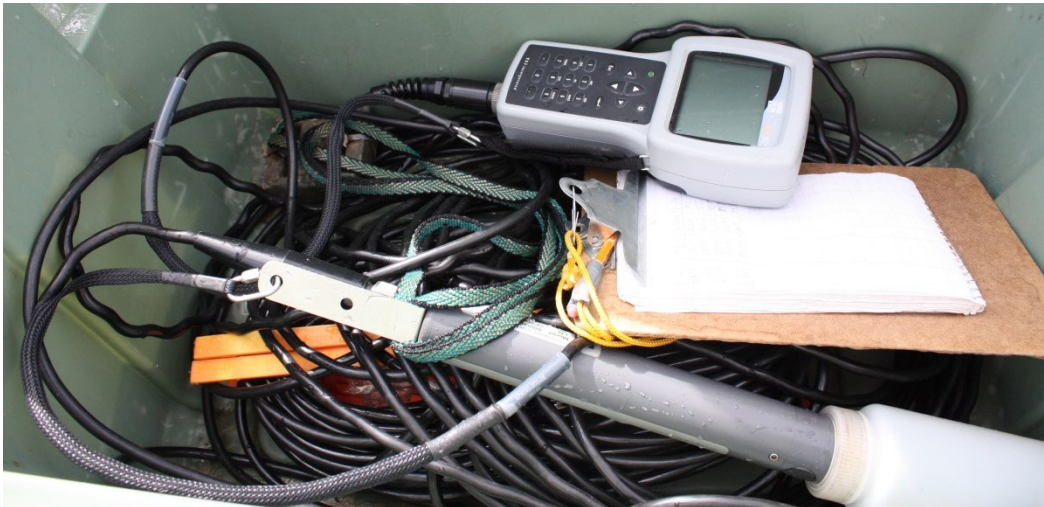


Suivi complémentaire de la qualité de l'eau  
Programme *Bleu Laurentides*  
Volet 1 - Multisonde

## Guide d'information



**Document produit par :**

Mélissa Laniel, Chargée de projet *Bleu Laurentides*, CRE Laurentides

**Révisé par :**

Richard Carignan, chercheur, Université de Montréal

Anne Léger, Directrice générale, CRE Laurentides

## Table des matières

<b>I. Mise en contexte</b> .....	<b>1</b>
1. Les indicateurs de la qualité de l'eau .....	1
1.1 L'eutrophisation .....	1
1.2 Échantillonnage et transparence .....	2
1.3 Plantes aquatiques et algues .....	4
1.4 Morphométrie et hydrologie .....	5
1.5 Anoxie des eaux profondes .....	7
<b>II. Le Suivi complémentaire de la qualité de l'eau</b> .....	<b>8</b>
1. Description générale du programme et des objectifs .....	8
2. Méthodologie .....	10
2.1 Le matériel utilisé .....	10
2.2 La procédure .....	11
3. Les variables analysées.....	13
3.1 La température .....	13
3.2 L'oxygène dissous .....	16
3.3 Le pH .....	19
3.4 La conductivité spécifique .....	20
<b>III. Annexes</b> .....	<b>22</b>
<b>IV. Références</b> .....	<b>28</b>

## I. Mise en contexte

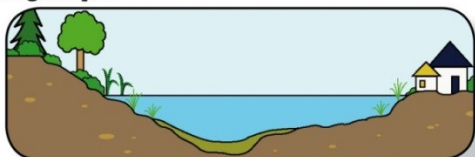
### 1. Les indicateurs de la qualité de l'eau

#### 1.1 L'eutrophisation

L'analyse des variables physicochimiques d'un lac permet d'évaluer s'il constitue un écosystème de qualité pour les organismes aquatiques et de déceler, s'il y a lieu, certains signes de dégradation de son état de santé. L'**eutrophisation**<sup>1</sup> est un processus naturel de vieillissement au cours duquel un lac s'enrichit graduellement en matières nutritives et organiques, engendrant ainsi la prolifération de plantes aquatiques et d'algues. Ce processus s'effectue normalement sur une période s'étalant de quelques milliers à plusieurs dizaines de milliers d'années. Les activités humaines dans les bassins versants des lacs, dans bien des cas, peuvent contribuer à accélérer grandement ce processus, engendrant des changements perceptibles au cours des décennies. C'est l'évolution dans le temps de ces symptômes qu'il est pertinent de suivre. Voici les trois stades d'évolution, qualifiés de niveaux ou **statuts trophiques**, associés à l'eutrophisation des lacs :

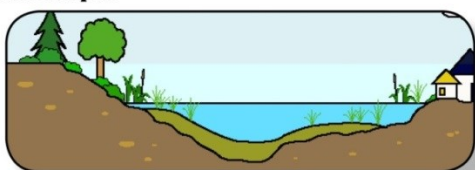
#### Niveaux trophiques des lacs

##### Oligotrophe



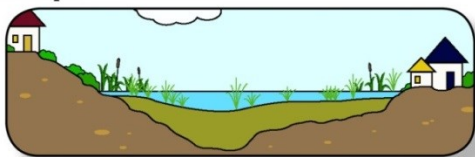
Ces lacs ont des eaux claires, pauvres en éléments nutritifs et ont une faible productivité biologique. Ils sont généralement profonds et leur bassin versant est relativement petit.

##### Mésotrophe



Ces lacs reçoivent une quantité plus grande d'éléments nutritifs et ont une productivité biologique modérée. Des changements dans les espèces présentes apparaissent.

##### Eutrophe



Ces lacs sont très enrichis en éléments nutritifs. Ils sont caractérisés par une productivité biologique élevée et il peut en résulter une perte de la diversité des espèces.

Figure 1. Définitions des statuts trophiques des lacs

© CRE Laurentides, 2009

<sup>1</sup> Pour plus de détails, consulter la fiche *L'eutrophisation de la Trousse des lacs*.

## 1.2 Échantillonnage et transparence

Les variables de base utilisées pour déterminer le statut trophique d'un lac sont : le phosphore total trace (PT), la chlorophylle *a* (chl<sub>a</sub>) et la transparence de l'eau. Ces données peuvent être obtenues en participant au Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL) du Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) et en effectuant les protocoles d'**échantillonnage de la qualité de l'eau** et de **mesure de la transparence de l'eau**. L'échantillonnage permet également d'obtenir de l'information sur la concentration de l'eau en carbone organique dissous (COD). Voici plus de détails sur l'utilité de mesurer ces variables<sup>2</sup>:

- **Phosphore total trace** : Le phosphore est l'élément nutritif dont la teneur limite habituellement la croissance des algues. Il y a un lien entre la concentration de phosphore, la productivité du lac et son niveau trophique. Les lacs eutrophes ont une forte concentration en phosphore.
- **Chlorophylle *a*** : La chlorophylle *a* est un indicateur de la biomasse (quantité) d'algues microscopiques présentes dans le lac. La concentration de chlorophylle *a* augmente avec la concentration en matières nutritives. Il y a un lien entre cette augmentation et le niveau trophique du lac. Les lacs eutrophes produisent une importante quantité d'algues.
- **Carbone organique dissous** : Le carbone organique dissous (COD) englobe les milliers de composantes dissoutes (substances humiques et non humiques) retrouvées dans l'eau et qui proviennent de la décomposition de la matière organique (résidus de végétaux, microorganismes et animaux morts) du bassin versant et de la zone littorale du lac. Les substances non humiques étant facilement assimilables par les organismes aquatiques, leur concentration est souvent faible dans les eaux de surface. C'est pourquoi la mesure du COD dans un lac réfère principalement à la concentration des substances humiques (acides humiques et fulviques) dans l'eau, qui contribuent à la coloration jaunâtre ou brunâtre des eaux de surface.
- **Transparence de l'eau** : La transparence de l'eau diminue avec l'augmentation de la quantité d'algues et de COD dans le lac. Il y a un lien entre la transparence de l'eau et le niveau trophique. Les lacs eutrophes sont caractérisés par une faible transparence de leur eau.

