

Complexe de la Romaine

**Dynamique sédimentaire en aval de la centrale de la
Romaine-1 :**

Transit sédimentaire et charge solide



Juillet 2020

Complexe de la Romaine

Suivi environnemental 2018 en phase exploitation

**Dynamique sédimentaire en aval de la centrale de la Romaine-1 :
Transit sédimentaire et charge solide**


Rapport final

60577295

Juillet 2020

Signatures

Rapport préparé par :




Jacques Langlois, spécialiste en
gestion de l'eau

Le 16 juillet 2020



Emmanuel Maltais, biologiste


Le 16 juillet 2020



Yannick Rousseau,
hydrogéomorphologue

Le 17 février 2020

Rapport vérifié par :



Joanna Eyquem,
hydrogéomorphologue

Le 17 février 2020

Auteur(s) et titre (pour fins de citation) :

AECOM. 2020. *Complexe de la Romaine. Suivi environnemental en phase exploitation 2018 – Dynamique sédimentaire en aval de la centrale de la Romaine-1 : Transit sédimentaire et charge solide*. Rapport préfinal présenté à Hydro-Québec. 51 p. et annexes.

Résumé :

Dans le cadre du projet du Complexe hydroélectrique de la rivière Romaine, Hydro-Québec a proposé un programme de suivi environnemental afin de vérifier l'impact des aménagements hydroélectriques sur la dynamique sédimentaire en aval des aménagements de la Romaine-1. La présente étude correspond à la deuxième année (2018) du suivi environnemental en phase exploitation. Ce suivi se subdivise en trois volets distincts, soit : 1) le transit sédimentaire, 2) la charge solide et en suspension et 3) l'érosion des rives. L'érosion des rives est traitée dans le cadre d'une autre étude. Les objectifs spécifiques de la présente étude consistent à :

- caractériser les niveaux bathymétrique et altimétrique entre les points kilométriques (PK) 6,1 et 3,8;
- caractériser la charge de fond, la charge en suspension et la turbidité au PK 3,8 lors de la crue printanière 2018 et de façon mensuelle par la suite;
- analyser, valider et traiter l'ensemble des données récoltées et les comparer avec celles des études de 2013 et de 2015, ainsi qu'avec les conditions anticipées en avant-projet.

Un levé bathymétrique et un levé topographique ont été effectués en juillet 2018 entre les PK 6,1 et 3,8. Une carte illustrant les élévations de la surface du fond de la rivière et de la topographie en rive a été produite. Un exercice comparatif de cette carte avec celle de 2015 a révélé que les résultats de 2018 confirment la tendance à la sédimentation dans la zone d'étude initiée et observée depuis le dernier suivi. Toutefois, les zones de sédimentation occupent désormais globalement une plus grande superficie qu'en 2015. Il avait été anticipé à l'étude d'impact que la capacité de transport de la rivière serait insuffisante à proximité du PK 6 pour évacuer l'ensemble de la charge sableuse disponible et qu'il y aurait sédimentation temporaire sous la forme de bancs sableux entre les PK 8 et 3. Les résultats actuels concordent avec les prévisions de l'étude d'impact.

La charge de fond et la charge en suspension ont été échantillonnées de façon intensive lors de la crue printanière 2018. Par contre, le tout début de la montée de crue initiale, qui a débuté vers la fin avril, n'a volontairement pas été échantillonnée pour des raisons d'optimisation de l'échantillonnage. Enfin, un échantillonnage ponctuel a été effectué en juillet et un second en septembre.

Selon les résultats de 2018, la charge de fond annuelle au PK 3,8 a été estimée à 17 400 tonnes comparativement à 15 400 tonnes en 2015 et 10 000 tonnes en 2013. Cette hausse en 2018 semble être attribuable aux valeurs de charges de fond plus élevées lorsque la rivière n'est pas en crue, comparativement aux deux autres années à l'étude. Toutefois, en ce qui concerne la période printanière, les résultats de 2018 sont dans la gamme que ceux des valeurs présentées en avant-projet. En effet, l'étude d'impact avait évalué la charge de fond pendant la crue printanière à 8 000 t en 2003 et entre 8 000 t et 12 000 t en 2004. L'estimation comparable pour la crue printanière de 2018 est de 9 000 t (soit approximativement 6 000 m³ ou 561 camions 10 roues chargés de sable).

Pour ce qui est de la charge en suspension, il n'a pas été possible d'estimer la charge annuelle en 2018, puisqu'aucune relation statistique significative avec les débits n'a été observée cette année. Trois hypothèses pourraient expliquer la faible corrélation entre le débit et la charge en suspension, soit : 1) le débit journalier de la Romaine n'a pas dépassé 1 036 m³/s en 2018 et, en conséquence, la gamme de valeurs qui pourrait être échantillonnée est beaucoup plus restreinte, ce qui nuit à la qualité de la corrélation, 2) les apports provenant de la Puyjalon n'ont pas été échantillonnés car la crue de cette dernière a débuté avant le début de la campagne d'échantillonnage sur la Romaine et 3) l'échantillonnage a débuté après le tout début de la montée de crue initiale et peut-être ainsi après la pointe de MES sur la Romaine.

Il va de soi que l'analyse comparative entre la turbidité et la charge en suspension n'a donc pas pu être effectuée cette année. Ces informations et hypothèses devront être prises en compte lors du prochain suivi prévu en 2026 pour tenter de combler ces lacunes. Il est d'ailleurs convenu que la crue sera échantillonnée en entier en 2026 afin de s'assurer de capter également le tout début de la montée de crue.

Mots-clés : suivi environnemental, rivière Romaine, dynamique sédimentaire, transit sédimentaire, bathymétrie, charge de fond, matières en suspension, charge en suspension, turbidité

Version : finale

Code de diffusion : interne

Date : juillet 2020

Équipe de réalisation

Hydro-Québec

Maude Richard St-Vincent
Conseillère environnement, Direction Environnement -
Coordonnatrice du suivi environnemental

Mylène Levasseur
Conseillère environnement, Direction Environnement -
Responsable scientifique - Milieu physique

AECOM

Joanna Eyquem, hydrogéomorphologue
Directrice de projet
Analyse et rédaction

Yannick Rousseau, hydrogéomorphologue
Analyse et rédaction

Emmanuel Maltais, biologiste
Responsable des activités de terrain, saisie de données,
analyse et rédaction

Jacques Langlois, spécialiste en gestion de l'eau
Analyse et rédaction

Mathieu Pronovost, spécialiste en bathymétrie
Inventaires, saisie de données, analyse et rédaction

Simon Daneau, technicien
Inventaires, saisie des données

Dominic Savard, technicien
Inventaires, saisie des données

Érik Phaneuf, aide-technique
Inventaires, saisie des données

Jean-Pierre Hamelin, aide-technique
Inventaires

Josée Dubois, cartographe
Responsable des produits cartographiques

Michèle Gagnon, éditrice
Édition

Table des matières

Sommaire	v
Équipe de réalisation.....	vii
1 Introduction.....	1
1.1 Description du projet	1
1.2 Engagements et conditions de décret	1
1.2.1 Engagements généraux	1
1.2.2 Engagements et obligations spécifiques.....	1
1.3 Revue des études antérieures	2
1.3.1 Étude d’impact (Hydro-Québec, 2007; Poly-Géo, 2006).....	2
1.3.2 État de référence en 2013 (Hydro-Québec Équipement, 2015)	2
1.3.3 Premier suivi en 2015 (AECOM, 2016).....	3
1.4 Objectifs	4
2 Zone d’étude	5
2.1 La rivière Romaine en aval de la Romaine-1	5
2.2 Zone spécifique échantillonnée pour ce suivi	5
3 Méthodes	11
3.1 Transit sédimentaire	11
3.1.1 Période d’échantillonnage	11
3.1.2 Acquisition des données sur le terrain.....	12
3.1.2.1 Levé bathymétrique	12
3.1.2.2 Levé topographique	12
3.1.3 Traitement et analyses des données	13
3.1.3.1 Carte bathymétrique de 2018.....	13
3.1.3.2 Cartes bathymétriques de 2013 et de 2015	13
3.1.3.3 Comparaison spatiale entre 2013 et 2015, 2015 et 2018, et 2013 et 2018.....	13
3.2 Charge de fond, charge en suspension et turbidité	14
3.2.1 Période d’échantillonnage	14
3.2.1.1 Période de crue printanière (fin mai à début juillet 2018).....	15
3.2.1.2 Échantillonnage ponctuel (fin juillet et fin septembre 2018)	16
3.2.2 Acquisition des données sur le terrain	16
3.2.2.1 Protocole d’échantillonnage	16
3.2.2.2 Échantillonnage de la charge de fond.....	17
3.2.2.3 Échantillonnage des matières en suspension (MES).....	18
3.2.2.4 Échantillonnage de la turbidité.....	20

4	Résultats et discussion.....	21
4.1	Transit sédimentaire	21
4.1.1	Présentation des résultats	21
4.1.2	Comparaison avec les résultats précédents	21
4.2	Charge de fond, matières en suspension et turbidité	27
4.2.1	Contexte du débit à l’embouchure de la rivière Romaine en 2018	27
4.2.1.1	Comparaison avec l’hydrogramme historique	27
4.2.1.2	Comparaison des hydrogrammes de 2013, 2015 et 2018	29
4.2.2	Charge de fond.....	30
4.2.2.1	Méthodes de calcul	30
4.2.2.2	Comparaison avec les résultats précédents	30
4.2.2.3	Sommaire des résultats (faits saillants)	39
4.2.3	Charge en suspension.....	39
4.2.3.1	Méthodes d’analyse	39
4.2.3.2	Comparaison avec les résultats précédents	40
4.2.4	Turbidité.....	46
4.2.4.1	Méthodes d’analyses	46
4.2.4.2	Comparaison avec les résultats précédents	46
5	Conclusion	49
5.1	Transit sédimentaire	49
5.2	Charge de fond et charge en suspension.....	49
	Bibliographie.....	51

Liste des tableaux

Tableau 3.1 :	Travaux d’échantillonnage et analyses en laboratoire (2018).....	15
Tableau 4.1 :	Étapes du calcul de la charge de fond solide annuelle transportée par la rivière Romaine	30
Tableau 4.2 :	Mesures de la charge de fond ponctuelle transportée par la rivière (2018).....	31
Tableau 4.3 :	Étapes du calcul de la charge en suspension annuelle transportée par la rivière Romaine	40
Tableau 4.4 :	Mesures de matières en suspension (MES) et débits au PK 5,2 en 2004 et 2013.....	41
Tableau 4.5 :	Mesures de matières en suspension (MES) et débits au PK 5,2 en 2015 et 2018.....	42
Tableau 4.6 :	Mesures de MES et turbidité en 2013, 2015 et 2018.....	47
Tableau 5.1 :	Estimations de la charge de fond annuelle au PK 3,8	50

Liste des figures

Figure 3.1 :	Débit moyen journalier au PK 5,2 pendant les journées d'échantillonnage (2018)	14
Figure 4.1 :	Débits à l'embouchure de la rivière Romaine (PK 5,2)	28
Figure 4.2 :	Débits moyens journaliers au PK 5,2 pour les suivis de 2013, 2015 et 2018	29
Figure 4.3 :	Charge de fond mesurée et débit moyen journalier au PK 5,2 pendant la crue printanière	33
Figure 4.4 :	Charge de fond ponctuelle transportée par la rivière au PK 3,8, en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2	35
Figure 4.5 :	Charge de fond ponctuelle transportée par la rivière au PK 3,8, en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 (comparaison entre 2013, 2015 et 2018)	36
Figure 4.6 :	Charge de fond journalière en 2013, 2015 et 2018, estimée en utilisant les relations avec le débit moyen journalier au PK 5,2	36
Figure 4.7 :	Estimation de la charge de fond moyenne historique (1999-2014), selon la charge de fond annuelle calculée en 2013, 2015 et 2018.....	38
Figure 4.8 :	MES mesurées et débit moyen journalier au PK 5,2 pendant la crue printanière	43
Figure 4.9 :	MES ponctuelles transportées par la rivière au PK 3,8 en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2	45
Figure 4.10 :	Relation entre la turbidité (mesurée par turbidimètre) et les mesures ponctuelles de MES (2013, 2015 et 2018)	47

Liste des photos

Photo 1 :	Rivage de sable au PK 41 de la rivière Romaine (1 ^{er} septembre 2018).....	5
Photo 2 :	Rivage de sable au PK 21 de la rivière Romaine (1 ^{er} septembre 2018).....	5
Photo 3 :	Embarcation de travail amarrée à une bouée installée au PK 3,8 (1 ^{er} juillet 2018)	16
Photo 4 :	Échantillonneur Helley-Smith (23 juillet 2018).....	17
Photo 5 :	Mise à l'eau de l'échantillonneur Helley-Smith (25 juin 2018).....	17
Photo 6 :	Échantillonneur Helley-Smith déposé sur le substrat (29 juin 2018).....	17
Photo 7 :	Nettoyage des filtres (25 juin 2018).....	17
Photo 8 :	Image provenant de la caméra installée sur le Helley-Smith (3 juin 2018) Exemple de l'échantillonneur positionné adéquatement sur le lit de la rivière.....	18
Photo 9 :	Mise à l'eau de l'échantillonneur intégré de 8 L (1 ^{er} juillet 2018)	19
Photo 10 :	Matériel de laboratoire pour la filtration des matières en suspension (30 juin 2018).....	19
Photo 11 :	Four de laboratoire et dessiccateur (5 juin 2018).....	19
Photo 12 :	Mesure de la turbidité en laboratoire (30 juin 2018).....	19

Liste des cartes

Carte 1 :	Zone d'étude globale de la rivière Romaine en aval de la Romaine-1 et zone spécifique d'étude	7
Carte 2 :	Sites d'échantillonnage pour le suivi de la dynamique sédimentaire	9
Carte 3a :	Comparaison de bathymétrie 2013 et 2015 entre PK 6,1 et PK 3,8	23
Carte 3b :	Comparaison de bathymétrie 2015 et 2018 entre PK 6,1 et PK 3,8	25

Liste des annexes

Annexe A	Cartes bathymétriques de 2013, 2015 et 2018
Annexe B	Comparaison de la bathymétrie de 2013 avec celle de 2018
Annexe C	Analyse du phénomène d'hystérèse dans les mesures de charge de fond et MES
Annexe D	Analyse des relations entre la charge de fond et le débit moyen journalier au PK 5,2
Annexe E	Analyse des relations entre les MES et le débit moyen journalier au PK 5,2
Annexe F	Analyse des relations entre les mesures de turbidité ponctuelles et les mesures prises par le turbidimètre
Annexe G	Analyse des relations entre les mesures de turbidité ponctuelles et les mesures de MES
Annexe H	Analyse des relations entre les mesures de turbidité prises par le turbidimètre et les mesures de MES

1 Introduction

1.1 Description du projet

Hydro-Québec a entrepris en 2009 la construction d'un complexe hydroélectrique de 1 550 MW sur la rivière Romaine, au nord de la municipalité de Havre-Saint-Pierre, sur la Côte-Nord. Ce complexe est composé de quatre aménagements hydroélectriques dont la production énergétique moyenne annuelle s'élèvera à 8 TWh par année.

Chacun des aménagements se composera d'un barrage en enrochement, d'une centrale munie de deux groupes turbines-alternateurs, d'un évacuateur de crues et d'une dérivation provisoire permettant de réaliser les travaux à sec. À la fin des travaux, les quatre réservoirs recouvriront un territoire total de 279 km².

La mise en service du complexe s'échelonne sur six ans et a débuté en 2014 avec la centrale de la Romaine-2. Cette centrale d'une puissance de 640 MW a été construite à la hauteur du PK 90,3 de la rivière. Ensuite, la centrale de la Romaine-1 est exploitée depuis décembre 2015. Celle-ci se trouve au PK 51,1 et possède une puissance de 270 MW. La mise en eau du réservoir de la Romaine-3 a été complétée au printemps 2017 et la centrale de la Romaine-3, localisée au PK 158,4 de la rivière et d'une puissance de 395 MW, a été mise en service en septembre 2017. Enfin, la dernière centrale du complexe (Romaine-4) sera située à la tête du complexe au PK 191,9 et devrait être mise en service en 2021. Cette centrale offrira une puissance installée de 245 MW.

1.2 Engagements et conditions de décret

1.2.1 Engagements généraux

De nombreux engagements et conditions concernant entre autres la protection de l'environnement et le suivi environnemental doivent être respectés par Hydro-Québec dans le cadre de la réalisation du complexe hydroélectrique de la Romaine. Le gouvernement du Québec a autorisé le projet en 2009, en vertu du décret n° 530-2009.

Conformément aux engagements d'Hydro-Québec, un programme de suivi environnemental d'une durée maximale de 31 ans (2009-2040) a été déposé en 2010. L'objectif principal du programme est de vérifier l'évolution du milieu de même que l'efficacité des mesures d'atténuation, de bonification et de compensation mises en place dans le cadre du projet.

1.2.2 Engagements et obligations spécifiques

Hydro-Québec s'est engagé à suivre l'évolution de la dynamique sédimentaire sur le tronçon en aval de la centrale de la Romaine-1. L'engagement spécifique vient du certificat d'autorisation du MDDEP¹ (ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs) (n° 530-2009 délivré le 6 mai 2009) en réponse à la question QC-207 :

Condition 1 :

Aux fins du suivi demandé, on propose de mesurer les apports, le dépôt et le transport des sédiments (par charriage ou par suspension) entre les ouvrages de la Romaine-1 et l'embouchure de la Romaine. [...] Le suivi en rivière touchera les aspects suivants : érosion des rives, transit sédimentaire [...] charge de fond et charge en suspension au PK 3,8.

¹ Le MDDEP est maintenant le MDDELCC (ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques).

Le suivi de la dynamique sédimentaire sur le tronçon en aval la centrale de la Romaine-1 se subdivise en trois volets distincts, soit : 1) le transit sédimentaire, 2) la charge solide et en suspension et 3) l'érosion des rives. L'érosion des rives est traitée dans le cadre d'une autre étude.

1.3 Revue des études antérieures

1.3.1 Étude d'impact (Hydro-Québec, 2007; Poly-Géo, 2006)

Description des conditions naturelles

La relation entre le débit et la charge de fond est synchrone. La charge de fond est essentiellement composée de sable moyen et grossier et est estimée entre 8 000 et 12 000 t/a dans le tronçon aval (entre les PK 53,5 et 3,8). Tous les apports sédimentaires semblent parvenir au PK 3,8 et poursuivre leur course vers l'embouchure. Très peu de sédiments sont retenus dans le tronçon.

En ce qui concerne la charge en suspension, elle n'est pas synchrone avec le débit. Le pic de charge en suspension précède de 5 à 15 jours les débits maximaux. Les sédiments en suspension sont composés de limon, d'argile et de sable fin et moyen. La charge en suspension est estimée entre 43 000 et 62 000 t/a dans le tronçon aval (entre les PK 53,5 et 3,8). Les conditions d'écoulement le long de la Romaine permettent difficilement la sédimentation des particules fines, même dans les bassins les plus profonds. On évalue ainsi que la presque totalité des silts et des argiles produits par érosion participe à la charge sédimentaire et est transportée jusqu'à l'embouchure.

Modifications anticipées liées à la présence et à l'exploitation des aménagements

Dès la mise en service de l'aménagement de la Romaine-2, la gestion hydraulique prévue de la rivière Romaine réduira la fréquence et l'intensité des crues sur le tronçon en aval de la Romaine-1, mais le débit d'hiver sera plus élevé qu'en conditions naturelles.

Selon l'étude d'impact, le sable qui alimente la rivière en charge de fond à la limite amont de ce tronçon sera capté par les réservoirs. Ceci provoquera une réduction de 3 200 t/a des apports de sable dans le cours inférieur de la rivière par rapport aux conditions naturelles. À ceci s'ajoute la création de zones temporaires de dépôts de sable entre les PK 8 et 3, privant pendant quelques années le segment aval d'un autre apport de sable – l'étude d'impact estime que le déficit pourrait temporairement atteindre 4 000 t en aval du PK 3.

Sur l'ensemble du tronçon, les apports de sable provenant de l'érosion des rives demeureront similaires qu'en conditions naturelles, si bien que la charge transportée jusqu'à l'embouchure atteindra de 5 000 t/a à 6 000 t/a. L'arrivée des sédiments sableux s'étalera sur une plus longue période dans le cycle annuel, en raison de la diminution des débits de crue et de l'augmentation des débits le reste de l'année.

Les bancs accumulés dans le lit de la rivière en aval de la Romaine-1 subiront une lente érosion qui réduira leur superficie. Le phénomène devrait se poursuivre jusqu'à ce qu'une couche de matériaux plus résistants se forme à la surface des bancs. Cet effet sera ressenti dans l'ensemble du tronçon, mais sera plus marqué entre les PK 51,5 et 40 car l'alimentation en sable y sera en grande partie supprimée.

1.3.2 État de référence en 2013 (Hydro-Québec Équipement, 2015)

Des relevés bathymétriques détaillés ont été réalisés entre les PK 3,8 et 6,1 et une carte bathymétrique a été produite afin de confirmer et de documenter le transit sédimentaire et les zones de dépôt de sable.

Une campagne d'échantillonnage a permis de mesurer la charge de fond au PK 3,8 pour 20 valeurs de débit s'étalant entre 111 et 1 610 m³/s. Les résultats de cette campagne évaluent la charge de fond dans le tronçon à l'étude à 13 500 t/a et qu'elle augmente avec le débit. Les résultats confirment également les calculs théoriques de la capacité de transport réalisés en avant-projet selon lesquels la capacité de transport en charge de fond devient nulle lorsque le débit est inférieur à 300 m³/s. La relation entre les charges mesurées et le débit a permis de

reconstituer les charges de fond transportées selon les conditions naturelles. Ces résultats confirment les estimations réalisées en avant-projet.

Les charges en suspension ont été mesurées pour 21 débits compris entre 111 et 1 610 m³/s et les résultats évaluent la charge en suspension à 62 000 t/a, ce qui corrobore les évaluations de l'étude d'impact. La relation entre les charges en suspension mesurées et le débit est plutôt faible.

Un turbidimètre a été installé dans le même axe où les charges ont été mesurées. Une corrélation significative (R^2 de 0,88) est constatée entre la moyenne journalière de turbidité et la charge en suspension. L'équation développée permet ainsi de reconstituer de façon continue les matières transportées en suspension de façon fiable.

1.3.3 Premier suivi en 2015 (AECOM, 2016)

Cette étude correspond à la première année (2015) du suivi environnemental en phase exploitation. Ce suivi se subdivise en trois volets distincts, soit : 1) le transit sédimentaire, 2) la charge solide et en suspension et 3) l'érosion des rives. L'érosion des rives est traitée dans le cadre d'une autre étude. Les objectifs spécifiques de la présente étude consistent à :

- caractériser les niveaux bathymétrique et altimétrique entre les points kilométriques (PK) 6,1 et 3,8;
- caractériser la charge de fond, la charge en suspension et la turbidité lors de la crue printanière 2015 et de façon mensuelle du mois de juillet 2015 jusqu'à avril 2016 au PK 3,8;
- analyser, valider et traiter l'ensemble des données récoltées et les comparer avec celles de l'étude de 2013, ainsi qu'avec les conditions anticipées en avant-projet.

Un levé bathymétrique et un levé topographique effectués en juillet 2015 ont permis la caractérisation des niveaux bathymétrique et altimétrique entre les PK 6,1 et 3,8. Une carte a été produite, qui représente les élévations de la surface du fond de la rivière et de la topographie en rive en 2015. Il n'y a pas de différence majeure dans la configuration globale de la morphologie du lit de la Romaine dans la zone d'étude entre 2013 et 2015. Les quelques changements considérés significatifs; accumulations locales sur le banc de sable existant situé à l'intérieur du méandre (PK 6), banc de sable existant dans le bras mineur (île) s'allonge un peu plus vers l'aval (PK 4) et réajustement des rides et des dunes en perpétuel mouvement dans ce type d'environnement (PK 5), avaient été anticipés à l'étude d'impact.

Le suivi en 2015 a permis la caractérisation de la charge de fond et de la charge en suspension ponctuelle, lors de la crue printanière 2015 et pour plusieurs débits au cours de l'année, selon les mêmes méthodes utilisées en 2013. Plusieurs relations ont été établies pour mettre en relation la charge de fond et les matières en suspension, avec le débit moyen journalier au PK 5,2. Ces relations ont été utilisées pour estimer la charge de fond et la charge en suspension annuelle pour la rivière Romaine au PK 3,8.

L'étude d'impact a évalué la charge de fond à 8 000 t en 2003 et entre 8 000 t et 12 000 t en 2004 pendant la crue printanière. L'estimation comparable pour la crue printanière en 2015 est de 10 000 t. Ce résultat est ainsi dans la gamme des valeurs présentées en avant-projet. En ce qui concerne la charge en suspension annuelle de la rivière Romaine, elle a été évaluée en conditions naturelles entre 43 000 t/a et 62 000 t/a. Le résultat obtenu en 2015, soit 60 400 t/a, reste dans cette plage de valeurs.

Enfin, tout comme en 2013, les valeurs de turbidité échantillonnées en continu ont été mises en relation avec les valeurs de la charge en suspension issues des échantillonnages ponctuels et une forte corrélation entre les deux a été constatée. Ceci permet de reconstituer la charge en suspension transportée en continu de façon plus précise qu'à partir du débit exclusivement, du moins pour la période libre de glace. Pour la période avec couvert de glace, les estimations de la charge en suspension annuelle doivent être complétées à partir de la relation avec le débit. Les suivis subséquents permettront de compléter ce type d'analyse.

1.4 Objectifs

Hydro-Québec a proposé un programme de suivi environnemental afin de vérifier l'impact des aménagements hydroélectriques sur la dynamique sédimentaire en aval des aménagements de la Romaine-1. La présente étude correspond à la deuxième année (2018) du suivi environnemental en phase exploitation.

L'objectif général du suivi de la dynamique sédimentaire dans le cours inférieur de la rivière Romaine est de mesurer les apports, le dépôt et le transport des sédiments en aval des aménagements hydroélectriques de la Romaine-1 (PK 52,5).

Comme mentionné précédemment, ce suivi se subdivise en trois volets distincts, soit : 1) le transit sédimentaire, 2) la charge solide et en suspension et 3) l'érosion des rives. L'érosion des rives est traitée dans le cadre d'une autre étude.

Les objectifs spécifiques de la présente étude consistent à :

- **Transit sédimentaire** : caractériser les niveaux bathymétrique et altimétrique entre les PK 6,1 et 3,8;
- **Charge solide et en suspension** : caractériser la charge de fond, la charge en suspension et la turbidité lors de la crue printanière 2018 et à plusieurs débits entre juillet et septembre 2018 au PK 3,8;
- **Interprétation** : analyser, valider et traiter l'ensemble des données récoltées et les comparer avec celles des études de 2013 (Hydro-Québec Équipement, 2015) et 2015 (AECOM, 2016), ainsi qu'aux conditions anticipées en avant-projet (Hydro-Québec, 2007; Poly-Géo, 2006).

2 Zone d'étude

2.1 La rivière Romaine en aval de la Romaine-1

La zone d'étude globale couvre un tronçon de la Romaine s'étendant des aménagements de la Romaine-1 (PK 52,5) jusqu'à l'embouchure de la rivière (carte 1).

Le tronçon de rivière en aval de la centrale de la Romaine-1 fait partie de la plaine côtière (Poly-Géo, 2006). La rivière Romaine, dans l'ensemble assez large (300-500 m), se rétrécit à quelques endroits au droit des secteurs de rapides. Le profil en long de la rivière demeure dans l'ensemble peu accentué et l'écoulement est assez lent (Poly-Géo, 2006). Près de la moitié de la surface des rives sont recouvertes de sable, le reste étant composé de sédiments fins et de roc. De grandes étendues sablonneuses caractérisent la zone d'étude du PK 1 jusqu'au PK 45 (photos 1 et 2). Les rivages sablonneux peuvent s'étendre sur plusieurs centaines de mètres de largeur en condition de faible débit.



