



Étude de vulnérabilité des
sources d'eau potable au
fleuve des villes de Québec
et de Lévis en regard de la
salinité

Rapport de l'étape 1.2 portant sur
l'échantillonnage dans le fleuve
Saint-Laurent

RÉSUMÉ

La Communauté métropolitaine de Québec (CMQ), Ouranos, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) ainsi que les villes de Québec et de Lévis ont élaboré un projet visant à mieux comprendre la variabilité spatiale et temporelle actuelle et future de la salinité dans la zone de transition saline (ZTS) et à proximité des prises d'eau potable dans le fleuve Saint-Laurent.

L'étape 1.2 du projet, qui fait l'objet du présent rapport, consiste à élaborer et mettre en œuvre un programme d'échantillonnage afin de colliger des données de salinité à la hauteur de Québec, entre le secteur Cap-Rouge-Saint-Nicolas jusqu'à la pointe de l'île-aux-Oies à l'est. Ainsi, un échantillonnage a été réparti sur trois phases de mesures visant la période d'étiage estival (débit minimum), la crue printanière (débit maximum) et les débits intermédiaires de l'automne (lorsque les marées peuvent être particulièrement grandes sous l'action du vent). Le projet d'échantillonnage a permis de récolter des données de conductivité pour 211 stations dans le fleuve Saint-Laurent, dont 66 stations à l'été 2018, 23 stations à l'automne 2018 et 122 stations au printemps 2019.

Les données analysées n'ont montré aucune anomalie significative de la conductivité à proximité des prises d'eau potable de Sainte-Foy, Saint-Romuald et Lévis (Desjardins). Il s'avère que les prises d'eau sont sujettes aux intrants qui proviennent de l'amont du fleuve, puisqu'au gré des saisons, elles montrent des valeurs de conductivité qui suivent les valeurs de référence fluviales établies en amont du secteur des Ponts.

Les résultats montrent également que le chenal situé au nord-est de l'île d'Orléans est la voie principale d'avancée du sel marin vers l'ouest à chacune des périodes d'échantillonnage. De part et d'autre de l'île d'Orléans, on observe que la conductivité demeure relativement faible et homogène. On y voit que la ZTS s'amorce entre Beaupré et le Cap Tourmente en été, légèrement plus à l'est à l'automne, près de Saint-Joachim, et beaucoup plus loin au printemps. Cette ségrégation des eaux marines entre le nord et le sud est compatible avec les prévisions faites par des modélisations numériques réalisées dans le passé (Simons et al. 2010).

L'entièreté du domaine fluvial de la CMQ, incluant les prises d'eau de Québec et de Lévis, est présentement hors de portée du front salin marin, qui se trouve loin en aval du côté nord du fleuve. Aussi, la position de ce front est contrainte par le débit du fleuve et la marée, car il avance en période de faible débit (été) et lorsque la marée monte.

TABLE DES MATIÈRES

1	Contexte	7
2	Mandat.....	7
3	Stratégie d'échantillonnage	7
	3.1 Objectifs.....	8
	3.2 Méthodologie et protocoles	8
	3.3 Limites de l'échantillonnage	10
4	Résultats.....	11
	4.1 Campagne d'échantillonnage n°1 (été 2018).....	11
	4.2 Campagne d'échantillonnage n°2 (automne 2018).....	14
	4.3 Campagne d'échantillonnage n°3 (printemps 2019).....	17
5	Analyse de la variabilité	21
	5.1 Variabilité spatiale – secteur Ouest (été 2018 et printemps 2019).....	21
	5.2 Variabilité spatiale – secteur Est	21
	5.3 Variabilité temporelle.....	25
	5.4 Causes de la variabilité	28
6	Conclusion.....	33
7	Références	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Valeurs de conductivité observées au printemps 2019 à marée haute (H) et/ou à marée basse (B)	20
Figure 2 - Répartition horizontale de la conductivité de surface à marée haute pour les échantillonnages d'été, d'automne et de printemps dans le secteur est.....	22
Figure 3 - Comparaison de la conductivité maximale et de la conductivité de surface (0,5 m) à marée haute entre les trois périodes d'échantillonnage.	23
Figure 4 - Comparaison de la conductivité maximale et de la conductivité de surface à marée basse entre les trois périodes d'échantillonnage.	24
Figure 5 - Relation entre la conductivité mesurée avec le CTD et la concentration de chlorure (ou chlorinité) mesurée sur les échantillons de surface par le CEAEQ.....	26
Figure 6 - Répartition verticale de la conductivité le long d'un transect parcourant le chenal nord du fleuve lors des échantillonnages d'été, d'automne et de printemps dans le secteur est	27
Figure 7 - Niveaux d'eau à la station hydrométrique de Lanoraie	28
Figure 8 - Relation entre le débit fluvial mensuel moyen à Québec (estimé) et la distance qui sépare Sainte-Anne-de-Beaupré du front salin en surface (rouge) et en profondeur (bleu) à marée haute.....	30
Figure 9 - État des marées lors des différentes sorties visant à établir la position du front salin marin dans l'est de la zone d'étude.....	31

LISTE DES CARTES

Carte 1 - Localisation des stations échantillonnées dans le cadre du projet	9
Carte 2 - Localisation et conductivité des stations échantillonnées à l'été (août 2018).....	13
Carte 3 - Localisation et conductivité des stations échantillonnées à l'automne (octobre 2018).....	16
Carte 4 - Localisation et conductivité des stations échantillonnées (printemps 2019)	19

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Données de la campagne d'échantillonnage d'été (août 2018)	12
Tableau 2 - Données de la campagne d'échantillonnage d'automne (octobre 2018)	15
Tableau 3 - Données de la campagne d'échantillonnage du printemps (avril et mai 2019)	17
Tableau 3 - Position longitudinale du front salin (seuil de 500 S/cm) et distance qui le sépare de la prise d'eau de Lévis (Desjardins) à marée haute, en surface ou en profondeur	24
Tableau 4 - Position longitudinale du front salin (seuil de 500 µS/cm) et distance qui le sépare de la prise d'eau de Lévis (Desjardins) à marée basse, en surface et en profondeur.....	25

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Québec-Océan

Institut nordique de recherche en environnement et en sécurité au travail

Julie Carrière	Codirection (révision)
Jean-Éric Tremblay	Codirection (rédaction et analyse)
Sylvain Blondeau	Coordination des opérations et navigation
Gabrièle Deslongchamps	Échantillonnage, rédaction et analyse
Cindy Grant	Coordination logistique des sorties au fleuve
Pascal Guillot	Contrôle de la qualité des données
Janghan Lee	Échantillonnage
Fanny Lescouzères	Échantillonnage
Marie-Hélène Picard	Échantillonnage
Lisa Treau de Coeli	Échantillonnage
Vincent Villeneuve	Échantillonnage et analyse

Comité de suivi

Charles-Éric Bernier	CMQ
Jean-Claude Belles-Isles	Ville de Lévis
Caroline Brodeur	CMQ
François Proulx	Ville de Québec
Chantal Quintin	Ouranos
Julie Veillette	MELCC
Richard Turcotte	MELCC-Ouranos

Cartographie

Steeve Tremblay	CMQ
-----------------	-----

Édition et révision

Andréane Choinière	CMQ
--------------------	-----

LISTE DES ACRONYMES

CEAEQ	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
CTD	Conductivity, temperature and dept (conductivité, température et profondeur)
cm	Centimètre
km	Kilomètre
INREST	Institut nordique de recherche en environnement et en sécurité au travail
m	Mètre
m ³ /s	Mètre cube par seconde
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MG/L	Gramme par litre
OGSL	Observatoire Global du Saint-Laurent
PSU	Practical Salinity Unit
ZTS	Zone de transition saline
μS/cm	Micro siemens
°C	Degré Celsius

1. CONTEXTE

Depuis 1999, plusieurs études ont soulevé l'hypothèse que les effets des changements climatiques se traduiront par une hausse du niveau marin et par une baisse du débit du fleuve Saint-Laurent. Cette situation provoquerait un déplacement de la zone de transition saline (ZTS) vers l'amont du fleuve Saint-Laurent, ce qui pourrait compromettre l'alimentation des prises d'eau au fleuve de certaines municipalités de la CMQ. Par ailleurs, des pointes de salinité élevées ont été observées ces dernières années à l'usine de production d'eau potable de Sainte-Foy. Bien que les pointes se situent en deçà du seuil de potabilité, les villes de Québec et de Lévis sont préoccupées par cette situation.

C'est dans ce contexte que la CMQ, Ouranos, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)¹ ainsi que les villes de Québec et de Lévis ont élaboré un projet visant à mieux comprendre la variabilité spatiale et temporelle actuelle et future de la salinité dans la ZTS. Le projet sur la salinité vise les objectifs suivants :

- analyser et identifier les causes de la variabilité temporelle et spatiale actuelle de la salinité de l'eau observée à proximité et à l'entrée des prises d'eau potable des villes de Québec et de Lévis;
- modéliser le déplacement du front salin selon des scénarios de hausses du niveau marin et des changements du débit fluvial d'ici 25 et 50 ans.

2. MANDAT

Québec-Océan et l'Institut nordique de recherche en environnement et en sécurité au travail (INREST) ont obtenu le mandat d'élaborer une campagne d'échantillonnage afin de colliger des données de salinité pour renforcer les analyses de variabilité temporelle et spatiale actuelle de la salinité de l'eau à proximité et à l'entrée des prises d'eau potable des villes de Québec et de Lévis.

Pour ce faire, un programme d'échantillonnage a été élaboré en trois phases afin de mesurer la conductivité (un indicateur quantitatif de la concentration de sel) et d'autres variables d'intérêt pour expliquer les variations de salinité observées dans le fleuve Saint-Laurent. Le présent document constitue le rapport final des campagnes d'échantillonnages sur la salinité dans le fleuve Saint-Laurent réalisées en 2018 et 2019.

3. STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

Le territoire à l'étude dans le cadre du mandat s'étend à partir du secteur Cap-Rouge-Saint-Nicolas à l'ouest (secteur ouest) jusqu'à la pointe de l'île-aux-Oies à l'est (secteur est). La ZTS couvre approximativement la région entre l'île d'Orléans et L'Isle-aux-Coudres. Elle est composée de la partie inférieure de l'estuaire fluvial, caractérisée par des eaux douces, et par la partie supérieure de l'estuaire moyen où les eaux douces du fleuve se mélangent avec les eaux salées.

La dynamique hydrologique du fleuve est complexe et influencée par plusieurs facteurs, dont la bathymétrie, les apports d'eau douce, la marée et le climat. Afin de prendre ces éléments en considération, Québec-Océan et l'INREST, en collaboration avec l'équipe de la CMQ, ont élaboré

¹ Anciennement le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (MDDELCC)

une stratégie d'échantillonnage répartie sur trois périodes de mesures visant la période d'étiage estival (débit minimum), la crue printanière (débit maximum) et les débits intermédiaires de l'automne (lorsque les marées peuvent être particulièrement fortes sous l'action du vent) (carte 1).

3.1 Objectifs

Les objectifs de l'échantillonnage estival visaient à couvrir l'ensemble de la zone d'étude pour établir la distribution spatiale de la salinité, identifier la présence, ou non, de sel provenant des berges ou des rivières affluentes et localiser la position du front salin marin. De son côté, l'échantillonnage automnal avait comme objectif de localiser la position du front salin marin à l'est. Enfin, pour l'échantillonnage printanier, les objectifs consistaient à établir la distribution spatiale de la salinité, à localiser la position du front salin et à identifier la présence, ou non, de sel provenant de rivières, de dépôts à neige ou des berges.

3.2 Méthodologie et protocoles

Pour chaque période, les fenêtres d'échantillonnage ont été préétablies en fonction des prévisions de marées et selon les données historiques de débit mensuel moyen du fleuve². Pour chacune de ces périodes, il a été prévu de répéter les mesures d'échantillonnage à marée basse et à marée haute, en visant les périodes de vives eaux (phase du cycle lunaire pour laquelle les marées hautes sont les plus fortes). Au total, le projet a permis de visiter 211 stations, dont 66 à l'été, 23 à l'automne et 122 au printemps.

L'équipe est sortie à plusieurs reprises avec une embarcation de type Boston-Whaler de Québec-Océan. Sur chaque site, des données ont été recueillies en déployant une cage protectrice contenant un profileur CTD (sonde conductivité-température-profondeur, Seabird SBE19 plus V2 #7815) préalablement calibré chez le fabricant. Des vérifications périodiques ont également été réalisées par Québec-Océan avec un salinomètre de laboratoire. Il faut souligner que la sonde de conductivité est très stable et dérive imperceptiblement sur une période de plusieurs mois. La dérive nominale est de l'ordre de 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ par année et la calibration chez SeaBird est effectuée une fois par an.

La grappe contenant le CTD et les sondes étaient d'abord immergées en surface. Après un temps d'attente pour l'équilibrage des sondes, elles étaient descendues lentement jusqu'à environ un mètre au-dessus du fond. Afin d'obtenir un portrait plus complet des conditions de surface, des échantillons d'eau ont été prélevés à 0,5 m à un sous-ensemble de stations réparties sur la zone d'échantillonnage. Des dosages de la salinité et de chlorures ont ensuite été effectués en laboratoire. Il faut préciser que la concentration de chlorure (ou chlorinité) est un bon indicateur de la présence de sel dans un échantillon d'eau. Elle est fréquemment utilisée pour détecter les intrusions de sel marin en milieu estuarien ou dans les aquifères côtiers. La chlorinité n'est toutefois pas une variable pratique pour étudier en détail la variabilité horizontale et verticale puisqu'il faut la doser en laboratoire sur des échantillons d'eau. On utilise plutôt la conductivité, qui se mesure in situ avec une grande rapidité et une haute résolution verticale : la conductivité est largement fonction des concentrations de sel. Néanmoins, en milieu fluvial côtier, elle peut être affectée par des apports en cations (métaux) et anions conducteurs qui ne sont pas forcément reliés à l'utilisation de sel de déglçage. À moins d'avis contraire, les valeurs de conductivité présentées dans le rapport sont corrigées à 25 °C.

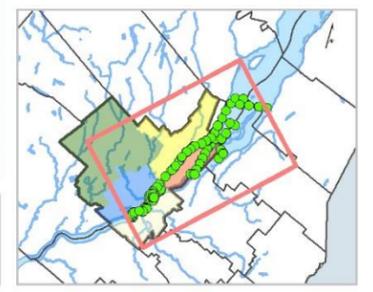
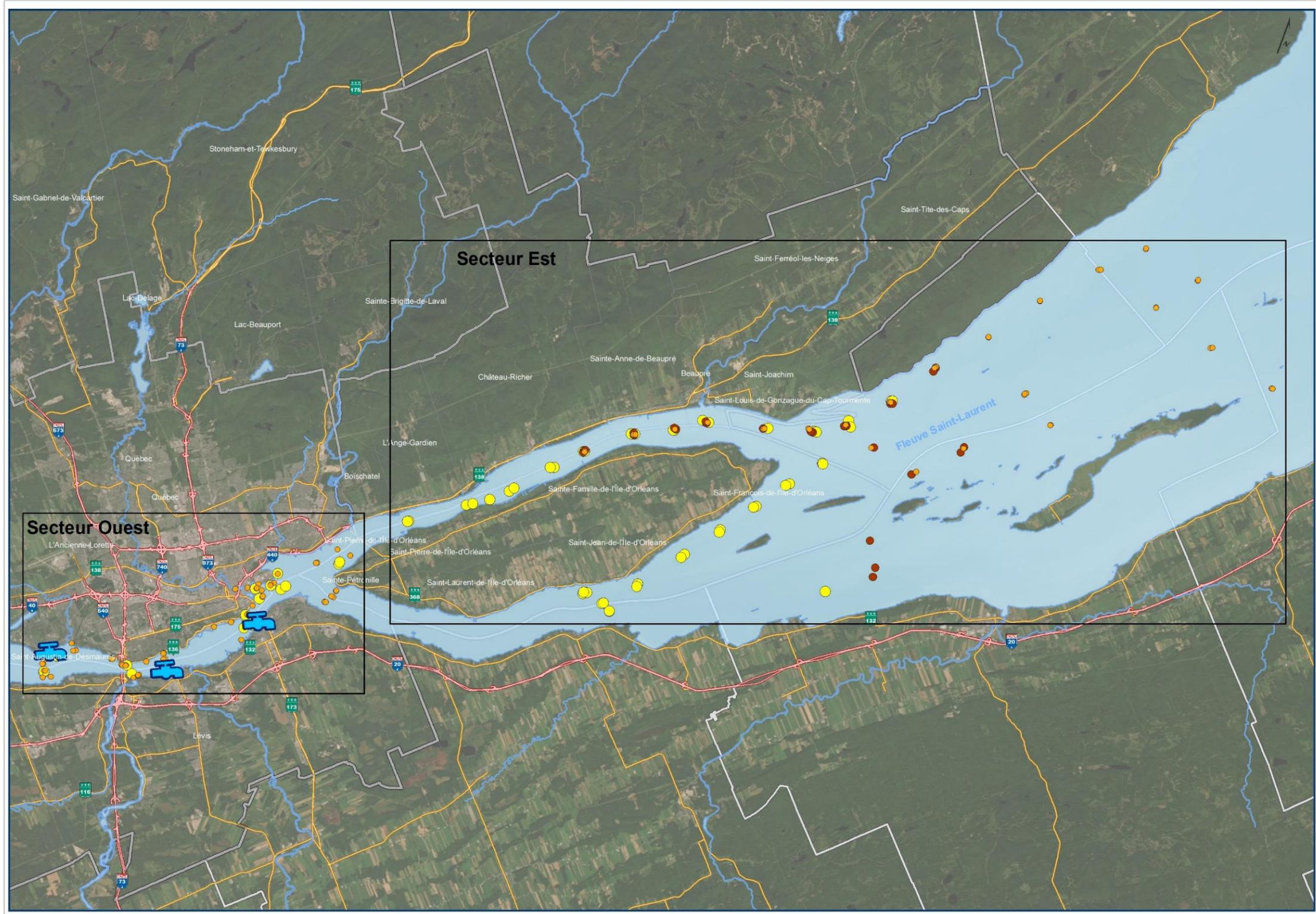
² L'identification formelle des périodes d'étiage et de crue maximale n'est possible qu'a posteriori, puisque celles-ci dernières varient de quelques semaines d'une année à l'autre.

