OBV YAMASKA

Organisme de bassin versant de la Yamaska

Évaluation des charges au lac Brome (2020)

Estimation par FLUX32

Version Finale

Juillet 2021

Équipe de réalisation

Coordination du projet	Michel Landry, B.Sc Géomatique, M.Env. Gestionnaire de projets, OBV Yamaska
Rédaction et modélisation	Michel Landry, B.Sc Géomatique, M.Env. Gestionnaire de projets, OBV Yamaska
Révision générale	Alex Martin, M.Env. Directeur général, OBV Yamaska

Ce rapport a été commandé par Renaissance Lac Brome. Est fourni avec ce rapport :

- Classeur Excel des données brutes

Remerciements à Marc Simoneau, Michel Patoine et David Soballe pour leur support technique et leurs conseils concernant l'utilisation de FLUX32 et les principes de modélisation hydrologique. Merci également à Mario Bérubé pour sa grande rapidité et ses conseils au niveau des données de qualité d'eau (BQMA).

<u>On peut citer le présent rapport de la façon suivante :</u>

OBV YAMASKA, 2021. *Évaluation des charges du lac Brome (2021),* pour RLB, 29 pages

Table des matières

Table des matières iii

Liste des figures iv

Liste des tableaux v

1 Mise en contexte 1

2 Localisation 2

3 Méthodologie 3

3.1 Données 3

3.1.1 Débit 3

3.1.2 Charge 4

3.2 Méthode : FLUX32 5

4 Résultats 7

4.1 Présentation des résultats 7

4.2 Discussion 16

4.3 Mises en garde 18

5 Recommandations 20

5.1 Utilisation des résultats 20

5.2 Utilisation de FLUX32 20

5.3 Suivi temporel 21

5.4 Échantillonnage 22

6 Références 24

Liste des figures

Figure 1 - Territoire d'étude et localisation du bassin versant du lac Brome 2

Figure 2 - Explications supplémentaires sur la lecture du Tableau 4 8

Figure 3 - Bilan des charges de phosphore entrantes et sortantes du lac Brome pour la période 2008-2019 11

Figure 4 - Bilan des charges de phosphore par affluent du lac Brome pour la période 2008-2019 12

Figure 5 - Bilan des charges de matières en suspension entrantes et sortantes du lac Brome pour la période 2017-2019 14

Figure 6 - Bilan des charges de matières en suspension par affluent du lac Brome pour la période 2017-2019 15

Figure 7 - Variation temporelle des précipitations maximales sur une journée (Climatedata, 2020) 23

Liste des tableaux

Tableau 1 - Stations d'échantillonnage - Débit....4
Tableau 2 - Stations d'échantillonnage - Qualité....5
Tableau 3 - Description des méthodes utilisées par FLUX32 (Inspiré de Walker, 1999)....5
Tableau 4 - Charge annuelle (kg de Phosphore) par affluent et intervalle de confiance (IC) 95% - Lac Brome....9
Tableau 5 - Charge annuelle (tonne de MES) par affluent et intervalle de confiance (IC) 95% - Lac Brome....13
Tableau 6 - Exemple de suivi des pratiques....21

1 Mise en contexte

Renaissance Lac Brome (RLB) est un organisme communautaire qui œuvre à améliorer la qualité du bassin versant du lac Brome, en Montérégie, afin de protéger ce dernier et créer une relation harmonieuse entre ses habitants et leur milieu. Au cours des dernières années, RLB a procédé à un suivi détaillé de la qualité de l'eau du lac Brome et de ses affluents, générant ainsi une banque de donnée intéressante. En 2017, l'organisme a fait appel à l'OBV Yamaska afin de modéliser des charges annuelles en phosphore (P) pour la période 2008-2016 à l'aide du logiciel FLUX32. C'est suite aux résultats de cette première analyse que RLB a retenu les services de l'OBV Yamaska pour répéter l'opération sur les données des années 2017 à 2020, en y ajoutant également une analyse des données de matières en suspension (MES).

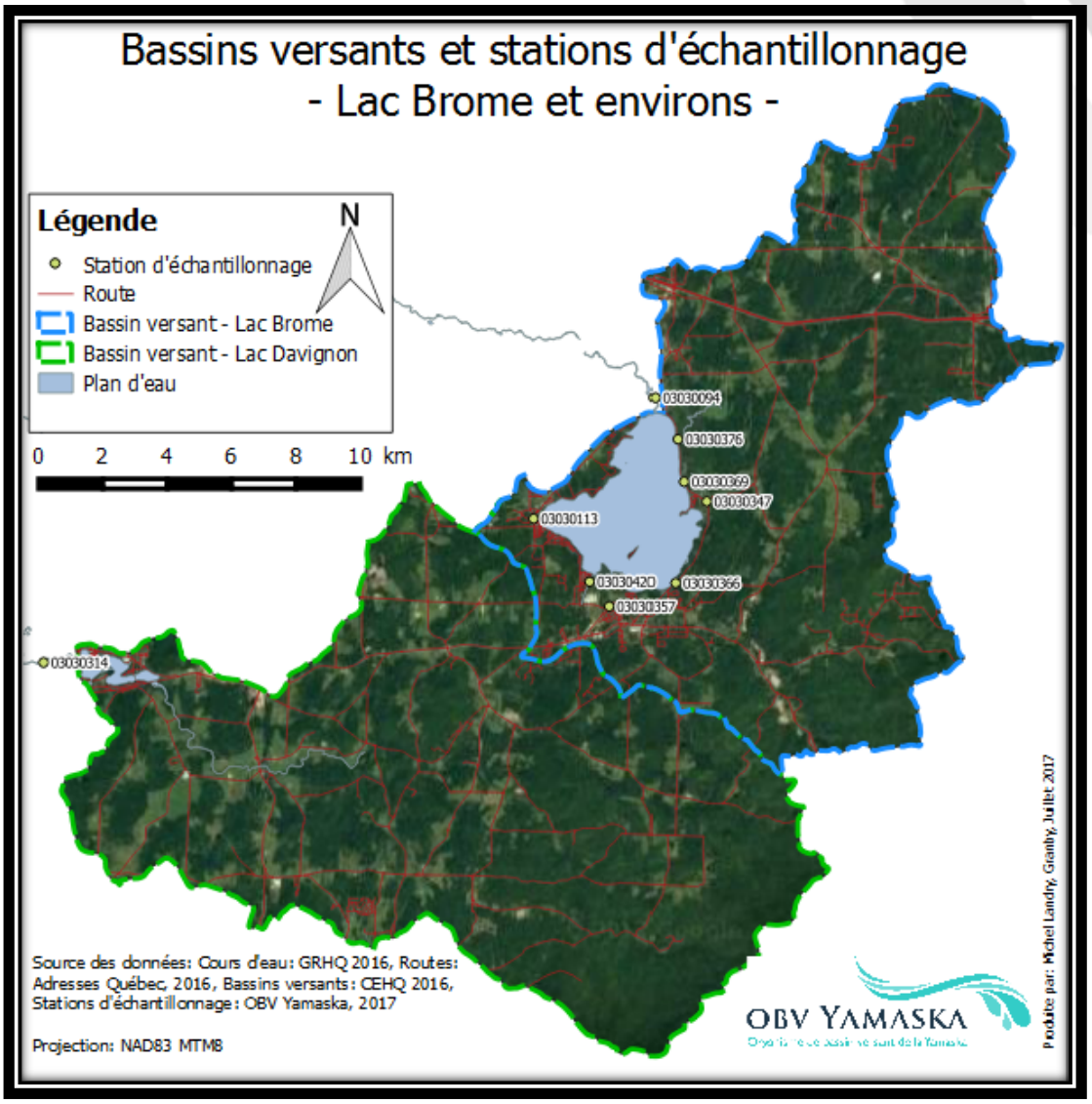
FLUX32 est un logiciel développé par le département des voies fluviales du corps des ingénieurs de l'armée américaine dans les années '90. Spécialisé dans la modélisation des charges en nutriments dans les cours d'eau, il présente notamment l'avantage de pouvoir agir sur des jeux de données incomplets ou présentant de petites quantités d'échantillons (Walker, 1999).

Le présent rapport permettra donc de répondre aux deux objectifs suivants :

- Obtenir une mise à jour des charges en P entrantes et sortantes au lac Brome pour la période 2008-2020.
- Obtenir un portrait d'ensemble des charges en MES entrantes et sortantes au lac Brome pour la période 2017-2020.

