

# **Calcul d'un indice thermique de croissance potentielle (ITCP) du saumon atlantique juvénile dans 40 rivières à saumon du Québec**

**Claudine Boyer, André St-Hilaire, Normand Bergeron**  
Centre Eau, Terre et Environnement  
Institut National de la Recherche Scientifique  
490, rue de la Couronne, Québec (Québec) G1K 9A9

Réalisé pour le compte du  
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec

Mars 2022

© INRS, Centre - Eau Terre Environnement, 2022  
Tous droits réservés

ISBN : 978-2-89146-970-8 (version électronique)

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2023  
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives Canada, 2023

## **TABLE DES MATIERES**

---

<b>1 Contexte .....</b>	<b>2</b>
<b>2 Méthodologie et résultats .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Analyse régionale préliminaire.....</b>	<b>18</b>

## 1 CONTEXTE

---

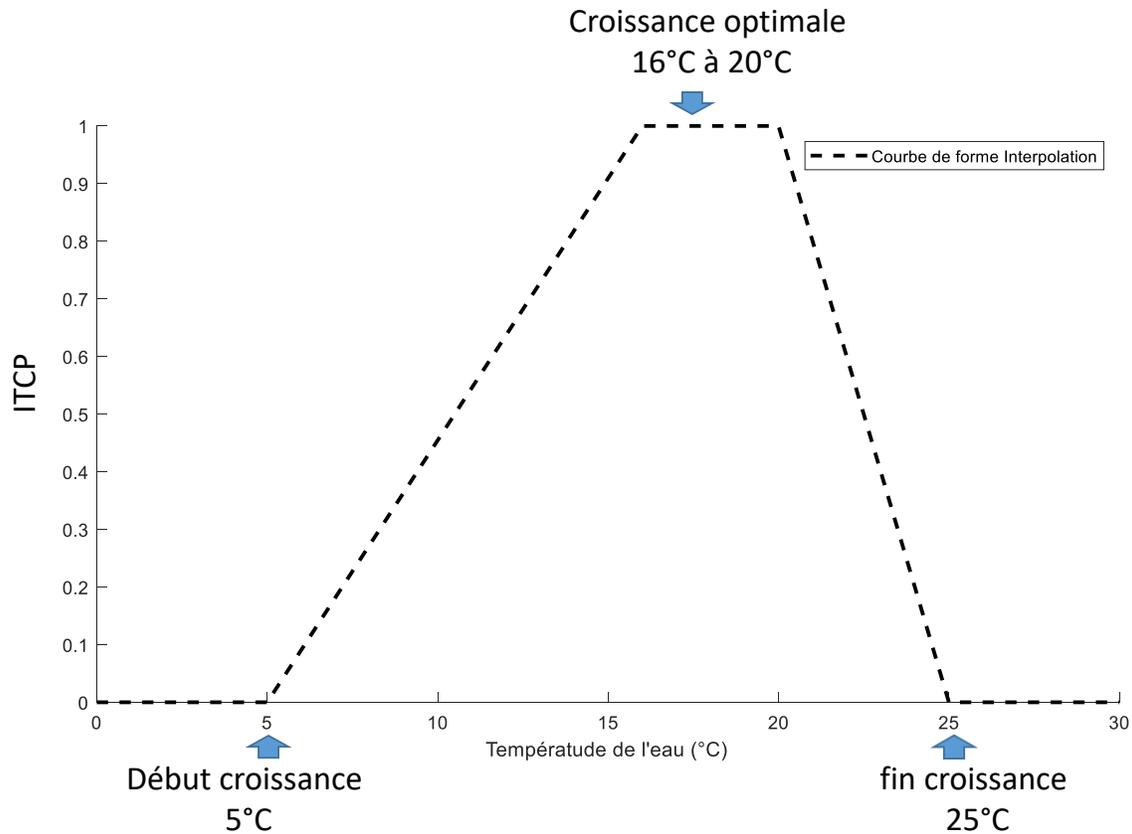
Le travail présenté dans ce rapport s'inscrit dans le cadre du processus de modernisation du calcul des unités de production des rivières à saumon du Québec entrepris par le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) en collaboration avec l'Institut national de la recherche scientifique (INRS).

Ce calcul vise à déterminer la capacité de production d'une rivière à saumon à partir de l'estimation de la quantité et de la qualité de l'habitat disponible dans la rivière. Le régime thermique d'une rivière jouant un rôle majeur sur la croissance des saumons juvéniles, l'objectif de ce rapport est de présenter une nouvelle façon de quantifier la période de croissance des juvéniles à partir de séries temporelles de température de l'eau dans les rivières à l'étude. Le rapport présente également l'approche de régionalisation utilisée pour estimer la valeur de l'ITCP dans les rivières où aucune série temporelle de température n'est disponible.

## 2 MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS

---

L'indice thermique de croissance potentielle journalier (ITCP<sub>j</sub>) est calculé par interpolation linéaire en fonction de la température journalière et par rapport à quatre seuils de température important pour le saumon juvénile. La croissance débute à 5°C augmente linéairement de 0 à 1 jusqu'à 16°C. La croissance est maintenue à 1 jusqu'à 20°C et diminue linéairement jusqu'à 0 à 25°C (figure 1). Ces seuils de croissance sont largement acceptés dans la littérature. Les dépassements de seuils thermiques critiques pour le saumon (ex. :  $T > 25^{\circ}\text{C}$ ) sont considérés comme ayant un effet nul pour la croissance dans cette schématisation.



**Figure 1. Courbe de l'indice de croissance potentielle journalière du saumon en fonction de la température.**

D'autres formes de courbes de croissance potentielle sont proposées dans la littérature et visent à se rapprocher d'une forme plus naturelle que la forme décrite par l'interpolation linéaire entre des seuils utilisés dans ce rapport. Malgré la simplicité de cette dernière, celle-ci répond adéquatement à l'objectif du présent projet.

Quarante-une rivières sont ciblées par l'étude (Tableau 1). Les données observées de température de l'eau sont disponibles dans RivTemp pour 35 d'entre-elles. Trois stations sont ajoutées à la liste initiale en complément pour certaines rivières sans données. Dans de nombreux cas, les séries annuelles sont incomplètes, par conséquent une fonction gaussienne a été appliquée sur les données annuelles. Les séries de température utilisées pour calculer les ITCP annuels combinent les données observées et les données simulées par la gaussienne pour la journée où aucune mesure de température de l'eau n'est valide ou disponible.