Carte 1 - Localisation des stations échantillonnées dans le cadre du projet

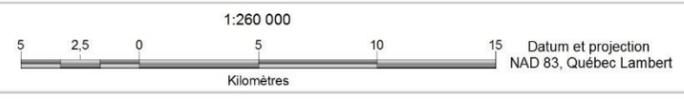


Localisation des stations échantillonnées

- Hydrographie**
- Cours d'eau
 - ▭ Plans et cours d'eau
- Prise d'eau de surface municipale**
- ▭ Longeant le fleuve Saint-Laurent
- Relevés d'échantillonnage**
- Printemps 2019
 - Automne 2018
 - Été 2018



Sources :
 Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), 2001-2017
 Esri, 2018
 USGS, 2014
 Québec Océan, 2018



© Communauté métropolitaine de Québec
 Réalisé le 19-09-2019
 Nom du document: H:\Geoproj\GIS\Projets_mxd\ Environnement\FrontSalin\Fleuve_Salinite_Operation_nom_station_echantillonnage_Global.mxd

Les analyses de laboratoire ont été effectuées dans les laboratoires de Québec-Océan pour la salinité (salinomètre AutoSal). Les analyses de chlorure ont été effectuées par le laboratoire accrédité du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ).

Faisant suite à l'échantillonnage et aux analyses, un contrôle de qualité des données a été effectué par Pascal Guillot, professionnel responsable de cette tâche chez Québec Océan. Dans ce processus, les données recueillies plusieurs fois par seconde par les sondes sont validées par Pascal Guillot et un profil vertical est produit avec des données interpolées pour chaque demi-mètre de profondeur. Afin de rendre plus rigoureuse la comparaison entre les variables échantillonnées à la bouteille et les données provenant des sondes, nous avons considéré les données à 0,5 m de profondeur comme étant représentatives de la surface.

3.3 Limites de l'échantillonnage

L'équipe de travail a fait face à certains défis lors des travaux sur le terrain, notamment durant l'échantillonnage de l'automne 2018. Durant le mois d'octobre, les marées hautes ont eu lieu soit très tôt le matin ou en début de soirée, ce qui a réduit la fenêtre temporelle d'échantillonnage durant laquelle la lumière était suffisante pour assurer des conditions sécuritaires de travail et de mise à l'eau ou de récupération de l'embarcation. Considérant ces contraintes, l'échantillonnage pour cette période s'est concentré uniquement sur la localisation du front marin au nord-est de l'île d'Orléans. Toujours en octobre, quelques épisodes de forts vents ont aussi empêché ou écourté certaines sorties.

De façon générale, il faut également noter qu'une couverture synoptique n'est pas possible lors d'une sortie donnée (c'est-à-dire que l'embarcation doit échantillonner les stations de manière séquentielle en tenant compte d'un ensemble de considérations logistiques) et qu'il y a généralement un certain écart entre le moment de l'échantillonnage et celui de l'étal de marée haute ou basse à une station donnée. Pour ces raisons, la prise d'échantillons d'eau de surface a été fixée au strict nécessaire afin de permettre une couverture plus rapide de la grille de stations. En raison de la dérive durant la prise de mesures, les coordonnées exactes d'une même station peuvent différer entre les échantillonnages à marée haute et basse.

4. RÉSULTATS

Cette section présente les résultats détaillés de trois campagnes d'échantillonnages, soit celles de l'été 2018 (août), de l'automne 2018 (octobre) et du printemps 2019 (avril et mai). Les données recueillies sont disponibles à l'**annexe 1** du rapport.

4.1 Campagne d'échantillonnage n°1 (été 2018)

La première campagne a permis de récolter des données pour 66 stations sur l'ensemble de la zone d'étude (tableau 1 de la page suivante et carte 2 de la page 13). De ce nombre, 33 sites ont été échantillonnés à marée haute, 28 à marée basse et 5 à un stade intermédiaire (entre la marée basse et la marée haute). Des stations « de référence » ont été visitées dans le secteur des ponts et à l'ouest de celui-ci afin de documenter les intrants provenant de l'amont du fleuve. Un échantillonnage détaillé a également été réalisé autour de l'île d'Orléans afin d'évaluer ce qui sort du territoire vers l'aval et surtout, pour localiser la position du front salin marin.

Dans le secteur ouest, soit entre les ponts et la pointe est de l'île d'Orléans, les données indiquent que la conductivité moyenne entre le secteur des ponts et les stations Q24, Q16 et G à l'est est de 261 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec un écart type de 6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en considérant toutes les profondeurs. À titre de comparaison, la conductivité à marée basse de la station de référence Q2, qui visait à évaluer les intrants fluviaux provenant de l'amont à l'ouest des ponts, est de 268 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et homogène sur toute la colonne d'eau.

Tableau 1 - Données de la campagne d'échantillonnage d'été (août 2018)

Station	Phase de marée	Date	Conductivité (uS/cm) en surface à 0,5 mètre	Conductivité maximum (uS/cm)	Profondeur de la conductivité maximum	Chlorures (mg/l)
Q27	H	2018-08-14	259	259	0,5	20
Q28	H	2018-08-14	259	259	0,5	20
Q29	H	2018-08-14	259	259	0,5	19
Q30	H	2018-08-14	260	260	0,5	20
Q10	H	2018-08-14	260	290	47,6	23
Q10	H	2018-08-14	260	290	47,6	20
P2	I	2018-08-14	260	280	0,5	20
P1	I	2018-08-14	278	258	0,5	22
Q26	B	2018-08-14	259	259	0,5	19
Q27	B	2018-08-14	259	259	0,5	20
Q28	B	2018-08-14	259	259	0,5	20
Q29	B	2018-08-14	259	259	0,5	20
Q30	B	2018-08-14	259	259	0,5	20
Q10	B	2018-08-14	258	268	0,5	20
Q09	B	2018-08-14	268	258	0,5	20
B	B	2018-08-14	258	258	0,5	20
A	B	2018-08-14	258	258	0,5	19
Q9	H	2018-08-15	259	259	0,5	20
B	H	2018-08-15	258	258	0,5	20
A	H	2018-08-15	259	269	0,5	20
Q8	H	2018-08-15	268	268	0,5	21
Q7	H	2018-08-15	268	258	0,5	20
Q6	H	2018-08-15	258	258	0,5	20
Q5	H	2018-08-15	258	268	0,5	20
Q2	H	2018-08-15	268	258	0,5	20
P3	B	2018-08-15	259	259	0,5	20
P4	B	2018-08-15	259	259	0,5	20
Q11	B	2018-08-15	259	239	0,5	20
Q5	B	2018-08-15	238	267	0,5	18
Q2	B	2018-08-15	267	267	14,4	20
Q18	H	2018-08-16	5665	8429	12,4	1700
Q19	H	2018-08-16	5376	7361	12,4	1600
Q20	H	2018-08-16	2495	5163	11,4	740
Q21	H	2018-08-16	974	2109	4,5	250
Q22	H	2018-08-16	350	561	1,0	70
Q23	H	2018-08-16	321	331	12,4	40
Q18	B	2018-08-16	483	503	1,5	81
Q19	B	2018-08-16	321	331	0,5	39
Q20	B	2018-08-16	270	270	0,5	23
Q23	B	2018-08-16	261	261	0,5	20
Q22	B	2018-08-16	261	261	0,5	20
Q24	B	2018-08-16	251	261	0,5	20
Q25	B	2018-08-16	261	261	1,5	20
Q17	H	2018-08-20	839	849	1,0	180
Q16	H	2018-08-20	292	302	1,0	Aucun échantillon
Q15	H	2018-08-20	180	270	0,5	Aucun échantillon
Q14	H	2018-08-20	262	262	1,0	20
Q13	H	2018-08-20	262	272	0,5	Aucun échantillon
Q12	H	2018-08-20	264	264	0,5	Aucun échantillon
D	H	2018-08-20	263	263	0,5	21
E	H	2018-08-20	273	273	0,5	20
Q11	H	2018-08-20	203	263	0,5	20
G	H	2018-08-20	269	269	0,5	21
Q17	B	2018-08-21	264	264	0,5	21
Q16	B	2018-08-21	265	265	0,5	Aucun échantillon
Q15	B	2018-08-21	265	265	0,5	Aucun échantillon
Q14	B	2018-08-21	265	265	0,5	20
Q13	B	2018-08-21	266	266	0,5	Aucun échantillon
Q12	B	2018-08-21	266	266	0,5	Aucun échantillon
Q11	B	2018-08-21	266	266	0,5	20
E	B	2018-08-21	267	267	0,5	20
D	B	2018-08-21	266	266	0,5	20
G	B	2018-08-21	265	265	0,5	20
Q24	H	2018-08-21	264	264	0,5	20
Q25	H	2018-08-21	264	264	0,5	20
Q26	H	2018-08-21	265	265	0,5	20
Q27	H	2018-08-21	265	285	0,5	20

Carte 2 - Localisation et conductivité en surface (0,5 mètre) des stations échantillonnées à l'été (août 2018)



Localisation et conductivité des stations Été 2018

Hydrographie

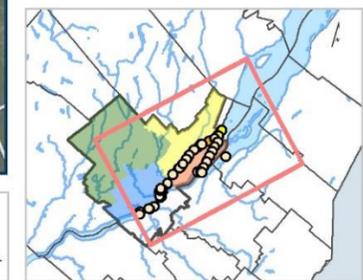
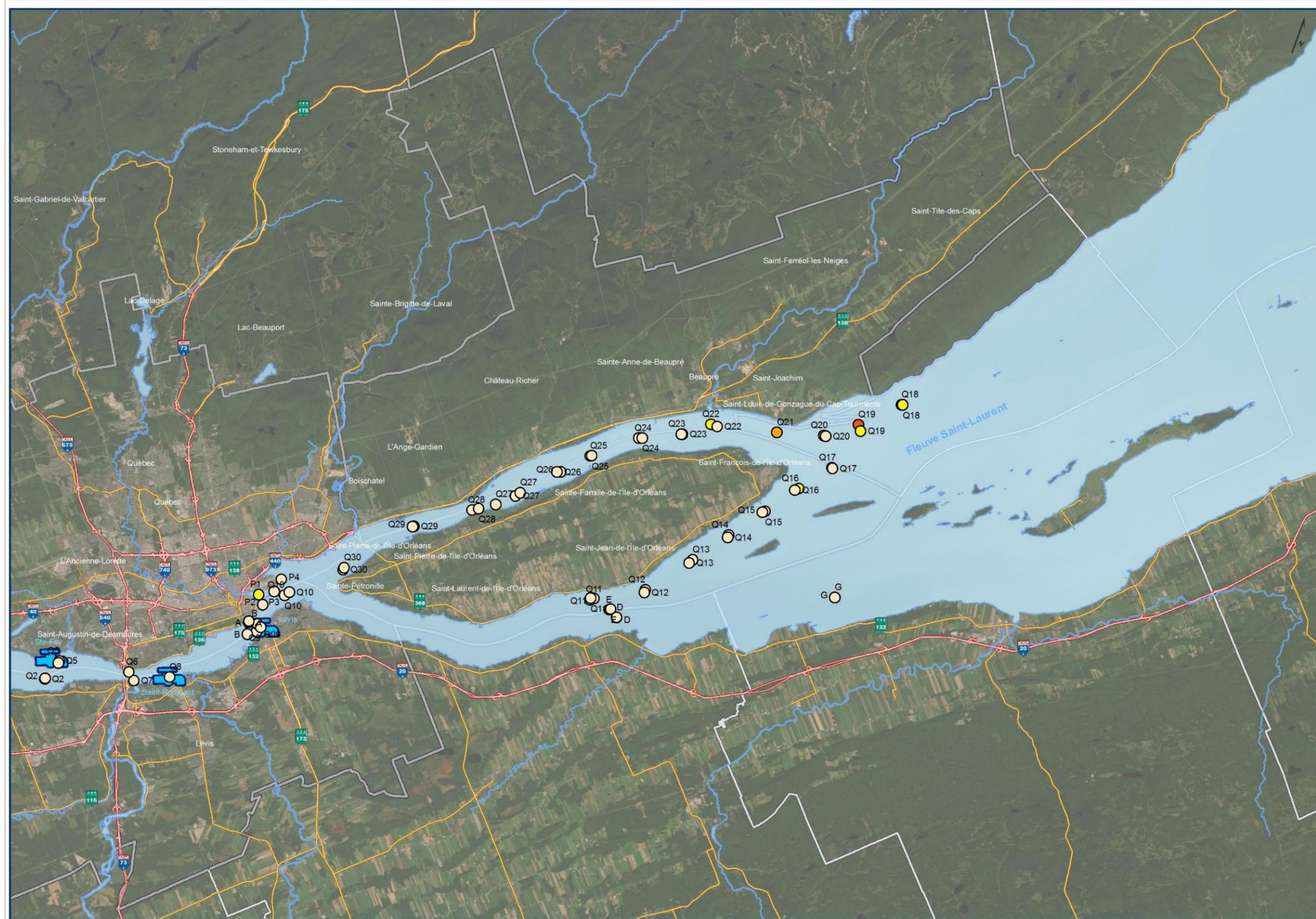
- Cours d'eau
- Plans et cours d'eau

Prise d'eau de surface municipale

- Longeant le fleuve Saint-Laurent

Conductivité (microsiemens)

- 275 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et moins
- 275 à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 500 à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et plus



Sources :
 Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), 2001-2017
 Esri, 2018
 USGS, 2014
 Québec Océan, 2018



© Communauté métropolitaine de Québec
 Réalisé le 26-11-2019
 Nom du document: H:\Geoproj\GIS\Projets_mxd\
 Environnement\FrontSalin\Fleuve_Salinité_Operation_nom_station_
 échantillonnage_Global_conductivité_ÉTE_2018.mxd

La station P1 (située à l'embouchure de la rivière Saint-Charles) montrait une conductivité de 278 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les valeurs observées sont en accord avec les données du MELCC³ précédemment recueillies : les moyennes estivales de conductivité pour les mois de juillet à septembre entre 2015 et 2017 sont de $267 \pm 12 \mu\text{S}/\text{cm}$ à la station Q9 (prise d'eau de Lévis, stations 00000121 du MELCC) et de $262 \pm 17 \mu\text{S}/\text{cm}$ au centre de l'entrée du chenal des Grands voiliers à la point sud-ouest de l'île d'Orléans (station 00000106 du MELCC). Quelques pointes de conductivité sont donc visibles, mais elles n'excèdent pas 278 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et peuvent être considérées comme faisant partie de la variabilité estivale naturelle pour la zone de Québec. En somme, les données d'été n'indiquent aucune anomalie significative de la conductivité dans ce secteur et n'indiquent pas d'intrusion marine ou d'anomalies ponctuelles causées par le sel provenant du déglacement ou d'autres sources.

