



DIAGNOSE ÉCOLOGIQUE SOMMAIRE DU LAC DE LA MINE

MUNICIPALITÉ D'AMHERST

Février 2008



Équipe de projet

GROUPE HÉMISPHERES

Daniel Néron	Chargé de projet, Géographe, M.Sc.
Marie-Ève Dion	Biologiste, B.Sc. Biol., M.Sc. Env.
Christian Corbeil	Tech. Am. f., T.P.

MUNICIPALITÉ

Louis Turmel	Conseiller municipal
Guylain Charlebois	Inspecteur municipal

PRÊT D'EMBARCATION

Municipalité d'Amherst

LABORATOIRE D'ANALYSES

Laboratoire d'analyse S.M.



Recyclable et fait de papier recyclé à 55%

Comment citer ce rapport:

Groupe Hémisphères (2008) *Diagnose écologique sommaire du lac de la Mine, municipalité d'Amherst*. Rapport d'expertise de 28 p. et 2 annexes.

Table des matières

1	MISE EN CONTEXTE ET MANDAT	9
2	MÉTHODOLOGIE	10
1.1	DIAGNOSE ÉCOLOGIQUE SOMMAIRE	10
2.1.1	<i>Morphométrie et hydrologie</i>	10
2.1.2	<i>Analyse physico-chimique</i>	10
3	RÉSULTATS	12
3.1	DESCRIPTION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE	12
3.2	DIAGNOSE ÉCOLOGIQUE SOMMAIRE	13
3.2.1	<i>Caractéristiques morphométriques et hydrologiques</i>	13
3.2.2	<i>Stratification estivale</i>	14
3.2.3	<i>Analyse physico-chimique</i>	16
3.2.4	<i>Niveau trophique</i>	20
3.2.5	<i>Évaluation de la capacité de support du lac</i>	21
4	CONCLUSION	23
4.1	DIAGNOSE SOMMAIRE.....	23
4.2	CYANOBACTÉRIES.....	23
4.3	CAPACITÉ DE SUPPORT DU LAC.....	25
5	RECOMMANDATIONS	25
5.1	RECOMMANDATIONS : CONTRÔLE DES POPULATIONS DE CASTOR.....	25
5.2	RECOMMANDATIONS : TRAITEMENT DES EAUX USÉES	25
5.3	RECOMMANDATIONS : PROTECTION DES LACS.....	25
6	RÉFÉRENCES	27

Liste des tableaux

Tableau 1. Données morphométriques du lac de la Mine	13
Tableau 2. Données hydrologiques des lacs à l'étude	13
Tableau 3. Résultats des analyses physico-chimiques	19
Tableau 4. Stades d'eutrophisation	20
Tableau 5. Échelle de Carlson concluant au stade trophique	21
Tableau 6. Stade trophique des lacs	21

Liste des figures

Figure 1. Localisation du lac à l'étude.....	12
Figure 2. Bassin versant du lac de la Mine	14
Figure 3. Profil d'oxygène et de température pour le lac à l'étude	15
Figure 4. Processus naturel et anthropique d'eutrophisation	20

Liste des annexes

Annexe I	Profil des profondeurs du lac de la Mine
Annexe II	Certificats d'analyses chimiques

1 MISE EN CONTEXTE ET MANDAT

Le lac de la Mine est un lac de villégiature localisé dans la municipalité d'Amherst, laquelle compte plus de 60 lacs. Quelques chalets sont présents autour du lac, particulièrement dans sa partie ouest. Deux autres petits lacs non loin en amont alimentent en eau ce plan d'eau.

Le lac de la Mine a connu un épisode de cyanobactéries à l'été 2007. Le premier avis a été émis 10 août, alors qu'il y avait présence localisée de cyanobactéries (MSSS, 2007). Il devient donc important de comprendre plus à fond l'écologie de ce lac et de se questionner à savoir si sa santé lui permet de supporter le développement actuel de la villégiature.

C'est dans ce contexte que la municipalité d'Amherst a retenu les services professionnels de Groupe Hémisphères pour procéder à l'acquisition des connaissances de base essentielles sur le lac de la Mine. L'objectif ultime des travaux proposés est de poser un diagnostic approprié sur l'état de santé de ce lac. L'approche retenue dans le cadre du mandat consiste en une évaluation de la physico-chimie de l'eau, menant à l'évaluation du niveau trophique du plan d'eau, afin de mieux connaître son état de santé actuel, puis l'évaluation de la capacité de support du lac.

Le biogéographe Daniel Néron est chargé de ce projet et a procédé à l'échantillonnage estival. La municipalité a activement participé au projet, notamment à la récolte de données.

L'essentiel des informations environnementales recueillies dans le cadre des travaux est colligé dans le présent rapport. Celui-ci comprend d'abord la méthodologie des travaux, l'ensemble des résultats obtenus pour chacun des volets de l'étude, puis les conclusions et les recommandations.

2 MÉTHODOLOGIE

1.1 Diagnose écologique sommaire

2.1.1 Morphométrie et hydrologie

L'examen des documents cartographiques a permis de calculer les caractéristiques morphométriques observées du lac de la Mine (superficie, volume d'eau, indice de volume, longueur et largeur maximales, profondeur maximale moyenne). Cette première étape avait également pour but d'évaluer la profondeur moyenne et le module annuel (volume d'eau) associé au lac, lesquels permettent de quantifier son temps de renouvellement, une valeur essentielle à son évaluation.

La carte bathymétrique étant inexistante pour le lac de la Mine, nous avons procédé au relevé du profil des profondeurs à l'aide d'un sonar de profondeur. Chaque point de mesure était positionné à l'aide d'un appareil GPS à antenne WAAS. Une méthode de calcul élaborée à l'université de Chicoutimi (Bourassa et Joly, 1977) permet d'évaluer, à faible coût et avec une précision raisonnable, le volume d'eau du lac à partir d'un profil en long des profondeurs.

2.1.2 Analyse physico-chimique

Il a été jugé pertinent de mesurer un certain nombre de paramètres menant à l'évaluation du niveau trophique, afin d'intégrer l'état de santé actuel du lac. La période automnale ou printanière est généralement associée à l'isothermie (homogénéité) de la colonne d'eau, appelée communément la période de brassage, tandis qu'à l'été, nous sommes en présence d'un gradient de température dans la colonne d'eau appelé stratification thermique. Le relevé en été permet d'évaluer le niveau trophique d'un lac à l'aide de l'échelle de Carlson, quoiqu'il est pertinent de relever le phosphore tout au long de la période sans glace.

En limnologie, le point le plus profond du lac sert, de manière standard, de lieu d'échantillonnage des paramètres physicochimiques de l'eau parce que les résultats de la collecte y sont davantage représentatifs de l'ensemble du lac, que cela constitue une procédure standard et permet dès lors des comparaisons d'un plan d'eau à un autre.

Les paramètres physicochimiques ont été prélevés à un demi-mètre sous la surface du lac. Les prélèvements pour la mesure du phosphore total (PT) ont quant à eux été effectués selon la méthode standard à trois reprises au point le plus profond du lac. Le lac Marie-Paule et les deux tributaires du lac de la Mine ont aussi été échantillonnés pour la mesure du PT. Tous les échantillons prélevés ont été expédiés de façon conforme aux normes reconnues dans un délai de 24 heures suivant leur prélèvement à un laboratoire accrédité pour l'analyse des eaux de surface. Les prélèvements ont été effectués le 10 septembre 2007. Une deuxième visite a permis d'échantillonner à nouveau les nutriments que sont le PT et l'azote le 20 novembre 2007, durant le brassage automnal du lac.

Certaines mesures ont été réalisées *in situ*. La mesure de l'oxygène dissous et de la température a été réalisée sur l'ensemble de la colonne d'eau au point le plus profond du lac en utilisant un oxymètre calibré sur place de marque *YSI* (modèle 51B). Une sonde de mesure de marque *Hanna* a permis d'évaluer le potentiel hydrogène (pH) et la conductivité spécifique. Finalement, le disque de *Secchi* a servi à mesurer la transparence du lac, en mètre. Il s'agit d'un disque de 20 centimètres peint en noir et blanc que l'on immerge à partir de la surface jusqu'à sa disparition.

Soulignons finalement l'apport de certaines données physico-chimiques de la firme Biofilia provenant d'un relevé similaire réalisé sur le lac de la Mine le 23 août 2007. C'est dans le but d'améliorer la connaissance de l'état de santé du lac qu'a été effectué l'échange de données.

3 RÉSULTATS

Cette section présente l'ensemble des résultats, ainsi que l'interprétation des données obtenues des différents relevés réalisés sur le lac à l'étude.

3.1 Description du territoire à l'étude

Le lac de la Mine est alimenté par deux ruisseaux qui proviennent du lac Bouchard, situé au nord du lac de la Mine, et du lac Marie-Paule, situé à l'ouest. Ces lacs sont de faible superficie, le lac Bouchard ayant une superficie de 1,98 ha et le lac Marie-Paule, 2,45 ha. La décharge du lac de la Mine se déverse dans la rivière Maskinongé, un tributaire de la rivière Rouge. La figure 1 présente la localisation du lac de la Mine.

