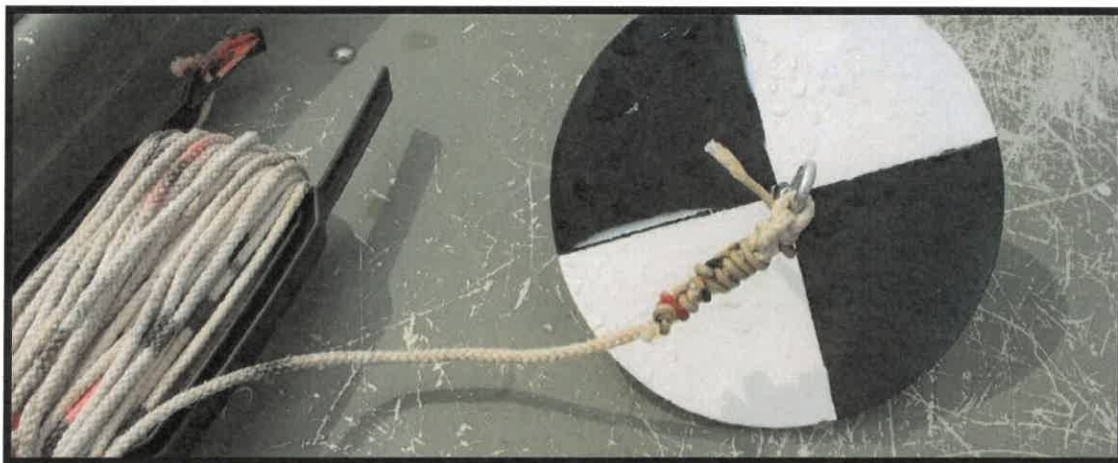


Eutrophisation et apports internes en phosphore du lac Trois Saumons en 2022



Présenté à
la Municipalité de Saint-Aubert

Par
l'Organisme des bassins versants de la Côte-du-Sud

Le 23 février 2023



ÉQUIPE DE TRAVAIL

Échantillonnage

Johanne Savard, aide de terrain

Yves Meunier, aide de terrain

Carol-Ann Veilleux, technicienne en biologie

François Diguer, aide de terrain et conseiller municipal

Marc Bélanger, biologiste et chargé de projets

Traitement des données, cartographie et rédaction

Marc Bélanger, biologiste et chargé de projets

Révision

Nathalie Desroches

Bruno Fortin, responsable du Plan directeur de l'eau

Référence à citer :

ORGANISME DES BASSINS VERSANTS DE LA CÔTE-DU-SUD (2022). *Eutrophisation et apports internes en phosphore du lac Trois Saumons en 2022*. Montmagny, 53 p.

Historique des révisions

Date	Version	Nature du document ou des modifications	Responsable
2023-02-10	1.00	Première version officielle	Marc Bélanger
2023-02-14	1.01	Correction de coquilles	Marc Bélanger
2023-02-23	1.10	Correction au calcul des apports internes	Marc Bélanger

EUTROPHISATION ET APPORTS INTERNES EN PHOSPHORE DU LAC TROIS SAUMONS EN 2022

RÉSUMÉ

Le lac Trois Saumons est le plus grand lac de villégiature à l'est de la rivière Chaudière dans la région de Chaudière-Appalaches. En plus d'être la source d'eau potable pour les municipalités de Saint-Aubert et de Saint-Jean-Port-Joli, ce lac est reconnu pour la qualité de son environnement et est apprécié par les amateurs d'activités nautiques. Au cours des dernières années, des signes de vieillissement accéléré du lac ont été observés. De là, le conseil municipal de Saint-Aubert a demandé à l'équipe de l'Organisme des bassins versants de la Côte-du-Sud de poser son propre diagnostic sur l'état de santé du lac Trois Saumons.

Niveau de vieillissement du lac

La transparence de l'eau et la concentration en chlorophylle *a*, deux descripteurs du vieillissement des lacs, n'ont pas varié de façon importante depuis 2010. Cependant, la concentration en phosphore total, qui est l'élément nutritif dont la teneur limite ou favorise habituellement la croissance des algues et des plantes aquatiques, a augmenté depuis la période 2019 à 2020. L'intégration de l'ensemble de ces trois descripteurs mesurés en 2022 situe l'état trophique du lac dans la zone de transition oligomésotrophe, soit un lac qui s'approche d'un niveau de vieillissement modéré. Les résultats de 2022 semblent indiquer que le lac ne serait pas en situation stable, mais poursuivrait son processus de vieillissement.

Apports internes de phosphore

Les couches plus profondes du bassin ouest du lac montrent une carence ou une absence en oxygène dissous de la mi-juillet à la mi-octobre. En absence d'oxygène dissous, le phosphore capté par les sédiments peut être libéré et redevient disponible pour la prolifération des algues et des plantes aquatiques. Des mesures de la concentration de phosphore total dans les profondeurs de ce bassin indiquent des concentrations relativement élevées, variant de 87 µg/l à 110 µg/l. Ces résultats semblent suggérer qu'il y ait effectivement une libération de phosphore des sédiments.

Une estimation pessimiste de la quantité de phosphore relargué serait de 32 kg/an. Cette quantité de phosphore redistribuée sur l'ensemble du lac augmenterait la concentration en phosphore total du lac d'une grandeur insuffisante pour induire un vieillissement significatif du lac. Tandis qu'une estimation de la quantité de phosphore qui arrive annuellement au lac par le bassin versant donnerait 127 kg/an, dont 33 % d'origine anthropique (milieux ouverts, routes et installations septiques). Somme toute, la libération du phosphore des sédiments au lac Trois Saumons ne nous apparaît pas comme étant un problème en soi.

Pour conclure, nous recommandons de poursuivre le suivi de la qualité de l'eau dans le cadre du Réseau de surveillance volontaire des lacs, incluant un suivi complémentaire de la zone sans

oxygène dans le bassin ouest du lac. Un nouvel inventaire des herbiers aquatiques et le démarrage d'un suivi du périphyton sont suggérés afin de détecter rapidement un vieillissement du lac causé par le développement de la villégiature. Finalement, une nouvelle itération de cette étude dans quelques années permettrait d'obtenir une idée plus juste de la situation.

Nous ne pourrions terminer ce résumé sans rappeler que tout le phosphore qui se trouve actuellement dans le lac, peu importe sa forme, prend son origine du bassin versant. Pour ralentir le vieillissement accéléré du lac, limiter les apports provenant du bassin versant est la seule solution envisageable.

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction.....	1
1.1	Mise en contexte	1
1.2	Objectifs.....	2
1.3	Notions et concepts de base	2
1.3.1	Eutrophisation et niveaux trophiques des lacs	2
1.3.1.1	Eutrophisation	2
1.3.1.2	Niveaux trophiques	2
1.3.1.3	Paramètres d'évaluation du stade d'eutrophisation d'un lac.....	3
1.3.1.4	Détermination du niveau trophique d'un lac	4
1.3.2	Apports internes en phosphore	5
1.3.2.1	Stratification thermique	5
1.3.2.2	Concentration en oxygène dissous.....	6
1.3.2.3	Relargage de phosphore lié aux sédiments.....	7
2	Méthode	8
2.1	Situation géographique et caractéristiques physiques du lac.....	8
2.2	Sites et fréquence d'échantillonnage	8
2.3	Paramètres mesurés sur place	11
2.4	Paramètres analysés en laboratoire.....	12
2.4.1	Contrôle de la qualité	13
2.5	Analyses statistiques	13
3	Résultats et discussion	14
3.1	Eutrophisation	14
3.1.1	Contrôle de la qualité	14
3.1.2	Transparence de l'eau	15
3.1.3	Phosphore total dans l'épilimnion	16
3.1.4	Chlorophylle <i>a</i> dans l'épilimnion	19
3.1.5	Niveau trophique.....	20
3.2	Apports internes de phosphore	22
3.2.1	Température de l'eau	22

3.2.2	Oxygène dissous	24
3.2.3	Phosphore total	27
3.2.4	Chlorophylle <i>a</i>	28
3.2.5	Apports internes de phosphore	28
3.2.5.1	Dégradation de la matière organique, remise en suspension des sédiments et relargage de phosphore	28
3.2.5.2	Quantification des apports internes.....	30
4	Conclusion et recommandations.....	33
	Références bibliographiques.....	36
annexe A	pH et conductivité spécifique.....	40
annexe B	Calcul de la répartition du phosphore de l'hypolimnion dans tout le volume du lac	43
annexe C	Estimation des apports en phosphore du bassin versant du lac Trois Saumons	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Caractéristiques physiques du lac Trois Saumons.	8
Tableau 2	Coordonnées géographiques des stations échantillonnées au lac Trois Saumons en 2022 et stations correspondantes du RSVL et de Raymond (2021).	11
Tableau 3	Capteurs de la sonde multiparamétrique ProQuatro et leur incertitude absolue.	12
Tableau 4	Méthodes d'analyse employées.	13
Tableau 5	Concentration de carbone organique dissous (mg/l) aux trois stations du lac Trois Saumons à la saison 2022.....	16

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Principaux niveaux trophiques servant à classer les lacs selon leur stade d'eutrophisation.....	3
Figure 2 Diagramme de classement du niveau trophique des lacs.....	5
Figure 3 Schéma du profil thermique et des couches thermiques dans un lac typique durant l'été en zone tempérée.	6
Figure 4 Localisation du lac Trois Saumons, MRC de L'Islet, Québec.....	9
Figure 5 Bathymétrie et stations d'échantillonnage.	10
Figure 6 Instruments utilisés lors de l'échantillonnage.....	11
Figure 7 Évolution de la transparence de l'eau aux trois stations du lac Trois Saumons à la saison 2022.....	15
Figure 8 Transparence estivale moyenne de l'eau au lac Trois Saumons de 2010 à 2020 (RSVL) et 2022 (OBV).	17
Figure 9 Évolution de la concentration en phosphore total dans l'épilimnion aux trois stations du lac Trois Saumons de juillet à octobre 2022.....	18
Figure 10 Boîte à moustaches (<i>boxplot</i>) des concentrations en phosphore total dans l'épilimnion pour les années 2019 et 2020 dans le cadre du RSVL et pour la saison 2022 (OBV) au lac Trois Saumons.	19
Figure 11 Évolution de la concentration de la chlorophylle <i>a</i> dans l'épilimnion aux trois stations du lac Trois Saumons de juillet à octobre 2022.....	20
Figure 12 Boîtes à moustaches des concentrations en chlorophylle <i>a</i> de l'épilimnion à chacune des trois stations d'échantillonnage au lac Trois Saumons pour les années 2010 à 2012 et 2019 à 2020 (RSVL) et pour la saison 2022 (OBV).....	21
Figure 13 Classement du niveau trophique des stations du lac Trois Saumons à la saison 2022.	22
Figure 14 Température de l'eau en fonction de la profondeur aux trois stations échantillonnées au lac Trois Saumons à l'été 2022.	23
Figure 15 Concentration d'oxygène dissous de l'eau en fonction de la profondeur aux trois stations échantillonnées au lac Trois Saumons à l'été 2022.....	25
Figure 16 Distribution de la concentration de phosphore total selon la strate d'eau pour les trois stations échantillonnées au lac Trois Saumons à l'été 2022.....	27
Figure 17 Distribution de la concentration de chlorophylle <i>a</i> selon la strate d'eau pour les trois stations échantillonnées au lac Trois Saumons à l'été 2022.	29
Figure 18 Cycle du phosphore.	30
Figure 19 Courbe hypsométrique du lac Trois Saumons.....	31

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CEAEQ	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
chl <i>a</i>	Chlorophylle <i>a</i>
COD	Carbone organique dissous
CRE	Conseil régional de l'environnement
GRIL	Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
OBV	Organisme des bassins versants de la Côte-du-Sud
PT	Phosphore total
RAPPEL	Regroupement des associations pour la protection de l'environnement des lacs et des bassins versants
ROBVQ	Regroupement des organismes de bassins versants du Québec
RSVL	Réseau de surveillance volontaire des lacs

1 INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

Le lac Trois Saumons est le plus grand lac de villégiature dans la région de Chaudière-Appalaches à l'est de la rivière Chaudière. Ce lac est reconnu pour la qualité de son environnement et il est apprécié par les amateurs d'activités nautiques. C'est aussi sur ses rives qu'est établi le camp de vacances Trois-Saumons qui accueille de jeunes campeurs depuis 1947. Pour ces raisons, les riverains, les administrateurs du Camp et les élus municipaux tiennent à maintenir ces activités et préserver cet écosystème.

Depuis 2010, l'association de riverains, le Club des Résidents du lac Trois-Saumons, effectue le suivi de la qualité de l'eau du lac dans le cadre du Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL) du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Ce suivi a permis de situer l'état trophique du lac dans la zone de transition oligo-mésotrophe (MELCCFP, 2020).

Au cours des dernières années, des signes d'eutrophisation accélérée du lac ont été observés, comme la diminution de la transparence de l'eau, l'observation plus fréquente de périphyton et l'augmentation du nombre et de la taille des herbiers de plantes aquatiques. De plus, la hausse de la popularité des embarcations à moteur de forte puissance inquiète la population en raison des risques de remise en suspension des sédiments.

À l'été 2021, la Municipalité a retenu les services d'un consultant en environnement afin d'effectuer un suivi complémentaire de la qualité des eaux de surface du lac. Les objectifs de cette évaluation environnementale étaient de mettre en évidence la présence de polluants dans la colonne d'eau, d'en identifier les sources, de proposer un échéancier de caractérisation des sources de pollution et d'apporter les correctifs nécessaires afin de ralentir le processus d'eutrophisation (Raymond, 2021). Le rapport présente des résultats discordants pour le paramètre du phosphore total : à plusieurs occasions, la concentration en phosphore total est beaucoup plus élevée à ce à quoi l'on pourrait s'attendre dans un lac comme le lac Trois Saumons. De plus, les données de cette évaluation sont très différentes des résultats du suivi effectué dans le cadre du RSVL.

Cette même évaluation observe une faible concentration d'oxygène dissous dans les eaux profondes (8 à 10 m) aux deux extrémités du lac au cours du mois d'août. L'auteur de l'évaluation mentionne avec raison que le phosphore fixé aux particules des sédiments peut être remis en circulation dans l'eau sous forme dissoute, donc disponible pour les organismes, dans un milieu pauvre en oxygène. Dans ces conditions, il recommande d'évaluer la qualité des sédiments du fond du lac. Toutefois, des étapes intermédiaires plus simples à mettre en œuvre qu'une caractérisation des sédiments devraient être envisagées, comme la vérification d'une réelle remise en circulation du phosphore.

Face à des signaux divergents quant à l'état de santé du lac Trois Saumons, le conseil municipal de la municipalité de Saint-Aubert a demandé à l'équipe de l'Organisme des bassins versants de la Côte-du-Sud (OBV) de clarifier la situation en établissant son propre diagnostic.

1.2 Objectifs

Le premier objectif de cette étude est d'évaluer le niveau trophique (niveau de vieillissement) du lac Trois Saumons, par l'utilisation de plusieurs paramètres, dont le phosphore total. Le second objectif est de déterminer s'il y a une carence d'oxygène dissous dans les eaux profondes, la quantifier et, si c'est le cas, évaluer l'importance de la remise en circulation du phosphore fixé aux sédiments. Ainsi, les autorités municipales seront mieux outillées afin de développer des stratégies d'intervention et d'aménagement permettant d'améliorer la qualité de l'eau du lac Trois Saumons.

1.3 Notions et concepts de base

La présente section traite des notions et concepts qui permettront au lecteur de comprendre la méthode, les résultats et les conclusions de cette étude.

1.3.1 Eutrophisation et niveaux trophiques des lacs

1.3.1.1 Eutrophisation

L'eutrophisation est souvent définie comme le processus de vieillissement naturel d'un lac (Regroupement des associations pour la protection de l'environnement des lacs et des bassins versants [RAPPEL], s. d.). Il s'agit plus spécifiquement de l'augmentation de la production biologique d'un lac, notamment une plus grande abondance d'algues microscopiques (le phytoplancton) et de plantes aquatiques, en raison d'une disponibilité accrue d'éléments nutritifs comme le phosphore ou l'azote (MELCCFP, s. d.-a). Ces algues et plantes aquatiques finissent par se déposer au fond du lac et s'accumulent avec les années. Sur une échelle de temps relativement longue, soit des milliers d'années, ces accumulations de matière organique transforment le lac en marais, puis en tourbière et éventuellement, en forêt (Regroupement des organismes de bassins versants du Québec [ROBVQ], 2012).

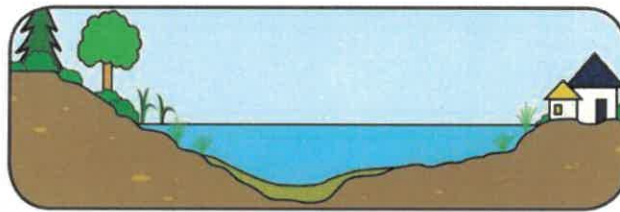
En un mot, l'eutrophisation fait partie du cycle de vie d'un lac.

Toutefois, de nombreuses activités humaines dans les bassins versants ont pour effet d'augmenter les apports en éléments nutritifs vers les lacs. Des activités comme l'épandage d'engrais et de compost, le rejet d'eaux usées, le déboisement et l'érosion libèrent du phosphore et de l'azote qui ruissellent alors vers les cours d'eau et les lacs. Ces ajouts d'éléments nutritifs peuvent entraîner le vieillissement prématuré d'un lac, pouvant, dans certains cas, transformer celui-ci en marais en seulement quelques dizaines d'années.

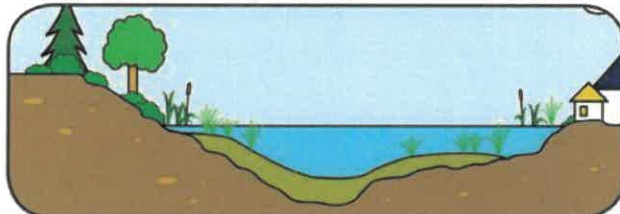
1.3.1.2 Niveaux trophiques

Les lacs sont classés en trois grandes catégories, ou niveaux trophiques, selon leur stade d'eutrophisation : oligotrophe, mésotrophe et eutrophe (figure 1).

Oligotrophe



Mésotrophe



Eutrophe

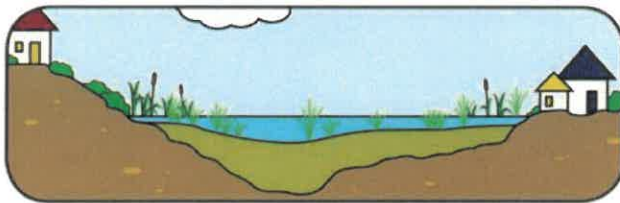


Figure 1 Principaux niveaux trophiques servant à classer les lacs selon leur stade d'eutrophisation (Conseil régional de l'environnement des Laurentides [CRE Laurentides], 2009).