Pour le secteur est, les seules stations où la conductivité des eaux de surface à marée montante (haute) dépassait la borne supérieure des valeurs établies pour la zone de Québec se trouvaient à l'extrême est de la zone d'étude avec une valeur maximale de 5 665 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Q18. Il s'agit clairement d'eau marine qui remonte vers l'ouest avec la marée. Ceci se confirme avec les valeurs obtenues à marée descendante (basse), qui sont de loin inférieures, ainsi que par les températures relativement basses qui sont observées à l'est à marée montante. Il convient toutefois de noter que les eaux marines ne se retirent pas complètement de la zone à marée basse. La station Q18 à l'extrême est montre une conductivité de 483 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en surface et le signal marin s'étend jusqu'à la station Q20 près du Cap-Tourmente. On observe également l'influence de l'eau marine sur une distance d'environ 8 km à l'intérieur du chenal nord alors que la distance correspondante est de 3 km pour le chenal sud. Cette ségrégation des eaux marines entre le nord et le sud est compatible avec les prévisions faites par modélisation numérique (Simons et al. 2010). En se basant sur les valeurs médianes pour la colonne d'eau, la limite ouest des eaux marines se situait légèrement en amont de Sainte-Anne-de-Beaupré entre les stations Q22 et Q23, avec des valeurs croissantes pour Beaupré (environ 561 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et Saint-Joachim (environ 1 542 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

4.2 Campagne d'échantillonnage n° 2 (automne 2018)

La seconde campagne a permis d'échantillonner 23 sites, dont 11 à marée haute et 12 à marée basse⁴ (tableau 2 de la page suivante). L'effort d'échantillonnage a été concentré sur le secteur nord-est de l'île d'Orléans, car les données récoltées à l'été, ainsi qu'un effort préalable de modélisation de la circulation fluviale (Simons et al. 2010), indiquaient que le front salin pénètre davantage vers l'ouest et du côté nord du fleuve. Pour localiser le front salin, la stratégie d'échantillonnage consistait essentiellement à réaliser un transect à partir de la rive nord du fleuve jusqu'à la rive sud, à la hauteur de la pointe est de l'île.

Trois nouveaux points d'échantillonnage ont également été ajoutés à la suite des analyses réalisées sur les données d'été. La station Q31 a été placée à l'est de Q18 pour pallier à un possible retrait saisonnier du front marin avec l'augmentation des débits fluviaux à l'automne. Les stations Q32 et Q34 ont été positionnées juste au sud de Q18 et Q31 afin de mieux définir l'étendue latérale du front salin.

³ La moyenne de conductivité obtenue durant le présent projet (en excluant l'extrémité est de la zone) est légèrement supérieure à celles du MELCC et ne porte pas à conséquence, puisque la zone couverte est ici beaucoup plus large et qu'il n'y a pas de correspondance étroite dans les dates d'échantillonnage entre les projets.

⁴ Plusieurs sorties ont été requises pour échantillonner un maximum de stations vers l'apogée des marées montantes ou descendantes. Il n'est pas logiquement possible d'échantillonner toutes les stations à un même point du cycle de marée. Ce biais a été minimisé en visitant les stations de l'aval vers l'amont lors d'une sortie donnée. En raison de la dérive durant la prise de mesure, les coordonnées exactes d'une même station peuvent différer entre les échantillonnages à marée haute et basse.

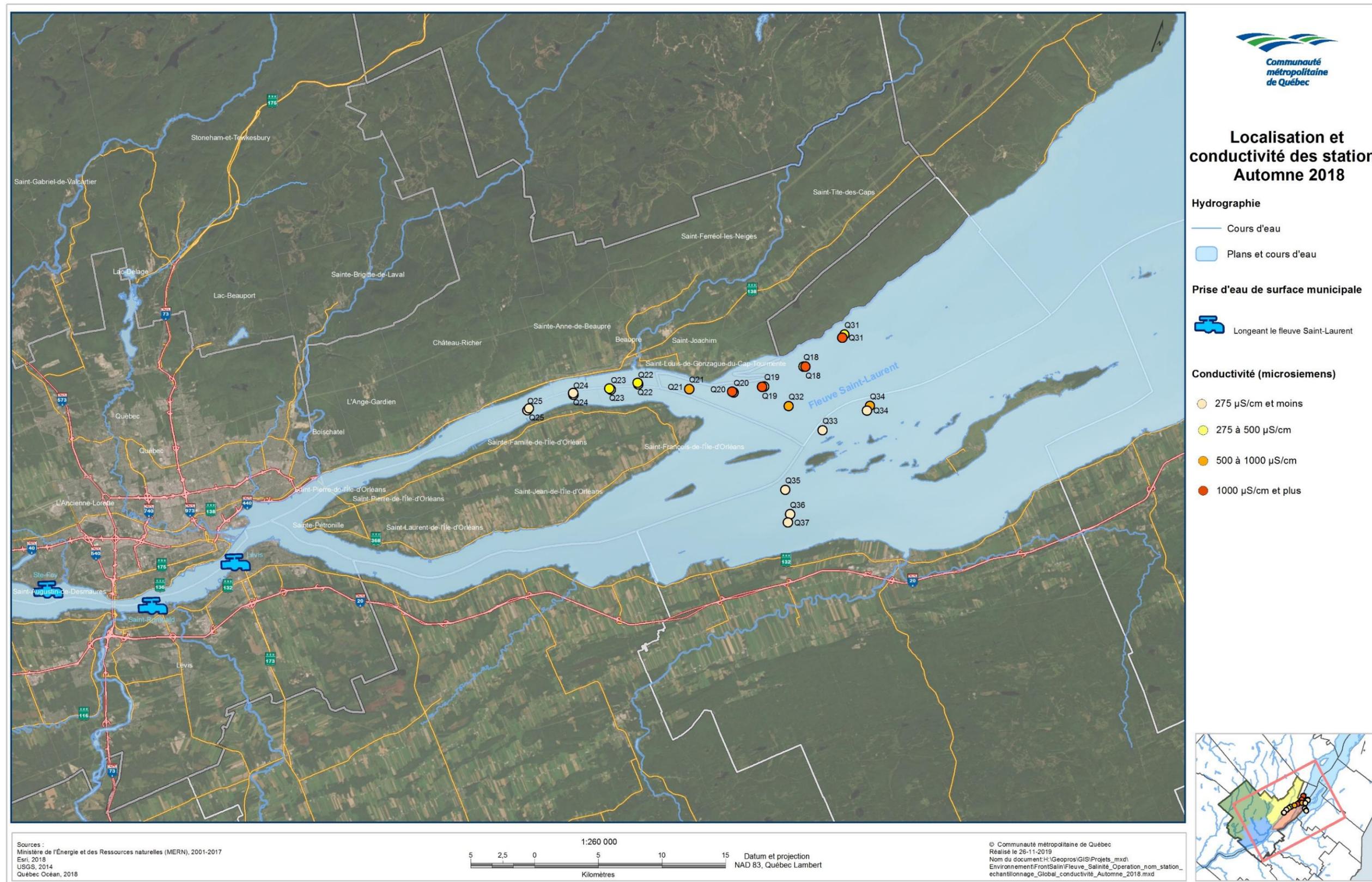
Tableau 2 - Données de la campagne d'échantillonnage d'automne (octobre 2018)

Station	Phase de marée	Date	Conductivité ($\mu\text{S/cm}$) en surface à 0,5 mètre	Conductivité maximum ($\mu\text{S/cm}$)	Profondeur de la conductivité maximum	Chlorures (mg/l)
Q31	B	2018-10-09	362	362	1	50
Q18	B	2018-10-09	281	281	0,5	Aucun échantillon
Q19	B	2018-10-09	246	246	0,5	Aucun échantillon
Q20	B	2018-10-09	245	245	0,5	Aucun échantillon
Q21	B	2018-10-09	245	245	0,5	19
Q22	B	2018-10-09	244	244	0,5	Aucun échantillon
Q23	B	2018-10-09	245	245	0,5	Aucun échantillon
Q24	B	2018-10-09	245	245	0,5	Aucun échantillon
Q25	B	2018-10-09	245	245	0,5	19
Q22	H	2018-10-10	403	520	4,0	Aucun échantillon
Q23	H	2018-10-10	286	351	6,4	Aucun échantillon
Q24	H	2018-10-10	260	273	6,9	Aucun échantillon
Q25	H	2018-10-10	247	247	0,5	21
Q31	H	2018-10-12	7784	8031	11,4	2300
Q18	H	2018-10-12	3737	7352	14,9	Aucun échantillon
Q19	H	2018-10-12	2652	4926	12,4	Aucun échantillon
Q20	H	2018-10-12	1063	2840	22,3	Aucun échantillon
Q21	H	2018-10-12	590	738	7,4	120
Q32	H	2018-10-12	729	3212	6,4	Aucun échantillon
Q34	H	2018-10-13	861	874	1,0	190
Q34	B	2018-10-17	253	253	0,5	22
Q33	B	2018-10-17	non disponible	non disponible	non disponible	22
Q35	B	2018-10-17	non disponible	non disponible	non disponible	Aucun échantillon
Q36	B	2018-10-17	non disponible	non disponible	non disponible	Aucun échantillon
Q37	H	2018-10-17	non disponible	non disponible	non disponible	18

Les données indiquent que la valeur minimum obtenue à marée basse est de 245 $\mu\text{S/cm}$ et s'est avérée uniforme pour les stations Q19 à Q25 et Q34 (carte 3). Cette valeur moyenne pour les eaux fluviales est légèrement inférieure à celle obtenue par le MELCC en octobre ($263 \pm 12 \mu\text{S/cm}$). Les seules stations où la conductivité des eaux de surface à marée montante (haute) dépasse 245 $\mu\text{S/cm}$ se trouvent à l'est de la station Q25, le long de la Rive-Nord.

De plus, la conductivité de surface à marée montante est légèrement plus élevée aux stations Q24 (260 $\mu\text{S/cm}$) et Q23 (286 $\mu\text{S/cm}$), mais une augmentation claire au-delà des valeurs de base fluviales ne débute qu'à Q22 (Beaupré) et se poursuit vers l'est pour atteindre un maximum de 7 784 $\mu\text{S/cm}$ à Q31 (anse aux Cenelliers). À la rencontre des eaux douces, le maximum vertical de conductivité se retrouve plus en profondeur aux stations Q18 et Q21. À marée basse, la conductivité est beaucoup plus uniforme sur le plan vertical. Immédiatement au sud, des mesures de conductivités inférieures ont été observées aux stations Q32 et Q34, suggérant que l'avancée des eaux marines est confinée au côté nord du fleuve. À marée basse, la station Q31 est la seule où un signal marin est détectable (362 $\mu\text{S/cm}$).

Carte 3 - Localisation et conductivité en surface des stations échantillonnées à l'automne (octobre 2018)



4.3 Campagne d'échantillonnage n°3 (printemps 2019)

Le troisième échantillonnage dans le fleuve Saint-Laurent a été réalisé durant les mois d'avril et de mai 2019. En plus des échantillonnages dans le fleuve, treize stations ont également été visitées à pied, en rivière et sur les berges du fleuve, afin d'accroître les chances de détection d'éventuelles sources ponctuelles de salinité le long des rives. Au total, 122 stations ont été visitées (tableau 3).

Tableau 3 - Données de la campagne d'échantillonnage du printemps (avril et mai 2019)

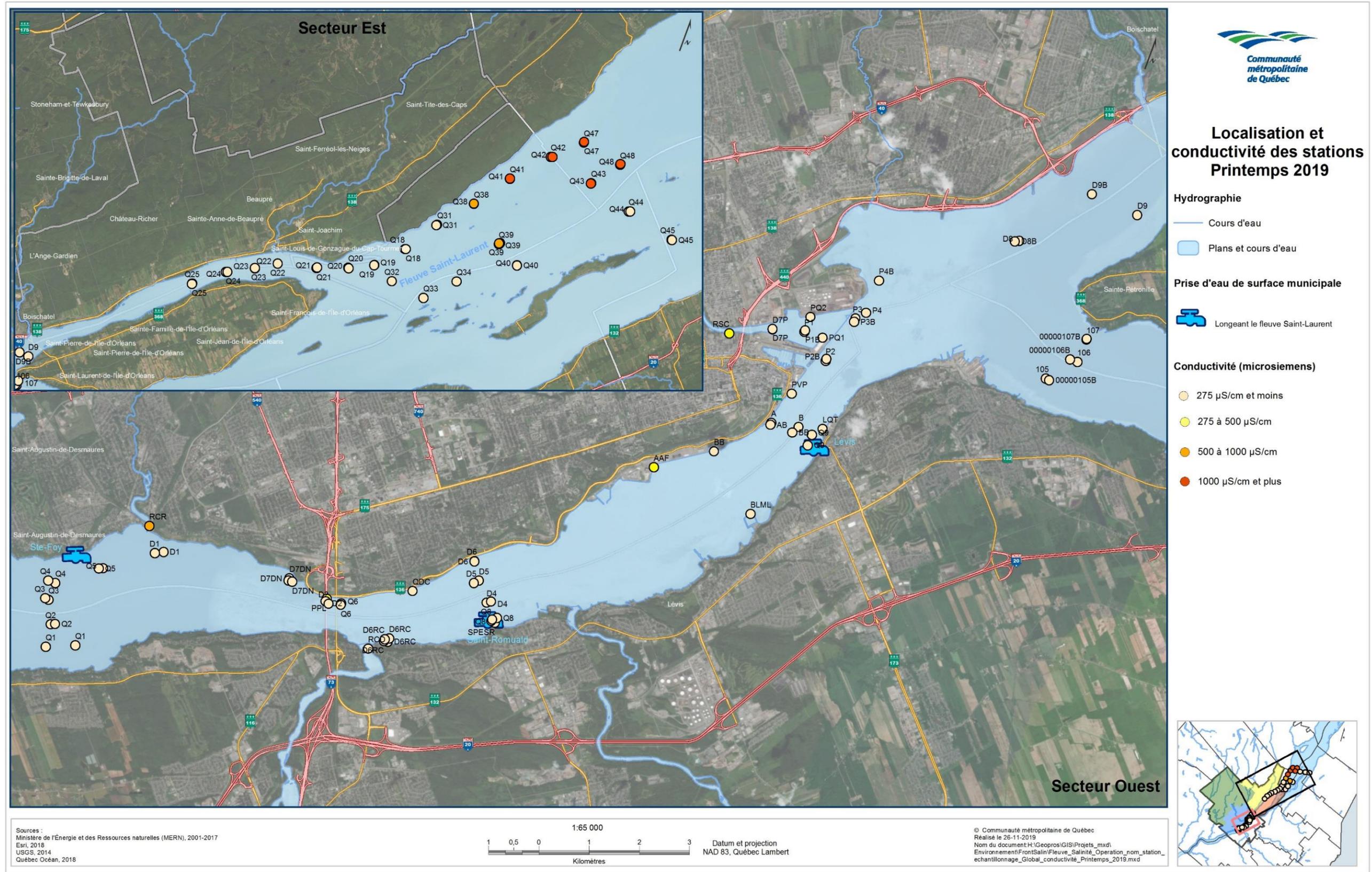
Station	Phase de marée	Date	Conductivité (uS/cm) en surface à 0,5 mètre	Conductivité maximum (uS/cm)	Profondeur de la conductivité maximum	Chlorures (mg/l)
PVP	B	2019-04-17	248	248	0	21
AAF	B	2019-04-17	278	278	0	23
BB	B	2019-04-17	258	258	0	21
QDC	B	2019-04-17	230	248	1	21
PPL	B	2019-04-17	447	480	0	82
RCD	B	2019-04-17	158	158	0	15
RRC	B	2019-04-17	510	510	0	93
LQT	B	2019-04-18	215	215	0	18
BLML	B	2019-04-18	213	213	0	19
SPESR	B	2019-04-18	212	212	0	19
PQ1	B	2019-04-18	265	282	2	30
PQ2	B	2019-04-18	265	283	3	33
RSC	B	2019-04-18	484	484	0	95
Q1	H	2019-04-23	155	172	14	Aucun échantillon
Q2	H	2019-04-23	172	172	0	Aucun échantillon
Q3	H	2019-04-23	171	171	0	Aucun échantillon
Q4	H	2019-04-23	172	172	0	Aucun échantillon
Q5	H	2019-04-23	171	171	0	Aucun échantillon
D1	H	2019-04-23	171	171	0	Aucun échantillon
D2	H	2019-04-23	172	172	0	Aucun échantillon
Q6	H	2019-04-23	172	189	1	Aucun échantillon
D6RC	H	2019-04-23	187	187	0	Aucun échantillon
D4	H	2019-04-23	187	187	0	Aucun échantillon
D5	H	2019-04-23	172	172	0	Aucun échantillon
D6	H	2019-04-23	172	172	0	Aucun échantillon
D7DN	H	2019-04-23	171	171	0	Aucun échantillon
Q1	B	2019-04-23	199	182	0	14
Q2	B	2019-04-23	203	203	0	Aucun échantillon
Q3	B	2019-04-23	217	217	0	Aucun échantillon
Q4	B	2019-04-23	122	139	5	8
Q5	B	2019-04-23	121	121	0	8
D1	B	2019-04-23	119	119	0	Aucun échantillon
D7DN	B	2019-04-23	170	170	0	45
D2	B	2019-04-23	121	121	0	Aucun échantillon
Q6	B	2019-04-23	154	172	2	15
D6	B	2019-04-23	171	171	0	13
D5	B	2019-04-23	154	172	1	Aucun échantillon
D4	B	2019-04-23	204	187	0	Aucun échantillon
Q8	B	2019-04-23	167	167	0	12
D6RC	B	2019-04-23	167	167	0	Aucun échantillon
Q18	B	2019-05-03	161	161	0	Aucun échantillon
Q19	B	2019-05-03	161	161	0	11
Q20	B	2019-05-03	128	144	5	Aucun échantillon
Q21	B	2019-05-03	145	145	0	Aucun échantillon
Q22	B	2019-05-03	145	145	0	Aucun échantillon
Q23	B	2019-05-03	145	145	0	Aucun échantillon
Q24	B	2019-05-03	145	145	0	Aucun échantillon
Q25	B	2019-05-03	145	145	0	Aucun échantillon
Q40	B	2019-05-03	159	159	0	Aucun échantillon
Q39	B	2019-05-03	159	159	0	Aucun échantillon
Q32	I	2019-05-03	161	161	0	Aucun échantillon
Q33	I	2019-05-03	159	159	0	Aucun échantillon
Q34	I	2019-05-03	160	160	0	Aucun échantillon
Q40	H	2019-05-03	160	160	0	Aucun échantillon
Q39	H	2019-05-03	1283	1459	6	Aucun échantillon
Q18	H	2019-05-03	161	161	0	Aucun échantillon
Q19	H	2019-05-03	161	161	0	12
Q20	H	2019-05-03	145	145	0	Aucun échantillon
Q21	H	2019-05-03	161	161	0	Aucun échantillon