**Tableau 1. Liste des rivières ciblées par l'étude. Les rivières surlignées en bleu n'ont pas de données de température; celles surlignées en gris sont ajoutées à la liste en complément pour certaines rivières sans données.**

Rivières	Région Hydrologique	Région Administrative.	Nombre de stations
Causapscal	1	1	2
Matapedia	1	1	4
Patapedia	1	1	2
Matane	2	1	5
Mitis	2	1	4
Ouelle	2	1	5
Rimouski	2	1	3
A Mars	6	2	2
Saint-Jean	6	2	2
Ste-Marguerite	6	2	9
Ste-Marguerite Nord-Est	6	2	7
Du Gouffre	5	3	3
Jacques Cartier	5	3	5
Malbaie	5	3	2
Petit-Saguenay	6	3	2
Aux Rochers	7	9	1
Escoumins	7	9	1
Godbout	7	9	1
Moisie	7	9	2
Trinite	7	9	1
À la Patate (Anticosti)	13	9	
aux Saumons (Anticosti)	13	9	2
Chaloupe (Anticosti)	13	9	
Ferrée (Anticosti)	13	9	
Jupiter (Anticosti)	13	9	2
Loutre (Anticosti)	13	9	
Bonaventure	1	11	2
Cascapedia	1	11	2
Grand Pabos Grand Pabos Ouest	1	11	2
Petit Pabos	1	11	1
Grande Riviere (G)	1	11	2
Nouvelle	1	11	2
Petite Cascapedia	1	11	
Port-Daniel Nord	1	11	0
- Petite Rivière Port Daniel	1	11	1
- Port Daniel	1	11	1
Cap-Chat	2	11	1
Dartmouth	2	11	2

Madeleine	2	11	5
MalbaieG	2	11	2
Sainte-Anne	2	11	3
Saint-JeanG	2	11	2
York	2	11	5
La Grande Riviere (Ouelle)	2	1	2

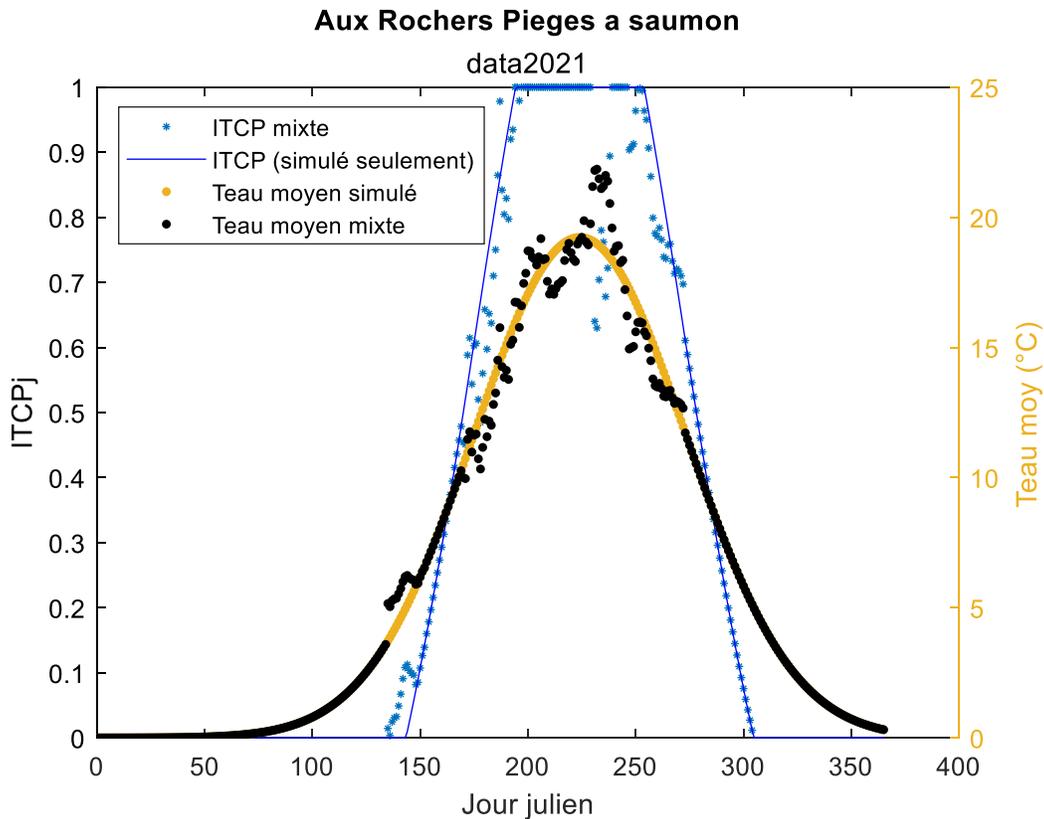
La courbe annuelle des températures journalières simulées est décrite par la fonction gaussienne :

$$Teau\ predit(j) = a \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{j-c}{b}\right)^2\right) \quad (1)$$

Où a est un facteur d'échelle, b l'écart-type et c la moyenne. Ces trois paramètres peuvent être directement liés à des propriétés significatives de la courbe annuelle: a correspond à la valeur maximale annuelle, c est le jour où ce maximum se produit et b est une mesure de la durée la période où  $Teau > 0^{\circ}\text{C}$ . Les paramètres du modèle sont estimés sur toutes les stations et années à l'aide de la fonction d'ajustement non linéaire Matlab fitlm (The Mathworks, R2020b). L'ajustement est une procédure itérative commençant par les valeurs initiales des paramètres.

La figure 2 montre un exemple de série mixte où les températures observées et simulées sont combinées pour calculer les valeurs journalières de l'ITCPj et la valeur annuelle de l'indice de croissance.

Pour une station donnée, le début, la fin et la longueur de la période avec observations varient d'une année à l'autre. Par conséquent, la proportion relative de données simulées utilisées pour calculer varie. Généralement, les données disponibles couvrent une partie ou la totalité de la période estivale, ce qui permet une meilleure caractérisation de la période la plus chaude. Le nombre d'années de données observées et le début et la fin de la période d'observation sont indiqués dans le tableau 2.



**Figure 2. Exemple de série annuelle de données mixant données simulées et observées. Cas de la station de la rivière Aux Rochers.**

Les critères suivants ont été utilisés pour exclure une partie des stations/années :

- Données observées
  - NbDonnées observée  $\geq 80$
  - Début de la série (annuel)  $\geq 220$  (1 août)
- Données simulées :  $r^2 > 0,4$
- $ITCP_{an}$  calculé :  $30 < ITCP_{an} < 200$

Le tableau 2 présente les valeurs moyennes des ITCP annuels calculés pour 106 stations distribuées sur 38 rivières (l'écart-type, les minimum et maximum sont aussi affichés). La figure 3 affiche les résultats du tableau par rivière. La distribution spatiale des résultats est montrée à la figure 4.

