embarcations avec ballasts, les *wakeboat*, construites pour générer une vague servant à simuler une hauteur de vague propice à faire du surf. En raison de la hauteur et de l'énergie de ces nouvelles vagues sur les lacs, les rives doivent se réajuster et trouver un nouveau profil d'équilibre sédimentaire ce qui provoque des phénomènes d'érosion au droit des rives et des berges, des bris de murets et de quais.

Pour en arriver à établir une navigation durable, il est donc important de mieux comprendre les effets du passage des bateaux sur l'écosystème aquatique, en particulier à l'égard des rives et des berges des lacs afin de déterminer les conditions hydrodynamiques et environnementales les plus propices à la détermination de parcours de sillage de moindre impact.

Survol des connaissances

Plusieurs études ont démontré l'impact des embarcations à moteur sur les écosystèmes lacustres. Il résulte de ses études qu'une multitude de facteurs interviennent dans le processus : la vitesse de navigation, la force et le type de moteur, la géométrie de l'hélice, la géométrie de la coque, la cohésion des sédiments en cause dans l'érosion, la taille et la masse des particules formant les sédiments, la profondeur de l'eau, la stratification du lac, la morphologie des rives, etc.

À noter que des études ont aussi été réalisées pour mesurer les impacts des embarcations nautiques sur la remise en suspension des sédiments de fond en fonction des turbulences subaquatiques produites par les systèmes de propulsion des dites embarcations.

De toutes ces études, très peu ont fait l'objet de publications scientifiques dans des revues avec comité de révision, ce qui ne veut pas dire que ces études soient dépourvues de fondement scientifique, car plusieurs d'entre elles ont été réalisées dans un cadre universitaire.

Pour les besoins de notre présent *Avis technique*, nous avons retenu les études qui nous semblaient les plus pertinentes. À ce titre nous avons exclu, bien que lu, le document souvent cité, rédigé par Sorensen (1997), puisqu'il s'agit d'une étude réalisée en condition fluviale (Upper Mississippi) et réalisée en eau peu profonde.

Deux études réalisées au Québec

Au Québec quelques études ont été réalisées sur le sujet. Deux de celles-ci, ont été menées en complémentarité une de l'autre concernant la mesure des impacts des vagues en milieu lacustre.

La première étude, celle de Mercier-Blais et Prairie (2014), consistait à mesurer sous 1 m d'eau les effets des vagues de batillage sur la remise en suspension des sédiments au droit des rives, surtout des avant-rives. Les résultats de cette étude ont permis de démontrer une évidence, à savoir que le passage d'embarcations au droit des rives génère une remise en suspension des sédiments présents en avant rive, et que cette remise en suspension est proportionnelle à la proximité du passage des embarcations de la rive, et est associée aux types d'embarcations et de motorisation de ces derniers. Le passage des *wake boat* s'est avéré la situation la plus susceptible de produire la remise en suspension de sédiments.

L'étude a souligné que les matières en suspension mesurées se situaient souvent près de la limite de détection de l'équipement de mesure et donc que les résultats étaient inférieurs aux attentes initiales.

Nous aimerions mentionner qu'il s'agit là d'une situation normale dans la mesure ou les secteurs riverains sont des secteurs déjà affectés par une dynamique hydraulique reliée aux vagues de vents depuis des centaines voire des milliers d'années dans certains cas, et qu'en conséquence les particules fines y sont absentes ou peu représentées en raison du lessivage qui sévit dans la zone riveraine (Figure 16).

Figure 16. Lessivage des rives en zone protégée : Lac Pontbriand



L'étude souligne que les vagues produites par les embarcations de type wakeboats doivent parcourir, de part et d'autre du sillage, une distance potentielle de 300 m ou plus, pour que l'énergie générée par celle-ci se dissipe complètement et cesse d'entraîner une remise en suspension des sédiments et une érosion accélérée des berges.