Le document présentera d'abord la méthodologie utilisée dans les traitements de FLUX32, discutera ensuite des résultats obtenus, et tirera quelques recommandations visant à bonifier ou à préciser les actions de RLB.

2 Localisation



3 Méthodologie

L'objectif de ce rapport étant de modéliser les charges en P et MES du lac Brome à l'aide du logiciel FLUX32, il convient de rappeler certains aspects méthodologiques.

La présente section discutera en premier lieu des différentes données utilisées dans la modélisation des charges. Enfin, la méthodologie utilisant le logiciel FLUX32 sera expliquée, notamment au niveau des paramètres de validité des tests.

3.1 Données

Les données utilisées dans le cadre de ce projet se divisent en deux catégories, soit les données de débit et les données de charge.

3.1.1 Débit

Les données de débit sont habituellement extraites de stations hydrométriques gérées par le centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), sous la forme de débit moyen journalier en mètre cube par seconde (m^3/s). Or, les stations hydrométriques ne se situent pas toujours au même endroit que les stations d'échantillonnage de qualité. Afin d'éviter un biais important dans la modélisation des charges, il est nécessaire d'estimer le débit à la station d'échantillonnage.

Pour ce faire, RLB utilise la méthode des bassins versants voisins (Besré, 2010) qui consiste à évaluer la similitude géomorphologique entre deux bassins versants. Lorsqu'une telle similitude est constatée, il est possible de présumer une relation de puissance entre les deux bassins, et ainsi transposer les débits de l'un vers l'autre, pour peu que le rapport de surface entre ces derniers soit contenu entre 0,5 et 2.

Cette méthode se prête particulièrement bien au cas du bassin versant du lac Brome, puisque la station hydrométrique en aval du lac est influencée par plusieurs paramètres et est donc difficilement utilisable. Par exemple, le barrage Foster en contrôle le débit en sortie, et il manque de documentation concernant la capacité du lac et de ses milieux humides à retenir les nutriments.

Par ailleurs, le bassin versant du lac Davignon, voisin de celui du lac Brome, est quant à lui bien documenté et la plage temporelle de données de débit enregistrées à sa station hydrométrique est plus étendue. Ces débits sont également moins influencés que ceux du lac Brome, et des données existent pour la période de 1968 à 2020. Ainsi, puisque ces deux bassins versants sont jugés comparables (Besré, 2010), les données de la station Davignon (03030314), à Cowansville, sont utilisées pour estimer le débit des différents affluents du lac Brome. Concernant les données en aval du lac, celles de la station se situant à 500 mètres en aval du barrage Foster (03030351) sont mises à profit pour évaluer les charges sortantes du lac seulement. Cependant, puisque ces données ne couvrent qu'une partie de la plage de 2010 à 2016, les données transposées de la station Davignon servent également à compléter les périodes manquantes. Notons aussi que cette station a été fermée en 2015 et remplacée par une station à 5 km en aval du barrage. Le Tableau 1 présente ces stations.

Tableau 1 - Stations d'échantillonnage - Débit

Nom	Code (MDDELCC)
Lac Davignon	03030314
Lac Brome (jusqu'à 2015)	03030351
Lac Brome (2016 et plus)	03030353

3.1.2 Charge

Afin d'évaluer les charges annuelles en phosphore et en matières en suspension, des données ponctuelles de concentration sont utilisées. RLB mène depuis plusieurs années différentes campagnes d'échantillonnage afin de documenter ces concentrations sur plusieurs affluents du lac Brome. S'ajoutent à ces données les échantillons pris dans le cadre du projet Réseau-rivières, de la Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE) au Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte aux changements climatiques (MDDELCC)(Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la lutte aux Changements climatiques, 2017); l'ensemble de ces informations est compilé et traité, puis diffusé, par la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA). Il en résulte une couverture d'échantillons représentant de manière adéquate la période de 2008 à 2020 pour les données de phosphore, qui sera par conséquent la plage utilisée pour ce projet. Par contre, les données de matières en suspension sont plus sporadiques à l'intérieur de la BQMA, et les échantillonnages de RLB n'ont pas non plus une couverture temporelle aussi étendue que ceux de phosphore. Ces deux jeux de données ont tout de même été compilés afin d'énoncer des estimations de charges, mais ils devront être bonifiés dans le futur pour augmenter la robustesse des tests statistiques. Les différentes stations utilisées sont présentées dans le Tableau 2.

Pour les charges de phosphore, la mesure utilisée dans ce rapport est celle du phosphore total calculé (PTOTC), qui correspond à l'addition des formes particulaires et dissoutes de phosphore, ou à une conversion tenant compte des différentes méthodes utilisées à travers les époques pour mesurer le phosphore total persulfate (P-T-PER).

Quant aux charges de MES, la mesure est plutôt celle des solides en suspension (SS) filtrés à 1,2 µm.

Dans les deux cas, les unités utilisées sont en mg/l.

Tableau 2 - Stations d'échantillonnage - Qualité

Nom	Code (MDDELCC)	Code (RLB)
Argyll	03030347	A-2
Coldbrook	03030357	C-2
Inverness	03030113	I-2
McLaughlin	03030369	M-1
Pearson	03030420	P-3
Quilliams	03030376	Q-1
Golf Knowlton	03030366	G-2
Berges	Multiples	B
Lac Brome (aval)	03030094	-

3.2 Méthode : FLUX32

Le logiciel FLUX32 utilise deux fichiers en entrée, soit un pour les débits et un pour les concentrations. Les données de débit doivent être continues pour l'ensemble de la période évaluée (des exceptions sont possibles, mais mènent à des estimations pouvant réduire la précision de la modélisation). Le logiciel offre ensuite une multitude d'outils statistiques pour caractériser la distribution des échantillons de concentration. C'est selon ces outils et en fonction du but recherché que l'utilisateur peut ensuite déterminer laquelle de sept méthodes (voir Tableau 3) de régression sera utilisée pour modéliser les charges sur la période donnée.

Tableau 3 - Description des méthodes utilisées par FLUX32 (Inspiré de Walker, 1999)

Méthode	Description
Méthode 1	Charge moyenne
Méthode 2	Concentration pondérée par le débit
Méthode 3	Concentration pondérée par le débit avec ajustement
Méthode 4	Régression – 1er ordre, Pente C/Q
Méthode 5	Régression – 2e ordre, Ajustement de variance
Méthode 6	Régression – Pente log C / log Q, Ajustement journalier
Méthode 8	Série temporelle utilisant la méthode 6

FLUX32 permet de stratifier les données d'échantillonnage selon plusieurs paramètres, notamment en fonction des débits, de la saison, des plages temporelles ou du comportement d'un hydrogramme (croissance, réduction ou stabilité du débit relatif). Plutôt que d'employer une stratification pour l'ensemble des données, la méthode utilise plutôt la stratification la plus efficace pour chaque cours d'eau, pour chaque

période de temps analysée. Cette approche est plus exigeante, mais permet de réduire les erreurs statistiques induites par la méthode de régression choisie, et ainsi de réduire l'écart entre les balises de l'intervalle de confiance de la donnée finale.

Dans le cadre de cette analyse, les méthodes 3 et 6 ont été utilisées en fonction de la relation entre les concentrations (C) et les débits (Q). Lorsque la pente de la relation C/Q présentait une relation significative au seuil 10%, la méthode 6 était retenue. À l'inverse, lorsque la relation ne pouvait être jugée significative, la méthode 3 était préférée afin d'éviter d'induire des biais dans le calcul. Les résidus de fonction analysés durant les étapes de cette analyse ont été évalués selon le seuil significatif de 5% ; il en a été de même pour l'évaluation de l'autocorrélation des données. Les différentes stratifications ont été choisies afin de réduire autant que possible les résidus de fonction, et conséquemment pour réduire les écarts des coefficients de variation (CV) des différentes méthodes. Ces CV ont permis enfin d'établir un intervalle de confiance (IC) pour l'ensemble des données finales, toujours en fonction du seuil significatif de 5% (Patoine, 2017; Soballe, 2017).

Les données de débit ont été compilées pour représenter la période de 1968 à 2020 inclusivement, bien que seules les années 2005 à 2020 aient été conservées en raison de la lourdeur du jeu de donnée. De leur côté, les données de concentration variaient d'un affluent à l'autre. Bien que la plage minimale recherchée s'étendait de 2008 à 2020, l'ensemble des données disponibles a été utilisé afin de réduire les CV, compte tenu de la répartition des échantillons.

