



**OBV YAMASKA**

Organisme de bassin versant de la Yamaska

## Évaluation des charges au lac Brome - FLUX32



Juillet 2017



## Équipe de réalisation

Coordination du projet

Michel Landry, B.Sc Géomatique, M.Env.  
Chargé de projet, OBV Yamaska

Rédaction et modélisation

Michel Landry, B.Sc Géomatique, M.Env.  
Chargé de projet, 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).

On peut citer le présent rapport de la façon suivante :

OBV YAMASKA, 2017. *Évaluation des charges du lac Brome*, pour RLB, Organisme de bassin versant de la Yamaska, 19 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 : Renaissance Lac Brome.....	5
3.3 Méthode : FLUX32.....	6
4 Résultats.....	8
4.1 Présentation des résultats.....	8
4.2 Comparaison des résultats.....	10
4.3 Discussion.....	14
5 Recommandations.....	16
5.1 Utilisation des résultats.....	16
5.2 Utilisation de FLUX32.....	16
5.3 Suivi temporel.....	17
5.4 Échantillonnage.....	18
6 Références.....	19

# 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 - Charges entrantes (FLUX et RLB) - Lac Brome.....	10
Figure 4 - Charges sortantes (FLUX, RLB et EGRET) - Lac Brome.....	12

# 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) .....	6
Tableau 4 - Charge annuelle (kg) par affluent et intervalle de confiance (IC) 95% - Lac Brome.....	9
Tableau 5 - Écart entre les charges entrantes (kg) (FLUX et RLB) - Lac Brome .....	11
Tableau 6 - Écart entre les charges entrantes (kg) (limite inférieure de FLUX et moyenne RLB) - Lac Brome .....	11
Tableau 7 - Écart entre les charges sortantes (kg) (FLUX, RLB et EGRET) - Lac Brome.....	13
Tableau 8 - Bilan des charges de phosphore (kg) (FLUX) - Lac Brome .....	13
Tableau 9 - Exemple de suivi des pratiques.....	17

# 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 développé une approche lui permettant d'estimer les charges de phosphore entrant et sortant au lac Brome afin d'y suivre les paramètres influençant la qualité de son eau. Bien que cette méthode soit bien étoffée et s'appuie sur plusieurs analyses techniques de qualité, RLB souhaite comparer ses résultats avec d'autres méthodes éprouvées, et ainsi déterminer quelle est la meilleure approche pour effectuer un suivi annuel des charges de phosphore vers le lac. C'est dans cette intention que RLB a retenu les services de l'OBV Yamaska afin de modéliser ces charges à l'aide du logiciel FLUX32.

FLUX32 est un logiciel développé par le département des voies fluviales du corps des ingénieurs de l'armée américaine dans les années '90. Spécialisé pour modéliser les 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 :

- Comparer la méthode de RLB avec un modèle établi afin de commenter sa validité;
- Obtenir un portrait d'ensemble des charges entrantes et sortantes au lac Brome pour la période 2008-2016.