Le diagramme en boîte permet de voir la variabilité des valeurs d'ITCP annuel calculées par rivière (figure 5). Chaque point sur la figure correspond à une station et une année. Les ITCP annuels provenant des données de la période récente (2014-2021) sont affichés distinctement afin de mieux comparer les stations,

**Tableau 2. Tableau synthèse pour les stations sélectionnées sur les rivières ciblées par l'étude. Les stations où le nombre d'années est inférieur à 5 ans sont identifiées en rouge.**

StationName	Riv	ITCP moy	ITCP écart-type	ITCP min	ITCP max	NbAn	min_An	max_An	SourceData	Latitude	Longitude	NumRegion
Bonaventure Amont	Bonaventure	75.3	13.9	59.4	85.1	3	2016	2021	MFFP_QC	48.420463	-65.501996	1
Bonaventure Aval	Bonaventure	111.5	13.8	95.7	120.9	3	2017	2019	MFFP_QC	48.0844168	-65.447251	1
Branche aux Saumons	Cascapedia	75.3	0.0	75.3	75.3	1	2016	2016	INRS/societe Cascapedia	48.80744	-66.35413	1
Cascapedia Nordique	Cascapedia	108.0	5.5	104.1	111.8	2	2018	2021	INRS/Sepaq Parc Gaspésie	48.88118	-66.39206	1
Causapscal River at Barrier	Causapscal	105.1	7.3	91.9	120.6	17	2003	2019	MPO_Moncton	48.46703	-67.23223	1
Riviere Causapscal amont	Causapscal	111.8	27.5	74.1	152.2	6	2014	2019	CGBVRR_OBV MR	48.46514	-67.232831	1
Grand Pabos Ouest Amont	Grand Pabos Ouest	118.8	12.7	104.2	140.2	6	2014	2021	MFFP_QC	48.32477	-64.82702	1
Grand Pabos Ouest Aval	Grand Pabos Ouest	123.0	14.9	106.5	143.9	6	2014	2021	MFFP_QC	48.33794	-64.75182	1
Petit Pabos	Petit Pabos	122.4	0	122.4	122.4	1	1999	1999	MFFP_QC	48.38805	-64.6025	1
Grande riviere Fosse Grande Malbaie	Grande riviere	106.4	6.1	98.1	111.6	4	1998	2002	MFFP_QC	48.4975454	-64.565402	1
Grande Riviere 2 aval	Grande riviere	120.6	0.0	120.6	120.6	1	1999	1999	MFFP_QC	48.4091667	-64.5175	1
Matapedia below Mouth of Causapscal	Matapedia	115.4	7.7	101.8	128.1	16	2003	2019	MPO_Moncton	48.3528	-67.22298	1
Riviere Matapedia amont de la riviere Assemetquagan	Matapedia	116.5	15.5	97.7	133.6	4	2015	2018	CGBVRR_OBV MR	48.08009	-67.09763	1
Riviere Matapedia amont de la riviere Milnikek	Matapedia	107.7	16.8	94.1	128.0	5	2015	2019	CGBVRR_OBV MR	48.13875	-67.14927	1

Riviere Matapedia Amont de la ville Amqui	Matapedia	120.1	27.7	69.1	153.1	6	2014	2019	CGBVRR_OBV MR	48.4918042	-67.44839	1
Nouvelle Aval	Nouvelle	96.1	12.2	87.5	104.7	2	1997	1999	MFFP_QC	48.1313093	-66.315702	1
Nouvelle Centre	Nouvelle	67.9	4.9	61.4	72.3	4	2000	2003	MFFP_QC	48.2390873	-66.496671	1
Patapedia River at 2 Mile	Patapedia	108.4	8.5	88.0	123.3	18	2003	2020	MPO_Moncton	47.86103	-67.39397	1
Patapedia River at 30 Mile	Patapedia	113.6	5.6	102.7	125.4	15	2003	2017	MPO_Moncton	48.07865	-67.63383	1
PetiteCasca_Zec	Petite Cascapedia	101.5	9.3	92.9	112.2	4	2017	2021	Zec Petite Cascapadia	48.23732	-65.72514	1
Petite Riviere Port Daniel	Petite Riviere Port Daniel	98.7	12.9	89.5	107.8	2	2000	2001	MFFP_QC	48.1735291	-65.064761	1
Port Daniel Centre 1	Port Daniel	103.3	0.0	103.3	103.3	1	2000	2000	MFFP_QC	48.262266	-64.982269	1
Port Daniel Centre 2	Port Daniel	106.8	2.4	105.1	108.6	2	2001	2002	MFFP_QC	48.2494072	-64.968744	1
Cap-Chat Centre	Cap-Chat	91.2	11.0	83.3	106.9	4	2000	2003	MFFP_QC	48.9391667	-66.699167	2
Dartmouth 1 Amont	Dartmouth	103.8	9.5	92.8	116.6	7	1998	2020	MFFP_QC	49.0316667	-64.841944	2
Dartmouth 3 Aval	Dartmouth	108.6	9.3	93.7	121.1	8	1999	2021	MFFP_QC	48.9089318	-64.615632	2
Chalet route Drapeau LG P	La Grande Riviere	120.2	22.2	75.9	164.0	12	2010	2021	INRS	47.32715	-69.91711	2
Chemin Ixworth 2 LG	La Grande Riviere	116.3	23.6	70.2	135.3	6	2013	2018	INRS	47.27602	-69.89143	2
Madeleine 1	Madeleine	97.7	6.4	90.8	103.7	5	2014	2020	INRS	49.12083	-65.25063	2
Madeleine a Hunter	Madeleine	81.4	5.8	77.0	89.7	4	2014	2020	INRS	49.06478	-65.539	2
Madeleine a leau claire	Madeleine	101.1	1.2	99.8	102.2	3	2014	2016	INRS	49.04762	-65.27707	2
Madeleine Amont 2	Madeleine	78.7	11.1	70.9	86.6	2	2020	2021	INRS/Sepaq Parc Gaspesie	48.92537	-65.82849	2
Madeleine amont Aux Pekans	Madeleine	49.4	7.5	38.8	56.4	4	2014	2019	INRS	48.876312	-65.93195	2
MalbaieG 1 Fosse Chicoine	MalbaieG	88.6	12.4	79.8	97.4	2	2002	2003	MFFP_QC	48.6397352	-64.400044	2
MalbaieG 2 Fosse Bill Rock	MalbaieG	115.4	0.0	115.4	115.4	1	1999	1999	MFFP_QC	48.6116667	-64.341389	2

