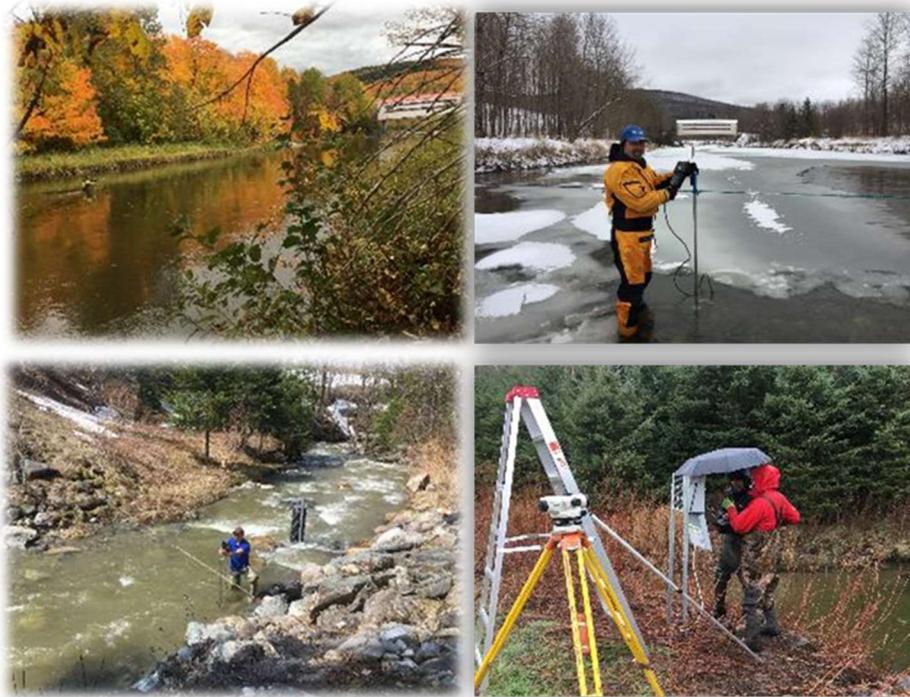


RAPPORT FINAL

SUIVI HYDROMÉTRIQUE DE LA RIVIÈRE BULSTRODE
ET DE SES AFFLUENTS

15 JUILLET 2020

PARTENAIRES DE RÉALISATION



SUIVI HYDROMÉTRIQUE Du BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE BULSTRODE

Présenté à :

COPERNIC

ATTN: Karine DAUPHIN, M.SC.Env.

Directrice générale

1000 rue Champoux

Saint-Albert (Qc) J0A 1E0

ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

- Responsable scientifique : Aubert Michaud, Ph. D., IRDA
- Mohamed Niang, PhD, IRDA
- Arianne Blais-Gagnon, MSc, IRDA
- Colline Gombault, MSc, IRDA
- William Huertas, BSc, IRDA

COLLABORATEURS

- Karine Dauphin, COPERNIC
- Marie Anne Sylvestre-Loubier, COPERNIC
- Rémi Gaudreau, COPERNIC

LE RAPPORT PEUT ÊTRE CITÉ COMME SUIT :

Michaud, A.R., M.A. Niang, A. Blais-Gagnon, C. Gombault et W. Huertas, 2020. **Suivi hydrométrique du bassin versant de la rivière Bulstrode** . Rapport final. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), COPERNIC. 23 pages.

Table des matières

1	Introduction	5
2	Méthodologie.....	6
2.1	Instrumentation et protocoles de mesure.....	6
2.2	Dépouillement des données de débits	11
2.3	Suivi géochimique	11
3	Résultats.....	12
3.1	Débits des tronçons et affluents de la rivière Bulstrode.	12
3.2	Flux de sédiments.....	16
4	Conclusions du volet d'étude hydrométrique	20
5	Références citées	22

Liste des tableaux

Tableau 1. Description des instruments en place aux stations hydrométriques.	8
Tableau 2. Bilan des hauteurs d'eau et flux de sédiments pour la période du 21 novembre 2017 au 14 avril à juillet 2019.....	17
Tableau 3. Projection des contributions respectives des affluents et des rives du tronçon principal de la rivière à la charge globale de sédiments de la rivière Bulstrode.	20

Liste des figures

Figure 1. Localisation des stations hydrométriques et sous-bassins versants correspondants.	7
Figure 2. Aperçu des sites des stations Perreault (a), Parent (b), Gobeil (c), Michaud (d), Lambert (e) et Bulstrode (f).	8
Figure 3. Installation des équipements à la station Perreault Automne 2017.....	9
Figure 4. Jaugeage de la station Michaud et Parent à l'Hiver 2018.	9
Figure 5. Mesure du débit avec le courantomètre à station Bulstrode à l'automne- hiver 2018.	10
Figure 6. Dispositif de flottaison des sondes multi-paramètres.....	12
Figure 7. Séries chronologiques des débits spécifiques et des précipitations journalières observés aux six stations pour les campagnes 2017-2019.....	13
Figure 8. Variations du débit, de la turbidité et de la conductivité au pas de temps de 15 minutes pour la crue du 20 avril 2019 observées aux six stations hydrométriques (Nb : échelles verticales des axes variées).....	15
Figure 9. Séries chronologiques des précipitations, du débit spécifique et des charges journalières de sédiments mesurées aux deux stations hydrométriques du tronçon principal de la rivière Bulstrode pour la période de novembre 2017 à avril 2020.....	16
Figure 10. Séries chronologiques des précipitations, du débit spécifique et des charges journalières de sédiments mesurées aux quatre stations hydrométriques des affluents de la rivière Bulstrode pour la période de novembre 2017 à avril 2020.....	18