Le document établira 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

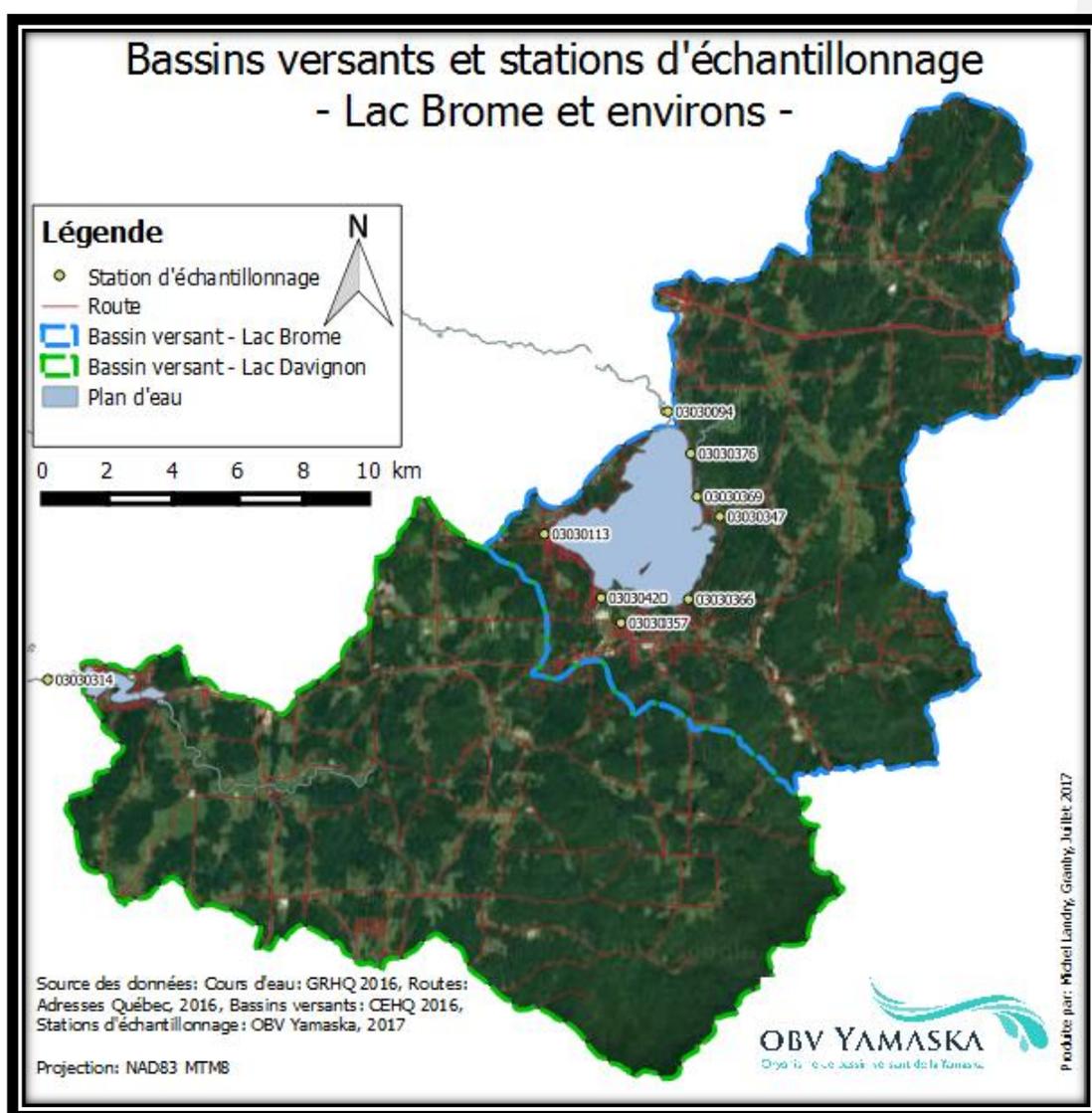


Figure 1 - Territoire d'étude et localisation du bassin versant du lac Brome

# 3 MÉTHODOLOGIE

Les deux objectifs principaux étant de modéliser les charges du lac Brome à l'aide du logiciel FLUX32 et de valider la méthodologie actuelle de RLB, il convient de diviser les aspects méthodologiques selon une logique similaire.

La présente section discutera donc en premier lieu des différentes données utilisées par les deux méthodes. La méthodologie utilisée par RLB sera ensuite résumée afin de faciliter la comparaison finale. 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 mètres cubiques 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 ainsi 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 1968 à 2016. 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 affluent du lac Brome. Concernant les données en aval du lac, celles de la station se situant à 500m 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 également 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)
<b>Lac Davignon</b>	03030314
<b>Lac Brome (jusqu'à 2015)</b>	03030351
<b>Lac Brome (2016 et plus)</b>	03030353

### 3.1.2 Charge

Afin d'évaluer les charges annuelles en phosphore, des données ponctuelles de concentration sont utilisées. RLB a mené depuis plusieurs années différentes campagnes d'échantillonnage afin de documenter ces concentrations sur plusieurs cours d'eau, affluents au 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)(MDDELCC, 2017b); 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 2016, qui sera par conséquent la plage utilisée pour ce projet. Les différentes stations utilisées sont présentées dans le Tableau 2.