Le lac de la Mine est situé au sud de la localité de St-Rémi-d'Amherst. Une ancienne mine de silice se trouve à l'extérieur du bassin versant du lac de la Mine, à plus d'un demi-kilomètre au-delà de sa limite sud-est plus précisément. Cette mine fut en fonction de 1912 à 1945 et plusieurs centaines de milliers de tonnes de silice en furent extraites (MRNF, 2003). Le procédé comprenait l'extraction de la silice et l'accumulation des résidus miniers en quantité telle qu'ils auraient rejoint le lac pour venir à former une large platière à l'est du plan d'eau (comm. pers. de G. Charlebois).

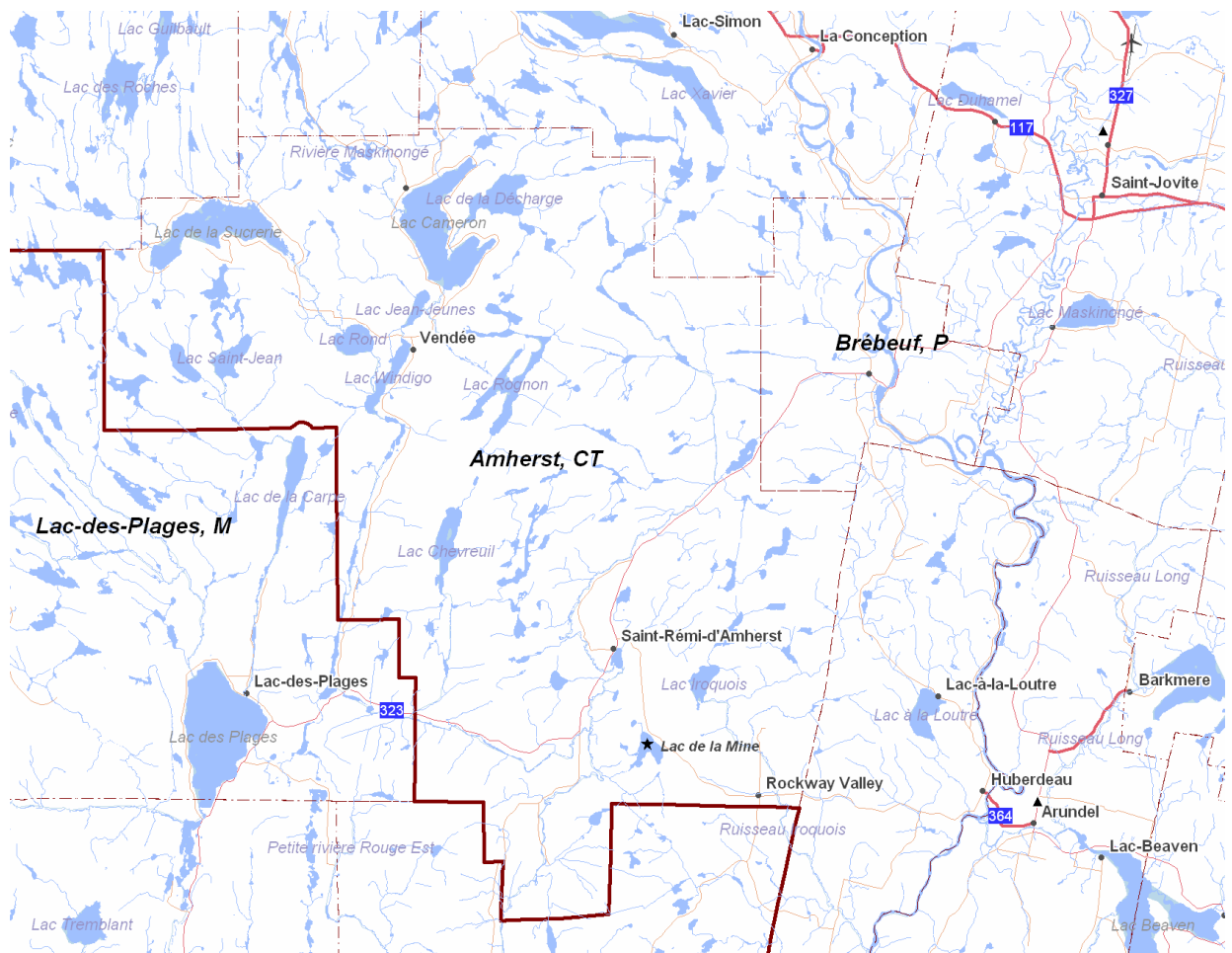


Figure 1. Localisation du lac de la Mine

3.2 Diagnose écologique sommaire

3.2.1 Caractéristiques morphométriques et hydrologiques

Les données du périmètre ou de la profondeur moyenne sont des données morphométriques simples, qui renseignent grandement sur l'évolution passée et future d'un lac. Le tableau 1 rassemble les caractéristiques morphométriques mesurées sur le lac.

La profondeur maximale du lac à l'étude est 6,3 m. Le profil des profondeurs mesurées du lac de la Mine se trouve à l'annexe I.

L'indice de développement des rives est le rapport du périmètre du lac sur le périmètre d'un lac de forme circulaire ayant la même superficie. La forme découpée des rives du lac fait grimper l'indice de développement des rives à une valeur élevée. Cette particularité a pour conséquence qu'un plus grand nombre de résidences peut théoriquement occuper la rive comparativement à un plan d'eau circulaire de même superficie (un indice de 1 représente une forme circulaire). Il est donc davantage vulnérable à la qualité de son aménagement riverain. Le lac de la Mine a un indice de développement des rives 2,0.

Tableau 1. Données morphométriques du lac de la Mine

Prof. moy. Z (m)	Prof. max. Z_{max} (m)	Longueur maximum (km)	Aire du lac A_0 (ha)	Périmètre (km)	Indice de développement des rives
3,4	6,3	0,98	40,10	4,57	2,0

Une notion essentielle dans l'étude de l'hydrologie des lacs est celle du bassin versant. Cette aire est délimitée par l'ensemble des sommets où se partage l'écoulement des eaux vers la cuvette du lac, c'est-à-dire l'ensemble du territoire qui recueille les eaux de précipitations et les dirige vers le lac. Cette subdivision naturelle du territoire permet de délimiter physiquement le domaine des interactions, des interférences et des utilisations qui peuvent modifier la ressource eau en différents points du bassin et éventuellement celle du lac. Le tableau 2 montre les caractéristiques hydrologiques du lac. Son bassin versant est présenté à la figure 2.

Le module annuel du lac a été estimé à partir d'un débit spécifique moyen annuel de 15,5 litres par seconde par kilomètre carré, selon la carte des débits spécifiques moyens du Service d'hydrométrie du MDDEP (1980).

Tableau 2. Données hydrologiques du lac de la Mine

Volume d'eau (m ³)	Bassin versant* (km ²)	Module annuel (m ³ /an)	Renouvellement τ (jour)
1 381 000	1,997	977 000	516

* Incluant l'aire du lac

Le *temps de renouvellement* correspond au temps nécessaire pour que toute l'eau d'un lac soit renouvelée. C'est un bon indicateur de la santé d'un lac. Malgré un bassin versant de faible superficie qui

amènera un faible apport en eau, le temps de renouvellement du lac est semblable à la moyenne québécoise d'un an et demi. C'est le volume d'eau peu important, toute proportion gardée, qui contrebalance l'équation. Un temps de renouvellement long permet une plus grande sédimentation des particules et des nutriments, particulièrement du phosphore (Pourriot et Meybeck, 1995).

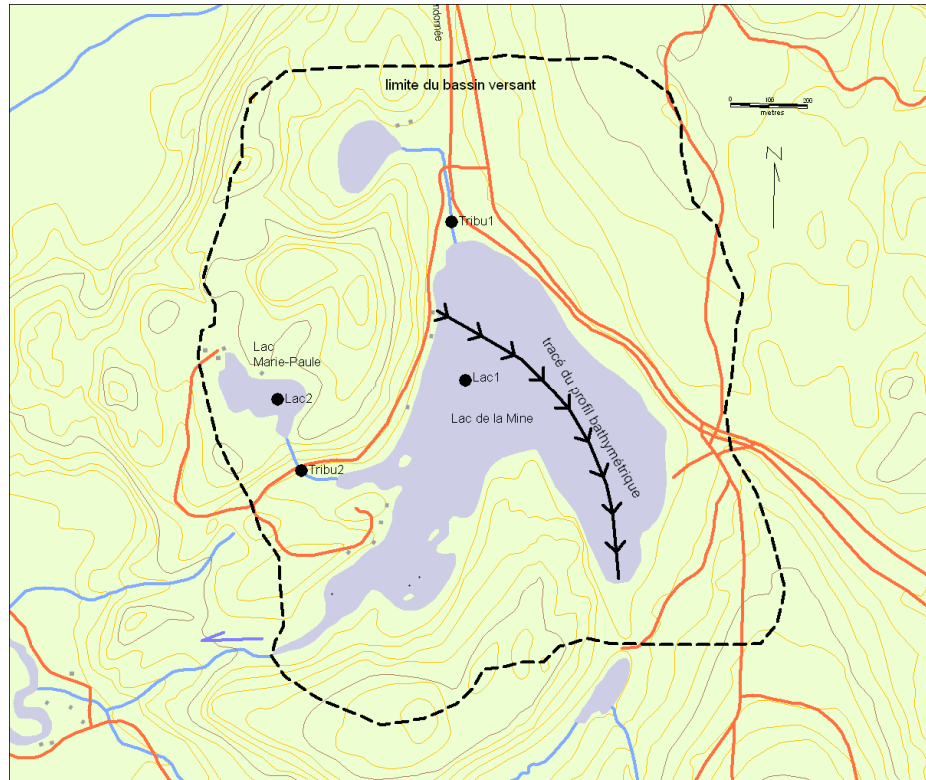


Figure 2. Bassin versant du lac de la Mine

3.2.2 Stratification estivale

La stratification thermique est un phénomène physique naturel qui se produit dans la majorité des lacs du Québec. La stratification est plus prononcée durant la saison estivale. Lorsque la stratification est observée, le phénomène entraîne la formation de deux couches d'eau qui se mélangent difficilement. Cette brusque séparation s'appelle la thermocline. Elle correspond à la séparation entre deux masses d'eau, de température, de chimie et de densité différentes, et qui se sont bâties au cours de l'été. Ainsi, la couche du fond évolue quasiment en circuit fermé et souffre parfois d'un déficit en oxygène, car les micro-organismes s'en servent pour la dégradation, alors que l'oxygène de la surface n'est pas disponible pour l'eau en profondeur.