(suite) Tableau 3 - Données de la campagne d'échantillonnage du printemps (avril et mai 2019)

Station	Phase de marée	Date	Conductivité (uS/cm) en surface à 0,5 mètre	Conductivité maximum (uS/cm)	Profondeur de la conductivité maximum	Chlorures (mg/l)
Q22	H	2019-05-03	145	145	0	Aucun échantillon
Q23	H	2019-05-03	144	144	0	Aucun échantillon
Q24	H	2019-05-03	145	145	0	Aucun échantillon
Q25	H	2019-05-03	145	145	0	Aucun échantillon
Q46	B	2019-05-04	173	157	0	12
Q45	B	2019-05-04	174	158	0	Aucun échantillon
Q44	B	2019-05-04	160	160	0	12
Q43	B	2019-05-04	1105	1121	3	Aucun échantillon
Q42	B	2019-05-04	799	2429	16	180
Q41	B	2019-05-04	159	159	0	Aucun échantillon
Q38	B	2019-05-04	159	159	0	11
Q31	B	2019-05-04	159	159	0	Aucun échantillon
Q39	B	2019-05-04	158	158	0	Aucun échantillon
Q47	B	2019-05-04	733	9044	0	Aucun échantillon
Q48	B	2019-05-04	174	158	0	Aucun échantillon
Q39	H	2019-05-04	564	823	5	Aucun échantillon
Q31	H	2019-05-04	159	159	0	Aucun échantillon
Q38	H	2019-05-04	718	4511	14	110
Q41	H	2019-05-04	1212	7572	19	Aucun échantillon
Q42	H	2019-05-04	3333	8025	0	580
Q47	H	2019-05-04	6437	12202	25	Aucun échantillon
Q48	H	2019-05-04	1249	2939	8	Aucun échantillon
Q43	H	2019-05-04	1186	3956	7	Aucun échantillon
Q44	H	2019-05-04	173	173	0	13
Q45	H	2019-05-04	173	173	0	Aucun échantillon
Q46	H	2019-05-04	171	171	0	14
105	H	2019-05-05	173	173	0	Aucun échantillon
106	H	2019-05-05	158	158	0	Aucun échantillon
107	H	2019-05-05	143	143	0	Aucun échantillon
D9	H	2019-05-05	144	144	0	Aucun échantillon
D8	H	2019-05-05	143	143	0	Aucun échantillon
P4	H	2019-05-05	143	159	1	Aucun échantillon
P3	H	2019-05-05	143	159	16	Aucun échantillon
P1	H	2019-05-05	174	190	4	Aucun échantillon
D7P	H	2019-05-05	249	265	3	Aucun échantillon
P2	H	2019-05-05	159	143	0	Aucun échantillon
A	H	2019-05-05	159	159	0	Aucun échantillon
B	H	2019-05-05	158	158	0	Aucun échantillon
Q9	H	2019-05-05	157	173	1	Aucun échantillon
Q8	H	2019-05-05	171	171	0	Aucun échantillon
D6RC	H	2019-05-05	96	96	0	Aucun échantillon
00000105B	B	2019-05-05	157	157	0	Aucun échantillon
00000106B	B	2019-05-05	157	157	0	Aucun échantillon
00000107B	B	2019-05-05	158	158	0	Aucun échantillon
D9B	B	2019-05-05	154	139	0	Aucun échantillon
D8B	B	2019-05-05	141	141	0	11
P4B	B	2019-05-05	153	153	0	11
P3B	B	2019-05-05	156	156	0	13
P1B	B	2019-05-05	157	204	12	14
D7P	B	2019-05-05	245	245	0	17
P2B	B	2019-05-05	143	127	0	Aucun échantillon
AB	B	2019-05-05	127	127	0	11
BB	B	2019-05-05	172	172	0	Aucun échantillon
Q9	B	2019-05-05	185	185	0	13
Q8	B	2019-05-05	182	167	0	13
D6RC	B	2019-05-05	166	150	0	Aucun échantillon
D7DN	B	2019-05-05	161	161	0	Aucun échantillon

La carte 4 de la page suivante présente l'ensemble des données de conductivités pour l'échantillonnage du printemps 2019.

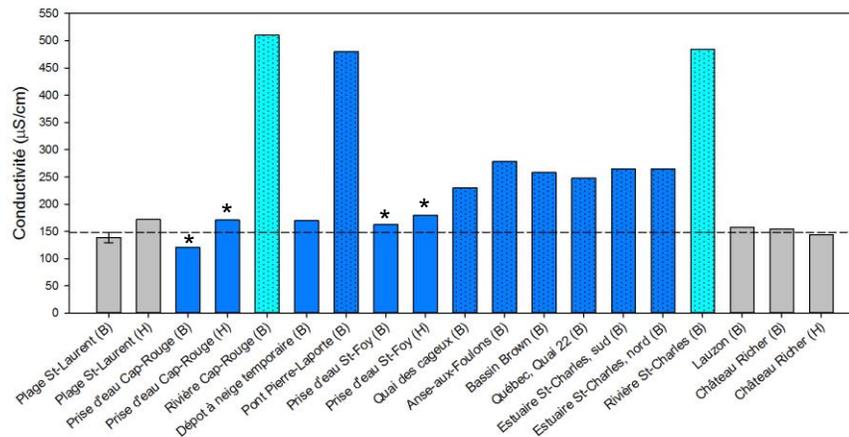
Carte 4 - Localisation et conductivité de surface (0,5 mètre) des stations échantillonnées (printemps 2019)



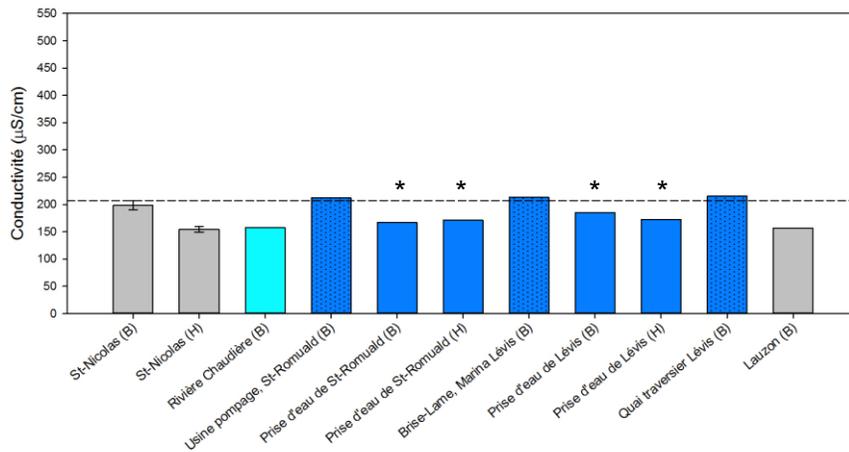
Les données récoltées dans les rivières Saint-Charles (station RSC sur la carte 4) et Cap-Rouge (station RCR) montrent des conductivités relativement élevées à leur embouchure (figure 1). Pour la rivière du Cap-Rouge, cette conductivité (510 $\mu\text{S}/\text{cm}$) est légèrement inférieure à la valeur de 610 $\mu\text{S}/\text{cm}$ précédemment rapportée pour les années 2009 et 2010 (Trépanier, 2011). La station du pilier nord du pont Pierre-Laporte (PPL) présente une conductivité semblable à celles des deux rivières, tandis que tout le littoral situé entre le quai des Cageux et l'estuaire de la rivière Saint-Charles présente des valeurs plus faibles, quoique supérieures, aux valeurs de référence fluviales.

Figure 1 - Valeurs de conductivité observées au printemps 2019 à marée haute (H) et/ou à marée basse (B)

Rive Nord



Rive Sud



Note : La couleur permet distinguer les stations échantillonnées en rivière (bleu pâle), sur le fleuve dans la zone de Québec (bleu foncé) et aux stations de références situées en amont ou en aval de cette zone (gris). Les pointillés dénotent les stations visitées à pied, en rivière ou sur les berges du fleuve (les autres ont été visitées en embarcation). Les emplacements de prise d'eau sont marqués d'une étoile. Les lignes pointillées projettent les valeurs de référence (+ un écart type) mesurées à marée basse en amont de la zone de Québec, soit à la station Q4 (Plage Saint-Laurent) pour la Rive Nord et à la station Q1 (Saint-Nicolas) pour la Rive Sud.

Toutes les autres stations fluviales visitées en embarcation, dont celles à proximité de la prise d'eau de Sainte-Foy, montrent des conductivités faibles et similaires à la valeur de référence (122 $\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurée à marée basse à proximité de la plage Saint-Laurent (station Q4). Pour la station Q4 et la prise d'eau de Cap-Rouge (station Q5), la faible augmentation de conductivité à marée haute suggère une intrusion mineure d'eau de la rivière Cap-Rouge.

Enfin, la rivière Chaudière montre une conductivité inférieure aux valeurs de référence fluviales à Saint-Nicolas et aucune des stations visitées à pied sur la rive ou plus au large en embarcation, incluant les prises d'eau de Saint-Romuald et de Lévis, ne montrent d'écart avec ces valeurs de référence.

5. ANALYSE DE LA VARIABILITÉ

Cette section présente certaines analyses pouvant expliquer la variabilité spatiale et temporelle ainsi que les causes possibles des variabilités observées.

5.1 Variabilité spatiale – secteur ouest (été 2018 et printemps 2019)

À l'été 2018, les données de conductivité n'ont pas révélé de différence appréciable entre les stations à proximité des prises d'eau et les stations de référence établies en amont des ponts (intrants fluviaux à marée basse) et de part et d'autre de la pointe ouest de l'île d'Orléans (retours d'eau possibles à marée haute). Cette observation vaut également pour d'autres sites qui ont été échantillonnés à l'écart des prises d'eau. Pour l'ensemble des stations dans ce secteur, la conductivité s'est révélée être homogène sur la colonne d'eau, reflétant le vigoureux mélange vertical qui caractérise cette portion du fleuve. Les sites qui ont été visités à marée basse et à marée haute n'ont montré aucune différence significative de la conductivité en fonction du cycle de marée. Ces résultats indiquent que la conductivité des eaux fluviales dans la zone de Québec était entièrement déterminée en amont.

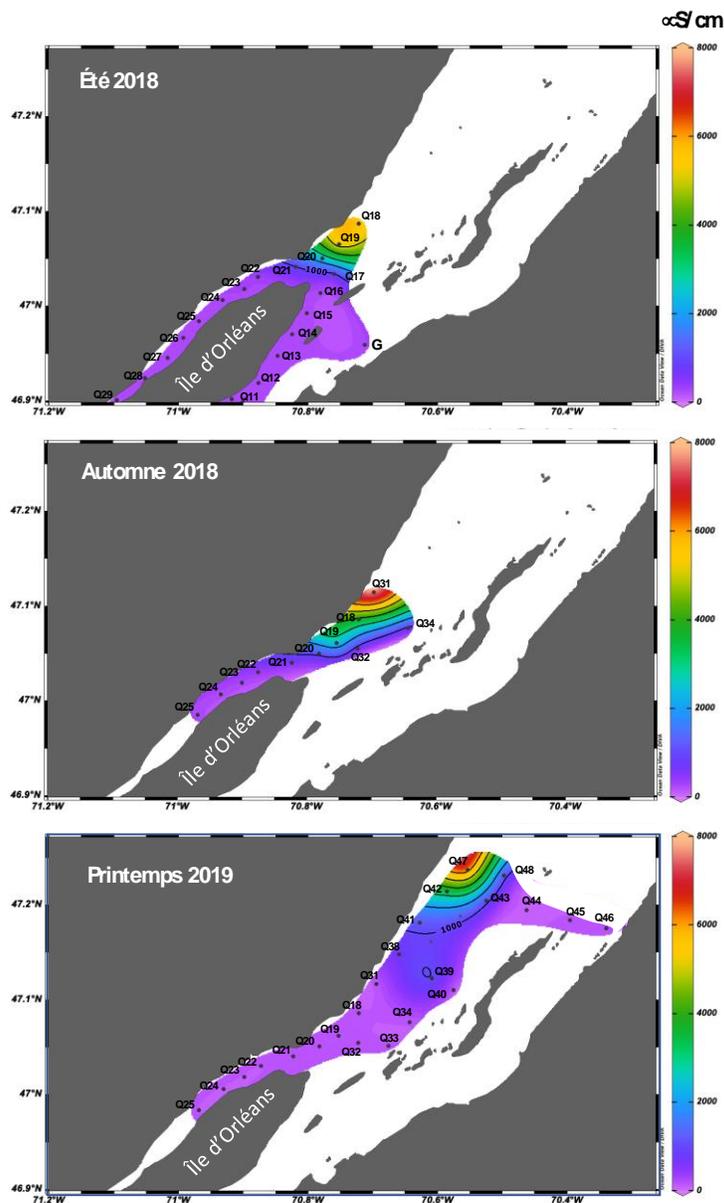
Au printemps 2019, et bien que certaines valeurs de conductivité mesurées en rivière ou très près du rivage au printemps excèdent les valeurs de références fluviales, aucune élévation substantielle de la conductivité n'a été observée aux emplacements des prises d'eau potable. Encore là, les résultats indiquent que les prises d'eau sont exposées principalement à la masse d'eau qui s'écoule dans la portion centrale du fleuve et que la conductivité des eaux qui les alimentent est essentiellement conditionnée en amont du secteur de Québec. La très légère augmentation de conductivité observée à marée haute pour la rivière du Cap-Rouge suggère toutefois qu'il est important de minimiser les apports locaux de sel de déglçage dans la zone en aval.

5.2 Variabilité spatiale – secteur est

Dans le secteur est, les données des trois campagnes indiquent que l'avancée du front salin se fait essentiellement par le chenal nord du fleuve. Cette répartition valide les résultats du modèle de Simons et al. (2010). La figure 2 permet de visualiser la répartition du sel marin en surface, à marée haute, et de comparer cette répartition entre les périodes d'échantillonnage.

De part et d'autre de l'île d'Orléans, la conductivité demeure relativement faible et homogène. Les valeurs augmentent vers le nord-est et cette augmentation débute près de la pointe est de l'île en été, un peu plus à l'est en automne, et loin en aval au printemps.