Matane a Gagnon	Matane	106.1	20.2	79.5	123.8	6	2014	2020	INRS	48.72005	-67.41367	2
Matane a John	Matane	89.6	10.7	82.5	101.9	3	2018	2020	INRS	48.64592	-67.27637	2
Matane a Petchedetz	Matane	121.8	1.9	120.1	123.9	3	2014	2016	INRS	48.74778	-67.52161	2
Matane Amont	Matane	131.2	26.0	112.8	149.5	2	2018	2021	MFFP_QC	48.6870936	-66.973655	2
Matane Aval	Matane	124.3	18.6	107.9	144.6	3	2017	2021	MFFP_QC	48.8277258	-67.539489	2
Mitis amont	Mitis	137.0	13.0	119.0	149.1	4	2014	2021	MFFP_QC	48.3614012	-67.937056	2
Mitis amont confluence	Mitis	113.2	18.0	85.7	135.7	6	2015	2021	Zec_Mitis_Mistigougeche	48.4485	-68.001	2
Mitis aval	Mitis	121.8	21.3	103.1	156.9	5	2014	2018	MFFP_QC	48.624438	-68.132653	2
Mitis aval pont des hauteurs	Mitis	114.5	15.9	83.9	131.7	7	2015	2021	Zec_Mitis_Mistigougeche	48.4563	-68.01	2
Escalier bois P	Ouelle	106.2	35.9	32.2	150.4	12	2008	2021	INRS	47.3636	-69.94387	2
Ouelle amont Confluence Ouelle-LaGrande	Ouelle	98.0	28.9	31.0	132.3	9	2010	2021	INRS	47.3502222	-69.927667	2
Pont Begin P	Ouelle	110.5	17.6	83.7	140.4	9	2008	2021	INRS	47.40638	-69.95279	2
Pont Drapeau P	Ouelle	104.2	18.2	75.7	128.6	9	2008	2021	INRS	47.3325	-69.93685	2
Pont du Chemin du Sud	Ouelle	106.9	15.1	83.5	129.2	8	2014	2021	INRS	47.43328	-69.9708	2
Pont du College	Ouelle	106.4	16.8	76.4	126.6	8	2013	2021	INRS	47.29165	-69.95217	2
Tributaire a castor	Ouelle	114.7	19.6	78.1	144.2	9	2013	2021	INRS	47.3152	-69.94721	2
Rimouski Amont	Rimouski	145.2	32.0	121.5	181.5	3	2016	2021	MFFP_QC	48.2105224	-68.540198	2
Rimouski Aval	Rimouski	136.7	10.0	129.6	143.8	2	2016	2021	MFFP_QC	48.4221735	-68.550762	2
Riviere Blanche aval	Rimouski	141.5	40.9	110.0	187.6	3	2016	2018	MFFP_QC	48.2712183	-68.555029	2
Sainte-Anne Camping	Sainte-Anne	68.2	11.8	53.0	78.0	5	2014	2021	INRS/Sepaq Parc Gaspesie	48.94751	-66.12677	2
Ste-Anne 10 embouchure	Sainte-Anne	93.2	1.8	92.0	94.5	2	2019	2020	INRS	49.09964	-66.5111	2
Ste-Anne a vieux moulin	Sainte-Anne	94.0	15.8	82.8	105.1	2	2019	2020	INRS	49.07776	-66.50065	2
Saint-JeanG 1 Aval	Saint-JeanG	106.6	11.6	97.2	128.7	6	2014	2021	MFFP_QC	48.7714	-64.47267	2

Saint-JeanG 2 Amont	Saint-JeanG	87.7	11.7	75.5	103.7	6	2014	2021	MFFP_QC	48.72082	-65.07606	2
York 1 Amont	York	90.6	10.7	77.6	106.5	7	1998	2021	MFFP_QC	48.9094444	-65.174722	2
York 4 Aval	York	110.0	9.9	95.8	127.4	10	1999	2021	MFFP_QC	48.8444444	-64.613333	2
York 9 amont	York	118.4	4.0	114.4	122.4	3	2014	2016	INRS	48.93497	-65.4136	2
York a PetiteFourche	York	90.7	8.2	84.9	96.5	2	2019	2020	INRS	48.82385	-64.73923	2
York embouchure	York	105.8	10.7	89.4	115.9	5	2014	2020	INRS	48.83517	-64.59145	2
Du Gouffre Amont	Du Gouffre	137.5	26.7	114.6	179.6	5	2006	2021	MFFP_QC	47.62194	-70.48721	5
Du Gouffre Aval	Du Gouffre	114.0	20.4	90.5	126.1	3	2006	2019	MFFP_QC	47.49117	-70.5104	5
Du Gouffre Centre	Du Gouffre	142.7	23.9	123.1	174.7	4	2017	2021	MFFP_QC	47.54847	-70.52534	5
Jacques Cartier Amont	Jacques Cartier	144.3	12.7	126.2	159.9	5	2015	2021	MFFP_QC	47.20131	-71.39262	5
Jacques Cartier Aval	Jacques Cartier	140.4	17.8	118.8	161.2	4	2017	2021	MFFP_QC	46.68418	-71.742	5
Jacques Cartier Aval bassin Ontaritz	Jacques Cartier	119.1	21.8	95.5	140.7	4	2017	2021	CBJC_INRS	46.8306882	-71.621975	5
Jacques Cartier aval Pont Blanc	Jacques Cartier	111.4	20.2	88.4	126.1	3	2016	2019	Sepaq_ParcJacquesCartier_INRS	47.2268559	-71.40809	5
Jacques Cartier Centre	Jacques Cartier	142.3	15.5	124.5	160.3	4	2014	2019	MFFP_QC	47.03582	-71.47929	5
Malbaie Amont	Malbaie	137.6	24.9	122.0	186.0	6	2014	2019	MFFP_QC	47.85766	-70.44471	5
Malbaie Aval	Malbaie	137.7	26.6	121.0	184.6	5	2009	2018	MFFP_QC	47.70037	-70.22889	5
Malbaie Centre	Malbaie	138.9	23.9	122.0	184.9	6	2014	2019	MFFP_QC	47.78059	-70.38131	5
A Mars 01	A Mars	128.4	23.4	104.9	151.8	3	2016	2021	MFFP_QC	48.32769	-70.90658	6
A Mars 02	A Mars	119.3	16.8	103.1	136.6	3	2002	2021	MFFP_QC	48.19116	-71.00599	6
Petit-Saguenay Amont	Petit-Saguenay	127.0	20.4	105.0	154.4	4	2016	2021	MFFP_QC	48.147643	-70.033113	6
Petit-Saguenay Aval	Petit-Saguenay	124.6	16.9	104.1	145.2	4	2016	2021	MFFP_QC	48.190285	-70.053459	6
Petit-Saguenay Centre	Petit-Saguenay	129.7	22.6	104.1	157.3	4	2016	2021	MFFP_QC	48.19074	-70.05434	6
Saint-Jean 01	Saint-Jean	115.4	10.7	107.8	123.0	2	2016	2021	MFFP_QC	48.19942	-70.25539	6