Photo 1 : Rivage de sable au PK 41 de la rivière Romaine (1^{er} septembre 2018)

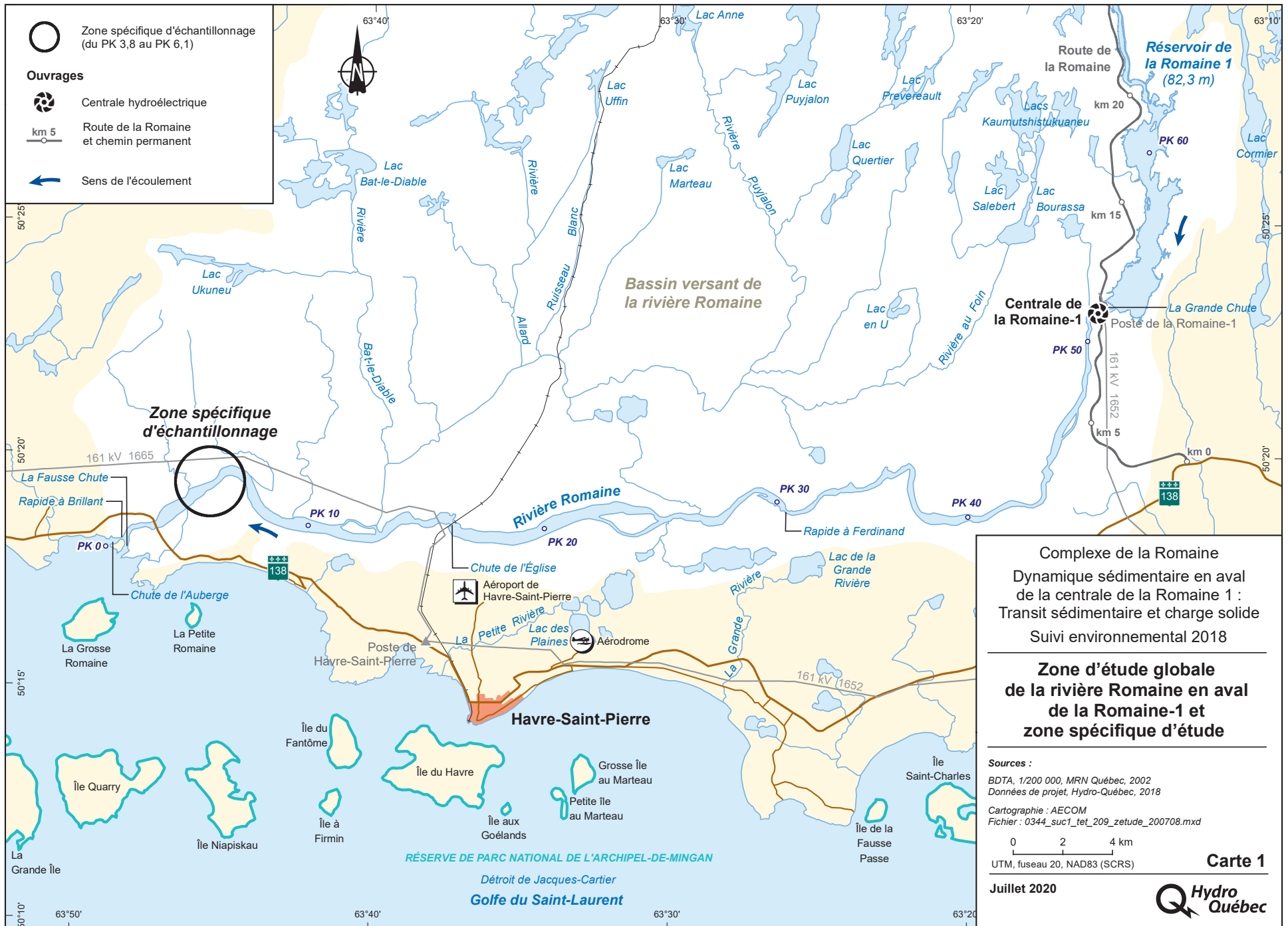


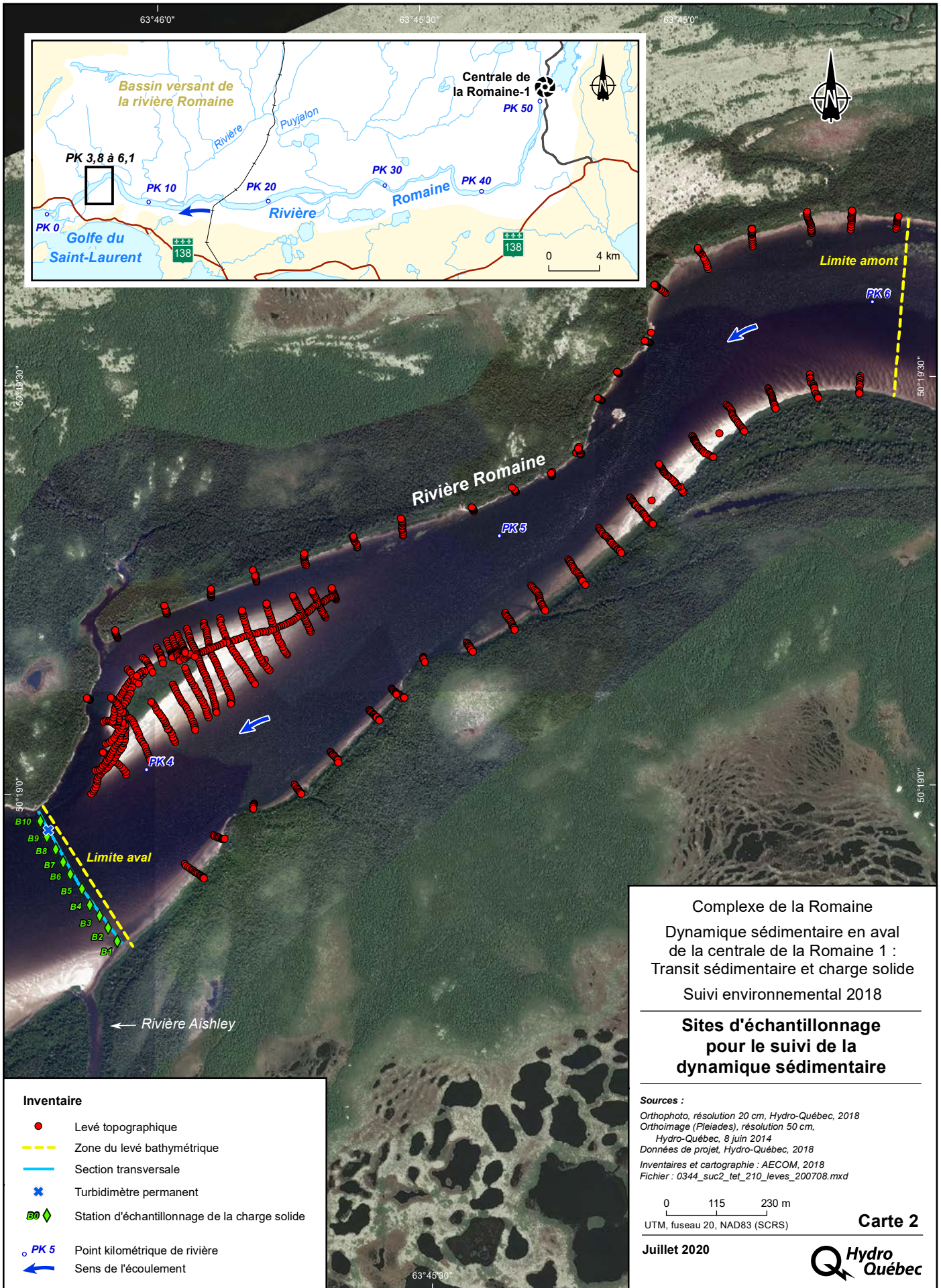
Photo 2 : Rivage de sable au PK 21 de la rivière Romaine (1^{er} septembre 2018)

2.2 Zone spécifique échantillonnée pour ce suivi

Les zones échantillonnées pour le suivi de la dynamique sédimentaire en 2018 sont les mêmes qui ont été échantillonnées pour le premier suivi de 2015 (AECOM, 2016) et pour l'état de référence en 2013 (Hydro-Québec Équipement, 2015) (carte 2) :

- le suivi du transit sédimentaire a eu lieu entre les PK 6,1 et 3,8 car cette zone est le seul tronçon de la Romaine où on prévoyait que la capacité de transport de sédiments serait inférieure à la charge disponible;
- les suivis des charges solides et en suspension se sont déroulés sur une section transversale au PK 3,8.





Inventaire

- Levé topographique
- Zone du levé bathymétrique
- Section transversale
- ✕ Turbidimètre permanent
- ◇ Station d'échantillonnage de la charge solide
- PK 5 Point kilométrique de rivière
- Sens de l'écoulement

Complexe de la Romaine
 Dynamique sédimentaire en aval
 de la centrale de la Romaine 1 :
 Transit sédimentaire et charge solide
 Suivi environnemental 2018

**Sites d'échantillonnage
 pour le suivi de la
 dynamique sédimentaire**

Sources :
 Orthophoto, résolution 20 cm, Hydro-Québec, 2018
 Orthoimage (Pleiades), résolution 50 cm,
 Hydro-Québec, 8 juin 2014
 Données de projet, Hydro-Québec, 2018
 Inventaires et cartographie : AECOM, 2018
 Fichier : 0344_suc2_tet_210_leves_200708.mxd

0 115 230 m
 UTM, fuseau 20, NAD83 (SCRS)

Juillet 2020

Carte 2



3 Méthodes

La méthode d'échantillonnage utilisée en 2018 est identique à celle utilisée pour le premier suivi de 2015 (AECOM, 2016) et pour l'état de référence en 2013 (Hydro-Québec Équipement, 2015). Les instruments et les méthodes de relevés ont été approuvés par Hydro-Québec avant d'effectuer le travail sur le terrain.

Deux activités ont été conduites afin de répondre aux objectifs du mandat, soit :

- la caractérisation des niveaux bathymétrique et altimétrique entre les PK 6,1 et 3,8 (transit sédimentaire);
- l'échantillonnage de la charge solide au PK 3,8 (charge de fond, charge en suspension et turbidité).

Les méthodes d'échantillonnage utilisées sur le terrain pour chaque volet sont décrites dans cette section ainsi que les périodes spécifiques des travaux. Les méthodes d'analyses et les résultats sont présentés à la section 4.

De plus, un turbidimètre DTS, qui est exploité et entretenu par Hydro-Québec, est localisé à une cinquantaine de mètres de la rive droite au PK 3,8. Cet appareil mesure la turbidité en continu depuis 2013 à 1 mètre du lit. Les données colligées par ce turbidimètre ont été intégrées à l'analyse de la charge en suspension.

3.1 Transit sédimentaire

3.1.1 Période d'échantillonnage

La collecte de données pour le transit sédimentaire a eu lieu entre le 20 et le 30 juillet 2018. Les relevés ont été planifiés après la crue printanière, lorsque le débit était inférieur à 325 m³/s pour que les bancs de sable soient devenus plus stables. À l'intérieur de cette période, il y a eu deux types de levés :

- un levé bathymétrique qui s'est déroulé sur une période de huit jours, entre les 20 et 27 juillet 2018;
- un levé topographique de sections en rive, qui a eu lieu les 23 et 24 juillet 2018.

Pendant la période du levé bathymétrique, le vent était généralement faible sur la rivière en avant-midi et augmentait jusqu'à la fin de l'après-midi pour atteindre une vitesse d'environ 25 km/h. Pour bénéficier des meilleures conditions, les techniciens ont donc débuté le relevé au petit matin et travaillé jusqu'au moment où les vagues atteignaient une hauteur qui diminuait la qualité du relevé.

Les débits au PK 5,2 ont fluctué de 212 à 290 m³/s pendant la période d'échantillonnage.

3.1.2 Acquisition des données sur le terrain

3.1.2.1 Levé bathymétrique

Le levé bathymétrique a utilisé la même méthodologie que celle réalisée lors du suivi de 2015. Cette méthode consistait à couvrir le tronçon de la rivière Romaine entre les PK 3,8 et 6,1 en effectuant des sections transversales espacées de 5 m en embarcation à moteur. Le long de chaque section, une mesure de profondeur et sa coordonnée GPS étaient prises à toutes les deux secondes. L'instrument utilisé pour mesurer la profondeur était un échosondeur monofaisceau et sa coordonnée GPS était prise simultanément avec un récepteur DGPS de marque Trimble R-10. Des sections longitudinales ont également été faites afin de compléter le levé. Des mesures ont été prises sur près de 460 sections transversales et sur près de 40 sections longitudinales. Chaque section longitudinale avait une longueur de 2 300 m, tandis que chaque section transversale avait une longueur moyenne d'environ 300 m. Ce levé bathymétrique totalise près de 100 000 points de mesure.

Pour chaque point de mesure, les attributs suivants ont été collectés : un identifiant unique, la position X, la position Y, l'altitude du pied de la sonde de l'échosondeur et la profondeur sous le pied de la sonde. Il est alors possible de calculer l'altitude du fond de la rivière en soustrayant la profondeur mesurée à l'altitude du pied de la sonde.

Il est à noter que la vitesse de propagation de l'onde dans l'eau a été ajustée en fonction de la température de l'eau lors de la calibration de l'échosondeur. Un test de latence a également été fait au début de la première journée de bathymétrie afin de vérifier s'il n'y avait pas de décalage entre les données de l'échosondeur et celles du récepteur GPS.

3.1.2.2 Levé topographique

Le levé topographique consistait à couvrir également le tronçon entre les PK 3,8 et 6,1 de la rivière Romaine en effectuant des sections en rive (gauche et droite), perpendiculaires à la rivière et espacées de 100 m. Ces sections étaient localisées le plus près possible de celles qui avaient été faites lors de l'année de référence afin de pouvoir comparer les changements, le cas échéant. Les mesures topographiques le long des sections étaient prises à pied par un technicien en cuissardes avec l'aide d'un récepteur DGPS de marque Trimble.

Sur chaque section, plusieurs points de mesure altimétrique étaient pris aux ruptures de pente. La section débutait dans l'eau peu profonde près de la zone couverte par le levé bathymétrique et se terminait au début de la forêt. Le déplacement entre chacune des sections s'effectuait en embarcation à moteur.

Des mesures ont été prises de cette façon sur 21 sections transversales totalisant près de 370 points de données altimétriques. La localisation des sections transversales est illustrée sur la carte 2. Une couverture topographique de l'île de sable près de la limite aval de la zone d'étude a également été faite pour un total de près de 590 points de données altimétriques. L'îlot rocheux au rétrécissement de la zone d'étude n'a pas fait l'objet de levé topographique, car cet élément n'a subi aucun changement depuis l'année de référence.

Les données altimétriques des sections transversales en rive servent à vérifier s'il y a eu modification des rives causée par l'érosion ou le dépôt de sédiments depuis l'année de référence et complètent les données bathymétriques.

3.1.3 Traitement et analyses des données

3.1.3.1 Carte bathymétrique de 2018

La carte bathymétrique de 2018 a été produite suite à deux étapes de traitement et analyses. La première étape consiste à numériser un polygone dans ArcGIS où les trois couches de données bathymétriques (2013, 2015 et 2018) se chevauchent.

La deuxième étape consiste à effectuer un nettoyage des données de 2018 à partir des données de profondeur. Ce nettoyage permet de supprimer les erreurs de lecture ainsi que les valeurs nulles. Pour ce faire, un filtre est appliqué pour supprimer les valeurs égales à « 0 » et supérieures à la profondeur maximale observée lors du levé. Ensuite, l'altitude du fond (Z) est calculée en soustrayant la profondeur à l'élévation du pied de la sonde. Le fichier résultant de chacun de ces deux levés bathymétriques devient alors un fichier de points contenant les attributs X, Y et Z. Finalement, les isovaleurs de ces points ont été tracées à l'aide du SIG et présentées sur une carte (voir section 4.1).

3.1.3.2 Cartes bathymétriques de 2013 et de 2015

La carte bathymétrique de 2013 est présentée dans le rapport sur l'état de référence (Hydro-Québec Équipement, 2015). Cependant, pour favoriser la comparaison entre les deux années, les données de 2013 ont été traitées à nouveau en 2015 dans le SIG, afin d'obtenir la même légende pour faciliter la comparaison. La carte bathymétrique de 2015 est également présentée comme base de référence (AECOM, 2016).

3.1.3.3 Comparaison spatiale entre 2013 et 2015, 2015 et 2018, et 2013 et 2018

Pour comparer les cartes bathymétriques, une analyse spatiale a été effectuée à l'aide du SIG.

Les données de 2013, 2015 et 2018 ont été traitées avec l'outil « Topo to Raster » de l'extension « Spatial Analyst ». Cet outil permet de générer une première « image raster² » en interpolant les points de la bathymétrie de 2013. Les dimensions de chaque pixel de ce raster sont de 1 m X 1 m et la couverture est celle du polygone de la zone de comparaison. Deux images raster supplémentaires ont été produites en interpolant cette fois-ci les points de la bathymétrie de 2015 et de 2018 tout en utilisant la même couverture ainsi que les mêmes dimensions de pixel. L'unité de base de la comparaison est donc le pixel de 1 m X 1 m. Pour un pixel dont les positions X et Y sont les mêmes pour les deux périodes, c'est l'attribut de l'élévation (Z) qui est comparé.

La comparaison spatiale consiste à faire ressortir les différences entre les valeurs des pixels (attribut de l'élévation) des rasters de 2013, 2015 et 2018. Cette opération est faite avec l'outil « Minus » dans le dossier « Math » de « Spatial Analyst ». La différence est calculée en effectuant la soustraction du raster de 2013 à celui de 2015 par exemple. Les pixels dont les valeurs sont positives correspondent à une accumulation de sédiments sur le lit de la rivière qui s'est produite entre les deux périodes, tandis que les valeurs négatives correspondent à un abaissement du fond (érosion). Les pixels dont la valeur est « 0 » correspondent à aucun changement d'élévation entre les deux périodes. Les valeurs de pixel qui composent la couche raster présentant les différences d'élévation entre 2015 et 2013, 2018 et 2015, et 2018 et 2013 ont été distribuées en différentes classes afin d'analyser de façon quantitative l'évolution de l'élévation du fond entre les deux périodes.

L'ensemble de ces résultats sont cartographiés et décrits à la section 4.1.

² Une image raster (ou image matricielle) est le résultat sous forme d'une matrice d'une analyse de données vectorielles dont l'une des particularités est d'être géoréférencée dans l'espace. Cette matrice est également une division du territoire en pixel (ou cellule), de dimension variable, formant une grille de ligne et de colonne où une valeur numérique est associée à chacun des pixels de la matrice.

3.2 Charge de fond, charge en suspension et turbidité

3.2.1 Période d'échantillonnage

La collecte de données pour la charge de fond, la charge en suspension et la turbidité a été effectuée pendant 17 journées, selon deux périodes d'échantillonnage :

- échantillonnage de la période de crue printanière (fin mai à début juillet 2018) – 15 jours d'échantillonnage;
- échantillonnage ponctuel pour acquérir des données dans des conditions hydrologiques différentes de celles du printemps (fin juillet et fin septembre 2018) – 2 jours d'échantillonnage au total.

La stratégie d'échantillonnage est élaborée de manière à couvrir une fourchette de conditions hydrauliques différentes. La figure 3.1 illustre les débits moyens journaliers qui prévalaient lors des campagnes d'échantillonnage.

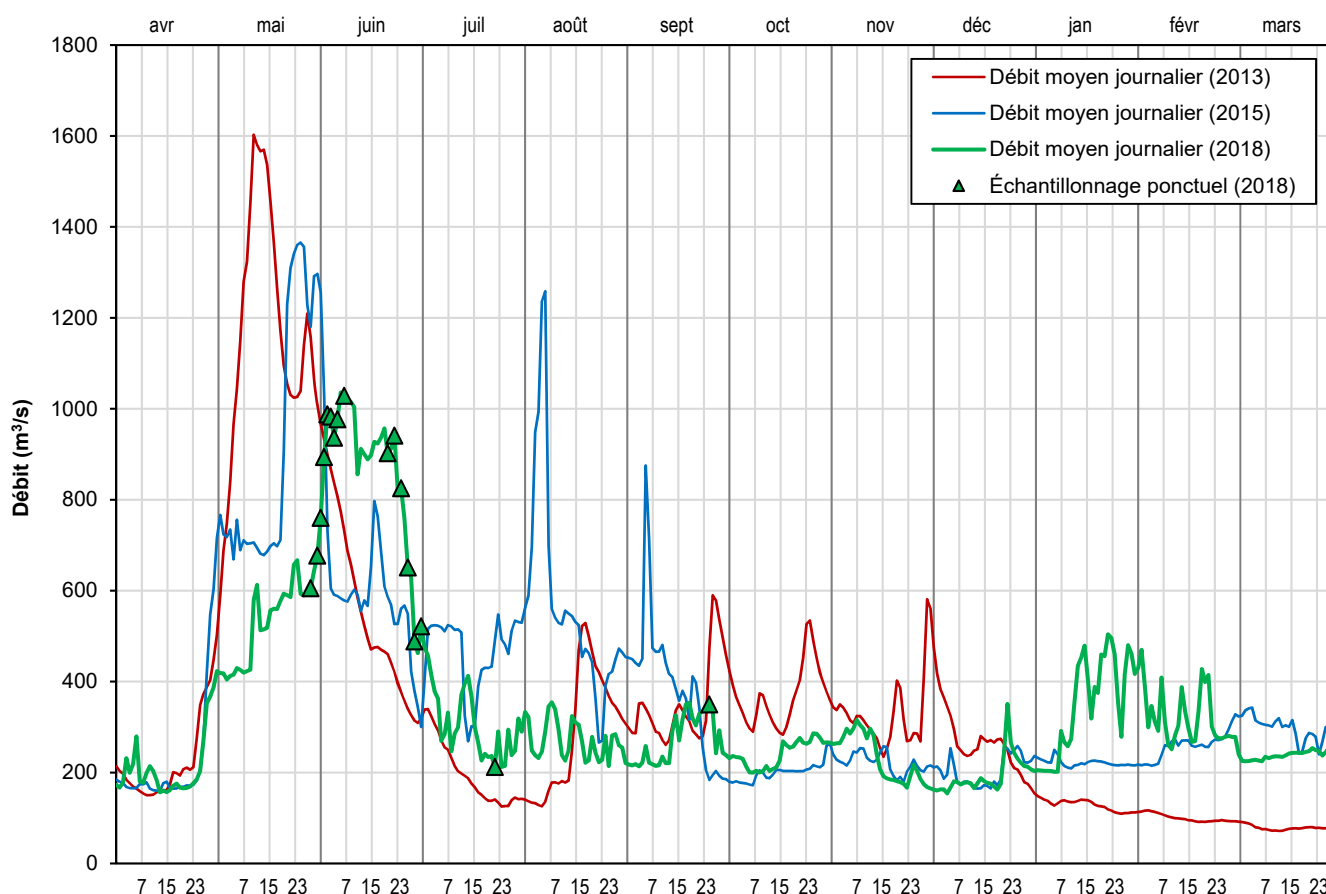


Figure 3.1 : Débit moyen journalier au PK 5,2 pendant les journées d'échantillonnage (2018)

3.2.1.1 Période de crue printanière (fin mai à début juillet 2018)

La première campagne d'inventaire visait la période de crue printanière 2018. Initialement, l'échantillonnage devait être réalisé lors d'une seule campagne de terrain d'environ 30 jours où les échantillonnages seraient réalisés à tous les 2 jours, pour un total de 15 jours d'échantillonnage. Dans les faits, les travaux se sont plutôt déroulés sur deux périodes distinctes, soit entre le 27 mai et le 10 juin ainsi qu'entre le 20 juin et le 2 juillet 2018. Les travaux ont été interrompus à la demande de la responsable scientifique d'Hydro-Québec entre le 10 et le 20 juin car les niveaux d'eau étaient relativement stables au cours de cette période (plateau de crue). Au total, 14 journées d'échantillonnage ont été réalisées (tableau 3.2) et elles ont été choisies afin d'obtenir un large éventail de conditions hydrologiques.

Il importe de mentionner que la première semaine de la montée de crue initiale, qui a débuté vers la fin avril, n'a volontairement pas été échantillonnée pour des raisons d'optimisation de l'échantillonnage. En effet, la décision de retarder le début de l'échantillonnage a été prise par les responsables d'Hydro-Québec au mandat, qui avaient reçu comme information à l'interne que le début de la crue en aval de la Romaine-1 allait être plus lent et progressif qu'habituellement et qu'il allait ainsi s'étendre sur plusieurs semaines. En effet, les apports étaient beaucoup plus élevés que la moyenne sur le bassin versant de la Romaine (i.e. grande épaisseur de neige) et le mode de gestion a ainsi été ajusté en ce sens afin de contrôler le rehaussement des réservoirs. De plus, la montée initiale de la crue vers la fin avril est principalement due à celle de la rivière Puyjalon, puisque l'augmentation du débit provenant de la centrale de la Romaine-1 a été effective que vers la mi-mai. Étant donné que l'objectif du mandat était de documenter principalement les apports de la Romaine, une décision a alors été prise de mettre l'accent sur l'échantillonnage de la montée de crue de la fin mai. D'ailleurs, les caractéristiques de cette dernière (i.e. rapide et de grande ampleur) sont plus similaires aux caractéristiques des crues documentées lors des suivis précédents.

Tableau 3.1 : Travaux d'échantillonnage et analyses en laboratoire (2018)

Date	Débit lors de l'échantillonnage (m³/s)	Laboratoire	Notes
2018/05/27			Mobilisation
2018/05/28			Préparation du matériel et installation des bouées
2018/05/29	605,26		
2018/05/30		✓	
2018/05/31	677,04		
2018/06/01	760,42	✓	
2018/06/02	894,12	✓	
2018/06/03	988,10	✓	
2018/06/04	983,09	✓	
2018/06/06	976,91	✓	
2018/06/07		✓	
2018/06/08	1 028,68		
2018/06/09		✓	
2018/06/10			Démobilisation
2018/06/20			Mobilisation
2018/06/21	902,59		
2018/06/22		✓	
2018/06/23	941,28		
2018/06/24		✓	
2018/06/25	825,43		
2018/06/26		✓	
2018/06/27	651,11		
2018/06/28		✓	
2018/06/29	488,42		
2018/06/30		✓	
2018/07/01	521,82		
2018/07/02		✓	Démobilisation

3.2.1.2 Échantillonnage ponctuel (fin juillet et fin septembre 2018)

L'échantillonnage a été réalisé au cours de deux autres journées après la période de crue printanière, soit le 23 juillet et le 25 septembre 2018. Ces journées ont été sélectionnées en accord avec Hydro-Québec pour récolter des données représentatives de conditions hydrologiques différentes de celles du printemps (débits de 212 et 350 m³/s).

À la demande d'Hydro-Québec, aucun échantillonnage n'a été effectué en août et en octobre 2018, puisque les conditions hydrologiques étaient similaires à celles observées lors des campagnes d'échantillonnage de juillet et de septembre.

Aucun travail du terrain n'a été possible entre novembre 2018 et avril 2019, dû à la présence de glace non sécuritaire.

3.2.2 Acquisition des données sur le terrain

3.2.2.1 Protocole d'échantillonnage

L'étude de la charge solide a été réalisée selon la même méthodologie que le suivi de 2015, sur la base de dix sections verticales réparties sur une section transversale au PK 3,8 de la rivière Romaine. Afin de s'assurer de la localisation exacte des dix sites d'échantillonnage pendant la crue printanière, dix bouées ont été installées le long de la section transversale (photo 3). L'échantillonnage ponctuel (juillet et septembre 2018) a été effectué aux mêmes endroits que pendant la crue.

À l'instar de 2013 et 2015, des sédiments de la charge de fond ont été prélevés aux dix bouées, tandis que des échantillons de charge en suspension ont été pris à trois des dix bouées, soit aux bouées 3, 6 et 10. Ces dernières étaient positionnées approximativement au 1/4, 1/2 et 3/4 de la longueur totale de la section (carte 2).

Pendant la période de crue printanière, une embarcation de sécurité avec deux employés de Uanan Experts-Conseils était présente en tout temps lors des travaux d'échantillonnage.



Photo 3 : Embarcation de travail amarrée à une bouée installée au PK 3,8 (1^{er} juillet 2018)

3.2.2 Échantillonnage de la charge de fond

Les sédiments de la charge de fond ont été prélevés aux dix sites identifiés par des bouées à l'aide d'un échantillonneur Helley-Smith soutenu par un treuil électrique (photos 4 à 6). Le modèle de l'échantillonneur est identique à celui utilisé en 2013 et 2015, c'est-à-dire de type BL-84 ayant une ouverture de 76 mm x 76 mm. Il est également muni d'une caméra sous-marine et d'une cordelette. La taille des filtres utilisés avec le Helley-Smith et la durée de l'échantillonnage ont été établies en fonction de la vitesse de l'écoulement pour s'assurer que les matériaux captés ne soient pas expulsés de l'échantillonneur.