1 INTRODUCTION

Afin de développer un plan de restauration intégré qui permettrait de minimiser les besoins d'entretien du réservoir dans le futur et en appui à la Ville de Victoriaville, l'Organisme de concertation pour l'eau des bassins versants de la rivière Nicolet (COPERNIC) a mandaté l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA), le laboratoire de gestion des rivières de l'Université Concordia et la firme CIMA+ pour dresser un portrait d'ensemble de la dynamique sédimentaire à l'échelle du bassin versant de la rivière Bulstrode, en vue d'identifier des pratiques à mettre en place pour diminuer l'apport de sédiments au réservoir Beaudet. Dans ce mandat, l'IRDA était responsable des volets d'étude hydrométrique (mesure des débits et charges de sédiments à la rivière) et de la modélisation hydrologique du bassin versant, l'Université Concordia devait fournir une analyse hydrogéomorphologique des cours d'eau du bassin versant (Biron et al., 2020), et CIMA+ avait comme mandat de réaliser une analyse du transport sédimentaire dans le secteur aval de la rivière Bulstrode (Lemay et al., 2020).

Le présent rapport rapporte les résultats du suivi hydrométrique de six stations installées par l'équipe de projet dans le bassin versant de la rivière Bulstrode en novembre 2017. Les dispositifs et les protocoles mis en place ont permis de décrire en continu, l'année durant les réponses hydrologiques et les flux de sédiments sur le cours amont et aval de la rivière Bullstrode, de même que pour quatre de ses ruisseaux affluents.

Les objectifs spécifiques du volet hydrométrique de cette étude étaient les suivants :

- Décrire les réponses hydrologiques du tronçon principal de la rivière Bulstrode et de ses affluents en occupation forestière et agricole, notamment les caractéristiques des crues en fonction de la saisonnalité et de l'occupation des sols, de même que les flux de sédiments qui leur sont associés;
- Fournir les données hydrologiques de bases (débits et flux de sédiments) en appui au processus de calage et de validation des démarches de modélisation hydrologique du cours principal de la rivière Bulstrode et de ses sous-bassins versants, de même qu'en support aux volets d'étude hydrogéomorphologique et hydrodynamique réalisés respectivement par les équipes de l'Université Concordia et de CIMA+.
- Constituer une base de données hydrométriques de référence permettant de mesurer, à terme, les effets des interventions en sous-bassins forestiers et agricoles sur les débits et les flux de sédiments des cours d'eau.

2 MÉTHODOLOGIE

Les dispositifs et protocoles expérimentaux utilisés dans le cadre de cette étude ont été développés dans le cadre de projets antérieurs dans diverses régions agricoles du Québec. Au fil des vingt dernières années, l'équipe Bassins versants de l'IRDA a en effet mis en place et coordonné le suivi hydrométrique d'une trentaine de micro-bassins, de superficies variant de 3 à 40 km² dans le cadre de projets de recherche-action réalisés en partenariat avec des intervenants du milieu agricole. Des informations additionnelles sur ces études sont disponibles sur le site WEB de l'IRDA (IRDA.qc.ca, 2020).

Les dispositifs de suivi hydrologique ont permis de documenter dans le temps l'évolution des débits, qualifier l'origine des écoulements (ruissellement de surface et souterrain), de même que la mesure des charges de sédiments auprès des six stations. La figure 1 illustre la localisation des six stations hydrométriques et leurs sous-bassins versants correspondants, alors que qu'un aperçu des sites est présenté en Figure 2.

La station Bulstrode, localisée sur le cours aval de la rivière à proximité du réservoir Beaudet, témoigne de la réponse hydrologique et de la charge de sédiments en suspension apportée au réservoir depuis la quasi-totalité du bassin versant (292 km²). La station Lambert est localisée à mi-parcours du tronçon principal de la rivière, soit à 50 m au nord de la rue Lambert en aval du barrage de Sainte-Sophie. Cette station permet de quantifier les flux de la portion amont du bassin versant (228 km²).

Deux dispositifs de bassins jumeaux sont pour leur part localisés sur des affluents représentatifs des occupations et paysages distincts du territoire, soit le secteur montagneux amont, en occupation forestière (ruisseaux Gobeil, 11,80 km² et Michaud, 7,00 km²), et le secteur plus en aval, associé à une occupation agricole du territoire (ruisseaux Parent, 5,15 km², et Perreault, 6,87 km²). Ce dispositif des stations est adapté à la mesure éventuelle des effets d'actions anti-érosives dans chaque secteur suivant un dispositif de paires de bassins jumeaux. Les observations colligées en bassin Témoin servent alors de balise pour quantifier l'effet des actions anti-érosives sur les charges de sédiments dans le bassin ciblé pour l'intervention.