---

<sup>2</sup> Pour plus d'information, consulter le site internet du RSVL au: <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsvl/methodes.htm> ainsi que la *Trousse des lacs* au: [www.troussedeslacs.org](http://www.troussedeslacs.org)

Une fois les données récoltées et les résultats analysés, les moyennes obtenues pour les différents descripteurs sont reportées sur une échelle afin de les classer et de calculer un statut trophique global pour le lac. Vous trouverez à la figure 2 et au tableau I le détail des critères utilisés.

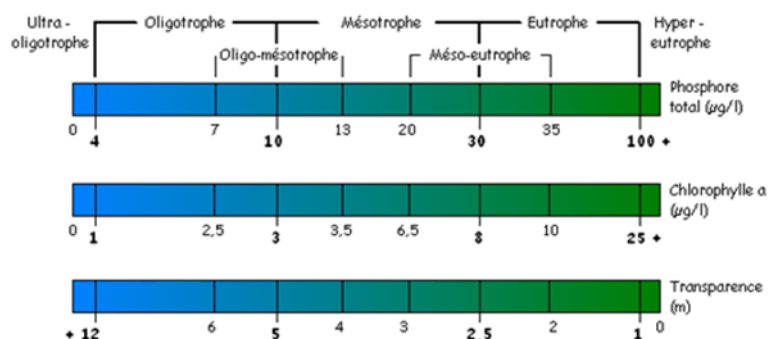


Figure 2. Échelle de classement du niveau trophique des lacs  
Source : MDDEFP, 2012

Tableau I. Classes des descripteurs de la qualité de l'eau selon le RSVL (Source : CRE Laurentides adapté de RSVL, 2013)

Statut trophique/Descripteurs	Phosphore total (µg/L)	Chlorophylle a (µg/L)*	Transparence (m)
<b>Ultra-oligotrophe</b>	< 4 À peine enrichi	< 1 Très faible	> 12 Extrêmement claire
<b>Oligotrophe</b>	≥ 4 - 7 Très légèrement enrichi	≥ 1 - 2,5 Faible	≤ 12 - 6 Très claire
<b>Oligo-mésotrophe</b>	≥ 7 - 13 Légèrement enrichi	≥ 2,5 - 3,5 Légèrement élevée	≤ 6 - 4 Claire
<b>Mésotrophe</b>	≥ 13 - 20 Enrichi	≥ 3,5 - 6,5 Élevée	≤ 4 - 3 Légèrement trouble
<b>Méso-eutrophe</b>	≥ 20 - 35 Nettement enrichi	≥ 6,5 - 10 Nettement élevée	≤ 3 - 2 Trouble
<b>Eutrophe</b>	≥ 35 - 100 Très nettement enrichi	≥ 10 - 25 Très élevée	≤ 2 - 1 Très trouble
<b>Hyper-eutrophe</b>	≥ 100 Extrêmement enrichi	≥ 25 Extrêmement élevée	≤ 1 Extrêmement trouble

\*La valeur de chlorophylle a utilisée est la valeur corrigée, c'est-à-dire sans l'interférence de la phéophytine

Carbone organique dissous (mg/L)	Couleur	Incidence sur la transparence
< 3	Peu colorée	Probablement une très faible incidence
≥ 3 - 4	Légèrement colorée	Probablement une faible incidence
≥ 4 - 6	Colorée	À une incidence
≥ 6	Très colorée	Forte incidence

### 1.3 Plantes aquatiques et algues

Bien que la concentration en phosphore dans la colonne d'eau d'un lac soit indicatrice de son état d'enrichissement, il semblerait que d'autres changements soient observables avant que l'on puisse constater une augmentation du phosphore dans l'eau. En effet, les apports de phosphore, issus de la villégiature en bordure des lacs, favorisent d'abord la multiplication des **plantes aquatiques et des algues** de la zone littorale, dont le périphyton. Ces macrophytes agissent un peu comme des éponges et absorbent les éléments nutritifs qui arrivent sous forme diffuse du bassin versant. Pendant que ces végétaux prolifèrent dans la zone peu profonde, la quantité mesurée dans la colonne d'eau n'augmente pas de façon importante. C'est seulement une fois que la limite d'absorption par les végétaux est atteinte, que la quantité de phosphore, mesurée à la fosse du lac, peut augmenter. La mesure du phosphore, réalisée périodiquement dans le cadre du RSVL, reste néanmoins essentielle afin d'effectuer un suivi à long terme de la qualité de l'eau.

Le **périphyton** désigne une communauté complexe d'organismes microscopiques (algues, bactéries, protozoaires et métazoaires) et de détritits s'accumulant à la surface des objets et des plantes submergés que l'on retrouve dans les cours d'eau et les lacs. Puisqu'il comporte de nombreux microorganismes photosynthétiques, il a besoin, comme les végétaux, de lumière et de nutriments pour croître. L'habitat propice à son développement se situe donc dans la zone littorale, peu profonde et éclairée, des lacs et des cours d'eau. Tel que mentionné, l'intérêt pour cet indicateur vient du lien démontré entre l'abondance du périphyton et l'importance des apports en phosphore issus notamment de l'occupation humaine dans le bassin versant (MDDEFP, CRE Laurentides et GRIL, 2012).

La caractérisation des plantes aquatiques et du périphyton est donc essentielle pour compléter l'analyse de l'état de santé des lacs. Ce sont des approches relativement récentes pour évaluer leur niveau d'eutrophisation. La caractérisation des plantes aquatiques permet par ailleurs de suivre l'évolution des populations végétales, d'identifier les secteurs les plus vulnérables d'un lac et de savoir si des espèces envahissantes se sont implantées.

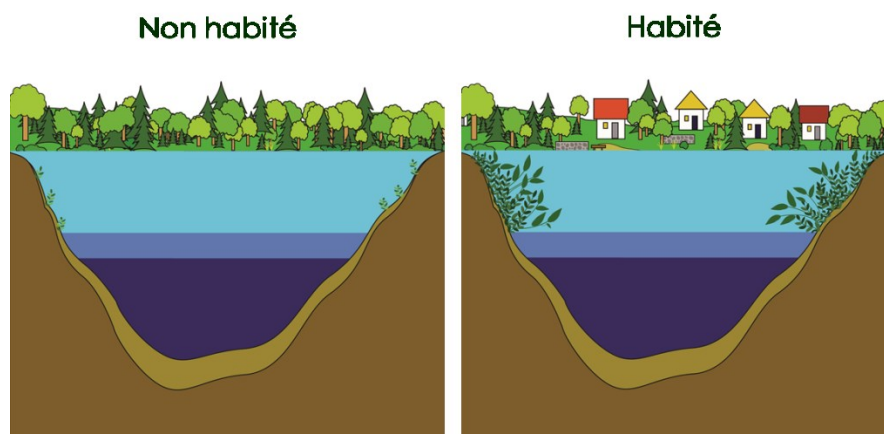


Figure 2. Illustration de l'impact de la villégiature sur l'état de santé des lacs  
© CRE Laurentides

#### 1.4 Morphométrie et hydrologie

Afin d'approfondir nos connaissances en lien avec l'état de santé des lacs, il est essentiel de connaître certaines variables clés reliées à leur **morphométrie** et **hydrologie**, ainsi qu'à celles de leurs bassins versants. Par exemple, les concentrations en phosphore et en chlorophylle *a* dans la colonne d'eau des lacs **peu profonds** (ou étangs) tendent à être plus élevées que dans les lacs stratifiés en raison du recyclage continu des nutriments entre les sédiments et la colonne d'eau (voir section 3.1). Même chose pour les lacs dont le **temps de renouvellement** est court, car la rétention du phosphore par un lac dépend du temps de séjour de l'eau. Plus ce temps est long, plus le phosphore a le temps de sédimenter. Ainsi, les lacs ayant un court temps de séjour tendent à avoir plus de phosphore dans la colonne d'eau. Ceux qui ont un **ratio de drainage** élevé et donc, un grand bassin versant par rapport à la superficie du lac, auront eux aussi plus de phosphore et seront également plus colorés. La qualité de l'eau des lacs ayant un très court temps de renouvellement sera semblable à celle des tributaires qui arrivent au lac.