La mesure utilisée pour 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).

Tableau 2 - Stations d'échantillonnage - Qualité

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

## 3.2 MÉTHODE : RENAISSANCE LAC BROME

Pour ses analyses, RLB a utilisé les données de ses échantillonnages de qualité aux deltas des affluents du lac Brome. Concernant les données à la sortie du lac, ce sont plutôt les données moyennes mensuelles mesurées par le MDDELCC qui ont été utilisées. Les débits correspondent à la méthode décrite à la section 3.1.1.

Afin d'apporter un niveau de précision supplémentaire à l'analyse et tenir compte autant des limites de l'échantillonnage que des caractéristiques inhérentes aux fluctuations du débit, RLB a choisi de séparer les données selon les catégories suivantes :

- La **crue printanière**, correspondant environ à la fin mars jusqu'au début de mai;
- Les **débits d'étiage**, soit ceux plus faibles que 0,92 m<sup>3</sup>/s, et correspondant au niveau minimal pouvant maintenir un milieu aquatique viable;
- Les **débits faibles à moyens**, étant ceux compris entre 0,92 m<sup>3</sup>/s et 3,7 m<sup>3</sup>/s, et correspondant à la médiane historique des débits au lac Brome;
- Les **débits moyens à forts**, variant entre 3,7 m<sup>3</sup>/s et 8,2 m<sup>3</sup>/s, et donc de la médiane jusqu'aux dernier 10% des débits les plus élevés;
- Les **débits forts**, correspondant aux débits plus forts que 8,2 m<sup>3</sup>/s, et donc au seuil des 10% les plus élevés (Q10%);
- Et finalement, la **période d'hiver**, s'étendant du 1<sup>er</sup> décembre jusqu'au début de la crue printanière.

En mesurant ainsi le volume d'eau correspondant à chaque catégorie, et en y multipliant les valeurs obtenues par la médiane des sept années de test pour chaque catégorie, RLB obtient ainsi une estimation fiable de la charge annuelle de phosphore pour chaque affluent observé. (Renaissance Lac Brome, 2017)

### 3.3 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.

À l'instar de la méthode utilisée par RLB, FLUX32 permet de stratifier les données d'échantillonnage selon plusieurs paramètres, notamment en fonction des débits, de la saison, de plages temporelles ou du comportement d'un hydrogramme (croissance, réduction ou stabilité du débit relatif). Plutôt que d'utiliser une stratification pour l'ensemble des données, la méthode utilisée consiste plutôt à utiliser 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.

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

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

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). Ainsi, lorsque la pente de la relation C/Q présente une relation significative au seuil 10%, la méthode 6 est retenue. À l'inverse, lorsque la relation ne pouvait être jugée significative, la méthode 3 a été 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 2016 inclusivement, tandis que les données de concentration varient d'un affluent à l'autre. Bien que la plage minimale recherchée s'étend de 2008 à 2016, l'ensemble des données disponibles a été utilisée 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 utilisées, 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 plutôt faite en fonction de la saison, trois blocs ont été 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 en premier lieu ces résultats complets. Puis, une comparaison sera effectuée entre les résultats des trois sources, soit FLUX32, RLB et ceux d'une modélisation, pour une station, effectués par M. Simoneau à l'aide du logiciel EGRET. Le chapitre sera conclu par une discussion sur ces constats.

### 4.1 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

L'étude des résultats présentés dans le Tableau 4 permet de constater une tendance à la baisse dans les charges annuelles de phosphore. En effet, une diminution de près de 30% de la charge est observée pour l'ensemble des cours d'eau entre 2008 et 2016 en amont du lac Brome, alors que cette diminution atteint jusqu'à 40% en aval de ce dernier. Cette diminution correspond à une réduction de 1018 kg de P en amont du lac, et de 969 kg de P en aval.

En raison de la largeur de l'intervalle de confiance, il est toutefois 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, mais l'utilisation des valeurs doit être faite avec précaution.

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 (50%) et Coldbrook (25,7%) sont de loin les plus gros contributeurs. La Figure 2 donne quelques précisions quant à la lecture du Tableau 4.