Voici quelques éléments supplémentaires de la méthodologie :

- L'évaluation des paramètres a été faite en supposant une distribution normale des données, et les tests statistiques présentés évaluent la probabilité que le résultat corresponde à une telle distribution, généralement dans un intervalle significatif variant entre 5 et 10%.
- Toutes les stratifications possibles ont été évaluées, à différents degrés. Lorsque la stratification était faite en fonction du débit, la médiane, le premier quartile et parfois le troisième quartile de la distribution des mesures de débit agissaient respectivement comme la première, deuxième et troisième borne. Lorsque la stratification était faite en fonction de la saison, trois blocs étaient utilisés, soit de début janvier à fin avril, de début mai à fin août, et de début septembre à fin décembre. Le chiffrier Excel fournit en annexe à ce rapport détaille la stratification utilisée dans chaque cas.
- Puisque FLUX32 utilise une relation entre le débit moyen journalier (3.1.1) et la concentration (3.1.2), aucune distinction supplémentaire n'a été apportée pour la période hivernale.

4 Résultats

L'utilisation de FLUX32 a permis de générer des estimations de charge pour chacune des années évaluées. De plus, un intervalle de confiance au seuil de 95% a été calculé de manière à évaluer la validité de l'évaluation. Ce chapitre présentera les résultats complets et se conclura par une discussion sur ces constats.

4.1 Présentation des résultats

L'étude des résultats présentés dans le Tableau 4 permet de supposer une légère augmentation dans les charges en phosphore sur l'ensemble de la période d'étude, bien qu'il y ait une diminution marquée entre 2019 et 2020. En effet, la fluctuation moyenne interannuelle entre 2008 et 2020 montre une augmentation de 1,8% au lac Brome, et de 8,25% en aval de ce dernier (contre -47,46% en amont du lac et -47,62% en aval de celui-ci entre 2019 et 2020). Cette variation semble suivre partiellement l'augmentation des débits annuels sur l'ensemble de la période d'étude, qui augmentent (en moyenne) de 1,12% au lac Brome et de 2,33% en aval du lac pour cette même période. De même, la baisse marquée des charges entre 2019 et 2020 semble reliée à la fluctuation du débit, puisque celle-ci enregistre également une baisse par rapport à l'année précédente (-42,17% en amont du lac et -44,11% en aval de celui-ci entre 2019 et 2020). Par ailleurs, la Figure 3 permet de constater une augmentation accélérée des charges de P en aval du lac dans les dernières années, ainsi qu'un pic des charges en 2019. Cependant, ces deux contextes ont subit une forte baisse en 2020, et l'écart entre les charges entrantes et sortantes semble continuer à rétrécir. La Figure 4 montre quant à elle que presque tous les affluents du lac Brome suivent une même tendance, bien que le phénomène soit exacerbé pour les ruisseaux Quilliams et Coldbrook.

Les charges de MES présentées au Tableau 5 ont varié en moyenne de 3% au lac Brome, et de -3% en aval de ce dernier entre 2017 et 2020 (contre -47,15% en amont du lac et -48.27% en aval de celui-ci entre 2019 et 2020). Il est possible de remarquer que les charges entrantes et sortantes du lac Brome semblent suivre une tendance comparable, soit une augmentation dans les premières années, et une diminution entre 2019 et 2020, particulièrement marquée pour les charges entrantes en 2020 (Figure 5). Notons que ces valeurs sont appelées à fluctuer substantiellement plus la plage de données disponible pour le calcul des MES sera grande. De plus, on constate que les apports en MES du ruisseau Coldbrook subissent une importante augmentation après 2017, et sont plus importants que les apports en MES du ruisseau Quilliams alors que c'était l'inverse pour les charges de P. Néanmoins, la baisse très marquée des charges pour ce même ruisseau en 2020 le ramène près du niveau de Quilliams (Figure 6).

Il est important de faire une mise en garde face à l'utilisation de valeurs précises ; la modélisation est efficace pour évaluer les tendances relatives des charges à travers le temps. En raison de la largeur de l'intervalle de confiance, l'utilisation d'une valeur en particulier doit être faite avec précaution. De plus, la modélisation se peaufine à chaque mise à jour de ce rapport puisque la plage de données disponibles augmente. Les résultats des années 2017 à 2020 ont d'ailleurs été mises à jour dans ce rapport afin de comparer les résultats issus d'un même jeu de données. Ceci donne lieu à des changements parfois notables par rapport aux données générées les années précédentes ; cependant, la tendance relative d'un cours d'eau face aux autres reste la même. Ceci met en lumière l'importance de travailler avec de telles données relatives plutôt qu'absolues.

Enfin, les résultats permettent d'apprécier la contribution de chaque cours d'eau étudié face à l'apport en phosphore relatif vers le lac. Sans grande surprise, les ruisseaux Quilliams (49,9%) et Coldbrook (25,8%) sont de loin les plus gros contributeurs. Cependant, même si le constat est similaire concernant les MES, la contribution des ruisseaux Quilliams (24,1%) et Coldbrook (61,6%) est inversée pour les MES par rapport au P. De plus, la séparation plus équilibrée observée en 2019 s'estompe après l'intégration des données de 2020, alors que Quilliams et Coldbrook représente une proportion comparable pour les MES et le P.

La Figure 2 donne quelques précisions quant à la lecture du Tableau 4.

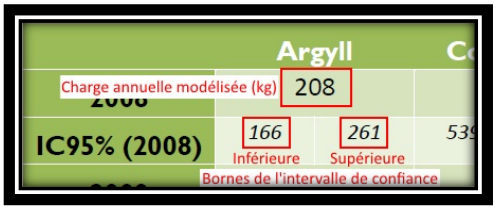


Figure 2 - Explications supplémentaires sur la lecture du Tableau 4

À noter que la coloration rouge présente dans le Tableau 4 vise à rappeler que les données concernant le golf Knowlton et les berges du lac Brome sont projetées depuis les données historiques se terminant en 2013. Elles sont présentées à titre indicatif seulement puisque leur fiabilité est appelée à décroitre avec le temps en absence de suivi.

Tableau 4 - Charge annuelle (kg de Phosphore) par affluent et intervalle de confiance (IC) 95% - Lac Brome

	Argyll		Coldbrook		Inverness		McLaughlin		Pearson		Quilliams		Golf Knowlton		Berges		Total Annuel	Aval	
2008	208		884		110		190		132		1750		19		181		3474	-	
IC95% (2008)	*166*	*261*	*539*	*1449*	*93*	*129*	*158*	*228*	*87*	*201*	*1456*	*2102*	*11*	*31*	*129*	*255*		-	-
2009	168		708		91		152		107		1405		15		154		2800	-	
IC95% (2009)	135	208	424	1184	77	107	129	179	75	152	1197	1648	9	26	110	216		-	-
2010	230		1003		124		208		144		1951		20		195		3876	2189	
IC95% (2010)	182	291	598	1684	102	152	171	253	102	202	1585	2402	12	34	140	273		1843	2600
2011	320		1323		144		257		188		2425		25		240		4924	2319	
IC95% (2011)	246	416	738	2373	120	174	205	322	129	274	1911	3076	15	43	161	357		1952	2754
2012	142		583		78		130		91		1165		11		130		2330	1276	
IC95% (2012)	116	173	375	905	66	92	111	153	63	130	995	1364	7	17	97	175		1114	1462
2013	159		674		86		148		103		1338		13		146		2668	1511	
IC95% (2013)	128	198	417	1089	73	102	124	177	73	146	1131	1583	8	21	105	203		1316	1734
2014	214		838		104		174		122		1624		17		171		3264	1735	
IC95% (2014)	167	274	516	1363	86	126	144	210	83	180	1308	2015	10	29	120	245		1481	2032
2015	177		741		96		165		125		1505		16		161		2986	1991	
IC95% (2015)	143	221	449	1221	81	114	137	199	81	194	1267	1788	10	27	116	222		1704	2327
2016	149		632		82		140		78		1225		13		136		2455	1285	
IC95% (2016)	120	185	385	1038	68	99	115	170	60	103	1009	1487	8	21	96	194		1117	1478
2017	209		746		109		182		124		1579		19		176			2853	
IC95% (2017)	149	293	489	1138	92	128	152	219	102	151	1272	1959	13	27	129	239	**3143**	2317	3513
2018	231		1089		121		195		121		1948		23		187			3244	
IC95% (2018)	167	318	631	1880	101	144	162	236	104	140	1493	2541	13	43	131	268	**3915**	2572	4091
2019	271		1224		137		236		145		2124		25		228		**4391**	3921	
IC95% (2019)	192	382	675	2222	116	162	197	283	125	168	1705	2647	16	41	159	327		2887	5325