Un lac oligotrophe est pauvre en éléments nutritifs et possède une eau claire et oxygénée. La croissance du phytoplancton est faible et les plantes aquatiques sont rares et la majorité de son littoral est composée de sable et de pierre. Les espèces de poissons qui l'habitent préfèrent des eaux froides, comme l'omble de fontaine et le touladi. Un lac mésotrophe est à un stade intermédiaire d'eutrophisation. L'enrichissement en éléments nutritifs et la croissance du phytoplancton sont modérés. Les sédiments s'accumulent sur la majorité du fond et certaines espèces de poissons d'eaux tempérées commencent à apparaître, comme la perchaude ou le grand brochet. Finalement, un lac eutrophe est fortement enrichi par les éléments nutritifs. Le phytoplancton est abondant et plusieurs herbiers de plantes aquatiques sont présents. La sédimentation au fond du lac est importante et les eaux profondes sont peu oxygénées. Seules les espèces de poissons préférant les eaux chaudes s'y retrouvent (New Hampshire Department of Environmental Services, 2019).

1.3.1.3 Paramètres d'évaluation du stade d'eutrophisation d'un lac

Plusieurs paramètres sont utilisés pour évaluer le stade d'eutrophisation d'un lac : la concentration en phosphore total et en chlorophylle *a*, la transparence de l'eau, la concentration d'oxygène dissous de la partie profonde du lac ainsi que l'abondance des plantes aquatiques et du périphyton (MELCCFP, s. d.-a). Seuls les trois premiers paramètres seront utilisés dans cette étude pour évaluer le stade d'eutrophisation du lac, soit :

- Le phosphore total (PT) est un élément nutritif qui se trouve généralement en faible concentration dans l'eau des lacs. La rareté du phosphore par rapport aux besoins des végétaux en fait l'élément

qui contrôle leur croissance : plus la concentration de phosphore est élevée, plus l'eutrophisation du lac est avancée.

- La chlorophylle *a* (chl *a*) est un pigment vert que l'on retrouve dans la composition des algues et des plantes. Ce pigment est un indicateur de la biomasse, ou quantité, d'algues microscopiques présentes dans le lac : plus la concentration de chl *a* est élevée, plus l'eutrophisation du lac est avancée.
- La transparence de l'eau diminue avec l'augmentation de la quantité d'algues dans le lac : moins l'eau est transparente, plus l'eutrophisation du lac est avancée. Comme la transparence peut aussi être fortement influencée par la coloration naturelle de l'eau, la mesure de la couleur doit être effectuée pour tenir compte de ce facteur dans l'interprétation des résultats. La mesure de la concentration de carbone organique dissous (COD) sert à évaluer la présence des matières responsables de la coloration jaunâtre ou brunâtre de l'eau : plus la concentration en COD est élevée, moins la transparence est élevée.

1.3.1.4 Détermination du niveau trophique d'un lac

L'attribution d'un niveau trophique à un lac s'effectue en comparant les résultats des concentrations en PT et en chl *a*, et ceux de la transparence de l'eau à des valeurs guide servant à interpréter les données. Les valeurs guides utilisées au Québec sont celles du RSVL qui correspondent aux limites les plus reconnues et utilisées (MELCCFP, s.d.-a). En plus des trois niveaux trophiques principaux vus précédemment, oligotrophe, mésotrophe et eutrophe, le RSVL utilise quatre classes additionnelles :

- Ultra-oligotrophe pour un lac très jeune et peu enrichi, qui contient peu de sédiments et dont les eaux sont très claires;
- Hypereutrophe pour un lac à l'opposé du spectre, c'est-à-dire un lac dont l'eau est extrêmement trouble et où les concentrations de phosphore et d'azote sont très élevées et causent une présence excessive d'algues;
- Oligo-mésotrophe et méso-eutrophe sont deux classes intermédiaires permettant de classer un lac lorsque les paramètres observés oscillent autour des stades transitoires entre deux niveaux trophiques principaux.

La correspondance entre les valeurs des paramètres observées et la classe attribuée à un lac est illustrée à la figure 2. L'exemple suivant permet de comprendre l'utilisation de ce diagramme : un lac dont la concentration en PT moyenne est de 32 µg/l, de chl *a* est de 9,5 µg/l et dont la transparence moyenne est de 2,4 m serait classé dans la zone de transition méso-eutrophe.

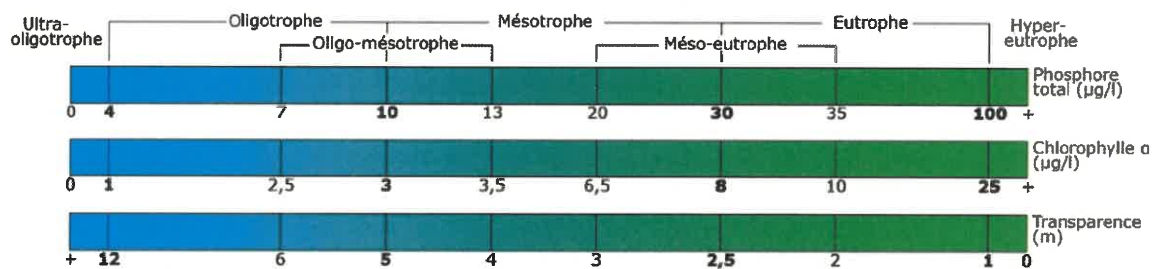


Figure 2 Diagramme de classement du niveau trophique des lacs (MELCCFP, s. d.-a).

1.3.2 Apports internes en phosphore

1.3.2.1 Stratification thermique

Avec l'arrivée de l'été, la majorité des lacs des zones tempérées se divisent en couches de différentes densités en raison de la différence de température entre les couches. Ce phénomène physique s'appelle la stratification thermique.

La densité de l'eau dépend de sa température : elle atteint sa densité maximale à une température de 4 °C. Plus la température de l'eau s'éloigne de 4 °C, soit plus chaude ou plus froide, plus sa densité est faible. De plus, il est à noter que des liquides de différentes densités ne se mélangent pas facilement et que plus la différence de densité entre deux liquides est élevée, plus il est difficile de les mélanger. À titre d'exemple, pensons au vinaigre et à l'huile d'une vinaigrette. Cette résistance à l'homogénéisation s'observe aussi pour des eaux de différentes températures (Fafard, 2018).

À la fin de l'hiver, quand le lac est toujours gelé en surface, l'eau sous la glace avoisine 0 °C alors que celle en profondeur est autour de 4 °C. Les glaces fondent et le rayonnement solaire peut réchauffer l'eau de surface. Lorsque l'eau de surface atteint aussi 4 °C, les vents parviennent à mélanger l'eau du lac sur toute sa profondeur. C'est ce qu'on appelle le brassage printanier. Ce phénomène permet à l'eau du lac de se recharger en oxygène dissous.

Plus la saison avance, plus l'eau de surface se réchauffe, devient moins dense et flotte sur une couche d'eau plus froide en profondeur. C'est le début de la stratification thermique. La couche d'eau chaude en surface se nomme épilimnion. Dans cette couche, la lumière et l'oxygène abondent en raison du contact avec l'air et la production biologique y est la plus importante. La couche profonde est appelée hypolimnion. La température de l'hypolimnion demeure froide tout au long de l'année, recevant très peu de chaleur du soleil. De plus, l'oxygène introduit lors du brassage printanier est consommé par les organismes qui décomposent la matière organique. Dans certaines circonstances, la concentration en oxygène dissous peut devenir nulle; c'est l'anoxie de l'eau. Entre ces deux couches se trouve une couche de transition appelée métalimnion. Dans le métalimnion, la température de l'eau varie rapidement avec la profondeur. L'endroit où la variation de température, et par conséquent de densité, est la plus élevée s'appelle la thermocline. La différence de densité y est suffisamment élevée pour empêcher les échanges de gaz et de nutriments entre la surface et le fond (figure 3).

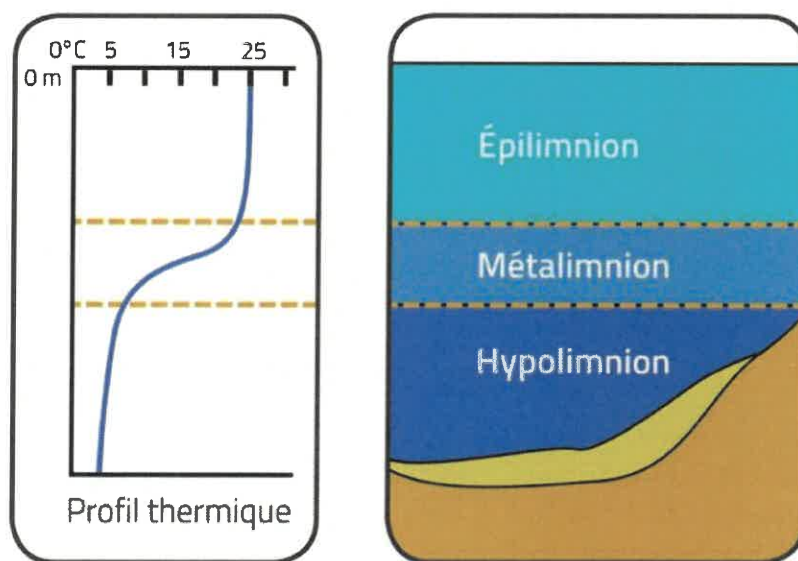


Figure 3 Schéma du profil thermique et des couches thermiques dans un lac typique durant l'été en zone tempérée (CRE Laurentides, 2009).

À l'approche de l'automne, l'eau de la surface du lac se refroidit, devient plus dense et se mélange avec l'eau de l'hypolimnion. La température et la densité des trois couches finissent par s'uniformiser, la stratification thermique disparaît et comme au printemps, les vents peuvent mélanger toute la colonne d'eau. Ce phénomène s'appelle le brassage automnal. Ce mouvement des masses d'eau permet d'augmenter la concentration d'oxygène dissous jusqu'en profondeur.

1.3.2.2 Concentration en oxygène dissous

Dans le cadre de cette étude, la concentration en oxygène dissous a été mesurée afin de déterminer si certaines zones profondes du lac pouvaient se trouver en situation d'anoxie à certains moments de l'année.

Une faible concentration en oxygène dissous est souvent liée à une importante décomposition de la matière organique provenant d'une biomasse élevée d'algues et de plantes aquatiques. Ainsi, les lacs eutrophes sont souvent en manque d'oxygène dans l'hypolimnion (MELCCFP, s. d.-a).

Cependant, d'autres phénomènes peuvent expliquer une faible concentration d'oxygène dans l'hypolimnion. Par exemple, une mauvaise oxygénation lors du brassage printanier en raison d'une faible emprise du vent à la surface d'un lac protégé par des montagnes. Dans une telle situation, le brassage printanier est trop bref ou inexistant afin de recharger suffisamment l'hypolimnion en oxygène (Carignan et al., 2003). Comme autre exemple, certains lacs parviennent à bien se réoxygéner lors du printemps, mais le volume de leur hypolimnion est si faible que l'oxygène vient à être consommé rapidement au cours de l'été malgré une faible production biologique en surface (Carignan, 2018). Il apparaît donc que l'anoxie de l'hypolimnion n'est pas toujours un signe d'un lac en mauvais état.

1.3.2.3 Relargage de phosphore lié aux sédiments

La raison pour laquelle il est intéressant de savoir si des épisodes d'anoxie se produisent dans les zones profondes du lac est que dans une telle situation, si du phosphore est lié chimiquement aux particules de sédiments, celui-ci va se libérer et peut alors devenir disponible pour la croissance des algues et des plantes aquatiques. On parle alors de relargage de phosphore. Ainsi, les apports internes correspondent au phosphore qui est libéré des sédiments et qui est remis en circulation dans l'eau. Dans certains cas, ce relargage peut être la principale source de phosphore pour la croissance des algues présentes dans le lac (Planas et al., 2014).

Pour évaluer si du relargage de phosphore s'effectue dans un lac, il suffit de quantifier la différence de concentration en PT entre l'épilimnion et l'hypolimnion, ainsi que la variation de la concentration de PT dans l'hypolimnion en fonction de l'avancement de la saison. Après le brassage printanier, la concentration en PT de l'hypolimnion devrait être similaire à celle de l'épilimnion. Mais, s'il y a relargage de phosphore, plus la saison avance, plus la concentration en PT de l'hypolimnion augmentera en raison de l'ajout de phosphore en provenance des sédiments, alors que celle de l'épilimnion restera plus ou moins stable.

2 MÉTHODE

2.1 Situation géographique et caractéristiques physiques du lac

Le lac Trois Saumons (47,12741° -70,18342°) est à la tête du bassin versant de la rivière du même nom qui se jette dans le fleuve Saint-Laurent à proximité de la municipalité de Saint-Jean-Port-Joli. Le lac et son bassin versant sont situés principalement sur le territoire de la municipalité de Saint-Aubert; une très petite section du sud du bassin versant (< 100 ha) se trouve dans les municipalités de Saint-Cyrille-de-Lessard et de Saint-Damase-de-L'Islet (figure 4). Ces trois municipalités font partie de la MRC de L'Islet dans la région administrative de Chaudière-Appalaches.

Le lac Trois Saumons est étroit et de forme allongée. Son grand axe est orienté sud-ouest/nord-est, soit dans la même direction que les vents dominants (Windfinder.com, s. d.). Un rétrécissement divise le lac en deux bassins. Le bassin ouest est de forme conique inversée atteignant la profondeur maximale de 16,6 m. Une deuxième fosse d'environ 10 m de profond se situe tout juste à l'ouest de l'île, près du centre du lac. Quant au bassin est, il occupe une plus grande superficie que le bassin ouest, mais il est moins profond. On peut observer une fosse étroite dans sa partie nord qui dépasse les 12 m (figure 5). Le tableau 1 présente les principales caractéristiques du lac Trois Saumons.

Tableau 1 Caractéristiques physiques du lac Trois Saumons.

Paramètre	Valeur
Périmètre	17,74 km
Superficie	2,68 km ²
Longueur maximale	6,1 km
Largeur maximale	0,6 km
Profondeur maximale	16,6 m
Profondeur moyenne	6,2 m
Volume	16 665 000. m ³

Note : ces données proviennent de la *Base de données des lacs et cours d'eau* (LCE) et de la carte *Bathymétrie du Lac Trois Saumons* (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs [MDDEFP], 2013; Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MELCC], 2018).

2.2 Sites et fréquence d'échantillonnage

Trois stations ont été échantillonnées durant la saison libre de glace entre le 9 juin et le 20 octobre 2022. Les stations portent les noms Ouest, Centre et Est et sont situées au-dessus des trois fosses principales du lac (figure 5). Notons qu'elles sont à proximité des stations permanentes du RSVL (600A, 600B et 600C) et de trois des stations de l'étude de Raymond (points 2, 4 et 7; 2021), ce qui permettra de comparer les résultats de tous ces travaux (tableau 2).



Figure 4.
Localisation du lac Trois
Saumons, MRC de L'Islet, Québec

Eutrophisation et apports internes en
phosphore du lac Trois Saumons en 2022

Légende

Découpage administratif

Municipalité

Hydrographie

Lac, cours d'eau

Cours d'eau permanent

Bassin versant du lac Trois Saumons

Bassin versant de la rivière Trois Saumons

Réseau routier

Autoroute

Route nationale, route régionale

Route locale



Métadonnées

Système de référence géodésique : NAD83

Projection cartographique : MTM fuseau 7

Sources

Bassin versant : Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les
changements climatiques, 2018

Hydrographie et découpage administratif : Ministère de l'Énergie et des
Ressources naturelles, 2021 et 2022

Réseau routier : Adresses Québec, 2022



Cartographie : Marc Bélanger

Révision : Bruno Fortin

Janvier 2023

0 1 2 3 4 km

1:62 500

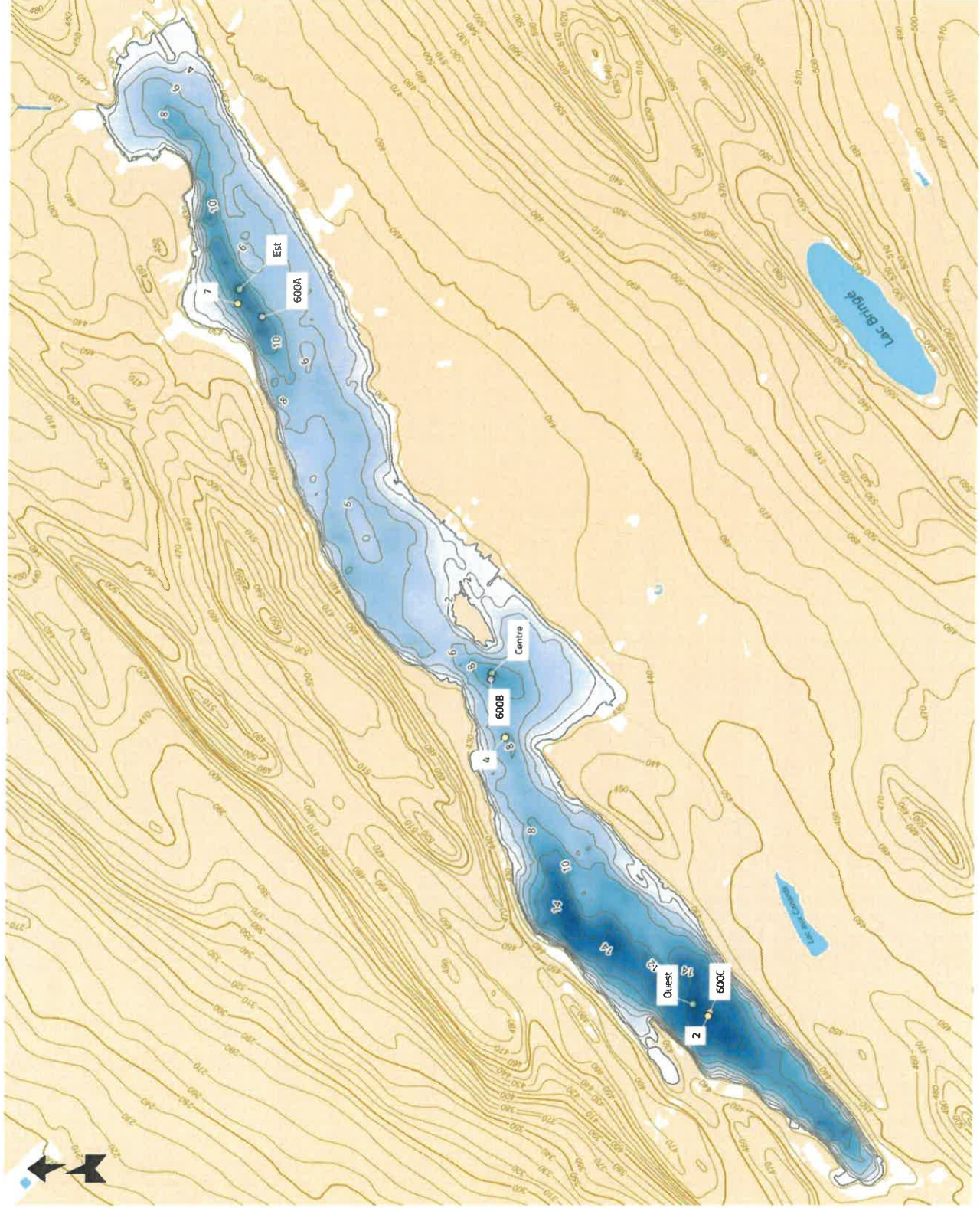


Figure 5.
Bathymétrie et
stations d'échantillonnage

Eutrophisation et apports internes en
phosphore du lac Trois Saumons en 2022

Légende

Stations d'échantillonnage

- Réseau de surveillance volontaire des lacs (2011-2020)
- Suivi de la qualité des eaux de surface du lac Trois-Saumons (2021)
- Organisme des bassins versants de la Côte-du-Sud (2022)

Hydrographie

- Lac, cours d'eau
- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau intermittent
- Isobathe (2 m)

Modèle

- Courbe de niveau malinésie
- Courbe de niveau intermédiaire

Végétation

- Milieu boisé

Métadonnées

Système de référence géodésique : NAD83
Projection cartographique : MTM fuseau 7

Sources

Stations d'échantillonnage : Ministère de l'Environnement et de la Lutte
contre les changements climatiques, IRDS Expertise et OUV de la
Côte-du-Sud, 2010, 2021 et 2022
Bathymétrie : Ministère du Développement durable, de la Faune et des Parcs,
2013
Hydrographie, hypsographie et végétation : Ministère de l'Énergie et des
Ressources naturelles, 2021 et 2022



Cartographie : Marc Bélanger
Révision : Bruno Fortin
Janvier 2023



1:16 000

Tableau 2 Coordonnées géographiques des stations échantillonnées au lac Trois Saumons en 2022 et stations correspondantes du RSVL et de Raymond (2021).