2.1 Instrumentation et protocoles de mesure

Les dispositifs et protocoles mis en place à l'automne 2017 sont spécifiquement adaptés à la mesure des débits et des flux de sédiments. Ils s'appuient sur des mesures en continu de la vitesse du courant et/ou de la hauteur de l'eau, de même que la température, du signal de conductivité électrique et de la turbidité. Ces informations sont complémentées par des prélèvements d'échantillons d'eau, principalement lors des crues des cours d'eau, qui sont acheminés au laboratoire pour en déterminer les valeurs de conductivité et turbidité, en support au calage des sondes installées dans le cours d'eau. Le traitement des données de débit et du signal géochimique de l'eau, couplé aux résultats de dosages au laboratoire des échantillons prélevés ponctuellement dans les cours d'eau, permettent

de décrire en continu, au pas de temps de 15 minutes, les débits et les flux de sédiments aux six stations.

Les stations hydrométriques sont composées de plusieurs instruments localisés aux abords et dans le cours d'eau (Tableau 1). Les visites régulières aux sites permettent l'entretien des équipements, les mesures de débits instantanés, la récolte d'échantillons d'eau des ruisseaux et l'acquisition des différentes données enregistrées par les instruments.

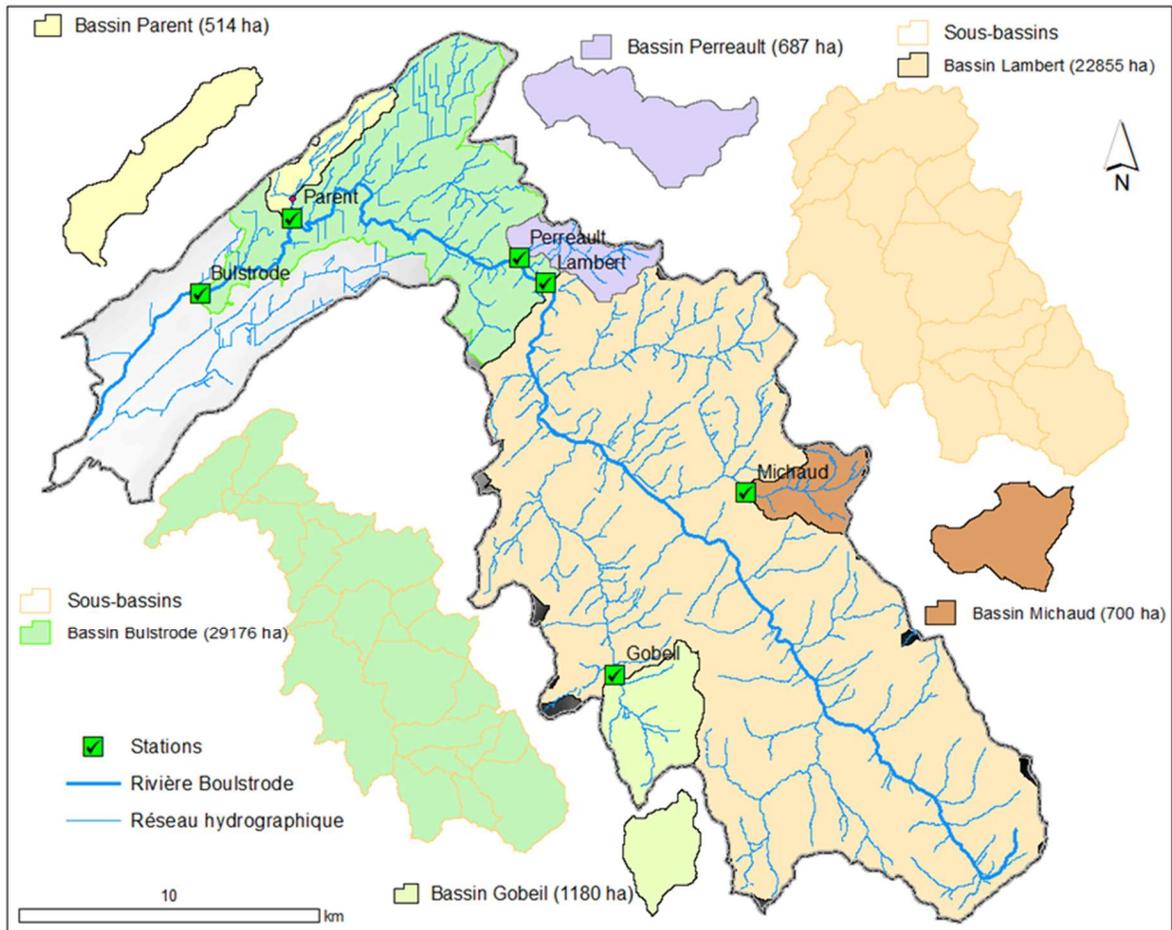


Figure 1. Localisation des stations hydrométriques et sous-bassins versants correspondants.



Figure 2. Aperçu des sites des stations Perreault (a), Parent (b), Gobeil (c), Michaud (d), Lambert (e) et Bulstrode (f).

Tableau 1. Description des instruments en place aux stations hydrométriques.