Ainsi, tout comme en 2013 et 2015, les durées d'échantillonnage (30 à 120 secondes) et la taille des filtres (63, 125 ou 250 microns) ont été sélectionnées en fonction du site et des conditions d'écoulement lors des différentes visites au terrain. Lors des inventaires de 2018, la durée de l'échantillonnage a finalement toujours été de 80 secondes et les filtres de 250 microns ont principalement été utilisés. La durée d'échantillonnage et la taille des filtres utilisés sont présentées sur un cédérom. À chacun des dix sites, quatre échantillons ont été prélevés. Les sédiments captés par le filtre ont été transférés dans des récipients sur le bateau (photo 7), puis séchés et pesés en laboratoire.



Photo 4 : Échantillonneur Helley-Smith
(23 juillet 2018)



Photo 5 : Mise à l'eau de l'échantillonneur Helley-Smith
(25 juin 2018)



Photo 6 : Échantillonneur Helley-Smith déposé
sur le substrat (29 juin 2018)



Photo 7 : Nettoyage des filtres (25 juin 2018)

Limites de la méthode

Le lit de la rivière Romaine au PK 3,8 est recouvert de sable. Il arrivait parfois que l'échantillonneur s'enfonce dans le substrat, ce qui occasionnait un surplus de matières dans l'échantillonneur. La caméra installée sur l'échantillonneur nous permettait d'éliminer et de reprendre les répliques manqués (photo 8). Les images provenant de la caméra étaient visionnées en temps réel afin de s'assurer que l'échantillonnage était réalisé de façon adéquate.



**Photo 8 : Image provenant de la caméra installée sur le Helley-Smith (3 juin 2018)
Exemple de l'échantillonneur positionné adéquatement sur le lit de la rivière**

Il est à noter que le volume des débits influençait peu la qualité des conditions d'échantillonnage. Ce sont plutôt, le vent et les vagues qui ont compliqué l'échantillonnage avec le Helley-Smith. Les étapes critiques, soit le dépôt de l'échantillonneur sur le substrat et sa levée étaient plus ardues par forts vents. Pour pallier ce problème, les moments d'échantillonnage ont été réalisés principalement tôt le matin (avant la levée des vents) et l'utilisation de la caméra sous-marine s'est avérée un outil efficace pour la reprise des échantillons considérés non représentatifs.

Par ailleurs, en raison de sa texture sablonneuse, le lit de la rivière se présente sous la forme de rides. À l'instar des suivis précédents, ceci influençait également la quantité de matière prélevée selon la localisation de l'échantillonneur par rapport à ces rides. Ici aussi, les images provenant de la caméra ont permis d'identifier et de reprendre les échantillons non représentatifs en raison du mauvais positionnement de l'appareil par rapport à une ride de sable.

3.2.2.3 Échantillonnage des matières en suspension (MES)

Comme en 2015, la charge en suspension a été évaluée par le prélèvement de matières en suspension (MES) à trois des dix sites positionnés approximativement au 1/4, 1/2 et 3/4 de la longueur totale de la section, soit aux bouées n^{os} 3, 6 et 10 (carte 2). À chaque site, quatre échantillons d'eau intégrés sur une verticale ont été prélevés. L'échantillonneur utilisé est une bouteille de 8 L installée sur un socle lesté d'un poids de plomb de 50 lb (photo 9). Le poids possède une forme hydrodynamique et des ailerons lui permettent de garder l'ouverture de la bouteille face au courant.

L'intégrateur était descendu puis remonté de manière continue, jusqu'à ce que la bouteille soit remplie entre 25 % et 75 %. L'eau prélevée était utilisée pour mesurer la turbidité sur le site à l'aide d'un turbidimètre portatif. Ensuite, plus d'un litre du volume d'eau était conservé pour réaliser les mesures de MES et de turbidité en laboratoire selon le protocole effectué en 2013 et 2015.

Les échantillons récoltés ont été filtrés et pesés en laboratoire par des méthodes similaires à celles de 2013 et 2015. Des volumes d'échantillon de 1 L, mesurés à l'aide d'un cylindre gradué, ont été filtrés sur une colonne de filtration couplée à une pompe à vide (photo 10; pression maximale inférieure à 210 mm Hg). Des filtres de 47 mm de diamètre ayant une porosité de 1,5 μm ont été utilisés. Les filtres ont été pesés avant et après la filtration. La balance utilisée possède une précision de 0,001 g et a été calibrée régulièrement à l'aide d'un poids étalon de 200 g. Avant d'être pesés, les filtres ont été séchés dans un four puis refroidis dans un dessiccateur (photo 11).



Photo 9 : Mise à l'eau de l'échantillonneur intégré de 8 L (1^{er} juillet 2018)



Photo 10 : Matériel de laboratoire pour la filtration des matières en suspension (30 juin 2018)



Photo 11 : Four de laboratoire et dessiccateur (5 juin 2018)



Photo 12 : Mesure de la turbidité en laboratoire (30 juin 2018)

3.2.2.4 Échantillonnage de la turbidité

En plus de la turbidité mesurée *in situ*, celle des échantillons d'eau a également été déterminée en laboratoire moins de 48 heures après les prélèvements (photo 12), tout comme en 2013 et 2015. Il est aussi à mentionner que le turbidimètre LaMotte utilisé a été calibré à l'aide de trois standards de turbidité (c.-à-d. 0 NTU, 1 NTU et 10 NTU) avant chaque nouvelle série d'échantillonnage.

Comme mentionné précédemment, un turbidimètre DTS, exploité et entretenu par Hydro-Québec, est localisé à une cinquantaine de mètres de la rive droite au PK 3,8, à 1 m du fond (carte 2). Cet appareil mesure la turbidité en continu depuis 2013. Les données récoltées ont été intégrées à l'analyse de la charge en suspension.

4 Résultats et discussion

4.1 Transit sédimentaire

Le suivi du transit sédimentaire est fondé sur la comparaison des levés bathymétriques et topographiques, entre les PK 3,8 et 6,1, en 2013, 2015 et 2018. Ces cartes représentent les élévations du lit de la rivière et de la topographie en rive. Elles ne prennent pas en compte les éléments situés au-dessus de la surface, tels que les arbres et les plantes, et peuvent être considérées comme des Modèles Numériques de Terrain (MNT).

4.1.1 Présentation des résultats

Deux cartes sont présentées dans cette section, soit :

- **Carte 3a** : Une comparaison spatiale à l'aide du SIG entre les cartes de 2013 et 2015;
- **Carte 3b** : Une comparaison spatiale à l'aide du SIG entre les cartes de 2015 et 2018.

L'annexe A présente les cartes bathymétriques de 2013, 2015 et 2018 et l'annexe B contient une carte qui compare la bathymétrie mesurée en 2013 à celle de 2018.

4.1.2 Comparaison avec les résultats précédents

Une comparaison visuelle et donc qualitative de ces cartes suggère qu'il n'y a pas eu de changement majeur dans la configuration globale de la morphologie de la Romaine dans la zone d'étude depuis 2013. Toutefois, les résultats semblent indiquer une tendance à la sédimentation dans la zone d'étude.

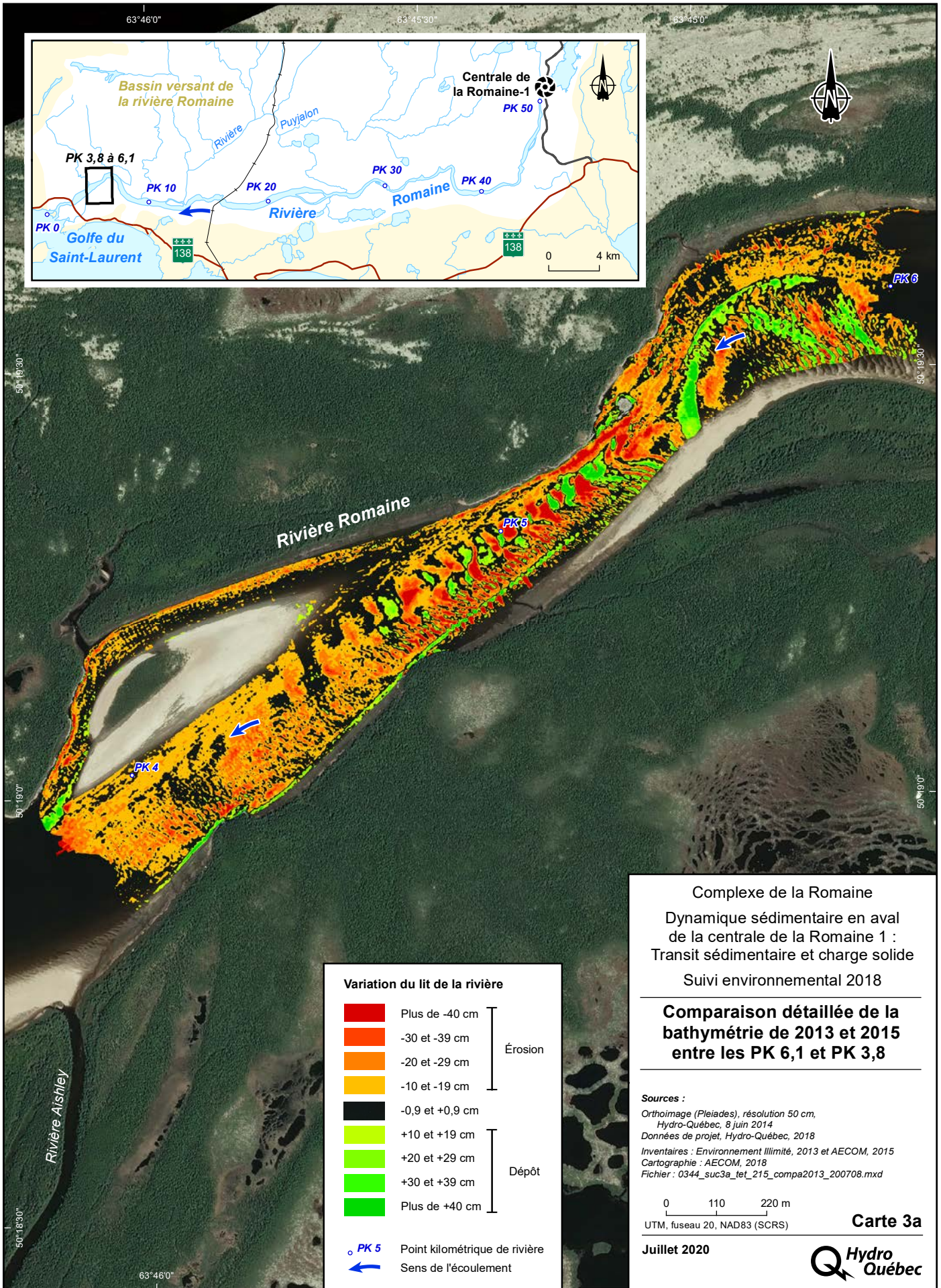
C'est la comparaison spatiale à l'aide du SIG qui a permis une analyse quantitative et ainsi plus détaillée des changements. L'objectif est de voir la localisation et l'ampleur des changements en élévation entre les différents suivis. Ces détails sont présentés aux cartes 3a et 3b. Les changements positifs représentent de la sédimentation (vert sur les cartes) entre les années de suivis et les changements négatifs représentent de l'érosion (orange/rouge sur les cartes).

Les résultats de 2018 confirment la tendance à la sédimentation dans la zone spécifique d'étude initiée et observée depuis le dernier suivi (cartes 3a et 3b). Toutefois, les zones de sédimentation occupent désormais globalement une plus grande superficie qu'en 2015. On note que les deux secteurs principaux d'accumulation de sédiments identifiés lors du dernier suivi (carte 3a), ont continué à se développer depuis 2015 (carte 3b), soit :

- l'accumulation locale en aval du PK 6, sur le banc de sable existant situé à l'intérieur du méandre;
- l'accumulation de sable en aval de l'île - le banc de sable existant dans le bras mineur s'allonge un peu plus vers l'aval.

L'accumulation de sable vis-à-vis le PK 4 dans le chenal principal ainsi que celle dans le bras secondaire de ce secteur sont de nouveaux secteurs de sédimentation depuis 2015.

Il avait été anticipé à l'étude d'impact que la capacité de transport de la rivière serait insuffisante à proximité du PK 6 pour évacuer l'ensemble de la charge sableuse disponible et qu'il y aurait sédimentation temporaire sous la forme de bancs sableux entre les PK 8 et 3 (Hydro-Québec, 2007). Les résultats actuels concordent avec les prévisions de l'étude d'impact.



Complexe de la Romaine
 Dynamique sédimentaire en aval
 de la centrale de la Romaine 1 :
 Transit sédimentaire et charge solide
 Suivi environnemental 2018

Comparaison détaillée de la bathymétrie de 2013 et 2015 entre les PK 6,1 et PK 3,8

Sources :
 Orthoimage (Pleiades), résolution 50 cm,
 Hydro-Québec, 8 juin 2014
 Données de projet, Hydro-Québec, 2018
 Inventaires : Environnement Illimité, 2013 et AECOM, 2015
 Cartographie : AECOM, 2018
 Fichier : 0344_suc3a_tet_215_compa2013_200708.mxd

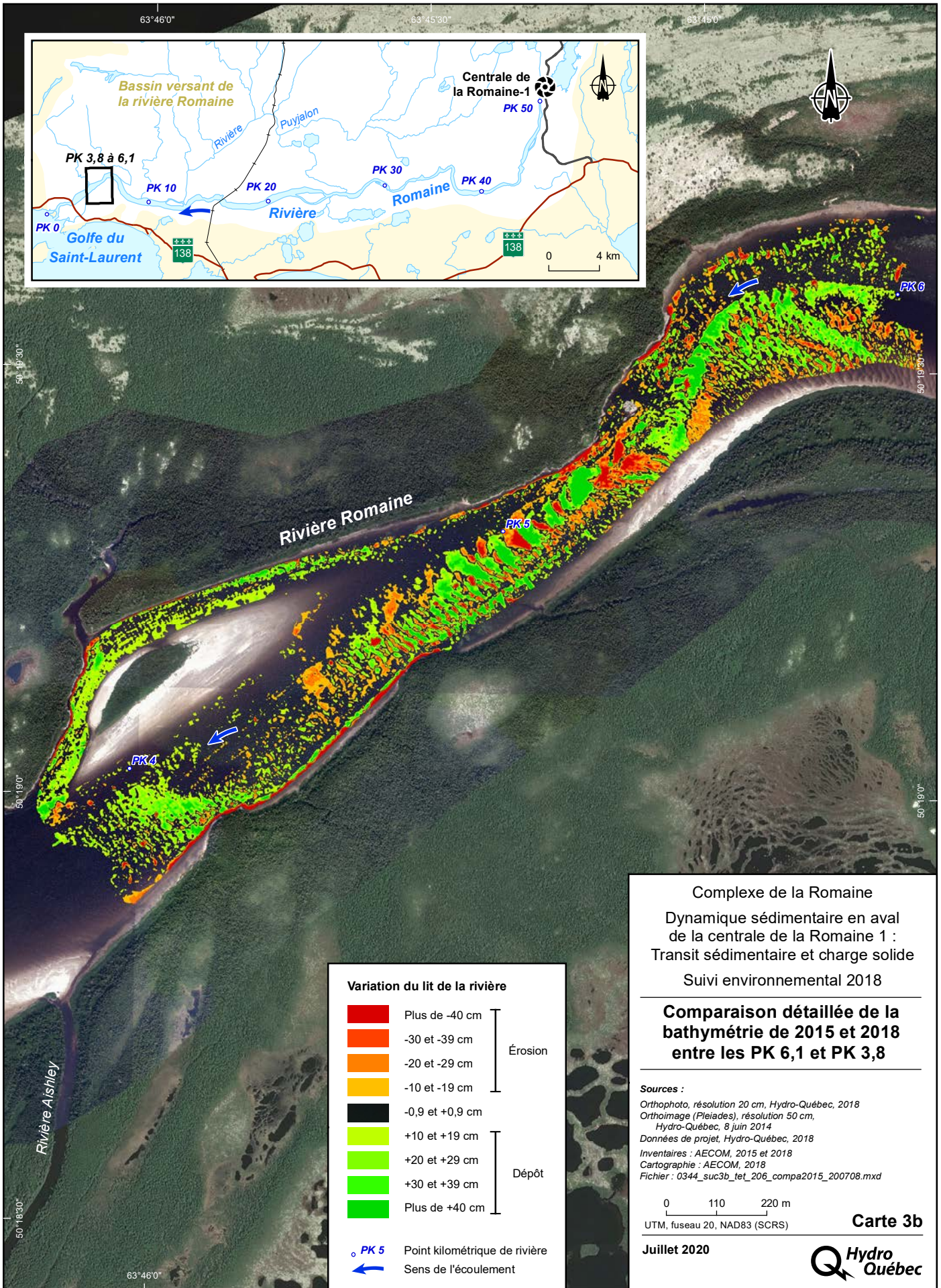
0 110 220 m
 UTM, fuseau 20, NAD83 (SCRS)

Carte 3a
 Juillet 2020
 Hydro Québec

Variation du lit de la rivière

Plus de -40 cm	Érosion
-30 et -39 cm	
-20 et -29 cm	
-10 et -19 cm	
-0,9 et +0,9 cm	Dépôt
+10 et +19 cm	
+20 et +29 cm	
+30 et +39 cm	
Plus de +40 cm	

PK 5 Point kilométrique de rivière
 Sens de l'écoulement



Complexe de la Romaine
 Dynamique sédimentaire en aval
 de la centrale de la Romaine 1 :
 Transit sédimentaire et charge solide
 Suivi environnemental 2018

Comparaison détaillée de la bathymétrie de 2015 et 2018 entre les PK 6,1 et PK 3,8

Sources :
 Orthophoto, résolution 20 cm, Hydro-Québec, 2018
 Orthoimage (Pleiades), résolution 50 cm, Hydro-Québec, 8 juin 2014
 Données de projet, Hydro-Québec, 2018
 Inventaires : AECOM, 2015 et 2018
 Cartographie : AECOM, 2018
 Fichier : 0344_suc3b_tet_206_compa2015_200708.mxd

0 110 220 m
 UTM, fuseau 20, NAD83 (SCRS)

Carte 3b
 Juillet 2020
 Hydro Québec

4.2 Charge de fond, matières en suspension et turbidité

Les données brutes recueillies sur le terrain et les données de laboratoire sont présentées sur un cédérom.

4.2.1 Contexte du débit à l'embouchure de la rivière Romaine en 2018

4.2.1.1 Comparaison avec l'hydrogramme historique

À titre de rappel, la construction du complexe s'échelonna sur six ans et a débuté en 2014 avec la centrale de la Romaine-2 (à proximité du PK 90,3 de la rivière). Ensuite, la centrale de la Romaine-1 est exploitée depuis décembre 2015. Celle-ci se trouve au PK 51,1. La mise en eau du réservoir de la Romaine-3 a été complétée au printemps 2017 et la centrale de la Romaine-3, localisée au PK 158,4 de la rivière, a été mise en service en septembre 2017. Enfin, la centrale de la Romaine-4 située à la tête du complexe au PK 191,9 devrait être mise en service en 2021.

L'intervalle de 1999 à 2014 représente donc la période témoin pendant laquelle les débits de la rivière Romaine étaient en conditions naturelles sans aménagement hydro-électrique (figure 4.1). En 2018, le débit moyen annuel à l'embouchure de la Romaine (PK 5,2) a été de 342 m³/s, ce qui est plus élevé que le débit moyen de 1999 à 2014 (328 m³/s), mais inférieur à celui de 2015 (366 m³/s). En hiver, les débits moyens journaliers des mois de janvier et février 2018 sont plus élevés que les moyennes des débits maximum mesurés pendant la même période entre 1999 et 2014 (figure 4.1). Au printemps, les valeurs les plus élevées de débits sont survenues un mois plus tard que celles de la période 1999-2014 et elles sont de moindre ampleur que la moyenne des crues printanières en conditions naturelles. Les débits observés en 2018 pendant la période estivale (début juillet à la fin septembre) sont similaires à ceux de la période 1999-2014. Finalement, entre octobre et décembre, les débits moyens de 2018 ont été inférieurs aux débits moyens de la période 1999-2014 et ont été parfois plus bas (fin novembre – début décembre) que les moyennes de débit minimum de cette période témoin de 15 ans.

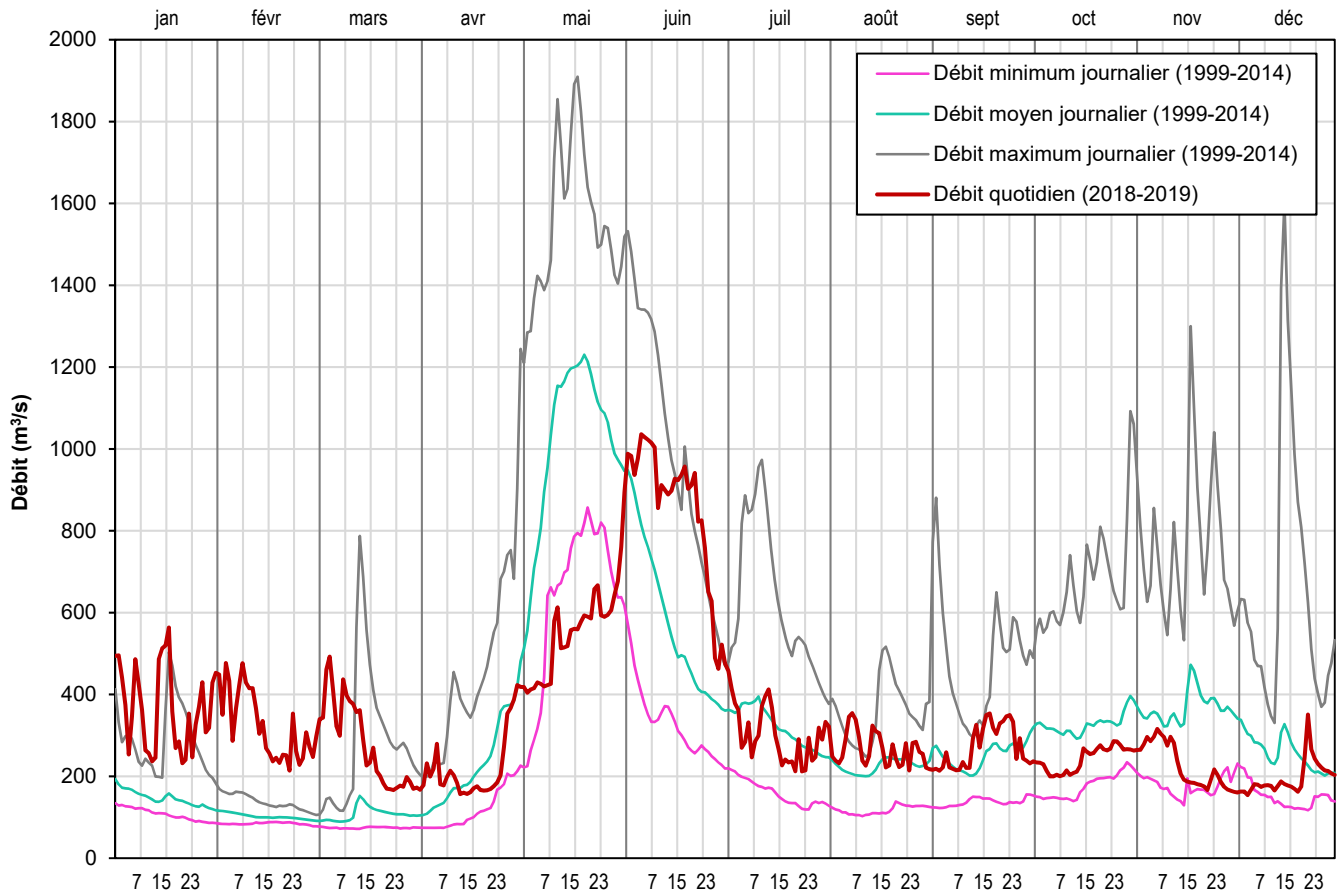


Figure 4.1 : Débits à l'embouchure de la rivière Romaine (PK 5,2)

4.2.1.2 Comparaison des hydrogrammes de 2013, 2015 et 2018

La figure 4.2 permet de comparer les hydrogrammes de 2013, 2015 et 2018, elle illustre également les journées d'échantillonnage pour ces périodes de suivi.

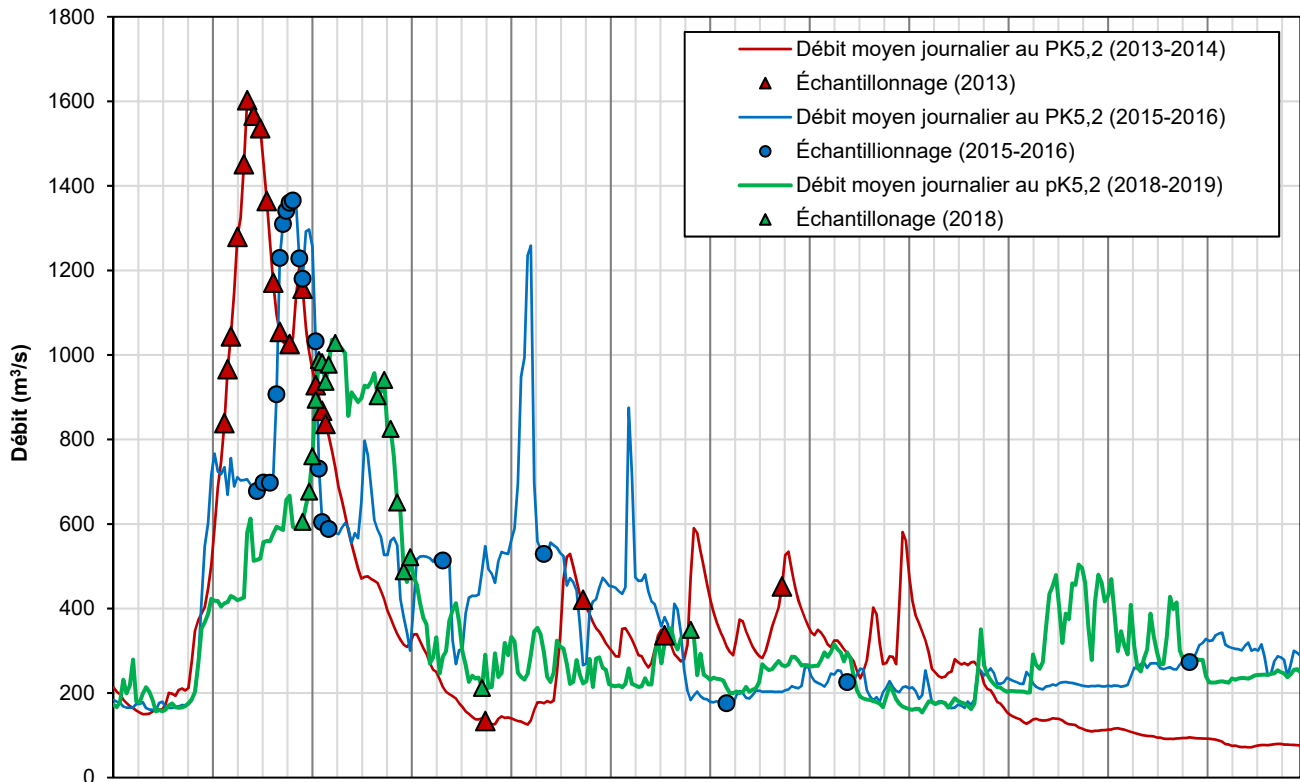


Figure 4.2 : Débits moyens journaliers au PK 5,2 pour les suivis de 2013, 2015 et 2018

Il va de soi que les hydrogrammes pour les années 2015 et 2018 sont différents de celui de 2013 (conditions de référence en conditions naturelles) (figure 4.2). En effet, tel que mentionné précédemment, la pointe de la crue printanière en 2015 et 2018 survient plus tard comparativement à 2013, avec un délai de deux semaines en 2015 et d'un mois en 2018. Le maximum de débit moyen journalier lors de la crue printanière a diminué, passant d'environ 1 600 m³/s en 2013 à 1 000 m³/s en 2018. De plus, les débits estivaux (de juin à la mi-août) ont été plus élevés en 2018 comparativement à 2013, mais plus faibles qu'en juillet-août 2015. Les trois points particuliers de débit élevé en 2015 sont liées à la mise en service de la centrale de la Romaine-1 (Hydro-Québec, 2016). Lors de l'automne (octobre - novembre), les débits en 2015 et en 2018 ont été plus faibles et plus stables qu'en 2013. Enfin, les débits en période hivernale sont généralement plus élevés en 2018.