Argyll		C
Charge annuelle modélisée (kg)	208	
IC95% (2008)	166	261
	Inférieure	Supérieure
Bornes de l'intervalle de confiance		

Figure 2 - Explications supplémentaires sur la lecture du Tableau 4

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

	Argyll		Coldbrook		Inverness		McLaughlin		Pearson		Quilliams		Golf Knowlton		Berges		Total
<b>2008</b>	208		884		110		190		132		1750		19		181		3474
<b>IC95% (2008)</b>	166	261	539	1449	93	129	158	228	87	201	1456	2102	11	31	129	255	
<b>2009</b>	168		708		91		152		107		1405		15		154		2800
<b>IC95% (2009)</b>	135	208	424	1184	77	107	129	179	75	152	1197	1648	9	26	110	216	
<b>2010</b>	230		1003		124		208		144		1951		20		195		3876
<b>IC95% (2010)</b>	182	291	598	1684	102	152	171	253	102	202	1585	2402	12	34	140	273	
<b>2011</b>	320		1323		144		257		188		2425		25		240		4924
<b>IC95% (2011)</b>	246	416	738	2373	120	174	205	322	129	274	1911	3076	15	43	161	357	
<b>2012</b>	142		583		78		130		91		1165		11		130		2330
<b>IC95% (2012)</b>	116	173	375	905	66	92	111	153	63	130	995	1364	7	17	97	175	
<b>2013</b>	159		674		86		148		103		1338		13		146		2668
<b>IC95% (2013)</b>	128	198	417	1089	73	102	124	177	73	146	1131	1583	8	21	105	203	
<b>2014</b>	214		838		104		174		122		1624		17		171		3264
<b>IC95% (2014)</b>	167	274	516	1363	86	126	144	210	83	180	1308	2015	10	29	120	245	
<b>2015</b>	177		741		96		165		125		1505		16		161		2986
<b>IC95% (2015)</b>	143	221	449	1221	81	114	137	199	81	194	1267	1788	10	27	116	222	
<b>2016</b>	149		632		82		140		78		1225		13		136		2455
<b>IC95% (2016)</b>	120	185	385	1038	68	99	115	170	60	103	1009	1487	8	21	96	194	
<b>Total</b>	1768		7386		915		1564		1091		14387		151		1515		28777

## 4.2 COMPARAISON DES RÉSULTATS

La comparaison des résultats de différentes analyses a deux objectifs. En premier lieu, elle permet de vérifier que les méthodes produisent des résultats comparables, et donc qu'elles sont probablement près de la réalité. Ensuite, cela permet de poser un regard critique sur la méthode développée par RLB, puisque l'organisme cherche à valider son approche.

La Figure 3 montre que les résultats de la méthode de RLB sont compris à l'intérieur de l'intervalle de confiance de la méthode utilisant FLUX32 en ce qui a trait aux charges entrantes dans le lac Brome. En fait, on constate une similitude importante entre la courbe de tendance de la méthode RLB et celle de la limite inférieure de l'intervalle de confiance de FLUX32. En effet, le Tableau 5 permet de constater que la somme des écarts entre les deux méthodes est importante, totalisant 6059 kg de P, soit une différence de 21,1% entre les deux totaux pluriannuels. En comparaison, cette somme des écarts entre les deux méthodes, en considérant plutôt la limite inférieure des données de FLUX32 présentée au Tableau 6, est de 1035 kg de P, soit une différence d'au plus 5,5% sur le total pluriannuel des deux méthodes. Notons par ailleurs que l'écart est maximal pour l'année 2011, qui a apporté des crues de loin supérieures aux autres années ; si on considère cette année comme une donnée éloignée, l'écart entre les deux méthodes est réduit de moitié.