2020	153		530		78		131		94		1174		12		134		2307	2054	
IC95% (2020)	118	199	371	756	67	91	113	153	77	114	1418	2049	9	18	97	185		1695	2489
Total moyen	2631		10976		1360		2309		1574		21211		231		2240		**42533**	24377	
Total (2017-2020)	863		3590		445		745		484		6824		80		725		**13755**	12072	

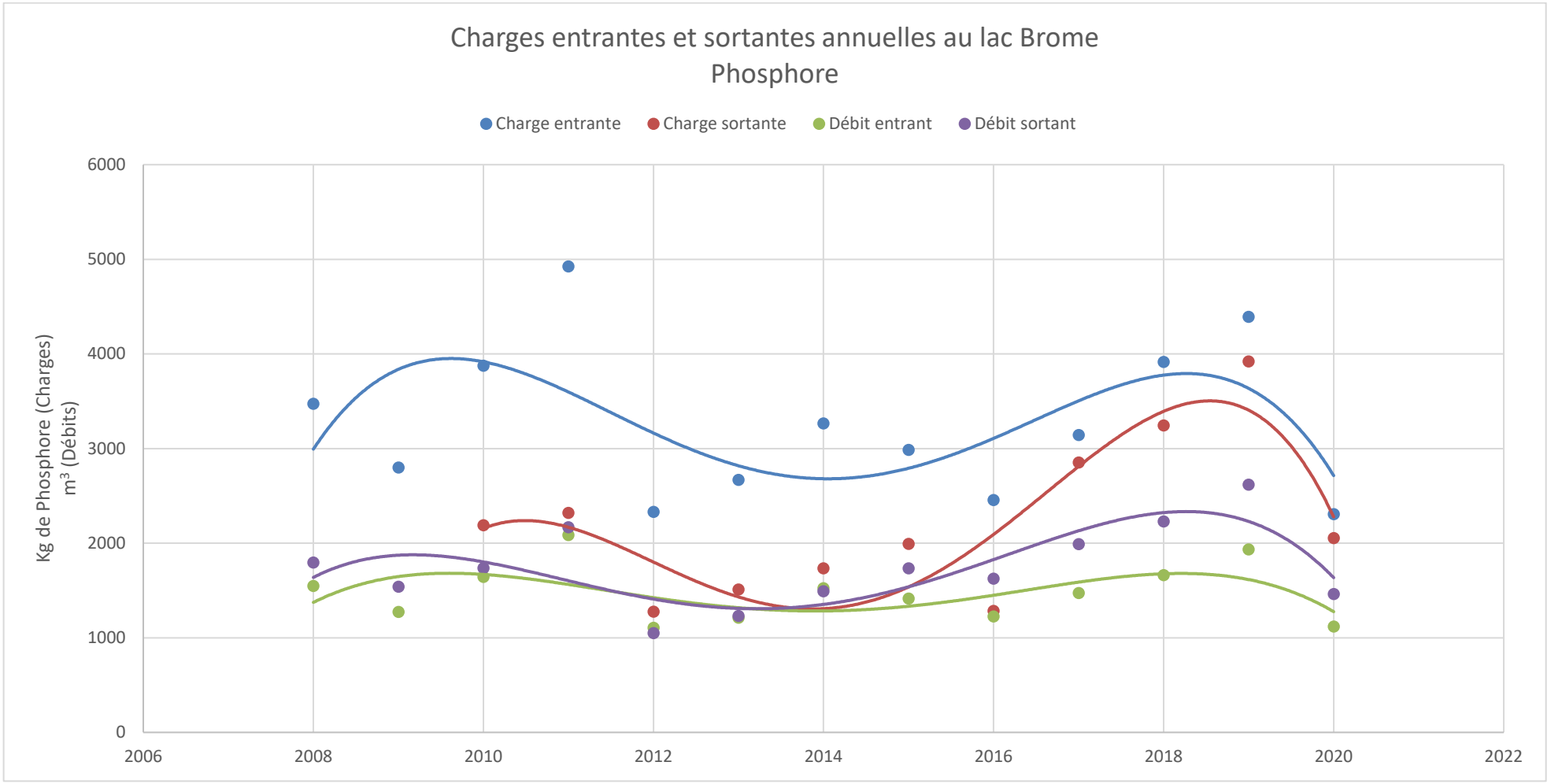


Figure 3 - Bilan des charges de phosphore entrantes et sortantes du lac Brome pour la période 2008-2020

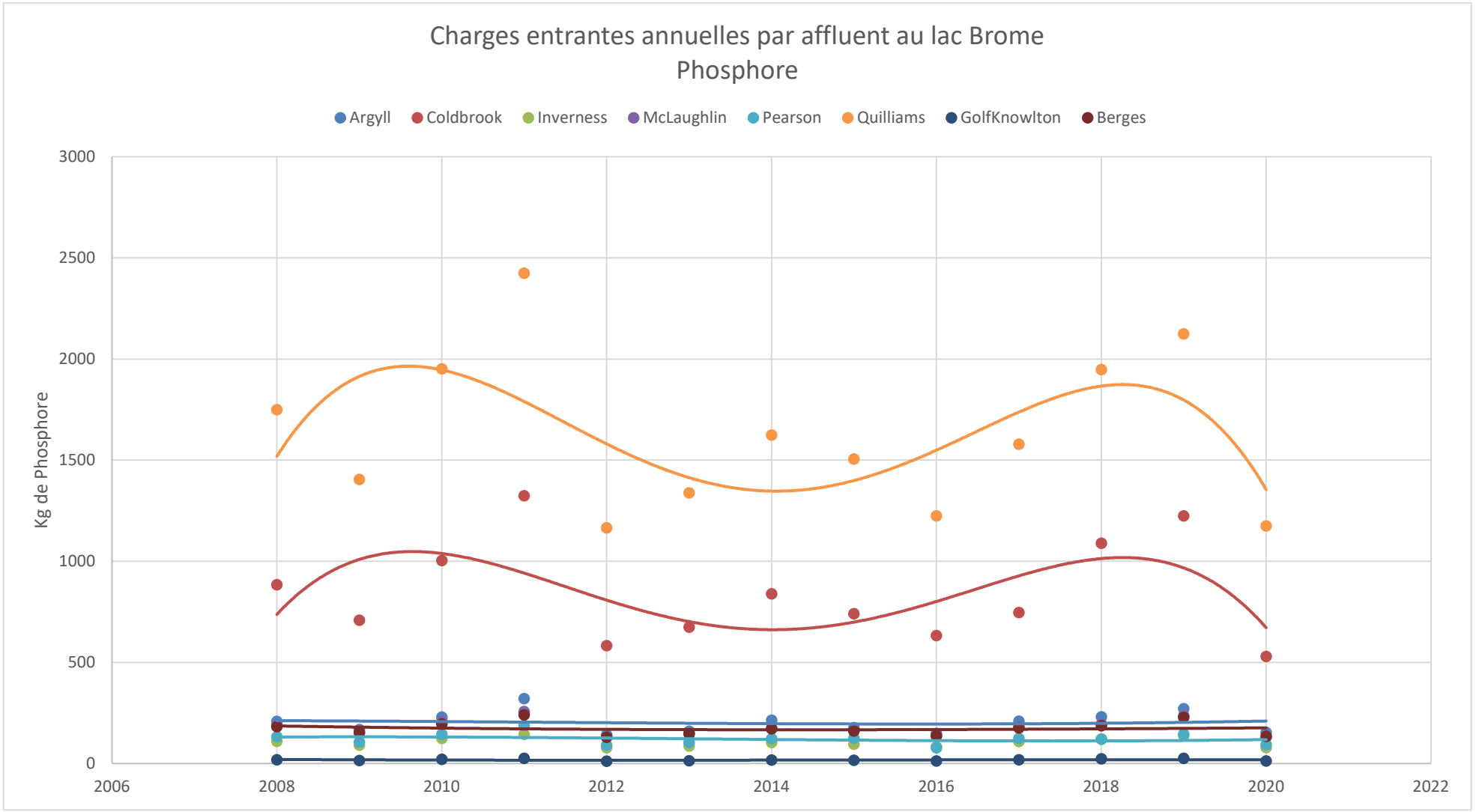


Figure 4 - Bilan des charges de phosphore par affluent du lac Brome pour la période 2008-2020