L'importance de ce déficit en oxygène est proportionnelle à la productivité réelle du lac. En effet, ce sont les micro-organismes des sédiments, qui utilisent l'oxygène pour la dégradation de la matière organique, qui sont à l'origine de cette carence. Cette activité biologique contribue donc en partie à diviser le lac en deux masses d'eau distinctes durant la période estivale. Sous nos latitudes, les lacs connaissent heureusement deux périodes de mélange complet (phénomène appelé *turnover*), lorsque la température de l'eau atteint uniformément quatre degrés au printemps et à l'automne.

La température et l'oxygène dissous ont fait l'objet d'un relevé sur l'ensemble de la colonne d'eau au point le plus profond du lac. La figure 3 présente les résultats obtenus en août (par Biofilia) et en septembre 2007 (par Groupe Hémisphères).

Le lac de la Mine présente une stratification thermique lors des deux campagnes de 2007, la baisse de température se produisant à environ six mètres. À partir de cette profondeur, il y a un déficit d'oxygène dans la colonne d'eau. De plus, dans les deux derniers mètres, il y a un important déficit, la concentration en oxygène avoisine le 0 mg/L. Une concentration de moins de 5 mg/l d'oxygène dissous dans la fosse du lac limite la survie des poissons à cette profondeur. Le relevé du 10 septembre montre un profil de type hétérograde négatif, commun aux lacs transparents, mais avec un fort déficit d'oxygène au niveau de l'hypolimnion, un scénario propre aux lacs moins profonds, selon Legendre et coll. (1980).

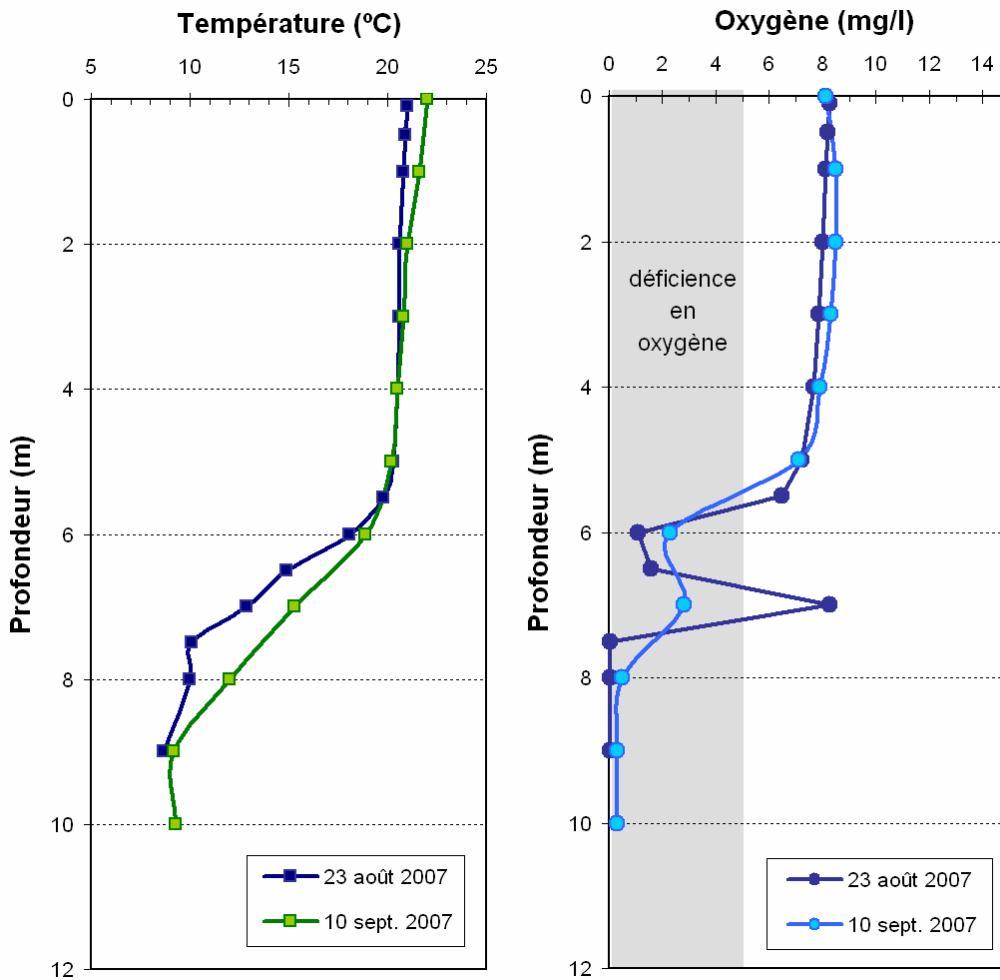


Figure 3. Profil d'oxygène et de température pour le lac à l'étude

Quoique similaire à celui de septembre, le profil d'oxygène du 23 août présente une nette discontinuité en profondeur et est donc atypique. Il ne correspond pas à un profil classique d'un lac peu productif (jeune) ou d'un lac productif (vieux), tel qu'illustré à la figure 4. Il s'agit d'un profil hétérograde négatif et positif rarement rencontré. Un profil hétérograde positif touche majoritairement de petits lacs de moins de trois kilomètres carrés selon Legendre *et coll.* (1980). Le déficit s'explique habituellement par une accumulation

d'une grande quantité de matière organique d'origine allochtone, une rivière par exemple, ce qui n'est pas le cas ici.

Le minimum métalimnique peut aussi résulter d'une intense activité biologique à la base de la thermocline selon Barroin (1995). La documentation scientifique mentionne que les algues vertes du plancton finissent par sédimenter à l'extérieur de la couche photique (couche où la lumière ambiante est suffisante pour permettre la photosynthèse des algues), soit juste au-dessus de l'hypolimnion. Contrairement aux algues bleues, les algues vertes ne contrôlent pas leur flottabilité. Cette accumulation de biomasse entraîne une demande en oxygène pour mener à bien le travail de décomposition. Les plongeurs aperçoivent quelquefois ce phénomène qui ressemble à une couche blanchâtre perchée entre deux eaux.

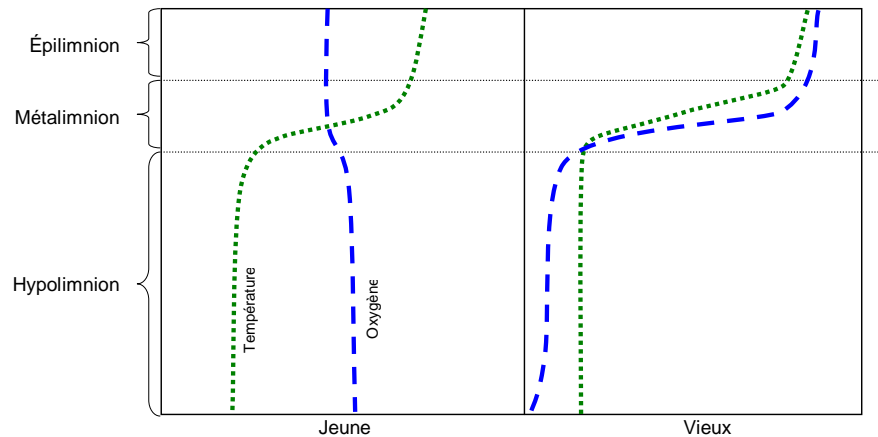


Figure 4. Deux profils typiques de l'oxygène

3.2.3 Analyse physico-chimique

Le tableau 3 présente les résultats obtenus pour les différents paramètres physico-chimiques échantillonnés. Les normes canadienne et québécoise sont aussi citées, ainsi que la moyenne régionale. Les copies des certificats d'analyses chimiques sont présentées à l'annexe II.

La **transparence** de l'eau mesurée à l'aide d'un disque de *Secchi* est une des mesures les plus universelles utilisées en limnologie. Ce simple appareil intègre plusieurs facteurs que sont la turbidité, la couleur de l'eau ainsi que la quantité d'organismes planctoniques en suspension. Le lac de la Mine présente une bonne transparence, le disque était visible jusqu'à une profondeur variant de 3,6 à 4,5 mètres, ce qui correspond d'un lac à la frontière entre un état oligotrophe (jeune) et mésotrophe (moyen) selon l'échelle de Carlson. Les résultats s'apparentent à la moyenne régionale.