*S'il est vrai que l'étude apporte des mesures indéniables sur les remises en suspension de sédiments, il est pour le moins surprenant qu'elle souligne que les berges s'en retrouvent érodées alors qu'aucune mesure en ce sens n'a été faite dans l'étude. Le protocole de l'étude en question ne permet pas d'identifier l'origine des matériaux remis en suspension. Il pourrait ne s'agir d'un brassage *in situ* des matériaux avec au final aucune perte nette de sédiments. L'exemple de la dynamique hydraulique des plages en milieu maritime est un exemple parfait. D'autre part utiliser la non-remise en*

suspension de sédiments pour fixer une distance entre un parcours de wake boat et la rive est inadéquate dans la mesure où les rives subissent le brassage continu des sédiments même en condition naturelle sans intervention de vagues de batillage. L'érosion et le remodelage des berges constituent un meilleur indicateur croyons-nous que la mesure de la simple remise en suspension des sédiments.

Ce qu'on peut retenir de l'étude:

- Pour les quatre stations de mesure retenues, l'énergie générée par les vagues de *wake boat* est significativement plus importante que l'énergie provenant des vagues de vent enregistrées les journées du 4, 5 et 6 août 2013.
 - *Les auteurs de l'étude utilisent les données de vent du 4, 5 et 6 août 2013 comme représentatives de conditions normales, alors qu'il n'y a aucune donnée pour supporter une telle affirmation, ne serait-ce qu'une analyse des vents locaux pour les journées de prise de mesures. Dans ce contexte il est difficile de considérer les conditions de références comme étant les conditions normales.*
 - *Une analyse des vents nous aurait permis de mieux évaluer la représentativité des sites de mesures en fonction des longueurs de la course du vent (fetch) des différents lacs de référence.*
- Que les mesures ont été prises en fonction de distances de 100, 150 et 200 m de la rive.
 - *Comme les instruments de mesure étaient situés dans les sections riveraines présentant une profondeur de 3,05 m, on peut penser qu'ils étaient situés à plusieurs dizaines de mètres de la berge, en particulier au droit des rives présentant de faibles pentes.*
 - *Que les données présentées en référence de 300 m sont des extrapolations et non des mesures directes. En ce sens il est dommage que cette distance ait été médiatisée et reprise par plusieurs organisations comme étant une distance scientifiquement démontrée alors qu'il n'en est rien. Même l'étude de Raymond et Galvez-Cloutier (2015) reprend cette donnée sans en faire une analyse critique.*

- L'étude mentionne qu'une distance de 300 m représenterait une distance raisonnable au-delà de laquelle les vagues générées par les *wakeboat* auraient un effet négligeable.
 - *Il est légitime de se demander ici qu'est-ce qu'un effet négligeable ? S'agit d'un effet moindre que les effets des vagues de vents ? S'agit-il d'effets moindres que les mesures de références, dont on peut contester les choix (localisation des stations, période des mesures dans la journée – vents orographiques, etc.).*
 - *On ne peut considérer cette distance comme étant une référence fiable dans le cadre de cette étude.*
 - *Dans le contexte de notre avis, nous proposons d'utiliser le concept d'effet acceptable à la place d'effet négligeable.*
- Que les données obtenues pour la mesure des sédiments remis en suspension sont plus faibles qu'anticipées par les auteurs.
 - *La remise en suspension des sédiments est non seulement liée à l'énergie des vagues, mais aussi à la composition granulométrique des sédiments présents en rives. Plus les sédiments sont de granulométrie grossière moins ils vont relarguer de sédiments en suspension, qui sont généralement des particules fines.*
 - *Les milieux riverains sont des milieux constamment sollicités par les vagues de vents depuis leur formation. Il est donc normal d'y retrouver peu de particules fines. D'ailleurs, plus une rive est exposée aux vagues de vents, moins elle présente de particules fines dans sa composition granulométrique, et plus le profil de la rive et de sa berge est adapté à ces conditions éoliennes. Ce sont généralement des profils en pente douce (Ex : 1V:6H).*
- Que l'inclinaison de la pente de la rive (partie submergée) à peu d'impacts sur l'énergie des vagues en conditions normales, mais qu'elle en a sur les vagues de *wakeboat*, en particulier sur les vagues générées par le *wakesurfing*.
 - *Il est reconnu, notamment en océanographie physique et en génie maritime, que les vagues subissent l'effet ralentissant du fond lorsque la demi-distance entre deux crêtes de vagues correspond à la profondeur*

de la colonne d'eau. Ce ralentissement s'exprime par une cambrure de la vague suivie de son déferlement en rives, ce qui peut créer des courants latéraux (dérive littorale) ou subaquatiques.