Équipements de mesure	Station Perreault	Station Parent	Station Gobeil	Station Michaud	Station Lambert	Station Bulstrode
Sonde multi-paramètres (YSI) (turbidité, conductivité électrique et température)	x	x	x	x	x	x
Sonde barométrique (HOBO) (hauteur de la colonne d'eau)	x	x	x	x	x	x
Sondes barométrique et acoustique (ISCO) (hauteur de la colonne d'eau et vitesse)	x	x	x			

Les sondes à pression (HOBO) et acoustiques (ISCO) sont installées au centre de la section d'écoulement alors que les sondes multi-paramètres, munie de dispositifs de flottaison, sont insérées à l'intérieur de cylindres de plastique perforés installés près de la rive. Les dispositifs d'alimentation solaire et d'enregistrement des mesures sont installés sur la rive (Figure 3).



Figure 3. Installation des équipements à la station Perreault Automne 2017.

Les sondes multi-paramètres sont retirées du cours d'eau au moment de la prise du couvert de glace et réinstallées à la fin de l'hiver, précédant la crue printanière, à l'exception des sondes multi-paramètres aux stations Bulstrode et Lambert qui ont été maintenues en opération en période hivernale, sous le couvert de glace à l'hiver 2019. En période hivernale, l'équipe terrain brise la glace afin de procéder aux jaugeages et échantillonnages ponctuels (Figure 4) aux six stations.



Figure 4. Jaugeage de la station Michaud et Parent à l'Hiver 2018.

Chaque station hydrométrique fait l'objet d'un entretien selon un intervalle moyen de quatre semaines. L'équipe terrain de l'IRDA nettoie alors les sondes et en extrait les données. La section du cours d'eau est nettoyée au besoin (sédiments, végétation, glace) afin de permettre la mesure de la section d'écoulement et des vitesses de son courant. Des mesures de débit sont aussi prises dans les six stations sur toute la largeur du cours d'eau permettant alors d'estimer avec précision le débit du cours d'eau. Dans le cadre de ce projet, ces mesures ont été effectuées en utilisant un débitmètre *FlowTracker* (Figure 5), à raison d'un minimum de 15 mesures par section d'écoulement suivant un espacement régulier, permettant de couvrir la section d'écoulement d'une berge à l'autre. Au cours de la période d'étude, une vingtaine de mesures de débit ont été effectuées sur chacun des cours d'eau Bulstrode, Parent, Perreault, Lambert, Michaud, et Gobeil, en visant principalement des épisodes hydrologiques de forte intensité.



Figure 5. Mesure du débit avec le courantomètre à station Bulstrode à l'automne et en début d'hiver 2018.

2.2 Dépouillement des données de débits

Le protocole repose sur l'enregistrement en continu (15 min) de l'élévation de la colonne d'eau et/ou de sa vitesse au moyen de sondes barométriques et acoustiques, combinées à des jaugeages hivernaux et estivaux du débit. Le tarage des courbes hauteur-vitesse-débit de chacun des exutoires de ruisseaux est mis à jour annuellement durant toute la durée projet. Chaque jaugeage est effectué suivant un minimum de 20 observations réparties uniformément le long de la section de cours d'eau. La participation de partenaires locaux supporte les jaugeages en périodes de crue.

Les débits instantanés (aux 15 minutes) et journaliers moyens sont calculés à partir des données brutes de hauteurs et de vitesses colligées par les instruments sur le terrain. L'ensemble de mesures ponctuelles du débit des cours d'eau réalisées en cours d'année permet d'établir la courbe de tarage hauteur : vitesse : débit spécifique à chaque station. Compte tenu des influences du couvert de glace en conditions hivernales, de la végétation abondante en été et des barrages sur le refoulement de l'écoulement, ces facteurs ont été pris en considération dans le dépouillement des données au cours de la période d'étude. Pour les besoins des comparaisons entre les bassins à l'étude, les estimations de débits sont traduites en hauteur spécifique d'eau exportée (mm) ou en débit spécifique ($L s^{-1} ha^{-1}$) pour une période de temps donnée.

2.3 Suivi géochimique

L'observation en continu (selon un intervalle de 15 minutes) de la conductivité électrique et de la turbidité au moyen des sondes multi-paramètres témoignent des processus hydrologiques à l'œuvre dans les affluents et le cours d'eau principal. Le signal de turbidité permet de quantifier le flux de sédiments et d'interpréter les cycles de sédimentation et de resuspension des sédiments dans la colonne d'eau. Les observations de turbidité sont traduites en concentrations de MES suivant un calibrage avec les dosages en laboratoire effectués sur les échantillons prélevés ponctuellement dans le ruisseau. Le signal de conductivité électrique témoigne pour sa part de la répartition du cheminement raide des eaux de surface (ruissellement) ou souterrain (drainage artificiel et résurgence au ruisseau). Cette interprétation est fondée sur le principe que l'eau qui s'infiltré dans le sol se charge de minéraux et présente une conductivité électrique généralement plus élevée que l'eau qui a rejoint rapidement le ruisseau par les voies de surface. Le dépouillement des courbes conductivité : débit permet ainsi de détecter le déclenchement du ruissellement de surface (Michaud et al., 2009a).