Le **pH** est une échelle logarithmique d'acidité qui s'étend de 1 à 14, où la valeur de 7 correspond à la neutralité. En général, le pH des eaux naturelles se situe entre 6 et 9. Le dioxyde de carbone (CO₂) de l'air et les acides humiques diminuent le pH d'un plan d'eau, de même que les pluies acides. Inversement, le phytoplancton du lac, composé des algues unicellulaires, contribuera à hausser le pH durant le jour (jusqu'à 9), car les plantes consomment le CO₂ pour la photosynthèse. La nuit, le lac retrouvera un équilibre. Le pH obtenu est basique et supérieur à la moyenne régionale. Cela pourrait être dû à une productivité biologique élevée ou à la présence de composés calcaires à proximité du lac.

La **conductivité** évalue l'abondance des sels minéraux dissous dans l'eau. L'eau pure en contient très peu et conduit donc très peu l'électricité. L'eau douce a une valeur inférieure à 200 µmhos/cm, alors qu'une eau minérale (dure) a une valeur de 1000 µmhos/cm. Le lac de la Mine a une conductivité qui se situe dans la plage de l'eau douce et est légèrement inférieure à la conductivité moyenne régionale.

L'**azote** est un élément relativement peu abondant et une importante fraction est atmosphérique. Cet élément nutritif n'est pas aussi limitant pour la croissance des plantes que le phosphore, puisque les apports sont plus diversifiés (Hade, 2002). L'azote se retrouve sous différentes formes dans les lacs. La concentration en azote total (NT) correspond à la somme de toutes les formes d'azote.

L'**azote total Kjeldahl** est la somme de l'azote organique et de l'ammonium (NH₄⁺). L'azote organique constitue la moitié de l'azote dissous et se trouve, par exemple, dans les protéines (Pourriot et Meybeck, 1995). La dégradation de l'azote organique dégage de l'ammonium. Le lac a une concentration très élevée d'azote organique en été, ce qui laisse supposer une activité bactérienne importante. Un échantillon a été repris à l'automne et permet de constater que la concentration d'azote total Kjeldahl a diminué de moitié, mais cette valeur reste quand même élevée.

Les **nitrites** (NO₂⁻) sont une forme oxygénée de l'azote, qui est peu stable. On peut en trouver dans les lacs lorsqu'il y a un manque d'oxygène dissous. La présence de nitrites d'origine naturelle est plutôt rare. De plus, il est toxique pour les poissons. Les **nitrites** (NO₃⁻) sont la forme la plus oxygénée et cette forme est plus stable. Une concentration élevée de nitrates indique une pollution industrielle ou un lessivage important de terres agricoles (Nemerow, 1991). La valeur de nitrates et nitrites mesurée est faible et bien en deçà de la norme canadienne.

Le **phosphore** est un élément rare dans la biosphère et il est le facteur limitant dans la plupart des écosystèmes. En milieu naturel, le bassin versant fournit peu de phosphore. Une partie du phosphore qui se retrouve dans un lac est assimilé par les plantes aquatiques, alors que le reste se fixe dans les sédiments. La remise en circulation du phosphate des sédiments à la colonne d'eau fait partie du cycle du phosphore, surtout dans les lacs peu profonds, à cause de l'effet du vent. Aussi, en période d'anoxie (manque d'oxygène) ou lorsque les apports externes sont faibles, le relargage du phosphore est la principale source d'un lac.

La valeur moyenne de **phosphore total** (PT) obtenue lors de l'ensemble des relevés de 2007 pour le lac de la Mine est de 10,3 µg/L, ce qui est similaire à la moyenne régionale et au critère provincial de 10 µg/L, lequel s'applique en période sans glace pour des lacs dont la concentration naturelle est ou était inférieure à 10 µg/L. Il est défini par une augmentation maximale de 50 % par rapport à la concentration naturelle, sans dépasser un maximum de 0,01 mg/L. Il vise à éviter l'eutrophisation des lacs oligotrophes. Pour la protection d'habitats sensibles (ex. : lacs à touladis), ce critère doit être validé par des modèles associés au comportement d'oxygène dans l'hypolimnion.

Des échantillons de phosphore ont aussi été pris dans les tributaires du lac de la Mine et dans le lac Marie-Paule. Le tributaire 1, qui correspond à la décharge du lac Bouchard, présente une concentration très élevée de phosphore, soit 49 µg/L, ce qui est bien au-dessus du critère provincial de 20 µg/L pour les cours d'eau. Ce petit cours d'eau étant perturbé par de nombreux barrages de castor, les valeurs de phosphore y sont souvent élevées dans les Laurentides, selon Crago (2005). Le tributaire 2, soit la décharge du lac Marie-Paule, présente une concentration plus basse, soit 8 µg/L. Le lac Marie-Paule a pour sa part une concentration de phosphore plus élevée que celle du lac de la Mine, soit 16 µg/L.

Un échantillon d'eau de surface du lac de la Mine a été repris à l'automne, soit après le brassage automnal. Les valeurs sont très divergentes et il y a probablement un micro-organisme qui a fait grimper la valeur d'un des échantillons (celui dont la valeur est de 30 µg/L). Cette dernière est néanmoins comptabilisée. La concentration moyenne en phosphore à l'automne est donc similaire à celle de l'été et proche de 2 µg/L.

La plus grande partie du **carbone organique dissous** (COD) des eaux naturelles est composée de substances humiques et de matériaux végétaux et animaux partiellement dégradés, ainsi que de substances organiques provenant de divers effluents municipaux et industriels. Cette mesure permet notamment de suivre l'évolution d'une pollution organique dans les milieux aquatiques ou de comprendre une faible transparence due à des tannins qui donnent une coloration brunâtre à l'eau. La concentration de COD du lac de la Mine est faible, bien inférieure à la moyenne régionale.

La **chlorophylle α** est ce pigment qui donne une couleur verte aux plantes. Cette valeur permet de préciser la productivité du lac et de mieux discriminer la partie biologique influençant la transparence. La biomasse chlorophyllienne, composée du phytoplancton ou algue microscopique, est basse pour le lac de la Mine et inférieure à la moyenne régionale lors des deux relevés.

L'ion **chlorure** provient de la dissolution des sels comme le sel de table (chlorure de sodium), des déglaçants (chlorure de calcium) ou des abats-poussières. La concentration relevée au lac de la Mine est de 2 mg/L. Les lacs où aucune présence humaine n'est recensée révèlent des valeurs inférieures à 0,5 mg/L alors que là où la villégiature est dominante les valeurs atteignent 15,9 mg/L en moyenne (FAPEL, 1989). Seules des valeurs au-dessus de 45 mg/L sont considérées comme très élevées et font l'objet de mesures correctrices.

Tableau 3. Résultats des analyses physico-chimiques

Paramètres	Méthode	Lac de la Mine	Tribu-taire 1	Tribu-taire 2	Lac Marie-Paule	🇨🇦 CCME	🇧🇪 MDDEP	Moyenne de la région*
Température (°C)	Sonde Hanna	21	-	-	-	-	-	n.a.
Transparence (m)	Disque de Secchi	3,6 [‡] 4,5	-	-	-	-	-	4,3
pH	Sonde Hanna	7,5	-	-	-	6,5 – 9,0	5,0 – 9,5	7,04
Conductivité (µmhos/cm)	Sonde Hanna	46	-	-	-	-	-	50
Azote total Kjeldahl - été (mg N/L)	Laboratoire	0,40	-	-	-	-	-	0,20
Azote total Kjeldahl - automne (mg N/L)	Laboratoire	0,17	-	-	-	-		
Nitrates et nitrites (mg N/L)	Laboratoire	<0,10	-	-	-	<1,0	-	0,09
Azote total (mg/L)	Sommation **	<0,50	-	-	-	-	-	0,29
Phosphore total - été (µg/L)	Laboratoire	11 [‡] 13 8 8	49	8	16	-	Augmentation maximale de 50 % par rapport à la concentration naturelle du lac sans dépasser 10 µg/L. Pour les tributaires : 20 µg/L	10
Phosphore total - automne (µg/L)	Laboratoire	30 <2 <2	-	-	-	-		
Carbone organique dissous (mg/L)	Laboratoire	3,5	-	-	-	-	-	7,3
Chlorophylle α (µg/L)	Laboratoire	2,1 [‡] 2	-	-	-	-	-	3,3
Chlorure (mg/L)	Laboratoire	2,0	-	-	-	-	250	2,88

[‡] Données de la campagne du 23 août 2007

* Legendre et coll. (1980)