- *Les vagues de wakeboat sont des vagues artificielles qui ne semblent pas obéir aux règles usuelles en génie maritime.*

La seconde des deux études, soit celle de Raymond et de Cloutier-Galvez (2015), réalisée sur des lacs du Québec a cherché à évaluer l'impact des embarcations motorisées de type *wakeboats* sur deux aspects en particulier :

- L'impact de la profondeur des jets des systèmes de propulsion des embarcations à moteur,
- La mesure de la vitesse générée par les systèmes de propulsion susceptible de remettre en suspension les sédiments dans la colonne d'eau.

Les données obtenues dans le cadre de cette étude suggèrent que les bateaux circulant à basse vitesse et à haute vitesse induisent peu de déplacement d'eau en profondeur comparativement à une vitesse intermédiaire. Ainsi une vitesse de plus ou moins 48 km/h avait moins d'impact qu'une vitesse de 5km/h.

Sur le plan de la profondeur, les résultats suggèrent qu'à faibles et fortes vitesses (5 km/h, 10 km/h et vitesse maximum), il y a un impact limité des embarcations sur une colonne d'eau n'excédant pas 1 à 2 m de profondeur. Les pratiques de « *Wake surf* » et « *Wake board* » quant à elles, impactent la colonne d'eau jusqu'à 5 m de profondeur.

Concernant les vitesses, celles-ci sont supérieures à 0.1 m/s jusqu' à 5m de profondeur pour le « *Wake surf* » et 4 m pour le « *Wake board* ». Ces vitesses sont théoriquement susceptibles de transporter des particules de 50 µm de diamètre.

Selon les auteurs de cette dernière étude, les résultats obtenus sont à coupler avec ceux obtenus dans la première, à savoir que lors des pratiques de « *Wake surf* » et « *Wake board* », la vague de surface créée avait besoin d'au moins 300m pour perdre son énergie et ne plus éroder les berges.

Ainsi, pour les auteurs de cette étude, pour la mise en place d'une navigation responsable et durable il est nécessaire de prévenir l'impact des bateaux sur l'érosion des berges, sur la remise en suspension des sédiments, et donc la mise en disponibilité

du phosphore dans la colonne d'eau. Il faut donc préconiser une pratique des « *Wake Surf* » et « *Wake Board* » (avec des bateaux de 350HP) dans des zones de 600 m de large et d'au moins 5m de profondeur. Si une de ces conditions n'est pas respectée, il faut alors limiter/encadrer ces pratiques de navigation, car elles impactent l'environnement.

Les autres pratiques de navigations de plaisance sont à surveiller également avec une vitesse ne dépassant pas 5km/h dans les zones inférieures à 2 m de profondeur et 10 km/h dans les zones de 2 à 5 m.

Nous tenons à souligner sur ce point que la première étude indique qu'une distance de 250 m est suffisante pour limiter la remise en suspension des sédiments en avant-rive, et que cette distance pourrait être ajustée selon la typologie des rives potentiellement affectées par l'énergie des vagues (énergie cinétique turbulente). D'autre part nous réitérons qu'aucune donnée ne vient supporter l'affirmation que les berges seraient en érosion. Aucune étude n'a mesuré l'impact érosif des vagues de batillage sur les berges. La remise en suspension de sédiments en rive n'implique pas nécessairement l'érosion des berges.

De plus, en ce qui concerne le relargage du phosphore, il est fort peu probable qu'il en soit ainsi eu égard aux sédiments remis en suspension en rives, car comme il s'agit déjà d'un milieu agité, il y a absence de particules fines et donc de phosphore puisque ce dernier est intimement associé par adsorption aux particules fines. Il en est de même pour les secteurs profonds. En effet au gré du temps les particules les plus fines dans un lac ont tendance à s'accumuler dans les fosses des lacs et pas nécessairement dans les profondeurs de 5 ou 6 m affectées par la turbulence provoquée par les systèmes de propulsion des embarcations motorisées.

Ce qu'on peut retenir de l'étude :

- Rappelons que les objectifs de l'étude sont :
 - De définir l'impact de la profondeur des jets des systèmes de propulsion des embarcations motorisées,
 - De mesurer la vitesse générée susceptible de remettre en suspension les sédiments dans la colonne d'eau.