Le tableau II illustre les critères qui définissent la longueur du temps de renouvellement. Cette classification a été établie en fonction du type de lacs que l'on retrouve dans les Laurentides (petits lacs principalement d'origine glaciaire ou humaine). Par exemple, le lac Baïkal, le lac d'eau douce le plus profond du monde, est d'origine tectonique et possède un temps de séjour de 350 ans. La valeur médiane des temps de renouvellement des 230 lacs dont la bathymétrie a été réalisée dans les Laurentides de 2010 à 2012 est de **0,82 année** (voir tableau III).



**Tableau II: Critères pour la classification du temps de renouvellement des lacs de la région des Laurentides (Carignan 2012 adapté de Kalff 2002).**

Classification	Temps en année(s)
Long	≥ 5
Modérément long	≥ 2 - 5
Modérément court	≥ 1 - 2
Court	≥ 0,5 - 1
Très court	< 0,5

De plus, afin de définir ce qu'est un ratio de drainage élevé (facteur qui peut notamment contribuer à expliquer la coloration d'un lac) Kalff se réfère à l'étude de lacs canadiens effectuée par Schindler. Il détermine ainsi qu'une valeur supérieure à **10** correspond à un ratio de drainage modérément élevé. Pour ces lacs, la majorité des nutriments proviendront du bassin versant (Kalff, 2002). Lorsqu'on analyse l'influence du ratio de drainage sur les propriétés physicochimiques de l'eau d'un lac, il faut cependant considérer les lacs en amont, qui peuvent agir comme des « décanteurs » des éléments issus du bassin versant, particulièrement s'ils possèdent de longs temps de séjour.

**Tableau III: Valeurs (maximales, minimales, médianes, moyennes) et mode de la distribution des variables morphométriques et hydrologiques de 230 lacs des Laurentides (Calculées par le CRE Laurentides à partir de Carignan 2010, 2011 et 2012).**

230 lacs	Superficie du lac (en km <sup>2</sup> )	Volume (en m <sup>3</sup> )	Superficie du BV (en km <sup>2</sup> )	Temps de séjour (année)	Prof. Max. (en m)	Prof. Moy. (en m)	Ratio de drainage
<b>Médiane</b>	0,38	2 056 000	4,39	0,82	16,7	5,8	11,3
<b>Moyenne</b>	1,32	17 449 792	30,29	1,32	20,8	7,2	31,5
<b>Mode</b>	6,47	73 800 000	37,50	1,00	3,4	5,0	17,3
<b>Valeur min.</b>	0,0046	4900	0,066	0,0058	2	0,8	1
<b>Valeur max.</b>	22,11	386 700 000	430,3	8,40	124,5	50,2	564,9

### **1.5 Anoxie des eaux profondes**

Les concentrations en oxygène dissous d'un lac constituent également un élément d'évaluation supplémentaire à la classification de leur niveau trophique (oligotrophe, mésotrophe, eutrophe). En effet, dans les lacs eutrophes enrichis en matière organique, principalement par des résidus d'organismes végétaux tels que les algues microscopiques (phytoplancton), les algues macroscopiques (algues filamenteuses et périphyton) et plantes aquatiques, l'importante **respiration des organismes** décomposeurs consommera une bonne partie de l'oxygène présent dans l'hypolimnion de ces lacs durant l'été. Il est toutefois important de comprendre que dans bien des cas, les déficits en oxygène observés dans l'hypolimnion des lacs sont des phénomènes naturels liés à la morphométrie de leur cuvette et de leur bassin versant. C'est que l'on appelle l'**anoxie morphométrique**. Pour plus de détails, consulter la section 3.2 de ce document.

**La participation au Réseau de surveillance volontaire des lacs ainsi qu'au programme de Suivi complémentaire de la qualité de l'eau de Bleu Laurentides permettra d'améliorer les connaissances qui sont reliées à ces différents indicateurs de la qualité de l'eau.**

## II. Le Suivi complémentaire de la qualité de l'eau

### 1. Description générale du programme et des objectifs

Depuis 2005, le CRE Laurentides offre gratuitement aux associations de lacs le programme de *Suivi complémentaire de la qualité de l'eau de Bleu Laurentides*, qui a pour principaux objectifs les éléments suivants :

- Raffiner les connaissances sur l'état de santé des lacs;
- Outiller et appuyer les associations de lacs par l'acquisition de données complémentaires à celles obtenues dans le cadre du Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL) du ministère de Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP);
- Maintenir l'intérêt et la mobilisation de ces associations bénévoles.

À cette fin, deux volets ont été développés :

#### **Volet I (multisonde) – 2005-2012**

Dans le cadre du volet I, des données de **température, de pH, d'oxygène dissous et de conductivité spécifique** sont acquises à l'aide d'une « multisonde » à travers la colonne d'eau des lacs. À l'aide de ces données, un rapport et/ou une fiche d'interprétation des résultats est rédigé, en lien avec l'information sur la qualité de l'eau obtenue dans le cadre du RSVL.

De 2005 à 2012, 350 suivis ont été réalisés sur 142 lacs des Laurentides et 132 fiches ou rapports ont été rédigés (voir annexes 1 et 2) et sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.crelaurentides.org/publication.shtml>

#### **Volet II (bathymétrie) – 2010-2012**

En 2010, 2011 et 2012, des cartes bathymétriques des lacs ont également été réalisées dans le cadre de ce programme, en collaboration avec l'Université de Montréal et le laboratoire de Richard Carignan (voir annexe 3). La réalisation de ces cartes permet d'obtenir les **données morphométriques et hydrologiques** suivantes :

- ✓ Superficie du lac (sup. lac);
- ✓ Volume du lac;
- ✓ Superficie du bassin versant (sup. BV)<sup>3</sup> ;
- ✓ Temps de renouvellement;
- ✓ Altitude;
- ✓ Profondeur maximale;
- ✓ Profondeur moyenne;
- ✓ Ratio de drainage (sup. BV/sup. lac).

Les **136 cartes** réalisées sont disponibles gratuitement à l'adresse suivante :

<http://www.crelaurentides.org/bleu/bathymetrie.shtml>

Les associations de lacs des Laurentides sont invitées annuellement à s'inscrire au programme. Le choix des lacs échantillonnés s'établit en fonction notamment, des critères suivants :

**L'association doit :**

- Être située sur le territoire de l'une des 5 MRC partenaires de **Bleu Laurentides** (Antoine-Labelle (AL), Argenteuil (ARG), Laurentides (LAUR), Pays-d'en-Haut (PDH) et Rivière-du-Nord (RDN));
- Être membre du CRE Laurentides;
- Être inscrite au **Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL)**<sup>4</sup> du Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP).

---

<sup>3</sup> Incluant la superficie du lac lui-même et de son aire drainée, et celles des lacs en amont

<sup>4</sup> Visiter le site internet : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsvl/index.htm>

## 2. Méthodologie

Voici les détails sur le matériel et la procédure utilisés pour l'acquisition de **profils physicochimiques** dans le cadre des volets 1 et 2 du programme de Suivi complémentaire de la qualité de l'eau de *Bleu Laurentides*.