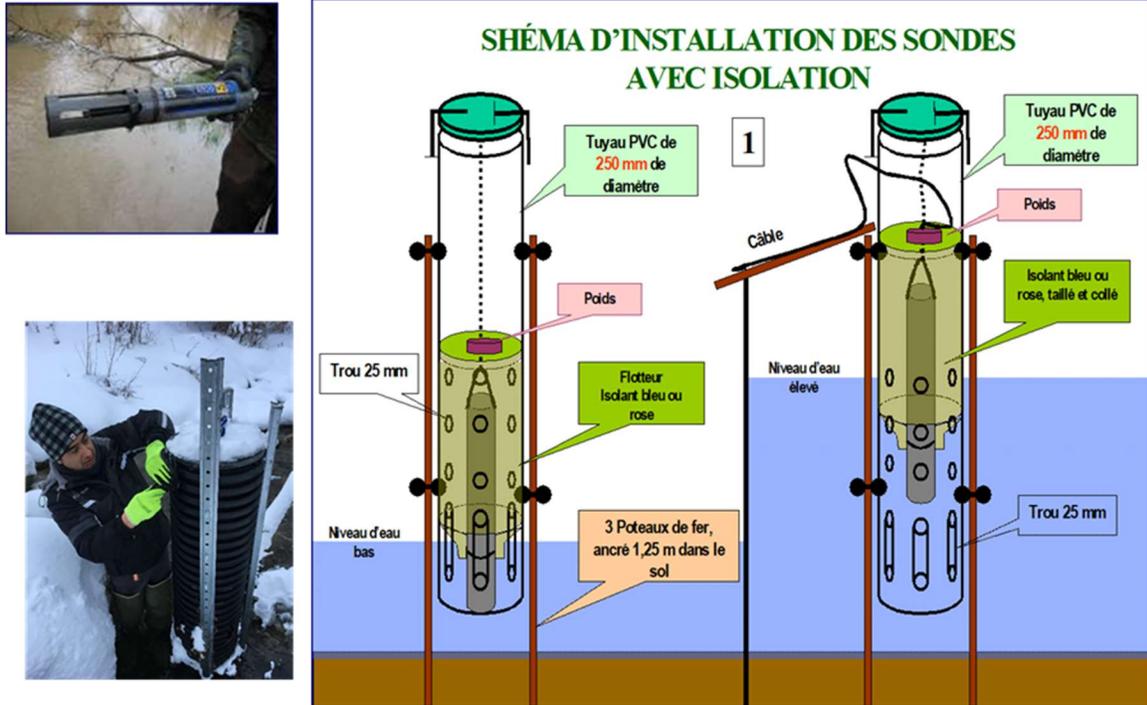


Figure 6. Dispositif de flottaison des sondes multi-paramètres.

3 RÉSULTATS

Cette section rapporte les résultats du suivi hydrométrique aux six stations. La période de monitoring des stations des quatre affluents Gobeil, Michaud, Parent et Perreault pour la période débute le 21 novembre 2017 et se termine le 14 avril 2020 (875 à 880 jours). En raison de la perte de matériel au cours des crues hivernales de 2018, les stations du tronçon principal Lambert et Bulstrode ont été réinstallées le 10 avril 2018. La période de suivi couvre ainsi 736 jours (Tableau 2).

3.1 Débits des tronçons et affluents de la rivière Bulstrode.

La Figure 7 illustre les précipitations totales et débits journaliers observés aux six stations hydrométriques pour leur périodes de suivi respectives. Les bilans annuels moyens sont rapportés au Tableau 2. Dans l'ensemble, les hauteurs totales d'eau rapportées sur une base annuelle varient de 696 à 999 mm. Dans l'ensemble, les débits spécifiques les plus élevés observés aux six stations sont associés aux épisodes de redoux hivernaux et à la période printanière hâtive, alors que la fonte du couvert de neige et les précipitations sur des sols saturés en eau favorise l'émission du ruissellement de surface. Les débits spécifiques les plus élevés sont ainsi observés lors de la crue printanière du 20 avril 2019, en réponse à l'intense précipitation (44.8 mm) sur des sols gorgés d'eau en ce printemps particulièrement pluvieux. Les autres épisodes de ruissellement particulièrement

intenses sont associés aux redoux hivernaux des 12 janvier 2018, 21 février 2018 et 22 décembre 2019, de même qu’au printemps particulièrement pluvieux de 2019. La crue de forte intensité du 31 octobre au 1er novembre 2020 fait exception à cette influence nivale, alors que plus de 70 mm de précipitation automnale sur des sols largement saturés génère des lames de ruissellement et des charges de sédiments considérables aux six stations du réseau d’étude.