- *Nous considérons que c'est un travail essentiel qui fournit des données d'une grande utilité dans le cadre de notre mandat, malgré quelques affirmations non fondées soulignées dans le rapport : Ex : relargage du phosphore, etc.*
- Chaque passage de *wakeboat* à un impact sur la colonne d'eau :
 - À 5 km/h et à 53 km/h, les impacts sur la perturbation de la colonne d'eau ne dépassent pas le mètre de profondeur.
 - Pour des vitesses de 10 km/h ou 29 km/h (Mode *wakeboard* et ponton) la profondeur perturbée atteint plus ou moins 2,5 m.
 - L'impact le plus important est associé à la vitesse 20 km/h (Mode *Wakesurf*), et atteint 4 à 5 m de profondeur.
 - Les vitesses de l'eau associées à cette perturbation sont susceptibles de provoquer une remise en suspension des sédiments de 50 um ou moins pour une période de temps de 70 à 80 secondes.

L'étude de Goudey et Girod

Parmi les études réalisées sur le sujet, et bien que réalisée hors Québec, nous retenons plus particulièrement celle de Goudey et Girod (2015) en raison des moyens mis à leur disposition pour déployer un protocole complet et hautement sophistiqué pour mesurer l'énergie induite par les vagues produites par les wake boat.

Cette étude, qui date de 2015, a été commanditée par la Water Sports Industry Association (WSIA).

Sans avoir fait l'objet d'une publication scientifique, il n'en demeure pas moins que cette étude a été déposée dans le cadre d'une récente commission d'enquête de l'état du New Hampshire (2020) et que cette étude a constitué l'assise des recommandations de la commission à l'égard de la problématique de l'érosion riveraine des lacs versus les activités nautiques motorisées. Aucune étude déposée lors des audiences de cette commission n'est venue contredire les résultats obtenus par l'étude de Goudey et Girod (2015).

Les données obtenues par leur étude suggèrent que :

- Les vagues produites par les *wake boat* (*Wakeboard* et *wakesurf*) depuis un point situé à au moins 60 m ou plus des rives, ne transportent pas assez d'énergie pour avoir un impact significatif sur la plupart des rives et des quais lorsque ceux-ci sont bien entretenus et ancrés convenablement, et sur les autres structures artificielles (murets, etc.),
- La hauteur maximale des vagues produites par les activités de wakeboard et de wakesurf chute de 27 à 56 % dans les 30 à 35 premiers mètres de leurs sources (parcours),
- En général, en raison de leurs morphologies, les vagues de batillage provenant de la circulation des bateaux (mode croisière), bateaux de plaisance inclus, se dissipent plus lentement que les vagues des *wake boat*, et ne présentent pas une baisse drastique de leur hauteur comme observée pour les *wake boat*,
 - *Attention : ce dernier énoncé ne dit pas que les vagues de bateaux de plaisance sont plus importantes que celles produites par les wake boat. Elle dit que les vagues de bateaux de plaisance s'atténuent de façon moins importante dans le temps (en eau libre) que celles produites par les wake boat qui en raison, de leurs hauteurs initiales, s'effondrent sur elles-mêmes, un peu à la manière d'une onde qui passe du mode oscillatoire au mode transitoire comme nous l'avons expliqué précédemment. Dans le cas des wake boat cet effondrement survient très rapidement et donc proche de sa source.*
- Les vagues produites par un bateau de *wakesurf* passant au droit d'un rivage toutes les neuf minutes sont moins dommageables pour les rives que les vagues naturelles provenant d'un vent de 10 MPH courant sur une surface lacustre de 1,6 km.
 - *Il est à noter que les conditions propices ou de moindres impacts soulignés par l'étude suggère impérativement qu'un lac doit présenter une surface en eau libre de plus ou moins 50 ha.*

Bien que l'étude ait démontré que, dans certaines conditions, les vagues de *wakesurf* et de *wakeboard* sont beaucoup moins destructrices que les ondes naturelles, la WSIA, qui est le commanditaire de l'étude, recommande dans la mesure du possible :