### 2.1 Le matériel utilisé

- Une multisonde ou sonde multi-paramètres, de type 600 QS de la compagnie YSI incluant un moniteur 650 MDS, qui permet l'enregistrement des informations. Cet appareil inclut un baromètre afin de calibrer les mesures en fonction de la pression atmosphérique;
- Un poids de 2,2 kg (5 livres) pour lester la multisonde;
- Un câble de 60 mètres (200 pieds);
- Un GPS qui permet d'enregistrer les coordonnées géographiques de la fosse du lac;
- Un cahier de note et un crayon à mine qui servent à noter les données manuellement, afin d'avoir une copie supplémentaire en cas de problème informatique;
- Un disque de Secchi pour la mesure de la transparence de l'eau au moment de l'échantillonnage.



1. Profondimètre
2. Capteur d'oxygène dissous
3. Électrode de référence
4. Capteur de pH
5. Capteur de température
6. Capteur de conductivité
7. Capuchon protecteur

Figure 3. Les différents capteurs de la sonde multi-paramètres © CRE Laurentides

## 2.2 La procédure

Avant le départ sur le terrain, la sonde est calibrée pour la mesure de la conductivité spécifique et du pH, en fonction de la température ambiante. Il est important que ces calibrations soient effectuées dans un environnement où la température ambiante est constante. L'idéal est d'effectuer la calibration à l'endroit où la sonde est entreposée et de s'assurer que la température y est stable.

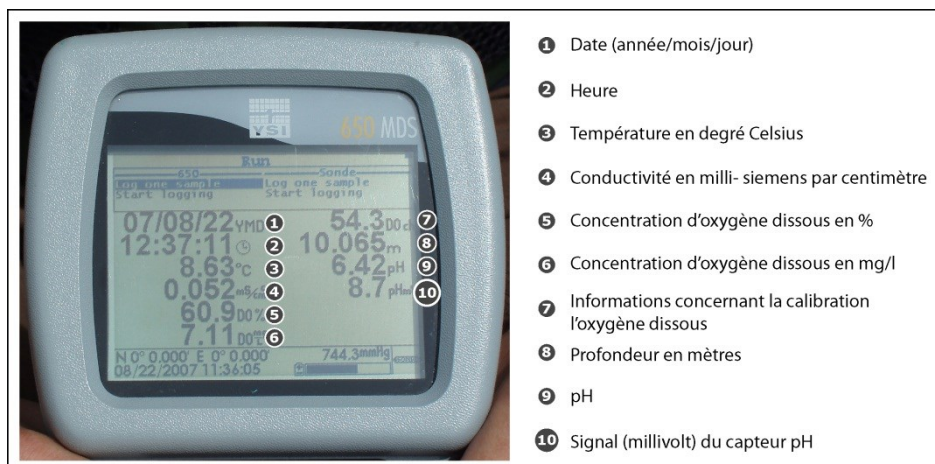
Les relevés s'effectuent à l'endroit le plus profond du lac, appelé la fosse. Il est possible dans certains cas, qu'il y ait plus d'une fosse à échantillonner. Pour localiser la fosse du lac, une carte bathymétrique du lac ainsi que des systèmes GPS ou sonars peuvent être utilisés.

Sur le terrain avant la prise de mesure, on enregistre depuis l'embarcation la pression barométrique et la profondeur. La pression barométrique varie en fonction de l'altitude à laquelle on se trouve et influencera le calcul du pourcentage de saturation de l'oxygène dissous dans l'eau. On identifie également le point de départ des mesures, soit la profondeur « zéro », avant de sonder.

Après la première mesure prise en surface, on descend la sonde verticalement. Les mesures (profondeur, température, conductivité, oxygène dissous et pH) sont enregistrées à chaque mètre, lorsque toutes les variables sont stables à la profondeur donnée. Pour les lacs très profonds, il est possible d'effectuer les lectures à des intervalles de deux mètres ou plus à partir d'une certaine profondeur, lorsque les données varient peu d'un mètre à l'autre. La prise de mesure s'arrête avant d'atteindre les sédiments.



**Exemple des données qui apparaissent à l'écran :**



**Figure 4. Les différentes informations mesurées par la sonde multi-paramètres**  
© CRE Laurentides

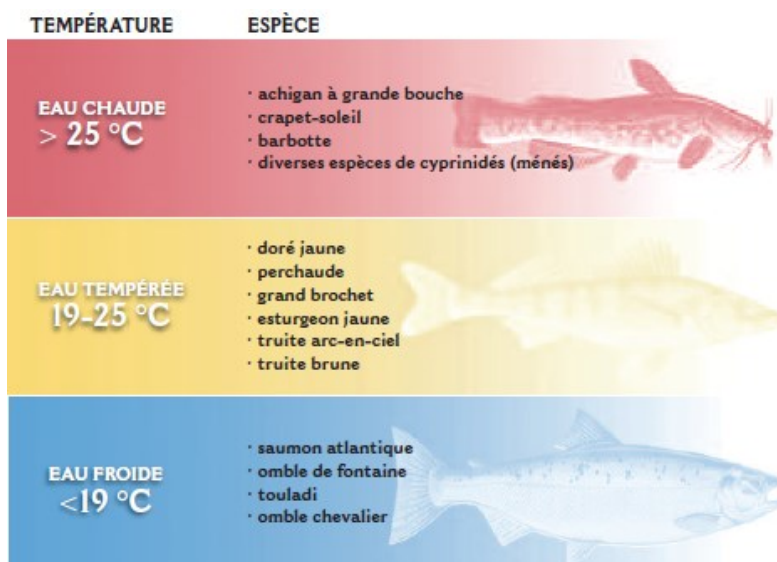
Les données recueillies sont ensuite compilées par ordinateur pour être analysées. Elles serviront à décrire la stratification thermique du plan d'eau, s'il y a lieu, et certaines propriétés physicochimiques des différentes couches. Ceci permet, lorsque combiné à l'analyse des autres indicateurs de la qualité de l'eau (voir section 1), de raffiner la compréhension de l'état de santé du lac.

### 3. Les variables analysées

Voici les détails sur les variables analysées suite à l'acquisition de **profils physicochimiques** dans le cadre des volets 1 et 2 du programme de Suivi complémentaire de la qualité de l'eau de *Bleu Laurentides*.

#### 3.1 La température

La température de l'eau peut affecter la santé des organismes aquatiques. Selon le MDDEFP, une eau de température inférieure à 22°C favorise la protection de la vie aquatique. Pêches et Océan Canada a dressé une liste des principales espèces de poissons présentes au Québec et de leurs préférences de température (voir figure 5).



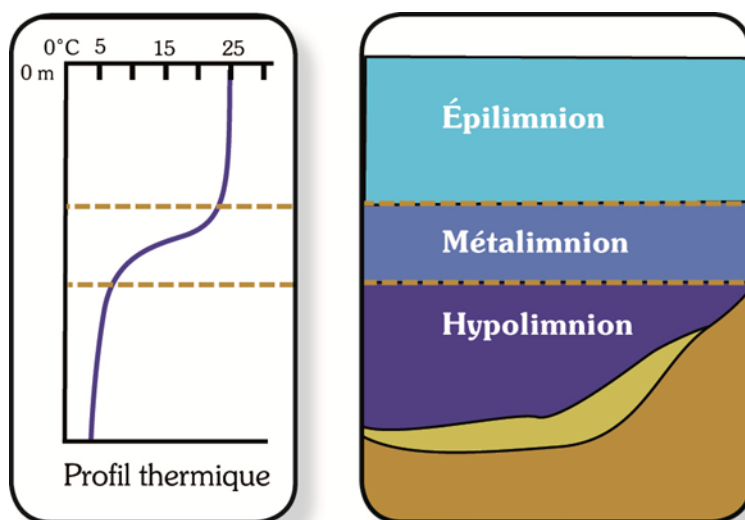
**Figure 5. Préférences de température de quelques espèces fréquemment retrouvées au Québec**  
Source : Pêches et Océan Canada, 2010

La température de la colonne d'eau permet d'évaluer si le lac est thermiquement stratifié durant l'été. La stratification thermique<sup>5</sup> d'un lac se définit comme étant la formation de couches d'eau distinctes superposées. La formation de ces couches est due à une différence de température, ce qui entraîne une différence de densité de l'eau.