OBV YAMASKA
Organisme de bassin versant de la Yamaska

Tableau 5 - Charge annuelle (tonne de MES) par affluent et intervalle de confiance (IC) 95% - Lac Brome

	Argyll		Coldbrook		Inverness		McLaughlin		Pearson		Quilliams		Total Annuel	Aval	
2017	93		728		49		33		21		361			*515*	
IC95% (2017)	55	156	166	3199	33	71	17	65	12	37	183	712	1284	414	642
2018	125		1525		75		37		24		397			*603*	
IC95% (2018)	71	219	237	9798	46	120	17	78	13	43	197	799	2182	454	801
2019	147		1109		76		44		28		452			*743*	
IC95% (2019)	91	237	355	3466	53	108	21	94	16	48	238	857	1855	522	1059
2020	**63**		**520**		**37**		**32**		**20**		**308**			***385***	
IC95% (2020)	**41**	**96**	**161**	**1679**	**26**	**52**	**10**	**97**	**11**	**37**	**142**	**670**	**981**	**303**	**489**
Total moyen	427		3882		236		145		93		1517		6301	2247	

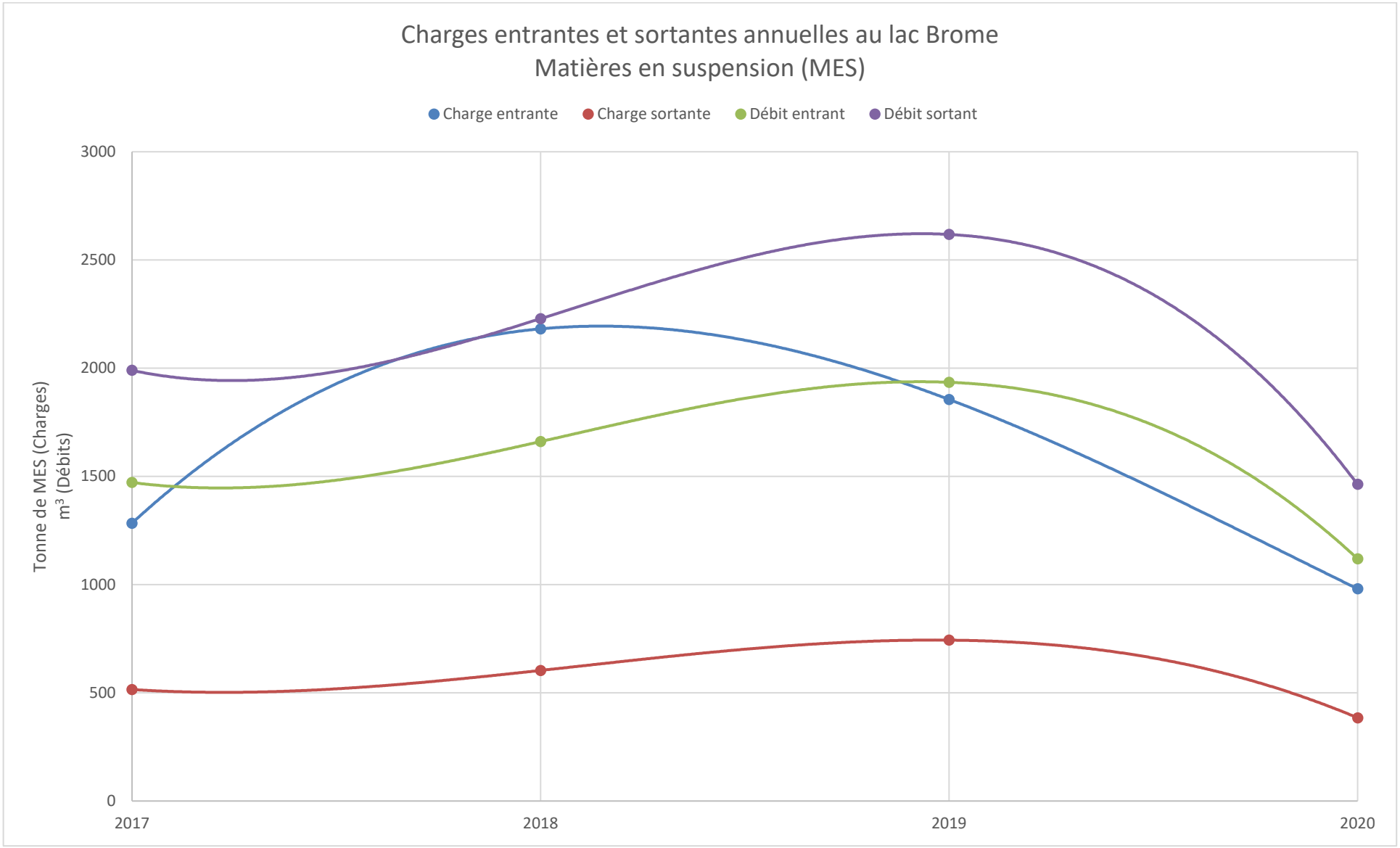


Figure 5 - Bilan des charges de matières en suspension entrantes et sortantes du lac Brome pour la période 2017-2020