Station	Coordonnées géographiques	Profondeur (m)	Numéro de station	
			RSVL	Raymond
Ouest	47,11717° -70,20812°	16,6	600C	2
Centre	47,12519° -70,18880°	10,7	600B	4
Est	47,13526° -70,16646°	14,3	600A	7

Les stations ont été échantillonnées à sept reprises, soit le 9 juin, 13 juillet, 10 août, 12 et 18 septembre, et 6 et 20 octobre. La fréquence d'échantillonnage était à toutes les quatre semaines entre le début du mois de juin et la mi-septembre, puis à toutes les deux semaines jusqu'à la mi-octobre. Les échantillonnages plus fréquents à l'automne ont permis de déterminer le moment où la concentration en oxygène dissous dans la colonne d'eau était à son minimum.

2.3 Paramètres mesurés sur place

Les paramètres suivants ont été mesurés à chacune des sept visites : transparence de l'eau, température de l'eau, concentration en oxygène dissous, pH et conductivité spécifique.

La transparence de l'eau a été estimée à l'aide d'un disque de Secchi de 20 cm de diamètre (figure 6). Sur le côté ombragé de l'embarcation, la profondeur moyenne entre l'endroit de disparition et de réapparition du disque était notée. Deux mesures par station ont été faites avec une précision au centimètre près. La valeur retenue correspond à la moyenne de ces deux mesures.

Une sonde multiparamétrique ProQuatro (figure 6, YSI, Yellow Springs, É.-U.) a été utilisée pour obtenir des profils verticaux de la température de l'eau, de la concentration en oxygène dissous, du pH et de la conductivité spécifique (tableau 3). Le capteur d'oxygène dissous a été calibré à chaque journée d'échantillonnage dans de l'air saturé de vapeur d'eau, alors que les autres capteurs ont été calibrés environ à toutes les deux sorties dans les solutions témoins appropriées. Les mesures de ces paramètres ont été prises de la surface jusqu'au fond à tous les mètres. Si la température entre deux profondeurs variait de plus de 4 °C, une mesure intermédiaire était prise.



Figure 6 Instruments utilisés lors de l'échantillonnage : de gauche à droite, un disque de Secchi, une sonde multiparamétrique et un échantillonneur Van Dorn.

Tableau 3 Capteurs de la sonde multiparamétrique ProQuatro et leur incertitude absolue.

Capteur	Modèle	Unité de mesure	Incertitude absolue
Température	YSI 5560	°C	± 0,1 °C
Oxygène dissous	YSI 2002	mg/l	± 0,01 mg/l
pH	YSI 1001	unité	± 0,01 unité
Conductivité spécifique	YSI 5560	µS/cm	± 0,1 µS/cm

Lors de la sortie du 9 juin, seul un câble d'une longueur de 10 m était disponible. Les données profondes de la station Ouest pour cette date sont donc manquantes. Pour toutes les autres sorties, un câble d'une longueur de 20 m a été utilisé.

La sonde multiparamétrique mesure les quatre paramètres précédemment mentionnés de façon simultanée. Dans le cas de la présente étude, le pH et la conductivité spécifique n'apportent pas d'informations essentielles. Cependant, elles pourraient éventuellement servir pour un suivi sur plusieurs années de la qualité de l'eau, ou encore pour des travaux concernant l'habitat des espèces fauniques. Ces paramètres ne seront pas interprétés dans le cadre de ce rapport, mais les données mesurées sont fournies à l'annexe A.

2.4 Paramètres analysés en laboratoire

Des échantillons d'eau ont été prélevés lors de quatre visites (13 juillet, 10 août, 12 septembre et 6 octobre) pour l'analyse en laboratoire de trois paramètres de la qualité de l'eau, soit le phosphore total, la chlorophylle *a* et le carbone organique dissous.

Trois échantillons d'eau ont été prélevés par station : le premier à un mètre de profondeur, le deuxième à un mètre du fond et le troisième au centre du métalimnion en présence de stratification thermique sinon, à mi-distance entre la surface et le fond. Les trois paramètres étaient analysés pour les échantillons d'eau prélevés en surface, alors que seuls le PT et la chl *a* ont été dosés pour les échantillons du fond et du métalimnion. Une bouteille Van Dorn de 2,2 litres (figure 6, modèle 3-1920-H62, Wildlife Supply Company, Yulee, É.-U.) a été utilisée pour prélever l'eau. Les échantillons d'eau ont été transférés dans des bouteilles de plastique opaque fournies par le laboratoire et maintenues à l'abri de la lumière à une température avoisinant 4 °C jusqu'à leur arrivée au laboratoire moins de 48 heures après leur prélèvement.

Le laboratoire Eurofins Environex (150-4495, boul. Wilfrid-Hamel, Québec) a été retenu pour les analyses. Les méthodes d'analyses employées sont présentées au tableau 4 et sont basées sur celles du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) (J. Provencher, communication personnelle, 13 décembre 2022). Il s'agit des mêmes méthodes d'analyse utilisées par le RSVL sauf pour le phosphore total; pour ce paramètre, le RSVL utilise la méthode d'analyse MA. 303 – P 5.2 (CEAEQ, 2019). Mais la méthode retenue pour la présente étude analyse très bien le phosphore et les procédures du laboratoire respectent la limite de détection exigée. De plus, la qualité de leurs résultats est vérifiée périodiquement par l'équipe d'accréditation du CEAEQ (S. Roberge, communication personnelle, 27 janvier 2023).

Tableau 4 Méthodes d'analyse employées.

Paramètre	Méthode d'analyse	Limite de détection	Référence
Phosphore total	MA. 200 Mét. 1.2	0,6 µg/l	(CEAEQ, 2020)
Chlorophylle <i>a</i>	MA. 800 – Chlor. 2.0	0,1 µg/l	(CEAEQ, 2022)
Carbone organique dissous	MA. 300 – C 1.0	0,5 mg/l	(CEAEQ, 2016)

2.4.1 Contrôle de la qualité

Un blanc de terrain pour le PT a été pris lors de chaque journée d'échantillonnage à une station choisie aléatoirement parmi les trois. Concrètement, il s'agit répéter les manipulations faites avec l'eau du lac, mais en utilisant de l'eau distillée : remplir l'échantillonneur d'eau distillée, le secouer légèrement puis transvider l'eau dans une bouteille destinée au laboratoire. Le blanc de terrain est ensuite analysé en même temps que les échantillons d'eau de lac afin de déterminer si une contamination est survenue lors de l'échantillonnage ou pendant le transport. Les prélèvements de blancs de terrain pour la chl *a* et le COD n'ont pas été jugés nécessaires étant donné la très faible possibilité de contamination pour ces paramètres.

Lors de l'analyse, des blancs de laboratoire ont été effectués pour les échantillons d'une même journée d'échantillonnage, et ce, pour chacun des trois paramètres. Ces blancs, qui sont normalement de l'eau filtrée ultrapure, permettent de confirmer qu'aucune contamination n'a eu lieu durant la préparation des échantillons et leur analyse. De plus, des étalons certifiés dont les valeurs sont connues ont été ajoutés aux lots d'analyse afin de valider la justesse des méthodes.

2.5 Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R (version 4.2.2). Les moyennes de la transparence de l'eau et des concentrations de PT, de chl *a* et de COD des trois stations, de même que les concentrations de chl *a* de cette étude par rapport à celles effectuées dans le cadre du RSVL entre 2010 et 2020 ont été comparées à l'aide d'une analyse de la variance à un facteur. La différence entre les résultats des concentrations de PT de cette étude et celles du RSVL pour 2019 et 2020 a été testée grâce à un test *t* pour échantillons indépendants.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Eutrophisation

3.1.1 Contrôle de la qualité

L'analyse des blancs de terrain pour le PT a donné des valeurs plus élevées que celles attendues. Alors que l'on pourrait s'attendre à des valeurs s'approchant de la limite de détection de la méthode d'analyse, soit 0,6 µg/l, les résultats ont été respectivement 3,0 µg/l, 56,4 µg/l, 7,3 µg/l et 6,8 µg/l, ce qui est beaucoup pour les valeurs inférieures à 10 µg/l, voir énorme pour celle de 56,4 µg/l. Peut-on alors conclure qu'une contamination a eu lieu?

Tout d'abord, nous sommes peu enclins à croire que les échantillons ont été contaminé lors des prélèvements sur le terrain. En effet, nous avons observé le travail des personnes responsables de l'échantillonnage et nous pouvons affirmer qu'ils travaillaient adéquatement pour éviter la contamination des échantillons.

Nous doutons plutôt de la qualité de l'eau distillée utilisée pour effectuer les blancs. Nous avons demandé au laboratoire de nous fournir de l'eau ultrapure pour les blancs, mais comme il nous fallait entre deux et quatre litres d'eau pour chaque campagne d'échantillonnage, le laboratoire ne pouvait nous fournir de tels volumes. Nous avons alors utilisé de l'eau distillée achetée en pharmacie pour les campagnes où les blancs ont donné des valeurs inférieures à 10 µg/l. Notre hypothèse est que le processus de distillation d'eau à grand volume pour une utilisation domestique, dans un fer à repasser par exemple, n'est pas adéquat pour éliminer toute trace de minéraux tel que requis dans une étude sur des éléments traces dans de l'eau de surface.

Quant à la valeur de 56,4 µg/l, elle a été obtenue à la suite de l'utilisation du petit volume d'eau (250 ml) que le laboratoire pouvait nous fournir. Ce volume était bien sûr insuffisant pour rincer un échantillonneur de deux litres et une contamination par de l'eau résiduelle sur ses parois a pu avoir lieu. Cependant, les valeurs en concentration de PT de cette campagne sont toutes inférieures à 25 µg/l et nous ne comprenons pas comment une contamination si importante a pu avoir lieu. Malheureusement, ceci restera inexpliqué.

Si l'on retient l'hypothèse que les valeurs des blancs de terrain sont exactes et qu'une contamination a eu lieu lors de l'échantillonnage ou du transport des échantillons, il en ressort que les valeurs de concentration en PT de cette étude sont surestimées.

Concernant les blancs de laboratoire, leur valeur était toujours en deçà de la limite de détection; aucune contamination n'a eu lieu lors de l'analyse des échantillons. Quant aux résultats des étalons certifiés, ils étaient en deçà de 5 % de la valeur attendue, sauf à une occasion pour le PT du 13 juillet, mais toujours à l'intérieur des limites acceptées par le laboratoire.

3.1.2 Transparence de l'eau

Au cours de la saison, la transparence de l'eau s'est comportée de façon identique aux trois stations visitées. Elle a augmenté progressivement jusqu'à la mi-septembre, puis elle a rapidement diminué une semaine plus tard et est restée plus ou moins stable jusqu'au mois d'octobre (figure 7).

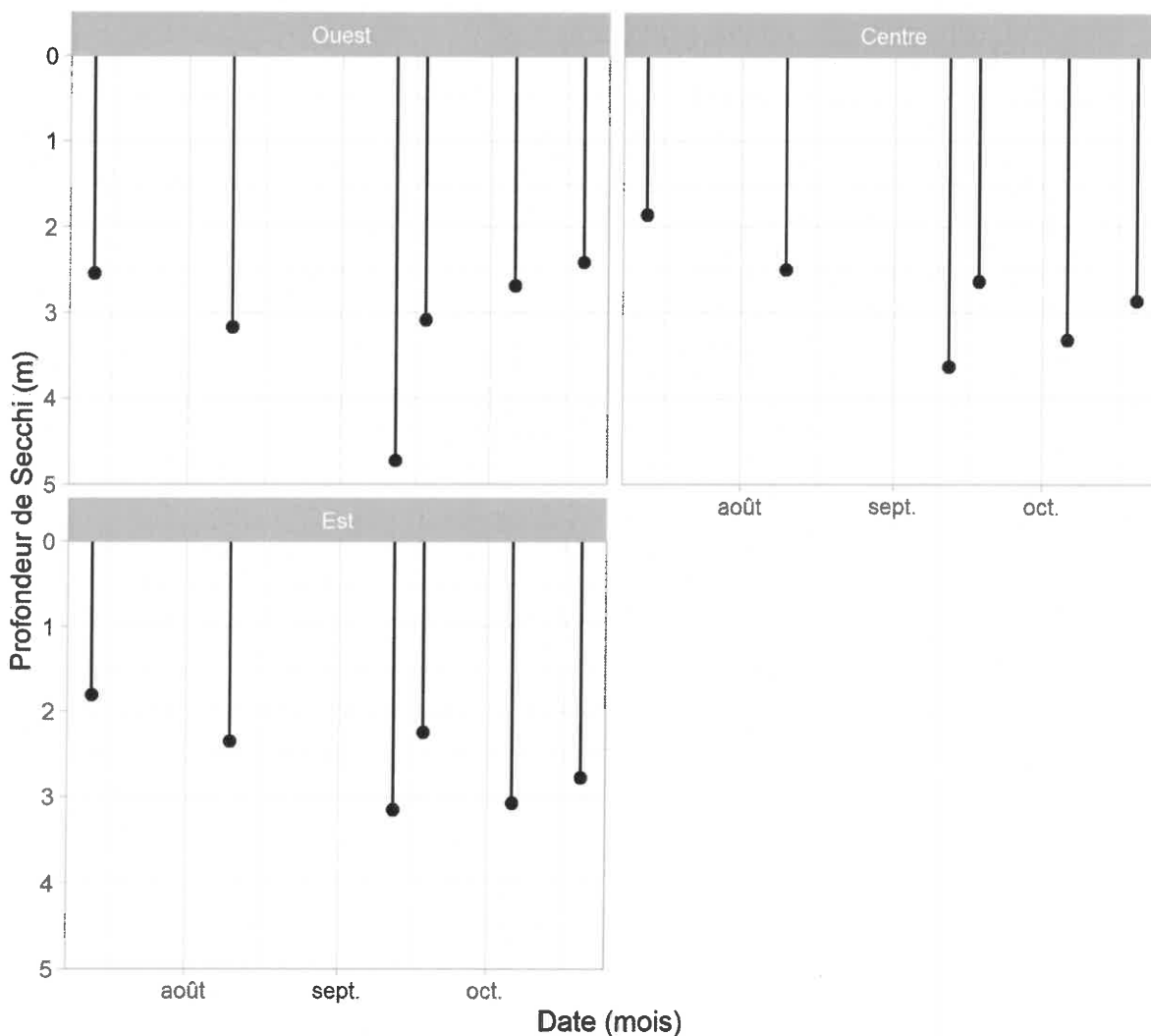


Figure 7 Évolution de la transparence de l'eau aux trois stations du lac Trois Saumons à la saison 2022.

La profondeur de Secchi moyenne ($\pm$ écart-type) au cours de la saison était $3,11 \pm 0,81$ m, $2,80 \pm 0,60$ m et $2,57 \pm 0,51$ m pour les stations Ouest, Centre et Est respectivement. La transparence de l'eau diminue selon un axe ouest-est, c'est-à-dire que les eaux de l'ouest du lac sont plus transparentes que celles de l'est, mais cette différence n'est pas significative ($F(2, 33) = 2,067$, $p = 0,143$).

La concentration moyenne de COD pour les stations Ouest, Centre et Est était de $4,4 \pm 0,2$ mg/l, $4,5 \pm 0,3$ mg/l et $4,4 \pm 0,2$ mg/l respectivement (tableau 5). La différence entre les stations n'est pas significative ($F(2, 9) = 0,185$, $p = 0,834$), c'est-à-dire que la couleur de l'eau est identique d'une station à

l'autre. Ces concentrations moyennes de COD indiquent que l'eau est naturellement colorée et cette couleur a par conséquent une incidence sur la transparence de l'eau.

Tableau 5 Concentration de carbone organique dissous (mg/l) aux trois stations du lac Trois Saumons à la saison 2022.

Date	Station		
	Ouest	Centre	Est
13 juillet	4,6	4,8	4,7
10 août	4,2	4,2	4,2
12 septembre	4,2	4,2	4,5
6 octobre	4,4	4,6	4,3
Moyenne saisonnière	4,4	4,5	4,4

Selon le classement du niveau trophique des lacs du RSVL, une transparence de 3,11 m caractérise une eau légèrement opaque, situant l'état trophique du lac à la station Ouest dans la classe mésotrophe, alors que des eaux d'une transparence de 2,80 et 2,57 m caractérise des eaux troubles, situant les stations Centre et Est dans la zone de transition méso-eutrophe.

La transparence de l'eau observée en 2022 est semblable aux observations effectuées dans le cadre du RSVL. En effet, bien que le nombre de mesures réalisées en 2022 soit six par station, soit inférieur au nombre de dix recommandé par le RSVL (MELCCFP, s. d.-c), la transparence de l'eau du lac Trois Saumons n'a pas beaucoup changé depuis 2010 (figure 8). Il y a eu quelques années exceptionnelles comme en 2015 où l'eau du lac était légèrement trouble, et entre 2017 et 2019 où elle était plus claire que la moyenne. Mais depuis 2020, la transparence de l'eau est revenue aux mêmes valeurs que celles de la période 2010 à 2014.

Le gradient de transparence selon l'axe ouest-est du lac est aussi présent dans les données depuis 2010.

3.1.3 Phosphore total dans l'épilimnion

Les concentrations de PT étaient faibles au début de la saison d'échantillonnage. Il s'est ensuite suivi une augmentation des concentrations vers la mi-août. Dès la mi-septembre, les concentrations se sont stabilisées autour de 10,5 µg/l (figure 9). La concentration moyenne de PT dans l'épilimnion des stations Ouest à Est pour toute la saison était $11,1 \pm 3,5$ µg/l, $8,5 \pm 1,9$ µg/l et $11,5 \pm 4,6$ µg/l. Les différences observées entre les stations ne sont pas significatives ($F(2, 9) = 0,862$, $p = 0,455$), ce qui revient à dire que le PT est réparti uniformément dans l'épilimnion.