Saint-Jean 02	Saint-Jean	130.2	21.1	107.2	148.8	3	2016	2021	MFFP_QC	48.2231	-70.23054	6
Allaire P	Ste-Marguerite	110.2	8.6	97.6	119.7	9	2007	2019	INRS	48.35435	-70.1185	6
Des Monts P	Ste-Marguerite	111.4	7.8	97.9	119.8	10	2007	2019	INRS	48.34961	-70.0983	6
Epinette P	Ste-Marguerite	105.4	12.2	82.3	119.2	12	2007	2021	INRS	48.35986	-70.13572	6
Epiphane P	Ste-Marguerite	106.3	12.6	86.0	129.6	11	2007	2021	INRS	48.39927	-70.27063	6
Fosse 1 P	Ste-Marguerite	111.5	23.4	50.4	125.7	9	2010	2018	INRS	48.28237	-69.92537	6
Fosse 58 P	Ste-Marguerite	106.2	14.8	79.2	134.1	12	2007	2021	INRS	48.43012	-70.42816	6
Morin P	Ste-Marguerite	105.8	11.6	83.7	121.3	11	2007	2021	INRS	48.33596	-70.05939	6
Onesime P	Ste-Marguerite	107.5	12.0	85.1	131.0	12	2010	2021	INRS	48.45445	-70.49594	6
Ste-Marguerite Muraille	Ste-Marguerite	102.0	0.0	102.0	102.0	1	2016	2016	MFFP_QC	48.4024	-70.28294	6
Amont tete de boeuf NE	Ste-Marguerite Nord-Est	108.3	13.2	84.5	122.1	7	2013	2019	INRS	48.35463	-69.82204	6
Froid NE P	Ste-Marguerite Nord-Est	118.1	12.1	96.2	135.7	11	2007	2021	INRS	48.26451	-69.86347	6
Joe SavardBrule NE P	Ste-Marguerite Nord-Est	110.3	26.9	32.3	144.2	13	2005	2021	INRS	48.27397	-69.91859	6
Joselito NE P	Ste-Marguerite Nord-Est	110.4	10.6	94.5	123.8	10	2010	2021	INRS	48.26476	-69.88029	6
Ste-Marguerite Nord-Est 01	Ste-Marguerite Nord-Est	120.4	0.0	120.4	120.4	1	2016	2016	MFFP_QC	48.26742	-69.85896	6
Ste-Marguerite Nord-Est 02	Ste-Marguerite Nord-Est	110.5	7.2	105.4	115.5	2	2016	2017	MFFP_QC	48.42195	-69.89656	6
Xavier NE P	Ste-Marguerite Nord-Est	112.5	9.0	99.4	120.9	7	2013	2019	INRS	48.42164	-69.89621	6
Aux Rochers Pieges a saumon	Aux Rochers	107.6	12.2	91.8	132.4	16	2002	2021	MFFP_QC	50.02506	-66.870815	7
Escoumins Amont pont de la fosse 61	Escoumins	126.0	19.1	100.0	153.2	6	2015	2021	MFFP_QC	48.47449	-69.68833	7
AMIK-MOISIE-03	Moisie	127.4	16.0	116.1	138.7	2	2016	2017	AMIK	50.25213	-66.08697	7
MOIS001	Moisie	124.2	4.8	120.8	127.6	2	2016	2017	MFFP_QC(AMIK)	50.27191	-66.05001	7
Trinite	Trinite	113.7	11.2	82.3	137.3	26	1985	2017	MFFP_QC	49.4105556	-67.336944	7
SAUM001	aux Saumons	98.1	0.0	98.1	98.1	1	2019	2019	MFFP_QC	49.41322	-62.26633	13

SAUM002	aux Saumons	85.3	4.8	81.9	88.7	2	2018	2019	MFFP_QC	49.39958	-62.51307	13
Jupiter 1 Aval	Jupiter	92.1	3.8	87.7	94.5	3	2018	2021	MFFP_QC	49.4857772	-63.55382	13
Jupiter 2 amont	Jupiter	84.4	6.0	77.1	93.7	5	2015	2021	MFFP_QC	49.6063203	-63.362362	13
Petit Pabos	Petit Pabos	122.4	0.0	122.4	122.4	1	1999	1999	MFFP_QC	48.38805556	-64.6025	1
Godbout amont	Godbout	129.9	21.6	107.0	167.6	6	2015	2021	MFFP_QC	49.61427	-67.71618	7
Godbout aval	Godbout	128.7	25.7	104.6	172.0	5	2016	2021	MFFP_QC	49.33314	-67.66618	7