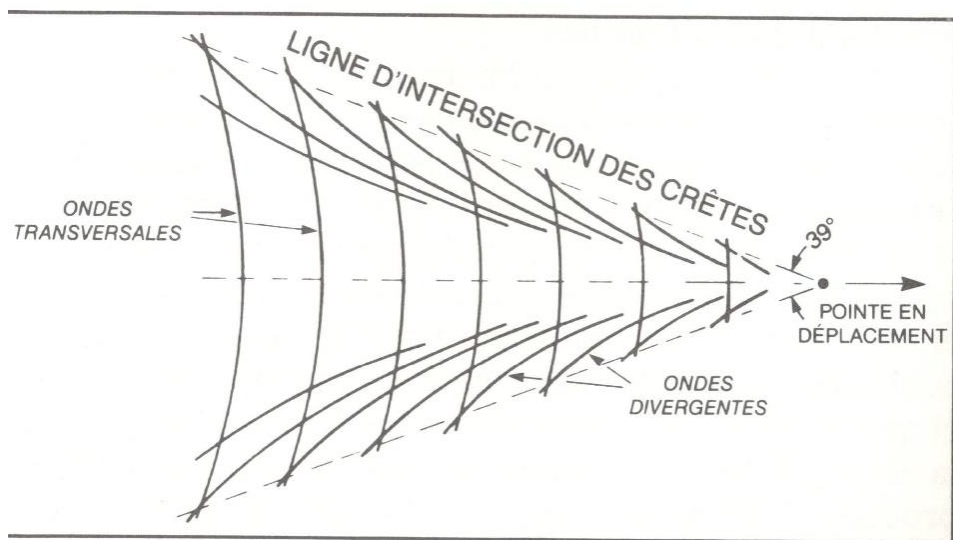
- De faire du *wakeboard* ou du *wakesurf* au centre d'un plan d'eau donné, et éviter les canaux ou les voies de communication étroites,
 - *Le centre des plans d'eau n'est pas nécessairement l'endroit du moindre impact.*
- De rester à au moins 60 m de tout rivage, quai ou structure fixes,
- De présenter le côté non surfant du wakeboat face au rivage le plus proche étant donné qu'il a été démontré que le côté non surfant d'un bateau de *wakesurf* crée des vagues de 10% à 23% plus petites, et avec 23% à 33% moins d'énergie que le côté surf,
- Éviter les virages près des rives en raison de la superposition possible des vagues et de leur énergie.
 - *Dans une section précédente, nous avons soulevé cette problématique reliée à la superposition possible des vagues et des ondes et l'additivité de leur énergie.*

Ce qu'on peut retenir de l'étude:

- Les vagues produites par les *wake boat* (*Wakeboard* et *wakesurf*) depuis un point situé à au moins 60 m ou plus des rives, ne transportent pas assez d'énergie pour avoir un impact significatif sur la plupart des rives et des quais lorsque ceux-ci sont bien entretenus et ancrés convenablement, et sur les autres structures artificielles (murets, etc.),
 - *Aucune donnée permettant d'affirmer que les vagues produites par les wakeboat circulant à plus 60 m des rives n'ont pas d'impact sur les rives ne sont présentées dans l'étude.*

- En général, en raison de leurs morphologies, les vagues de batillage provenant de la circulation des bateaux (mode croisière), bateaux de plaisance inclus, se dissipent plus lentement que les vagues des *wakeboat*, et ne présentent pas une baisse drastique de leur hauteur comme observée pour les *wakeboat*.
- Les vagues produites par un *wakeboat* circulant en mode *Wakesurf* et passant au droit d'un rivage toutes les neuf minutes sont moins dommageables pour les rives que les vagues naturelles provenant d'un vent de 10 MPH courant sur une surface lacustre de 1,6 km.
- Sur la base des mesures de la hauteur maximale des vagues et de l'énergie totale de sillage, un même bateau dans différentes conditions de navigation peut produire des sillages très différents d'une fois à l'autre. Des facteurs tels que la vitesse et le mode de déplacement influencent de manière importante et mesurable la taille initiale des vagues et leurs caractéristiques de propagation.

Figure 17 : Modalités de propagation des différentes vagues-ondes.