<sup>5</sup> Pour plus de détails, consulter la fiche *La stratification thermique* de la *Trousse des lacs*.



- L'**épilimnion** est la couche de surface la plus chaude où il y a abondance de lumière et où la productivité biologique est la plus importante. Le vent permet à cette couche de se mélanger ; ce qui engendre une homogénéisation de l'oxygène dissous et des autres éléments présents (ex.: phosphore). L'épaisseur de cette couche varie au cours de la saison.
- Le **métalimnion** est la couche intermédiaire. Dans cette couche d'eau, la température varie rapidement avec la profondeur. Elle est plus froide que l'épilimnion mais plus chaude que l'hypolimnion. La diminution de la température crée une barrière physique entre les couches d'eau liée à la différence de densité. L'oxygène peut y être encore abondant.
- L'**hypolimnion** est la couche froide inférieure faiblement éclairée où la température varie peu. L'oxygène dissous, introduit dans l'hypolimnion lors des brassages saisonniers, est utilisé entre autres pour la décomposition de la matière organique. Parfois, l'oxygène disparaît complètement de cette couche d'eau, phénomène que l'on appelle anoxie.



**Figure 6. La stratification thermique des lacs**  
 © CRE Laurentides, 2009

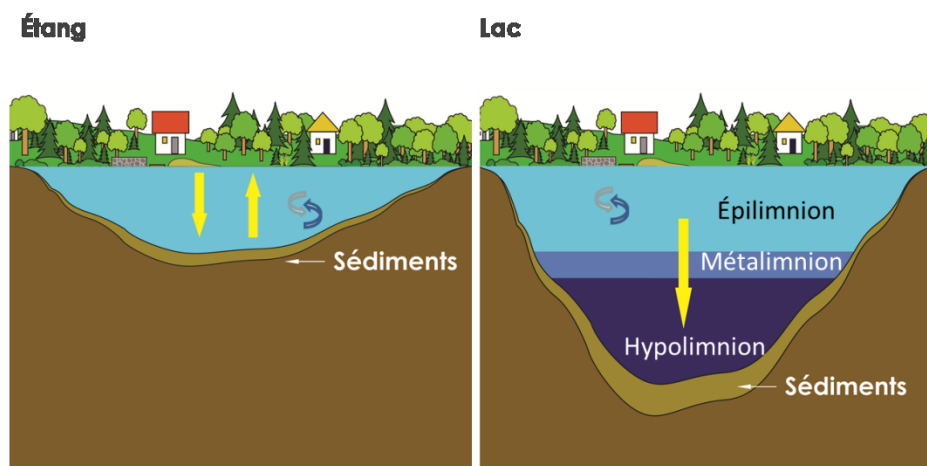
Ainsi, la chute abrupte de la température de l'eau observée dans le métalimnion est la caractéristique qui permet de distinguer cette couche des deux autres. Les critères suivants sont utilisés afin de déterminer l'épaisseur des différentes couches: la couche superficielle dont la température est relativement homogène s'appelle l'**épilimnion**. Cette couche est suivie d'une zone caractérisée par un gradient thermique prononcé appelée **métalimnion**; on définit généralement le métalimnion comme la

zone où le gradient thermique est supérieur ou égal à 1°C/m. On appelle l'**hypolimnion** la zone profonde où le gradient thermique est inférieur à 1°C/m. La **thermocline** correspond au plan où le gradient thermique est maximal.

Les lacs profonds du Québec sont qualifiés de **dimictiques** étant donné qu'ils sont sujets à deux périodes de brassage complet au cours de l'année. Lorsque l'ensemble de la colonne d'eau atteint une température de 4°C au printemps et à l'automne, il y a alors absence de stratification thermique, ce qui permet au lac de se recharger complètement en oxygène jusqu'au fond. Dans certains cas, il est observé que l'eau de surface se réchauffe très rapidement suite à la fonte de la glace au printemps. Cela peut entraîner une stratification thermique rapide sans qu'il y ait eu un brassage complet de la colonne d'eau.

Les données prises à la fosse d'un lac avec la multisonde, permettent de déterminer si le plan d'eau est sujet au phénomène de stratification thermique durant l'été. Cette information est primordiale pour mieux comprendre les données de la qualité de l'eau et ainsi l'état de santé du lac. En effet, lorsque la morphologie du lac ou du bassin versant ne permet pas la stratification thermique (**lac peu profond** ou très exposé au vent par exemple) le brassage fréquent de l'ensemble de la colonne d'eau permet le recyclage continu des nutriments entre les sédiments et la colonne d'eau. Il est normal de retrouver dans ces plans d'eau peu profonds ou **étangs** des concentrations en phosphore plus élevées. De plus, l'action du vent et des vagues sera suffisante pour répartir l'oxygène de façon quasi uniforme à travers toute la colonne d'eau durant la période sans glace.

Selon Robert G. Wetzel (2001), la stratification thermique dans les lacs profonds est un processus qui contribue grandement à la rétention du phosphore par les sédiments. Cette rétention est largement diminuée dans les lacs peu profonds et les **étangs**. Dans les régions tempérées, la stratification thermique est rare pour les lacs ayant une profondeur **maximale inférieure de 5 à 7 mètres**. Ainsi l'ensemble de la colonne d'eau dans ces systèmes circule constamment ou pendant de longues périodes. Non seulement les apports de nutriments sont proportionnellement plus élevés dans les lacs peu profonds mais la perte des nutriments vers les lacs en aval ou via la rétention par les sédiments est plus faible. Le taux de recyclage des nutriments y est aussi plus rapide.



**Figure 7. La stratification thermique, qui permet de différencier les lacs des étangs.**  
© CRE Laurentides

### 3.2 L'oxygène dissous<sup>6</sup>

Selon les critères adoptés par le MDDEFP, pour la protection de la vie aquatique, les concentrations en oxygène dissous ne devraient pas être inférieures à certains seuils, selon la température de l'eau. Ces critères sont présentés au tableau IV.

**Tableau IV: Critères de qualité de l'eau de surface en oxygène dissous (pour la protection de la vie aquatique)**

Température de l'eau °C	Concentration en oxygène	
	mg/L	%
0	8	54
> 0 à 5	7	
> 5 à 15	6	
> 15 à 20	5	57
> 20 à 25		63

Source : [http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres\\_eau/details.asp?code=S0306](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/details.asp?code=S0306)

Les poissons d'eaux froides comme les salmonidés tolèrent mal les concentrations en oxygène inférieures à environ 5 mg/L. Ceci ne veut pas dire que les salmonidés ne peuvent vivre dans les lacs ayant des eaux profondes anoxiques. Dans de tels lacs, cependant, le volume d'eau habitable par les salmonidés durant l'été sera restreint à une mince strate et le nombre de poissons pouvant y vivre sera nécessairement réduit.

<sup>6</sup> Pour plus de détails, veuillez consulter la fiche L'oxygène dissous de la Trousse des lacs.

Tel que mentionné précédemment, les concentrations en oxygène dissous d'un lac constituent également un élément d'évaluation supplémentaire à la classification de leur niveau trophique (oligotrophe, mésotrophe, eutrophe). En effet, dans les lacs eutrophes enrichis en matière organique, principalement par des résidus d'organismes végétaux tels que les algues microscopiques (phytoplancton), les algues macroscopiques (algues filamenteuses et périphyton) et plantes aquatiques, l'importante **respiration des organismes** décomposeurs consommera une bonne partie de l'oxygène présent dans l'hypolimnion de ces lacs durant l'été.