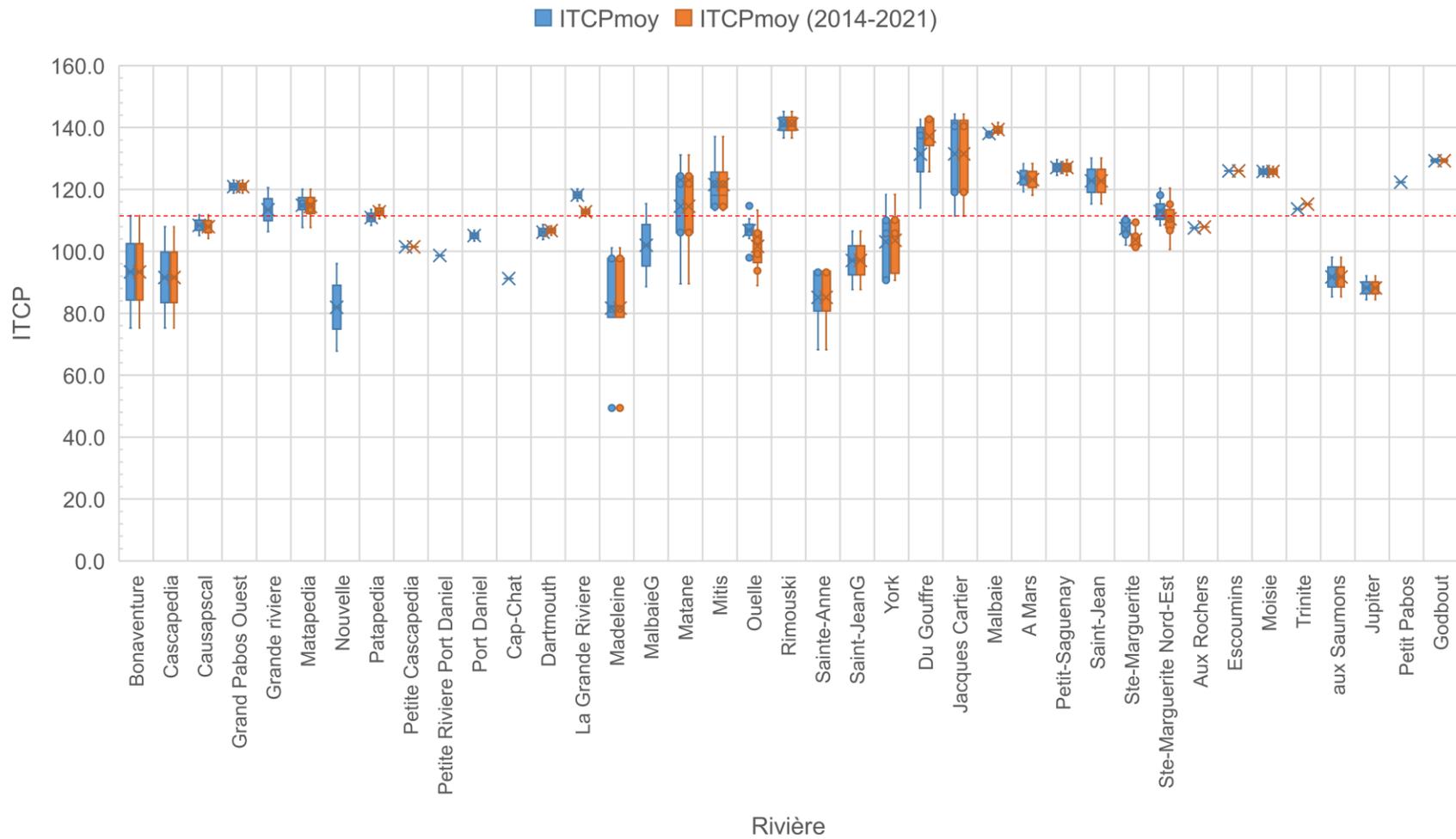
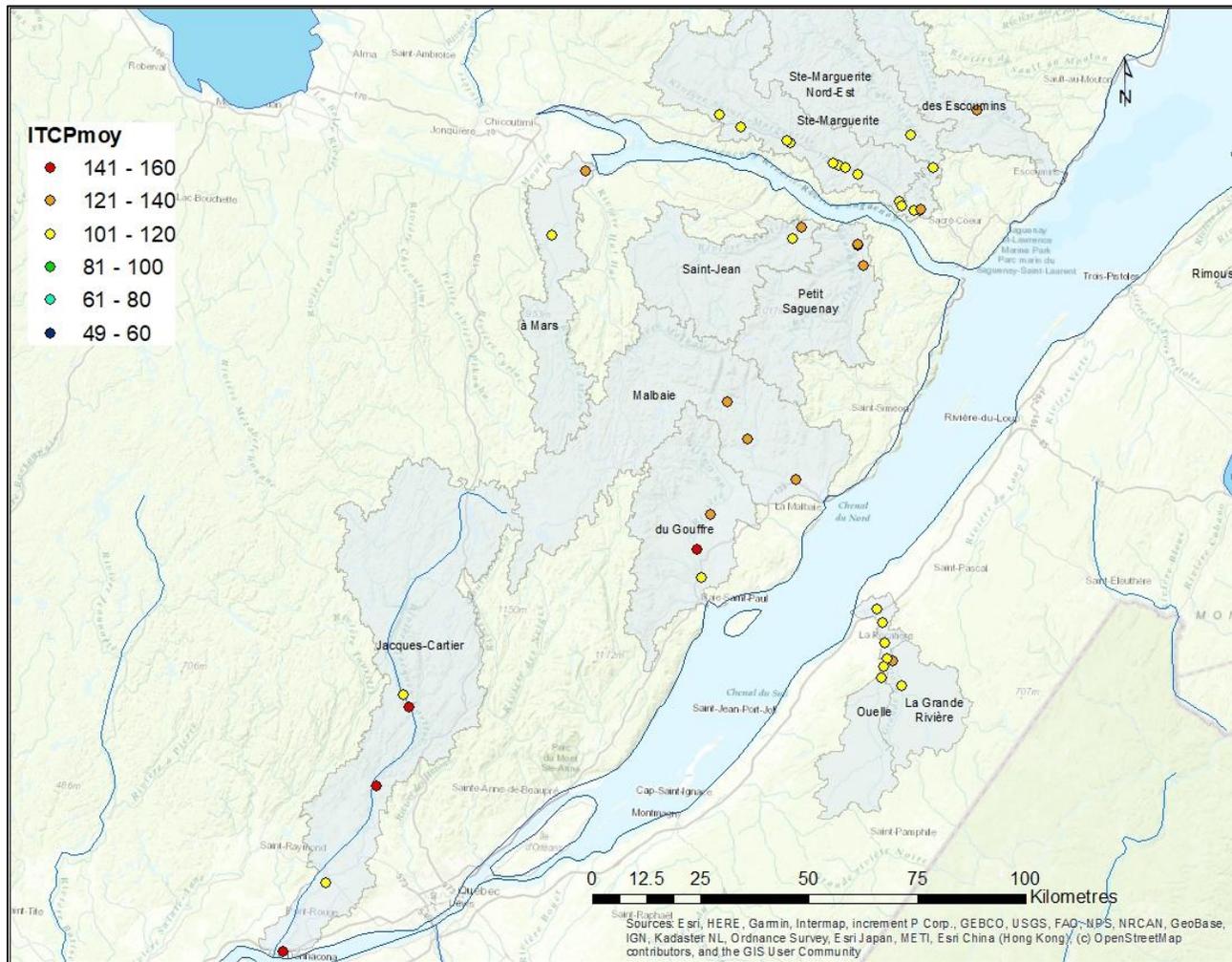
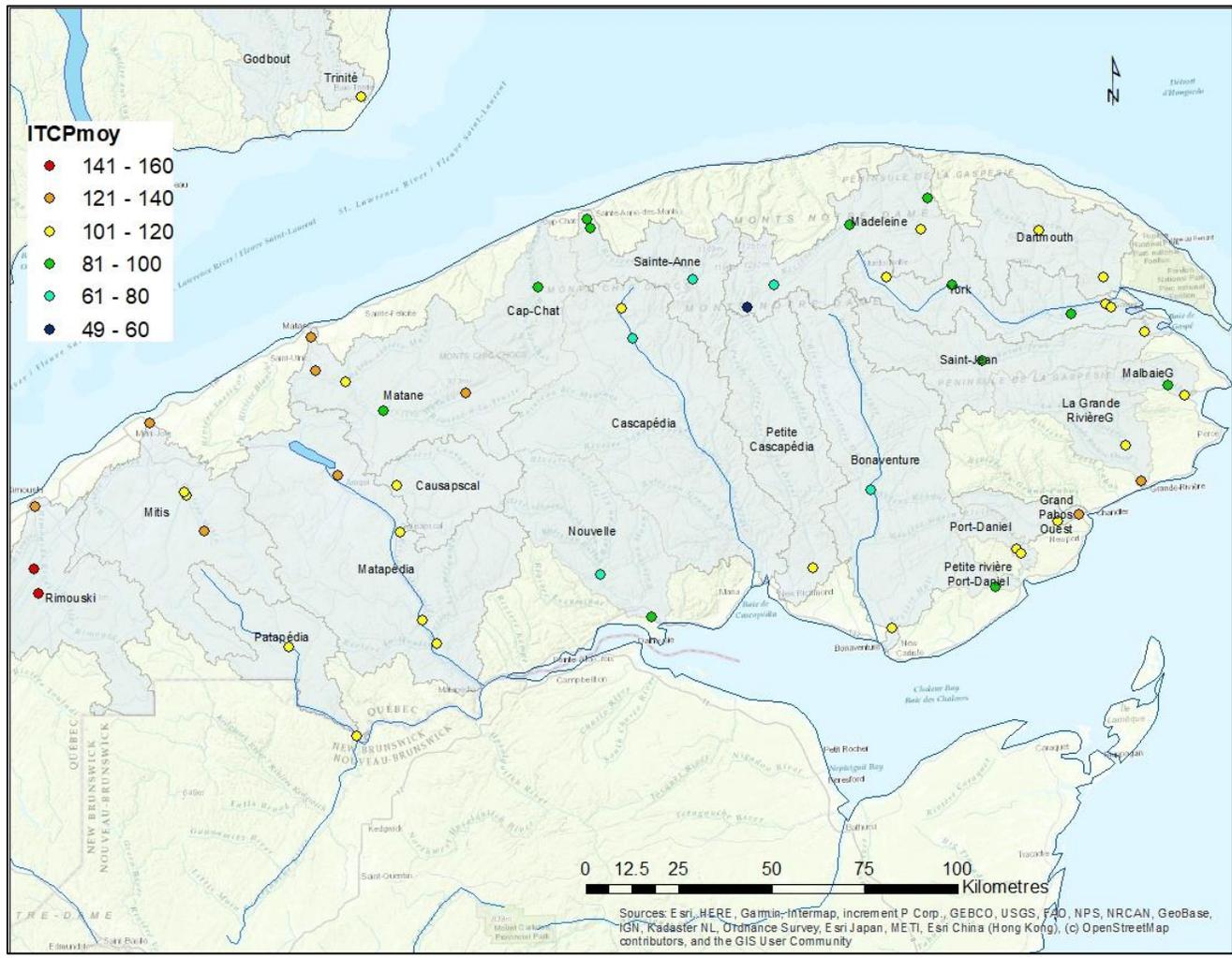