Tout comme pour les suivis précédents, la période de crue printanière de 2018 a été couverte par de l'échantillonnage intensif. De plus, tout comme en 2015, des échantillonnages ont été réalisés dans des conditions de débits qui n'avaient pas été couverts en 2013 (entre 500 et 800 m³/s), tel qu'il avait été recommandé dans le rapport de l'état de référence (Hydro-Québec, 2015).

Toutefois, tel que mentionné à la 3.2.1.1, il importe de rappeler que la période initiale du tout début de la montée de crue en 2018, qui a débuté vers la fin avril, n'a volontairement pas été échantillonnée pour des raisons d'optimisation de l'échantillonnage.

4.2.2 Charge de fond

4.2.2.1 Méthodes de calcul

Quatre étapes de calcul ont été effectuées avec les mesures de charge de fond en 2013 pour calculer la charge de fond solide annuelle transportée par la rivière. La même approche globale a été adoptée avec les données de 2015 et 2018 (tableau 4.1), en y apportant quelques modifications mineures afin d'augmenter la précision des résultats. Ces modifications sont détaillées aux sections 4.2.2.2 et 4.2.2.3.

Tableau 4.1 : Étapes du calcul de la charge de fond solide annuelle transportée par la rivière Romaine

Étape	Paramètre calculé	Intrants	Équation et/ou méthode
1	Charge de fond ponctuelle transportée par la rivière (g/s)	<ul style="list-style-type: none"> 10 mesures (moyenne de 4 réplicas) de charge de fond répartie dans l'axe de la rivière (M_i) (g/s) Largeur du lit échantillonné (L_r) Largeur de l'échantillonneur (0,076 m) (L_e) 	$Charge\ de\ fond = \frac{L_r \sum M_i}{10 L_e}$
2	Équation de la charge de fond (g/s) en fonction du débit moyen journalier (m^3/s)	<ul style="list-style-type: none"> Ensemble des mesures de charge de fond (2013, 2015 et 2018) Débit moyen journalier de la rivière au PK 5,2 (m^3/s) (Q) 	Mise en équation par moindres carrés 2013 : $C = 0,00002Q^{2,636}$ 2015 : $C = 0,00005Q^{2,5895}$ 2018 : $C = 00629Q^{1,5251}$
3	Charge de fond annuelle (t/année) pour une année spécifique	<ul style="list-style-type: none"> Équation de la charge de fond en fonction du débit moyen journalier (étape 2) Débits moyens journaliers de la rivière pour l'année spécifique, Q_i (m^3/s) 	Calcul de charge de fond à partir des débits moyens journaliers pour l'année entière, utilisant la relation établie à l'Étape 2.
4	Charge de fond annuelle moyenne (t/année) pour les débits disponibles (1999-2014)	<ul style="list-style-type: none"> Équation de la charge de fond en fonction du débit moyen journalier (étape 2) Débits moyens annuels au PK 5,2 (1999-2014) 	Calcul de charge de fond à partir des débits moyens journaliers pour l'hydrogramme historique 1999-2014, utilisant la relation établie à l'Étape 2.

4.2.2.2 Comparaison avec les résultats précédents

À l'instar du suivi de 2015, une comparaison des résultats de cette année est effectuée avec les résultats de l'état de référence de 2013 et l'étude d'impact de 2004, selon les quatre étapes de calcul détaillées au tableau 4.1, soit :

- Étape 1 : Charge de fond ponctuelle transportée par la rivière (g/s)
- Étape 2 : Équation de la charge de fond (g/s) en fonction du débit moyen journalier (m^3/s)
- Étape 3 : Charge de fond annuelle (t/année)
- Étape 4 : Charge de fond annuelle moyenne (t/année)

Étape 1 : Charge de fond ponctuelle transportée par la rivière (g/s)

Comme pour le suivi de 2015, les calculs de la charge de fond ponctuelle ont été faits sur la base d'une largeur du lit de la rivière de 385 m à l'endroit du site d'étude. Les dix verticales des sites spécifiques d'échantillonnage ont été espacées également à travers la coupe transversale. La charge de fond ponctuelle transportée par la rivière (g/s) a été calculée selon l'équation suivante pour chaque date d'échantillonnage. Les résultats sont présentés au tableau 4.2.

$$\text{Charge de fond transportée par la rivière (g/s)} = \frac{L_r \sum M_i}{10 L_e}$$

Où

M_i = la charge de fond échantillonnée (g/s) : soit la masse totale pour les dix verticales divisée par la durée d'échantillonnage

L_r = la largeur du lit de la rivière : 385 m

L_e = la largeur de l'échantillonneur : 0,076 m.

Les valeurs de charge de fond ponctuelle transportée par la rivière ont été converties en charge de fond journalière (tonnes par jour) afin de faciliter les comparaisons avec les valeurs documentées en avant-projet (en 2003 et 2004).

Tableau 4.2 : Mesures de la charge de fond ponctuelle transportée par la rivière (2018)

Date	Masse totale pour les dix verticales (g)	Durée d'échantillonnage (s)	Charge de fond échantillonnée (g/s) M_i	Largeur du lit de la rivière (m) L_r	Débit moyen journalier au PK 5,2 (m ³ /s) Q	Charge de fond ponctuelle transportée par la rivière (g/s)	Charge de fond journalière (t/jour)
2018-05-29	255	80	3,19	385	605	1 614	139
2018-05-31	132	80	1,66	385	677	839	72
2018-06-01	244	80	3,04	385	760	1 542	133
2018-06-03	296	80	3,70	385	988	3 123	270
2018-06-04	271	80	3,39	385	983	2 145	185
2018-06-06	574	80	7,17	385	977	3 632	314
2018-06-08	520	80	6,49	385	1 029	3 290	284
2018-06-21	431	80	5,39	385	903	2 730	236
2018-06-23	445	80	5,56	385	941	2 817	243
2018-06-25	253	80	3,16	385	825	1 600	138
2018-06-27	306	80	3,82	385	651	1 935	167
2018-06-29	100	80	1,25	385	488	634	55
2018-07-01	130	80	1,63	385	522	825	71
2018-07-23	44	80	0,55	385	212	307	27
2018-09-25	62	80	0,78	385	350	395	34

La charge de fond calculée, transportée par la rivière (g/s), et le débit moyen journalier au PK 5,2 pour la crue printanière sont présentés, pour 2013, 2015 et 2018 respectivement, aux figures 4.3a, 4.3b et 4.3c. Les données confirment que, comme identifiée dans l'étude d'impact, la relation globale entre le débit de la Romaine et la charge de fond est synchrone (Hydro-Québec, 2007). Une augmentation de la charge de fond est observée pendant la montée de la crue et la pointe du débit coïncide avec la pointe de la charge de fond. Lors de la décrue, la charge de fond décroît. Cependant, les charges de fond ne sont pas les mêmes à débit égal lorsque la rivière est en crue ou en décrue. Ce phénomène bien connu (Milhous et Klingeman, 1992; Moog et Whiting, 1998) est examiné plus en détail à l'annexe C tout comme en 2015.

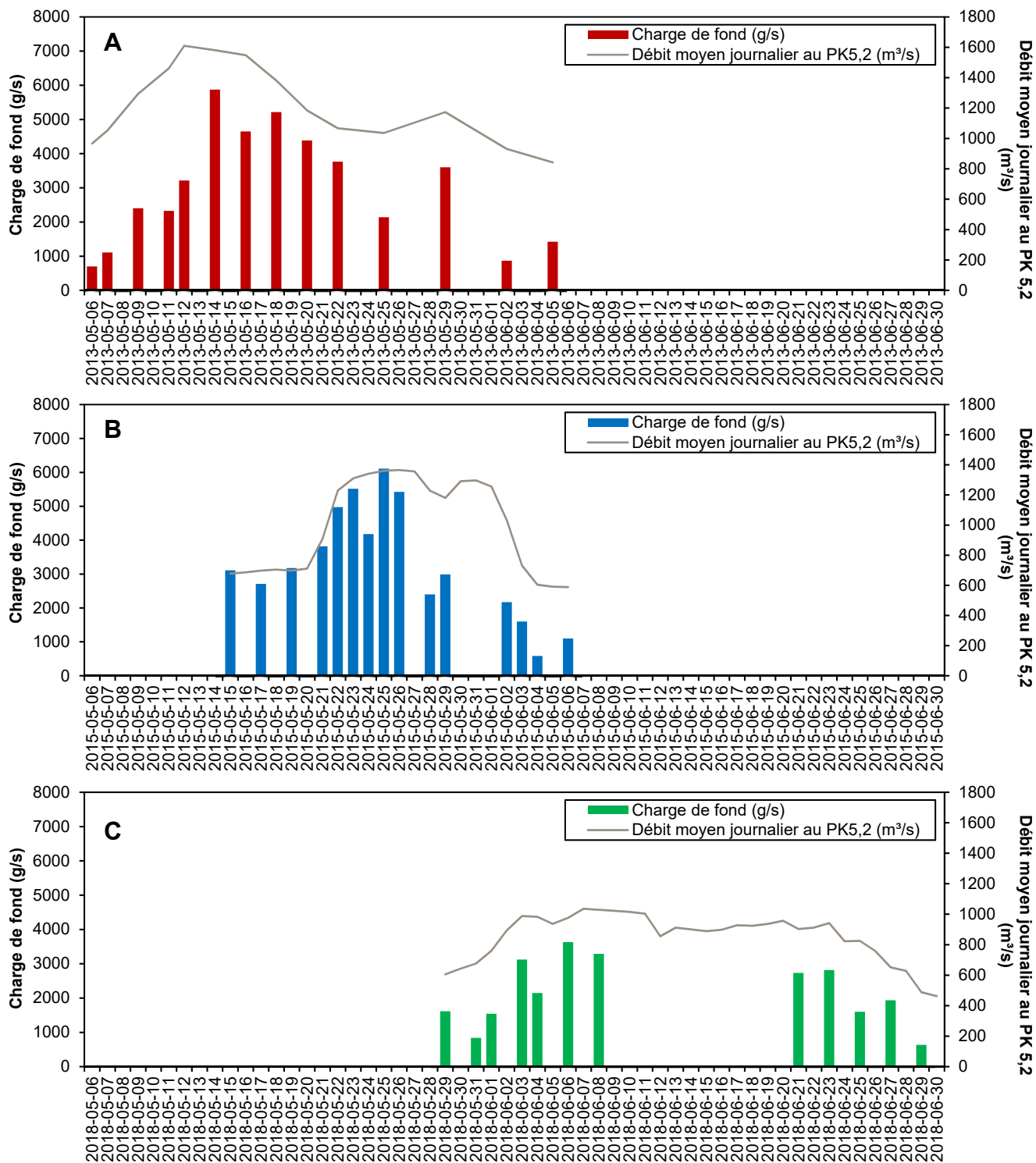


Figure 4.3 : Charge de fond mesurée et débit moyen journalier au PK 5,2 pendant la crue printanière

Données de : a) 2013 (révisées)³, b) 2015, et c) 2018. La charge de fond n'a pas été échantillonnée tous les jours, ce qui explique l'absence de résultats pour certaines journées.

³ Lors du suivi de 2015, les charges de fond de 2013 avaient été estimées de nouveau en utilisant la même largeur du lit de la rivière qu'en 2015 pour faciliter la comparaison des résultats entre les années.

Étape 2 : Équation de la charge de fond (g/s) en fonction du débit moyen journalier (m³/s)

Dans le rapport de suivi de 2015 (AECOM, 2016), il a été démontré que la différence dans les relations en utilisant les débits moyens horaires à la place des débits moyens journaliers n'était pas significative. Ainsi, les débits moyens journaliers ont été retenus pour les analyses suivantes, tout comme en 2013 et 2015.

Les données ont été utilisées pour mettre en relation la charge de fond transportée par la rivière et le débit moyen journalier au PK 5,2. Tout comme en 2015, plusieurs types de courbes de tendance (linéaire, exponentielle, puissance, polynomiale) ont été examinés (voir annexe D). La relation « puissance » a le coefficient de détermination le plus élevé pour les trois années de suivi. Les résultats sont présentés individuellement aux figures 4.4a, 4.4b, et 4.4c, ainsi que combinés sur une même figure (figure 4.5).

Il est à noter que, puisque les débits de la rivière Romaine n'ont jamais dépassé 1 100 m³/s en 2018 (voir section 4.2.1.2), il était impossible de réaliser des mesures de charge de fond à des pointes de débits similaires aux années antérieures. Malgré cela, les tendances sont globalement similaires et les résultats des trois années confirment que la charge de fond augmente globalement avec le débit de la rivière.

Enfin, les résultats de 2015 corroboraient l'hypothèse que la charge de fond devient très faible lorsque le débit devient inférieur à 300 m³/s. Cette valeur correspond à celle qui avait été calculée à partir du modèle hydraulique et de la force tractrice en avant-projet (Hydro-Québec, 2015). Cependant, en 2018, une charge de fond de 307 g/s a été calculée le 23 juillet, lorsque le débit était de 212 m³/s comparativement à des charges de 30, 23 et 92 g/s en 2015 pour des débits respectivement de 176, 226 et 274 m³/s. Il est difficile de statuer sur une nouvelle tendance en 2018 comparativement à 2015, pour des débits inférieurs à 300 m³/s, à partir que d'une seule valeur. Des mesures supplémentaires devraient être prises lors du prochain suivi pour cette gamme de débits afin de vérifier cette hypothèse.

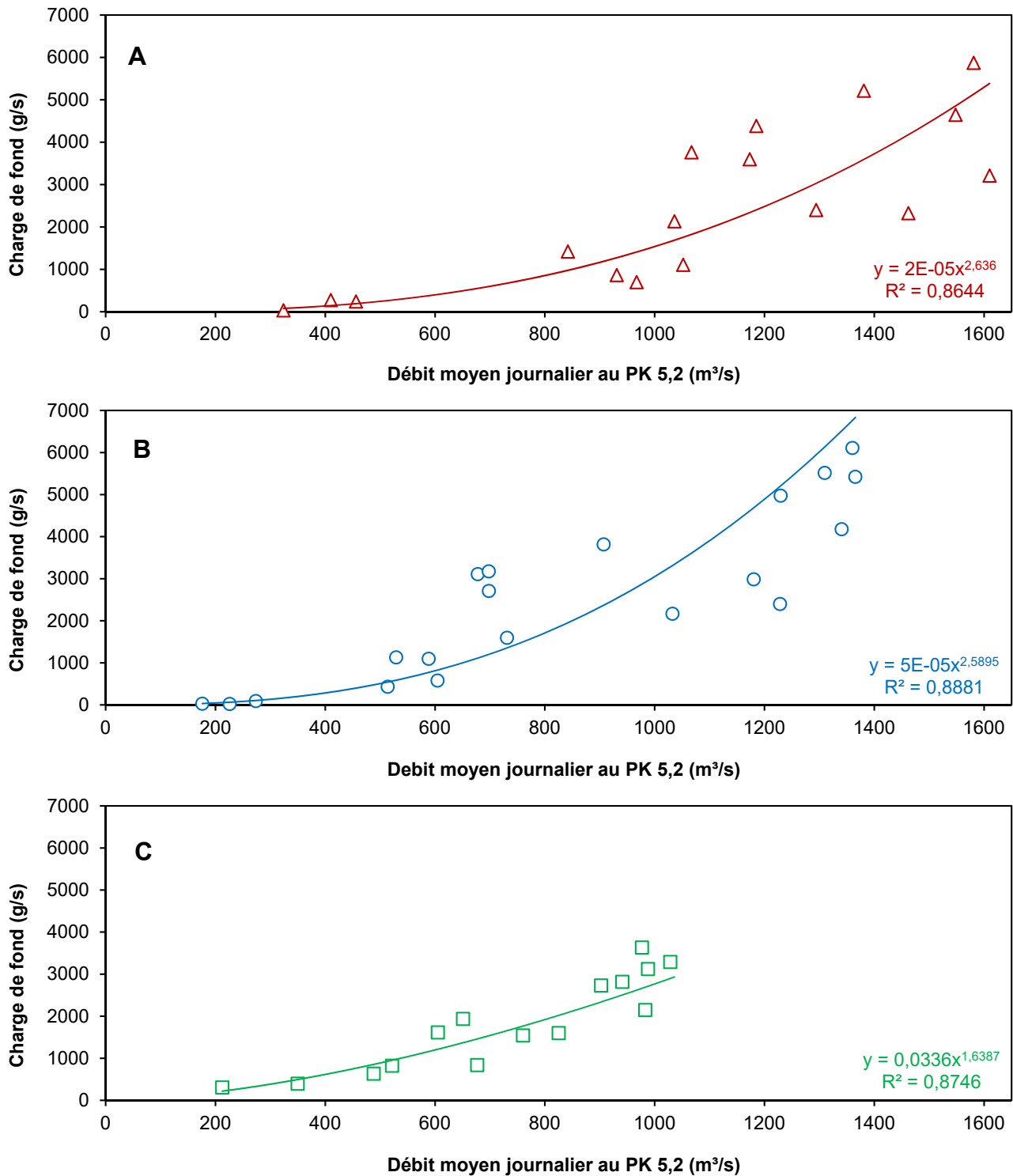


Figure 4.4 : Charge de fond ponctuelle transportée par la rivière au PK 3,8, en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2

Données de : a) 2013 (révisées), b) 2015, et c) 2018.

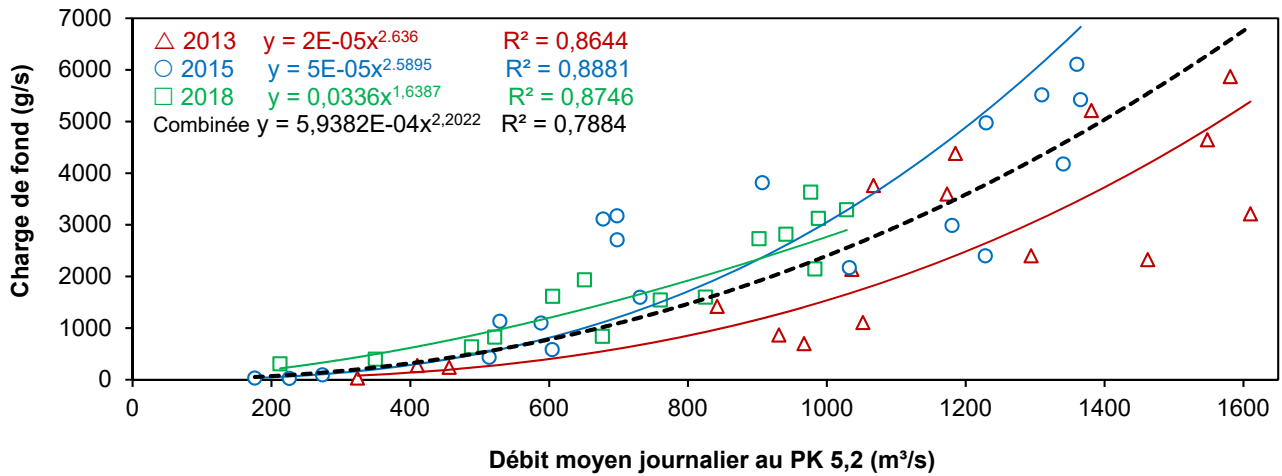


Figure 4.5 : Charge de fond ponctuelle transportée par la rivière au PK 3,8, en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 (comparaison entre 2013, 2015 et 2018)

Étape 3 : Charge de fond annuelle (t/année)

Contrairement à la charge de fond, le débit est mesuré de façon continue (depuis 1957 au PK 16 et depuis 1999 au PK 5,2). De ce fait, les équations mettant en relation la charge de fond échantillonnée (g/s) avec le débit moyen journalier au PK 5,2 (voir Étape 2) ont été utilisées afin d'estimer la charge de fond annuelle (t/année) pour 2013, 2015 et 2018. Les charges de fond journalières (t/jour) ont d'abord été estimées en utilisant les relations établies à l'étape 2. Les résultats sont présentés pour 2013, 2015 et 2018 à la figure 4.6.

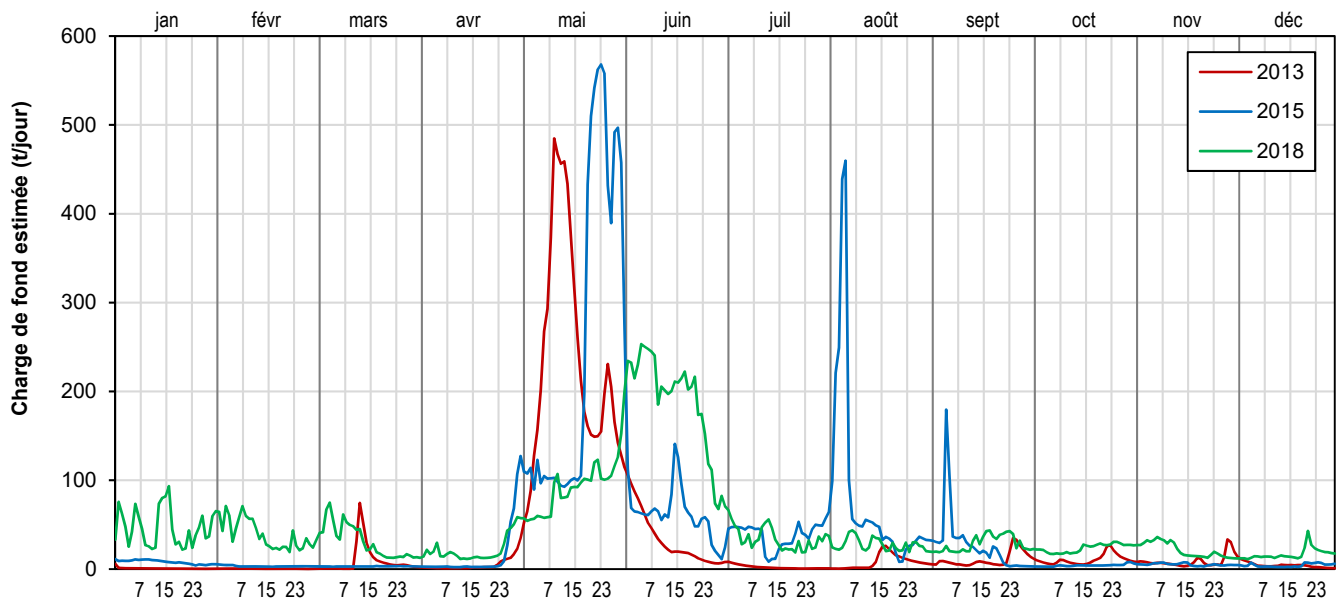


Figure 4.6 : Charge de fond journalière en 2013, 2015 et 2018, estimée en utilisant les relations avec le débit moyen journalier au PK 5,2

La charge de fond annuelle au PK 3,8 a ensuite été estimée pour 2013, 2015 et 2018 en cumulant les charges de fond journalières pour l'année entière. Selon ces calculs, la rivière aurait transporté annuellement en charge de fond :

- **10 000 tonnes** en 2013;
- **15 400 tonnes** en 2015;
- **17 400 tonnes** en 2018.

La charge de fond annuelle estimée pour 2018 est plus élevée que celles de 2013 et de 2015. Ceci pourrait suggérer un changement dans la dynamique sédimentaire de la rivière, mais pourrait aussi être attribuable à une équation de régression qui ne reflète pas adéquatement la réalité de 2018 en générant des estimations de charge de fond supérieures aux deux autres années du suivi, du moins pour les débits inférieurs à environ 900 m³/s (voir figure 4.5).

En comparaison, la charge de fond annuelle a été estimée à **8 000 t/a** pour 2003 et à entre **8 000 t/a et 12 000 t/a** pour 2004 en avant-projet (Hydro-Québec, 2007). Toutefois, ces valeurs ont été estimées que pour la période de crue printanière (Poly-Géo, 2006), avec l'hypothèse que la charge de fond était minime pour le reste de l'année. Cependant, le débit à l'embouchure de la rivière Romaine excède parfois 300 m³/s à d'autres périodes de l'année, surtout en automne (voir figure 4.1).

Pour effectuer une comparaison plus juste avec les estimations en avant-projet, les charges de fond journalières ont été cumulées uniquement pour les crues printanières de 2013, 2015 et 2018. Les résultats sont les suivants :

- **8 300 t** en charge de fond pour la crue printanière de 2013 (entre le 26 avril et le 5 juillet);
- **10 000 t** en charge de fond pour la crue printanière de 2015 (entre le 28 avril et le 1^{er} juillet);
- **9 000 t** en charge de fond pour la crue printanière de 2018 (entre le 28 avril et le 6 juillet).

En comparant la période de crue printanière, les estimations de 2013, 2015 et 2018 sont similaires aux estimations de charge de fond effectuées en avant-projet pour 2003 et 2004.

Étape 4 : Charge de fond annuelle moyenne (historique) (t/année)

En 2013, l'équation mettant en relation le débit moyen journalier au PK 5,2 avec la charge de fond a été appliquée pour reconstituer une estimation de l'historique de la charge de fond annuelle moyenne. Lorsque les débits au PK 5,2 n'étaient pas disponibles, les débits enregistrés à la station 073801 du CEHQ (PK 16) ont été utilisés en les majorant d'un facteur de 1,1198, afin de tenir compte de la différence de superficie des bassins versants associés aux PK 5,2 et 16.

Cette même analyse a été refaite avec les nouvelles relations établies entre le débit moyen journalier et la charge de fond de 2013, 2015 et 2018, en utilisant les débits moyens historiques de 1999 à 2014 au PK 5,2 (Station ROMA0665). La charge de fond moyenne, estimée selon les trois relations, est présentée à la figure 4.7, avec les charges de fond annuelles de 2013, 2015 et 2018.

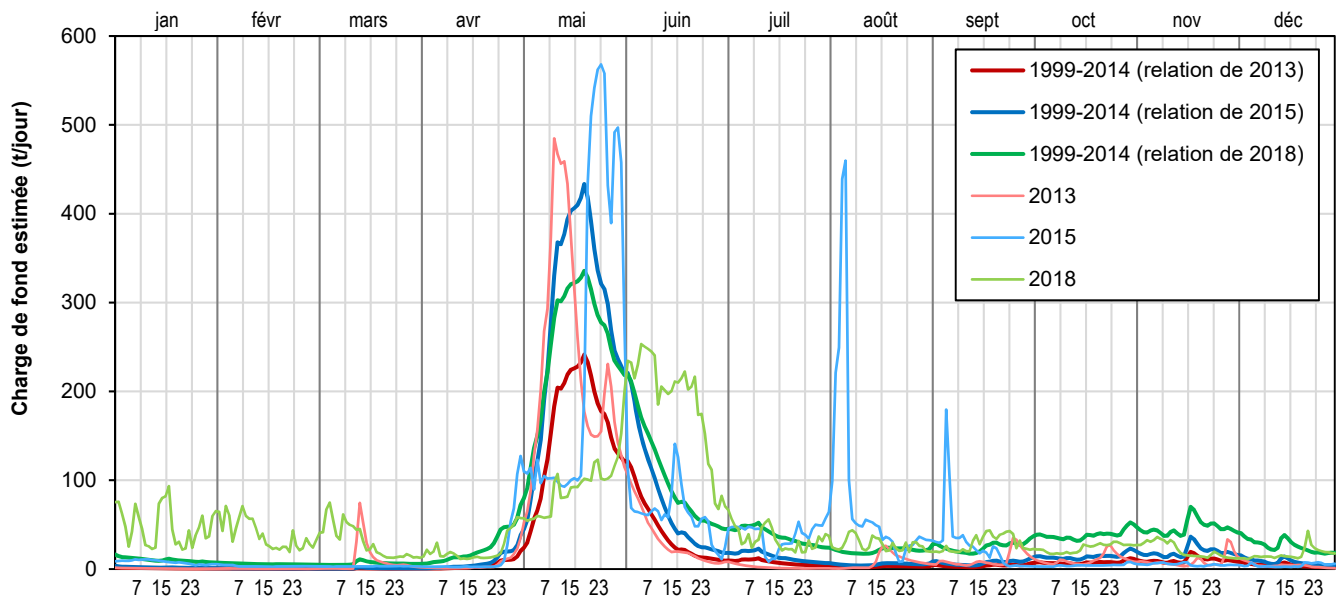


Figure 4.7 : Estimation de la charge de fond moyenne historique (1999-2014), selon la charge de fond annuelle calculée en 2013, 2015 et 2018

La charge de fond moyenne annuelle (t/année) selon les calculs illustrés à la figure 4.7 est de :

- **7 300 t/a** selon la relation de 2013;
- **13 400 t/a** selon la relation de 2015;
- **18 100 t/a** selon la relation de 2018.