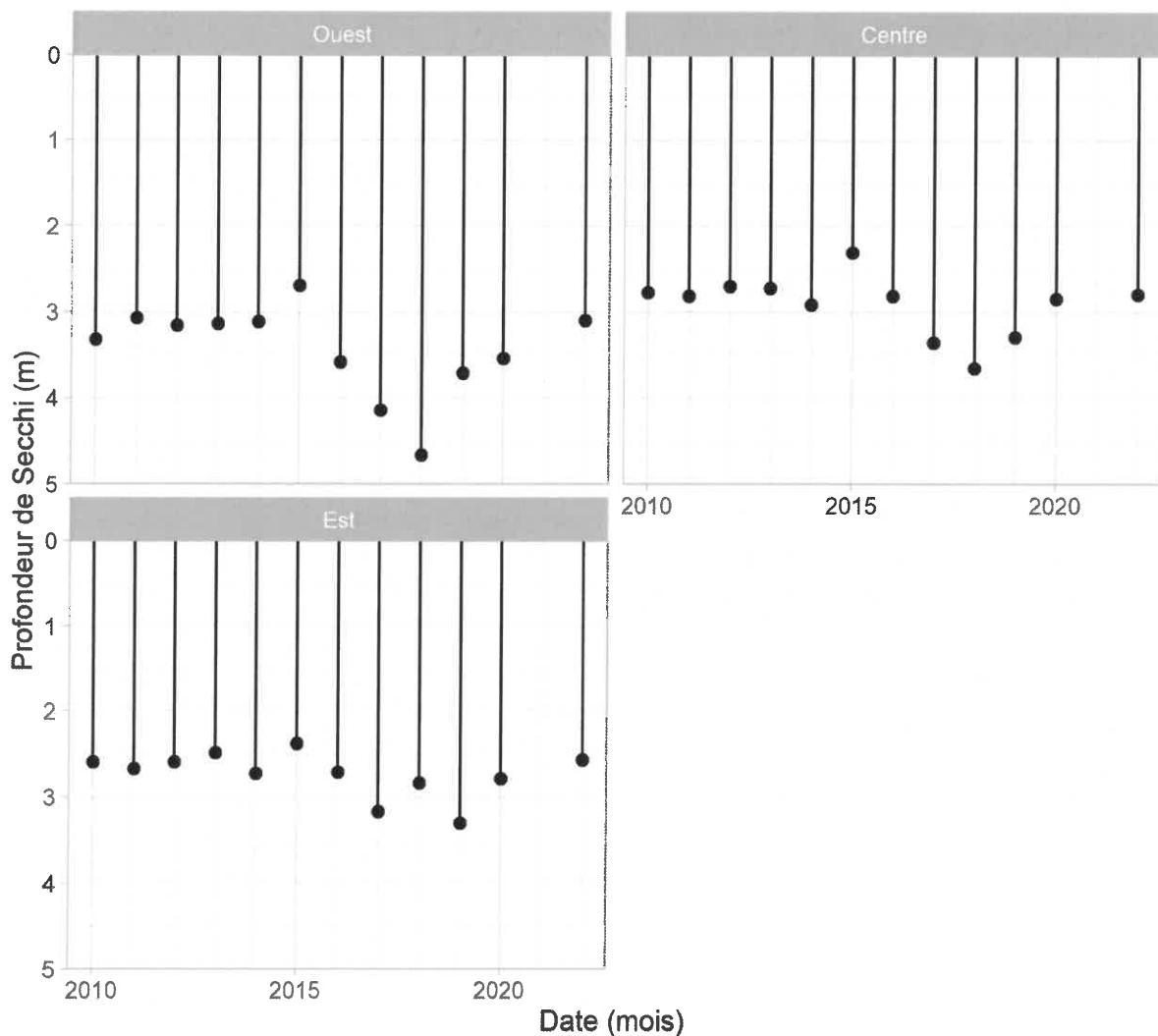


Figure 8 Transparence estivale moyenne de l'eau au lac Trois Saumons de 2010 à 2020 (RSVL) et 2022 (OBV). Aucune mesure n'a été faite en 2021.

Des concentrations moyennes de PT mesurées allant de 8,5 µg/l à 11,5 µg/l indiquent que l'eau est légèrement enrichie par cet élément nutritif. Cette variable situe l'état trophique du lac dans la zone de transition oligo-mésotrophe.

Les résultats de phosphore total dans les lacs du RSVL pour les années 2004 à 2017 sont actuellement en révision. En effet, l'utilisation de bouteilles de plastique pour conserver les échantillons d'eau et le volume d'échantillon utilisé pour les analyses de laboratoire ont peut-être mené à une sous-estimation de la quantité de PT réelle (MELCCFP, s. d.-b). De plus, les ions chlorures, lorsque présents dans l'eau, ont pu interférer dans l'analyse chimique de ce paramètre. Mais depuis 2018, Le Ministère a apporté des

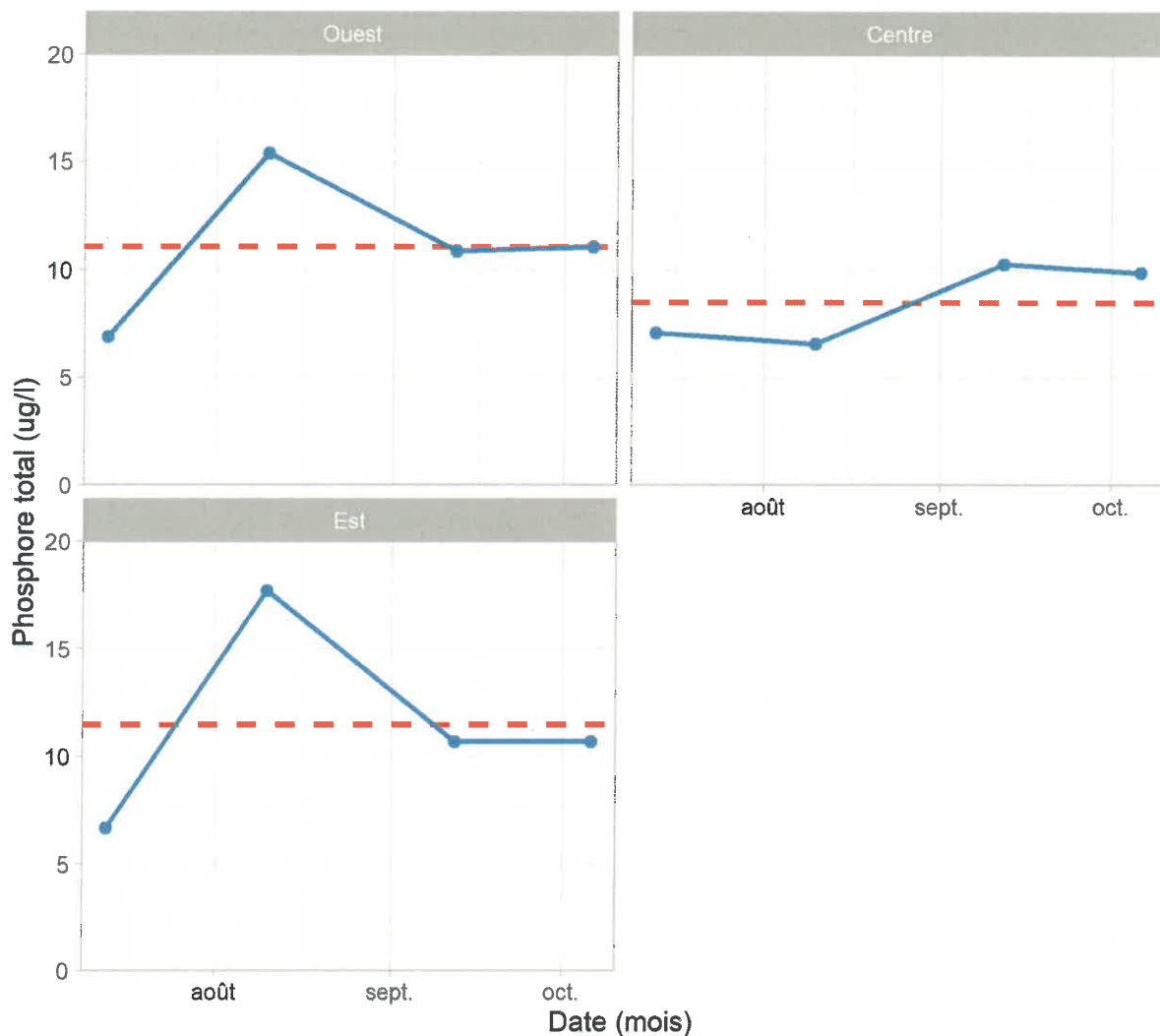


Figure 9 Évolution de la concentration en phosphore total dans l'épilimnion aux trois stations du lac Trois Saumons de juillet à octobre 2022. La ligne rouge représente la moyenne des observations.

changements à ses procédures et à sa méthode analytique pour optimiser sa performance. Voilà pourquoi nous éviterons de comparer les résultats de PT de 2022 à ceux des années antérieures à 2018.

Les concentrations de PT de cette étude (moyenne = 10,3 µg/l) sont plus élevées que celles mesurées en 2019 et 2020 dans le cadre du RSVL (moyenne = 8,0 µg/l, figure 10). Cette différence n'est pas importante, mais elle est significative ($t_{(52)} = -3,531, p < 0,001$). La concentration médiane du RSVL, soit la ligne verticale qui sépare la boîte bleue en deux, est de 7,2 µg/l alors que celle de 2022 est de 10,5 µg/l. Aussi, la dispersion des concentrations de cette étude est plus élevée que celle du RSVL, comme le démontrent les moustaches, soit les deux lignes horizontales à l'extérieur des boîtes. Il faut relativiser cette augmentation : il s'agit d'une hausse peu importante, ce sont des données sur une seule année d'étude

et non une tendance sur plusieurs années, et l'état trophique du lac Trois Saumons est situé dans la zone de transition oligo-mésotrophe depuis 2012.

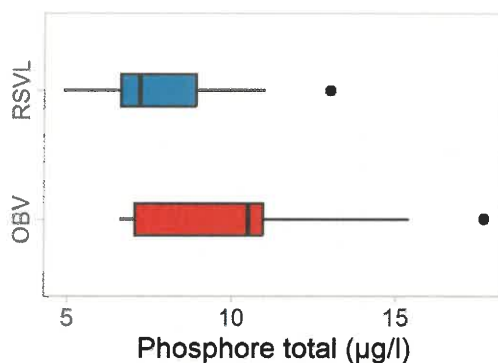


Figure 10 Boîte à moustaches (*boxplot*) des concentrations en phosphore total dans l'épilimnion pour les années 2019 et 2020 dans le cadre du RSVL et pour la saison 2022 (OBV) au lac Trois Saumons. Les points représentent des valeurs très à l'écart des autres valeurs.

Il est difficile de comparer les données de 2022 à celles de l'étude de Raymond de 2021. En effet, certaines données de l'étude de 2021 sont manquantes, car sous la limite de détection de la méthode d'analyse utilisée. Par exemple, la méthode utilisée le 24 mai pour le PT avait une limite de détection de 50 µg/l et les trois résultats de cette journée étaient inférieurs à cette limite, donc pouvaient être n'importe quelle valeur entre 0 µg/l et 50 µg/l, ce qui représente une marge énorme compte tenu des valeurs normalement mesurées dans l'eau de lac. Concernant les données disponibles, environ 20 % sont inférieures à 20 µg/l, mais les autres vont de 30 µg/l à 450 µg/l, soit des valeurs improbables pour le lac Trois Saumons. Il est difficile de déterminer la raison de ces valeurs si élevées.

3.1.4 Chlorophylle *a* dans l'épilimnion

L'évolution des concentrations de chl *a* a suivi une tendance similaire à celle du PT : les concentrations étaient faibles à la mi-juillet et ont atteint leur maximum au milieu du mois d'août, pour finalement diminuer au début de l'automne (figure 11). La concentration moyenne de chl *a* dans l'épilimnion pour toute la saison était $2,7 \pm 1,3$ µg/l (Ouest), $2,1 \pm 1,1$ µg/l (Centre) et $1,9 \pm 0,8$ µg/l (Est). Encore une fois, les différences observées entre les stations ne sont pas significatives ($F(2, 9) = 0,66$, $p = 0,54$), ce qui revient à dire que la concentration de chl *a* dans l'épilimnion est similaire d'une station à l'autre.

Des concentrations moyennes de chl *a* allant de 1,9 µg/l à 2,1 µg/l révèlent un milieu dont la biomasse d'algues microscopiques en suspension est faible et situe le lac pour les stations Centre et Est dans la classe oligotrophe. Quant à la concentration de 2,7 µg/l, elle indique un milieu dont la biomasse d'algues est légèrement élevée et situe l'état trophique du lac pour la station Ouest dans la zone de transition oligo-mésotrophe. Si la concentration moyenne en chl *a* de la station Ouest est plus élevée que les autres, c'est en raison d'une seule mesure, soit celle du 10 août à 4,5 µg/l. Toutes les mesures au mois d'août sont élevées, car au milieu de l'été, la production d'algues est à son maximum. Celle de la station Ouest est juste un peu plus élevée que les autres.

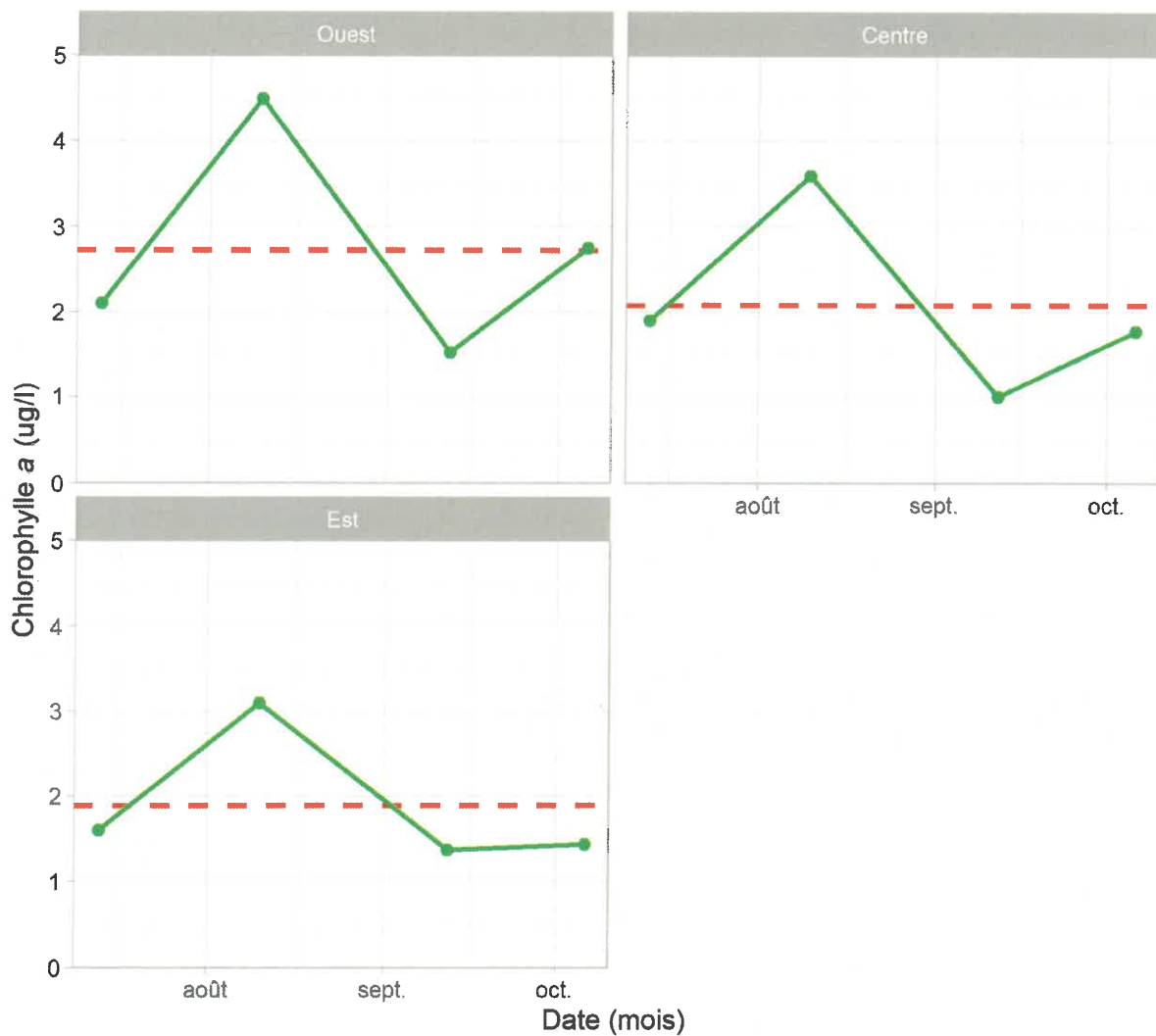


Figure 11 Évolution de la concentration de la chlorophylle *a* dans l'épilimnion aux trois stations du lac Trois Saumons de juillet à octobre 2022. La ligne rouge représente la moyenne des observations.

Les concentrations de chl *a* de cette étude sont similaires à celles mesurées entre 2010 et 2020 dans le cadre du RSVL (figure 12). Hormis le fait que la dispersion des concentrations de chl *a* est plus importante pour l'année 2012, on n'observe aucune différence significative entre les années pour chacune des stations (Ouest : $F(5, 13) = 0,760$, $p = 0,594$; Centre : $F(3, 9) = 0,391$, $p = 0,762$; Est : $F(5, 13) = 0,902$, $p = 0,509$). Autrement dit, la concentration de chl *a* est identique entre les stations et n'a pas changé de façon significative depuis 2010.