Figure 3. ITCP moyens aux stations groupées en fonction des rivières. Les ITCP moyens sont calculés à partir des ITCP annuels (ITCPan) utilisant les données mixtes (observées et simulées). Chaque point représente une station. Le trait pointillé rouge indique la moyenne de l'ITCP moyen pour l'ensemble des stations.





b)



c)

Figure 4. a) Distribution spatiale de l'ITCP moyen aux stations choisies des rivières ciblées par l'étude; b) Zoom sur la zone sud; c) zoom sur la Gaspésie.

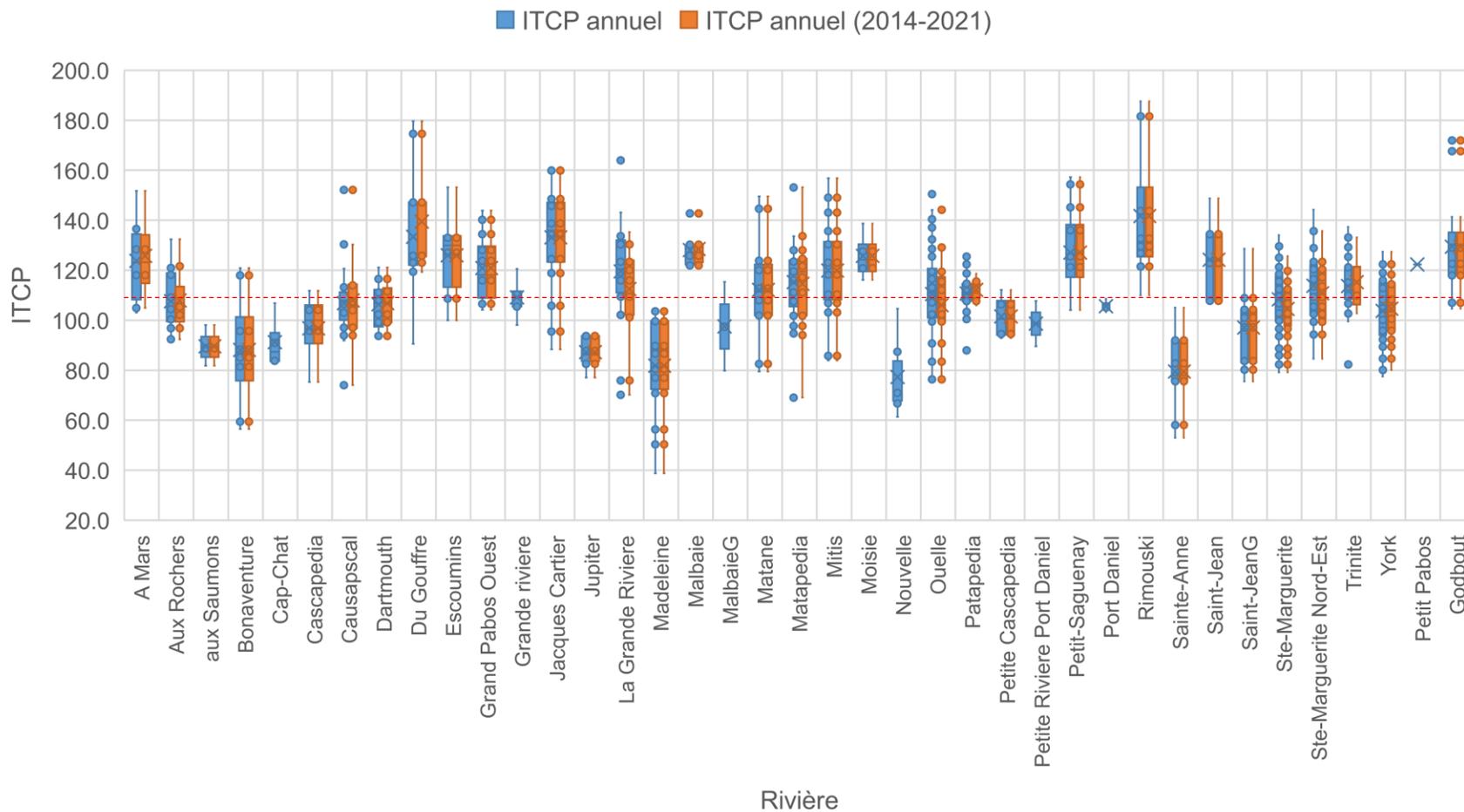


Figure 5. ITCP annuel aux stations groupées en fonction des rivières. Les ITCP annuels sont calculés à partir des séries mixtes (données observées et simulées). Chaque point représente une station et une année. Le trait pointillé rouge indique la moyenne de l'ITCP moyen pour l'ensemble des stations.

### 3. ANALYSE RÉGIONALE PRÉLIMINAIRE

En hydrologie, l'analyse régionale réfère à l'utilisation de l'information provenant de stations pour lesquelles des mesures existent en quantité suffisante afin d'estimer la variable d'intérêt à des sites peu ou pas jaugés (i.e., site où il y a peu ou pas de mesures). Une première tentative d'analyse régionale a été complétée afin d'estimer l'ITCP moyen pour la rivière aux Patates. La procédure inclut les étapes suivantes :

1. Sélectionner les stations environnantes ayant des données permettant le calcul de l'ITCP moyen
2. Extraire pour ces stations des variables explicatives potentielles permettant de caractériser le climat et la physiographie du bassin versant.
3. Établir un modèle permettant d'estimer l'ITCP au site cible (le site sans mesures pour le calcul de l'ITCP) à partir des variables physiographiques et de climat.

Ces étapes ont été complétées en utilisant un nombre restreint de stations situées à une proximité relative du site Cible. Le tableau 3 ci-dessous résume l'information utilisée. Dans ce tableau, les données de précipitations totales sont la moyenne interannuelle (2000-2017) des précipitations totales du point de grille ANUSPLINE situé à proximité ou sur le bassin. Il en va de même pour la température maximum (Tmax) et la moyenne interannuelle de la température minimum (Tmin).