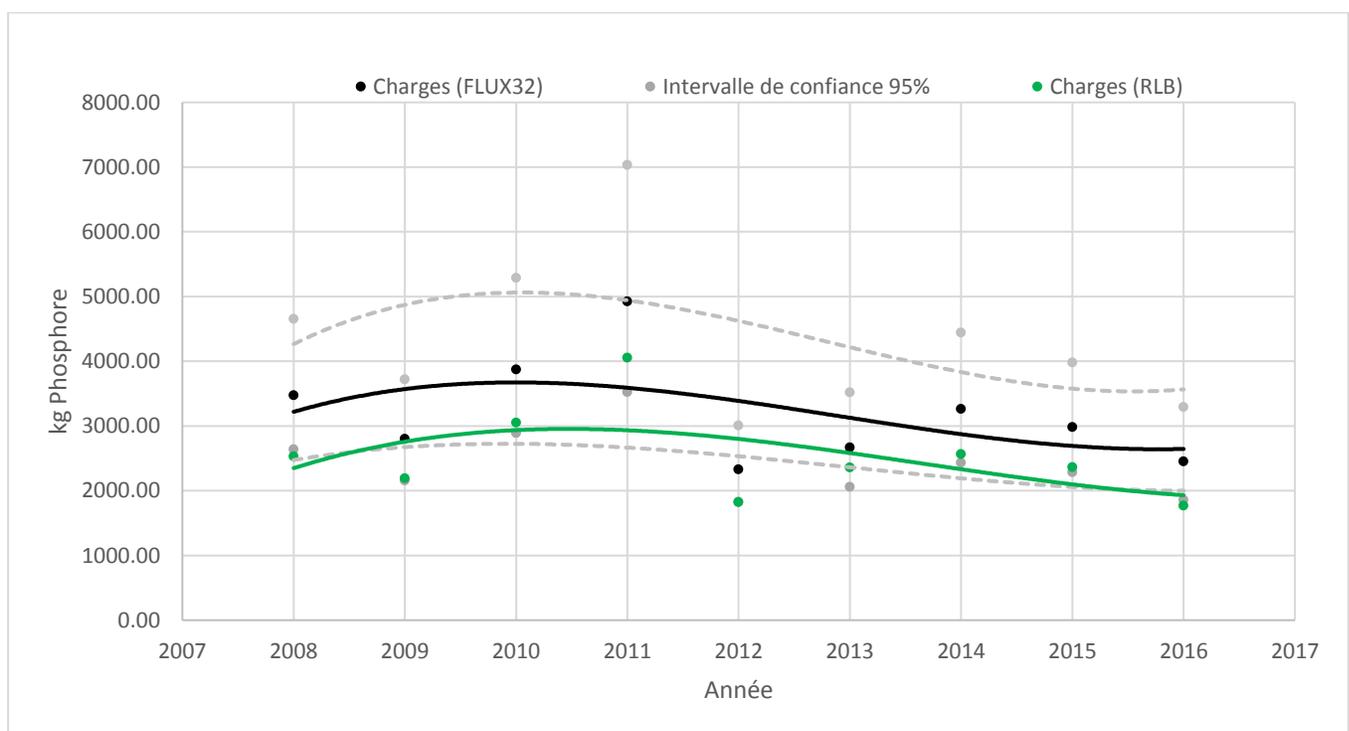


Figure 3 - Charges entrantes (FLUX et RLB) - Lac Brome

Tableau 5 - Écart entre les charges entrantes (kg) (FLUX et RLB) - Lac Brome

	FLUX32 entrant	RLB entrant	Écart	Proportion d'écart
<b>2008</b>	3474	2532	-942	
<b>2009</b>	2800	2193	-607	
<b>2010</b>	3876	3055	-821	
<b>2011</b>	4924	4055	-869	
<b>2012</b>	2330	1825	-505	
<b>2013</b>	2668	2359	-309	
<b>2014</b>	3264	2565	-699	
<b>2015</b>	2986	2363	-623	
<b>2016</b>	2455	1771	-684	
<b>Somme</b>	28777	22718	-6059	21 %
<b>Moyenne</b>	3197	2524	-673	

Tableau 6 - Écart entre les charges entrantes (kg) (limite inférieure de FLUX et moyenne RLB) - Lac Brome