** Sommation des nitrites/nitrates et de l'azote Kjeldahl (NTK)

🇨🇦 Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement du CCME

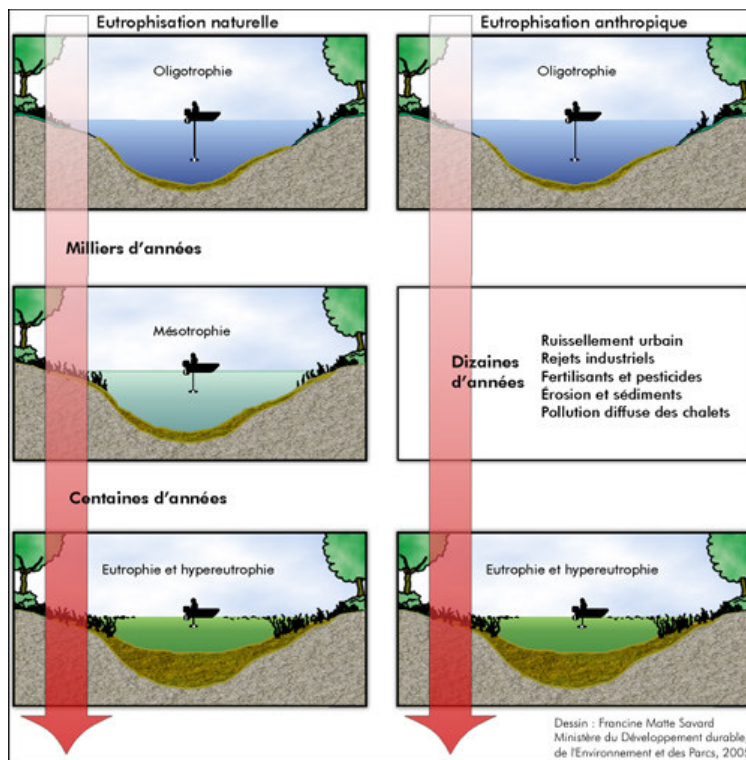
🇧🇪 Critères de qualité de l'eau de surface au Québec du MDDEP

3.2.4 Niveau trophique

Les lacs ont une durée de vie limitée et, comme les espèces vivantes, ils sont voués à plus ou moins brève échéance à cesser d'exister. Durant la vie d'un lac, sa flore et sa faune évoluent en parallèle avec la diminution de la profondeur moyenne. La raison d'un tel bouleversement s'explique du fait que la productivité biologique est de beaucoup supérieure en eau peu profonde et également en milieu aqueux riche en matières nutritives. Ainsi, après plusieurs milliers d'années, les lacs deviennent marécageux. Ce phénomène est irréversible. Il existe plusieurs stades de vieillissement et les principaux facteurs sont les conditions du bassin versant, le climat, la géologie et la biologie. Le processus entier s'appelle «eutrophisation» et comprend trois principaux stades (tableau 4) :

Tableau 4. Stades d'eutrophisation

Niveau	Âge	Description
Oligotrophe	Jeune	Pauvre en éléments nutritifs. Flore réduite. Oxygène dissous dans toute la masse d'eau.
Mésotrophe	Moyen	Enrichissement en matière organique. Déficit relatif en oxygène. Transparence entre 4 et 1 mètre.
Eutrophe	Vieux	Non transparent (<1m). Riche en éléments nutritifs. Déficit fréquent en oxygène. Algues microscopiques et filamenteuses. Prolifération des plantes aquatiques.



Malgré le fait que nos lacs sont nés de l'action des glaciers, il y a neuf à douze mille ans, beaucoup sont demeurés dans un état oligotrophe, c'est-à-dire relativement jeune. Aussi, il existe davantage de lacs anormalement vieillis près des communautés humaines dû à l'apport excessif de substances nutritives (eaux usées, engrais, érosion) ou de l'artificialisation des rives et de l'encadrement forestier. De ces substances nutritives, les composés phosphorés et azotés sont généralement considérés comme tenant le rôle-chef dans l'eutrophisation dite « culturelle » (figure 4).

Figure 5. Processus naturel et anthropique d'eutrophisation

L'échelle de Carlson (1977) est un modèle mathématique basé sur trois variables mesurées en surface du lac, soit la transparence, la biomasse phytoplanctonique (chlorophylle α) et la concentration du phosphore total. Chacune de ces variables fournit ses propres conclusions sur une même échelle trophique et sont donc de bons indicateurs du concept plus large du stade trophique. Le tableau 5 présente les valeurs des différentes variables mesurées par Carlson pour évaluer l'indice trophique, alors que le tableau 6 présente l'indice ainsi obtenu pour le lac à l'étude.

Tableau 5. Échelle de Carlson concluant au stade trophique

Stade trophique	Indice TSI	Transparence (m)	Phosphore total ($\mu\text{g/L}$)	Chlorophylle α ($\mu\text{g/L}$)
ultra-oligotrophe	20	16	3	0,34
oligotrophe	30	8	6	0,94
mésotrophe	40	4	12	2,6
mésotrophe	50	2	24	6,4
eutrophe	60	1	48	20
eutrophe	70	0,5	96	56
hyper-eutrophe	80	0,25	192	154

Selon Carlson, les indices servent d'indicateurs d'un stade trophique, mais les paramètres induisent une certaine variabilité selon la période mesurée. Ainsi, l'indice de la chlorophylle α donne un résultat plus près de la réalité pendant la période de productivité maximale (été), alors que le phosphore est habituellement un meilleur indicateur au printemps et à l'automne. Voici un exemple d'interprétation : puisque la valeur moyenne de transparence est de 4,1 mètres, un indice de 40 est attribué pour ce paramètre. La moyenne de trois indices indique 39, une position plus près du stade mésotrophe.

Tableau 6. Stade trophique des lacs

Paramètres	Classification trophique
Transparence	40
chlorophylle α	38
Phosphore total	38
Interprétation selon l'échelle de Carlson	Mésotrophe

3.2.5 Évaluation de la capacité de support du lac

Depuis trois décennies, des modèles mathématiques menant à l'évaluation de la capacité de support des lacs ont été mis de l'avant par des canadiens et des québécois. Ils demandent cependant une analyse complète des apports en phosphore du bassin versant, et ce, composante par composante, ce qui demande de mettre au point un système d'information géographique pour l'utilisation du sol, d'ajuster plusieurs coefficients régionaux en plus d'évaluer le caractère saisonnier ou permanent des résidents.

En 2006, le professeur Carignan de l'Université de Montréal a développé un modèle empirique pour estimer la concentration théorique du phosphore total ou PT en $\mu\text{g/L}$ (équation dévoilée lors du *Forum national sur les lacs*, Sainte-Adèle, juin 2006), qui simplifie grandement cette évaluation lorsque vient le

temps d'estimer ce à quoi l'état naturel devrait ressembler. Notons ici que ce modèle n'a pas encore fait l'objet d'une publication, est encore peu utilisé et devra faire ses preuves.

Elle tient compte de seulement quelques paramètres clef que sont le carbone organique dissous ou COD (en mg/L), le volume d'eau (en m³) du lac et le nombre de bâtiments construits à moins de 100 mètres de la rive. Le modèle tient en une équation qui prend la forme suivante :

$$PT_{\text{théorique actuelle}} = 1,4 \text{ COD} + 46817 (\text{bâtiments} / \text{volume du lac})$$

Seul le nombre de bâtiments manque à être calculé à cette étape. Nous avons utilisé la BDTQ en sachant que ce décompte est imparfait; certains bâtiments restent cachés à la photo-interprétation alors que d'autres sont non habités, mais il s'agit d'une information facilement accessible, la même qui a dû servir au développement de l'équation. Il s'agit des bâtiments incluent dans un périmètre de 100 mètres autour du lac.

Le tableau 7 montre des concentrations théoriques de PT peu similaires à celles observées cette année (moyenne de toutes les valeurs connues). Cette discordance est fréquente dans l'application de ces modèles dont la force réside davantage dans la comparaison de scénario et la possibilité de connaître les concentrations naturelles de PT, c'est-à-dire avant tout développement dans le bassin versant.

Si on retire les bâtiments de l'équation, on obtient une idée des concentrations théoriques de PT qui prévaudraient en conditions naturelles. L'équation prend alors la forme suivante :

$$PT_{\text{théorique naturelle}} = 1,4 \text{ COD}$$

Tableau 7. Évaluation de la capacité de support

Résultats	Lac de la Mine
Nb de bâtiments selon la carte de la BDTQ	7
PT _{observé moyen 2007} (µg/L)	10,3
PT _{théor. actuel} (µg/L)	5,1
PT _{théor. naturel} (µg/L)	4,9
Augmentation par rapport aux conditions naturelles	5%
<i>Capacité de support</i>	non atteinte

4 CONCLUSION

La municipalité d'Amherst a retenu les services professionnels du Groupe Hémisphères, afin de poser un diagnostic approprié sur l'état de santé du lac de la Mine, situé sur le territoire de la municipalité d'Amherst.

4.1 Diagnose sommaire

Le lac de la Mine est un petit lac de profondeur moyenne, avec un taux de renouvellement moyen. La colonne d'eau présente une stratification thermique et un déficit en oxygène important en profondeur. Les paramètres physico-chimiques analysés présentent, à l'exception d'un tributaire, des valeurs généralement semblables aux valeurs des moyennes régionales. La concentration d'azote total de Kjeldahl est aussi très élevée. La concentration moyenne de phosphore total est cependant supérieure au critère de qualité de l'eau du Québec. .