3.1.5 Niveau trophique

La transparence de l'eau et la concentration en chl *a* n'ont pas beaucoup changé depuis 2010. Seule la concentration en PT aurait augmenté. L'intégration de l'ensemble des variables physicochimiques

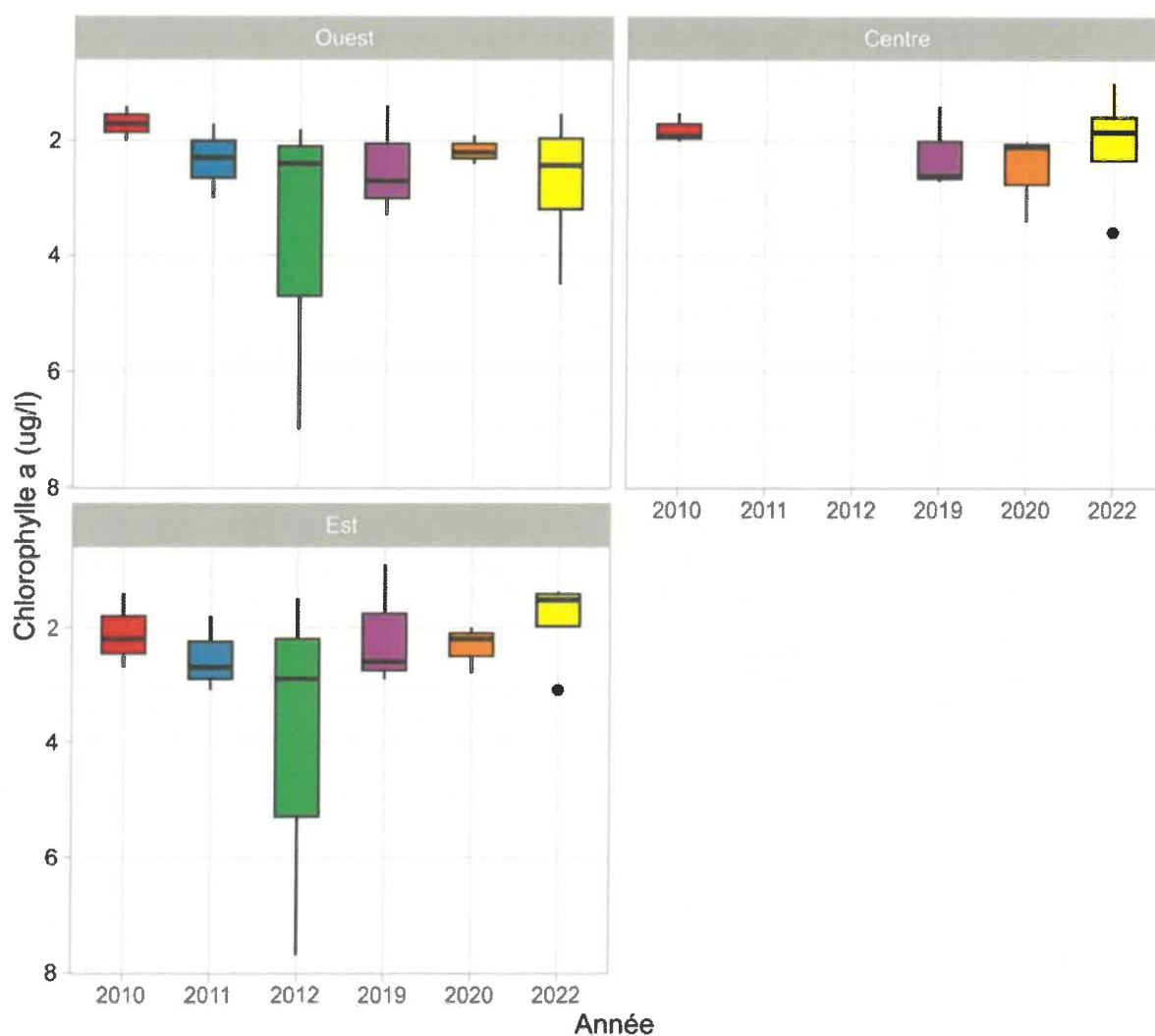
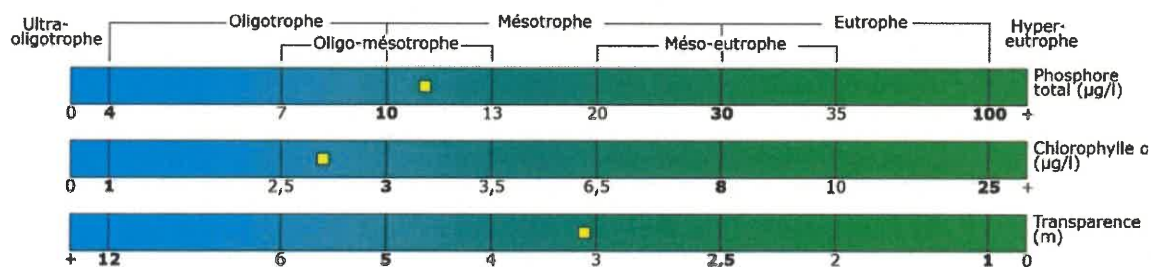


Figure 12 Boîtes à moustaches des concentrations en chlorophylle *a* de l'épilimnion à chacune des trois stations d'échantillonnage au lac Trois Saumons pour les années 2010 à 2012 et 2019 à 2020 (RSVL) et pour la saison 2022 (OBV). Aucune donnée n'a été prise pour la station Centre en 2011 et 2012.

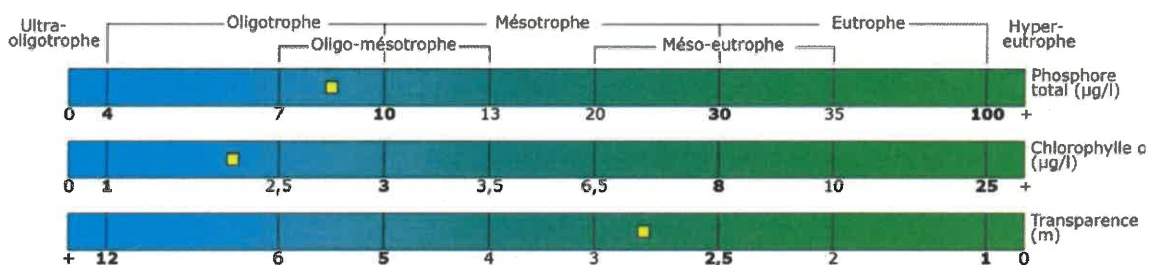
mesurées aux trois stations en 2022 situe l'état trophique du lac dans la zone de transition oligo-mésotrophe (figure 13). Le lac présente donc certains signes d'eutrophisation.

Selon le RSVL, le lac Trois Saumons est dans cette zone de transition depuis 2012 (MELCCFP, 2020). Cependant, les résultats plus élevés de 2022 semblent indiquer que le lac ne serait pas en situation stable, mais poursuivrait son processus d'eutrophisation. Toutefois, comme il peut y avoir une certaine variabilité des résultats d'une année à l'autre en fonction de divers paramètres, il se peut que les paramètres mesurés en 2022 aient été ainsi influencés. Seul un suivi régulier du lac dans le cadre du RSVL permettra de le confirmer.

Ouest



Centre



Est

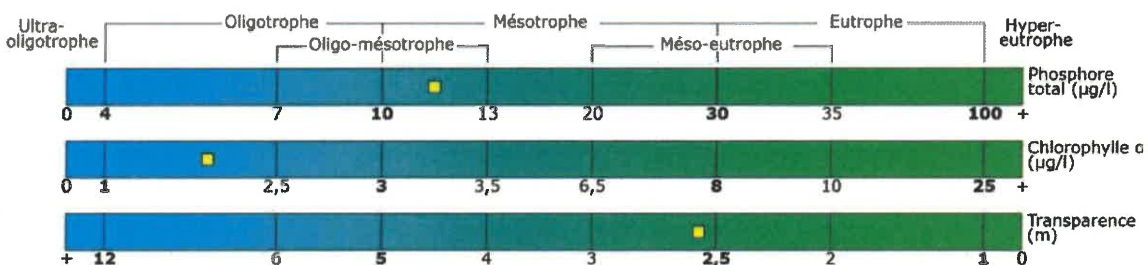


Figure 13 Classement du niveau trophique des stations du lac Trois Saumons à la saison 2022. Les carrés jaunes représentent la valeur de la station pour ce paramètre.

3.2 Apports internes de phosphore

3.2.1 Température de l'eau

La figure 14 présente une extrapolation des profils saisonniers de température de l'eau en fonction de la profondeur pour chacune des trois stations. Sur ces graphiques, plus la couleur tend vers le bleu, plus la température de l'eau est basse. Inversement, plus la couleur tend vers le rouge, plus la température de l'eau est élevée. Le carré blanc dans le graphique de la station Ouest est dû à une absence de données en raison d'une longueur inadéquate du câble de la sonde multiparamétrique.

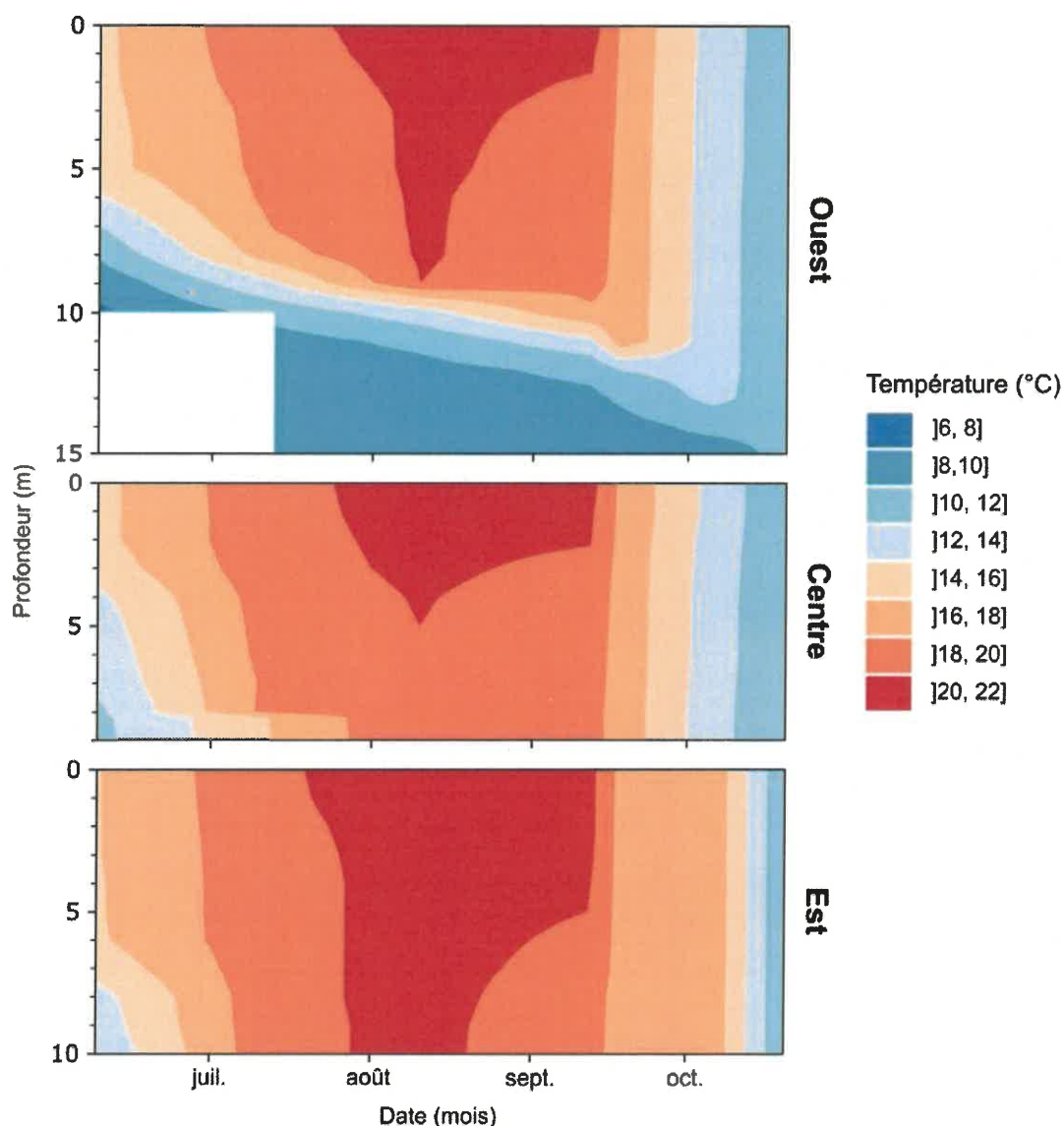


Figure 14 Température de l'eau en fonction de la profondeur aux trois stations échantillonnées au lac Trois Saumons à l'été 2022. La partie blanche du graphique de la station Ouest est causée par l'utilisation d'un câble de longueur insuffisante.

Le lac Trois Saumons est un lac dimictique, c'est-à-dire un lac dont les eaux se retournent deux fois par année, soit au printemps et à l'automne, avec des périodes de stratification thermique entre ces deux événements. C'est ce qu'on observe à la station Ouest. Les premières mesures datent du 9 juin, qui correspond à l'extrême gauche du graphique, et l'on voit que la stratification thermique, représentée par la transition rapide des couleurs chaudes aux couleurs froides à une profondeur d'environ 7 m, était déjà présente. Cette stratification s'est maintenue tout le long de l'été jusqu'à la mi-septembre où l'épilimnion s'est refroidi en raison de la baisse de la température de l'air. Progressivement, l'épilimnion s'est approfondi jusqu'à rejoindre l'hypolimnion lors du brassage automnal survenu entre le 6 et le 20 octobre.

La présence d'une stratification thermique est donc une barrière au renouvellement de l'oxygène dans l'hypolimnion du bassin ouest.

Puisqu'aucune donnée n'a été prise au printemps, nous ne pouvons affirmer avec certitude que le brassage printanier permet le brassage complet de la partie ouest du lac. En conséquence, nous ne savons pas si les eaux profondes parviennent à se recharger en oxygène dissous.

Des données du 11 août 2010 montrent que la stratification était en place, avec la thermocline autour de 9 m de profondeur (Beaudry, 2011), comme ce qui a été observé en 2022. Une caractérisation ichtyologique du lac le 9 septembre 2002 indique que la thermocline était présente et à une profondeur approximative de 10,5 m (Trencia et al., 2004). Encore une fois, ces données sont similaires à celles de cette étude. Nous pouvons dire que vraisemblablement, la température de l'eau à la station Ouest présente une stratification thermique qui ne varie pas beaucoup depuis une vingtaine d'années.

La situation n'est pas la même aux stations Centre et Est, où aucune stratification thermique n'a été observée. À première vue, cela peut paraître particulier, surtout pour la partie est du lac, car en zone climatique tempérée comme au Québec, les lacs ayant une profondeur supérieure à 6 m devraient avoir leurs eaux stratifiées (Wetzel, 2001). Mais la forme et l'orientation du lac, ainsi que le profil de la cuvette peuvent expliquer l'absence de stratification thermique. La forme allongée du lac Trois Saumons, son orientation dans l'axe des vents dominants et son encaissement entre deux chaînes de montagnes favorisent la circulation des vents vers sa partie est. Les eaux du centre et du bassin est sont ainsi soumises à un brassage plus fréquent. Ajoutons à cela la forme particulière de la cuvette, où un petit volume d'eau profonde ne parvient pas à conserver une température fraîche en raison d'un grand volume d'eau peu profonde et plus chaude qui le recouvre. Cette hypothèse est renforcée par le gradient de transparence de l'eau; à la section 3.1.2, on notait que l'eau du lac devient plus trouble en allant vers l'est. C'est un phénomène attendu lorsque des eaux sont brassées plus fréquemment. Cette absence de stratification thermique est aussi observée dans les études antérieures (Beaudry, 2011; Trencia et al., 2004). On peut raisonnablement supposer que cette particularité du lac Trois Saumons est un phénomène physique et tout à fait naturel.

Malgré cette absence de stratification thermique dans le bassin est, la température de l'eau au lac Trois Saumons se comporte exactement comme l'on pourrait s'y attendre pour un lac de ce type.

3.2.2 Oxygène dissous

Pour les graphiques de concentration en oxygène dissous (figure 15), une couleur bleue indique des eaux bien oxygénées, alors qu'une couleur rouge est utilisée pour des eaux peu à non oxygénées. On considère que l'eau est peu oxygénée, ou hypoxique, quand la concentration en oxygène dissous est inférieure à 3 mg/l (US EPA, 2015) : la plupart des espèces aquatiques ne peuvent vivre sous ces conditions. On parle d'eau anoxique lorsque sa concentration en oxygène dissous est inférieure à 1 mg/l (U.S. Geological Survey, 2020).

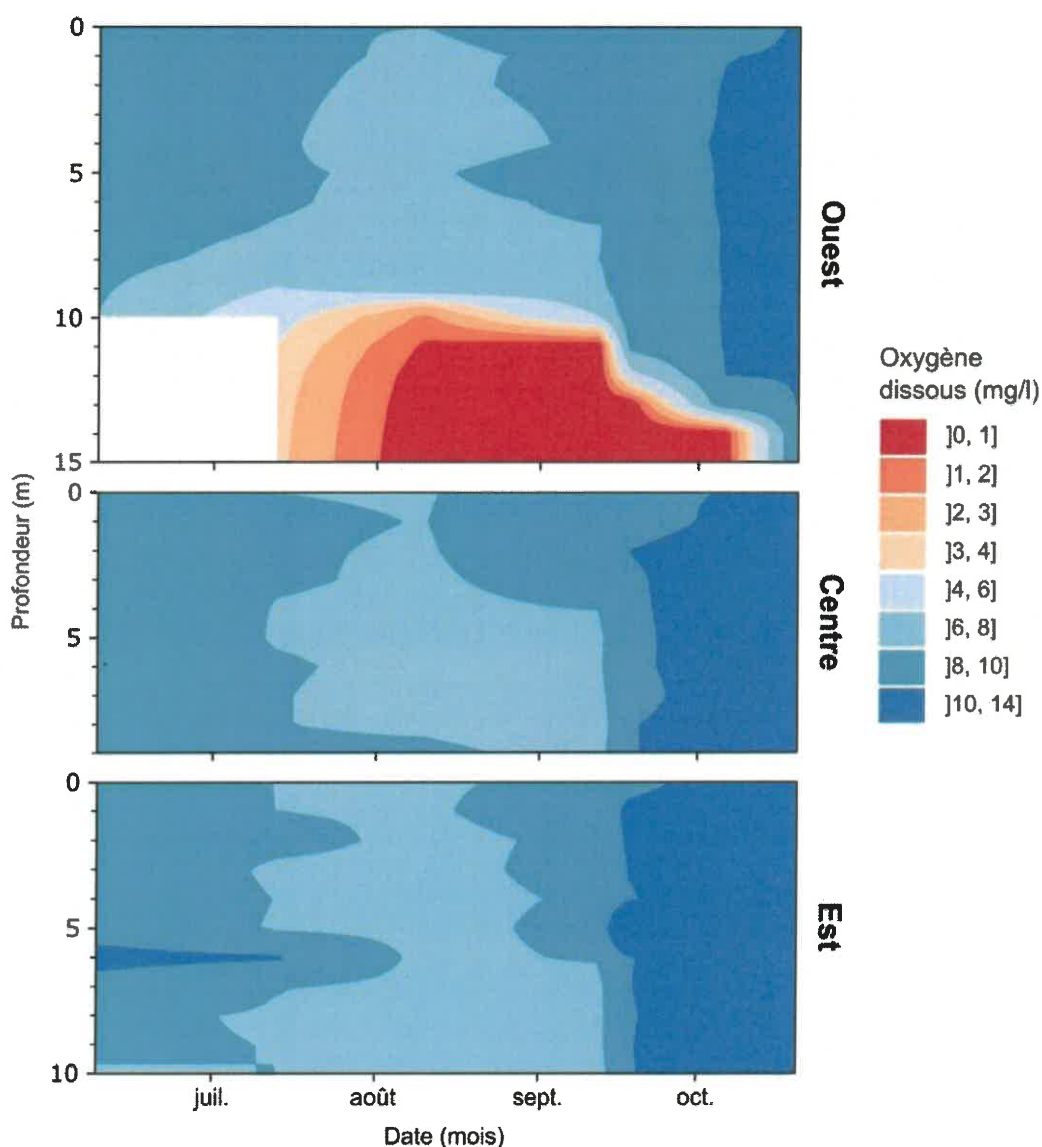


Figure 15 Concentration d'oxygène dissous de l'eau en fonction de la profondeur aux trois stations échantillonnées au lac Trois Saumons à l'été 2022. La partie blanche du graphique de la station Ouest est causée par l'utilisation d'un câble d'une longueur insuffisante.