	FLUX32 (inférieure) entrant	RLB entrant	Écart	Proportion d'écart
<b>2008</b>	2640	2532	-108	
<b>2009</b>	2156	2193	37	
<b>2010</b>	2890	3055	165	
<b>2011</b>	3526	4055	529	
<b>2012</b>	1831	1825	-6	
<b>2013</b>	2060	2359	299	
<b>2014</b>	2433	2565	132	
<b>2015</b>	2285	2363	78	
<b>2016</b>	1861	1771	-90	
<b>Somme</b>	21683	22718	1035	6%
<b>Moyenne</b>	2409	2524	115	

De leurs côtés, les charges sortantes du lac Brome correspondent un peu mieux entre les méthodes de RLB et de FLUX32. La Figure 4 permet de constater des écarts notables, mais qui se maintiennent tout de même autour de valeurs communes, et toujours à l'intérieur de l'intervalle de confiance au seuil 95% de la méthode FLUX32.

Pour le cas des charges sortantes, M. Simoneau a également pu produire un estimé à la station 03030094 à l'aide du logiciel Exploration and Graphics for RivEr Trends (EGRET), qui utilise une méthode similaire à celle de FLUX32. On peut remarquer une tendance générale comparable entre les résultats de EGRET et ceux de FLUX32, ce qui appuie l'utilisation de ce dernier. Le Tableau 7 permet d'apprécier les écarts entre la moyenne des résultats des trois approches, montrant un écart d'aussi peu que 2,1% entre FLUX32 et RLB, et 2,3% entre FLUX32 et EGRET.