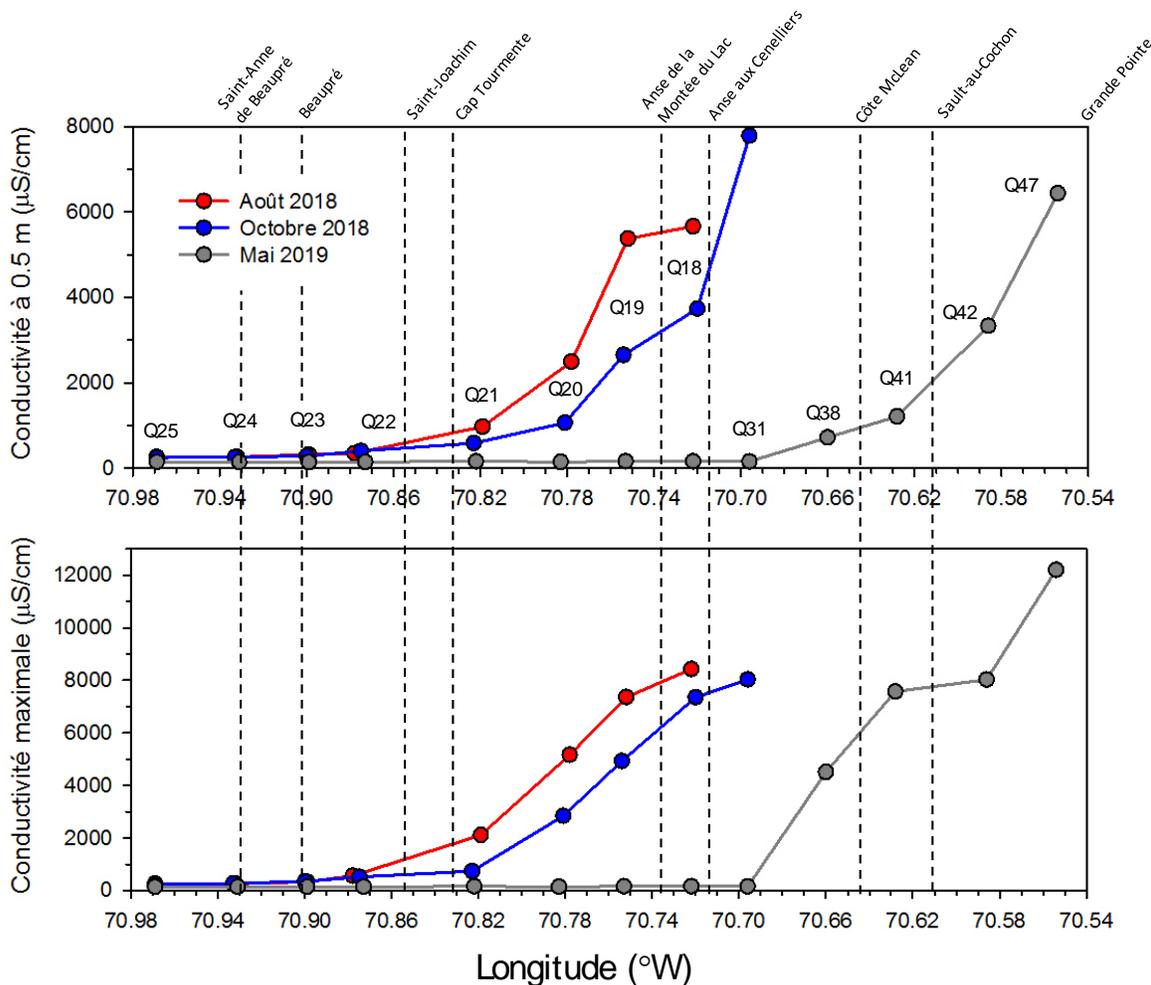
Figure 2 - Répartition horizontale de la conductivité de surface à marée haute pour les échantillonnages d'été, d'automne et de printemps dans le secteur est



La figure 3 permet quant à elle un examen approfondi de la position et de la structure du front salin à marée haute en surface et à la profondeur où l'on observe le maximum de conductivité. On y voit que la zone de transition saline s'amorce entre Beaupré et le Cap Tourmente en été, légèrement plus à l'est à l'automne, près de Saint-Joachim, et beaucoup plus loin au printemps, en aval de l'anse aux Cenelliers. À la profondeur du maximum de conductivité, la transition s'effectue plus abruptement et un peu plus à l'ouest, ce qui suggère que les eaux marines remontent plus aisément

vers l'ouest en profondeur, où elles sont moins freinées par le flux d'eau douce qui varie avec la période d'échantillonnage.

Figure 3 - Comparaison de la conductivité maximale et de la conductivité de surface (0,5 m) à marée haute entre les trois périodes d'échantillonnage



Note : °W signifie la longitude à l'ouest.

Afin de comparer plus précisément la position du front salin entre les trois périodes d'échantillonnage, le tableau 3 rapporte la longitude où l'on retrouve une conductivité de 500 µS/cm ainsi que la distance qui sépare cette position de la prise d'eau de Lévis (Desjardins).

Ce seuil a été retenu, car la valeur de 500 µS/cm est clairement associée à l'extrémité ouest de la ZTS chaque saison et est suffisamment supérieure aux valeurs les plus élevées observées dans le secteur est du fleuve pour éviter toute ambiguïté dans l'attribution de la source de sel.

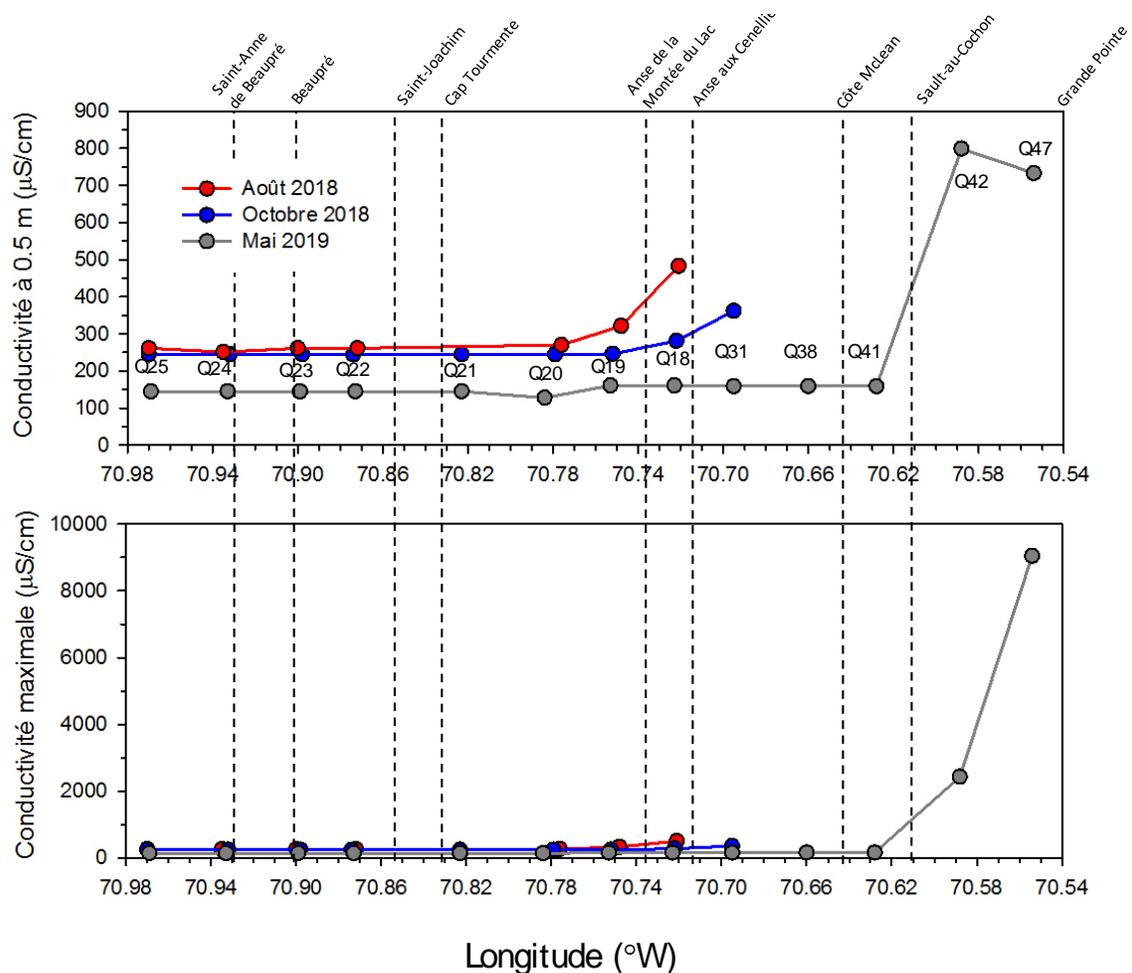
On constate ainsi qu'en profondeur, le front est à 52,6 km en aval de cette municipalité au printemps et qu'il se rapproche à 35,0 km en automne et à 34,6 km en été. Les données présentées pour les stations plus à l'est (station Q25 à Q22) sont relativement faibles et homogènes, ce qui indique qu'il s'agit d'une masse d'eau d'origine fluviale et permet de bien circonscrire le début de la ZTS.

Tableau 3 - Position longitudinale du front salin (seuil de 500 S/cm) et distance qui le sépare de la prise d'eau de Lévis (Desjardins) à marée haute, en surface ou en profondeur

	Surface		Profondeur	
	Longitude (°W)	Distance (km)	Longitude (°W)	Distance (km)
Été	70.864	36,2	70.884	34,6
Automne	70.848	37,5	70.878	35,0
Printemps	70.674	55,5	70.693	52,6

La figure 4 présente les mêmes analyses à marée basse. La comparaison montre qu'en surface, le front salin est décalé encore plus loin vers l'est.

Figure 4 - Comparaison de la conductivité maximale et de la conductivité de surface à marée basse entre les trois périodes d'échantillonnage.



La conductivité maximale observée sur le plan vertical est beaucoup plus élevée au printemps et, pour la station la plus à l'est, se rapproche des valeurs maximales observées à marée haute (tableau 4). Cette station est toutefois plus profonde que les stations visitées à l'été et à l'automne.

Tableau 4 - Position longitudinale du front salin (seuil de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et distance qui le séparent de la prise d'eau de Lévis (Desjardins) à marée basse, en surface et en profondeur

	Surface		Profondeur	
	Longitude ($^{\circ}\text{W}$)	Distance (km)	Longitude ($^{\circ}\text{W}$)	Distance (km)
Été	70.718	49,4	70.721	48,9
Automne	hors zone	hors zone	hors zone	hors zone
Printemps	70.607	64,4	70.622	62,5

5.3 Variabilité temporelle

Dans le cadre de ce projet, des analyses en laboratoire ont permis d'identifier les concentrations en chlorure dans plusieurs échantillons prélevés dans le fleuve. Pour ces stations, il s'avère que la relation globale entre la conductivité et la chlorinité est robuste (figure 5 de la page suivante). Néanmoins, on observe des différences saisonnières dans les valeurs moyennes pour les stations situées à l'ouest du front salin, soit :

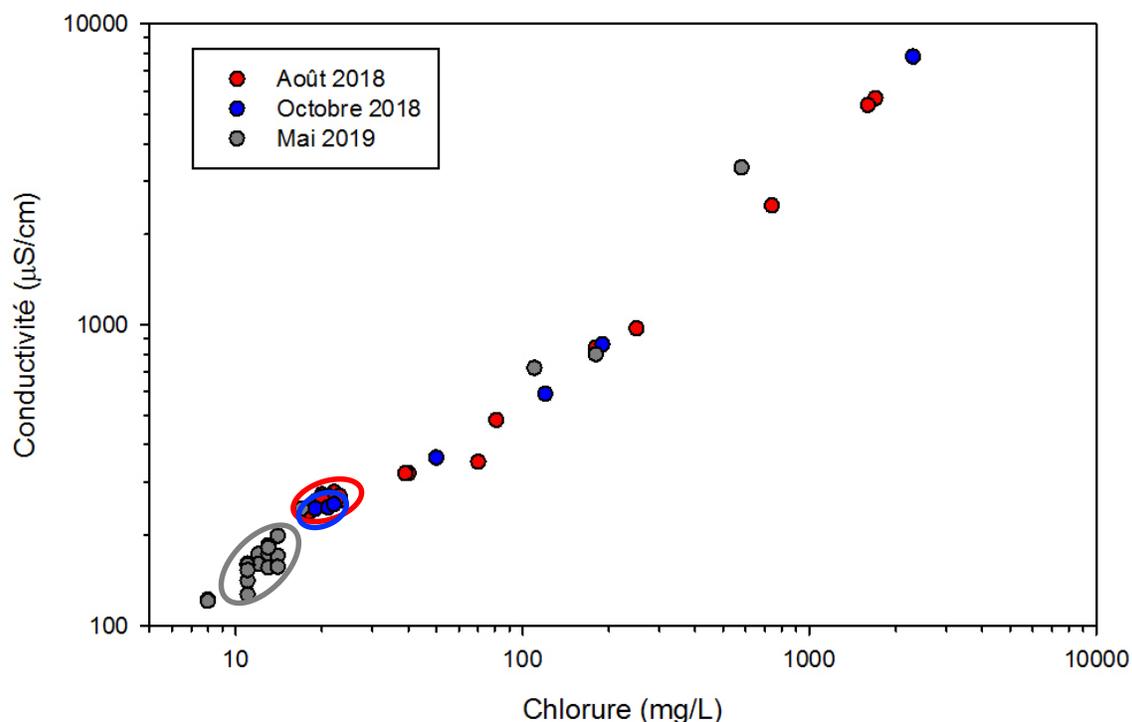
- Les valeurs fluviales de référence de chlorinité sont semblables pour l'été (20 ± 1 mg/L) et l'automne (20 ± 2 mg/L), mais nettement inférieures au printemps (12 ± 1 mg/L).
- Les valeurs correspondantes pour la conductivité sont également inférieures au printemps (158 ± 19 $\mu\text{S}/\text{cm}$), puis relativement élevées à l'automne (253 ± 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et en été (260 ± 11 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Les valeurs de conductivité de l'été et de l'automne correspondent bien aux données de suivi du MELCC⁵ (station 00000106, années 2015-2017), mais les faibles valeurs du printemps n'apparaissent pas dans la banque de données du MELCC. Il faut noter toutefois que cette dernière contient peu de valeurs pour les mois d'avril et mai.

L'écart entre les valeurs de conductivités fluviales de base du printemps et de celles de l'été et de l'automne pourrait être possiblement attribuable à la crue exceptionnelle de 2019, qui fut non seulement alimentée par la fonte des neiges, mais également par des pluies abondantes. La conductivité de l'eau de pluie est généralement beaucoup plus faible que celle des cours d'eau qui la reçoivent. On peut également présumer que le cumul estival de différentes substances (ex. : sels de déglacage, rejets urbains et agricoles) sur tout le fleuve en amont de Québec conduit à des conductivités annuelles maximales en été et au début de l'automne.

Dans l'ensemble, les résultats démontrent que la conductivité est un bon indicateur de la salinité dans la région, mais que pour pouvoir détecter des apports locaux de sel par les berges ou les rivières, il convient d'utiliser des valeurs de référence fluviales propres à la période d'échantillonnage.

⁵ http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/stations/stations_fleuve.asp#onglets

Figure 5 - Relation entre la conductivité mesurée avec le CTD et la concentration de chlorure (ou chlorinité) mesurée sur les échantillons de surface par le CEAEQ

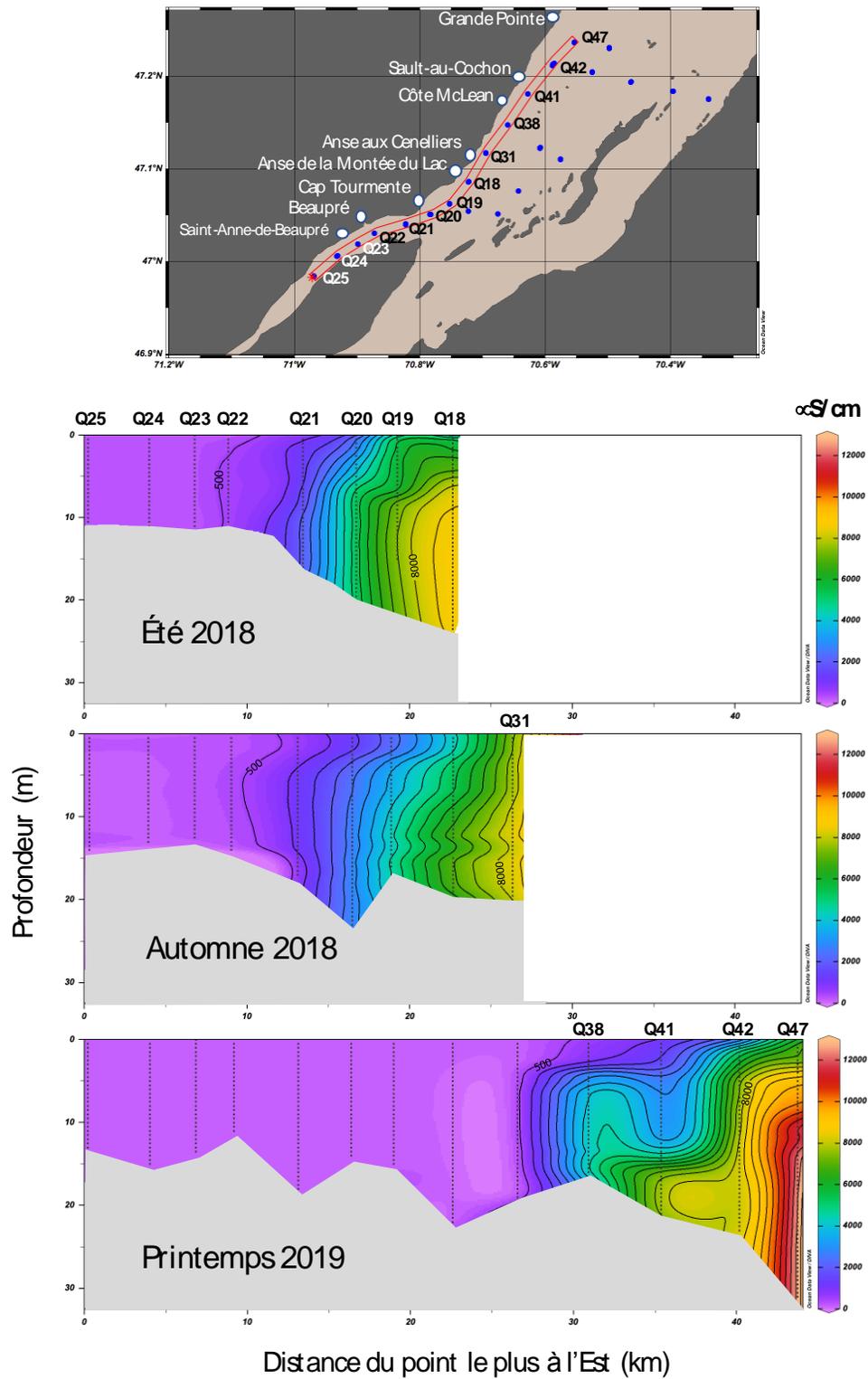


Note : Les cercles incluent les données utilisées pour calculer les moyennes et les écarts types décrits dans le texte pour chaque saison

La figure 6 de la page suivante présente la répartition verticale de la conductivité le long du chenal nord du fleuve et cette dernière montre que les valeurs sont homogènes sur toute la colonne d'eau à l'ouest du transect.