- Les résultats de cette étude montrent qu'au fur et à mesure qu'un sillage s'éloigne du tracé du bateau, qu'il subit d'importantes transformations en hauteur et en nombre de vagues. L'augmentation du nombre de vagues dans un sillage résulte de la décomposition de la grande vague initiale en une série

d'ondes de fréquence différente. Les composantes d'onde de période plus longue se déplacent plus rapidement que les ondes de période plus courte qui se déplacent plus lentement. Il en résulte un sillage composé d'un nombre croissant de vagues et, du simple point de vue de la conservation de l'énergie, ces multiples vagues doivent être plus petites en hauteur que le sillage d'origine dès qu'elles quittent l'arrière du bateau.

- Les données issues des mesures reliées à cette étude suggèrent que les vagues de type *wakesurf* perdent rapidement de la hauteur et de l'énergie, car elles se brisent rapidement derrière le bateau. En **eau profonde**, les réductions de la hauteur des vagues sont dues à une décomposition continue en des vagues multiples pour une quantité d'énergie décroissante.
- Une fois que le sillage atteint les **eaux peu profondes**, l'énergie se dissipe en raison du frottement sur le fond du rivage ou de son avant-rive. En effet, à mesure que les profondeurs deviennent moins profondes près du rivage, la vitesse des vagues diminue et, par conséquent, les vagues deviennent plus raides et légèrement plus élevées, et peuvent se briser avant même d'atteindre le rivage.
- *Mentionnons que les deux lacs qui ont été utilisés dans le cadre de cette étude présentaient des sections dites en **eau profonde** (6 m en rive), et d'autres en sections **peu-profondes** (0 m en rive, mais avec une pente riveraine de 1:50 sur 150 m en avant rive). Il est important de tenir compte que ce que considère ici les auteurs comme étant des **eaux peu profondes**, n'est pas relié à une définition provenant de la limnologie, qui considère plutôt les lacs sans stratification thermique (5-6 m au Québec, 1- 2 m en Europe) comme étant des lacs peu profonds.*
- Grâce à cette combinaison de facteurs (le sillage initial derrière le bateau et le frottement sur le fond en **eau peu profonde**), l'énergie d'un sillage est dissipée au fil du temps et de la distance. En **eau peu profonde**, la dissipation due au frottement du fond devient un facteur déterminant.
- Au rivage, l'énergie résiduelle était significativement moindre en **eau peu profonde** par rapport à celles provenant des mêmes conditions d'exploitation en **eau profonde** où les vagues progressaient avec moins de pertes.

- L'énergie totale du sillage provenant d'un mode de navigation de type croisière en **eau peu profonde** et située à une distance de 45 m du rivage n'avait dissipé que 2% de son énergie par rapport à la même navigation, mais située à 3 m de la rive.
- En **eau peu profonde**, l'énergie totale de sillage du wakesurf a chuté de 65% avec la même distance de la rive (3 m). Un passage supplémentaire à 30 m a permis une réduction de l'énergie totale supplémentaire de 20%. Les opérations en **eau profonde** ont donné des résultats moindres, l'énergie totale de sillage du wakesurf ayant chuté de 49% pour les 30 premiers m de distance à la rive et une réduction de 12% pour les 30 m suivants. La distance du rivage a un effet important sur la quantité d'énergie de sillage qui atteint le rivage. L'importance des vagues venant à terre dépend de la nature du rivage. Les rivages qui subissent régulièrement des vagues entraînées par le vent sont clairement plus tolérants aux sillages de tous types d'activités nautiques. Enfin, les résultats de l'étude, en comparant l'énergie des vagues produit par un bateau versus l'énergie des vagues de vent associées à diverses combinaisons de vitesse du vent et de distance de récupération, et comme les vagues de vent sont persistantes, dans de nombreux contextes, elles représentent une source d'impact plus importante sur le rivage que les sillages des bateaux.

Recommandations pour un parcours de moindre impact

Selon les études consultées, et bien que le lac Pontbriand présente une surface d'eau libre restreinte eu égard aux activités nautiques de type *wakeboat*, il n'en demeure pas moins qu'il est possible d'identifier un tracé de sillage pour les *wake boat* présentant les moindres impacts sur l'environnement. En effet, la partie aval du lac présente les meilleures conditions environnementales pour la pratique du *wake boat*.