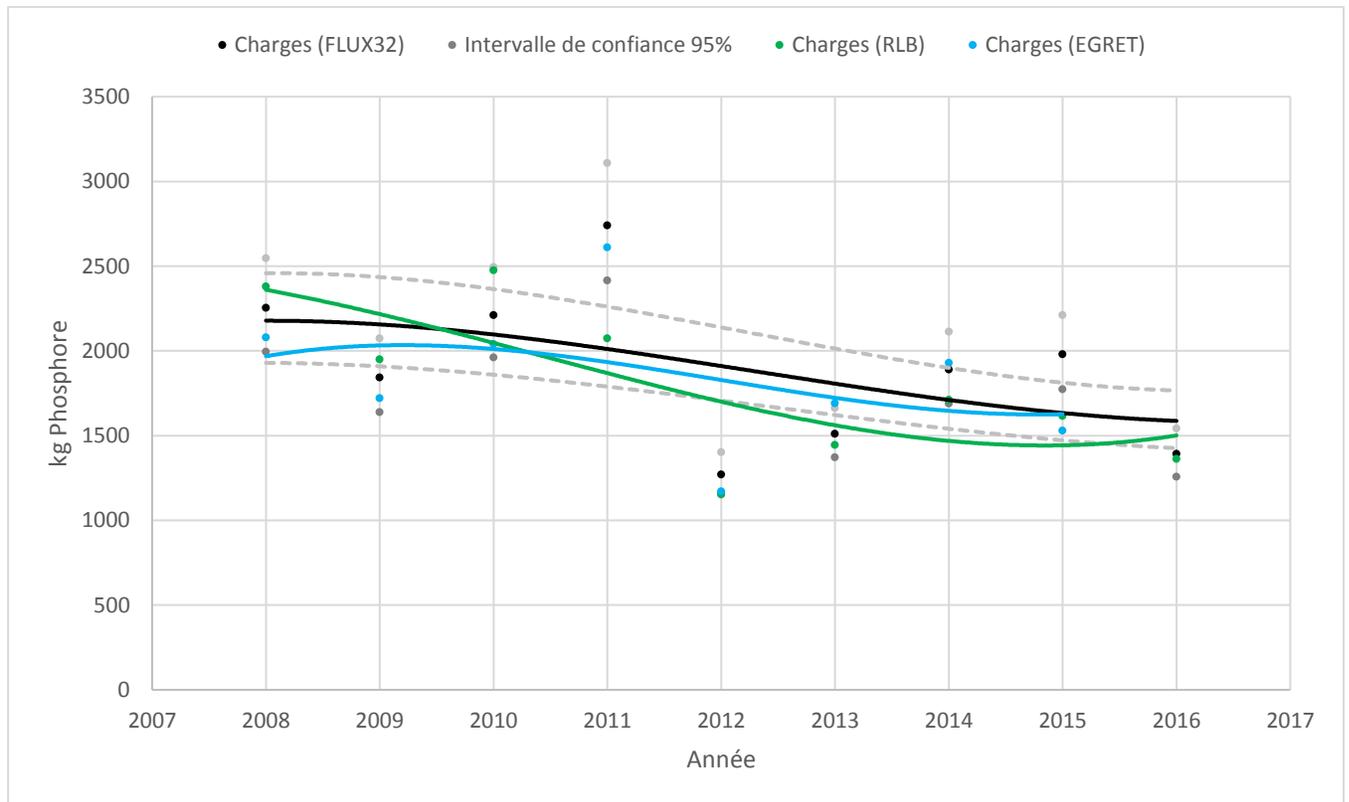


Figure 4 - Charges sortantes (FLUX, RLB et EGRET) - Lac Brome

Tableau 7 - Écart entre les charges sortantes (kg) (FLUX, RLB et EGRET) - Lac Brome

	FLUX32 sortant	RLB sortant	EGRET sortant	Écart (FLUX-RLB)	Écart (FLUX-EGRET)
<b>2008</b>	2254	2379	2080	-125	174
<b>2009</b>	1843	1949	1720	-106	123
<b>2010</b>	2212	2475	2040	-263	172
<b>2011</b>	2741	2074	2610	667	131
<b>2012</b>	1270	1155	1170	115	100
<b>2013</b>	1510	1445	1690	65	-180
<b>2014</b>	1890	1712	1930	178	-40
<b>2015</b>	1980	1616	1530	364	450
<b>2016</b>	1392	1362	-	30	-

Enfin, le Tableau 8 donne le portrait final du bilan en phosphore du lac Brome selon l'approche de FLUX32 pour la période 2008 à 2016. Sur cette période, les fluctuations sont importantes, et ne permettent pas de tracer une direction claire dans les charges. Ce constat rejoint celui du MDDELCC pour la période 2002 à 2011, qui indique une absence de tendance claire dans les données (MDDELCC, 2017a).

Tableau 8 - Bilan des charges de phosphore (kg) (FLUX) - Lac Brome

	Charges entrantes (kg)	Charges sortantes (kg)	Écart (kg)	Ratio (Entrant/Sortant)
<b>2008</b>	3474	2254	1220	1.54
<b>2009</b>	2800	1843	957	1.52
<b>2010</b>	3876	2212	1664	1.75
<b>2011</b>	4924	2741	2183	1.80
<b>2012</b>	2330	1270	1060	1.83
<b>2013</b>	2668	1510	1158	1.77
<b>2014</b>	3264	1890	1375	1.73
<b>2015</b>	2986	1980	1006	1.51
<b>2016</b>	2455	1392	1063	1.76
<b>Total</b>	28777	17091	11687	-
<b>Moyenne</b>	3197	1899	1299	1.69

### 4.3 DISCUSSION

Comme permet de le constater la section 4.2, les résultats des trois méthodes sont relativement comparables. La possibilité de tracer un intervalle de confiance sur les calculs, d'utiliser des plages de données plus complexes, et d'adapter la stratification des données selon chaque jeu de données individuellement sont des avantages que confère l'utilisation du logiciel FLUX32.

La comparaison des résultats semble indiquer que la méthode de RLB mène globalement aux mêmes tendances que celle de FLUX32, bien qu'elle semble sous-estimer les charges entrantes dans le lac Brome. Néanmoins, 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 l'une ou l'autre des méthodes pour mesurer les impacts sur le bassin versant de mesures d'atténuation d'exportation de phosphore vers les cours d'eau. Mentionnons que RLB émet l'hypothèse d'un apport en phosphore constant correspondant au bruit de fond durant la période hivernale, tandis que FLUX32 modélise de manière continue pour l'ensemble de la période. Puisque les données de qualité contiennent peu, voire pas d'échantillons durant cette période, il est possible que FLUX32 surestime la quantité de phosphore en circulation durant l'hiver. Sans nouveaux échantillons pour appuyer l'une ou l'autre des méthodes, l'hypothèse est que la quantité réelle se situe probablement entre les deux méthodes.