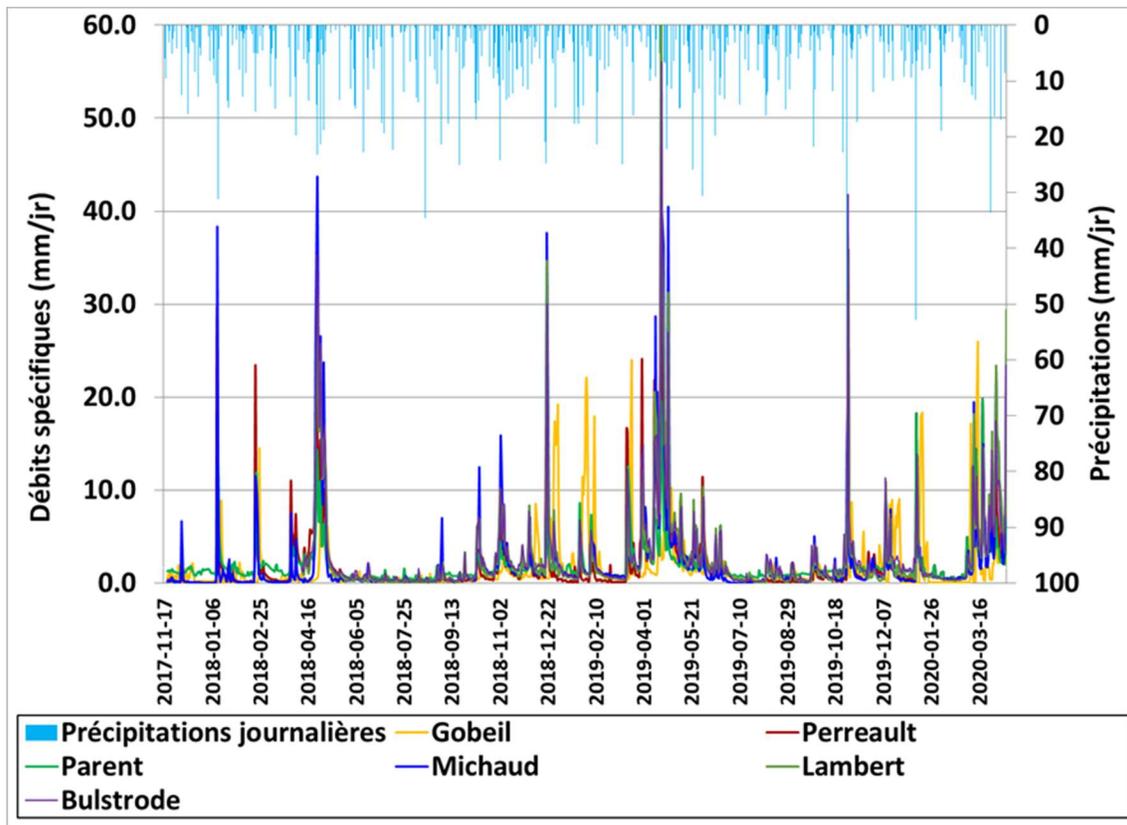


Figure 7. Séries chronologiques des débits spécifiques et des précipitations journalières observés aux six stations pour les campagnes 2017-2019.

3.2 Suivi géochimique

Dans l’ensemble, les signaux de turbidité et de conductivité observés traduisent la contribution dominante du ruissellement de surface au débit de la rivière Bulstrode et de ses affluents lors des crues les plus intenses. La Figure 8 illustre par exemple les observations de débits et les signaux géochimiques pour la crue du 20 avril 2019 colligées simultanément aux six stations. La précipitation de 44,8 mm (station météorologique d’Arthabaska) a généré la plus importante crue de la période d’étude, d’une hauteur

d'eau journalière de 56.1 mm à la station Bulstrode aval. Les variations dans le temps du débit, de la turbidité et de la conductivité électrique de l'eau témoignent d'un patron commun de variabilité en réponse à la forte émission de ruissellement de surface. La conductivité diminue rapidement avec l'apport d'eau de ruissellement, alors que la turbidité augmente, témoignant des processus d'érosion et de transport de sédiments à la rivière. En décrue, la remontée du signal de conductivité, de même que la baisse de la turbidité, témoignent alors de la proportion croissante de l'écoulement souterrain de l'eau qui atteint l'exutoire du ruisseau.

Chaque station se distingue cependant sur le plan des maxima et minima de débits, turbidité et conductivité observés au cours de l'évènement (Figure 8). La conductivité électrique du bassin Parent se démarque nettement à la hausse, reflétant son appartenance au paysage de la plaine argileuse du Saint-Laurent. En remontant la rivière, les signatures des affluents témoignent plutôt du piémont et hautes terres des Appalaches, avec des niveaux de conductivité plus faibles qu'en plaine argileuse. Les pics de turbidité et de débits des quatre stations affluentes de la Bulstrode sont relativement en phase. Les minima de conductivité observés témoignent d'émission de ruissellement de surface et d'apports de sédiments depuis les zones les plus *hydro-actives* du paysage. Les pics de turbidité devant les pics de crue pour les stations Bulstrode et Lambert en cours principal de la rivière sont pour leur part indicatifs d'une reprise en charge de sédiments (resuspension) du stock de sédiments déposé dans le réseau hydrographique. Des maxima de turbidité de l'ordre de 225 NTU témoignent ainsi d'importants transports sédimentaires.

Pour les sous-bassins affluents de la Bulstrode, le ruisseau Perreault se démarque par un pic de turbidité élevé (300 NTU), reflétant la forte érosivité du relief du sous-bassin en occupation partiellement agricole. Au Parent, dominé par l'activité agricole, le pic de turbidité est deux fois moins élevé, témoignant du relief relativement plat du sous-bassin versant. Pour les sous-bassins forestiers, la forte turbidité observée au ruisseau Michaud (> 200 NTU) surprend, compte tenu de l'occupation à dominance forestière, mais comportant toutefois des superficies en cultures fourragères exposés à de fortes pentes. Le ruisseau Gobeil, avec un pic de turbidité à 130 NTU témoigne également d'une charge sédimentaire importante, malgré une occupation exclusivement forestière.