La charge de fond annuelle, calculée selon la relation de 2018 pour les débits moyens historiques entre 1999 et 2014, est supérieure à celles des années antérieures. Tout comme en 2015, ces résultats ne montrent pas d'évidence d'une diminution de la charge de fond depuis 2013, tel qu'il avait été anticipé à l'étude d'impact.

Toutefois, tel que mentionné précédemment, l'équation de régression de 2018 génère des valeurs de charge de fond plus élevées comparativement aux suivis de 2013 et 2015, pour les débits inférieurs à environ 900 m³/s (voir figure 4.5). Ceci pourrait expliquer pourquoi la charge de fond annuelle est plus élevée lorsque la relation de 2018 est utilisée. Des mesures supplémentaires lors du prochain suivi permettront de bonifier ces hypothèses et analyses.

4.2.2.3 Sommaire des résultats (faits saillants)

- La charge de fond augmente avec le débit de la rivière.
- Tel que mentionné à l'étude d'impact, la relation entre le débit moyen journalier de la Romaine au PK 5,2, et la charge de fond au PK 3,8 est synchrone. La variation du débit entraîne une variation instantanée de la charge de fond.
- La charge de fond annuelle au PK 3,8 a été estimée à :
 - **10 000 t/a** durant l'année 2013;
 - **15 400 t/a** durant l'année 2015;
 - **17 400 t/a** durant l'année 2018.

Les résultats de 2018 ne montrent pas d'évidences d'une diminution de la charge de fond entre 2013 et 2018, tel qu'il avait été anticipé à l'étude d'impact, mais plutôt le contraire. Ceci semble être causé par les différences entre les relations, qui génèrent des charges de fond plus élevées pour les débits inférieurs à environ 900 m³/s en 2018. Le prochain suivi permettra de compléter ce type d'analyse.

- L'étude d'impact a évalué la charge de fond à **8 000 t** en 2003 et à entre **8 000 t et 12 000 t** en 2004 pendant la crue printanière (Hydro-Québec, 2007). Les estimations comparables pour la crue printanière sont de :
 - **8 300 t** pour l'année 2013;
 - **10 000 t** pour l'année 2015;
 - **9 000 t** pour l'année 2018.

Les estimations pendant les crues printanières de 2013, 2015 et 2018 restent comparables aux valeurs présentées en avant-projet.

4.2.3 Charge en suspension

Les données brutes recueillies sur le terrain et les données de laboratoire sont présentées sur un cédérom. Les matières en suspension (MES) sont une concentration des particules solides présentes dans l'eau, mesurée en mg/L. La charge en suspension est la masse solide transportée en suspension par la rivière à travers une période de temps, mesurée dans ce suivi en tonnes par jour et tonnes par année.

4.2.3.1 Méthodes d'analyse

Quatre étapes de calcul ont été effectuées à partir des mesures de matières en suspension (MES) en 2013 pour déterminer la charge en suspension annuelle transportée par la rivière Romaine. Les données de 2015 et 2018 ont été traitées en suivant les mêmes quatre étapes (tableau 4.3) pour permettre une analyse comparative avec les résultats de l'état de référence en 2013. Cependant, tel que discuté de façon détaillée dans les prochaines sections, les étapes 3 et 4 ne pouvaient pas être réalisées avec les données 2018.

Tableau 4.3 : Étapes du calcul de la charge en suspension annuelle transportée par la rivière Romaine

Étape	Paramètre calculé	Intrants	Équation ou méthode
1	MES moyennes pour la section transversale (mg/L) associée à un débit donné (m ³ /s)	<ul style="list-style-type: none"> Trois mesures (moyenne de quatre répliques) de MES réparties sur la section transversale Débit moyen journalier de la rivière au PK 5,2 le jour de l'échantillonnage, Q (m³/s) 	Moyenne des valeurs MES pour les trois bouées pour obtenir la moyenne de la section transversale.
2	Équation de MES (mg/L) en fonction du débit au PK 5,2 (m ³ /s)	<ul style="list-style-type: none"> Ensemble des mesures de charge en suspension (2004, 2013, 2015 et 2018) (mg/L) Débit moyen journalier de la rivière au PK 5,2 le jour de l'échantillonnage, Q (m³/s) 	Mise en équation par moindre carré.
3	Charge en suspension transportée par la rivière (t/année) pour une année spécifique	<ul style="list-style-type: none"> Équation de MES (mg/L) en fonction du débit au PK 5,2 (m³/s) (étape 2) Débits moyens journaliers au PK 5,2 pour l'année spécifique, Q_j (m³/s) 	Calcul de charge en suspension à partir des débits moyens journaliers pour l'année entière, utilisant la relation établie à l'étape 2.
4	Charge en suspension annuelle moyenne (t/année) pour les débits disponibles (1999-2014)	<ul style="list-style-type: none"> Équation de MES (mg/L) en fonction du débit au PK 5,2 (m³/s) (étape 2) Débits moyens annuels au PK 5,2 (1999-2014) 	Calcul de charge en suspension à partir des débits moyens journaliers pour l'hydrogramme historique 1999-2014, utilisant la relation établie à l'étape 2.

4.2.3.2 Comparaison avec les résultats précédents

Voici les quatre étapes de calculs détaillées au tableau 4.4, afin d'effectuer une comparaison avec les résultats du suivi de 2015, de l'état de référence en 2013 et de l'étude d'impact en 2004 :

- Étape 1 : MES moyennes pour la section transversale (mg/L)
- Étape 2 : Équation de MES (mg/L) en fonction du débit au PK 5,2 (m³/s)
- Étape 3 : Charge en suspension annuelle transportée par la rivière (t/année) pour une année spécifique
- Étape 4 : Charge en suspension annuelle moyenne (t/année) pour les données de débits disponibles

Étape 1 : MES moyennes pour la section transversale (mg/L), associées à un débit donné (m³/s)

Les mesures de MES et les débits au PK 5,2 en 2004, 2013, 2015 et 2018 sont présentées aux tableaux 4.4 et 4.5. Les mesures de MES ponctuelles transportées par la rivière (mg/L) et le débit moyen journalier au PK 5,2 sont présentées pour la crue printanière de 2013, 2015 et 2018 aux figures 4.8a, 4.8b et 4.8c. Il est largement documenté que la relation entre le débit et les MES est non synchrone, tel qu'également mentionné dans l'étude d'impact (Hydro-Québec, 2007). En effet, il y a une augmentation de MES avant la pointe de la crue, ce qui entraîne souvent un décalage entre la pointe du débit et celui de la charge en suspension, tel qu'observé pour les résultats de 2013 et de 2015 (figures 4.8a et 4.8b). Toutefois, tel qu'illustré à la figure 4.8c, les résultats de 2018 n'indiquent pas ce décalage.

Tel que mentionné de façon détaillée à la 3.2.1.1 et repris à la section 4.2.1.2, il importe de rappeler que la période initiale du tout début de la montée de crue en 2018, qui a débuté vers la fin avril, n'a pas été échantillonnée pour des raisons d'optimisation de l'échantillonnage. Puisque la montée de la pointe de MES arrive souvent avant celle du début de la montée de la pointe des débits, il est possible de supposer que l'échantillonnage qui a commencé que vers la mi-mai n'ait pas permis de capter le début de la montée de MES (voir également section suivante Étape 2).

Tableau 4.4 : Mesures de matières en suspension (MES) et débits au PK 5,2 en 2004 et 2013

2004 (Étude d'impact)			2013 (État de référence)		
Date	Débit moyen journalier (m ³ /s)	Matières en suspension (mg/L)	Date	Débit moyen journalier (m ³ /s)	Matières en suspension (mg/L)
2004-05-14	731	7,67	2013-05-05	835	18,67
2004-05-15	753	6,33	2013-05-06	967	22,67
2004-05-16	813	6,67	2013-05-07	1 052	20,67
2004-05-17	903	7,00	2013-05-09	1 294	24,33
2004-05-18	1 017	10,00	2013-05-11	1 462	22,00
2004-05-19	1 185	18,33	2013-05-12	1 610	25,67
2004-05-20	1 278	17,33	2013-05-14	1 581	19,33
2004-05-21	1 373	19,40	2013-05-16	1 548	14,00
2004-05-25	1 334	5,67	2013-05-18	1 381	8,00
2004-05-27	1 233	4,67	2013-05-20	1 185	6,53
2004-05-29	1 233	3,67	2013-05-22	1 067	4,93
2004-06-02	1 367	4,33	2013-05-25	1 036	5,74
2004-06-07	1 341	5,33	2013-05-29	1 173	4,47
2004-06-10	1 317	4,00	2013-06-02	931	4,97
2004-06-13	1 159	4,00	2013-06-04	872	4,37
2004-06-20	818	3,33	2013-06-05	842	4,03
			2013-07-24	133	1,98
			2013-08-23	410	2,78
			2013-09-17	324	5,13
			2013-10-23	456	2,63
			2014-01-29	111	0,00

Tableau 4.5 : Mesures de matières en suspension (MES) et débits au PK 5,2 en 2015 et 2018

2015 (Suivi)			2018 (Suivi)		
Date	Débit moyen journalier (m ³ /s)	Matières en suspension (mg/L)	Date	Débit moyen journalier (m ³ /s)	Matières en suspension moyennes (mg/L)
2015-05-15	678	9,42	2018-05-29	605	0,00
2015-05-17	698	5,08	2018-05-31	677	0,86
2015-05-19	698	3,58	2018-06-01	760	2,08
2015-05-21	907	16,55	2018-06-02	894	4,33
2015-05-22	1 229	34,42	2018-06-03	988	4,88
2015-05-23	1 310	25,75	2018-06-04	983	2,12
2015-05-24	1 341	20,50	2018-06-05	936	6,83
2015-05-25	1 360	13,67	2018-06-06	977	9,25
2015-05-26	1 366	13,50	2018-06-08	1 029	10,00
2015-05-28	1 228	9,58	2018-06-21	903	1,00
2015-05-29	1 180	5,25	2018-06-23	941	2,50
2015-06-02	1 032	4,58	2018-06-25	825	2,42
2015-06-03	731	2,75	2018-06-27	651	3,75
2015-06-04	605	3,25	2018-06-29	488	3,00
2015-06-06	588	2,42	2018-07-01	522	3,33
2015-07-11	514	4,25	2018-07-23	212	6,08
2015-08-11	529	1,67	2018-09-25	350	6,17
2015-10-06	176	1,58			
2015-11-12	226	6,75			
2016-02-25	274	1,38			

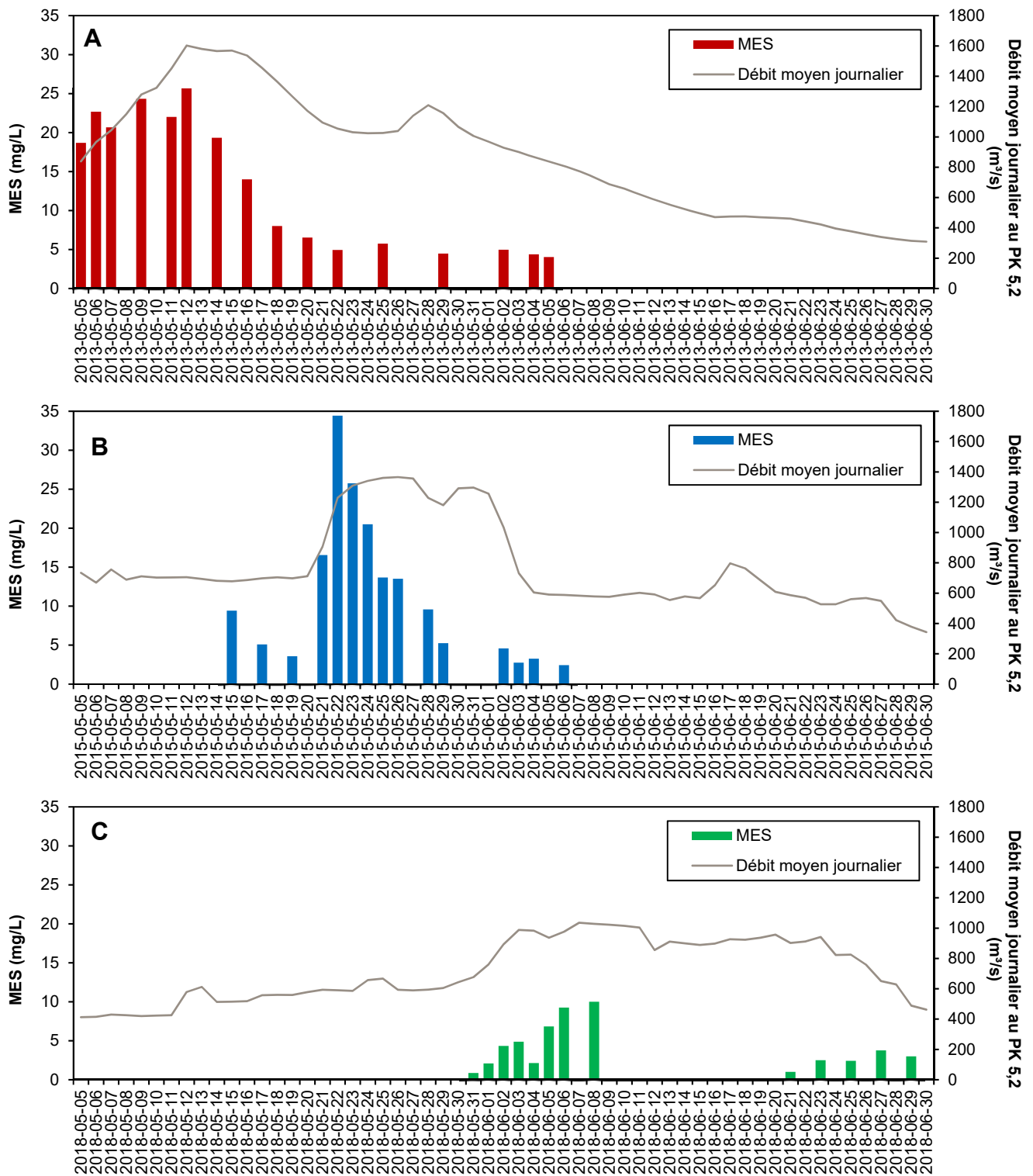


Figure 4.8 : MES mesurées et débit moyen journalier au PK 5,2 pendant la crue printanière

Données de : a) 2013, b) 2015, et c) 2018. LES MES n'ont pas été échantillonnées tous les jours, ce qui explique l'absence de résultats pour certaines journées.

Étape 2 : Équation de MES (mg/L) en fonction du débit au PK 5,2 (m³/s)

Malgré le fait que les résultats de 2018 soient différents de ceux de 2013 et de 2015 pour l'Étape 1, les données présentées au tableau 4.5 ont tout de même été utilisées pour mettre en relation les mesures de MES et le débit moyen journalier au PK 5,2.

Les relations pour les données de 2013, 2015 et de 2018 sont présentées aux figures 4.9a, 4.9b et 4.9c. Il est à mentionner que tout comme lors des suivis précédents, plusieurs autres types de courbes de tendance (linéaire, exponentielle, puissance, polynomiale) ont été examinés pour mettre en relation les MES et le débit moyen journalier au PK 5,2 en 2018 (voir l'annexe E). À l'exception de l'année 2018, la régression de type « exponentielle » donne le coefficient de détermination (R^2) le plus élevé ($R^2=0,60$ en 2015 et $0,53$ en 2013).

L'ensemble des courbes examinées pour 2018 n'indique aucune tendance claire (voir figure 4.9c et annexe E). Aucune relation statistique n'a d'ailleurs été établie. Il ne semble donc pas y avoir de relation précise entre les débits et les teneurs en MES cette année.

Trois hypothèses pourraient contribuer à expliquer l'absence de relation statistique significative entre le débit et la charge en suspension en 2018 :

- 1) En 2018, les débits n'ont pas dépassé $1\,036\text{ m}^3/\text{s}$ comparativement aux crues de 2013 et de 2015 qui ont été de plus forte amplitude. En conséquence, la gamme de valeurs qui pourrait être échantillonnée est beaucoup plus restreinte, ce qui nuit à la qualité de la corrélation.
- 2) Il est probable que la crue de la Puyjalon, qui a débuté vers la fin avril cette année, puisse contribuer de façon non négligeable au transport de sédiments et donc à l'augmentation des MES dans le secteur d'échantillonnage. En voulant documenter principalement les apports de la Romaine en mettant l'accent sur l'échantillonnage de la montée de crue de cette dernière vers la fin mai (puisque l'augmentation du débit provenant de la centrale de la Romaine-1 a été effective que vers la mi-mai), il est plausible que les apports provenant de la Puyjalon n'aient pas été échantillonnés.
- 3) L'échantillonnage a débuté après le tout début de la montée de crue initiale et peut-être ainsi après la pointe de MES sur la Romaine.

Il serait imprudent de poursuivre les étapes de calculs subséquentes pour tenter d'estimer la charge en suspension annuelle transportée par la rivière. Il va de soi que l'ensemble de ces résultats et hypothèses devront être pris en compte lors du prochain suivi prévu en 2026 pour tenter de combler certaines lacunes. Il est d'ailleurs convenu que la crue sera échantillonnée en entier en 2026 afin de s'assurer de capter également le tout début de la montée de crue.

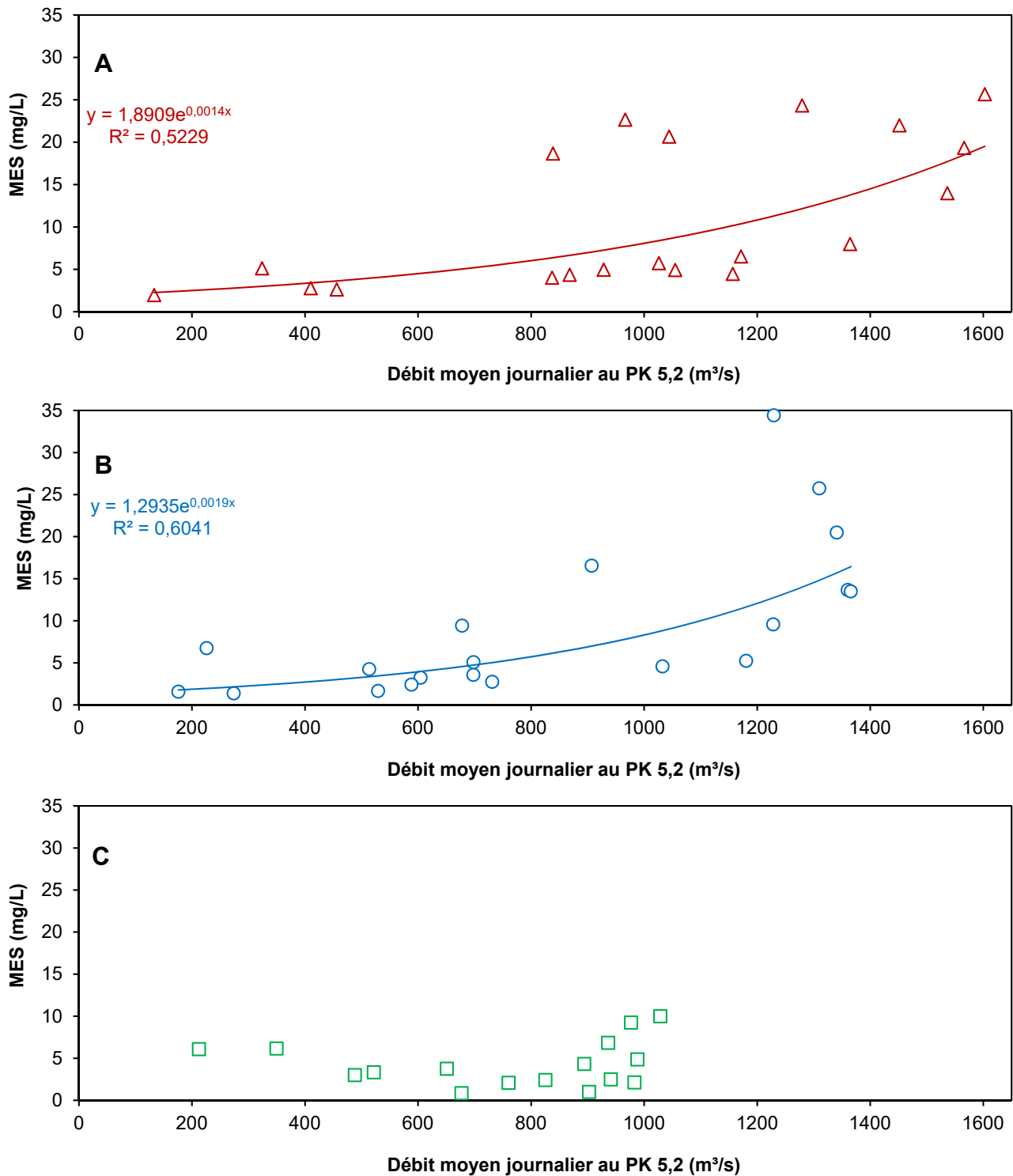


Figure 4.9 : MES ponctuelles transportées par la rivière au PK 3,8 en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2

Données de : a) 2013, b) 2015, et c) 2018.

4.2.4 Turbidité

4.2.4.1 Méthodes d'analyses

La turbidité a été échantillonnée ponctuellement et en continu lors du suivi en 2018 tout comme en 2013 et 2015 (voir section 3.2.2.4). Les données disponibles sont :

- les mesures de turbidité ponctuelles, collectées *in situ* à trois verticales de la section transversale au PK 3,8, lors de chacune des visites au terrain;
- les mesures de turbidité ponctuelles correspondantes, issues d'analyses en laboratoire, pour les échantillons d'eau collectés aux trois verticales de la section transversale au PK 3,8 lors de chacune des visites au terrain;
- les mesures prises en continu par le turbidimètre, à 50 m de la rive droite sur la section transversale au PK 3,8, à 1 mètre du fond.

Plusieurs analyses ont été effectuées pour comparer ces données entre elles et ensuite, pour examiner les relations potentielles avec les mesures de MES :

- comparaison entre les mesures de turbidité ponctuelles et les mesures prises en continu (annexe F);
- analyses des relations entre MES et turbidité : Mesures ponctuelles (annexe G);
- analyse de relation entre MES et turbidité : Mesures du turbidimètre (ROMA0976) (annexe H).

Les conclusions de ces analyses sur les données de 2018 sont les suivantes :

- La relation linéaire entre les mesures de turbidité ponctuelles et les turbidités journalières (calculées à partir des données horaires du turbidimètre) est significative en 2018, comme en 2015, surtout en considérant les moyennes pour la section à l'étude et non les mesures pour chaque verticale (annexe F).
- Comme en 2015, les mesures de turbidité ponctuelles sont beaucoup moins élevées que la turbidité mesurée par le turbidimètre (environ 2,5 fois moins). Cette différence peut être expliquée par le positionnement du turbidimètre à 1 m du fond de la rivière, en comparaison avec les mesures ponctuelles de turbidité qui ont été prises sur toute la profondeur d'eau pour chaque verticale.
- À l'opposé des résultats de 2015, la relation linéaire entre les mesures ponctuelles de turbidité et les mesures de MES n'est pas significative pour les résultats de 2018 (annexe G).
- La relation linéaire entre les turbidités journalières (calculées à partir des données horaires du turbidimètre) et les mesures de MES n'est pas significative pour 2018 (annexe H).

4.2.4.2 Comparaison avec les résultats précédents

Relation entre la turbidité mesurée en continu et les MES

Les mesures de turbidité (mesurée en continu) et les mesures de MES pour 2013, 2015 et 2018 sont présentées au tableau 4.6 et les trois relations sont illustrées à la figure 4.10. Les teneurs de MES et les mesures de turbidité couvrent un plus grand spectre de valeurs en 2015 et 2013 qu'en 2018. Les données de turbidimètre n'ont jamais dépassé 3 NTU en 2018 et le coefficient de détermination entre les MES et la turbidité est beaucoup plus faible ($R^2=0,26$) que les années précédentes, ce qui indique qu'il n'y a pas de relation significative en utilisant uniquement les données de 2018.

Tableau 4.6 : Mesures de MES et turbidité en 2013, 2015 et 2018

2013 (État de référence)			2015 (Suivi)			2018 (Suivi)		
Date	MES-moyenne pour trois verticales (mg/L)	Turbidité journalière (mesurée par turbidimètre) (NTU)	Date	MES-moyenne pour trois verticales (mg/L)	Turbidité journalière (mesurée par turbidimètre) (NTU)	Date	MES-moyenne pour trois verticales (mg/L)	Turbidité journalière (mesurée par turbidimètre) (NTU)
2013-05-14	19,33	7,46	2015-05-15	9,42	4,02	2018-05-29	0,00	1,25
2013-05-16	14,00	6,27	2015-05-17	5,08	4,81	2018-05-31	0,86	0,96
2013-05-18	8,00	4,68	2015-05-19	3,58	3,42	2018-06-01	2,08	1,22
2013-05-20	6,53	4,11	2015-05-21	16,55	11,44	2018-06-02	4,33	2,62
2013-05-22	4,93	3,67	2015-05-22	34,42	15,10	2018-06-03	4,87	2,16
2013-05-25	5,74	3,82	2015-05-23	25,75	9,62	2018-06-04	2,12	1,89
2013-05-29	4,47	3,51	2015-05-24	20,50	7,19	2018-06-05	6,83	1,06
2013-06-02	4,97	2,89	2015-05-25	13,67	5,30	2018-06-06	9,25	2,21
2013-06-04	4,37	3,83	2015-05-26	13,50	5,35	2018-06-08	10,00	1,94
2013-06-05	4,03	3,66	2015-05-28	9,58	5,05	2018-06-21	1,00	1,46
2013-07-24	1,98	2,25	2015-05-29	5,25	5,64	2018-06-23	2,50	0,79
2013-08-23	2,78	3,23	2015-06-02	4,58	2,52	2018-06-25	2,42	0,96
2013-09-17	5,13	2,66	2015-06-03	2,75	2,11	2018-06-27	3,75	1,05
2013-10-23	2,63	3,84	2015-06-04	3,25	2,34	2018-06-29	3,00	0,80
			2015-06-06	2,42	2,27	2018-07-01	3,33	1,04
			2015-07-11	4,25	2,32	2018-09-25	6,08	2,59
			2015-08-11	1,67	2,51			
			2015-10-06	1,58	2,75			
			2015-11-12	6,75	2,07			

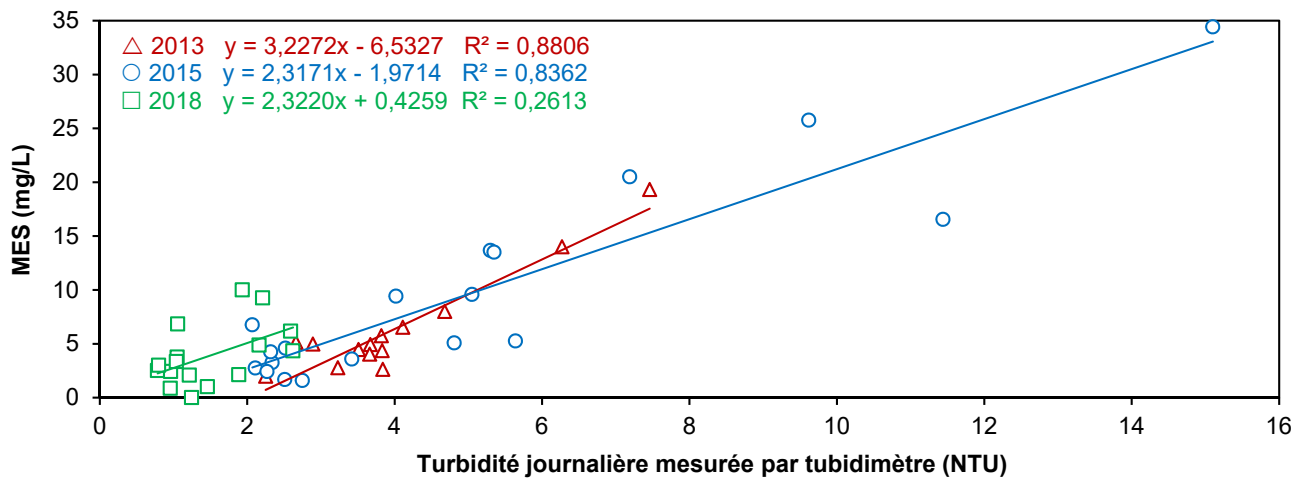


Figure 4.10 : Relation entre la turbidité (mesurée par turbidimètre) et les mesures ponctuelles de MES (2013, 2015 et 2018)

Calcul de la charge en suspension (t/jour) à partir du débit et de la turbidité mesurée en continu

Tel qu'identifié à l'état de référence en 2013 (Hydro-Québec, 2015) et reproduite en 2015, une approche permettant de reconstituer les charges transportées en suspension par la rivière, à partir des valeurs de turbidité échantillonnées en continu, semblait être une alternative intéressante à l'échantillonnage ponctuel des MES. Elle présente l'avantage de permettre la mesure en continu et également d'obtenir des données dès le tout début de la montée de crue et même avant. Cette période, difficile à prévoir longtemps à l'avance, est importante à caractériser puisque les études antérieures et le suivi de 2015 ont démontré que le pic de la charge en suspension arrive avant le pic du débit.