Dans le secteur est, elles montrent une répartition verticale variable selon la saison. En été, la ZTS est bien définie, avec des valeurs de conductivité qui augmentent vers l'est et qui sont relativement homogènes sur le plan vertical. À l'automne, on constate une légère superposition d'eau moins salée en surface. Cette superposition est beaucoup plus prononcée au printemps, ce qui suggère que l'augmentation saisonnière des débits fluviaux fait opposition à l'avancée du front salin.

Figure 6 - Répartition verticale de la conductivité le long d'un transect parcourant le chenal nord du fleuve lors des échantillonnages d'été, d'automne et de printemps dans le secteur est.



Note : la distance entre les isolignes est de 500 µS/cm.

5.4 Causes de la variabilité

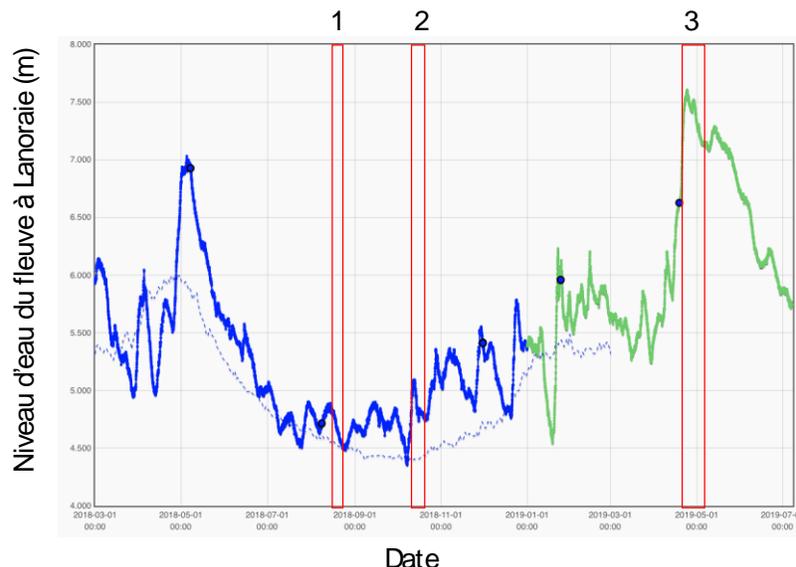
Cette section présente différentes causes qui pourraient expliquer la variabilité spatiale et temporelle de la conductivité dans le fleuve Saint-Laurent.

5.4.1 Le débit du fleuve

Dans la région de Québec, il n'y a pas de mesures du débit du fleuve. La seule station où ces valeurs sont disponibles se trouve à LaSalle, à 265 km en amont. Les débits y sont estimés à partir des niveaux d'eau enregistrés localement. Toutefois, à cause de sa localisation, la station de LaSalle ne tient pas compte des apports provenant de la rivière Ottawa. L'Observatoire Global du Saint-Laurent (OGSL)⁶ fournit une estimation des débits moyens mensuels à Québec basée sur le modèle de Bourgault et Koutitonsky (1999), mais les données ne sont pas encore disponibles pour 2019 (elles ont été demandées).

Afin de pallier temporairement à ce manque, nous avons établi une relation entre les débits modélisés à Québec et les hauteurs d'eau historiques à la station hydrométrique de Lanoraie⁷ située juste en amont du lac Saint-Pierre et de la zone d'influence de marée (figure 7). La relation est excellente ($r^2=0.94$) pour les mois d'avril, mai et juin, permettant d'estimer provisoirement le débit moyen à 22 012 m³/s durant l'échantillonnage du printemps 2019. Cette valeur est largement supérieure à la moyenne mensuelle donnée par l'OGSL pour août (10 954 m³/s) et octobre 2018 (12 300 m³/s). Afin d'obtenir une indication de la variabilité plus fine des débits durant l'étude, la figure 7 montre l'évolution des niveaux d'eau à Lanoraie ainsi que des statistiques calculées sur les valeurs historiques. On y voit clairement que l'échantillonnage du printemps a bien capturé la crue et que cette crue s'est avérée exceptionnellement forte par rapport à la médiane historique (regarder le printemps 2018 pour visualiser cette dernière). Les niveaux d'eau de l'été et de l'automne étaient en revanche relativement proches des valeurs médianes.

Figure 7 - Niveaux d'eau à la station hydrométrique de Lanoraie



Note : Les niveaux d'eau sont en lien avec les périodes d'échantillonnage (rectangles rouges) estival (1), automnal (2) et printanier (3). Les traits pointillés indiquent la médiane calculée sur les données à long terme (1889-2018)

⁶ <https://test-www.ogsl.ca/fr/oceanographie/debits>

⁷ <https://eau.ec.gc.ca/>

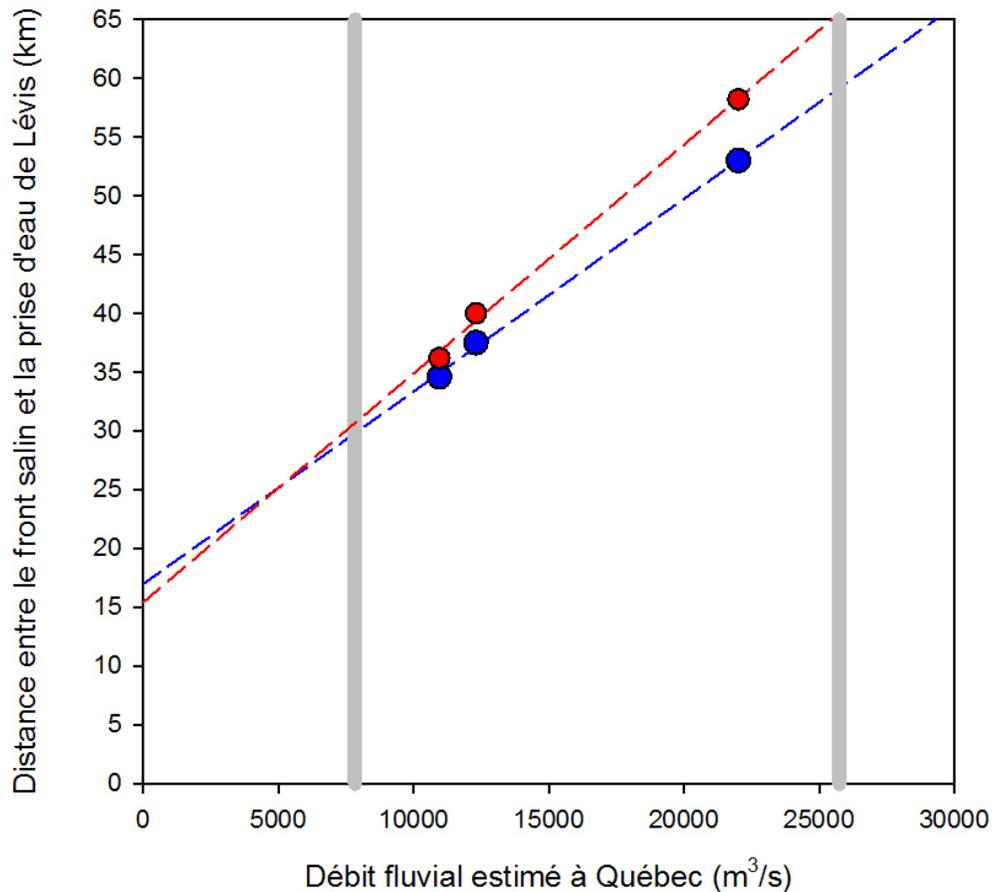
La figure 8 montre la relation positive entre le débit mensuel moyen observé lors des trois périodes d'échantillonnage et la distance qui sépare la prise d'eau de Lévis du front salin en surface ou en profondeur, tel que défini par un seuil de conductivité de 500 uS/cm (basé ici sur les valeurs de conductivité brutes). Ce graphique indique qu'en 2018-2019, le débit fluvial est le principal déterminant de l'avancée du front salin à marée haute.

En supposant pour l'instant que toute autre chose demeure égale (par ex. : niveau de la mer), on peut, sous toute réserve, extrapoler les droites de régression de la figure 8 pour évaluer l'impact possible d'une diminution de débit sur la position du front salin à marée haute. On estime ainsi que le débit historique minimum rapporté sur le site de l'OGSL (7822 m³/s en septembre 1964) aurait pu permettre au front salin de s'avancer jusqu'à Sainte-Anne-de-Beaupré tout au plus. Puisque la première prise d'eau de la CMQ (Lévis) se trouve à 31 km en amont de ce point, il apparaît très improbable qu'une chute de débit puisse à elle seule amener le sel marin jusqu'à ce point. Selon la figure 8, une chute hypothétique aussi considérable que 50 % du débit minimum record permettrait une avancée de 8 km seulement.

Le débit du fleuve Saint-Laurent est étroitement lié au niveau d'eau du lac Ontario ainsi qu'aux apports latéraux par les rivières. Le minimum record de débit de 1964 correspondait également au minimum record de niveau d'eau (74.00 m)⁸ dans le Lac Ontario (voir aussi Moulton et Cuthbert 2001). Par comparaison, les niveaux d'eau moyens dans le lac Ontario étaient de 74.91 m au 15 août 2018 et de 75.42 m au 1^{er} mai 2019¹⁰. En utilisant ces valeurs on peut estimer qu'il faudrait que le niveau du lac Ontario baisse à 73.28 m, soit environ 72 cm sous le minimum record pour que le front salin puisse avancer jusqu'à la prise d'eau de Lévis. Il faut par ailleurs noter que le chenal de propagation situé au nord de l'île d'Orléans est très peu profond et qu'il fait partiellement obstacle à l'avancée des eaux les plus salées qui se retrouvent en profondeur à l'est de la zone d'étude (figure 5). L'eau salée qui éventuellement pourrait arriver à la pointe ouest de l'île d'Orléans serait par ailleurs en partie diluée dans la zone profonde de mélange vertical intense à proximité de la station Q10, ce qui en atténuerait l'impact sur les prises d'eau plus à l'ouest.

⁸ <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eau-aperçu/volume/niveaux-grands-lacs-donnees-connexes.html>

Figure 8 - Relation entre le débit fluvial mensuel moyen à Québec (estimé) et la distance qui sépare la prise d'eau de Lévis front salin en surface (rouge) et en profondeur (bleu) à marée haute.



Note : Les barres verticales grises indiquent le minimum et le maximum record de débit estimé entre 1950 et 2018 (tiré du site de l'OGSL).

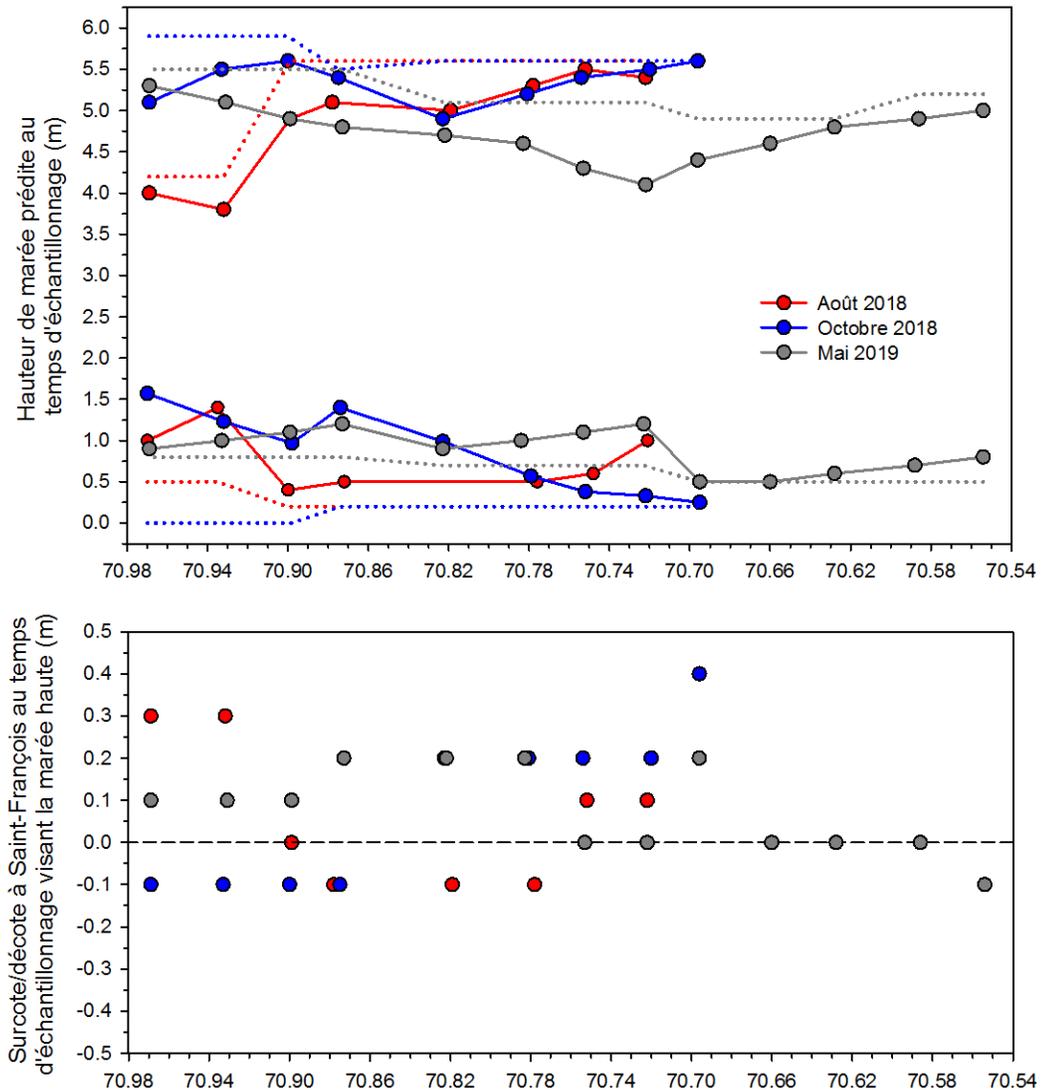
5.4.2 Les marées

À l'est de la longitude 70.9 °W, les hauteurs prédites⁹ pour l'étal de marée basse ou haute (lignes pointillées) sont très semblables à l'été et à l'automne (figure 9 à la page suivante). Au printemps toutefois, l'étal de marée haute est généralement inférieur de 0,5 m tandis que l'étal de marée basse est supérieur de 0,5 m par rapport aux autres saisons. Ces différences pourraient entraîner une légère sous-estimation de l'avancée du front salin à marée haute, ainsi qu'une surestimation à marée basse au printemps. En raison des contraintes logistiques mentionnées précédemment, la hauteur de marée prédite au moment de l'échantillonnage est le plus souvent inférieure à celle de l'étal pour la marée haute et supérieure à celle de l'étal pour la marée basse. Les données de la figure 9 montrent que ces écarts sont presque toujours inférieurs à 10,0 % et ne montrent pas de biais systématiques entre les périodes d'échantillonnage. On note toutefois qu'à partir de la limite est de la zone d'étude, les écarts s'accroissent vers l'ouest à marée haute et peuvent alors causer une légère sous-estimation de l'avancée du front salin.

⁹http://www.tides.gc.ca/C&A/network_means-eng.html

Par ailleurs, toutes les hauteurs de marée de la figure 9 sont des valeurs prédites qui ne tiennent pas compte d'une possible surcote ou décote des niveaux d'eau causés par le vent. Il n'est pas techniquement faisable de mesurer ces cotes à chaque station, mais les données horaires du marégraphe de Saint-François de l'île d'Orléans peuvent être utilisées à titre indicatif pour chaque temps d'échantillonnage.

Figure 9 - État des marées lors des différentes sorties visant à établir la position du front salin marin dans l'est de la zone d'étude



Note : Les hauteurs prédites pour l'étal de marée basse ou haute correspondent aux lignes pointillées.