Les profils de concentration en oxygène dissous suivent un schéma semblable à celui de la température de l'eau. À la station Ouest, les couches d'eau en surface montrent des concentrations normales tout le long de la saison. Entre la mi-juillet et la mi-août, au moment où la température de l'eau est à son point le plus élevé, la concentration en oxygène dissous diminue légèrement (couleur bleu ciel sur le graphique), car la solubilité de l'oxygène est inversement proportionnelle à la température de l'eau. Cette diminution est tout à fait naturelle. Les couches plus profondes montrent des carences en oxygène dès la mi-juillet et l'anoxie s'installe à partir du début du mois d'août. À partir du 10 août, toute l'eau sous 11 m de

profondeur était anoxique pour près d'un mois. Le brassage automnal a progressivement réoxygéné l'eau en profondeur et en date du 20 octobre, le bassin ouest était réoxygéné sur toute sa profondeur.

Encore ici, en raison de la longueur insuffisante du câble de la sonde multiparamétrique et des premières mesures effectuées tardivement au printemps, il est impossible d'affirmer si les eaux profondes parviennent à se recharger en oxygène dissous lors du brassage printanier.

Comme nous l'avons vu à la section sur la température de l'eau (3.2.1), les stations Centre et Est subissent un brassage régulier tout le long de la saison et cela se confirme dans les concentrations en oxygène dissous : les concentrations demeurent élevées de juin à octobre, avec une légère diminution lorsque l'eau atteint sa température maximale.

La caractérisation du 9 septembre 2002 de Trencia et al. (2004) affiche une anoxie à partir de 11 m pour la station Ouest et aucune anoxie pour la station Est, comme ce qui a été observé en 2022. Cependant, les travaux de Beaudry (2010) brossent un portrait légèrement différent. En effet, en date du 11 août 2010, l'hypoxie était présente à 11 m alors que l'anoxie débutait à 15 m pour la station Ouest. Donc, la concentration en oxygène dissous était plus élevée qu'en 2022. Mais le dernier mètre de profondeur de la station Est était aussi anoxique, ce qui diffère de nos observations. Comme bien des phénomènes naturels, la stratification thermique d'un lac et la distribution d'oxygène dissous dans la colonne d'eau varient d'une année à l'autre. Il est alors tout à fait naturel que pour une même date, l'hypolimnion d'un lac soit anoxique ou non, selon les années.

L'absence d'oxygène dans l'hypolimnion du bassin ouest est propice au relargage de phosphore dans la colonne d'eau. Mais cette anoxie n'est peut-être pas le résultat d'une importante activité de décomposition. Premièrement, il est commun d'observer ce phénomène dans les lacs formant un hypolimnion stable. Dans les Laurentides, sur 15 lacs développant une stratification thermique stable, 13 deviennent anoxiques au cours de l'été (Carignan et al., 2003). L'anoxie observée au lac Trois Saumons n'est pas nécessairement causée par une décomposition importante de matière organique; elle peut être expliquée par d'autres phénomènes. D'une part, la réoxygénation printanière peut être absente ou incomplète. En effet, à la fin de l'hiver, l'eau des lacs est souvent peu oxygénée en raison de la respiration des espèces aquatiques et de l'impossibilité de renouveler l'oxygène à cause de la glace qui couvre le lac. Nous pouvons littéralement sentir ce phénomène au printemps alors que l'eau a une odeur de soufre. En conséquence, lors d'un hiver où le départ des glaces se fait tardivement, et où la température de l'air subit une hausse rapide, la stratification thermique peut s'installer immédiatement, isolant très tôt l'hypolimnion de l'épilimnion. La période de brassage printanier est alors trop courte pour oxygéner adéquatement la colonne d'eau. D'autre part, le volume de l'hypolimnion peut être trop petit pour accumuler suffisamment d'oxygène pour subvenir aux besoins des espèces aquatiques jusqu'à l'automne. On parle alors d'anoxie morphométrique (Carignan et al., 2003).

Somme toute, le centre du lac et le bassin est sont bien oxygénés pour toute la saison libre de glace. L'oxygène disparaît des eaux profondes du bassin ouest durant l'été, mais ce phénomène est probablement naturel en raison du faible volume de l'hypolimnion, occasionnellement accompagné des

printemps où le brassage est insuffisant. La cause réelle de l'anoxie pourra être établie en effectuant des suivis réguliers sur quelques années de l'évolution de la concentration en oxygène dissous de la colonne d'eau.

3.2.3 Phosphore total

Les concentrations en PT pour les stations Centre et Est ont varié entre 6,6 µg/l et 25,2 µg/l peu importe la strate de profondeur (figure 16). Les concentrations en PT sont plus faibles en début et à la fin de la saison, avec un maximum atteint à la mi-septembre pour l'hypolimnion. Généralement, les concentrations augmentent avec la profondeur et l'avancement de la saison, mais ces augmentations ne sont pas importantes.

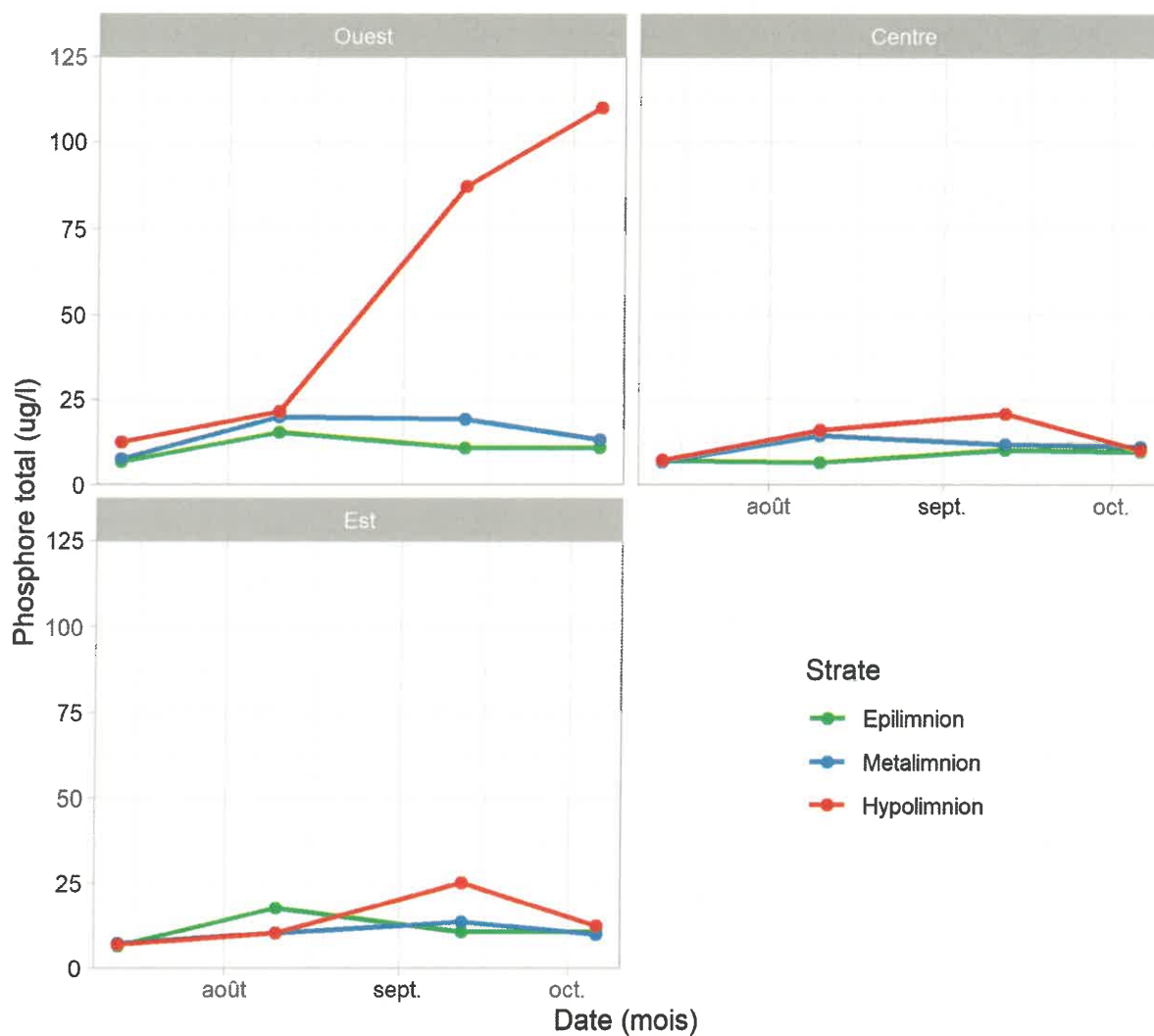


Figure 16 Distribution de la concentration de phosphore total selon la strate d'eau pour les trois stations échantillonnées au lac Trois Saumons à l'été 2022.

Le comportement du PT est différent pour la station Ouest. Les concentrations en PT pour l'épilimnion et le métalimnion suivent les mêmes tendances selon la profondeur et la saison que celles des stations Centre et Est, la valeur minimale étant 6,6 µg/l et la maximale étant 20,1 µg/l. Même chose pour l'hypolimnion au début de l'été qui s'est maintenu en dessous de 22 µg/l. Mais à la mi-août, soit peu après le début de la période d'anoxie, la concentration en PT dans l'hypolimnion augmente de façon importante atteignant 87,2 µg/l le 12 septembre, puis 110,0 µg/l le 6 octobre. La concentration de PT dans l'hypolimnion est alors huit à dix fois plus élevée que celle de l'épilimnion aux mêmes dates. Comme il a été vu avec les données de température, la fin du brassage automnal était autour du 20 octobre et normalement, après ce brassage, il y a retour à des valeurs comparables à celles du début de l'été, mais ceci n'a pu être observé, car analyse de PT n'était prévue après le 6 octobre.

Comme expliqué à la section 1.3.2.3, en période d'anoxie, le relargage de phosphore s'observe par une différence de concentration en PT entre l'épilimnion et l'hypolimnion, et par l'augmentation de la concentration en PT dans l'hypolimnion entre le printemps et l'automne. C'est bien ce phénomène qui a été vu à la station Ouest au cours de cette étude. Nous verrons à la section 3.2.5 les implications de ce relargage.

3.2.4 Chlorophylle *a*

Les concentrations de chl *a* ont varié de 0,5 µg/l à 4,5 µg/l peu importe la strate ou la date (figure 17). Il est difficile de discerner des tendances pour ce paramètre, outre les valeurs élevées dans l'épilimnion dans la première semaine du mois d'août, qui doit être lié au maximum de prolifération des algues microscopiques en plein cœur de l'été.

Cependant, 75 % des valeurs enregistrées sont en dessous de 2,5 µg/l, soit la limite de transition entre le niveau trophique oligotrophe et la zone de transition oligo-mésotrophe, ce qui signifie une production d'algues relativement faible pour le lac Trois Saumons.

3.2.5 Apports internes de phosphore

Les résultats de cette étude semblent indiquer qu'il y ait relargage de phosphore dans le bassin ouest du lac Trois Saumons lors des périodes d'anoxie dans l'hypolimnion, phénomène qui a été observé du début du mois d'août au début du mois d'octobre en 2022.

3.2.5.1 *Dégradation de la matière organique, remise en suspension des sédiments et relargage de phosphore*

Avant d'aller plus loin, il est possible que d'autres phénomènes puissent expliquer des concentrations élevées en PT dans l'hypolimnion. Premièrement, cela pourrait simplement être du phosphore libéré lors de la décomposition de la matière organique. En effet, le phytoplancton de l'été précédent meurt avec l'arrivée de l'hiver et se dépose au fond du lac. Dès lors, la décomposition débute et les minéraux qui formaient le phytoplancton sont alors restitués dans l'environnement. Cette décomposition n'est pas menaçante, car elle fait partie du cycle normal du phosphore dans l'écosystème : c'est ainsi que cet élément est recyclé pour être utilisé par une nouvelle génération d'algues ou de plantes aquatiques (figure 18, DataStream Initiative, 2021).

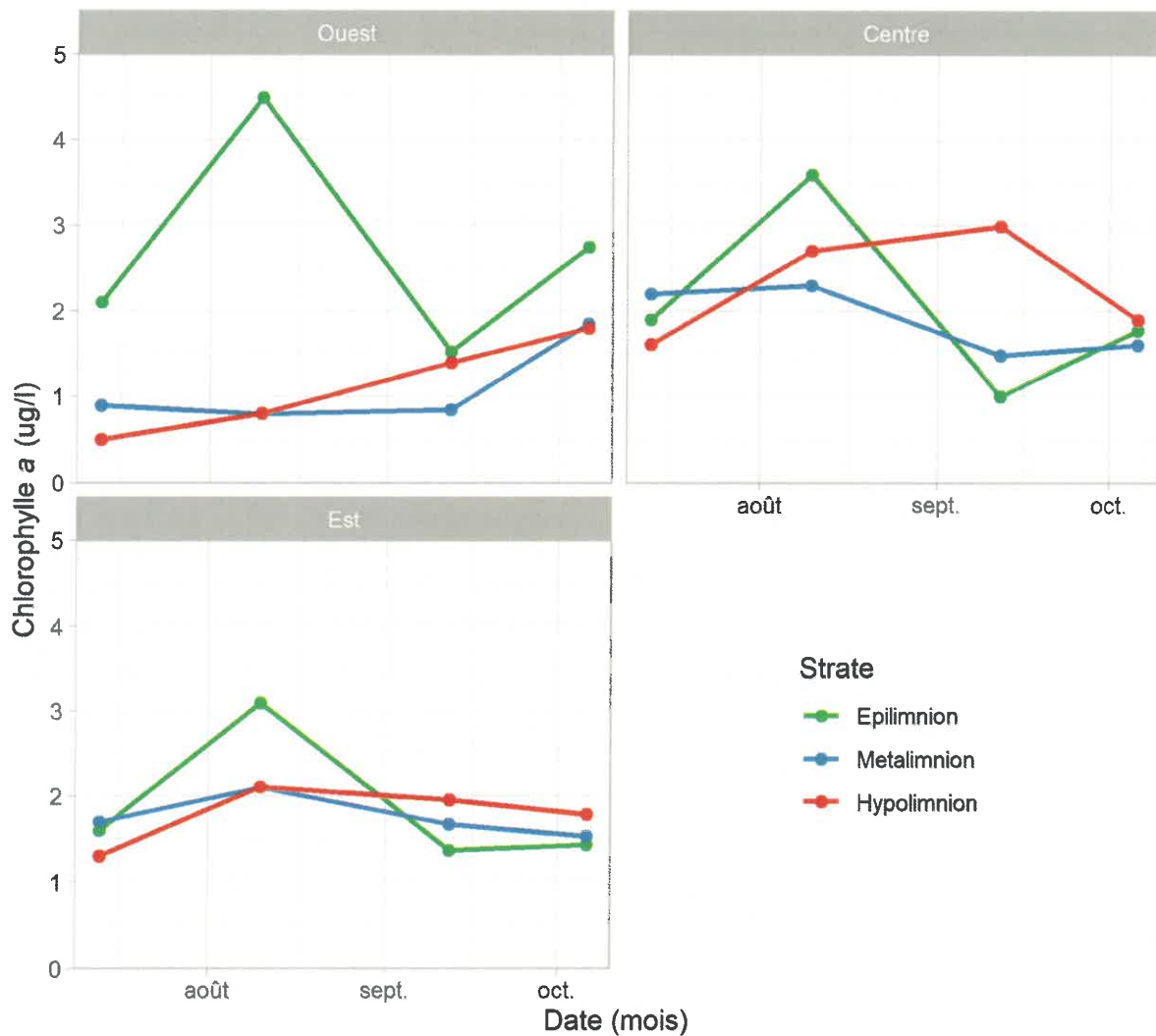


Figure 17 Distribution de la concentration de chlorophylle *a* selon la strate d'eau pour les trois stations échantillonnées au lac Trois Saumons à l'été 2022.

Autre hypothèse : il pourrait s'agir de remise en suspension des sédiments. Alors que le relargage de phosphore est un processus chimique, où les conditions environnementales favorisent la libération du phosphore lié aux sédiments, la remise en suspension des sédiments est un phénomène physique; c'est la redistribution des sédiments dans la colonne d'eau en raison du déplacement des masses d'eau, un peu comme les vagues le font dans les zones peu profondes du lac. Ces sédiments contiennent des minéraux non liés qui pourraient être réutilisés par le phytoplancton. La remise en suspension des sédiments peut donc jouer un rôle important dans le maintien de concentrations élevées de phosphore (Søndergaard et al., 1992).

Finalement, une combinaison de deux ou trois phénomènes précédents pourrait expliquer des concentrations élevées en PT dans l'hypolimnion.

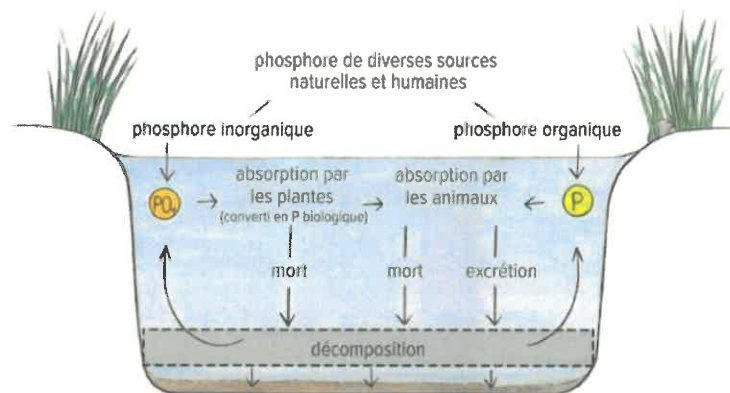


Figure 18 Cycle du phosphore (DataStream Initiative, 2021).

3.2.5.2 Quantification des apports internes

Nous avons deux données qui nous indiquent un potentiel relargage. La première du 12 septembre avec une valeur de 87,2 µg/l de phosphore total, alors que le bassin était en anoxie à partir de 11 m, et la seconde, le 6 octobre avec une concentration de 110,0 µg/l où l'anoxie débutait à 14 m.

Toutefois, une seule mesure par journée d'échantillonnage, c'est mince pour extrapoler à l'ensemble du bassin. Prenons la donnée du 12 septembre. L'échantillon était pris à 1 m du fond, soit à environ 15 m de profondeur. C'est à cet endroit que nous avons mesuré une concentration de 87,2 µg/l. Mais était-ce la même concentration pour toute la strate, soit de 11 m à 16,6 m? De plus, est-ce que tout le bassin de 11 m de profondeur et plus qui était en anoxie? Notre protocole d'échantillonnage pour cette première étude ne permet pas de le déterminer.

Mais imaginons un scénario pessimiste : admettons qu'au 12 septembre, la concentration en PT de 87,2 µg/l est uniforme pour toute la zone de 11 m de profondeur et plus; c'est malgré tout une petite superficie de sédiments par rapport à l'ensemble du lac. La figure 19 est une courbe hypsométrique de la cuvette du lac Trois Saumons. Une courbe hypsométrique est une représentation graphique de la relation entre la surface du lac et sa profondeur (CRE Laurentides, 2009). Elle représente la quantité de surface du fond du lac en valeur absolue sous une profondeur donnée (Wetzel, 2001). Prenons un exemple : en lisant la profondeur 0 m, sur l'axe des Y, on voit que la superficie sous cette profondeur est d'environ 265 ha, soit 2,65 km², ce qui équivaut à la superficie du lac. On s'y attendait, car la surface du lac couvre une superficie équivalente du fond du lac. Là où la courbe hypsométrique est utile, est pour déterminer qu'elle superficie de fond est en anoxie et relargue du phosphore et quelle est son importance par rapport à tout le lac. Sur le graphique la ligne rouge représente la partie du bassin ouest sous 11 m. On peut lire sur l'axe des X que ce bassin représente 23,9 ha, soit 9 % de la superficie du fond. Donc, un maximum de 9 % du fond du lac relargue potentiellement du phosphore.