OBV YAMASKA
Organisme de bassin versant de la Yamaska

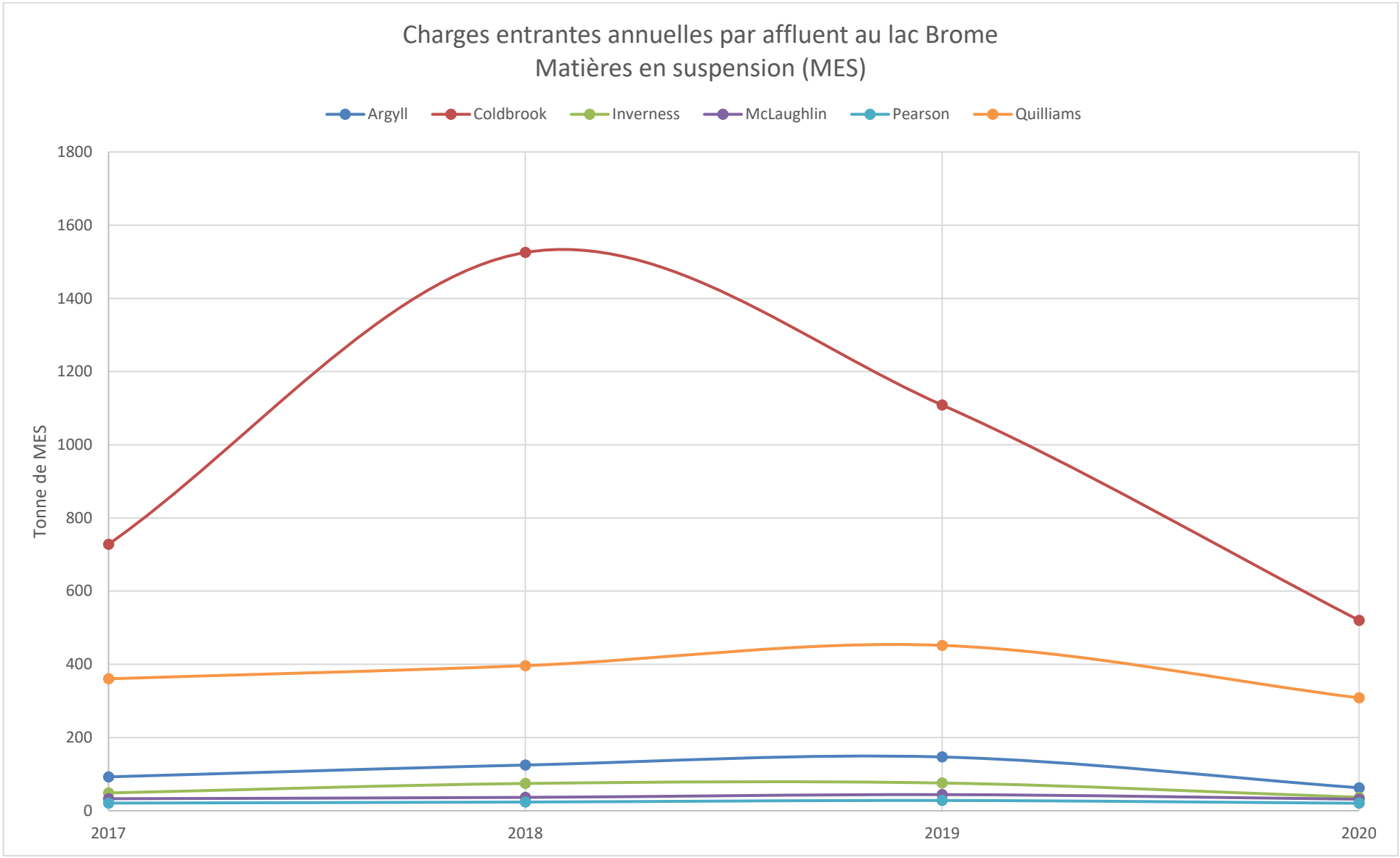


Figure 6 - Bilan des charges de matières en suspension par affluent du lac Brome pour la période 2017-2020

OBV YAMASKA
Organisme de bassin versant de la Yamaska

4.2 Discussion

La section 4.1 permet de constater que les charges de phosphore et de matières en suspension fluctuent substantiellement au cours des années de la plage d'étude. On constate globalement leur augmentation progressive tout au long de la période. Toutefois, un cas très particulier est présent dans la période 2019-2020, et la discussion sera donc traitée d'une part de manière globale, puis plus spécifiquement pour cette dernière période.

Ainsi, bien que certaines années enregistrent des charges beaucoup plus basses qu'à l'habitude, la moyenne des fluctuations pointe vers une hausse. Une analyse plus en détail de ces chiffres permet de révéler que l'amplitude de ces fluctuations varie d'un paramètre à l'autre, et ce, tant au lac qu'en aval de celui-ci. Par exemple, les apports en P au lac semblent fluctuer beaucoup moins dans les dernières années qu'au début de la plage d'étude, tandis que celles en aval du lac subissent une augmentation beaucoup plus marquée. De même, plusieurs affluents sont relativement stables à travers les années, mais certains gros contributeurs varient substantiellement.

Le cas particulier de la période 2019-2020 (données de 2020) dénote d'une réduction drastique des charges en P et MES ; les charges entrantes et sortantes en P suivent une réduction comparable, tandis que les charges entrantes en MES subissent une très forte baisse, comparativement à des charges sortantes plus faibles que par le passé, mais d'une amplitude plus modeste. On remarque également que les débits entrants et sortants subissent eux aussi une baisse marquée ; en effet, l'année 2020 a été marquée par des périodes très sèches. Ainsi, bien qu'il soit difficile de statuer sur l'ensemble des causes de la réduction des charges, elles semblent globalement proportionnelles à la réduction des débits, ce qui renforcerait l'idée qu'il existe une relation toujours aussi importante entre ces deux paramètres, et qu'il s'agirait à ce jour de la principale cause des fluctuations des charges.

Ceci met en évidence deux aspects capitaux à comprendre afin de tirer profit d'une telle analyse : en premier lieu, les variables influençant les charges de nutriments (ici, P et MES) sont multiples, difficiles à circonscrire, et ne peuvent être bien comprises par la seule analyse des fluctuations de charges ; une étude des autres paramètres physico-chimiques, humains et météorologiques est nécessaire pour mieux comprendre ces variations. En second lieu, il est important de rappeler qu'une modélisation comme celle effectuée par FLUX32 sera toujours dépendante des données disponibles.

Il est néanmoins possible de tirer les conclusions suivantes à partir des données disponibles :

- Globalement, il entre plus de phosphore au lac qu'il n'en ressort, bien que cette tendance soit presque à l'équilibre en 2020.
- Il semble entrer plus de matières en suspension qu'il n'en ressort, bien que les charges entrantes aient beaucoup réduit entre 2019 et 2020.
- De manière générale, les charges sont proportionnelles aux débits, autant au lac qu'en aval de celui-ci.

- Il semble y avoir une augmentation des charges de phosphore en aval du lac depuis les trois dernières années.
- Les tendances à la hausse observées en 2018 semblent s'amplifier en 2020.

Ces observations poussent à penser qu'une partie substantielle des intrants (P et MES, mais surtout ces dernières) au lac s'y dépose et s'y accumule. Quant aux apports en P en aval du lac, ils ne semblent pas correspondre directement aux fluctuations du débit sortant du lac. Des analyses plus détaillées seraient nécessaires pour évaluer la cause de ces augmentations. Des hypothèses seraient :

- une contribution plus importante d'un affluent ou des superficies contributives en aval du lac mais en amont de la station utilisée pour mesurer les charges en aval du lac,
- un effet de délai dans la relation concentration/débit dans les données récentes,
- un relargage plus important du P accumulé dans le lac Brome dans les dernières années.

4.3 Mises en garde

Tout d'abord, il est important de rappeler que toute méthode d'interpolation des données utilisant des échantillons clairsemés en fait de qualité d'eau sera toujours empreinte de biais importants. Ainsi, à moins de disposer d'un suivi continu ou d'échantillons à un intervalle très rapproché, il reste périlleux de statuer sur une charge de nutriments exacte. Cependant, les modèles restent des outils très pertinents pour déterminer les tendances relatives entre les données, et ainsi suivre de manière objective l'évolution d'un plan d'eau. À cet égard, il est donc possible d'utiliser FLUX32 pour estimer les impacts de mesures d'atténuation d'exportation de nutriments vers les cours d'eau. À noter que puisque les données de qualité contiennent peu, voire pas d'échantillon durant la période hivernale, il est possible que FLUX32 surestime la quantité de phosphore en circulation durant l'hiver. Sans nouveaux échantillons pour l'appuyer, il est impossible de commenter davantage sur cette hypothèse. De même, les plages de données concernant les MES sont discontinues et présentent des variations élevées ; un suivi à long terme est nécessaire pour augmenter la robustesse des résultats qui y sont liés.

Un rappel important doit être fait concernant les données de débit. Compte-tenu qu'il n'existe pas de suivi hydrométrique local sur chacun des cours d'eau traités, et pour pallier les enjeux liés aux données des stations en aval du lac Brome, la méthode des bassins versants voisins a été mise à profit (voir section 3.1.1). Bien que cette méthode soit une excellente approximation statistique lorsque l'on respecte ses critères d'application, il n'en reste pas moins qu'elle apporte son lot d'incertitude par rapport à une mesure réelle sur le terrain. Ainsi, bien que nous considérions que les résultats présentés dans ce rapport représentent une bonne modélisation et estimation des charges au lac Brome, nous rappelons la vigilance nécessaire quant à l'utilisation des valeurs absolues qu'il contient. Afin de mieux représenter le comportement relatif de chaque affluent au lac Brome, un projet de caractérisation des débits, idéalement sur plusieurs années et par toutes les saisons, serait nécessaire. Différentes avenues s'offrent à RLB, et pourront être discutées si l'organisme choisit d'emprunter cette avenue.

L'objectif de ce projet était de dresser le bilan des charges de phosphore et de matières en suspension pour le lac Brome, ce qui a été décrit à la section précédente et résumé dans les Tableau 4 Tableau 5. Ce bilan permet d'aller au-delà d'un simple portrait figé de la situation du lac ; il sert de base pour effectuer un éventuel suivi temporel des impacts positifs et négatifs de changements de pratiques et d'autres initiatives visant à améliorer la santé du lac et de ses cours d'eau. Cependant, un tel suivi est complexe et requiert un peu plus d'attention qu'un simple tableau puisque plusieurs facteurs peuvent entrer en ligne de compte. Par exemple, les types d'évènements hydrologiques qui prendront cours durant l'année constitueront une variable pouvant amplifier ou masquer l'impact de certains changements de pratiques exportant du phosphore. Il est également ardu de prédire la sensibilité et la réponse d'un modèle comme FLUX32 aux améliorations portant sur des sources ponctuelles et diffuses. Un effet de délai, hautement variable d'un cours d'eau à un autre, est également courant dans l'observation des impacts de changements de pratiques sur les charges de nutriments. Ceci est particulièrement vrai dans les cas de sources diffuses comme on en retrouve en milieu agricole. Par exemple, un sol saturé en phosphore pourrait continuer d'exporter du phosphore sur plusieurs années, même si on réduit la quantité de fertilisant appliquée.