Cet exercice n'a malheureusement pas pu être réalisé cette année en raison de l'absence d'une relation significative entre les mesures de MES et la turbidité mesurée en continu.

5 Conclusion

Le suivi de 2018 a permis la caractérisation du transit sédimentaire et de la charge de fond. Toutefois, il a été impossible d'estimer la charge en suspension transportée par la rivière en aval de RO-1 puisqu'aucune relation statistique significative n'a été établie entre les MES et les débits cette année. L'ensemble des résultats a été comparé aux résultats des études précédentes et aux conditions anticipées, lorsque possible.

5.1 Transit sédimentaire

Il n'y a pas de différence significative dans la configuration globale de la morphologie du lit de la Romaine dans la zone d'étude entre 2013 et 2018. De plus, les résultats de 2018 confirment la tendance à la sédimentation dans la zone d'étude initiée et observée depuis le dernier suivi en 2015. Toutefois, les zones de sédimentation occupent désormais globalement une plus grande superficie qu'en 2015. Il avait été anticipé à l'étude d'impact que la capacité de transport de la rivière serait insuffisante à proximité du PK 6 pour évacuer l'ensemble de la charge sableuse disponible et qu'il y aurait sédimentation temporaire sous la forme de bancs sableux entre les PK 8 et 3. Les résultats actuels concordent avec les prévisions de l'étude d'impact.

5.2 Charge de fond et charge en suspension

Le suivi de 2018 a permis la caractérisation de la charge de fond lors de la crue printanière 2018, selon les méthodes utilisées en 2013 et 2015. Pendant le suivi, l'équipe a réussi à cinq reprises à échantillonner à des débits recommandés dans l'état de référence (Hydro-Québec, 2015), soit entre 500 et 800 m³/s.

Une équation a été établie pour mettre en relation la charge de fond avec le débit moyen journalier au PK 5,2 de 2018. Cette relation a été utilisée pour estimer les charges de fond annuelles pour la rivière Romaine au PK 3,8.

Les relations de type puissance entre la charge de fond et le débit moyen journalier au PK 5,2 ont un coefficient de détermination significatif ($R^2=0,86$ en 2013, $R^2=0,89$ en 2015, $R^2=0,87$ en 2018). Même s'il y a évidence d'hystérèse⁴ dans les résultats, les pics du débit moyen journalier et de la charge de fond sont synchrones, et la variation du débit entraîne une variation instantanée de la charge de fond. Cependant, quand les données des trois années sont combinées, la relation est moins forte que celles obtenues lors des trois années prises individuellement, ce qui indique que cette relation est aussi influencée par d'autres facteurs que le débit. En fait, la charge de fond et la charge en suspension varient naturellement selon : 1) le débit, 2) l'apport de sédiments provenant de l'amont, des berges, du lit de la rivière et des tributaires et 3) plusieurs autres facteurs (par ex. : la morphologie du lit, la granulométrie des sédiments). Il est donc nécessaire de considérer les effets potentiels de ces facteurs.

Le tableau 5.1 présente les résultats du présent suivi ainsi que ceux issus de l'étude d'impact (2003/2004), de l'état de référence (2013) et du premier suivi (2015) pour la charge de fond.

⁴ C'est-à-dire que les matières en suspension ne sont pas les mêmes à débit égal lorsque la rivière est en crue ou en décrue.

Tableau 5.1 : Estimations de la charge de fond annuelle au PK 3,8

Année	Charge de fond lors de la crue printanière en tonne (et en volume **)	Charge de fond annuelle en tonne/année (et en volume/année **)
2003 (étude d'impact)	8 000 t (5 333 m ³) (période de crue seulement)	-
2004 (étude d'impact)	8 000 t à 12 000 t (5 333 à 8 000 m ³) (période de crue seulement)	-
2013 (analyses révisées*)	8 300 t (5 533 m ³)	10 000 t/a (6 667 m ³ /année)
2015 (suivi)	10 000 t (6 667 m ³)	15 400 t/a (10 267 m ³ /année)
2018 (suivi)	9 000 t (6 000 m ³)	17 400 t/a (11 600 m ³ /année)

*Note : Les explications des analyses révisées pour la charge de fond sont présentées à la section 4.2.2.2 du rapport de suivi de 2015.

**Note : 1,5 tonne de sable = 1 m³ de sable (MRC de l'Érable, 2013). Pour comparatif visuel, le volume approximatif d'un camion 10 roues chargé de sable équivaut à 10,7 m³.

Les estimations des charges de fond annuelles calculées sont de 10 000 t/a pour 2013, de 15 400 t/a pour 2015 et de 17 400 t/a en 2018. Les résultats de 2018, ne montrent pas d'évidence d'une diminution de la charge de fond annuelle entre 2013 et 2018, tel qu'il avait été anticipé à l'étude d'impact, mais plutôt le contraire. Toutefois, les estimations pendant la crue printanière de 2013, 2015 et 2018 restent comparables aux valeurs présentées dans l'avant-projet.

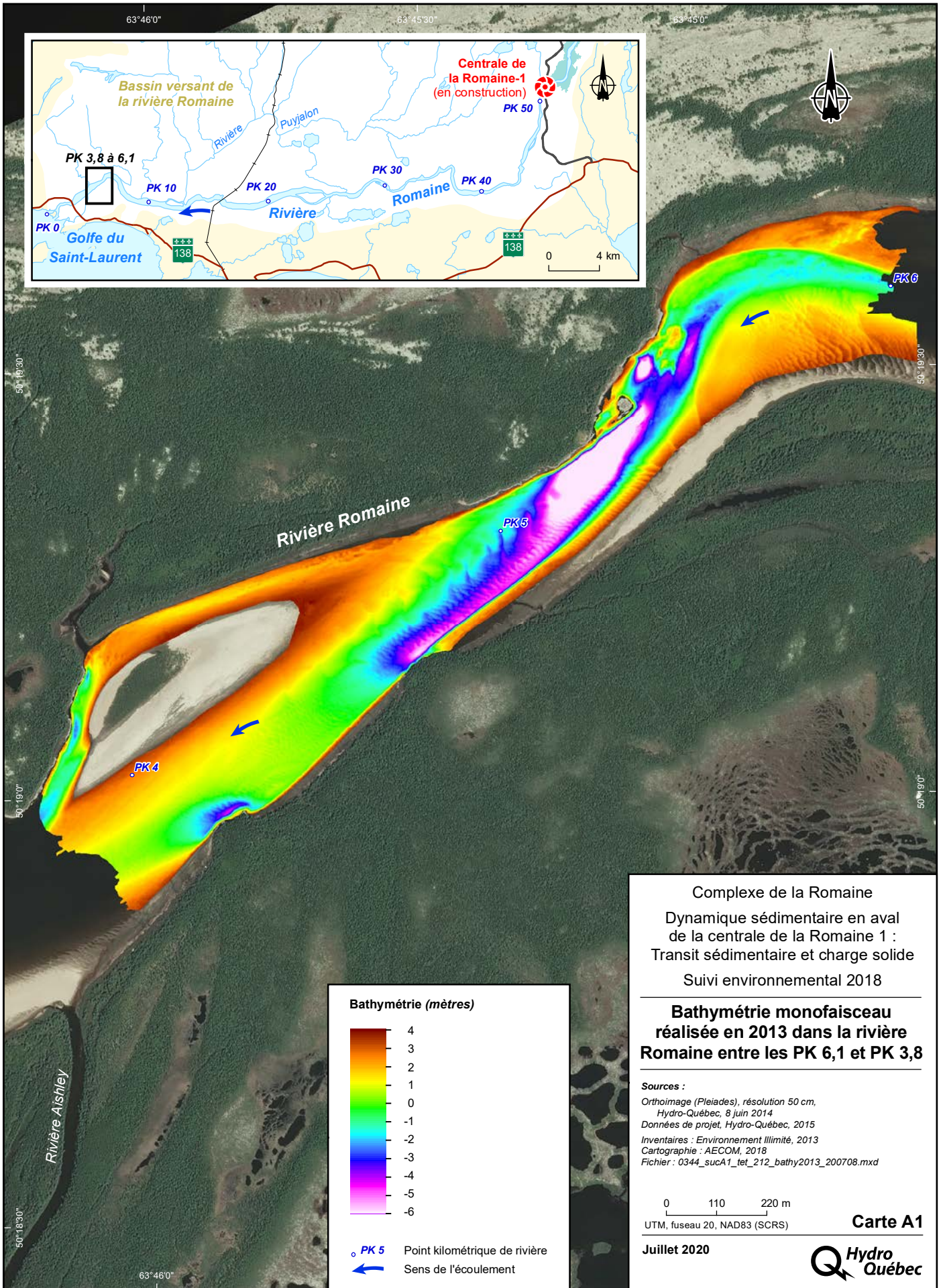
Pour ce qui est de la charge en suspension, il n'a pas été possible de l'estimer en 2018, car il n'existe pas de relation statistique significative entre les MES mesurés et les débits, ni entre les MES et les mesures de turbidité en continu. Trois hypothèses pourraient expliquer la faible corrélation entre le débit et la charge en suspension, soit : 1) le débit journalier de la Romaine n'a pas dépassé 1 036 m³/s en 2018 et, en conséquence, la gamme de valeurs qui pourrait être échantillonnée est beaucoup plus restreinte, ce qui nuit à la qualité de la corrélation, 2) les apports provenant de la Puyjalon n'ont pas été échantillonnés, car la crue de cette dernière a débuté avant le début de la campagne d'échantillonnage sur la Romaine et 3) l'échantillonnage a débuté après le tout début de la montée de crue initiale et peut-être ainsi après la pointe de MES sur la Romaine.

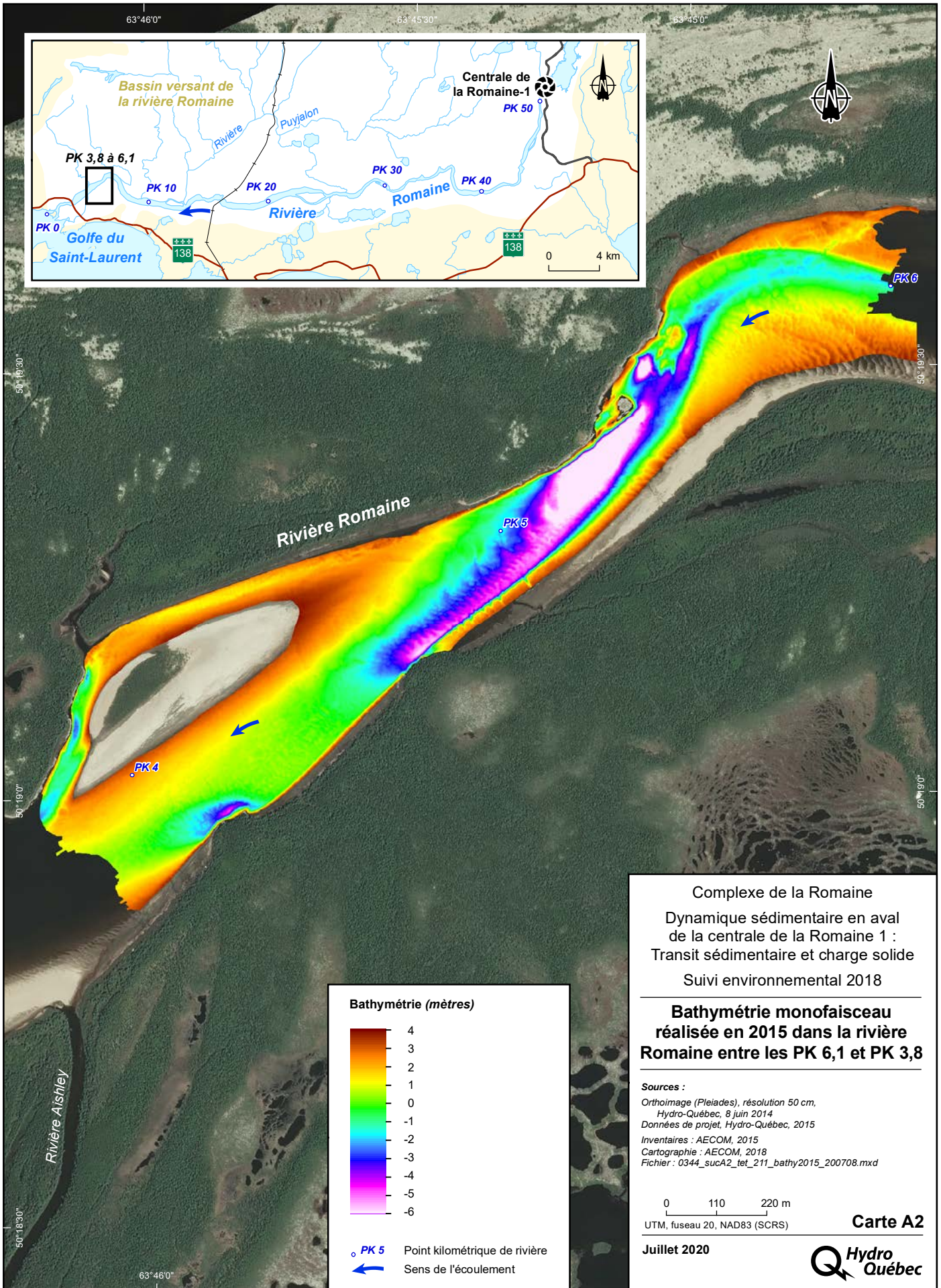
Il va de soi que l'analyse comparative entre la turbidité et la charge en suspension n'a donc pas pu être effectuée cette année. Ces informations et hypothèses devront être prises en compte lors du prochain suivi prévu en 2026 pour tenter de combler ces lacunes. Il est d'ailleurs convenu que la crue sera échantillonnée en entier en 2026 afin de s'assurer de capter également le tout début de la montée de crue.

Bibliographie

- AECOM. 2016. Complexe de la Romaine-1 : Transit sédimentaire et charge solide. Rapport final présenté à Hydro-Québec Production. Montréal, 57 p. et annexes.
- HYDRO-QUÉBEC. 2007. *Complexe de la Romaine. Étude d'impact sur l'environnement*. Hydro-Québec Production. 10 volumes.
- HYDRO-QUÉBEC ÉQUIPEMENT. 2015. *Complexe de la Romaine. Dynamique sédimentaire en aval de la centrale de la Romaine-1. État de référence de la charge solide et du transit sédimentaire*. Préparé par I. Thériault. RA-2014-0025-01. Unité Conception des aménagements de production, Hydraulique et géotechnique. 28 p. et annexes.
- HYDRO-QUÉBEC PRODUCTION. 2015. Complexe de la Romaine - Bilan des activités environnementales 2014, juillet 2015.
- HYDRO-QUÉBEC PRODUCTION. 2016. Complexe de la Romaine - Bilan des activités environnementales 2015, juillet 2016.
- MILHOUS, R. T., et KLINGEMAN, P. G. 1992. *Bedload transport in mountain streams*. Article présenté à la conférence spéciale, Am. Sec. of Civ. Eng., Hydraul. Div., University of Iowa, Iowa City, 1992.
- MOOG, D., et WHITING P. J. 1998. *Annual hysteresis in bed load rating curves*. Water Resources Research., Vol. 34, No. 9, pages 2393-2399, septembre 1998.
- MRC de L'Érable. Règlement No 329 2013. « Annexe 1 - Grille de conversion » http://www.erable.ca/sites/all/files/grille_de_conversion_annexe_1_modif_2013.pdf (Consulté le 14 juillet 2020).
- POLY-GÉO. 2006. *Complexe de la Romaine. Étude de la dynamique sédimentaire*. Préparé pour Hydro-Québec Équipement. Saint-Lambert, Poly-Géo. 121 p. et annexes.

Annexe A
Cartes bathymétriques de 2013,
2015 et 2018





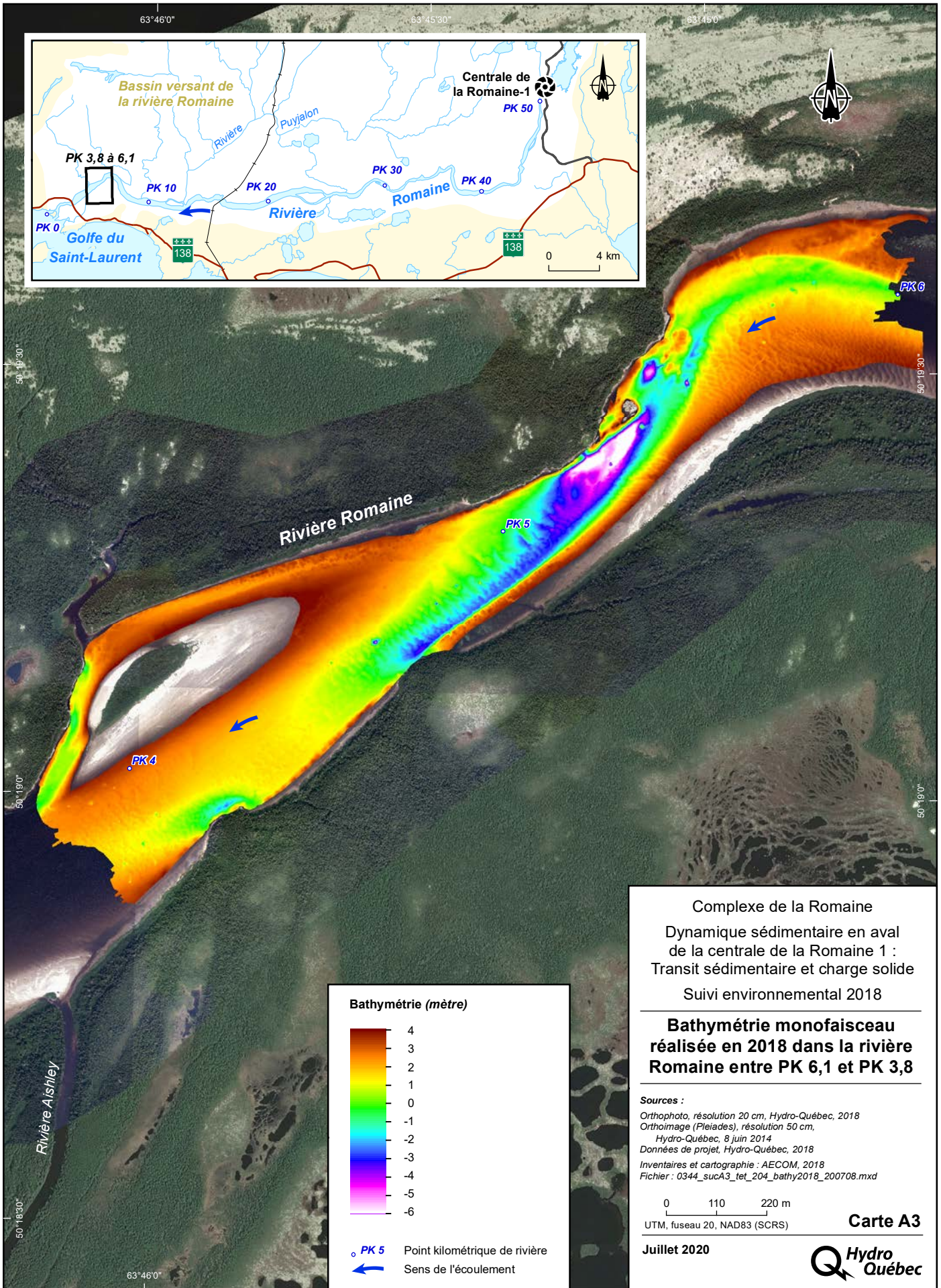
Complexe de la Romaine
 Dynamique sédimentaire en aval
 de la centrale de la Romaine 1 :
 Transit sédimentaire et charge solide
 Suivi environnemental 2018

**Bathymétrie monofaisceau
 réalisée en 2015 dans la rivière
 Romaine entre les PK 6,1 et PK 3,8**

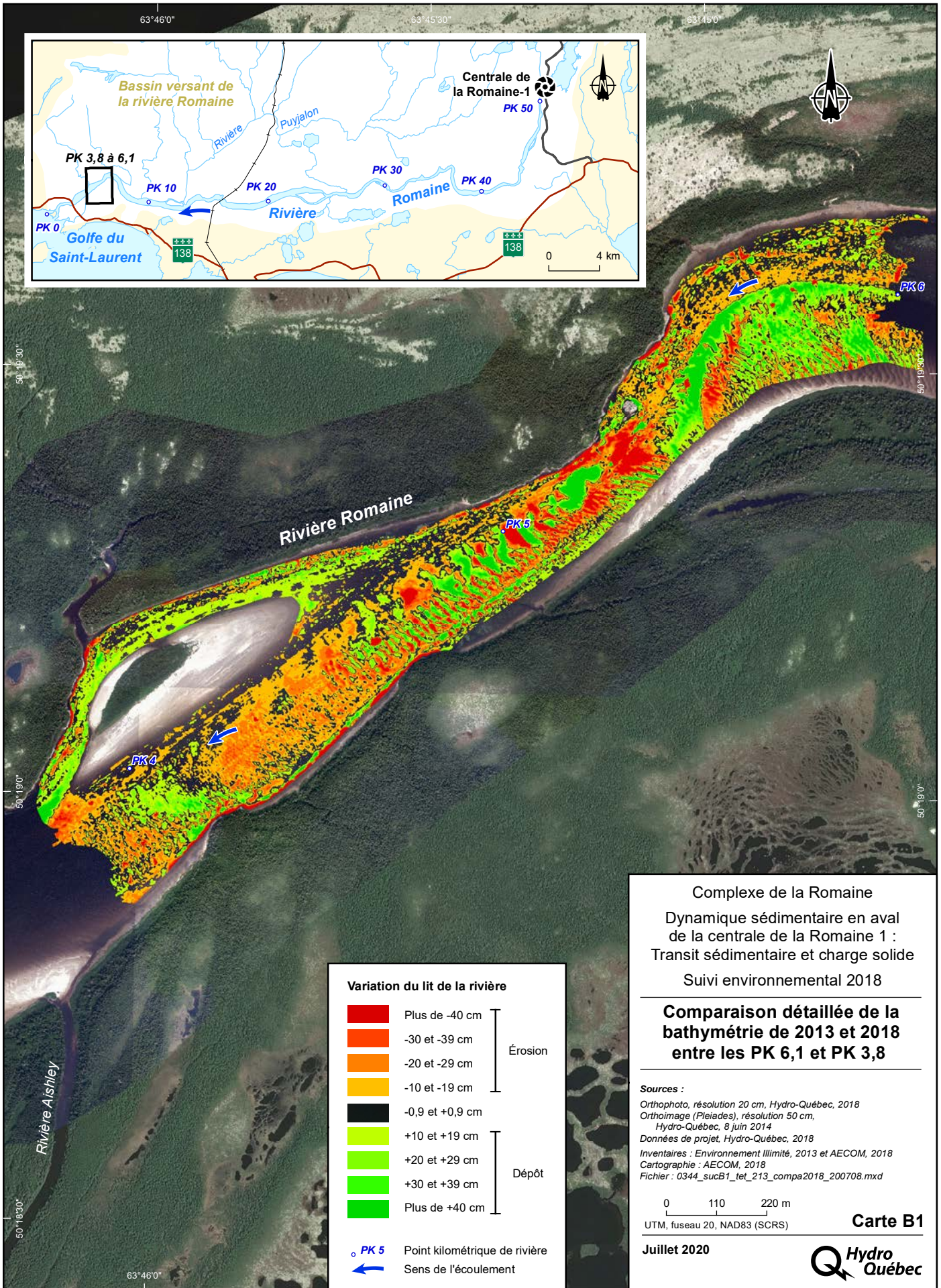
Sources :
 Orthoimage (Pleiades), résolution 50 cm,
 Hydro-Québec, 8 juin 2014
 Données de projet, Hydro-Québec, 2015
 Inventaires : AECOM, 2015
 Cartographie : AECOM, 2018
 Fichier : 0344_sucA2_tet_211_bathy2015_200708.mxd

0 110 220 m
 UTM, fuseau 20, NAD83 (SCRS)

Carte A2
 Juillet 2020
 Hydro Québec



Annexe B
Comparaison de la bathymétrie
de 2013 avec celle de 2018



Annexe C
**Analyse du phénomène
d'hystérèse dans les mesures de
charge de fond et MES**

C1 : Analyses du phénomène d'hystérèse dans les mesures de charge de fond

Un phénomène d'hystérèse est souvent observé dans la littérature en relation avec le transport des sédiments.

L'hystérèse peut être dans le sens horaire (plus de transport sur la branche montante d'un hydrographe) ou dans le sens inverse (plus de transport sur la branche descendante) pendant des périodes aussi variées que des heures à plusieurs années. L'épuisement des apports de sédiments est impliqué, dans plusieurs cas, où une diminution dans le transport des sédiments a été observée pendant des séquences de tempêtes (hystérèse dans le sens horaire), pour la charge de fond et pour la charge en suspension¹.

La figure C1 présente l'évolution chronologique moyenne journalière de la charge de fond en fonction des débits moyens journaliers au PK 5,2 en 2015. La charge de fond est plus élevée lors de la montée de la crue que lors de la décrue, créant une boucle progressant dans le sens horaire. Ce phénomène implique, à débit égal, que la charge de fond n'est pas la même lorsque la rivière est en crue (concentration) ou en décrue.

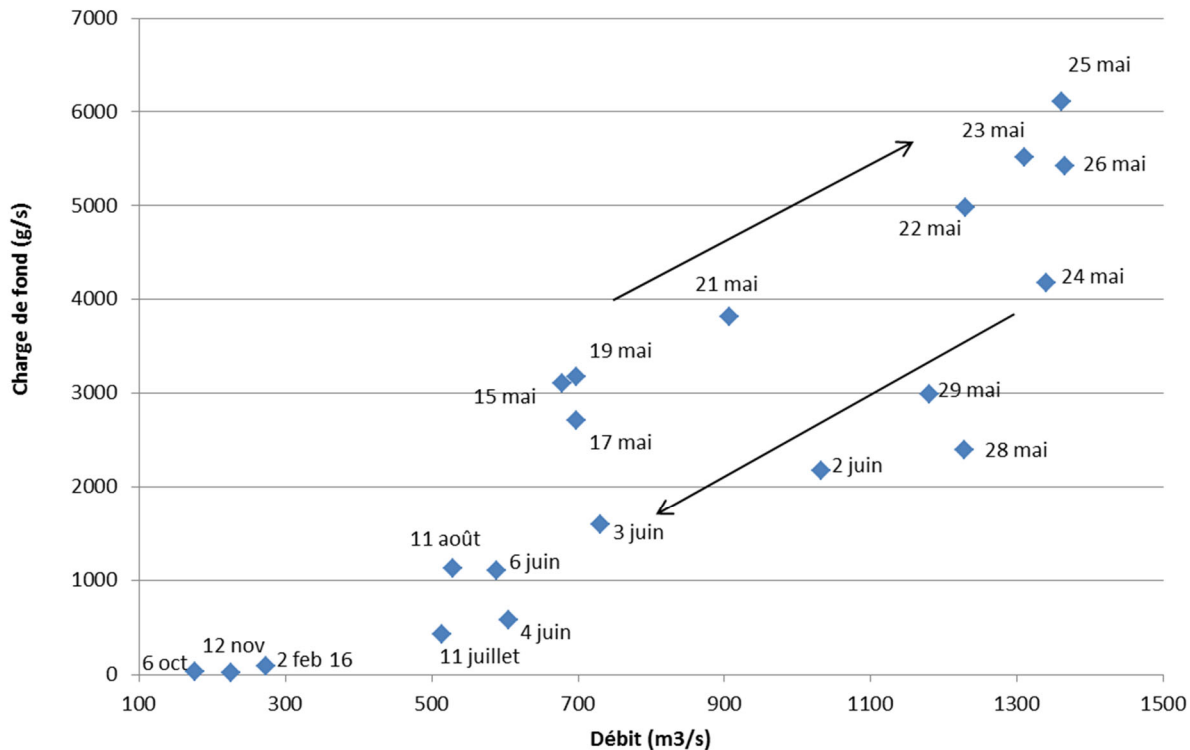


Figure C1 : Boucle d'hystérèse de la charge de fond en relation avec le débit moyen journalier au PK 5,2 en 2015

En 2018, la boucle horaire de l'hystérèse a disparu et il n'est pas clair si l'hystérèse est devenue en forme de huit ou encore une boucle anti-horaire (figure C2).