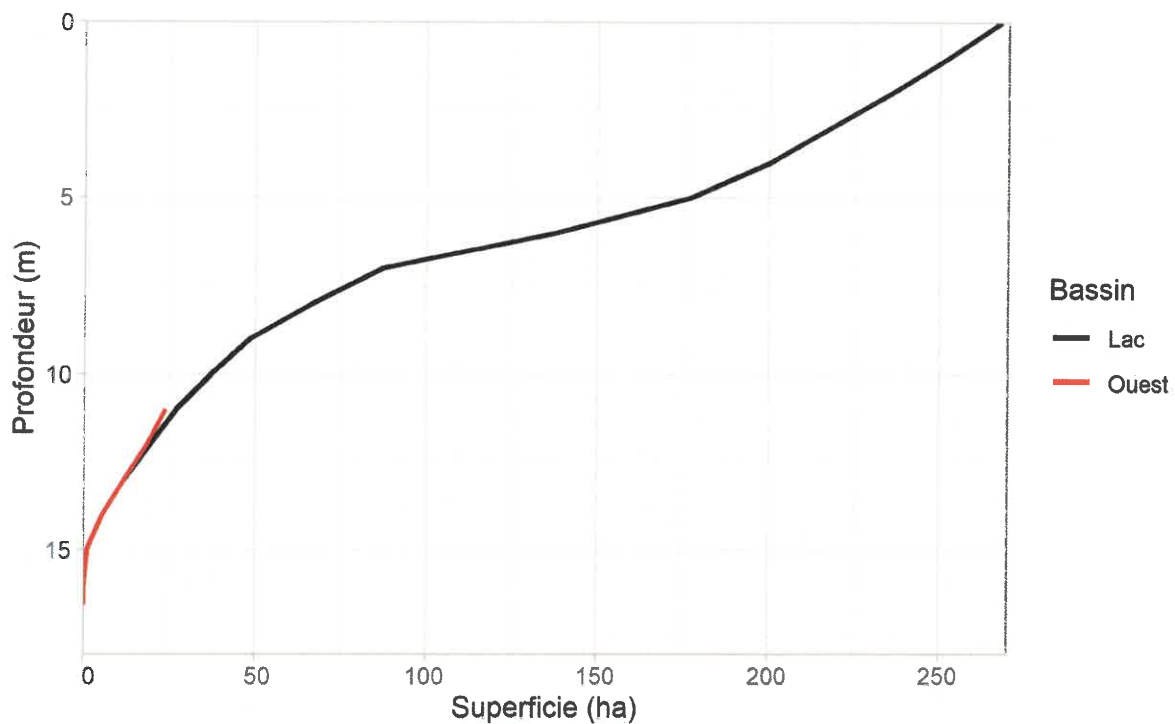


Figure 19 Courbe hypsométrique du lac Trois Saumons. La ligne rouge représente les profondeurs supérieures à 11 m dans le bassin ouest du lac.

En utilisant ce même scénario pessimiste, nous pouvons tenter de voir quel serait l'impact de ce relargage s'il était réparti dans tout le volume du lac. Il faut pour cela estimer la quantité de phosphore relargué entre le 12 septembre et la mesure précédente, soit le 10 août, puis répartir cette quantité sur le volume du lac. La formule utilisée (Nürnberg, 2009) et le calcul complet se trouve à l'annexe B. Notons que bien que la concentration du 6 octobre soit supérieure, le volume de la strate anoxique à cette date est de loin inférieur, soit 35 000 m³ comparativement à 269 000 m³. Pour évaluer l'effet le plus important, la date du 12 septembre est le meilleur choix. Donc, entre le 10 août et le 12 septembre, 31,6 kg de phosphore auraient été relargués à partir des sédiments et lorsque cette quantité est redistribuée sur l'ensemble du lac, l'ajout serait de 1,9 µg/l, soit moins que la variation annuelle de 3,7 µg/l observée dans l'épilimnion en 2022. Cette valeur ne serait donc pas suffisante pour faire augmenter de façon significative le niveau trophique du lac.

Finalement, il serait intéressant de comparer cet apport interne aux apports externes du bassin versant. Les apports externes proviennent de sources diffuses (forêts, milieux humides, milieux ouverts (villégiature), routes, etc.) et de sources ponctuelles (installations septiques). Le calcul des apports externes se fait en deux étapes. Premièrement, la superficie totale de chaque source diffuse présente dans le bassin versant est multipliée par un coefficient d'exportation en phosphore (kg/km²/an), qui donnera la quantité de phosphore émise annuellement par cette source. La somme des quantités de phosphore émises par ces sources constituera les apports externes diffus. Ensuite, nous évaluerons les

apports des installations septiques pour nous donner les apports externes ponctuels. Le calcul complet est présenté à l'annexe C. Ce sont 127,2 kg de phosphore par année, dont 42,6 kg qui sont d'origine anthropique (milieux ouverts, routes et installations septiques) qui arrivent au lac, comparativement à 31,6 kg qui proviendraient des sédiments dans un scénario pessimiste.

En conclusion, certains indices démontrent qu'il y a possiblement un relargage de phosphore au lac Trois Saumons, mais celui-ci ne nous apparaît pas comme étant un problème en soi.

4 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les variables physicochimiques mesurées au lac Trois Saumons en 2022 situent l'état trophique du lac dans la zone de transition oligo-mésotrophe. Le lac présente donc certains signes d'eutrophisation et nos résultats semblent indiquer que le lac ne serait pas en situation stable, mais poursuivrait son processus d'eutrophisation. L'élément responsable est la concentration en phosphore total qui est plus élevée qu'en 2019 et 2020. Toutefois, comme il peut y avoir une certaine variabilité des résultats d'une année à l'autre seul un suivi régulier du lac permettra de le confirmer.

Recommandation n° 1 : poursuivre la surveillance du lac dans le cadre du RSVL

Le Club des résidents du lac Trois-Saumons a effectué la surveillance du lac entre 2010 et 2020, mais les membres ne désirent plus s'en occuper (S. Laliberté, communication personnelle, 2022). Ce suivi est un moyen simple et abordable d'obtenir des données de qualité sur l'état de santé du lac. Seul un suivi régulier et continu permet de détecter une amélioration ou une dégradation de la santé du lac. Donc, pour prendre le relais du Club des résidents, nous recommandons à la Municipalité de prendre en charge la surveillance du lac dans le cadre du RSVL.

Le suivi de la qualité de l'eau dans le cadre du RSVL et de cette étude permet d'identifier des problèmes au niveau de la santé des lacs sur des données de la zone pélagique, au centre du lac. Cependant, d'autres outils seraient peut-être plus appropriés pour déceler des perturbations causées par le développement de la villégiature. Les plantes aquatiques et le périphyton peuvent être des indicateurs d'une eutrophisation du lac avant que le phénomène ne soit détectable en zone pélagique.

Recommandation n° 2 : refaire un inventaire des herbiers aquatiques

En 2018, le Club des résidents a mandaté le Groupe Hémisphères pour réaliser un inventaire des herbiers aquatiques du lac afin d'en connaître la composition et la distribution. Sachant qu'une relation positive existe entre l'occupation humaine des bassins versants et l'abondance des plantes aquatiques, surtout en raison de la présence d'installations sanitaires, de déboisement ou d'utilisation d'engrais, un suivi de la réduction ou de l'expansion des herbiers permettrait de déceler un enrichissement par les matières nutritives. Cinq années se sont écoulées depuis le mandat du Groupe Hémisphères, alors 2023 se prêterait bien pour une mise à jour de l'inventaire.

Même si la station de lavage d'embarcations est un gain significatif pour la protection contre les espèces exotiques envahissantes, il reste que des contaminations demeurent possibles. L'inventaire d'herbiers aquatiques permettrait aussi de détecter rapidement l'apparition de plantes aquatiques exotiques envahissantes, comme le myriophylle à épis, et d'agir avant que l'invasion prenne de l'ampleur.

Recommandation n° 3 : démarrer un programme de suivi du périphyton

Effectué parallèlement aux inventaires des herbiers, la caractérisation et le suivi du périphyton présent dans le littoral des lacs est un moyen simple ne demandant pas de connaissances particulières, de détecter les premiers signes de problèmes d'enrichissement par des nutriments provenant des rives. Un protocole a déjà été développé (MDDEFP et al., 2012), et le suivi consiste à mesurer l'épaisseur de périphyton à quelques endroits autour du lac durant trois années, de prendre une pause de cinq ans, et de recommencer le cycle. L'équipe de l'OBV pourrait accompagner les observateurs pour démarrer le programme et lors de leur première année de mesures.

Cette étude démontre qu'il y a un potentiel relargage de phosphore fixé aux sédiments dans le bassin ouest du lac. Le protocole d'échantillonnage ne permet pas de déterminer exactement l'importance de ce phénomène, mais un scénario pessimiste permet de chiffrer cet apport en phosphore à 31,6 kg par année. Répartie sur l'ensemble du lac, cette quantité de phosphore ferait augmenter la concentration en phosphore total de 1,9 µg/l, soit moins que la variation annuelle, ce qui n'est certainement pas suffisant pour détériorer l'état du lac. Aussi, cet apport interne annuel de 31,6 kg est bien moindre que les 127,2 kg, dont 42,6 kg d'origine anthropique, qui proviennent annuellement du bassin versant.

Recommandation n° 4 : effectuer un suivi additionnel à l'aide de la sonde multiparamétrique

L'anoxie du bassin ouest a été évaluée à partir d'une seule station, mais il est difficile d'extrapoler ce phénomène sur une plus grande zone par manque de données. Aussi les données proviennent d'une simple saison, alors que des variations interannuelles peuvent subvenir. L'équipe qui sera responsable du suivi de la qualité de l'eau dans le cadre du RSVL devrait effectuer des profils physicochimiques du bassin ouest lors de ses sorties. La fréquence pourrait être aux deux semaines entre le départ des glaces et la mise en place de la thermocline, puis mensuelle jusqu'à la fin du mois de juillet, enfin aux deux semaines tant que les conditions météorologiques le permettent. De plus, entre trois et cinq stations échantillonnées permettraient de mieux délimiter la zone anoxique.

Recommandation n° 5 : refaire une caractérisation des apports internes en phosphore en 2027

La détermination de la zone anoxique permettra de mieux quantifier le relargage de phosphore au lac Trois Saumons. La nouvelle étude pourra être concentrée seulement dans le bassin ouest, dans toute la zone anoxique et en vérifiant si la concentration en PT est uniforme dans cette zone, ou si elle diminue en s'approchant du métalimnion. Nous aurons ainsi une idée plus juste de la situation.

Finalement, parler d'apports internes en phosphore est une erreur. À proprement parler, il n'y a pas de source de phosphore au fond des lacs. Le phosphore au fond des lacs tire inévitablement son origine du

bassin versant, principalement des dépôts atmosphériques, des écosystèmes terrestres et des apports anthropiques.

Ainsi, il ne faut pas voir le relargage comme un problème en soi, mais bien comme le symptôme d'un autre problème que sont les apports d'origine anthropique. Dans les prochaines années, seule cette source de phosphore risque d'augmenter : nouvelles constructions, conversion de chalets modestes en résidences de plusieurs chambres et occupation saisonnière qui devient permanente. Il est donc souhaitable de concentrer les efforts et les ressources financières dans la réduction des apports anthropique.

Recommandation n° 6 : poursuivre et mettre en place de nouveaux efforts pour limiter les apports en phosphore d'origine anthropique

Selon nos observations, en Chaudière-Appalaches et à l'est de la rivière Chaudière, la Municipalité de Saint-Aubert est un exemple à suivre dans la protection de la qualité de l'eau des lacs, des cours d'eau et des écosystèmes aquatiques. Les actions déjà mises en place comme la sensibilisation des utilisateurs des plans d'eau, la revégétalisation des bandes riveraines, le contrôle sur l'abattage d'arbres, l'interdiction d'engrais et d'herbicides sur les terrains adjacents au réseau hydrographique, le nettoyage des embarcations et la mise aux normes des installations septiques sont toutes d'excellentes initiatives à maintenir pour ralentir l'eutrophisation du lac. Soulignons aussi le travail des bénévoles du Club des résidents qui depuis des décennies, sont les anges gardiens de la santé de ce plan d'eau.

Nous voyons aussi d'un bon œil la mise en place éventuelle d'une réflexion sur la navigation de plaisance de haute puissance et d'actions visant à diminuer le ruissellement provenant des chemins et leurs fossés.

Enfin, la sensibilisation des riverains à entreprendre des actions permettant de gérer les eaux de pluie sur leur propriété, comme le débranchement des gouttières connectées au lac, permettrait de réduire le volume des eaux de ruissellement et de capter les éléments nutritifs avant qu'ils n'atteignent le lac.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Beaudry, S. (2011). *Portrait du lac Trois Saumons*.

Bourget, S. (2011). *Limnologie et charge en phosphore d'un réservoir d'eau potable sujet à des fleurs d'eau de cyanobactéries : Le lac Saint-Charles, Québec*. Université Laval.

Carignan, R. (2018). *Évolution 2002-2018 de l'état de santé des lacs de Saint-Hippolyte et cartographie des macrophytes* (p. 164). <https://saint-hippolyte.ca/wp-content/uploads/2019/03/Saint-Hippolyte-2018.pdf>

Carignan, R., Van Leeuwen, H., & Crago, C. (2003). *État des lacs de la Municipalité de Saint-Hippolyte et de deux lacs de la Municipalité de Prévost en 2001 et 2002* (p. 116). <https://www.saint-hippolyte.ca/wp-content/uploads/2013/04/tude-Carignan-%C3%89tats-des-lacs-2003.pdf>

CEAEQ. (2016). *Méthode d'analyse—MA. 300 – C 1.0—Détermination du carbone inorganique dissous, du carbone organique dissous et du carbone organique total : Méthode par détection infrarouge*. <https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA300C10.pdf>

CEAEQ. (2019). *Méthode d'analyse—MA. 303 – P 5.2—Détermination du phosphore total dans les eaux naturelles par minéralisation au persulfate : Méthode colorimétrique automatisée et procédures adaptées pour le phosphore de faible concentration et à l'état de trace*. <https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA303P52.pdf>

CEAEQ. (2020). *Méthode d'analyse, MA. 200 – Mét. 1.2, 2020-05-21 (révision 7)*. <https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/ma200met12.pdf>

CEAEQ. (2022). *Méthode d'analyse—Détermination de la chlorophylle a : Méthode par fluorimétrie—MA. 800 – Chlor. 2.0*. <https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA800-Chlorophylle-a.pdf>

CRE Laurentides. (2009). *Trousse des lacs*.

DataStream Initiative. (2021). *Le phosphore*. DataStream. <https://datastream.org/fr/guide/phosphorus>

- Fafard, P. (2018). How and Why Lakes Stratify and Turn Over : We explain the science behind the phenomena. *IISD Experimental Lakes Area*. <https://www.iisd.org/ela/blog/commentary/lakes-stratify-turn-explain-science-behind-phenomena/>
- Laliberté, S. (2022). *Suivi de la qualité de l'eau du lac Trois Saumons* [Communication personnelle].
- MDDEFP. (2013). *Bathymétrie du lac Trois Saumons* [Map].
- MDDEFP, CRE Laurentides, & GRIL. (2012). *Protocole de suivi du périphyton*.
- MELCC. (2018). *Base de données des lacs et cours d'eau (LCE)*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/base-de-donnees-des-lacs-et-cours-d-eau-lce>
- MELCCFP. (s. d.-a). *Le Réseau de surveillance volontaire des lacs—Les méthodes*. Consulté 9 janvier 2023, à l'adresse <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rsvl/methodes.htm>
- MELCCFP. (s. d.-b). *Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL)—État de situation sur les résultats de phosphore dans les lacs*. Consulté 2 février 2023, à l'adresse <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rsvl/etat-situation-phosphore.htm>
- MELCCFP. (s. d.-c). *Réseau de surveillance volontaire des lacs—Pourquoi mesurer la transparence de l'eau régulièrement?* Consulté 24 janvier 2023, à l'adresse <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rsvl/fiche-info/pourquoi-mesurer-transparence.htm>
- MELCCFP. (2019). *Utilisation du territoire*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/utilisation-du-territoire>
- MELCCFP. (2020). *Le Réseau de surveillance volontaire des lacs de villégiature—Trois-Saumons*. https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rsvl/relais/rsvl_details.asp?fiche=600
- New Hampshire Department of Environmental Services. (2019). *Lake Eutrophication*.
- Nürnberg, G. K. (2009). Assessing internal phosphorus load – Problems to be solved. *Lake and Reservoir Management*, 25(4), 419-432. <https://doi.org/10.1080/00357520903458848>

- Paterson, A. M., Dillon, P. J., Hutchinson, N. J., Futter, M. N., Clark, B. J., Mills, R. B., Reid, R. A., & Scheider, W. A. (2006). A Review of the Components, Coefficients and Technical Assumptions of Ontario's Lakeshore Capacity Model. *Lake and Reservoir Management*, 22(1), 7-18.
<https://doi.org/10.1080/07438140609353880>
- Planas, D., Vanier, C., & Lavirotte, E. (2014). *Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont. Cahiers 2. Connaissances et concepts*. (p. 29). Université du Québec à Montréal.
https://www.lacbromont.ca/uploads/5/9/2/0/5920769/bromont_cahier_2_connaissances_et_concepts.pdf
- Provencher, J. (2022, décembre 13). *Analyses environnementales* [Communication personnelle].
- RAPPEL. (s. d.). Eutrophisation. *RAPPEL*. Consulté 9 janvier 2023, à l'adresse <https://rappel.qc.ca/fiches-informatives/eutrophisation-des-lacs/>
- Raymond, S. (2021). *Suivi de la qualité des eaux de surface du lac Trois Saumons 2021* (p. 56). IR2S.inc.
- Roberge, S. (2023, janvier 27). *Éclaircissements sur la méthode d'analyse employée par un laboratoire agréé* [Communication personnelle].
- ROBVQ. (2012). *Le phosphore*. <https://admin.robvq.qc.ca/uploads/f42ae823e4e261986359cd1ba64292d1.pdf>
- Søndergaard, M., Kristensen, P., & Jeppesen, E. (1992). Phosphorus release from resuspended sediment in the shallow and wind-exposed Lake Arresø, Denmark. *Hydrobiologia*, 228(1), 91-99.
<https://doi.org/10.1007/BF00006480>
- Trencia, G., Roberge, J., & Collin, P.-Y. (2004). *Caractérisation ichtyologique du lac Trois-Saumons*. 37.
- US EPA, O. (2015, mars 24). *Hypoxia 101* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/ms-htf/hypoxia-101>
- U.S. Geological Survey. (2020). Dissolved oxygen : U.S. Geological Survey Techniques and Methods. Dans *National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data* (Vol. 9, p. 33).

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology : Lake and river ecosystems* (3^e éd.). Academic Press.