Dans 47,0 % des cas, il n'y a pas de surcote ou une légère décote de 10 cm. Les surcotes sont égales ou inférieures à 20 cm, avec une valeur maximale de 40 cm pour une station d'automne. Il faut toutefois noter qu'une surcote locale n'implique pas un mouvement d'eau d'est en ouest ni une avancée du front salin.

La fenêtre temporelle d'échantillonnage du projet est trop courte pour évaluer un probable impact de la hausse du niveau de la mer. Cette hausse aurait pour effet d'augmenter les niveaux d'eau qui accompagnent les marées hautes et pourrait se traduire par une pénétration plus importante du sel marin vers l'ouest. Pour quantifier ces mesures, il faudrait faire un suivi sur de nombreuses années voire des décennies.

À titre indicatif, les données de la figure 9 et des tableaux 3 et 4 permettent d'estimer qu'une différence moyenne de hauteur d'eau d'environ 4 m entre nos échantillonnages visant les marées hautes et basses se traduit par un écart moyen de 15 km dans la position du front salin en considérant l'ensemble des données d'été et d'automne. Un calcul simplifié, encore une fois effectué sous toute réserve, permet de formuler l'hypothèse que chaque mètre additionnel de hauteur d'eau pourrait se traduire par une avancée d'environ 4 km du front salin à marée haute. Il est entendu que cette projection est simpliste puisqu'on ne peut pas supposer qu'une hausse du niveau de la mer est équivalente à un flux de marée. Il faudrait tenir compte de la dynamique physique complexe du fleuve et des marées afin d'évaluer les effets combinés du débit fluvial et de la hausse du niveau de la mer sur la propagation de l'eau marine vers l'ouest.

Pour l'automne, une comparaison des données récoltées ici en 2018 avec celles obtenues à marée descendante lors d'une expédition du navire Coriolis en septembre 2006¹⁰ indique des profils verticaux de conductivité pratiquement identiques pour la station Q20. Une comparaison semblable effectuée pour la station Q31 suggère que les eaux en face de l'anse aux Cenelliers étaient légèrement plus salées en 2018 qu'en 2006 à l'automne, mais la différence est minime. Cette différence est également présente lorsqu'on compare les données de la campagne d'août 2018 avec celles de la mission à bord du Coriolis pour les stations Q18 et Q20. Bien que très limitée, cette comparaison suggère que la position du front salin en période de faible débit à la fin de l'été et au début de l'automne n'a pas changé de manière significative durant la dernière décennie.

5.4.3 Apports terrestres

La conductivité relativement élevée mesurée à pied sous le pilier nord du pont Pierre-Laporte, immédiatement en aval, pourrait résulter d'une influence du dépôt à neige temporaire, d'un apport de la rivière Cap-Rouge, ou d'une combinaison des deux. Il est également possible que la fonte et un lessivage amplifié des routes par les précipitations abondantes aient apporté du sel au fleuve ailleurs qu'à proximité immédiate des dépôts, via des apports diffus ou du ruissellement. De tels apports pourraient expliquer les valeurs de conductivité intermédiaires mesurées le long de la rive nord entre le secteur des ponts et l'estuaire de la rivière Saint-Charles.

¹⁰ Données obtenues via l'Institut Maurice-Lamontagne (Pêches et Océans) et provenant d'une campagne dirigée par Yves Gélinas (Université Concordia) à bord du navire Coriolis en septembre 2006.

6. CONCLUSION

Dans le cadre d'un projet visant à mieux comprendre la variabilité spatiale et temporelle actuelle et future de la salinité dans la ZTS, Québec-Océan et l'INREST ont obtenu le mandat d'élaborer une campagne d'échantillonnage afin de colliger des données de salinité dans le fleuve Saint-Laurent. Cet exercice avait pour objectif de renforcer des analyses visant à évaluer la variabilité temporelle et spatiale actuelle de la salinité de l'eau à proximité et à l'entrée des prises d'eau potable des villes de Québec et de Lévis. Au total, le projet d'échantillonnage a permis de visiter 211 stations, dont 66 à l'été, 23 à l'automne et 122 au printemps.

Les données récoltées n'ont montré aucune anomalie significative de la conductivité dans le secteur ouest de la zone d'étude, à proximité des prises d'eau potable. Il s'avère en fait que les prises d'eau sont davantage sujettes aux intrants qui proviennent de l'amont du fleuve, puisqu'au gré des saisons, elles montrent des valeurs de conductivité qui suivent les valeurs de référence fluviales établies à l'extrémité ouest de la zone d'étude.

Pour le secteur est, les données d'été, d'automne et de printemps indiquent que l'avancée du front salin se fait essentiellement par le chenal nord du fleuve. De part et d'autre de l'île d'Orléans, on observe que la conductivité demeure relativement faible et homogène. Les valeurs augmentent vers le nord-est et cette augmentation débute près de la pointe est de l'Île en été, un peu plus à l'est en automne, et loin en aval au printemps. Les seules stations où la conductivité des eaux de surface dépassait la borne supérieure des valeurs de base se trouvaient à l'extrême est de la zone d'étude. On y voit que la zone de transition saline s'amorce entre Beaupré et le Cap-Tourmente en été, légèrement plus à l'est à l'automne, près de Saint-Joachim, et beaucoup plus loin au printemps, en aval de l'anse aux Cenelliers. Toujours dans le secteur est, on observe l'influence de l'eau marine sur une distance d'environ 8 km à l'intérieur du chenal nord alors que la distance correspondante est de 3 km pour le chenal sud. Cette ségrégation des eaux marines entre le nord et le sud-est compatible avec les prévisions faites par modélisation numérique (Simons et al. 2010).

De façon générale, il s'avère que l'entièreté du domaine fluvial de la CMQ incluant les prises d'eau de Québec et de Lévis est présentement hors de portée du front salin marin, qui se trouve loin en aval du côté nord du fleuve. Aussi, la position de ce front est contrainte par le débit du fleuve et la marée; il avance en période de faible débit (été) et lorsque la marée monte.

Une extrapolation des résultats actuels à 1964, année durant laquelle un minimum historique de débit fut atteint, suggère que le front aurait alors pu pénétrer jusqu'à Sainte-Anne-de-Beaupré tout au plus. Il apparaît donc peu probable qu'une future réduction hypothétique, même majeure, du débit fluvial puisse à elle seule permettre au front salin d'atteindre la prise d'eau de Lévis. La hausse anticipée du niveau de la mer pourrait faciliter l'avancée du front, mais l'impact de ce changement ne peut pas être évalué avec les données actuelles puisqu'elles couvrent une période de 9 mois et qu'il n'y a pas suffisamment de données historiques antérieures pour évaluer un possible changement dans le temps. Un suivi multiannuel à long terme de la position du front salin serait utile pour répondre à cette question. Pour l'instant, les données indiquent que le débit du fleuve exerce une influence prépondérante sur la position du front salin. Une approche par modélisation numérique tenant compte de l'ensemble des variables serait requise pour élaborer des scénarios futurs plausibles.

7. RÉFÉRENCES

Bourgault, D., et V.G. Koutitonsky 1999. Real-Time Monitoring of the Freshwater Discharge at the Head of the St. Lawrence Estuary. *Atmosphere-Ocean* 37, 203-220.

Moulton, R.J. et D.R. Cuthbert 2000. Cumulative Impacts/Risk Assessment of Water Removal or Loss from the Great Lakes-St. Lawrence River System. *Canadian Water Resources Journal*, 25 (2), 181-208.

Parsons, TR (1984) A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon.

Simons, RD, SG Monismith, FJ Saucier, LE Johnson and G Winkler (2010). Modelling the stratification and baroclinic flow in the estuarine transition zone of the St. Lawrence estuary. *Atmosphere-Ocean* 48(2), 132-146.

Trépanier, J., 2011. Diagnostic du bassin versant de la rivière du Cap Rouge. Organisme des bassins versants de la Capitale, Québec. 115 pages.

ANNEXE 1

DONNÉES DES TROIS CAMPAGNES D'ÉCHANTILLONNAGES

Mission QO	Période	Station	Phase de marée ciblée	Accès	Type	Cast-CTD	Date	Heure locale	Longitude [degrés_W]	Latitude [degrés_N]	Marée prédite [m] heure prélèvement	Décote -)/Surcote(+)[m] à St-François IO	Marée Basse [m] prédite	Marée haute [m] prédite	Profondeur fond [m]	Température 0.5 m [deg C]	Cond. spécif. 0.5 m [uSiemens/cm]	Cond. spécif. - max [uSiemens/cm]	Depth Cond. max [m]	Salinité CTD 0.5 m [psu]	Profondeur bouteille [m]	Salinity AutoSal [psu]	Chlorures-CEAEQ [mg/L]
2018007	Été	Q27	H	Embarcation	Général	1	2018-08-14	08:22	71,034	46,9331	5,3	0,0	0,00	5,50	21,0	25,15	259	259	0,5	0,124	0,5	20	
2018007	Été	Q28	H	Embarcation	Général	2	2018-08-14	09:18	71,052	46,9242	5,4	0,1	0,00	5,50	20,0	25,17	259	259	0,5	0,124	0,5	20	
2018007	Été	Q29	H	Embarcation	Général	3	2018-08-14	09:42	71,096	46,9010	5,1	0,0	0,00	5,50	16,0	25,18	259	259	0,5	0,124	0,5	19	
2018007	Été	Q30	H	Embarcation	Général	4	2018-08-14	10:16	71,141	46,8590	4,6	0,0	0,00	5,50	20,0	25,07	260	260	0,5	0,127	0,5	20	
2018007	Été	Q10	H	Embarcation	Émissaire	5	2018-08-14	10:41	71,182	46,8300	4,6	-0,1	0,20	5,60	56,0	25,03	260	290	47,6	0,127	0,5	23	
2018007	Été	Q10	H	Embarcation	Émissaire	5	2018-08-14	10:41	71,182	46,8300	4,6	-0,1	0,20	5,60	56,0	24,97	260	290	47,6	0,138	52,5	20	
2018007	Été	P2	I	Embarcation	Général	6	2018-08-14	11:38	71,197	46,8194	3,8	-0,1	0,40	5,60	26,0	25,05	260	280	0,5	0,127	0,5	20	
2018007	Été	P1	I	Embarcation	Général	7	2018-08-14	12:01	71,204	46,8243	3,5	-0,1	0,40	5,60	18,0	25,43	278	258	0,5	0,135	0,5	22	
2018007	Été	Q26	B	Embarcation	Général	8	2018-08-14	14:24	70,990	46,9674	1,5	-0,1	0,00	6,10	9,0	25,24	259	259	0,5	0,124	0,5	19	
2018007	Été	Q27	B	Embarcation	Général	9	2018-08-14	14:44	71,020	46,9428	1,2	-0,1	0,00	5,50	14,0	25,18	259	259	0,5	0,125	0,5	20	
2018007	Été	Q28	B	Embarcation	Général	10	2018-08-14	15:07	71,047	46,9266	1,0	-0,1	0,00	5,50	15,0	25,27	259	259	0,5	0,126	0,5	20	
2018007	Été	Q29	B	Embarcation	Général	11	2018-08-14	15:27	71,097	46,9004	0,6	-0,1	0,00	5,50	12,0	25,19	259	259	0,5	0,127	0,5	20	
2018007	Été	Q30	B	Embarcation	Général	12	2018-08-14	15:49	71,141	46,8603	0,3	-0,1	0,00	5,50	15,0	25,21	259	259	0,5	0,126	0,5	20	
2018007	Été	Q10	B	Embarcation	Général	13	2018-08-14	16:07	71,179	46,8330	0,7	-0,1	0,20	5,60	49,0	25,31	258	268	0,5	0,126	0,5	20	
2018007	Été	Q09	B	Embarcation	Prise eau	14	2018-08-14	16:42	71,193	46,8022	0,5	0,0	0,50	5,50	35,0	25,37	268	258	0,5	0,129	0,5	20	
2018007	Été	B	B	Embarcation	Général	15	2018-08-14	17:33	71,195	46,8069	0,7	0,1	0,50	5,10	36,0	25,33	258	258	0,5	0,125	0,5	20	
2018007	Été	A	B	Embarcation	Général	16	2018-08-14	17:53	71,203	46,8056	0,9	0,1	0,50	5,10	18,0	25,35	258	258	0,5	0,125	0,5	19	
2018007	Été	Q9	H	Embarcation	Prise eau	17	2018-08-15	08:58	71,191	46,8058	4,9	0,0	0,60	5,30	29,0	25,29	259	259	0,5	0,127	0,5	20	
2018007	Été	B	H	Embarcation	Général	18	2018-08-15	09:21	71,200	46,7985	5,1	0,0	0,60	5,30	36,0	25,29	258	258	0,5	0,126	0,5	20	
2018007	Été	A	H	Embarcation	Général	19	2018-08-15	09:45	71,203	46,8065	5,2	0,1	0,60	5,30	24,0	25,28	259	269	0,5	0,126	0,5	20	
2018007	Été	Q8	H	Embarcation	Prise eau	20	2018-08-15	10:13	71,251	46,7551	5,2	0,1	0,60	5,30	7,0	25,40	268	268	0,5	0,130	0,5	21	
2018007	Été	Q7	H	Embarcation	Général	21	2018-08-15	10:41	71,280	46,7445	5,0	0,0	0,70	5,10	6,0	25,38	268	258	0,5	0,129	0,5	20	
2018007	Été	Q6	H	Embarcation	Général	22	2018-08-15	11:15	71,287	46,7482	4,7	0,0	0,70	5,10	10,0	25,32	258	258	0,5	0,126	0,5	20	
2018007	Été	Q5	H	Embarcation	Prise eau	23	2018-08-15	11:46	71,350	46,7379	4,3	-0,1	0,70	4,70	12,0	25,42	258	268	0,5	0,124	0,5	20	
2018007	Été	Q2	H	Embarcation	Général	24	2018-08-15	12:13	71,356	46,7240	4,1	-0,1	0,70	4,70	25,0	25,36	268	258	0,5	0,128	0,5	20	
2018007	Été	P3	B	Embarcation	Général	25	2018-08-15	14:57	71,192	46,8297	1,8	-0,1	0,40	5,30	23,0	25,25	259	259	0,5	0,127	0,5	20	
2018007	Été	P4	B	Embarcation	Général	26	2018-08-15	15:18	71,190	46,8385	1,6	-0,1	0,40	5,30	3,0	25,15	259	259	0,5	0,126	0,5	20	
2018007	Été	Q11	B	Embarcation	Général	27	2018-08-15	16:14	70,921	46,9001	0,4	-0,1	0,10	5,50	13,0	25,20	259	239	0,5	0,127	0,5	20	
2018007	Été	Q5	B	Embarcation	Prise eau	29	2018-08-15	18:03	71,350	46,7366	0,7	0,2	0,70	4,60	9,0	25,48	238	267	0,5	0,115	0,5	18	
2018007	Été	Q2	B	Embarcation	Général	30	2018-08-15	18:21	71,356	46,7245	0,9	0,2	0,70	4,60	20,0	25,56	267	267	14,4	0,129	0,5	20	
2018007	Été	Q18	H	Embarcation	Général	31	2018-08-16	09:42	70,722	47,0869	5,4	0,1	0,10	5,60	24,0	23,28	5665	8429	12,4	3,058	5,6	1700	
2018007	Été	Q19	H	Embarcation	Général	32	2018-08-16	10:19	70,752	47,0653	5,5	0,1	0,20	5,60	17,0	23,37	5376	7361	12,4	2,908	0,5	1600	
2018007	Été	Q20	H	Embarcation	Général	33	2018-08-16	10:45	70,778	47,0507	5,3	-0,1	0,20	5,60	22,0	24,29	2495	5163	11,4	1,283	0,5	740	
2018007	Été	Q21	H	Embarcation	Général	34	2018-08-16	11:03	70,819	47,0415	5,0	-0,1	0,20	5,60	18,0	24,79	974	2109	4,5	0,478	0,5	250	
2018007	Été	Q22	H	Embarcation	Général	35	2018-08-16	11:23	70,878	47,0306	5,1	-0,1	0,20	5,60	12,0	24,95	350	561	1,0	0,172	0,5	70	
2018007	Été	Q23	H	Embarcation	Général	36	2018-08-16	11:39	70,899	47,0182	4,9	0,0	0,30	5,60	13,0	24,90	321	331	12,4	0,155	0,5	40	
2018007	Été	Q18	B	Embarcation	Général	37	2018-08-16	15:14	70,721	47,0872	1,0	-0,1	0,20	5,60	17,0	24,74	483	503	1,5	0,233	0,5	81	
2018007	Été	Q19	B	Embarcation	Général	38	2018-08-16	15:42	70,748	47,0621	0,6	0,0	0,20	5,60	11,0	24,79	321	331	0,5	0,156	0,5	39	
2018007	Été	Q20	B	Embarcation	Général	39	2018-08-16	16:05	70,776	47,0508	0,5	0,0	0,20	5,60	19,0	25,01	270	270	0,5	0,129	0,5	23	
2018007	Été	Q23	B	Embarcation	Général	40	2018-08-16	17:26	70,900	47,0179	0,4	0,0	0,20	5,40	9,0	24,88	261	261	0,5	0,126	0,5	20	
2018007	Été	Q22	B	Embarcation	Général	41	2018-08-16	17:51	70,872	47,0308	0,5	0,3	0,20	5,40	10,0	24,86	261	261	0,5	0,125	0,5	20	
2018007	Été	Q24	B	Embarcation	Général	42	2018-08-16	18:19	70,935	47,0055	1,4	0,3	0,50	5,30	9,0	24,87	251	261	0,5	0,122	0,5	20	
2018007	Été	Q25	B	Embarcation	Général	43	2018-08-16	18:46	70,970	46,9836	1,0	0,5	0,50	5,30	10,0	24,89	261	261	1,5	0,126	0,5	20	
2018007	Été	Q17	H	Embarcation	Général	44	2018-08-20	13:32	70,760	47,0340	3,6	0,0	1,00	3,70	20,0	23,85	839	849	1,0	0,412	0,5	409	
2018007	Été	Q16	H	Embarcation	Général	45	2018-08-20	13:51	70,781	47,0141	3,7	0,0	0,90	4,10	17,0	24,70	292	302	1,0	0,143	0,5	144	
2018007	Été	Q15	H	Embarcation	Général	46	2018-08-20	14:06	70,802	46,9928	4,1	0,0	1,10	4,10	17,0	24,92	180	270	0,5	0,101	0,5	129	
2018007	Été	Q14	H	Embarcation	Général	47	2018-08-20	14:21	70,825	46,9704	4,1	0,0	1,10	4,10	18,0	24,57	262	262	1,0	0,128	0,5	20	
2018007	Été	Q13	H	Embarcation	Général	48	2018-08-20	14:36	70,847	46,9476	4,1	-0,2	1,10	4,10	18,0	24,68	262	272	0,5	0,129	0,5	129	
2018007	Été	Q12	H	Embarcation	Général	49	2018-08-20	14:52	70,877	46,9189	3,7	-0,2	0,50	3,70	21,0	24,26	264	264	0,5	0,129	0,5	129	
2018007	Été	D	H	Embarcation	Général	50	2018-08-20	15:09	70,892	46,8959	3,7	-0,2	0,70	3,70	18,0	24,40	263	263	0,5	0,129	0,5	21	
2018007	Été	E	H	Embarcation	Général	51	2018-08-20	15:21	70,901	46,8987	3,5	-0,2	0,70	3,70	24,0	24,40	273	273	0,5	0,131	0,5	20	
2018007	Été	Q11	H	Embarcation	Général	52	2018-08-20	15:36	70,918	46,9018	3,4	-0,1	0,70	3,70	17,0	24,37	203	263	0,5	0,110	0,5	20	
2018007	Été	G	H	Embarcation	Général	53	2018-08-20	16:07	70,713	46,9591	3,3	-0,1	1,10	4,10	14,0	25,14	269	269	0,5	0,130	0,5	21	
2018007	Été	Q17	B	Embarcation	Général	54	2018-08-21	09:24	70,759	47,0337	1,0	-0,1	1,00	3,60	16,0	24,23	264	264	0,5	0,129	0,5	21	
2018007	Été	Q16	B	Embarcation	Général	55	2018-08-21	09:38	70,784	47,0122	1,0	0,0	0,80	4,70	15,0	24,11	265	265	0,5	0,129	0,5	130	
2018007	Été	Q15	B	Embarcation	Général	56	2018-08-21	09:51	70,804	46,9915	0,8	0,0	0,80	4,70	15,0	24,03	265	265	0,5	0,129	0,5	129	
2018007	Été	Q14	B	Embarcation	Général	57	2018-08-21	10:05	70,825	46,9688	0,8	0,0	0,80	4,10	15,0	23,98	265	265	0,5	0,128	0,5	20	
2018007	Été	Q13	B	Embarcation	Général	58	2018-08-21	10:20	70,849	46,944													