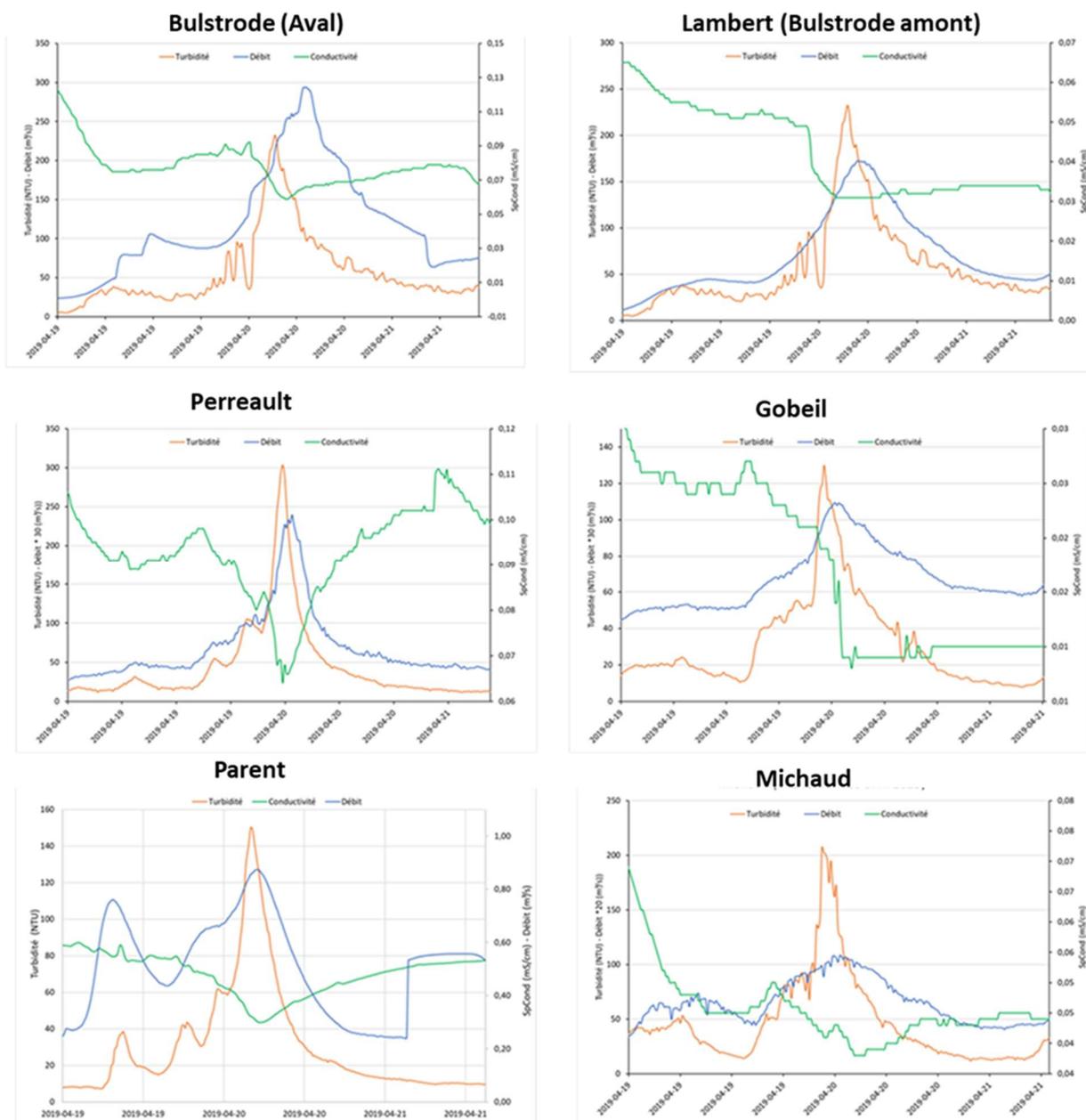


Figure 8. Variations du débit, de la turbidité et de la conductivité au pas de temps de 15 minutes pour la crue du 20 avril 2019 observées aux six stations hydrométriques (Nb : échelles verticales des axes variées).

3.3 Flux de sédiments

Le Tableau 2 rapporte les charges annuelles moyennes de sédiments estimées pour les six stations hydrométriques. Ces charges sont calculées sur la base du produit des débits et des observations instantanées de turbidité (pas de temps de 15 minutes). Les estimations de charges de sédiments traduisent d'importants contrastes entre les stations du réseau d'étude. Sur une base spécifique (moyennes rapportées à la superficie des sous-bassins), les charges spécifiques annuelles de sédiments estimés pour les tronçons principaux de la rivière Bulstrode se distinguent nettement à la hausse par rapport aux charges des affluents (Tableau 2). Aux stations Lambert (amont) et Bulstrode (aval) elles atteignent ainsi 366 et 356 kg/an, respectivement. Ces taux d'exportation spécifique sont nettement plus élevés que ceux attribués aux ruisseaux affluents agricoles Parent (232 kg/ha-an) et Perreault (127 kg/ha-an), ou aux affluents forestiers Gobeil (81 kg/ha-an) et Michaud (153 kg/ha-an).