Pour ces raisons, il donc important de clairement identifier ce que l'on cherche à suivre comme caractéristiques, et quels sont les objectifs d'amélioration qu'on vise à apporter dans le bassin versant. Ces éléments permettront d'établir les indicateurs nécessaires à leur suivi, et détermineront dans quelle

mesure il sera possible d'obtenir des résultats clairs par le suivi hydrologique. Par exemple, dans le cas de changements de pratiques agricoles progressives sur un territoire donné, l'effet de délai sera important, et hautement dépendant des conditions hydrologiques des années d'observation.

Afin de pouvoir relier ces changements de pratiques aux impacts sur les charges, il sera donc nécessaire de créer un indicateur représentant la couverture spatiale des changements de pratiques, de documenter l'effet attendu de ces derniers, et de tenir compte de la mobilité du phosphore et des matières en suspension afin de déterminer dans quel ordre de grandeur et selon quel délai il faut s'attendre à observer des impacts.

FLUX32 permet également de tenir compte de la variabilité interannuelle des débits, soit la fluctuation naturelle des débits d'une année à l'autre. Ce facteur est important à considérer, car il influence naturellement les résultats de charges. Par exemple, une réduction dans la charge d'une année à l'autre pourrait être due au retrait d'une source importante de phosphore dans les cours d'eau, ou simplement à l'augmentation des débits lors d'une année particulièrement active, créant ainsi un plus fort effet de dilution des concentrations. Pour contrer cette situation, FLUX32 peut modéliser une période de référence et appliquer les résultats à une autre plage temporelle. En comparant ce résultat avec la modélisation globale, il devient possible de masquer ou de mettre en évidence les changements opérés durant cette période de référence. Le choix des stratifications de données est également un élément sensible à considérer en fonction des changements de pratiques qu'on cherche à suivre.

Enfin, un questionnement soulevé par des intervenants mérite une explication plus détaillée. En effet, il a été observé que la contribution de la charge annuelle de chaque affluent semblait directement reliée à la superficie du bassin versant de celui-ci. La crainte a été soulevée que la modélisation ne tienne pas bien compte de la contribution réelle de chaque affluent, et qu'une mauvaise corrélation soit plutôt faite en fonction de la taille du bassin. En fait, FLUX32 fait correspondre des valeurs observées de charge aux données de débit qui lui sont transmises. Ainsi, les valeurs résultantes sont bien reliées aux données recueillies sur le terrain. Un cas particulier se présente dans le cas des affluents du lac Brome : l'affluent possédant la plus forte contribution de charge semble être un petit contributeur aux résultats annuels, tandis que ceux qui devraient présenter des contributions plus faibles en raison d'une plus forte dilution semblent occuper une place trop importante. Ces constats sont remis en perspective par le fait que les volumes d'eau totaux apporté par ces affluents sont dans des ordres de grandeur très différents. Par exemple, le ruisseau Inverness, qui présente la plus forte teneur en phosphore par volume d'eau, n'apporte finalement que 2,7% du volume d'eau total au lac Brome (données 2019). À l'inverse, le ruisseau Coldbrook apporte moins de phosphore par volume d'eau que plusieurs autres affluents, mais représente 26,77% du volume d'eau total (données 2019). Ainsi, malgré sa plus faible contribution relative, il s'avère être un plus gros contributeur de phosphore annuellement que Inverness.

5 Recommandations

Cette section émet quelques recommandations à l'attention de RLB quant à l'atteinte de ses objectifs et à l'utilisation des données du présent rapport.

5.1 Utilisation des résultats

Les résultats présentés dans les différents tableaux de ce rapport correspondent aux calculs détaillés dans la section 3, et sont donc soumis aux limites de ces derniers. La largeur de l'intervalle de confiance met en garde contre une utilisation directe des valeurs de charges absolues ; celles-ci doivent être utilisées avec jugement. Il n'en reste pas moins que ces résultats sont tout à fait adaptés au suivi temporel des fluctuations relatives de ces charges, et donc aux efforts d'amélioration de la santé du lac Brome.

Plutôt que d'utiliser les valeurs de charges, il est recommandé de travailler avec les tendances (hausse, baisse, stabilité) et les ordres de grandeur relatives des données d'une même étude par rapport à elle-même. Ainsi, il est possible de caractériser les fluctuations des charges tout en tenant compte des biais potentiels sur les résultats de manière à effectuer des suivis efficaces pour la gestion du bassin versant.

Par exemple, il serait délicat d'affirmer qu'exactement 3 876 kg de P sont entrés dans le lac Brome en 2010. À l'inverse, on peut être confiant de dire qu'il y a une augmentation d'un peu plus de 38% entre les apports de 2009 et ceux de 2010, puisque l'on compare les mesures modélisées avec elles-mêmes, et donc les mêmes biais.

5.2 Utilisation de FLUX32

L'utilisation de FLUX32 permet une grande flexibilité dans la gestion des données, leur interprétation et la production de rapports personnalisés. Les multiples outils statistiques présents dans le logiciel lui confèrent une fiabilité intéressante, et sont des guides importants dans les décisions utilisant les estimations de valeurs de charges. Sa base diffusée librement et le support possible auprès du développeur ainsi que d'autres experts au sein du gouvernement du Québec en font également un outil en évolution qui s'adapte à la science actuelle. Bien qu'il requière une certaine formation pour être utilisé adéquatement, il présente tout de même l'avantage d'être rapide à utiliser une fois que les données de base sont bien implantées.

FLUX32 apporte des analyses stables et fines des différents phénomènes inscrits à travers les données, et se confirme comme un outil intéressant pour mesurer les efforts de l'organisme dans le futur. Entre autres, le logiciel donne des indicateurs concernant la distribution optimale de l'échantillonnage (voir section 5.4), permet de séparer et de stratifier les données pour minimiser les erreurs statistiques, et donne suffisamment de flexibilité pour effectuer des analyses complémentaires aux simples charges moyennes.

De plus, puisque les données en intrant et la méthodologie ont été mises en place pour le cas de RLB, la mise à jour et les utilisations subséquentes du logiciel pour le compte de l'organisme seront d'autant plus rapides. La mise à jour du portrait général annuel est en effet une opération relativement simple, et dépend désormais plus de la facilité d'accès aux données de débit et de concentration en phosphore que du temps de traitement en tant que tel. Quant aux autres utilisations du logiciel, une évaluation personnalisée sera nécessaire dans chaque cas, mais la compréhension des enjeux et l'existence de la structure des données faciliteront le tout.

5.3 Suivi temporel

Tel qu'indiqué en 4.3, il sera important d'identifier clairement les objectifs de RLB quant à l'utilisation des résultats des charges de phosphore avant d'aller plus loin. En effet, advenant l'intérêt d'effectuer un suivi des réductions de phosphore ou de matières en suspension dans les cours d'eau suite aux interventions sur le bassin versant, d'autres indicateurs devront être mis en place afin d'assurer un suivi efficace.

Bien que ces indicateurs varieront en fonction des objectifs, voici un prototype d'indicateur pouvant servir dans le cas précédemment supposé. Le Tableau 6 montre une fiche qui pourra être remplie pour chaque nouveau projet ou mise à jour de projet (la mise à jour devra être à une fréquence minimalement annuelle) et base essentiellement le suivi sur deux paramètres, soit la surface de territoire affectée par le projet et la quantité de phosphore estimée être retirée par ce projet (cette valeur pourra éventuellement être rassemblée en catégories) (Simoneau, 2017).

Tableau 6 - Exemple de suivi des pratiques

Date	Identifiant	Adresse	Contact	Type d'aménagement	Impact sur P	Superficie	Sup. BV (%)
7/25/2017	Champ de M. Fermier	123 rue de La Ferme	M. Fermier	Cultures intercalaires	Modéré	3,5 ha	0,005

L'objectif d'une telle fiche est de pouvoir relier la proportion de territoire modifiant ses pratiques avec les fluctuations éventuelles dans les mesures de charges. Bien que l'analyse de telles répercussions soit complexe, un suivi rigoureux est une condition *sine qua non* à toute autre étape, considérant l'ensemble des variables pouvant influencer les charges modélisées (voir section 4.2).