¹ Moog, D. et Whiting P. J. (1998). Annual hysteresis in bed load rating curves. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 34, NO. 9, PAGES 2393-2399, SEPTEMBER 1998

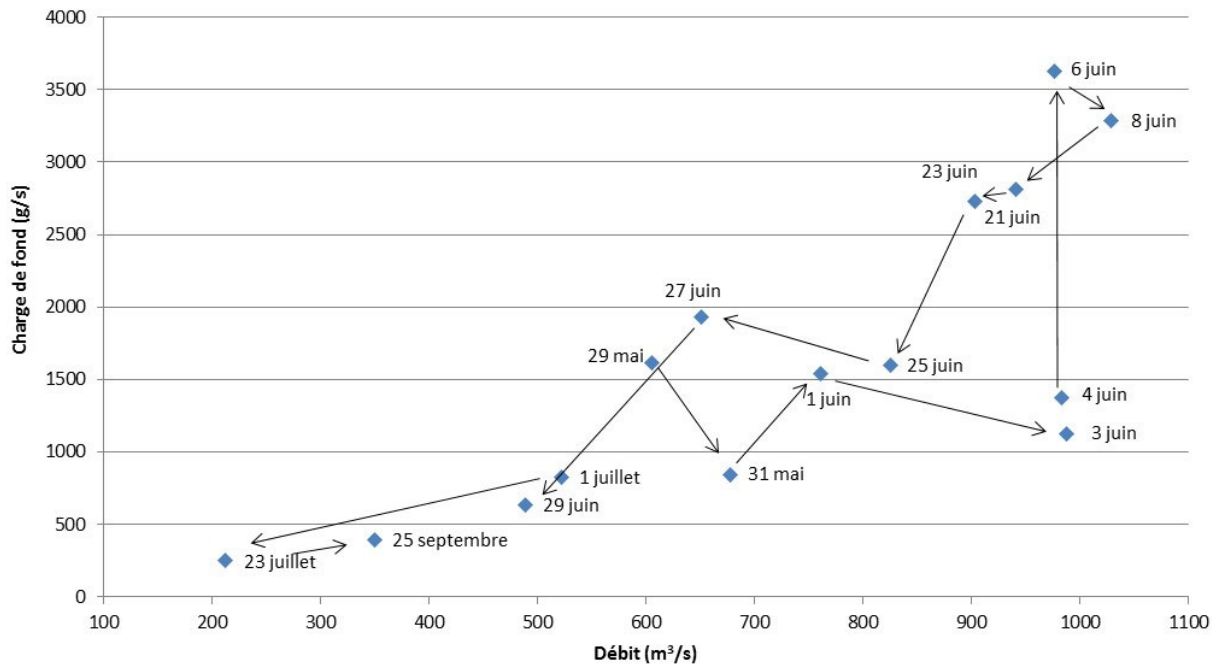


Figure C2 : Boucle d'hystérèse de la charge de fond en relation avec le débit moyen journalier au PK 5,2 en 2018

Dans ce contexte, une analyse des moyennes journalières de la charge de fond mesurées en 2013, 2015 et 2018 a été effectuée en les subdivisant selon le moment où l'échantillon a été prélevé, soit pendant la courbe de concentration (avant le débit maximal) ou lors de la courbe de décrue (après le débit moyen journalier maximal) (figures C3 et C4).

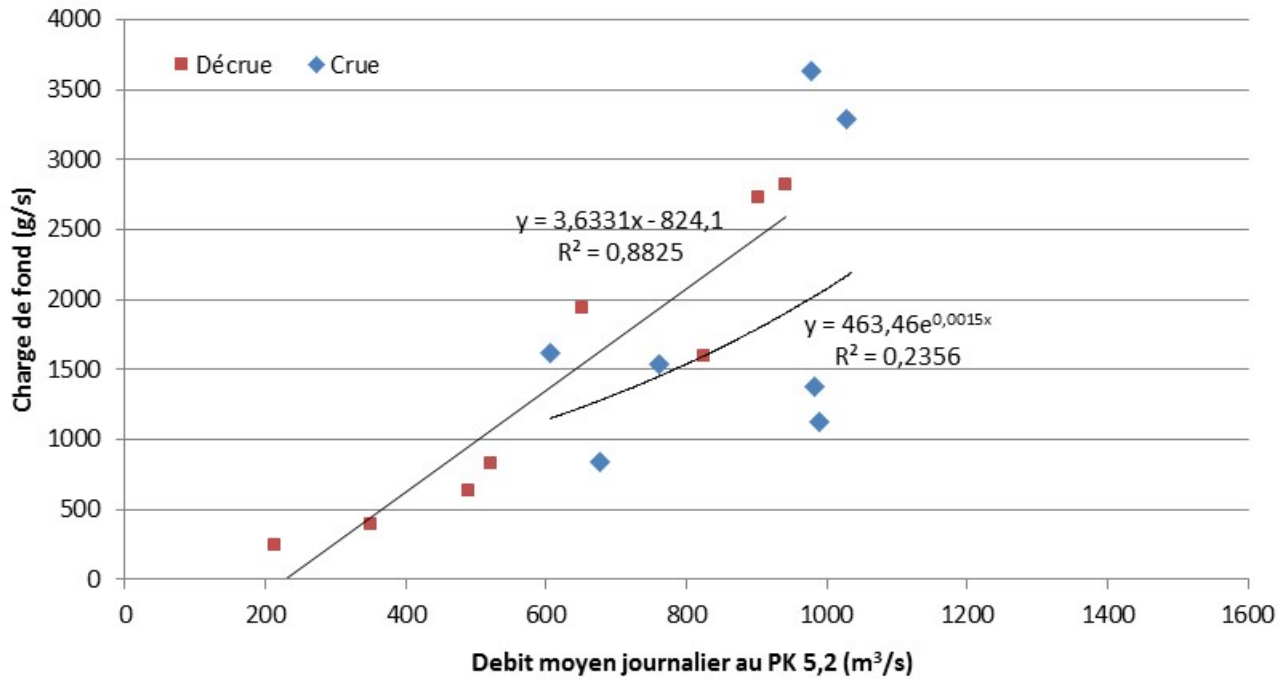


Figure C3 : Charge de fond mesurée (g/s) en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 en 2018

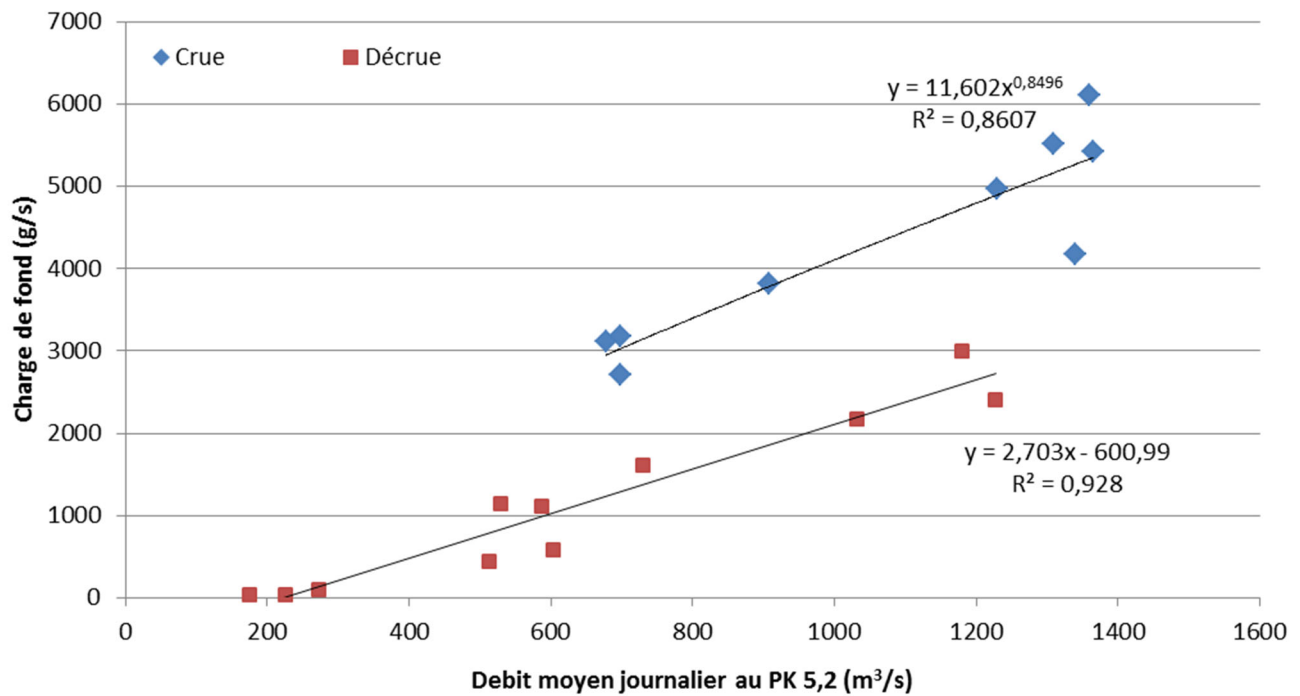


Figure C4 : Charge de fond mesurée (g/s) en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 en 2015

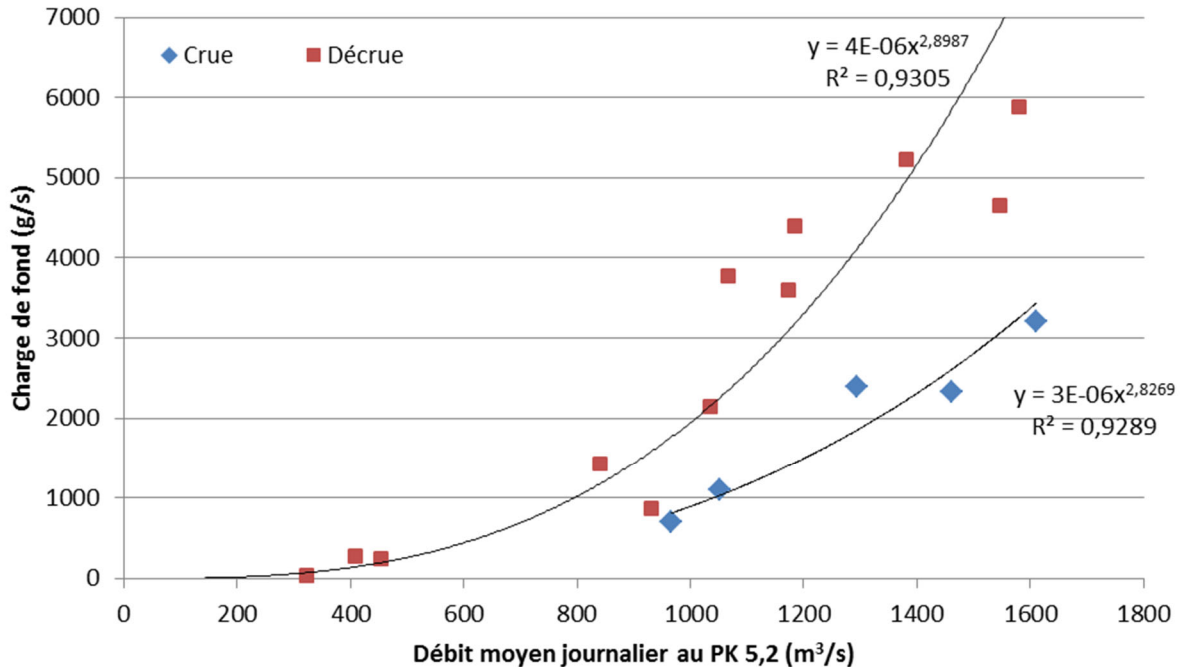


Figure C5 : Charge de fond mesurée (g/s) en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 en 2013

En 2018, une courbe de type linéaire est observée pendant la décrue ($R^2=0,88$), mais aucun lien significatif n'est observé pendant la crue. Ceci pourrait expliquer la difficulté à percevoir l'hystérèse car la charge de fond ne semble pas être liée aux débits lors la crue.

Les courbes et tendances de type « puissance » et « linéaire » ont un coefficient de détermination élevé pour 2015 ($R^2=0,87$ pour la crue, et $R^2=0,93$ pour la décrue). Pour les résultats de 2013, les courbes et tendances de type « puissance » ont aussi un coefficient de détermination élevé ($R^2=0,93$ pour la crue, et $R^2=0,93$ pour la décrue).

Les données de 2015 indiquent que la charge de fond transportée à un débit donné a été moins forte lors de la décrue que lors de la crue (boucle horaire) (figure C4), tandis que les données de 2013 indiquent une tendance inverse, ce qui est moins commun (figure C5).

Le phénomène d'une boucle d'hystérèse antihoraire peut être lié à la désagrégation d'une surface de sédiment plus résistante². C'est possible que la durée pour lequel le débit moyen journalier excède un certain seuil (par ex. : 300 m³/s), influence la charge de fond. En comparant les hydrogrammes de 2013, 2015 et 2018 (figure C6), le débit a commencé à augmenter à la fin avril en 2013 et 2015 et en mai en 2018.

L'ensemble des données indique que la relation entre la charge de fond et le débit moyen journalier au PK 5,2 peut être différente pour des années distinctes (figures C3 à C5). Les données provenant de trois années différentes ne peuvent donc pas être analysées ensemble pour obtenir une seule relation. Le fait que les relations soient différentes pour 2013, 2015 et 2018 n'est pas étonnant, puisque plusieurs facteurs, autres que le débit, peuvent influencer la charge de fond d'une rivière, notamment la disponibilité des sédiments et les conditions antérieures.

² Milhous, R. T. and P. G. Klingeman, (1992). Bedload transport in mountain streams, paper presented at Specialty Conference, Am. Sec. of Civ. Eng., Hydraul. Div., University of Iowa, Iowa City, 1992.

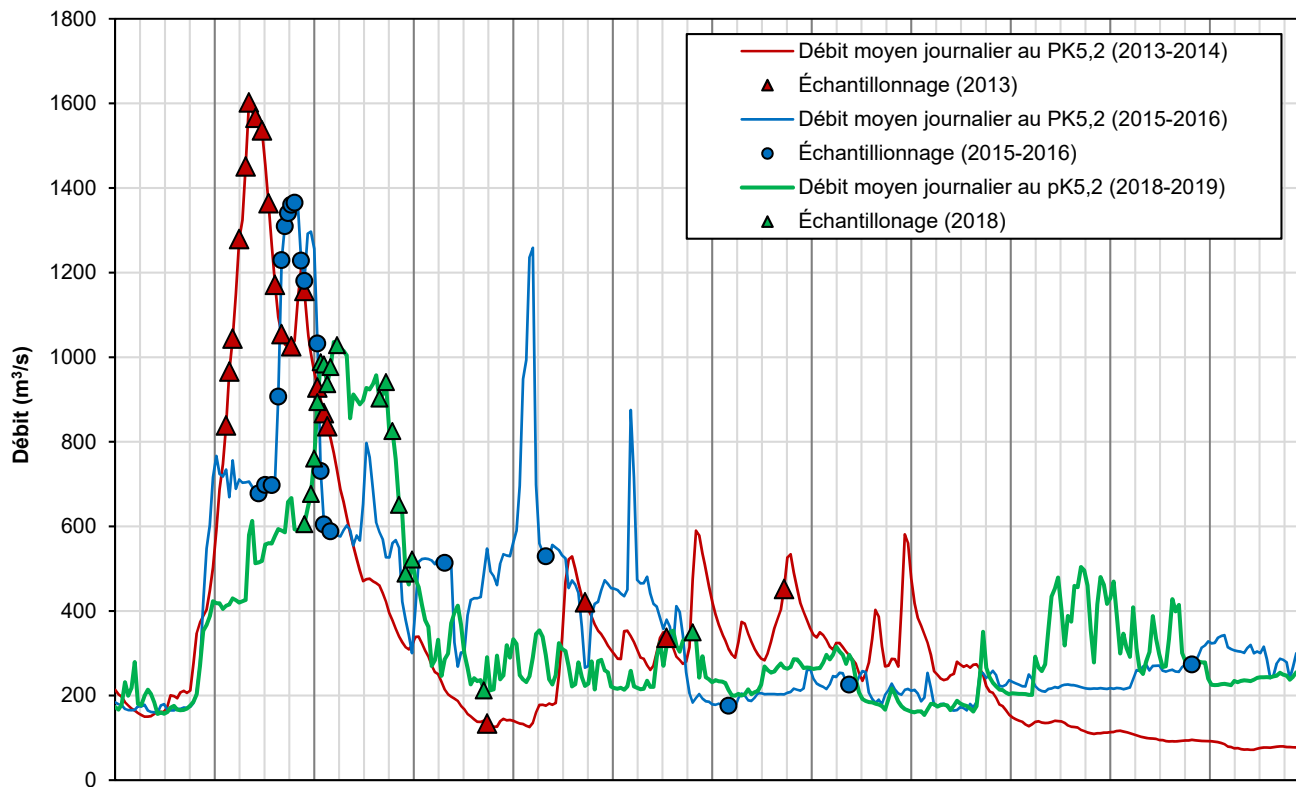


Figure C6 : Débits moyens journaliers au PK 5,2 pour les suivis (avril à mars) en 2013, 2015 et 2018

C2 : Analyses du phénomène d'hystérèse dans les mesures de MES

En 2018, il n'y a pas de relation entre les mesures de MES et le débit, alors il n'est pas possible de compléter les analyses d'hystérèse.

Annexe D

Analyse des relations entre la charge de fond et le débit moyen journalier au PK 5,2

Les figures D1 à D4 suivantes montrent les courbes de tendance examinées pour mettre en relation la charge de fond ponctuelle transportée par la rivière au PK 3,8 et le débit moyen journalier au PK 5,2 pour 2018. La relation « puissance » a eu le coefficient de détermination le plus élevé pour les données de 2013 et 2015. Le coefficient de détermination pour la relation « puissance » en 2018 est aussi le plus élevé ($R^2=0,77$).

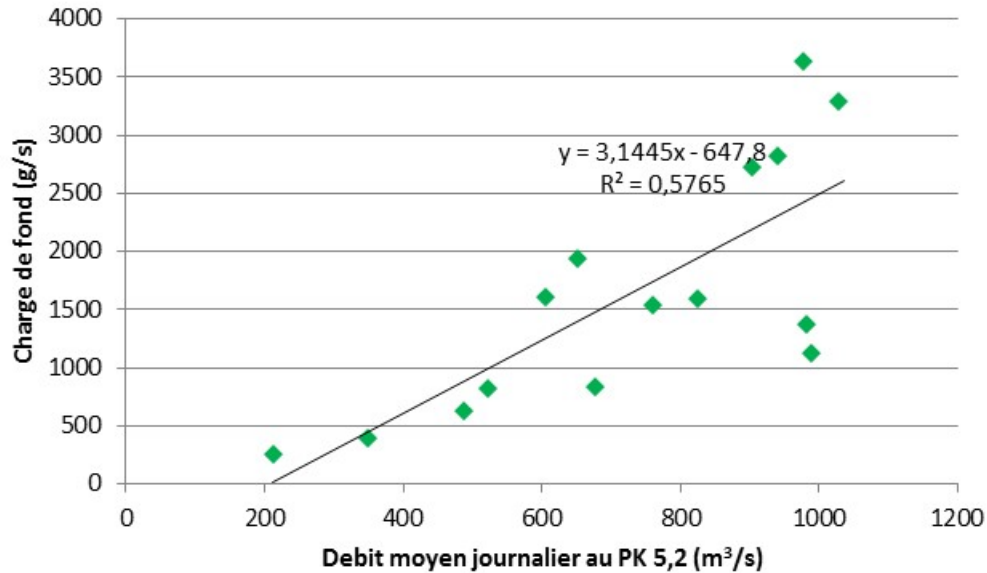


Figure D1 : Charge de fond mesurée en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 - 2018 (relation linéaire)

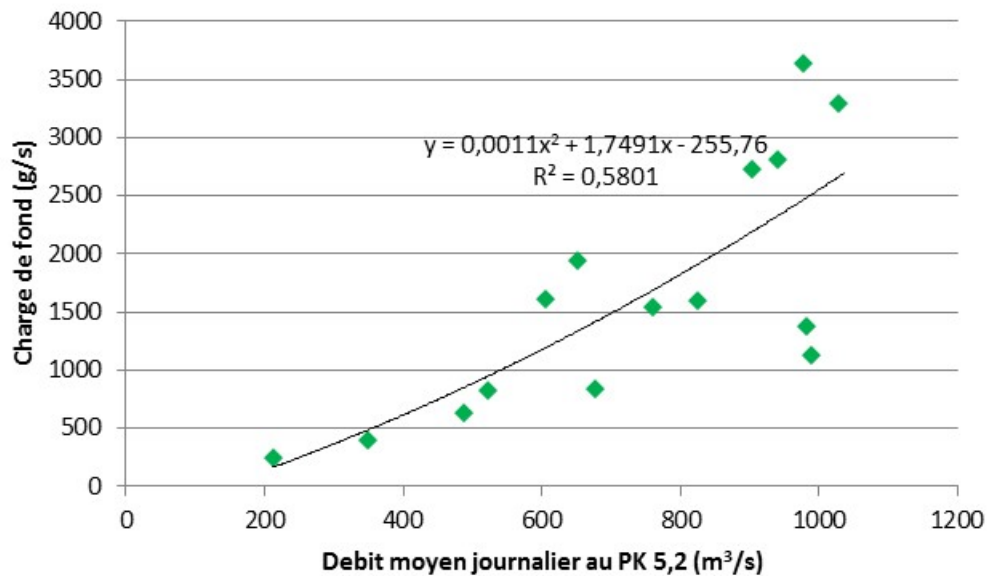


Figure D2 : Charge de fond mesurée en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 - 2018 (relation polynomiale)

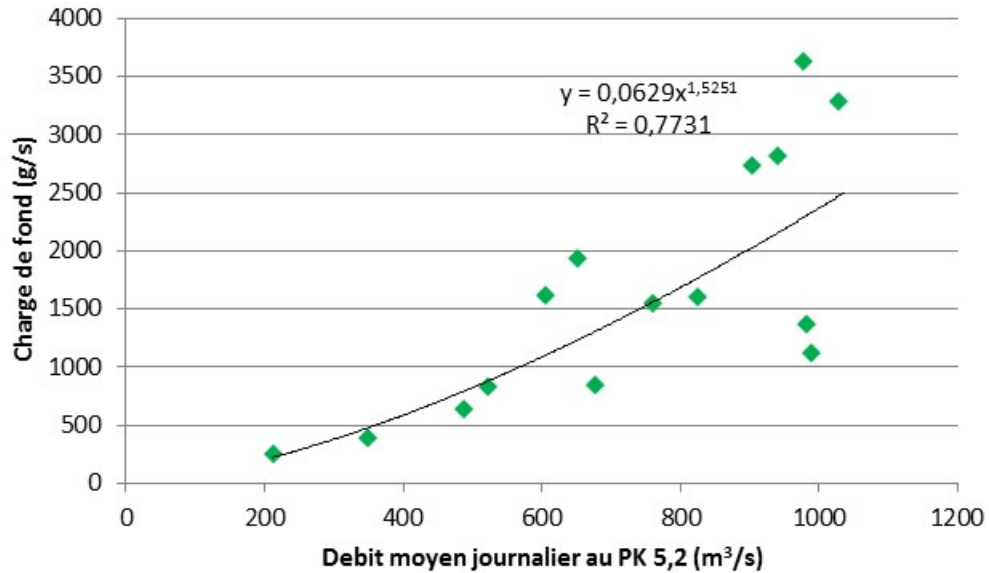


Figure D3 : Charge de fond mesurée en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 - 2018 (relation puissance)

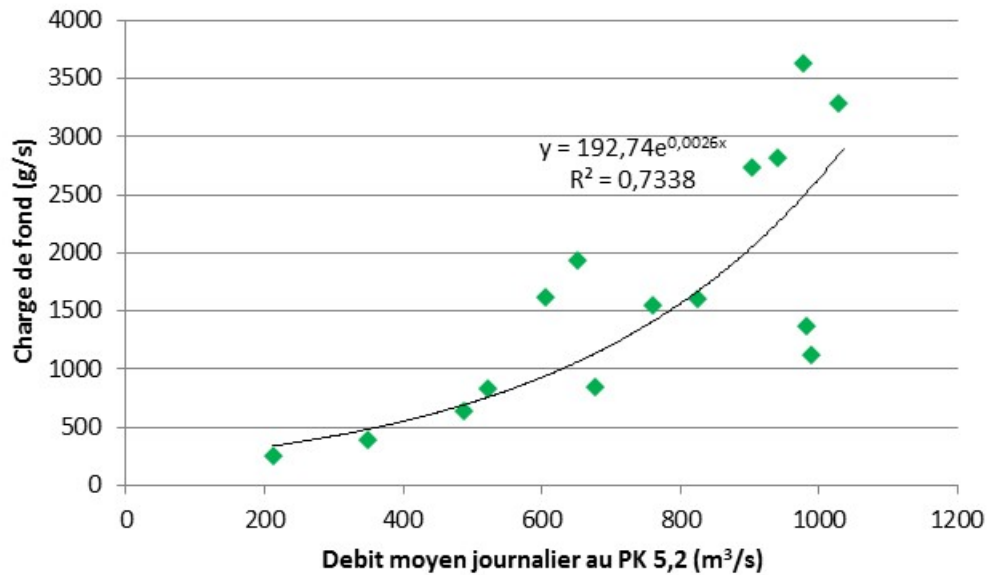


Figure D4 : Charge de fond mesurée en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 - 2018 (relation exponentielle)

Annexe E

**Analyse des relations entre les
MES et le débit moyen journalier
au PK 5,2**

Les figures E1 à E4 suivantes montrent les courbes de tendance examinées pour mettre en relation les MES ponctuelles transportées par la rivière au PK 3,8 et le débit moyen journalier au PK 5,2 pour 2018. Il n'y a pas de relation significative entre les MES ponctuelles transportées et le débit moyen journalier en 2018.