Le second objectif de ce projet était bien entendu de dresser le bilan des charges de phosphore pour le lac Brome, ce qui a été décrit à la section précédente et résumé dans le Tableau 8. 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, il est important de noter qu'un tel suivi est complexe et requiert un peu plus d'attention qu'un simple tableau. En effet, pour ne nommer que quelques éléments, la réaction d'un modèle comme FLUX32 aux améliorations portant sur des sources ponctuelles et diffuses sera différente, et les types d'événements hydrologiques qui prendront cours durant l'année ajoutent encore une variable pouvant amplifier ou masquer la lecture des répercussions de ces pratiques. Un effet de délai, hautement variable d'un cours d'eau à un autre, est également courant dans l'observation des impacts de changement de pratiques sur les charges de nutriments, surtout dans le cas de sources diffuses comme c'est souvent le cas dans le milieu agricole.

Pour ces raisons, il est donc important de clairement identifier ce que l'on cherche à suivre comme caractéristiques, et quels sont les objectifs d'amélioration qu'on cherche 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 afin de déterminer dans quel ordre de grandeur et selon quel délai on doit 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, qui elles seraient pourtant restées les mêmes. 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 est donc possible de masquer ou de mettre en évidence les changements opérés durant cette période de référence. Le choix des stratifications de données sera également un élément sensible à considérer en fonction des changements de pratiques qu'on cherche à suivre.

## 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 présentés dans la section 3, et sont donc soumis aux limites de ces derniers. La largeur de l'intervalle de confiance met en effet en garde contre une utilisation factuelle des valeurs de charges ; 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 des 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'exactly 3876 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 requiert 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.

La comparaison entre les résultats de RLB et ceux produits à l'aide de FLUX32 permet de constater l'efficacité de la méthode élaborée par l'organisme. Il n'en reste pas moins que FLUX32 apporte des analyses plus stables et plus fines des différents phénomènes inscrits à travers les données, et pourrait donc se révéler 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 mis 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 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 9 montre une fiche qui devra être remplie pour chaque nouveau projet ou mise à jour de projet (la mise à jour minimale devra être 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 9 - 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 4.3).

## 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. En effet, de manière générale, la majorité (entre 65 et 75%) des échantillons correspondent à la portion inférieure de la distribution de débits modélisés, tandis que seulement le quart sont associés aux débits plus élevés. Or, une décharge de phosphore importante se produit par lessivage juste avant le pic de crue des événements 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 événements de forte pluie (de fort débit), et de réduire le nombre d'échantillons pris en période d'étiage. Notons 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% pris lors de débits supérieurs à cette moyenne (avec une préférence pour les débits forts et les événements exceptionnels) permettrait de réduire substantiellement le coefficient de variation de la modélisation, et donc de réduire l'intervalle de confiance des valeurs de charge.

## 6 RÉFÉRENCES

- Besré, F. (2010). Modélisation des débits au lac Brome phase I: Méthode des bassins voisins, Rapport technique. Renaissance Lac Brome.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la lutte aux Changements climatiques [MDDELCC]. (2017a). Atlas interactif de la qualité des eaux de surface et des écosystèmes aquatiques. Consulté 25 juillet 2017, à l'adresse [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/Atlas\\_interactif/evolution/evolution\\_p\\_tot.asp](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/evolution/evolution_p_tot.asp)
- MDDELCC. (2017b). Réseau-rivières. Consulté 26 juillet 2017, à l'adresse [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco\\_aqua/suivi\\_mil-aqua/qual\\_eau-rivieres.htm](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/suivi_mil-aqua/qual_eau-rivieres.htm)
- Patoine, M. (2017). Communications personnelles.
- Renaissance Lac Brome. (2017). Approximation de l'apport annuel de phosphore en tenant compte des débits.
- Simoneau, M. (2017). Communications personnelles.
- Soballe, D. (2017). Communications personnelles.
- Walker, W. (1999). Simplified procedures for eutrophication assessment and prediction: User manual. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.