5.4 Échantillonnage

Comme indiqué, FLUX32 est doté d'un outil qui permet d'évaluer la distribution optimale des échantillons en fonction du débit sur la plage temporelle spécifiée. Il est important de comprendre que le logiciel évalue cette distribution en fonction de la stratification choisie, et dans l'objectif de minimiser le coefficient de variation de l'intervalle en question. Cette mesure doit ensuite être relativisée en fonction des capacités de l'organisme, et d'une analyse objective des débits réels enregistrés sur les différents cours d'eau. Ceci est particulièrement important dans le cas du lac Brome, puisque les débits sont transposés selon la méthode des bassins versants voisins plutôt que réellement mesurés sur le territoire.

Ainsi, bien qu'il soit possible d'obtenir des résultats pour chaque tronçon et pour chaque période, la réalité du cas de RLB fait en sorte qu'il est plutôt pertinent d'énoncer des tendances. Heureusement, les constats sont relativement uniformes sur l'ensemble des cours d'eau, et pour chaque année évaluée. De manière générale, la majorité (entre 65 et 75%) des échantillons correspond à la portion inférieure de la distribution de débits modélisés, tandis que seulement le quart est associé aux débits plus élevés. Or, une décharge de phosphore importante se produit par lessivage juste avant le pic de crue des évènements de pluie, et cette décharge est d'autant plus forte que l'est le débit. Ainsi, le modèle suggère d'inverser la distribution des échantillons afin de cibler majoritairement les évènements de forte pluie (et incidemment, de fort débit), et de réduire le nombre d'échantillons pris en période d'étiage. À noter que le logiciel émet l'hypothèse que le nombre d'échantillons total restera le même ; si RLB souhaite augmenter ce nombre ou changer substantiellement sa distribution, par exemple en ajoutant des échantillons d'hiver, ces chiffres devront être considérés avec jugement.

En résumé, basculer vers une proportion correspondant à 25% des échantillons lors de débits se situant sous la moyenne annuelle, et 75% lors de débits supérieurs à cette moyenne (avec une préférence pour les débits forts et les évènements exceptionnels) permettrait de réduire substantiellement le coefficient de variation de la modélisation, et donc de réduire l'intervalle de confiance des valeurs de charges.

Par ailleurs, ces recommandations s'appliquent tant aux échantillons de phosphore que de matières en suspension. Pour finir, il a été mentionné à plusieurs reprises que le jeu de données des MES est moins complet que celui du P ; ceci est principalement dû au suivi moins fréquent dans les données de la BQMA. Puisque la fluctuation des mesures pour ce paramètre est plus grande, il serait minimalement important de maintenir la fréquence de cet échantillonnage, s'il n'est pas possible de l'augmenter.

5.5 Variations climatiques et temporelles

L'objectif de ce rapport n'est pas de faire une analyse des causes des fluctuations dans les charges de nutriments. Cependant, les tendances qui émergent de la plage de données semble porter vers certains constats. En effet, alors que les débits et les charges fluctuaient par le passé, elles étaient plus ou moins à l'équilibre. Cependant, les données plus récentes portent à croire qu'elles sont en augmentation, et que cette augmentation tend à s'accélérer. Bien qu'il soit impossible de prédire l'avenir, il ne serait pas surprenant que cette tendance se maintienne. En effet, les prédictions climatiques proposent un avenir aux écarts météorologiques plus grands ; alors que nous vivrons plus de sécheresses et d'étiages, les périodes de précipitations seront néanmoins plus brèves, mais plus puissantes. Par exemple, la Figure 7 permet de

constater que pour la région de Lac-Brome, en plus d'une augmentation progressive des précipitations maximales enregistrées en 24h, on remarque de plus en plus d'épisodes extrêmes. Or, l'exportation des nutriments (notamment par lessivage) est directement reliée à la force des débits de pointe, ce qui laisse à penser que les charges de nutriments seront également appelées à augmenter. Pour leur part, les périodes d'étiage qui suivront réduiront d'autant la capacité de dilution des cours d'eau, et exacerberont ainsi l'impact de la surcharge en nutriments. Il n'est pas non plus difficile d'établir un lien entre ces apports plus grands en phosphore et en sédiments et les problèmes de comblement et de qualité d'eau (pensons aux éclosions de cyanobactéries) que subiront les plans d'eau de la région.

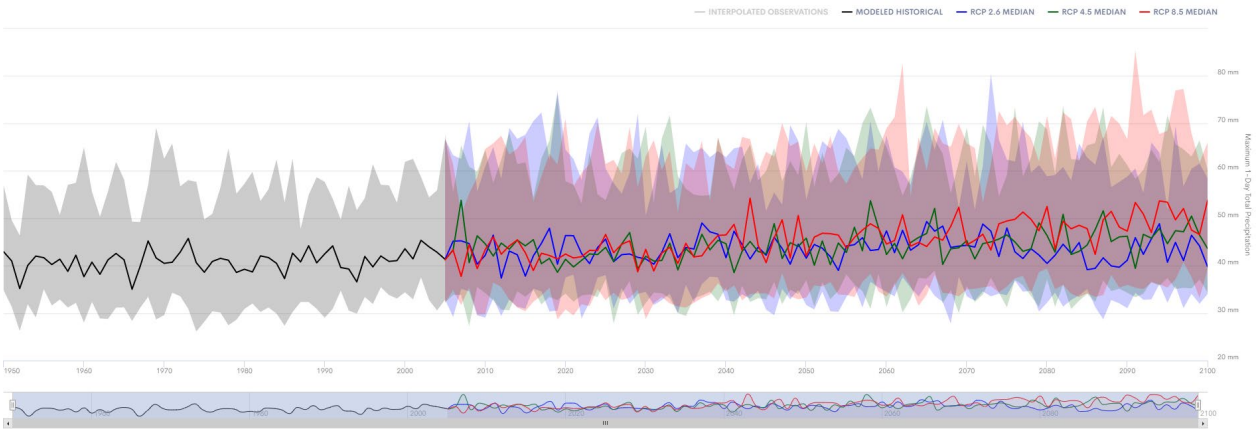


Figure 7 - Variation temporelle des précipitations maximales sur une journée (Climatedata, 2020)

Ces paramètres sont difficilement contrôlables. Cependant, il est possible de travailler à réduire nos impacts sur les plans d'eau avant que ces enjeux ne créent des problèmes concrets dans nos communautés. L'aménagement du territoire peut par exemple aider à ralentir le passage de l'eau depuis le sol vers les cours d'eau, et ainsi réduire la force des débits de pointe, tout en réduisant l'ampleur des étiages. Les milieux humides sont l'un des multiples écosystèmes et outils bien connus pouvant jouer un rôle en la matière. Travailler à cibler les sources de nutriments et développer des projets visant le changement de pratiques à ces niveaux permet en parallèle de réduire la pression anthropique sur l'émission de ces nutriments. Rappelons à cet égard que bien qu'il soit souvent difficile de cibler une seule source majeure d'exportation de nutriments et la régler, l'ensemble des efforts de plus modeste taille à l'intérieur d'un même bassin versant peuvent cumuler un effet très appréciable, et souvent bien plus atteignable.

En terminant, rappelons qu'entreprendre de tels projets n'est pas une mince affaire, et il ne revient pas à un seul organisme de s'y attaquer. Au contraire, c'est un changement commun qui pourra parvenir à renverser la vapeur. Néanmoins, certains organismes, comme Renaissance, sont bien positionnés pour agir comme porteurs de flambeau dans la région et guider les acteurs locaux dans un tel défi social !

6 Références

Besré, F. (2010). *Modélistion des débits au lac Brome phase 1 : Méthode des bassins voisins, Rapport technique*. Renaissance Lac Brome.

Climatedata. (2020). *Variations climatiques projetées—Lac-Brome, Qc*. https://climatedata.ca/explore/location/

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la lutte aux Changements climatiques. (2017). *Réseau-rivières*. http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/suivi_mil-aqua/qual_eau-rivieres.htm

Patoine, M. (2017). *Communications personnelles*.

Simoneau, M. (2017). *Communications personnelles*.

Soballe, D. (2017). *Communications personnelles*.

Walker, W. (1999). *Simplified procedures for eutrophication assessment and predction : User manual*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.