L'activité minière passée a possiblement engendré un apport important de particules fines de silice dans la portion est du lac et l'arrivée de beaucoup de nutriments au début du siècle passé (à cause du défrichage des sols pour les aires d'exploitation et d'entreposage). Aujourd'hui, le lac de la Mine a probablement perdu un peu de sa superficie d'antan, de même qu'il a probablement été en partie comblé de particules fines de silice. Aujourd'hui, les effets délétères sont des sédiments riches en nutriments et la réduction de sa profondeur moyenne, deux facteurs importants dans le vieillissement d'un lac. Notons ici que les particules fines de silice sont plutôt inertes et contribuent peu à l'enrichissement en nutriment.

Sans calculer précisément le bilan de phosphore du lac, il apparaît qu'un apport important de phosphore pour le lac de la Mine provient de ses tributaires, et particulièrement celui du lac Bouchard, où les castors construisent activement des barrages. Le fait qu'il y ait un manque d'oxygène en profondeur suggère que le relargage du phosphore joue un rôle dans la concentration élevée de ce nutriment.

La moyenne de 10,3 µg/L de phosphore s'appuie sur un échantillonnage relativement restreint en nombre et dans le temps. Advenant que cette valeur se maintienne dans le temps, une telle concentration n'est pas pour autant un gage de santé. Plusieurs plans d'eau aux prises avec des floraisons de cyanobactéries ont en effet des concentrations plus basses. Le fait est que ce lac perd ou a perdu son statut de lac oligotrophe pour passer à un stade de lac plus enrichi.

4.2 Cyanobactéries

Les cyanobactéries, ou algues bleu-vert, sont parmi les premiers organismes apparus sur la terre. Ce sont des bactéries qui ont la capacité de fabriquer leur énergie comme les plantes par la photosynthèse (Prescott, et coll. 1995). Elles sont déjà présentes dans tous les milieux lacustres et leur grande diversité fait qu'elles sont adaptées à différentes conditions : eau douce, eau salée, milieu acide, région polaire et source thermale.

Les cyanobactéries attirent de plus en plus l'attention pour deux raisons : certaines espèces peuvent former des fleurs d'eau ou blooms et d'autres espèces libèrent des toxines qui peuvent causer de graves problèmes de santé.

Les risques pour la santé publique

En fait, seulement certaines espèces de cyanobactéries ayant une croissance excessive sont problématiques. Elles produisent alors des toxines qui sont libérées lorsqu'elles meurent. Deux types de toxines sont libérées : hépatotoxines, qui provoquent des lésions au foie et neurotoxines, qui affectent les fonctions neurologiques (Robert et coll., 2004). À trop forte concentration, ces toxines peuvent provoquer la mort. Les toxines ne peuvent pas être éliminées en faisant bouillir l'eau.

De plus, le contact avec de l'eau ayant développé une floraison peut provoquer de graves irritations de la peau. Il devient alors impossible de pratiquer tout sport nautique. Aussi, aucune consommation d'eau n'est permise. Une douche, ou même la lessive, peut amener une irritation.

Les fleurs d'eau

Les fleurs d'eau peuvent apparaître en quelques jours seulement. Il s'agit d'une augmentation rapide et excessive de la biomasse. L'apparition d'une fleur d'eau est facilement détectable : l'eau prend une teinte verte. Les impacts sur l'écosystème lacustre sont importants, dont l'accentuation des symptômes de l'eutrophisation, comme la turbidité de l'eau et la perte d'oxygène dans l'hypolimnion (Martin Bouchard, 2004). Indirectement, la faune et la flore peuvent aussi être affectées.

Un consensus existe sur le fait qu'il y a un manque de connaissances sur le fonctionnement des cyanobactéries et les facteurs qui déclenchent les fleurs d'eau. Les caractéristiques de certaines cyanobactéries permettent cependant de mieux comprendre les causes des floraisons. On sait qu'elles sont favorisées grâce à leurs différentes stratégies de croissance soit d'être formatrices d'écumes, fixatrices d'azote ou dispersives (Bonilla, 2008)

Par exemple, certaines cyanobactéries ont une croissance optimale à une température de 25 °C (Oliver et Ganf, 2000). Elles sont capables de croître lorsque la température est inférieure, mais elles auront tendance à avoir une croissance rapide lorsque la température de l'eau est plus élevée. La *température de l'eau* serait donc un important facteur pouvant influencer les floraisons de cyanobactéries. Les *conditions météorologiques* ont aussi un impact sur les floraisons de cyanobactéries (Martin Bouchard, 2004). Une période de canicule aura comme effet de réchauffer l'eau. Si, en plus, il y a peu de vent et de précipitations, il n'y aura pas de mélange dans la colonne d'eau, ce qui favoriserait certaines cyanobactéries. Le vent fait aussi en sorte de disperser les cellules et de diminuer la concentration de cyanobactéries à un endroit donné.

Les floraisons ont aussi tendance à apparaître lorsqu'il y a une *concentration élevée en éléments nutritifs*. Le phosphore est d'ailleurs la principale variable de contrôle de l'abondance des cyanobactéries au Québec (Blais, 2008). Les lacs eutrophes seraient donc plus à risque. Certaines espèces de cyanobactéries possèdent des *caractéristiques physiologiques* qui leur donnent un avantage lorsque les éléments nutritifs deviennent limitants (Oliver et Ganf, 2000). Elles peuvent notamment emmagasiner le phosphore, ce qui augmente considérablement leur compétitivité dans le milieu.

Certaines cyanobactéries ont de plus des vacuoles de gaz qui leur permettent de se promener dans la colonne d'eau pour profiter du maximum des ressources disponibles. Cette stratégie unique de régulation de leur position dans la colonne d'eau leur permet de récolter la ressource le jour (le sucre produit par la photosynthèse se retrouve au fond) et de remonter à la lumière à la fin de la nuit après avoir utilisé le sucre pour la respiration (Vincent, 2008). Le phosphore relargué en profondeur anoxique leur est également disponible en migrant vers le fond.

Dans sa conférence au forum National des lacs de 2006, le professeur del Giorgio de l'UQAM mentionnait qu'il y avait un risque accru lorsque la concentration en chlorophylle α dépasse 10 $\mu\text{g/L}$. Il semblerait que la concentration d'azote aurait également une influence sur les fleurs d'eau. Il a été constaté qu'il y avait une baisse significative d'azote dans les jours précédant une fleur d'eau (Nürnberg, 2007). Puisque certaines espèces de cyanobactéries peuvent fixer l'azote, elles peuvent continuer à se reproduire, alors que les autres types d'algues microscopiques ne le peuvent, faute de nutriments essentiels.

Malgré ces pistes, il demeure difficile de déterminer si certains lacs sont plus à risque que d'autres, parce que des lacs ne répondant à aucun des critères énumérés ci-devant font la manchette chaque année. Même les lacs en apparente santé comme le lac de la Mine sont susceptibles d'être affectés.

4.3 Capacité de support du lac

Afin de protéger efficacement la santé de nos lacs, le professeur Carignan a proposé que l'augmentation de la concentration en PT par rapport aux conditions naturelles ne dépasse pas 10 %. Le lac de la Mine n'aurait pas atteint ou dépassé ce seuil selon son modèle. Toutefois, l'ajout de seulement sept résidences implique l'atteinte du seuil de dépassement de la capacité de support.

Cette analyse est fondée sur modèle calibré pour la région des Laurentides centrée sur Sainte-Agathe. La région d'Amherst est située à la limite des Laurentides et de l'Outaouais en termes biophysiques et il se peut, surtout à cause de sa géologie moins acide, que le modèle soit moins approprié ; il demeure néanmoins un exercice acceptable.

5 RECOMMANDATIONS

Les mesures de contrôle recommandées ci-dessous vont permettre minimalement de conserver l'état trophique du lac à l'étude, advenant un développement additionnel.

5.1 Recommandations : contrôle des populations de castor

Tel que discuté au chapitre des résultats de la qualité de l'eau, les cours d'eau aux prises avec le castor affichent des concentrations élevées en phosphore, surtout ceux récemment inondés. Il est recommandé de diminuer la création de nouvelles zones inondées qui relâchent le phosphore des sols terrestres. Pour ce faire, le trappage est une option, mais il faut veiller à ce que les barrages actuels ne soient pas démantelés rapidement (pas de coup d'eau). Laisser les barrages se dégrader est préférable.

5.2 Recommandations : traitement des eaux usées

Une des sources de phosphore d'un lac de villégiature provient généralement des installations septiques et donc du nombre de résidences réparties dans son bassin versant, et ce, indifféremment de la distance de chacune d'elle au plan d'eau. L'apport du phosphore anthropique est fonction de la population, du taux d'occupation et de l'efficacité de l'élimination de cet élément par les sols et l'installation septique même.

Comme des conditions optimales d'épuration des eaux usées sont à la base de la conservation des plans d'eau, il est recommandé de faire corriger progressivement les systèmes déficients (puisard ou systèmes inconnus) et présentant un apport en phosphore dommageable pour l'eau du lac. Il est généralement admis, selon notre expérience, qu'il y a un contact hydraulique entre les eaux contenues dans ces systèmes et les eaux de surface du lac, dû au déplacement des eaux souterraines vers le lac.