Il est toutefois important de comprendre que dans bien des cas, les déficits en oxygène observés dans l'hypolimnion des lacs sont des phénomènes naturels reliés à la morphométrie de leur cuvette et de leur bassin versant. C'est que l'on appelle l'**anoxie morphométrique** :

- Les **lacs peu profonds** possèdent souvent un hypolimnion peu épais ne permettant d'emmagasiner qu'une faible quantité d'oxygène dissous qui sera rapidement consommée en été par la respiration naturelle des organismes aquatiques.
- Il arrive que le **brassage printanier** des eaux des lacs des Laurentides soit **incomplet**, ce qui empêche la redistribution de l'oxygène à travers toute la colonne d'eau du lac au printemps. Il est donc possible que certains lacs sujets à un brassage printanier incomplet débutent la période de stratification thermique estivale avec un déficit d'oxygène dans l'hypolimnion.
- Une bonne proportion de la surface des lacs dont la **profondeur moyenne** est faible (< 5 mètres) se retrouve en zone littorale. Cette zone peu profonde et éclairée jusqu'aux sédiments est disponible pour la colonisation par les plantes aquatiques. Ces lacs seront donc naturellement plus productifs que les lacs dont la zone peu profonde est limitée et dont la pente est élevée. Dans les lacs avec profondeur moyenne faible, mais qui possèdent tout de même une zone plus profonde permettant la stratification thermique, la matière organique produite dans la zone littorale se retrouvera accumulée dans une zone restreinte du lac à la fosse, où la décomposition pourra s'effectuer de façon plus intense.

**Les lacs des Laurentides peuvent être classifiés en cinq types selon la répartition de l'oxygène de la colonne d'eau<sup>7</sup> (CRE Laurentides adapté de Carignan, 2008).**

---

<sup>7</sup> Les valeurs de superficie et de profondeur utilisées pour la classification sont approximatives

#### **A. Lacs profonds (> 20 mètres à la fosse) assez bien oxygénés en profondeur :**

Cette catégorie est représentée par les lacs dont toute la colonne d'eau se sature en oxygène dissous au printemps et dont la teneur en oxygène décroît progressivement durant l'été mais reste supérieure à **6 mg/L** dans la majeure partie de l'hypolimnion, jusqu'au brassage automnal. Ces lacs possèdent généralement une superficie supérieure à 1 km<sup>2</sup>.

#### **B. Petits lacs (superficie < 1 km<sup>2</sup>) profonds (> 20 mètres à la fosse) totalement anoxiques en profondeur :**

Cette catégorie comprend les petits lacs profonds où l'emprise du vent est insuffisante à provoquer un brassage au printemps et parfois même en automne. Ces lacs peuvent donc débuter leur période de stratification thermique avec un déficit prononcé en oxygène dissous en début d'été et ainsi, l'hypolimnion de ces lacs restera anoxique durant l'été.<sup>8</sup>

#### **C. Lacs de profondeur intermédiaire (8 à 20 mètres à la fosse) développant une anoxie prononcée :**

Cette catégorie comprend les lacs où, en raison du faible volume hypolimnétique (hypolimnion < 8 mètres d'épaisseur), la quantité d'oxygène qui y est introduite lors du brassage printanier est totalement épuisée au cours de l'été. De plus, en raison de leur petite taille en général, le brassage printanier est souvent incomplet dans de tels lacs. Ces lacs peuvent également posséder une faible profondeur moyenne et donc une superficie de la zone littorale importante et disponible pour la colonisation par les plantes aquatiques et les algues.<sup>10</sup>

#### **D. Lacs profonds (> 20 mètres à la fosse) développant un déficit en oxygène ou une anoxie prononcée :**

Cette catégorie comprend les lacs profonds dont la concentration hypolimnétique en oxygène devient inférieure à **6 mg/L** ou devenant anoxiques en profondeur durant l'été, en raison de leur productivité biologique. Cette productivité accrue peut être reliée en partie à des facteurs morphométriques et hydrologiques naturels (ratio de drainage élevée, temps de renouvellement très court, superficie de la zone littorale importante, présence de milieux humides) ou anthropiques (reliée aux activités humaines du bassin versant). Ces lacs possèdent généralement une superficie supérieure à 1 km<sup>2</sup>.

#### **E. Lacs peu profonds (< 8 mètres à la fosse) sans hypolimnion bien défini :**

Les lacs de cette catégorie sont trop peu profonds pour emmagasiner une réserve d'oxygène appréciable en profondeur suite au brassage printanier. L'oxygène initialement contenu dans le métalimnion y est donc très rapidement épuisé. Également, la productivité de ces lacs tend à être plus élevée que dans les lacs stratifiés en raison du recyclage des nutriments entre les sédiments et la colonne d'eau.

---

<sup>8</sup>D'autres facteurs morphométriques et hydrologiques naturels (ratio de drainage élevé, temps de renouvellement très court, faible profondeur moyenne) peuvent également contribuer à accentuer le phénomène d'anoxie observé.

Mis à part les problèmes que l'anoxie des milieux lacustres peut engendrer pour la faune aquatique, elle peut, dans certains cas, contribuer au processus de relargage du phosphore associé aux sédiments. La couche superficielle des sédiments des lacs peut souvent contenir d'importantes quantités d'oxydes de fer et de manganèse qui contribuent à immobiliser le phosphore en suspension dans l'eau. L'absence d'oxygène dans l'hypolimnion des lacs peut donc provoquer une libération massive de ce phosphore lié aux sédiments, ce qui aura par ailleurs pour conséquence d'augmenter la conductivité spécifique au fond du lac. Sur le Bouclier canadien cependant, l'anoxie n'est pas toujours accompagnée d'une libération importante de phosphore par les sédiments (Carignan, 2004).

### 3.3 Le pH<sup>9</sup>

Le pH d'une eau correspond à une échelle couramment employée pour exprimer la concentration d'une eau en ions H<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup>. Formellement, le pH désigne le logarithme négatif de la concentration en ion H<sup>+</sup>. Ainsi, l'eau pure aura un pH de 7, une eau acide aura un pH inférieur à 7 et une eau basique aura un pH supérieur à 7.

**Tableau V : Références de pH** (Source : CRE Laurentides, 2009)

Concentration en ion H <sup>+</sup> (Mole/litre)	pH	Exemples
0,01	2	Jus de citron, vinaigre
0,001	3	Jus d'orange
0,0001	4	Jus de tomate, pluie acide
0,00001	5	Boisson gazeuse, café, pluie normale
0,000001	6	Lait
0,0000001	7	Eau pure
0,00000001	8	Eau de mer
0,000000001	9	Bicarbonate de soude
0,0000000001	10	Lait de magnésie
0,00000000001	11	Ammoniaque
0,000000000001	12	Détergents
0,0000000000001	13	Eau de javel

<sup>9</sup> Pour plus de détails, veuillez consulter la fiche *Le pH* de la *Trousse des lacs*.

Le pH, tout comme la température et l'oxygène dissous, nous renseigne sur la qualité de l'habitat des organismes aquatiques. La plupart des organismes aquatiques ne tolèrent pas les eaux fortement acides (pH < 5,0). Les décomposeurs sont peu efficaces dans un environnement trop acide ou trop basique. Le pH idéal pour la majorité des organismes aquatiques se situe donc autour de la neutralité. Les valeurs de pH comprises entre 6,5 et 9,0 constituent l'intervalle pour la protection de la vie aquatique selon les critères établis par le MDDEFP<sup>10</sup>. La plupart des lacs des Laurentides se situent dans ces limites.

La mesure du pH d'un lac nous renseigne aussi sur l'effet d'une substance ajoutée, aussi bien du point de vue acide que basique. D'innombrables substances sont susceptibles de se dissoudre dans l'eau d'un lac. Parmi les plus répandues se trouvent le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) contenu dans l'air ou résultant de la respiration des organismes aquatiques (caractère acide), les acides humiques, résidus de la décomposition végétale (caractère acide) et les roches calcaires (caractère basique).

Ainsi, un lac fortement coloré, enrichi en carbone organique dissous (COD), aura de façon générale, un caractère plus acide. Il est important de noter que le pH diminue fréquemment dans l'hypolimnion des lacs en raison de la production de CO<sub>2</sub> par la respiration des bactéries qui dégradent la matière organique.