**Tableau 3. Données utilisées pour l'analyse régionale**

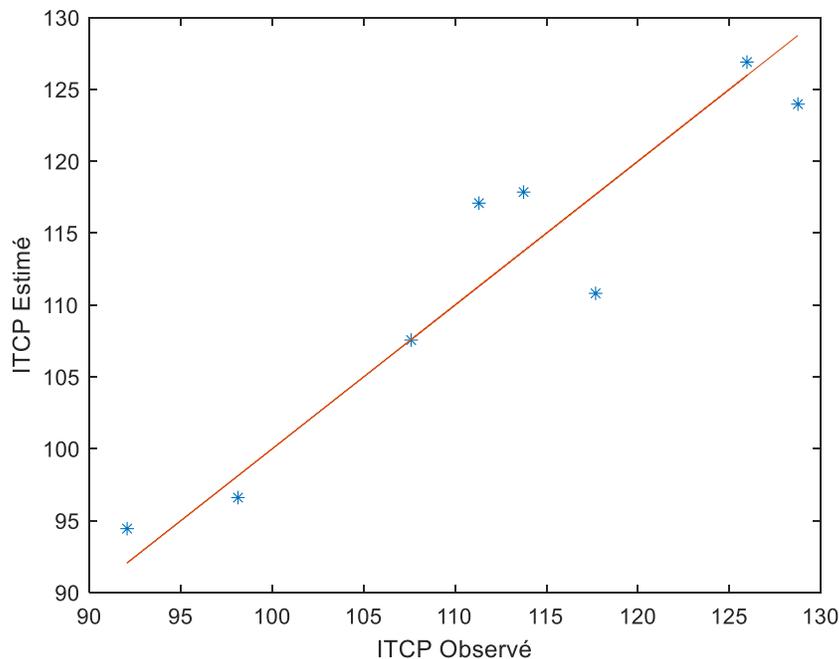
Rivière	Latitude	Longitude	Aire BV (m <sup>2</sup> )	Precip tot (mm)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	ITCP moyen
Aux Rochers	50.02506	-66.870815	4 101 237 500	852.56	25.95	-1.62	107.6
Escoumins	48.47449	-69.68833	488 145 000	888.33	27.27	-1.69	126.0
Trinite	49.41055556	-67.33694444	502 212 500	881.85	26.43	-1.05	113.7
Jupiter	49.48577723	-63.55382002	955 568 758	882.22	25.70	-0.84	92.1
aux Saumons	49.41322	-62.26633	358 667 769	839.50	23.97	-0.60	98.1
A l huile	49.84021925	-63.55326891	182 772 741	892.60	25.28	-1.32	111.3
Bec-Scie	49.7208	-64.05782	127 195 291	888.74	25.91	-0.93	117.7
Godbout	49.33314	-67.66618	1 604 449 385	900.06	26.37	-1.71	128.7
À la Patate	49.705021	-62.931659	160 267 777	867.00	24.77	-1.29	A estimer

Le modèle le plus simple permettant d'estimer l'ITCP à partir des données du tableau 3 est la régression linéaire multiple. Dans un premier temps, une régression a été ajustée en utilisant l'ensemble des variables explicatives. Le logarithme de la superficie du bassin versant a été utilisé dans cette régression. La figure 6 compare les valeurs estimées et les valeurs observées. Le

coefficient de détermination de cette régression est assez élevé (0.88). Cependant, le modèle se bute à un problème de multicolinéarité, c'est-à-dire que plusieurs variables explicatives sont corrélées entre elles, rendant la régression moins robuste. L'autre défi de l'établissement de ce modèle est associé aux degrés de liberté. Dans le présent cas, le nombre de variables explicatives est presque aussi élevé que la taille de l'échantillon. Le tableau 4 donne les valeurs des corrélations entre lesdites variables.

**Tableau 4. Corrélations entre les variables utilisées dans l'analyse régionale.**

	Latitude	Longitude	Aire BV m <sup>2</sup>	Precip tot (mm)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	ITCP moyen
Latitude	1						
Longitude	<b>0.5568</b>	1.00					
Aire_BV_m2	0.0954	-0.43	1.00				
Precip tot (mm)	-0.2522	-0.35	-0.25	1.00			
Tmax (°C)	-0.4919	-0.89	0.23	0.63	1.00		
Tmin (°C)	0.221	0.80	-0.49	-0.41	-0.70	1.0	
ITCPmoyen	-0.4138	-0.73	-0.05	0.61	0.69	-0.7	1



**Figure 6. Comparaison des ITC estimés par régression multiple et des ITCP calculés à chaque station.**

Nonobstant le problème lié à cette colinéarité, le modèle semble performant, avec une valeur de la racine carrée de l'erreur moyenne (RMSE) de 4, ou environ 3.5% de la valeur moyenne des ITCP.

Une première tentative pour établir un modèle plus robuste consiste à faire une régression linéaire pas à pas (Stepwise). La procédure utilisée est celle appelée « forward-backward », c'est-à-dire que le modèle initial n'inclut pas de variable explicative. Elles sont ajoutées une à une et ne sont retenues que si elles améliorent significativement le modèle, selon le test statistique de Fisher ( $\alpha=0.05$ ). À chaque étape où on ajoute une nouvelle variable, on teste aussi le retrait de la variable qui explique le moins de variance afin de s'assurer d'obtenir la régression multiple la plus parcimonieuse et la plus robuste. Lorsque cette procédure a été appliquée aux données du tableau 1, une seule variable explicative a été retenue : la longitude. Ce modèle de régression linéaire simple obtient un  $R^2$  de 0,53 et un  $R^2$  ajusté de 0,46. Ce modèle parcimonieux n'explique pas assez de variance pour être utilisé.

En utilisant la régression multiple régionale, l'ITCP moyen estimé pour ce site est 171, ce qui est une valeur plus élevée que toute celle des voisins. Puisque cette régression est un extrapolateur hautement incertain, cette estimation sera à revoir avec d'autres modèles.

Les travaux futurs vont aussi se pencher sur la délimitation de groupes de stations homogènes thermiquement et explorer la contribution d'autres variables explicatives.

Cette brève analyse permet de dégager les faits saillants suivant :

1. La méthode semble prometteuse, à condition d'augmenter la taille de l'échantillon (utiliser un plus grand nombre de rivières où on a des mesures pour faire l'estimation à un site sans mesures). Le calcul de l'ITCP, à partir des mesures observées de la température de l'eau, pourrait aussi être amélioré.
2. Les méthodes utilisées pourront être testées à nouveau avec une plus grande taille d'échantillon, mais d'autres approches mieux adaptées à la multicolinéarité devront être testées. Ces méthodes incluent :
  - a. La régression Ridge
  - b. La régression LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator)
  - c. Des approches non-linéaires de type MARS (Multi Adaptive Regression Splines)