Windfinder.com. (s. d.). *Wind and weather statistic Saint-Aubert*. Windfinder.com. Consulté 5 février 2023, à l'adresse <https://www.windfinder.com/windstatistics/saint-aubert>

ANNEXE A PH ET CONDUCTIVITÉ SPÉCIFIQUE

pH

Le pH, ou potentiel hydrogène est la mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution. L'échelle pH est utilisée pour déterminer le degré d'acidité d'une substance. Elle représente la concentration des ions H^+ dans une solution. L'échelle pH est divisée en échelons de 0 à 14, 0 étant le degré d'acidité le plus élevé alors que 14 est le degré d'acidité le plus faible.

Le pH influence fortement la diversité biologique des lacs. En effet, la majorité des organismes aquatiques ont besoin d'un pH voisin de la neutralité, 6 à 9 sur l'échelle pH, afin de survivre. Des variations

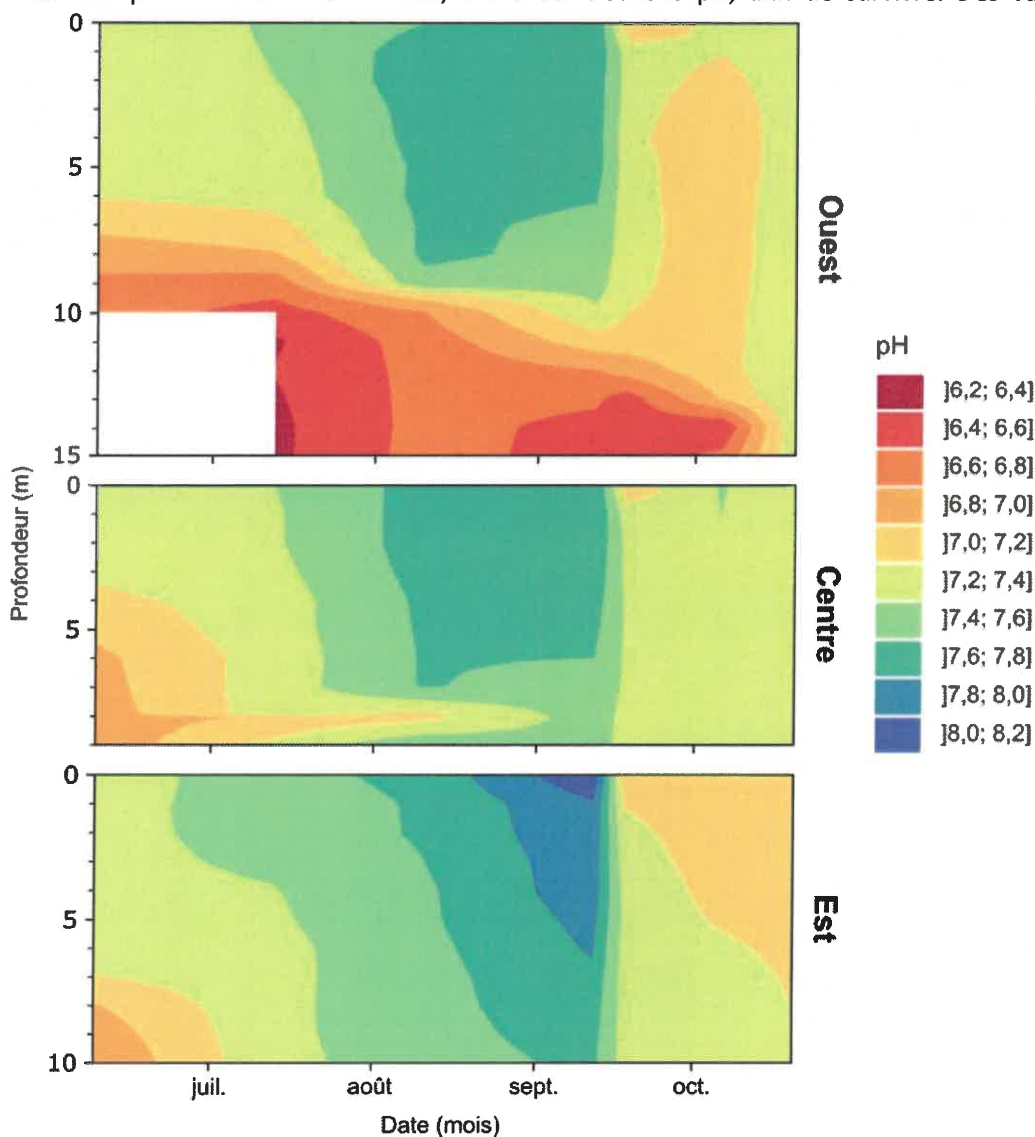


Figure A.1 pH de l'eau en fonction de la profondeur aux trois stations échantillonnées au lac Trois Saumons à l'été 2022. La partie blanche du graphique de la station Ouest est causée par l'utilisation d'un câble de longueur insuffisante.

importantes de pH peuvent donc compromettre certaines de leurs fonctions essentielles telles que la respiration et la reproduction. Ainsi, les eaux acidifiées sont caractérisées par un déclin de la diversité biologique.

Le pH de l'eau influence la quantité de nutriments (phosphore et azote) et de métaux lourds (plomb, mercure ou cuivre) dissous dans l'eau et disponibles pour les organismes aquatiques. Dans des conditions acides, certains métaux lourds toxiques se libèrent des sédiments et deviennent disponibles pour l'assimilation par les organismes aquatiques (CRE Laurentides, 2009).

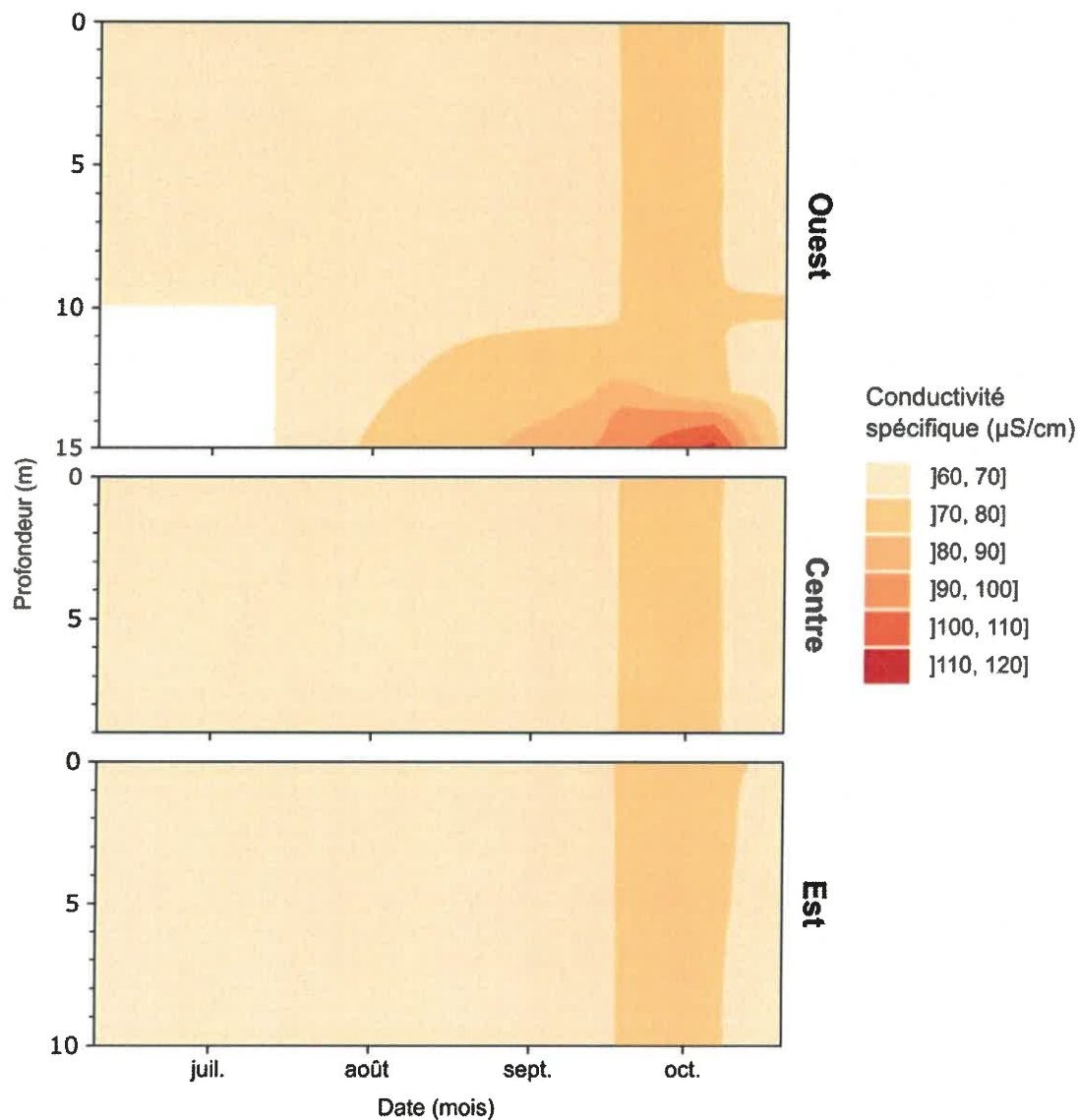


Figure A.2 Conductivité spécifique de l'eau en fonction de la profondeur aux trois stations échantillonnées au lac Trois Saumons à l'été 2022. La partie blanche du graphique de la station Ouest est causée par l'utilisation d'un câble de longueur insuffisante.

Comme la plupart des lacs de la province naturelle des Appalaches, l'eau du lac Trois Saumons est légèrement alcaline, soit au-dessus de sept sur l'échelle pH. Les valeurs de pH plus basses dans l'hypolimnion de la station Ouest sont en lien avec l'anoxie de l'eau. En effet, lorsque les organismes respirent ils consomment l'oxygène et libèrent du dioxyde de carbone, ou CO₂. Le CO₂ a un effet acidifiant sur l'eau des lacs (CRE Laurentides, 2009). Peu ou pas d'oxygène signifie qu'il y a beaucoup de CO₂ et c'est pour cette raison que l'on observe une eau légèrement acide dans l'hypolimnion.

Conductivité spécifique

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. C'est donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Un ion est un atome ou un groupe d'atomes qui possède une charge électrique positive ou négative. Ainsi, plus l'eau contient des ions, incluant, mais ne se limitant pas au calcium (Ca²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺), bicarbonate (HCO₃⁻), et chlorure (Cl⁻), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée.

Les valeurs de conductivité d'un lac sont généralement stables et dépendent surtout de la géologie locale. Lorsque des changements notables de conductivité sont observés dans un lac, c'est le signe d'une augmentation des apports de substances dissoutes provenant du bassin versant. Cependant, il est difficile de dire si les matières qui provoquent un changement dans la conductivité proviennent de minéraux naturels ou de polluants. Seule l'analyse de l'eau en laboratoire indique avec précision la nature des minéraux dissous dans le lac.

La température influence grandement la conductivité de l'eau. Pour comparer les valeurs de conductivité d'une saison à l'autre et d'un plan d'eau à l'autre, il faut qu'elles soient ramenées en fonction d'une température de l'eau de 25 °C. Une fois ajustées, on parle alors de conductivité spécifique (CRE Laurentides, 2009).

À l'été 2022 au lac Trois Saumons, la conductivité spécifique est très stable, entre 60 et 80 µS/cm, dans tout le lac et pour toute la saison. Ces valeurs sont normales pour le lac Trois Saumons. Le pic d'environ 110 µS/cm atteint en profondeur au début octobre peut s'expliquer par la libération d'ions dans l'eau surmontant les sédiments.

ANNEXE B CALCUL DE LA RÉPARTITION DU PHOSPHORE DE L'HYPOLIMNION DANS TOUT LE VOLUME DU LAC

Concentration de PT dans l'hypolimnion le 10 août 2022 : $21,4 \mu\text{g L}^{-1}$

Concentration de PT dans l'hypolimnion le 12 septembre 2022 : $87,2 \mu\text{g L}^{-1}$

Profondeur où la zone sans oxygène débute : 11 m

Volume d'eau sous 11 m de profondeur (V_{fosse}) : $480\,000 \text{ m}^3$

Volume du lac (V_{lac}) : $16\,665\,000 \text{ m}^3$

Quantité de phosphore en kg dans le bassin ouest à une profondeur de 11 m et plus le 10 août 2022 :

$$\begin{aligned}P_{10 \text{ août}} &= [PT_{10 \text{ août}}] \times V_{\text{fosse}} \times (1\,000 \text{ L} / 1 \text{ m}^3) \times (1 \text{ kg} / 10^9 \mu\text{g}) \\&= 21,4 \mu\text{g L}^{-1} \times 480\,000 \text{ m}^3 \times (1\,000 \text{ L} / 1 \text{ m}^3) \times (1 \text{ kg} / 10^9 \mu\text{g}) \\&= 10,3 \text{ kg P}\end{aligned}$$

Quantité de phosphore en kg dans le bassin ouest à une profondeur de 11 m et plus le 12 septembre 2022 :

$$\begin{aligned}P_{12 \text{ sept}} &= [PT_{12 \text{ sept}}] \times V_{\text{fosse}} \times (1\,000 \text{ L} / 1 \text{ m}^3) \times (1 \text{ kg} / 10^9 \mu\text{g}) \\&= 87,2 \mu\text{g L}^{-1} \times 480\,000 \text{ m}^3 \times (1\,000 \text{ L} / 1 \text{ m}^3) \times (1 \text{ kg} / 10^9 \mu\text{g}) \\&= 41,9 \text{ kg P}\end{aligned}$$

Apport de phosphore entre le 10 août et le 12 septembre 2022 :

$$\begin{aligned}P_{\text{diff}} &= P_{12 \text{ sept}} - P_{10 \text{ août}} \\&= 41,9 \text{ kg P} - 10,3 \text{ kg P} \\&= 31,6 \text{ kg P}\end{aligned}$$

Répartition de l'apport de phosphore dans tout le volume du lac :

$$\begin{aligned}PT_{\text{répartit}} &= P_{\text{diff}} \times V_{\text{lac}} \times (1\,000 \text{ L} / 1 \text{ m}^3) \times (1 \text{ kg} / 10^9 \mu\text{g}) \\&= 31,6 \text{ kg} / 16\,665\,000 \text{ m}^3 \times (1 \text{ m}^3 / 1\,000 \text{ L}) \times (10^9 \mu\text{g} / 1 \text{ kg}) \\&= 1,9 \mu\text{g L}^{-1}\end{aligned}$$

ANNEXE C ESTIMATION DES APPORTS EN PHOSPHORE DU BASSIN VERSANT DU LAC TROIS SAUMONS

Estimation des charges annuelles des apports diffus

Tableau C.1 Coefficients d'exportation des sources diffuses du MDDEP (Bourget, 2011).

Description	Coefficient d'exportation (kg/km ² /an)
Dépôts atmosphériques (eau)	6,0
Forêt et friche	4,9
Route	64,0
Coupe ou brûlis	15,0
Milieu humide	125,0
Marais récent	125,0
Marais ancien	125,0
Tourbière	5,0
Agriculture	55,0
Milieu urbain	50,0
Terrain de golf	100,0
Centre de ski	20,0
Sol à nu	11,0
Débris métalliques	15,0
Milieu ouvert (villégiature)	11,3
Ancien site d'enfouissement	11,3

Les données d'utilisation du territoire datent de 2019 (MELCCFP, 2019).

Tableau C.2 Estimation des charges annuelles en phosphore des apports diffus pour les principales utilisations du territoire du bassin versant du lac Trois Saumons et leur contribution relative en 2019.

Utilisation du territoire	Superficie (km ²)	Coefficient d'exportation (kg/km ² /an)	Charge en P (kg/an)
Dépôts atmosphériques (eau)	2,7	6,0	16,2
Forêt et friche	11,4	4,9	55,9
Milieu humide	0,1	125,0	12,5
Tourbière	0,02	5,0	0,1
Apports diffus en phosphore d'origine naturelle			84,6
Route	0,2	64,0	12,8
Milieu ouvert (villégiature)	0,1	11,3	1,1
Apports diffus en phosphore d'origine anthropique			13,9
Charges totales des apports diffus			98,5

Estimation des charges annuelles des apports ponctuels

La charge de phosphore associée à chaque fosse septique est calculée en multipliant plusieurs coefficients d'exportation, selon la formule suivante :

$$\text{Charge d'une installation sanitaire individuelle} = 0,73 \text{ kg pers}^{-1} \text{ an}^{-1} \times \text{nombre de logements} \times \text{taux d'occupation} \times \text{type de traitement} \times \text{type de dépôt} \times \text{distance du réseau hydrographique}$$

Le nombre de logements au lac Trois Saumons est de 400 unités, dont le quart sont des résidences permanentes (M.-A. Bernard, communication personnelle). Toujours selon M. Bernard, la plupart des installations septiques seraient du type *fosse septique*; n'ayant pas le nombre exact, nous prendrons ce coefficient pour toutes les unités. Le type de dépôt pour le bassin versant est du podzol pour tout le bassin versant. Finalement, la distance aux cours d'eau est trouvée par géomatique. Les valeurs associées aux différents termes de l'équation sont présentées aux tableaux suivants :

Tableau C.3 Taux d'occupation associé au type de logement

Type de logement	Nombre de personnes
Logement	2,5
Chalet ou maison de villégiature	0,825
Maison mobile	2,3

Tableau C.4 Coefficients d'exportation selon le type de traitement

Type d'installation	Coefficient
Égout	0
Fosse septique	0,7
Puisard	0,85
Autres	1

Tableau C.5 Coefficients d'exportation selon le type de sol

Type de dépôt	Coefficient
Podzol	0,12
Brunisol	0,3
Gleysol	0,75
Autres	1

Tableau C.6 Pourcentage d'exportation en relation avec la distance entre la source ponctuelle et le réseau hydrographique (Paterson et al., 2006)

Distance du réseau hydrographique	Coefficient
0 à 100 m	1
100 à 200 m	0,66
200 à 300 m	0,33
Plus de 300 m	0

Considérant que la charge par personne, le type de traitement et le type du dépôt sont les mêmes, nous pouvons déjà intégrer ces coefficients :

$$\begin{aligned}\text{Coefficient d'exportation} &= 0,73 \text{ kg/pers/an} \times \text{type de traitement} \times \text{type de dépôt} \\ &= 0,73 \text{ kg/pers/an} \times 0,7 \times 0,12 \\ &= 0,06132 \text{ kg/pers/an}\end{aligned}$$

Tableau C.7 Estimation des charges annuelles en phosphore des apports ponctuels pour les installations septiques des résidences du bassin versant du lac Trois Saumons et leur contribution relative.

Type d'occupation	Coefficient d'exportation (kg/pers/an)	Nombre de personnes	Distance du réseau hydrographique				Charge en P (kg/an)
			0 à 100 m	100 à 200 m	200 à 300 m	Plus de 300 m	
Saisonnière	0,06132	0,825	272	8	12	7	13,8
			0,3				
			0,2				
			0,0				
Apports ponctuels en phosphore des résidences saisonnières							14,3
Permanente	0,06132	2,5	91	3	4	2	13,9
			0,3				
			0,2				
			0,0				
Apports ponctuels en phosphore des résidences permanentes							14,4
Charges totales des apports ponctuels							28,7

Le total des apports en phosphore du bassin versant est estimé à 127,2 kg/an, dont 42,6 kg/an ou 33 % sont d'origine anthropique.