### 3.4 La conductivité spécifique<sup>11</sup>

La conductivité spécifique est la propriété qu'a une solution de transmettre le courant électrique. Plus la conductivité spécifique est élevée, plus l'eau contient des substances minérales dissoutes. Toutefois, la mesure de la conductivité spécifique ne peut pas nous informer sur la nature des matières dissoutes (minéraux naturels ou polluants) dans l'eau. Souvent, la conductivité spécifique sera exprimée en µS/cm. La multisonde mesure quant-à-elle la conductivité spécifique en mS/cm, où 1 mS/cm équivaut à 1000 µS/cm. On considère qu'une eau douce présente une conductivité inférieure à 200 µS/cm.

La conductivité de l'eau d'un lac sera grandement influencée par sa géologie et celle de son bassin versant. Par exemple, pour les lacs situés en zone de roche granitique, de gneiss ou de sable, ce qui est le cas de la majeure partie du territoire de la région des Laurentides, la conductivité naturelle de l'eau devrait se situer entre **15 et 40 µS/cm** (Carignan 2012 adapté de Kalff, 2002). Ainsi pour ces lacs, une conductivité spécifique plus élevée que **125 µS/cm**, démontre clairement l'influence des activités

---

<sup>10</sup> Pour plus de détails, veuillez consulter les *Critères de qualité de l'eau de surface* du MDDEFP au : [http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres\\_eau/details.asp?code=S0381](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/details.asp?code=S0381)

<sup>11</sup> Pour plus de détails, consulter la fiche *La conductivité de la Trousse des lacs*.

humaines dans le bassin versant du lac, via notamment l'apport de sels déglaçants épanchés sur nos routes l'hiver (Richard Carignan, Communication personnelle, 2010).

Il est préférable de tenir compte de la valeur mesurée à 1 mètre de profondeur lorsqu'on veut estimer la conductivité spécifique moyenne d'un lac. Même si ce descripteur varie peu en fonction de la profondeur, une augmentation importante peut être observée près du fond des lacs en condition anoxique.



### III. Annexes

#### Annexe 1

Détails des suivis effectués dans le cadre du programme de *Suivi complémentaire de la qualité de l'eau – volet 1 Multifonction de Bleu Laurentides*, de 2005 à 2012.

Nbr de suivis	Municipalité	MRC	Année						
			2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012
Allard	Lac-Saguay	AL					3		
Anne	Mille-Isles/Gore/Wentworth/Morin-Heights	ARG/PDH						1	
Argenté	Wentworth-Nord	PDH				1			
Barron	Gore	ARG			3				
Beaven	Montcalm	LAUR				3			
Beccs-Scie (des)	Saint-Sauveur	PDH				3	1		
Bessette	Mont-Tremblant	LAUR							1
Bigelow	Notre-Dame-du-Laus	AL				2			1
Bixley	Wentworth	ARG							1
Boileau	Lac-Supérieur	LAUR							1
Boivin	Saint-Colomban	RDN					1		
Brewer	Wentworth-Nord	PDH							1
Brûlé	Sainte-Agathe-des-Monts	LAUR		4			2		
Caché (Grand lac)	La Macaza	AL	3	3	3		1		
Cameron	Amherst	LAUR						1	
Canardière (de la)	Val-Morin	LAUR					2		
Capri	Saint-Colomban	RDN					1		
Caribou (Petit lac)	Labelle	LAUR		2					
Caroline	Gore	ARG	3						
Cerf (Grand lac du)	Lac-du-Cerf	AL						1	
Cerf (Petit lac du)	Lac-du-Cerf	AL						1	
Charlesbois	Sainte-Marguerite-du-lac-Masson	PDH				3			
Chats (des)	Saint-Sauveur	PDH							1
Chevreuil	Amherst	LAUR						1	
Clef (la)	Saint-Donat	MAT							1
Clément	La Conception	LAUR							1
Clovis	Gore	ARG						1	
Cœur (en)	Saint-Hippolyte	RDN	3	3	3				
Cook	Morin-Heights	PDH					2		
Corbeau (du)	Notre-Dame-du-Laus	AL							1
Corbeil	Morin-Heights	PDH					2		

Lac	Municipalité	MRC	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012
Cornes (des)	Chute-Saint-Philippe	AL					4		
Croche	Sainte-Marguerite-du-lac-Masson	PDH				3			1
Crooks	Brownsburg-Chatam	ARG				3			
Dainava	Mille-Isles	ARG		2				1	
Décharge (de la)	Amherst	LAUR						1	
Desforges	Val-des-Lacs	LAUR						1	
Duhamel	Mont-Tremblant	LAUR				3	1		
Dupuis	Estérel	PDH						1	
Durocher	Val-des-Lacs	LAUR			3				1
Écho	Morin-Heights	PDH					1		
Écho-Quatorze-Îles	Saint-Hippolyte - Prévost	RDN	3	3	3		1		
Équerre (à l')	Lac-Supérieur	LAUR						1	
Équerre (de l')	La Minerve	LAUR				3	2		
Farmer	Wentworth-Nord	PDH		2					
Fiddler	Mille-Isles	ARG		2					
Forget	Mont-Tremblant	LAUR							1
Fortier	Mont-Tremblant	LAUR						1	
Gagnon	Val-des-Lacs	LAUR		2					
Gauthier	Mont-Tremblant/Lac-Supérieur	LAUR						1	
Gauvin	Lac-des-Écorces	AL					4	1	
Gélinas	Mont-Tremblant	LAUR							1
Gémont	Saint-Adolphe-d'Howard	PDH							1
Grace	Wentworth/Gore	ARG							1
Grandes Baies (des)	Nominugue	AL							4
Green	Harrington	ARG				3			
Grothé	Wentworth-Nord	PDH					1		
Gustave	Wentworth-Nord	PDH					1		
Haie (de la)	Rivière-Rouge	AL					1		
Heureux (L')	Saint-Colomban	RDN					1		
Hughes	Gore/Mille-Isles	ARG						1	
Ile (à l')	Val-des-Lacs	LAUR						1	
Iles (des)	Saint-Aimé-du-lac-des-Iles/Mont-Laurier	AL	3	3	3			1	
Îles (des)	Sainte-Marguerite-du-Lac-Masson/Entrelacs	PDH/MAT							1
Indien	Brownsburg-Chatam	ARG						1	
Joly	Labelle	LAUR		2					
Joseph	Val-des-Lacs	LAUR	3	2					
Labelle	Labelle/La Minerve	LAUR		4					1
Lacasse	Lac-Supérieur	LAUR							1

Lac	Municipalité	MRC	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012
Lacoste	Rivière-Rouge	AL					2		
Lamoureux	Mont-Tremblant	LAUR						1	
Légaré	Saint-Colomban	RDN					1		
Léonard	Saint-Sauveur	PDH							1
Lesage	Nominingue, TNO Lac-Ernest, La Minerve	AL							1
Lise	Wentworth/Gore	ARG							1
Louisa	Wentworth/Wentworth-Nord	ARG/PDH	3	3	3			1	
Louise	Saint-Adolphe-d'Howard	PDH						1	
MacDonald (Grand lac)	Harrington	ARG					2		
MacDonald (Petit lac)	Harrington	ARG					2		
Manitou	Ivry-sur-le-lac	LAUR							1
Marsan	Rivière-Rouge	AL						1	
Merisier	Sainte-Agathe-des-Monts	LAUR		2					
Millette	Sainte-Adèle	PDH						1	
Millette	Saint-Sauveur	PDH							1
Mine (de la)	Amherst	LAUR							1
Montagne (de la)	Saint-Adolphe-d'Howard	PDH					2		
Munich	Montcalm	LAUR						1	
Napoléon	La Minerve	LAUR							1
Noir	Sainte-Agathe-des-Monts	LAUR					2		
Noiret	Wentworth-Nord	PDH					1		
Nominingue (Grand lac)	Nominingue	AL	3	3	3				3
Nominingue (Petit lac)	Nominingue	AL			3			1	
Notre-Dame	Wentworth-Nord	PDH		4		1	1		
Orignal	Val-des-Lacs	LAUR		2					
Ouimet	Mont-Tremblant	LAUR						1	
Papineau	Sainte-Agathe-des-Monts	LAUR		4					
Paquet	Rivière-Rouge	AL					2		
Paul	Mille-Isles	ARG		2		3	1		
Pérodeau	Chute-Saint-Philippe	AL					4	1	
Poissons (aux)	L'Ascension	AL				3		1	
Pope	Mont-Laurier	AL					4		
Quenouille	Val-des-Lacs	LAUR		2		3	2		
Renaud	Prévost	RDN					1		
Renaud	Sainte-Adèle	PDH				3	1		
René	Prévost	RDN					2		
Roger	Wentworth/Gore	ARG							1
Rognon	Amherst	LAUR							1
Rond	Amherst	LAUR	3						