5.3 Recommandations : protection des lacs

À ce stade, la présence des castors et des installations septiques ne peut être la seule source de la problématique d'enrichissement. En les jumelant aux actions sur le traitement des eaux usées, les mesures de contrôle recommandées ci-dessous vont permettre de conserver l'état trophique actuel du lac:

- poursuivre les relevés physico-chimiques de plusieurs paramètres, dont la transparence, le phosphore, l'azote, la chlorophylle, la température et l'oxygène pour connaître l'évolution de leurs concentrations;
- interdire les engrais chimiques et naturels est une mesure d'atténuation à la source à entreprendre pour les riverains ; sensibiliser les citoyens à l'emploi de savon exempt de phosphore, surtout ceux des lave-vaisselle ;
- des efforts importants restent encore à faire sur les rives artificialisées ; la renaturalisation des rives avec des arbres et des arbustes sur une largeur d'au moins 5 m (bande de protection riveraine) s'avère

une solution souhaitable à long terme afin d'abaisser la température de l'eau et capter les nutriments entraînés par la nappe phréatique avant qu'ils n'atteignent le lac ; les rives munies de murets de bois ou de béton devraient être laissées telles quelles lorsqu'elles se dégradent, c'est pourquoi il est important de les revégétaliser ;

- puisque la tendance veut que les chalets saisonniers soient de plus en plus transformés en résidences permanentes, tenter de limiter le développement additionnel où les conditions de terrain sont peu propices à l'épuration des eaux usées conventionnelle, c'est-à-dire favoriser les systèmes avec un élément épurateur par infiltration dans le sol naturel avec au moins un mètre de sol sec sous les drains ;
- encourager la protection des zones naturelles dans le bassin versant (dons à la conservation, servitude de conservation, fiducie, parcs, réserve en terre privée, etc.), ce qui augmentera les chances d'assurer la pérennité d'un lac.

L'approche écosystémique se traduit par la mise en œuvre de mesures efficaces de conservation pour tenter de freiner la dégradation de l'état trophique d'un lac. La volonté de la municipalité de bien connaître ses plans d'eau en vue de les protéger va dans ce sens. De récentes études montrent qu'il est très difficile d'améliorer la qualité d'un lac vieilli. On peut cependant freiner son vieillissement et tout progrès d'assainissement et de conservation se verra récompensé à moyen terme, mais également pour les générations futures.

6 RÉFÉRENCES

Bases de données consultées

- BQMA (Banque de données sur la qualité du milieu aquatique). Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec.
- GDT (le grand dictionnaire terminologique). Banque de données terminologiques de l'Office québécois de la langue française accessible au <http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/gdt.html>
- MENVIQ (1980) Débits spécifiques mensuels et annuels moyens du Québec. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement, Service des eaux de surface, 13 cartes.
- TOPOS SUR LE WEB (Répertoire toponymique du Québec) Administré par la Commission de toponymie, gouvernement du Québec à <http://www.toponymie.gouv.qc.ca/index.htm>.

Bibliographie

- Barroin, G. (1995) *Cycle et bilan de l'oxygène* (chap. 25). In : Pourriot, R. et M. Meybeck - Limnologie générale. Masson, Paris, pp. 705-726
- Bouchard, M.V (2004) *Floraisons de cyanobactéries au lac Saint-Augustin : dynamique à court terme et stratification*. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en biologie pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.). Faculté des Sciences et de Génie, Université Laval, Québec, 124 p.
- Bourassa et Joly (1977) *In search for a new method to determine the volume and mean depth of a lake*. Communication présentée à Boston au N.E.W.C.
- Blais, S. (2008) *Problématique québécoise des fleurs d'eau de cyanobactéries*. Conférence présentée par Sylvie Blais, coordonnatrice pour les cyanobactéries, MDDEP et Isabelle Laurion, professeure, INRS au COLLOQUE "Les cyanobactéries: mieux connaître pour mieux gérer" (24 janvier 2008)
- Bonilla, S. (2008) *Distribution et succès des cyanobactéries dans le monde: généralités et particularités*. Conférence présentée par Sylvia Bonilla, professeure, Universidad de la Republica, Uruguay au COLLOQUE "Les cyanobactéries: mieux connaître pour mieux gérer" (24 janvier 2008)
- Carlson, R.E (1977) *A trophic state index for lakes*. Limnol. Oceanogr., 22(2): 361-369
- Crago, C. (2005) *Coefficients d'exportation de phosphore, carbone organique dissous et matières en suspension associés à la forêt, aux résidences et aux milieux humides dans les Laurentides*. Mémoire de maîtrise en sciences déposé à l'Université de Montréal.
- Gauthier, B. (1997) *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Notes explicatives sur la ligne naturelle des hautes eaux*. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, 23 p.
- Hade, A. (2003) *Nos lacs, les connaître pour mieux les protéger*. Fides, Québec, 359 p.
- Labelle, M. (1991) *Guide d'aménagement du lac Sainte-Marie*. Programme des lacs, Ministère de l'environnement, Direction de l'aménagement des lacs et des cours d'eau 38 pages et annexes.
- Legendre, P. et coll. (1980) *Qualité des eaux : Interprétations des données lacustres (1971-1977)*. Ministère de l'Environnement, direction générale des inventaires et de la recherche, Service de la qualité des eaux en collaboration avec le CERSE de l'UQAM, 409 p.
- MDDEP (2005) *Réseau de surveillance volontaire des lacs - les méthodes*. Accessible au : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsv-lacs/methodes.htm>
- MDDEP (2007) *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec*. Gouvernement du Québec, Ministère de l'environnement, site internet http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.htm, mise à jour de juillet 2007

- MRNF (2003) *Gros plan sur les Laurentides - minéraux industriels*. Accessible au :
<http://www.mrn.gouv.qc.ca/laurentides/mines/mines-activite-mineraux.jsp>
- MSSS (2007) *Liste régionale des mises en garde et des avis de santé publique reliés aux lacs et rivières affectés par les algues bleu-vert en 2007 - lac de la Mine*. Accessible au :
<http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?id=46,50,0,0,1,0&nofiche=244&noreg>
- Nürnberg, G. (2007) *Low-nitrate days (LND), a potential indicator of cyanobacteria blooms in a eutrophic hardwater reservoir*. En revision pour publication dans le *Water Quality Research Journal of Canada*
- Oliver, R. L. et G.G. Ganf (2000) *Freshwater blooms*. Dans: B. A. Whitton et M. Potts [eds.], *The Ecology of Cyanobacteria - Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic Publishers, pp 149-194
- Pourriot, R. et Meybeck, M. (1995) *Limnologie générale*. Éditions Masson, 955p.
- Prescott, L.M., J.P. Harley et D.A. Klein. 1995. *Microbiologie*. 2^e édition. De Boeck, Bruxelles, 1014 p. Pourriot, R. et M. Meybeck (1995) *Limnologie générale*. Collection d'écologie 25, édition Masson, Paris, 956 p.
- Robert, C., H. Tremblay et C. Deblois (2004) *Cyanobactéries et cyanotoxines au Québec : suivi à six stations de production d'eau potable (2001-2003)*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 58 p. et 3 annexes
- Vincent, W. (2008) *Cyanobactéries: stratégies pour trois milliards d'années de succès*. Conférence présentée par Warwick Vincent, professeur, département de biologie, Université Laval au COLLOQUE "Les cyanobactéries: mieux connaître pour mieux gérer" (24 janvier 2008)

ANNEXES

ANNEXE I

Profil des profondeurs du lac de la Mine

ANNEXE II
Certificats d'analyses chimiques

**SM**LABORATOIRES
D'ANALYSES
S.M. INC.1471, boul. Lionel-Boulet, suite 10
Varenes, Québec J3X 1P7
Tél. (514) 332-6001 Téléc. (514) 332-5066740, Galt Ouest, 2e étage
Sherbrooke, Québec J1H 1Z3
Tél. (819) 566-8855 Téléc. (819) 566-0224**Certificat d'analyse**

No M084334, version 1

Émis le: 2007-10-04

Client: **HÉMISPHERES Consultants**
M. Daniel Néron
1453, rue Beaubien
Montréal, Québec
H2G 3C6No client: 4007
No projet: 9585
Bon de commande:
No dossier MDDEP:Tél.: 514-384-6084
Téléc.:Copie conforme: M. Daniel Néron
info@hemis.ca

Nature de l'échantillon: Eau de surface

Projet: HÉMISPHERE CONSULTANTS
Sous-projet: EAU DE LAC

No éch.	Description	Résultat	Unité	Norme	Analysé le
0248209	/ Lac de la Mine - Lac de la Mine 1				
	Prélevé le : 2007-09-10 Par : D. Néron Reçu le : 2007-09-11				
	Phosphore total (en trace)	0.013	mg P/L		2007-09-19
	* Chlorophylle	2	µg/L		2007-10-03
	Chlorure	2.0	mg/L		2007-09-14
	Nitrite	<0.10	mg N/L		2007-09-14
	Nitrate	<0.10	mg N/L		2007-09-14
	Nitrite & nitrate	<0.10	mg N/L		2007-09-14
	Azote total Kjeldahl	0.40	mg N/L		2007-09-17
	Carbone organique dissous	3.5	mg/L		2007-09-11
0248213	/ Lac de la Mine - Lac de la Mine 2				
	Prélevé le : 2007-09-10 Par : D. Néron Reçu le : 2007-09-11				
	Phosphore total (en trace)	0.008	mg P/L		2007-09-19
0248214	/ Lac de la Mine - Lac de la Mine 3				
	Prélevé le : 2007-09-10 Par : D. Néron Reçu le : 2007-09-11				
	Phosphore total (en trace)	0.008	mg P/L		2007-09-19
0248216	/ Lac de la Mine - Tribu 1				
	Prélevé le : 2007-09-10 Par : D. Néron Reçu le : 2007-09-11				
	Phosphore total (en trace)	0.049	mg P/L		2007-09-19
0248217	/ Lac de la Mine - Tribu 2				
	Prélevé le : 2007-09-10 Par : D. Néron Reçu le : 2007-09-11				
	Phosphore total (en trace)	0.008	mg P/L		2007-09-19
0248218	/ Lac de la Mine - Lac Marie-Paule				
	Prélevé le : 2007-09-10 Par : D. Néron Reçu le : 2007-09-11				
	Phosphore total (en trace)	0.016	mg P/L		2007-09-19

* Cette analyse a été effectuée en sous-traitance.