Notre analyse des documents les plus pertinents eu égard aux sujets abordés dans cet *Avis technique* nous amène à faire quelques constats et quelques recommandations :

- Le croisement, l'analyse et la pondération des résultats obtenus dans les études consultées nous amène à recommander de localiser le parcours de sillage (*wakeboat*) dans la section aval du lac Pontbriand (Figure 18).

AVIS TECHNIQUE : LAC PONTBRIAND

- En mode *wakesurfil* est recommandé de diriger la vague de surf vers la direction est du lac, soit vers les rives qui reçoivent naturellement les vagues de vents.
- En raison de la profondeur, il est préférable de circuler en modes *wakesurf* et *wakeboat* du sud-est vers le nord-ouest.
- Que le parcours soit unidirectionnel (sud-sud-est vers nord-nord-ouest) afin d'éviter la superposition des vagues et l'addition de leur énergie.

Figure 18 : Localisation du parcours proposé de *wakeboat*.



CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les données disponibles portant sur la qualité de l'eau du lac Pontbriand couvrent une période qui s'étend sur une dizaine d'années, ce qui est excellent.

L'analyse de ces données suggèrent que le lac est actuellement dans un excellent état et que les valeurs des différents paramètres sont stables d'une année à l'autre. Il n'y a donc pas de tendances qui suggèreraient une dégradation de la qualité de l'eau du lac Pontbriand. Ce qui est aussi une excellente nouvelle pour la prise d'eau brute située immédiatement en amont du barrage.

Une attention particulière devrait être cependant portée à la transparence de l'eau puisque celle-ci n'est que de 2,5 m au droit de la profondeur de 9 m, lieu de la prise des mesures. Cette faible profondeur de la transparence pourrait s'expliquer par la remise en suspension des sédiments de fond qui, rappelons-le, sont composés de particules fines et de matière organique, deux composantes sensibles à leur remise en suspension. Un suivi plus serré de ce paramètre, dont la mesure est peu coûteuse (Disque de Secchi), devrait être fait tout au long de la période estivale. Les données devraient être mises en lien avec la période plus intense de la pratique des sports nautiques motorisés, dont le *wake boat*.

Cependant, comme nous l'avons mentionné à maintes reprises, le lac Pontbriand est avant tout un réservoir qui retient temporairement les eaux de drainage provenant d'un immense bassin versant. À ce titre, nul doute que le lac Pontbriand représente un bassin de sédimentation pour les sédiments arrachés ici et là en amont. Or il n'y aucune donnée portant sur la qualité physico-chimique des sédiments pour le lac Pontbriand. Malheureusement, sans un minimum de données sur ce paramètre, il est impossible de tracer un portrait définitif sur l'état de santé du lac, car les sédiments constituent souvent le fond du problème. Les sédiments, par exemple, constituent souvent le principal vecteur de transport et d'entreposage du phosphore dans les lacs et les réservoirs.

Selon les conditions limnologiques et les usages du plan d'eau, les sédiments peuvent relâcher le phosphore emmagasiné dans la colonne d'eau. Par exemple, nous savons aujourd'hui, selon des études récentes, que les embarcations motorisées spécialement

conçues pour générer des vagues surdimensionnées (*Power Boat, Wake Boat*) au profit des surfeurs perturbent les sédiments du fond des plans d'eau et de leurs rives.

Dans ce contexte il est impératif de mieux connaître le portrait sédimentaire du lac Pontbriand. C'est la pièce manquante du puzzle.

Aussi, il est recommandé de:

- Procéder à une caractérisation chimique des sédiments de fond du lac Pontbriand (phosphore).
- Identifier les sources d'apports de sédiments : rivière Ouareau, rives, tributaires.
- Mettre en place une méthodologie pour suivre l'évolution de la sédimentation dans le lac Pontbriand.
- Mettre en place un réseau de repères sur les rives pour en faire le suivi.

En ce qui concerne les installations septiques situées au pourtour immédiat du lac Pontbriand, nous recommandons fortement qu'un réseau de piézomètres soit mis en place de manière à faire le suivi de la qualité de l'eau souterraine et de la progression vers le lac, s'il y a lieu, de la contamination microbologique et de la saturation des sols en phosphore.

RÉFÉRENCES

Association des propriétaires riverains du lac Pontbriand. (1977). *Carte bathymétrique du lac Pontbriand*.