Lac	Municipalité	MRC	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012
Rond	Montcalm	LAUR				3	1		
Rossignol	Lac-Supérieur	LAUR							1
Sables (des)	Sainte-Agathe-des-Monts	LAUR		6					
Saguay	Lac-Saguay	AL					4		
Saint-Denis	Saint-Adolphe-d'Howard	PDH							1
Sainte-Marie	Nomingue	AL				3		1	
Sainte-Marie (est)	Saint-Adolphe-d'Howard	PDH							1
Sainte-Marie (ouest)	Saint-Adolphe-d'Howard	PDH							0
Saint-François	Prévost	RDN					1		
Saint-Joseph	Nomingue	AL				3		1	
Saint-Joseph	Saint-Adolphe-d'Howard	PDH							1
Saint-Louis	Sainte-Marguerite-du-Lac-Masson/ Sainte-Lucie-des-Laurentides	LAUR/PDH							1
Saint-Louis	Wentworth-Nord	PDH						1	
Saint-Onge	Saint-Hippolyte	RDN							1
Saint-Paul	Lac-Saint-Paul / Ferme-Neuve	AL						1	
Saint-Victor	Wentworth-Nord	PDH				1			
Sarrazin	Sainte-Lucie-des-Laurentides	LAUR						1	
Sauvage	Saint-Faustin-lac-Carré	LAUR							1
Serpent	Notre-Dame-du-Laus	AL				2		1	
Solar	Lachute	ARG	3						
Sommets (des)	Sainte-Marguerite-du-lac-Masson	PDH				3	1		
Spectacles	Harrington/Wentworth-Nord	ARG/PDH							1
Sucrerie (de la)	Amherst	LAUR						1	
Sucreries (des)	Wentworth/Gore	ARG							1
Sylvère	Saint-Donat	MAT						1	
Tamaracouta	Mille-Isles	ARG		2					
Théodore	Val-Morin/Morin-Heights	LAUR/PDH						1	
Travers	Saint-Adolphe-d'Howard	PDH	3	3			1		
Trois Montagnes (des)	La Conception	LAUR						1	
Truite (à la)	La Minerve	LAUR					2		
Vaillant	Chute-Saint-Philippe	AL					2		
Vert	Saint-Adolphe-d'Howard	PDH	3	3	3			1	
Violon	Sainte-Marguerite-du-lac-Masson	PDH							1
Wentworth	Wentworth-Nord	PDH				1	1		
William-Henry	Wentworth-Nord	PDH					1		

## Annexe 2.

### Compilation du *Suivi complémentaire de la qualité de l'eau de Bleu Laurentides – volet 1* multisonde, de 2005 à 2012.

MRC	Nombre de suivis (2005-2012)	Nombre de lacs (2005-2012)	Nombre de rapports-fiches (2005-2011)	Nombre de municipalités/TNO impliqués (2005-2012)
AL	96	26	35	14
ARG	40	19	16	6
ARG/PDH	12	3	5	N/A
LAUR	97	46	37	13
LAUR/PDH	2	2	1	N/A
MAT	2	2	1	2
PDH	72	33	30	7
PDH/MAT	1	1	0	N/A
RDN	28	10	7	3
<b>Grand total</b>	<b>350</b>	<b>142</b>	<b>132</b>	<b>45</b>

### Annexe 3.

#### Compilation du *Suivi complémentaire de la qualité de l'eau de Bleu Laurentides – volet 2 bathymétrie*, de 2010 à 2012.

MRC	Nombre de cartes (2010-2012)	Nombre de lacs (2010-2012)	Nombre de municipalités/TNO impliqués (2010-2012)
AL	38	27	15
ARG	12	12	5
ARG/PDH	3	3	N/A
LAUR	45	42	14
LAUR/PDH	2	2	N/A
MAT	4	4	2
PDH	29	28	7
PDH/MAT	1	1	N/A
RDN	2	2	1
<b>Grand total</b>	<b>136</b>	<b>121</b>	<b>44</b>

## IV. Références

Carignan, Richard (2012). *Communications personnelles*.

Carignan, Richard (2010, 2011 et 2012). *Cartes bathymétriques des lacs des Laurentides et des environs*. Produites en collaboration avec le CRE Laurentides. En ligne.  
<http://www.crelaurentides.org/bleu/bathymetrie.shtml>

Carignan, Richard (2008). *Évolution de l'état des lacs de la municipalité de Saint-Hippolyte entre 1998 et 2007*. Université de Montréal, Station de biologie des Laurentides, 60p.

Carignan, Richard (2004). *Limnologie Physique et chimique - partie 1*. Université de Montréal, Département de sciences biologiques, Note de cours BIO 3839, 64p.

Carignan, Richard et al. (2003). *État des lacs de la Municipalité de Saint-Hippolyte et de deux lacs de la Municipalité de Prévost en 2001 e 2002*. Université de Montréal, Station de biologie des Laurentides, 116 p.

Conseil régional de l'environnement des Laurentides (2009). *Trousse des lacs*. 2<sup>e</sup> édition, En ligne.  
[www.troussedeslacs.org](http://www.troussedeslacs.org) Page consultée décembre 2012.

Hade, André (2003). *Nos lacs : les connaître pour mieux les protéger*. Québec, Canada : Éditions Fides, 359p.

Horne, Alexander J. et Goldman, Charles R. (1994). *Limnology*. 2<sup>e</sup> édition, États-Unis : McGraw-Hill inc., 576p.

Kalff, Jacob (2002). *Limnology : inland water ecosystems*. États-Unis : Prentice-Hall inc., 592 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs (MDDEFP), Conseil régional de l'environnement des Laurentides (CRE Laurentides) et Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie et en environnement aquatique (GRIL) (2012). *Protocole de suivi du périphyton*. Québec, MDDEFP, Direction du suivi de l'état de l'environnement et CRE Laurentides, ISBN 978-2-550-62477-6 (PDF), 33 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). En ligne.

- o Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL).  
[www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsvl/](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsvl/)  
Page consultée décembre 2012.
- o Critères de qualité de l'eau de surface au Québec.  
[www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres\\_eau/index.asp](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp)  
Page consultée décembre 2012.

Pêches et Océan Canada (2010). *L'ABC de l'habitat du poisson. Guide pour comprendre l'habitat du poisson en eau douce*. Édition du Québec. En ligne.  
[www.qc.dfo-mpo.gc.ca/publications/habitat-poisson-fish-habitat/documents/habitatPoisson-fishHabitat-fr.pdf](http://www.qc.dfo-mpo.gc.ca/publications/habitat-poisson-fish-habitat/documents/habitatPoisson-fishHabitat-fr.pdf) Page consultée le 19 octobre 2012

Wetzel Robert G. (2001). *Limnology - Lake and river ecosystems*. 3e édition, États-Unis: Elsevier Science, 1006 p.