Mission OO	Période	Station	Phase de marée	Accès	Type	Case-CTD	Date	Heure locale	Longitude [degrés W]	Latitude [degrés N]	Marée prédite [m]	Décote (y)Scotote(s) [m]	Marée Base [m]	Marée haute [m]	Profondeur fond [m]	Température 0.5 m [deg C]	Cond. spécif. 0.5 m [µSiemens/cm]	Cond. spécif. - max [µSiemens/cm]	Depth Cond. max [m]	Salinité CTD 0.5 [psu]	Profondeur bouteille [m]	Salinité AutoSal [psu]	Chlorures -CEAEO [mg/L]
			ciblé								heure prélevement	à St-François IO	prédite	prédite									
2018010	Automne	O24	H	Embarcation	Général	12	2018-10-10	08:06	70.933	47.0068	5.5	0.0	5.9	15.9	13.42	260	273	0	5.9	0.122	0.5		
2018010	Automne	O25	H	Embarcation	Général	13	2018-10-10	08:24	70.969	46.9851	5.1	-0.1	0.0	5.9	15.9	13.51	247	247	0.5	0.118	0.5		
2018010	Automne	O31	H	Embarcation	Général	14	2018-10-12	08:13	70.696	47.1144	5.6	0.4	0.0	5.6	23.8	11.49	7784	8031	11.4	4.288	0.5	2300	
2018010	Automne	O18	H	Embarcation	Général	15	2018-10-12	08:39	70.720	47.0899	5.5	0.2	0.0	5.6	21.6	11.93	3737	7362	14.9	1.974	0.5		
2018010	Automne	O19	H	Embarcation	Général	16	2018-10-12	08:58	70.764	47.0818	5.4	0.2	0.0	5.6	18.0	11.85	2652	4926	12.4	1.365	0.5		
2018010	Automne	O20	H	Embarcation	Général	17	2018-10-12	09:10	70.781	47.0499	5.2	0.2	0.0	5.6	24.0	12.15	1063	2840	22.3	0.512	0.5		
2018010	Automne	O21	H	Embarcation	Général	18	2018-10-12	09:27	70.823	47.0403	4.9	0.2	0.4	5.6	18.0	12.29	590	738	7.4	0.283	0.5	120	
2018010	Automne	O32	H	Embarcation	Général	19	2018-10-12	09:55	70.721	47.0553	4.4	0.2	0.4	5.6	8.5	12.05	729	3212	6.4	0.352	0.5		
2018010	Automne	O34	H	Embarcation	Général	20	2018-10-13	08:37	70.643	47.0777	5.1	0.1	0.2	5.3	12.0	11.60	861	874	1.0	0.423	0.5	190	
2018010	Automne	O34	B	Embarcation	Général	21	2018-10-17	07:27	70.844	47.0733	1.3	-0.5	1.2	3.7	1.2	10.53	253	253	0.5	0.118	0.5	22	
2018010	Automne	O33	B	Embarcation	Général	NA	2018-10-17	08:19	70.679	47.049	1.7	0.2	1.2	3.7	1.0				0		0.5	22	
2018010	Automne	O35	B	Embarcation	Général	NA	2018-10-17	08:37	70.692	47.000	1.8	0.4	1.2	3.7	0.5				0		0.5		
2018010	Automne	O36	B	Embarcation	Général	NA	2018-10-17	08:45	70.678	46.985	1.9	0.4	1.2	3.7	11.5				0		0.5		
2018010	Automne	O37	H	Embarcation	Général	NA	2018-10-17	08:53	70.677	46.979	1.9	0.4	1.2	3.7	11.5				0		0.5	18	
2019005	Printemps	P1P	B	Temestre	Rivage	1	2019-04-17	11:38	71.203	46.8136	1.2	0.1	0.6	4.9	3.0	3.25	248	248	0	0.112	0.5	0.117	21
2019005	Printemps	AAF	B	Temestre	Rivage	4	2019-04-17	13:16	71.226	46.7920	0.8	0.3	0.6	5.3	2.0	5.62	278	278	0	0.128	0.5	0.121	23
2019005	Printemps	BB	B	Temestre	Rivage	5	2019-04-17	13:34	71.213	46.7987	1.0	0.3	0.6	5.3	1.0	4.05	258	258	0	0.121	0.5	0.118	21
2019005	Printemps	ODC	B	Temestre	Rivage	6	2019-04-17	13:57	71.272	46.7551	1.3	0.2	0.8	5.1	3.0	3.24	230	248	1	0.106	0.5	0.114	21
2019005	Printemps	PPL	B	Temestre	Rivage	7	2019-04-17	14:10	71.292	46.7479	1.5	0.3	0.9	5.1	1.0	5.22	447	480	0	0.228	0.5	0.240	82
2019005	Printemps	RCD	B	Temestre	Rivage	8	2019-04-17	14:47	71.277	46.725	2.2	0.3	0.9	5.1	0.5	3.48	158	158	0	0.074	0.5	0.077	15
2019005	Printemps	RCR	B	Temestre	Rivage	9	2019-04-17	15:25	71.342	46.7478	2.4	1.0	4.8	0.5	0.0	4.10	510	510	0	0.169	0.5	0.269	93
2019005	Printemps	LQT	B	Temestre	Rivage	10	2019-04-18	12:00	71.189	46.8098	1.5	0.2	0.6	5.3	1.0	2.84	215	215	0	0.098	0.5	0.104	18
2019005	Printemps	BLML	B	Temestre	Rivage	11	2019-04-18	12:27	71.198	46.7908	1.3	0.2	0.6	5.3	1.0	3.22	213	213	0	0.100	0.5	0.107	19
2019005	Printemps	SFESR	B	Temestre	Rivage	12	2019-04-18	12:56	71.249	46.7554	1.2	0.2	0.8	5.1	0.5	3.37	212	212	0	0.101	0.5	0.106	19
2019005	Printemps	PQ2	B	Temestre	Rivage	13	2019-04-18	13:43	71.198	46.8149	0.7	0.4	0.4	5.3	0.4	3.33	265	265	2	0.122	0.5	0.132	30
2019005	Printemps	PQ2	B	Temestre	Rivage	15	2019-04-18	14:17	71.203	46.8276	0.9	0.4	0.6	5.3	4.0	3.27	265	283	3	0.124	0.5	0.135	33
2019005	Printemps	RSC	B	Temestre	Rivage	16	2019-04-18	14:43	71.221	46.8193	1.3	0.5	0.6	5.3	0.5	2.88	484	484	0	0.227	0.5	0.235	95
2019005	Printemps	Q1	H	Embarcation	Général	17	2019-04-23	09:33	71.355	46.7207	4.8	1.2	5.1	19.8	4.10	1.10	155	172	14	0.073	0.5		
2019005	Printemps	Q2	H	Embarcation	Général	18	2019-04-23	09:44	71.292	46.7479	4.3	1.2	5.1	17.2	4.13	1.10	172	172	0	0.078	0.5		
2019005	Printemps	Q3	H	Embarcation	Général	19	2019-04-23	09:56	71.359	46.7286	5.1	1.2	5.1	21.6	4.16	1.10	171	171	0	0.080	0.5		
2019005	Printemps	Q4	H	Embarcation	Général	20	2019-04-23	10:08	71.359	46.7319	5.1	1.2	5.1	16.9	4.15	1.10	172	172	0	0.080	0.5		
2019005	Printemps	Q5	H	Embarcation	Prise eau	21	2019-04-23	10:23	71.349	46.7376	5.0	1.2	5.1	19.9	4.19	1.10	171	171	0	0.081	0.5		
2019005	Printemps	D1	H	Embarcation	Général	22	2019-04-23	10:38	71.336	46.7445	5.0	1.2	5.1	6.0	4.26	1.10	171	171	0	0.081	0.5		
2019005	Printemps	D2	H	Embarcation	Général	23	2019-04-23	10:52	71.292	46.7474	5.1	1.2	5.1	6.0	4.10	1.10	172	172	0	0.079	0.5		
2019005	Printemps	D3	H	Embarcation	Général	24	2019-04-23	11:02	71.288	46.7481	5.0	1.2	5.1	6.0	4.13	1.10	172	189	1	0.082	0.5		
2019005	Printemps	D6RC	H	Embarcation	Rivage	25	2019-04-23	11:16	71.273	46.7450	4.8	1.0	5.4	3.0	4.48	187	187	0	0.087	0.5			
2019005	Printemps	D4	H	Embarcation	Général	26	2019-04-23	11:27	71.253	46.7582	4.6	0.9	5.4	2.7	4.42	187	187	0	0.087	0.5			
2019005	Printemps	D5	H	Embarcation	Général	27	2019-04-23	11:38	71.257	46.7613	4.5	0.9	5.4	2.7	4.10	1.10	172	172	0	0.076	0.5		
2019005	Printemps	D6	H	Embarcation	Général	28	2019-04-23	11:49	71.250	46.7642	4.3	0.9	5.4	0.9	4.08	172	172	0	0.079	0.5			
2019005	Printemps	D7DN	H	Embarcation	Dépôt	29	2019-04-23	12:06	71.303	46.7487	4.2	1.0	5.4	1.0	4.16	1.10	171	171	0	0.075	0.5		
2019005	Printemps	Q1	B	Embarcation	Général	30	2019-04-23	16:27	71.348	46.7230	1.7	1.0	4.8	11.9	5.15	1.99	182	0	0.090	0.5	0.095	14	
2019005	Printemps	Q2	B	Embarcation	Général	31	2019-04-23	16:41	71.355	46.7251	1.6	1.0	4.8	17.9	4.58	203	203	0	0.094	0.5			
2019005	Printemps	Q3	B	Embarcation	Général	32	2019-04-23	16:51	71.360	46.7287	1.5	1.0	4.8	15.4	5.01	217	217	0	0.099	0.5			
2019005	Printemps	Q4	B	Embarcation	Général	33	2019-04-23	17:02	71.361	46.7318	1.4	1.0	4.8	12.8	5.13	225	225	0	0.104	0.5	0.052	8	
2019005	Printemps	Q5	B	Embarcation	Prise eau	34	2019-04-23	17:13	71.360	46.7373	1.3	1.0	4.8	7.9	3.97	121	121	0	0.052	0.5		8	
2019005	Printemps	D1	B	Embarcation	Général	35	2019-04-23	17:25	71.338	46.7437	1.3	1.0	4.8	3.0	4.53	119	119	0	0.054	0.5			
2019005	Printemps	D7DN	B	Embarcation	Dépôt	36	2019-04-23	17:40	71.303	46.7483	1.1	1.0	5.4	2.0	4.40	170	170	0	0.077	0.5	0.076	45	
2019005	Printemps	D2	B	Embarcation	Général	37	2019-04-23	17:50	71.291	46.7472	1.1	1.0	5.4	10.4	4.03	121	121	0	0.055	0.5			
2019005	Printemps	D6	B	Embarcation	Général	38	2019-04-23	18:01	71.288	46.7478	1.0	1.0	5.4	8.9	4.13	154	154	0	0.074	0.5	0.071	15	
2019005	Printemps	D6	B	Embarcation	Général	39	2019-04-23	18:12	71.280	46.7541	1.0	0.8	4.5	1.0	4.17	171	171	0	0.075	0.5	0.077	13	
2019005	Printemps	D5	B	Embarcation	Général	40	2019-04-23	18:22	71.258	46.7606	1.2	0.9	4.5	23.8	4.15	154	172	1	0.074	0.5			
2019005	Printemps	D4	B	Embarcation	Général	41	2019-04-23	18:31	71.252	46.7586	1.4	0.9	4.5	32.2	4.48	204	187	0	0.090	0.5			
2019005	Printemps	O8	B	Embarcation	Prise eau	42	2019-04-23	18:47	71.250	46.7555	1.6	0.9	4.5	1.5	4.89	167	167	0	0.080	0.5	0.082	12	
2019005	Printemps	D6RC	B	Embarcation	Rivage	43	2019-04-23	18:57	71.273	46.7458	1.5	1.0	4.5	1.5	4.89	167	167	0	0.079	0.5			
2019005	Printemps	O18	B	Embarcation	Général	44	2019-05-03	10:36	70.723	47.0861	1.2	0.0	0.7	5.1	16.9	6.12	161	161	0	0.073	0.5		
2019005	Printemps	O19	B	Embarcation	Général	45	2019-05-03	10:50	70.753	47.0824	1.1	0.0	0.7	5.1	11.4	6.12	161	161	0	0.072	0.5	0.074	11
2019005	Printemps	O20	B	Embarcation	Général	46	2019-05-03	11:08	70.784	47.0511	1.0	0.0	0.7	6.9	6.21	128	144	5	0.081	0.5			
2019005	Printemps	O21	B	Embarcation	Général	47	2019-05-03	11:18	70.823	47.0400	0.9	0.0	0.7	5.1	10.9	6.04	145	145	0	0.069	0.5		
2019005	Printemps	O22	B	Embarcation	Général	48	2019-05-03	11:29	70.873	47.0268	0.8	0.1	0.7	5.6	14.5	6.01	145						