Municipalité de Rawdon. (2022). *Carte bathymétrique du lac Pontbriand*.

Bertrand, P. (2016). *Lacs du Québec méridional : perspectives de protection et de restauration*. Vecteur Environnement. Mars 2016. Vol. 49, no 2, p.60-64.

Bertrand, P. (2018). *Installations septiques en milieu riverain : caractérisation des eaux souterraines*. Vecteur Environnement. Septembre 2018.

Bilkovic, D-M. *et coll.* (2017). *Review of boat wake wave impacts on shoreline erosion and potential solutions for the Chesapeake Bay*. STAC Review Report. STAC Publication 17-002.

Bilkovic, D-M. *et al.* (2019). *Defining boat wake impacts on shoreline stability toward management and policy solutions*. Ocean and Coastal Management. 182 (2019) 104945.

Dauphin, D. (2000). *Influence de la navigation commerciale et de la navigation de plaisance sur l'érosion des rives du Saint-Laurent dans le tronçon Cornwall-Montmagny*. Service du transport maritime et aérien. Ministère des Transports du Québec.

Glamore, W-C. (2008). *A decision support tool for assessing the impact of boat wake waves on inland waterways*. Water Research Laboratory, School of Civil and Environmental Engineering, University of New South Wales, Australia.

Goudey, C.-A. and L.-G. Girod. (2015). *Characterization of Wake-Sport Wakes and their Potential Impact on Shorelines*. Technical report. Water Sports Industry Association.

Mercier-Blais, S. et Y. Prairie (2014). *Projet d'évaluation de l'impact des vagues créées par les bateaux de type wakeboat sur la rive des lacs Memphrémagog et Lovering*. Rapport technique. UQAM – Société de conservation Lac Lovering – Memphrémagog Conservation Inc.

Raymond, S., et R. Galvez. (2015). *Impact de la navigation en milieu lacustre – Étude sur la remise en suspension des sédiments : Cas du Lac Masson et du Lac des Sables*. Université Laval.

Sorenson, R.M. (1997). *Prediction of vessel-generated waves with reference to vessels common to the upper Mississippi river system*. Technical Report. Department of Civil and Environmental Engineering, Lehigh University.

State of New Hampshire. (2020). *Final report of the Commission to Study Wake Boats*.

U.S. Army Coastal Engineering Research Center. (1977). *Shore protection manual Vol 1*. Department of the army – Corps of engineers.

Water Ski & Wakeboard Canada. (2005). *Guide to Understanding & Addressing Environmental Issues*.

Berryman, D., 2006. *Établir des critères de qualité de l'eau et des valeurs de référence pour le phosphore, selon les écorégions : opportunité, faisabilité et premier exercice exploratoire*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.

Carigan, R., Perceval, O., Prairie, Y. et Parkes, A. (2007). *Développement d'un outil de prévention de l'eutrophisation des lacs des Laurentides et de l'Estrie*. Rapport final de recherche remis au CRSNG et au MDDEP dans le cadre du programme PARDE.

Ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques. (2018). *Fiche technique – Barrage de Rawdon*.

Ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques. *Portrait régional de l'eau – Lanaudière*.

Ministère des richesses naturelles. (1977). *Géologie du quaternaire – Région de Rawdon-Laurentides-Shawbridge-Ste-Agathe-des-Monts*. Rapport final. DP-551.

Municipalité de Rawdon. (2013). *Suivi de la qualité de l'eau des lacs Rawdon, Pontbriand, Claude, Régent, Asselin, Rivest, ainsi que leurs tributaires*.

Municipalité de Rawdon. (2016). *Suivi de la qualité de l'eau des lacs de Rawdon*.

Municipalité de Rawdon. (2019). *Suivi de la qualité de l'eau des lacs et des rivières de Rawdon.*

Municipalité de Rawdon. (2017). *Suivi de la qualité de l'eau des lacs et cours d'eau de Rawdon.*

Réseau de surveillance volontaire des lacs. (2011, 2012, 2013, 2014). *Lac Pontbriand (0655A).*

Richelieu Hydrogéologie Inc. (2021). *Rapport d'analyse de la vulnérabilité de la source de prélèvement d'eau No X2137144-1.* Déposé à la Municipalité de Rawdon.