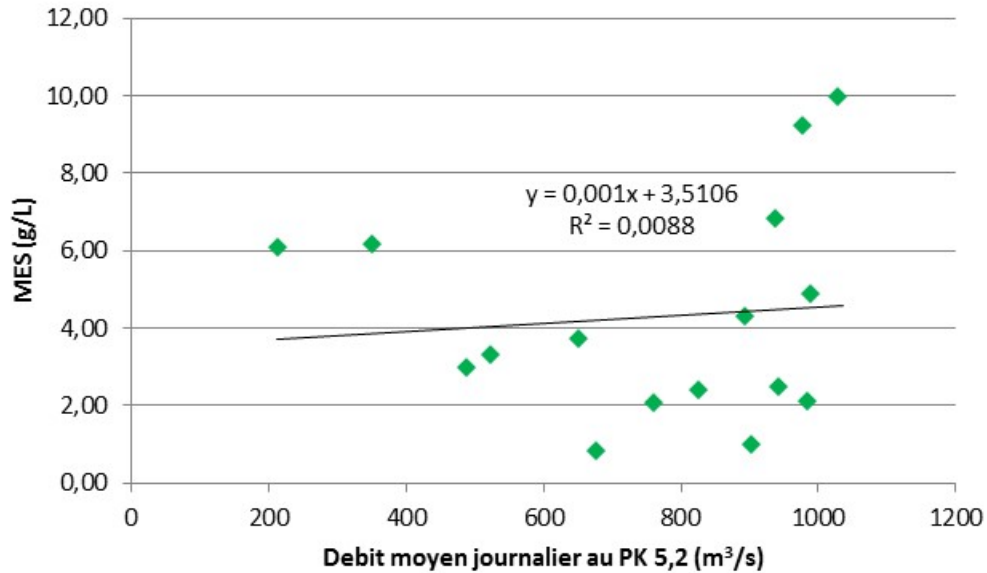


Figure E1 : MES en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 - 2018 (relation linéaire)

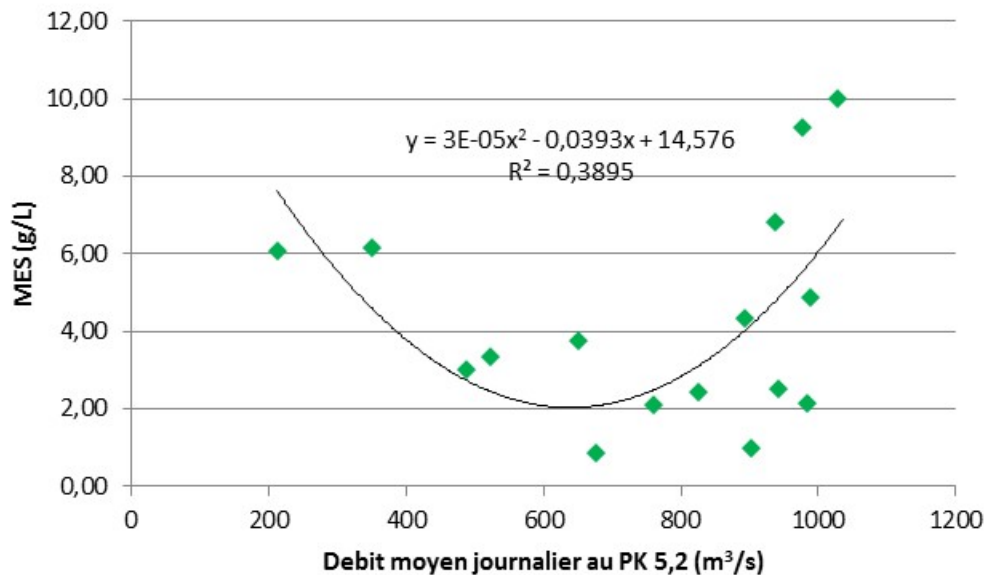


Figure E2 : MES en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 - 2018 (relation polynomiale)

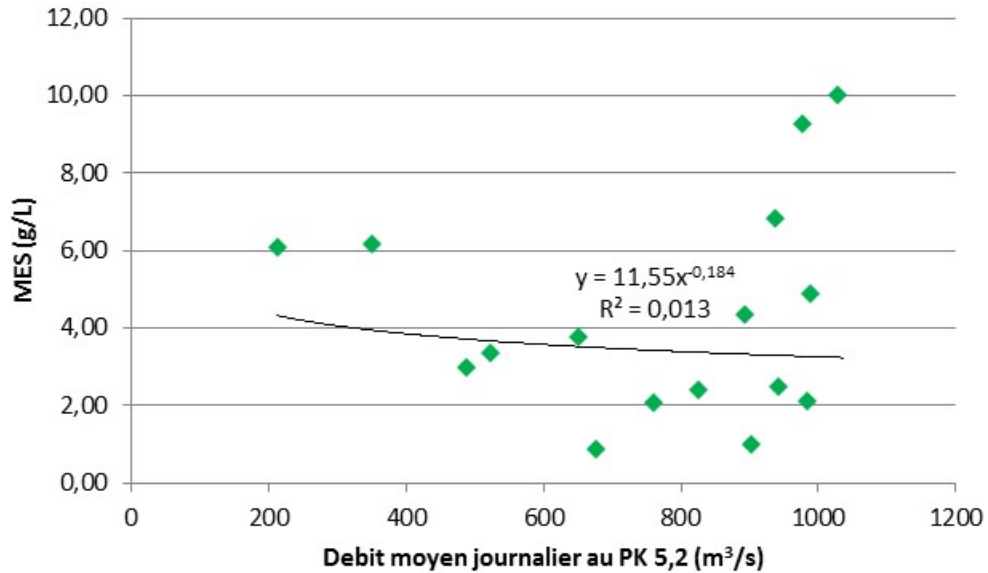


Figure E3 : MES en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 - 2018 (relation puissance)

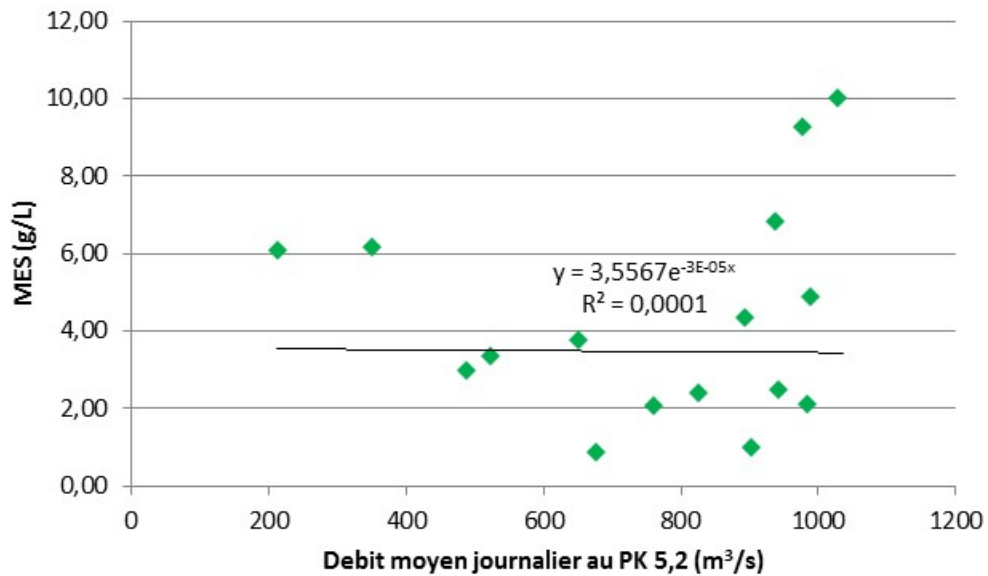


Figure E4 : MES en fonction du débit moyen journalier au PK 5,2 - 2018 (relation exponentielle)

Annexe F

**Analyse des relations entre les
mesures de turbidité ponctuelles
et les mesures prises par le
turbidimètre**

Lors du suivi de 2015, la turbidité mesurée en continu par le turbidimètre a été comparée avec les mesures de turbidité ponctuelle. Les analyses ont indiqué que :

- Il est préférable d'utiliser les mesures de turbidité déterminées au laboratoire que les mesures de turbidités déterminées *in situ*.
- Les meilleures relations, où les coefficients de détermination (R^2) sont les plus élevés, considèrent les valeurs moyennes pour la section, et non les mesures pour chaque verticale.
- Les meilleures relations, où les coefficients de détermination (R^2) sont les plus élevés, considèrent les turbidités journalières (calculées à partir des turbidités horaires) et non pas déjà moyennées.

Dans ce contexte, en 2018, la relation a été examinée de nouveau entre la turbidité moyenne (déterminée au laboratoire) pour la section et la turbidité journalière (calculée à partir des turbidités horaires). Le coefficient de détermination est un peu plus faible pour les données de 2018 comparativement à celui de 2015 et la pente de la relation est plus douce que la relation observée en 2015 (figures F1 à F4).

À l'instar de 2015, les mesures de turbidité ponctuelles (déterminées en laboratoire) sont toujours environ 2,5 fois moins élevées que la turbidité mesurée par le turbidimètre. Cette différence peut être expliquée par les caractéristiques différentes des deux méthodes d'échantillonnage et par le positionnement du turbidimètre à 1 m du fond de la rivière, en comparaison avec les mesures ponctuelles de turbidité qui ont été prises sur toute la profondeur d'eau pour chaque verticale.

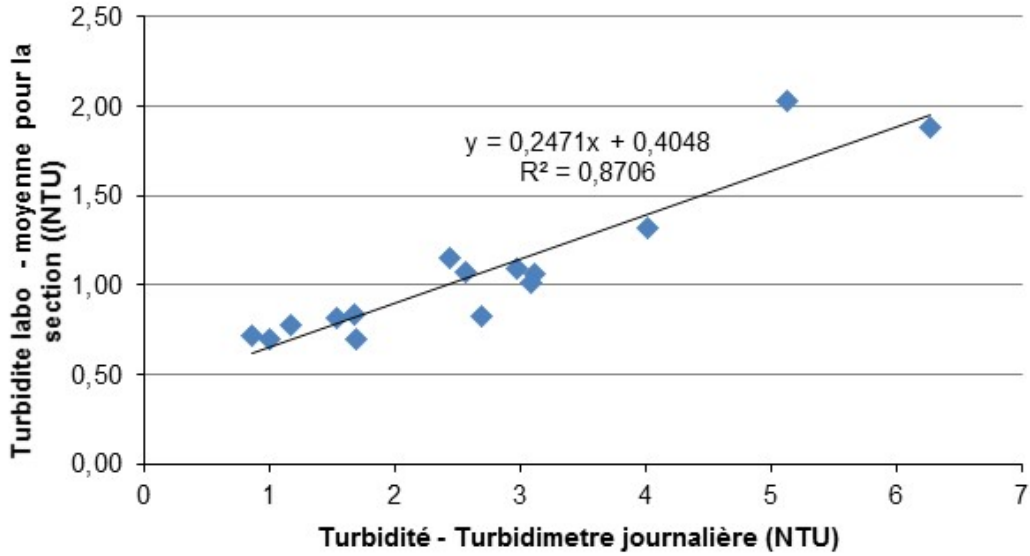


Figure F1 : Turbidité déterminée au laboratoire pour la section (moyenne des trois verticales), en comparaison avec la turbidité horaire moyenne (moyenne des trois mesures horaires correspondantes) pour 2018

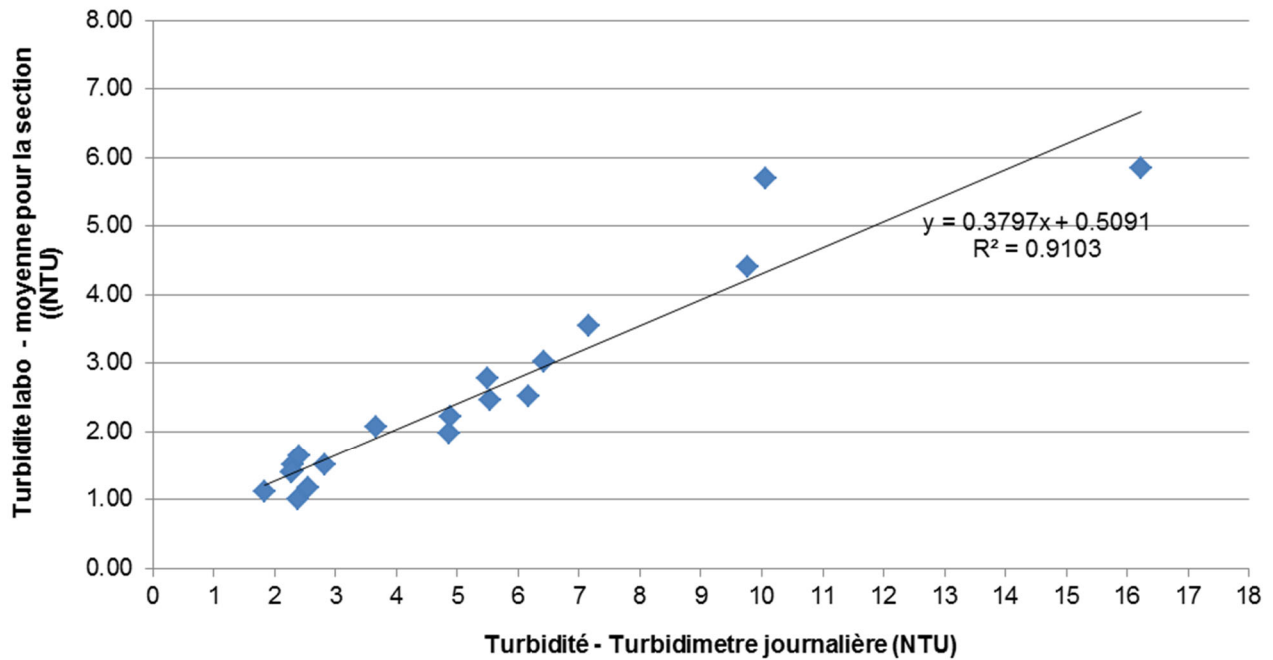


Figure F2 : Turbidité déterminée au laboratoire pour la section (moyenne des trois verticales), en comparaison avec la turbidité horaire moyenne (moyenne des trois mesures horaires correspondantes) pour 2015

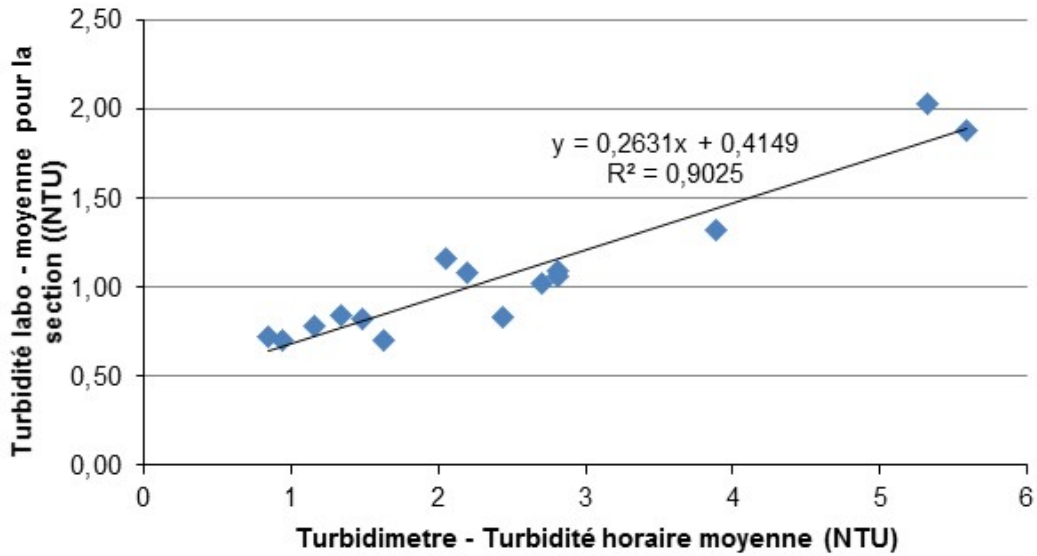


Figure F3 : Turbidité déterminée au laboratoire (moyenne pour la section) et la turbidité journalière (calculée à partir des turbidités horaires) pour 2018

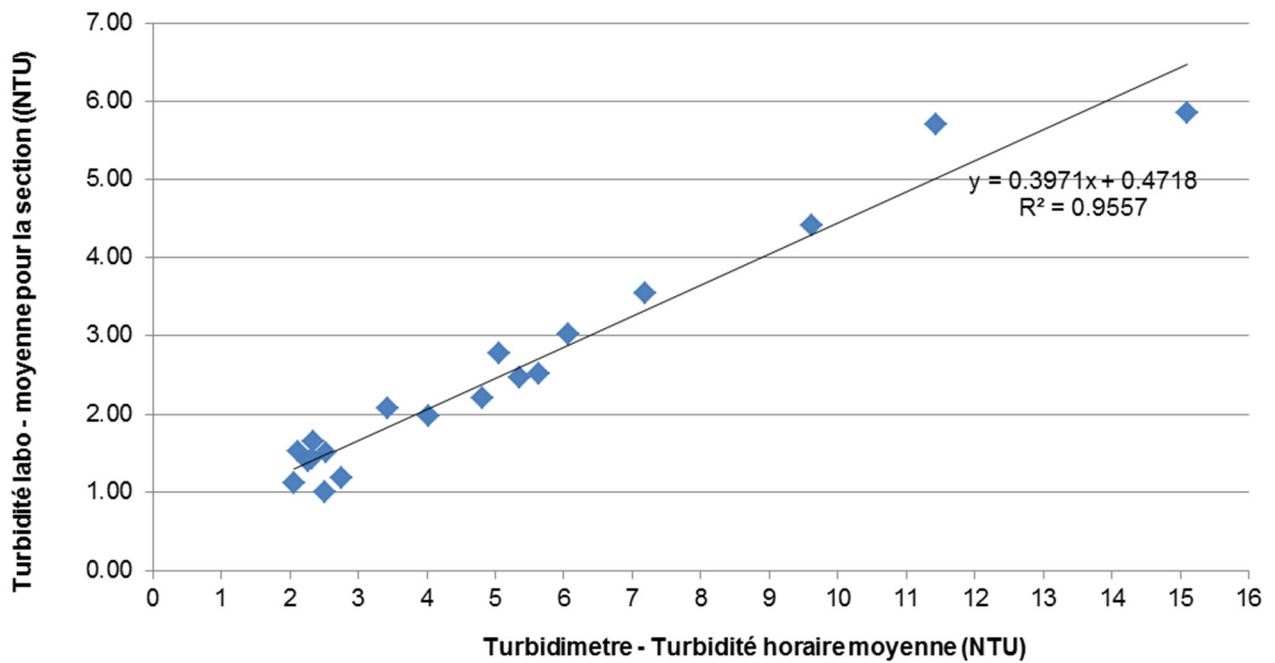


Figure F4 : Turbidité déterminée au laboratoire (moyenne pour la section) et la turbidité journalière (calculée à partir des turbidités horaires) pour 2015

Annexe G

**Analyse des relations entre les
mesures de turbidité ponctuelles
et les mesures de MES**

La relation entre les mesures de MES et les mesures de turbidité ponctuelles (*in situ* et déterminée au laboratoire) a été examinée, en considérant les moyennes pour la section transversale (moyenne des trois verticales).

En 2018, aucune relation n'a été observée entre les MES et les mesures de turbidité, autant celles obtenues *in situ* qu'au laboratoire (figure G1).

À titre de rappel, en 2015, les deux relations étaient similaires, mais le coefficient de détermination (R^2) était légèrement plus élevé pour la relation établie entre les MES et la turbidité *in situ* ($R^2=0,83$), en comparaison avec la relation entre les MES et la turbidité déterminée en laboratoire ($R^2=0,80$) (figure G2).

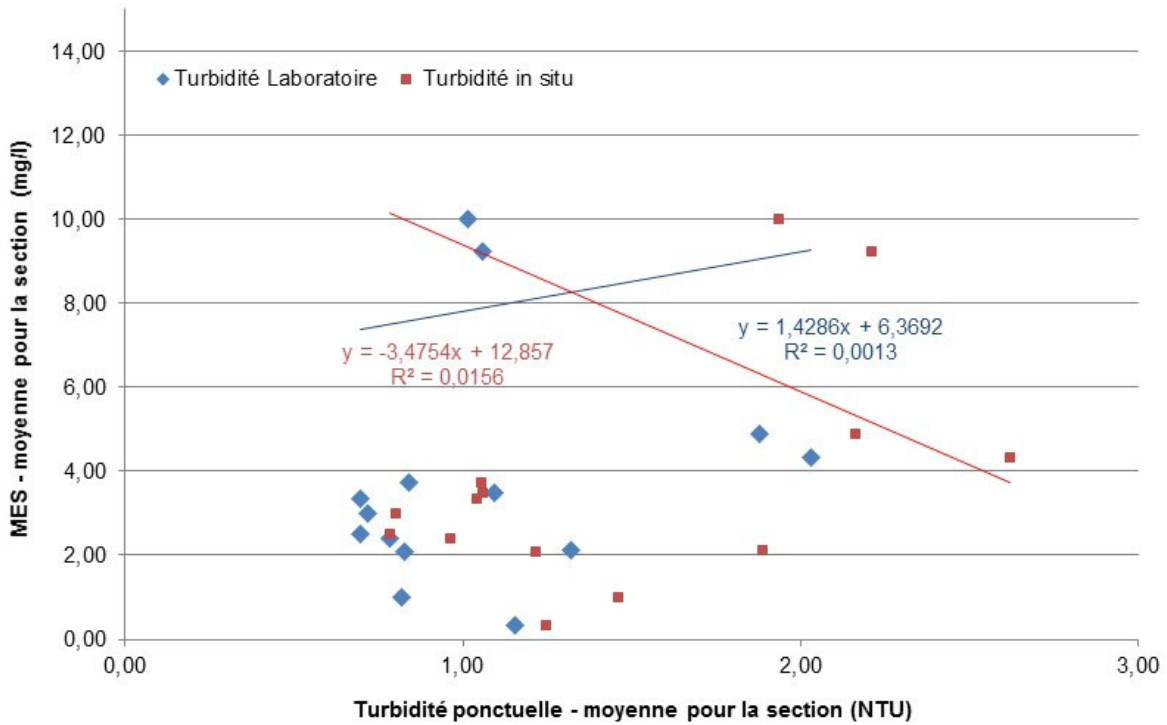


Figure G1 : MES en fonction de la turbidité, en considérant les moyennes pour la section pour 2018

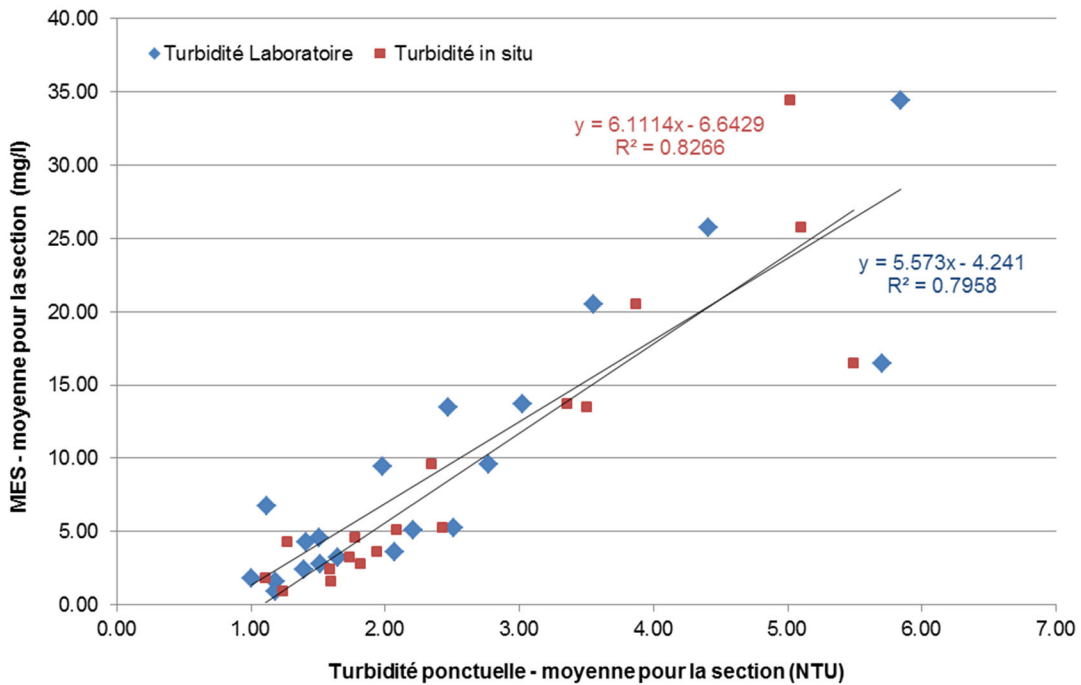


Figure G2 : MES en fonction de la turbidité, en considérant les moyennes pour la section pour 2015

Annexe H

**Analyse des relations entre les
mesures de turbidité prises par
le turbidimètre et les mesures de
MES**

Les relations entre les mesures de MES et les mesures du turbidimètre ont été examinées, en considérant les mesures de MES moyennes pour la section (moyenne des trois verticales) et les trois turbidités moyennes des trois mesures horaires.

Les relations linéaires entre les MES et les mesures du turbidimètre sont présentées à la figure H1 pour 2018 et à la figure H2 pour 2015.

En 2015, les deux relations sont similaires, mais le coefficient de détermination (R^2) est plus élevé pour la relation entre les moyennes pour la section ($R^2=0,84$), en comparaison avec la relation qui considère chaque verticale ($R^2=0,75$). Ces deux relations sont différentes des relations établies avec les mesures ponctuelles (annexe G). Cette différence peut être expliquée par le positionnement du turbidimètre à 1 m du fond de la rivière, en comparaison avec les mesures ponctuelles de turbidité qui ont été prises pour la verticale sur toute la colonne d'eau.

À l'instar des mesures ponctuelles (annexe G), aucune relation significative n'a été observée en 2018 avec les mesures moyennes.

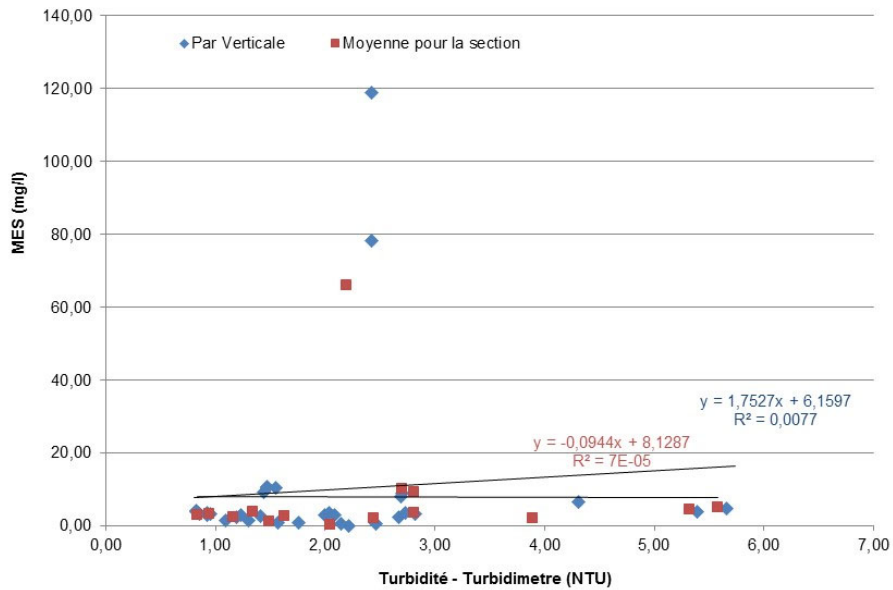


Figure H1 : Relation entre la turbidité (mesurée par turbidimètre) et les mesures ponctuelles de MES en 2018

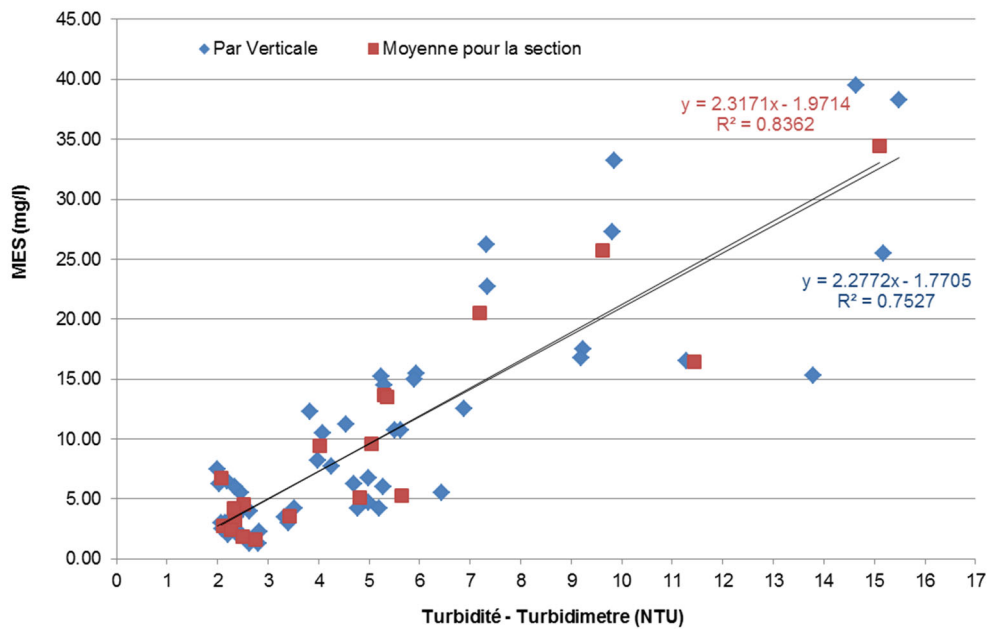


Figure H2 : Relation entre la turbidité (mesurée par turbidimètre) et les mesures ponctuelles de MES en 2015