**SM**LABORATOIRES
D'ANALYSES
S.M. INC.**Certificat d'analyse (suite)**

No M084334, version 1

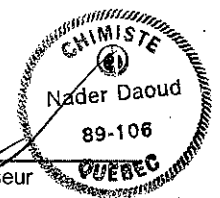
Émis le: 2007-10-04

Méthodes d'analyse	Description	Référence externe	Procédure interne
Chlorophylle	Fluorescence	Sous-traitance	Externe
Anions	Chromatographie ionique	DIONEX	ILCE-060
Carbone organique dissous	Filtration et analyseur COT	Tekmar/Dohrmann	ILCE-059
Azote total Kjeldahl	Digestion et colorimétrie par Technicon	Technicon	ILCE-005
Phosphore total (en trace)	Digestion persulfate /colo acide ascorbique	SM 4500-P-E	ILCE-057



 André Dor, B.Sc biologie, chargé de projets



 Nader Daoud, Chimiste, superviseur


**SMI**LABORATOIRES
D'ANALYSES
S.M. INC.1471, boul. Lionel-Boulet, suite 10
Varenes, Québec J3X 1P7
Tél. (514) 332-6001 Téléc. (514) 332-5066740, Galt Ouest, 2e étage
Sherbrooke, Québec J1H 1Z3
Tél. (819) 566-8855 Téléc. (819) 566-0224**Annexe au certificat d'analyses**

M084334 version 1

Émis le 2007-10-04

Description	Unités	Limite de détection	Blanc	Matériaux de référence		Récupération		Duplicata	
				% obtenu	limites (%)	% obtenu	limites (%)	% écart	limites (%)

Méthode d'analyse: Chromatographie ionique / DIONEX / ILCE-060

Date d'analyse: 2007-09-14

No séquence: CS043203

Description	Unités	Blanc		% obtenu	limites (%)	Récupération		Duplicata (0248265)	
		Limite de détection	Blanc			% obtenu	limites (%)	% écart	limites (%)
Bromure	mg/L	0.1	<0.1	99.1	80 - 120	-	-	-	-
Chlorure	mg/L	2	<2.0	97.0	80 - 120	-	-	-	-
Fluorure	mg/L	0.04	<0.04	99.2	80 - 120	-	-	0.00	0 - 20
Ortho-phosphate	mg/L	0.02	<0.02	106	80 - 120	-	-	-	-
Nitrate	mg/L	0.02	<0.02	97.0	80 - 120	-	-	1.44	0 - 20
Nitrite & nitrate	mg/L	0.02	<0.02	-	-	-	-	1.44	0 - 20
Sulfate	mg/L	2	<2.0	101	80 - 120	-	-	-	-

Description	Unités	Blanc		% obtenu	limites (%)	Récupération		Duplicata (0248829)	
		Limite de détection	Blanc			% obtenu	limites (%)	% écart	limites (%)
Nitrite	mg/L	0.02	<0.02	100	80 - 120	-	-	3.39	0 - 20
Nitrate	mg/L	0.02	<0.02	-	-	-	-	0.00	0 - 20
Nitrite & nitrate	mg/L	0.02	<0.02	-	-	-	-	2.37	0 - 20

Description	Unités	Blanc		% obtenu	limites (%)	Récupération		Duplicata (0249324)	
		Limite de détection	Blanc			% obtenu	limites (%)	% écart	limites (%)
Bromure	mg/L	-	-	95.0	80 - 120	-	-	-	-
Chlorure	mg/L	-	-	96.2	80 - 120	-	-	-	-
Fluorure	mg/L	-	-	98.7	80 - 120	-	-	-	-
Ortho-phosphate	mg/L	-	-	104	80 - 120	-	-	-	-
Nitrate	mg/L	-	-	95.8	80 - 120	-	-	-	-
Nitrite & nitrate	mg/L	-	-	-	-	-	-	0.00	0 - 20
Sulfate	mg/L	-	-	99.8	80 - 120	-	-	-	-

Description	Unités	Blanc		% obtenu	limites (%)	Récupération		Duplicata	
		Limite de détection	Blanc			% obtenu	limites (%)	% écart	limites (%)
Bromure	mg/L	-	-	96.6	80 - 120	-	-	-	-
Chlorure	mg/L	-	-	97.3	80 - 120	-	-	-	-
Fluorure	mg/L	-	-	101	80 - 120	-	-	-	-
Ortho-phosphate	mg/L	-	-	104	80 - 120	-	-	-	-
Nitrate	mg/L	-	-	96.7	80 - 120	-	-	-	-
Sulfate	mg/L	-	-	101	80 - 120	-	-	-	-

Méthode d'analyse: Digestion et colorimétrie par Technicon / Technicon / ILCE-005

Date d'analyse: 2007-09-17

No séquence: CS043326

Description	Unités	Blanc		% obtenu	limites (%)	Récupération		Duplicata	
		Limite de détection	Blanc			% obtenu	limites (%)	% écart	limites (%)
Azote total Kjeldahl	mg N/L	0.1	<0.1	101	80 - 120	-	-	-	-

**SM**LABORATOIRES
D'ANALYSES
S.M. INC.**Annexe au certificat d'analyses (suite)**

M084334 version 1

Émis le 2007-10-04

Description	Unités	Limite de détection	Blanc	Matériaux de référence		Récupération		Duplicata	
				% obtenu	limites (%)	% obtenu	limites (%)	% écart	limites (%)

Méthode d'analyse: Digestion persulfate /colo acide ascorbique / SM 4500-P-E / ILCE-057

Date d'analyse: 2007-09-19
No séquence: CS043597

Phosphore total basse concentration	mg P/L	0.002	<0.002	107	80 - 120	-	-	12	0 - 20
		Blanc				-		Duplicata (0248214)	
Phosphore total basse concentration	mg P/L	0.002	0.002	95	80 - 120	-	-	0	0 - 20
		Blanc				-		Duplicata (0249370)	
Phosphore total basse concentration	mg P/L	-	-	100	80 - 120	-	-	0.866	0 - 20
		-				-		Duplicata (0249847)	
Phosphore total basse concentration	mg P/L	-	-	98	80 - 120	-	-	3	0 - 20
		-				-		Duplicata (0249860)	

**SMⁱ**LABORATOIRES
D'ANALYSES
S.M. INC.1471, boul. Lionel-Boulet, suite 10
Varenes, Québec J3X 1P7
Tél. (514) 332-6001 Téléc. (514) 332-5066740, Galt Ouest, 2e étage
Sherbrooke, Québec J1H 1Z3
Tél. (819) 566-8855 Téléc. (819) 566-0224

Certificat d'analyse

No M101803, version 1

Émis le: 2007-12-05

Client: **HÉMISPHERES (Le groupe)**
M. Daniel Néron
1453, rue Beaubien Est, Bureau 301
Montréal, Québec
H2G 3C6No client: 4007
No projet: 11334
Bon de commande:
No dossier MDDEP:Tél.: 514-509-6572
Téléc.: 514-509-6573Copie conforme: M. Daniel Néron
info@hemis.caProjet: HÉMISPHERES Consultants
Sous-projet: Eau de Surface

Nature de l'échantillon: Eau de surface

No éch.	Description	Résultat	Unité	Norme	Analysé le
0295940	Lac de la Mine Nov. 2007				
	Prélevé le: 2007-11-20 Par: G. Charlebois Reçu le: 2007-11-21				
	Azote total Kjeldahl	0.17	mg N/L		2007-11-28
	Phosphore total (en trace)	0.030	mg P/L		2007-11-26
0295942	Lac de la Mine Nov. 2				
	Prélevé le: 2007-11-20 Par: G. Charlebois Reçu le: 2007-11-21				
	Phosphore total (en trace)	<0.002	mg P/L		2007-11-26
0295944	Lac de la Mine nov. 3				
	Prélevé le: 2007-11-20 Par: G. Charlebois Reçu le: 2007-11-21				
	Phosphore total (en trace)	<0.002	mg P/L		2007-11-26

Méthode d'analyse	Description	Référence externe	Procédure interne
Azote total Kjeldahl	Digestion et colorimétrie par Technicon	Technicon	ILCE-005
Phosphore total (en trace)	Digestion persulfate /colo acide ascorbique	SM 4500-P-E	ILCE-057

André Dor, B.Sc biologie, chargé de projets

Nader Daoud, Chimiste, superviseur