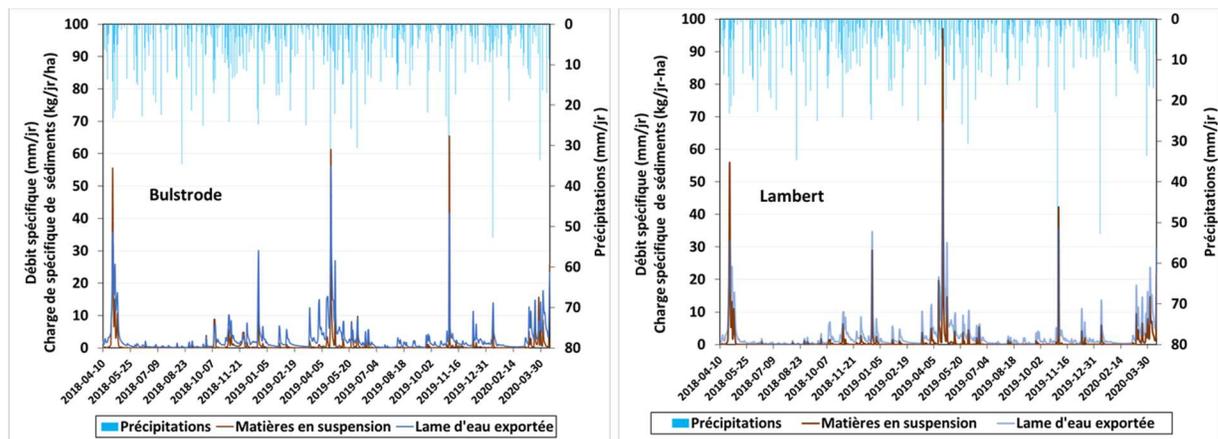


Figure 9. Séries chronologiques des précipitations, du débit spécifique et des charges journalières de sédiments mesurées aux deux stations hydrométriques du tronçon principal de la rivière Bulstrode pour la période de novembre 2017 à avril 2020.

Ces différences marquées dans les flux spécifiques entre les sous-bassins affluents et le tronçon principal de la rivière traduisent une forte contribution massive de sédiments associé aux processus d'érosion en rive du tronçon du chenal principal de la rivière. La figure 9 illustre bien ce phénomène aux stations Bulstrode et Lambert. La distribution des épisodes de crue et d'exportation de sédiments, nettement en phase, mettent en évidence que la plus large part des sédiments charriés à la rivière au cours de la période d'étude est associée à quelques épisodes de redoux hivernaux et de précipitations printanières hâtives. La crue automnale du 1^{er} novembre 2010 demeure le seul

évènement de toute la période d'étude contribuant à une exportation significative de sédiments, en dehors de la période hivernale et printanière hâtive.

Tableau 2. Bilan des hauteurs d'eau et flux de sédiments pour la période du 21 novembre 2017 au 14 avril à juillet 2019.

Sous-bassin	Superficie du sous-bassin (ha)	Durée du suivi (jr)	Volume d'eau annualisé (m ³)	Hauteur d'eau annualisée (mm/an)	Exportation de sédiments annuelle (T/an)	Exportation de sédiments annuelle spécifique (kg/ha-an)
Parent	515	876	3 583 039	696	119	232
Perreault	687	875	4 733 115	689	88	127
Gobeil	1 180	880	9 520 327	807	96	81
Michaud	700	876	5 731 145	819	107	153
Lambert	22 855	736	225 073 840	985	8 370	366
Bulstrode	29 176	736	291 417 575	999	10 378	356

Bien que les flux de sédiments observés dans le tronçon principal de la rivière se distinguent nettement des flux des ruisseaux affluents, la comparaison des sédiagrammes de quatre sous-bassins agricoles et forestiers mettent également en relief des contrastes importants (Figure 10). L'influence de l'occupation du sol est particulièrement bien illustrée par la comparaison du bassin Perreault, principalement sous occupation agricole, avec le bassin Gobeil, essentiellement occupé par la forêt. Les deux sous-bassins ont des reliefs relativement accidentés, mais l'occupation agricole au bassin Perreault se traduit en une charge spécifique de sédiments près de deux fois plus élevée qu'au ruisseau Gobeil (Tableau 2). Les flux de sédiments sont particulièrement contrastés lors des épisodes de fonte printanière, alors que le ruissellement de surface constitue une part importante l'égouttement. Les maxima dans les flux de sédiments observés au printemps au ruisseau Perreault, de même qu'au cours de la crue automnale du 1^{er} novembre 2019, traduisent la vulnérabilité élevée de certains secteurs cultivés du bassin en raison du relief accidenté. La charge journalière spécifique de sédiments du 20 avril 2019 atteint par exemple 41.6 kg/ha au ruisseau Perreault alors qu'elle se limite à 8.8 kg/ha au ruisseau Gobeil. Ce contraste reflète l'évolution des signaux de turbidité rapportées antérieurement en figure 8, qui culmine à environ 300 NTU (1 NTU est pratiquement équivalent à 1 mg MES/l) pour le bassin agricole Perreault, et 130 NTU au sous-bassin Gobeil. L'implication pratique de ces observations est la vulnérabilité accrue de l'occupation agricole du territoire aux exportations de sédiments.

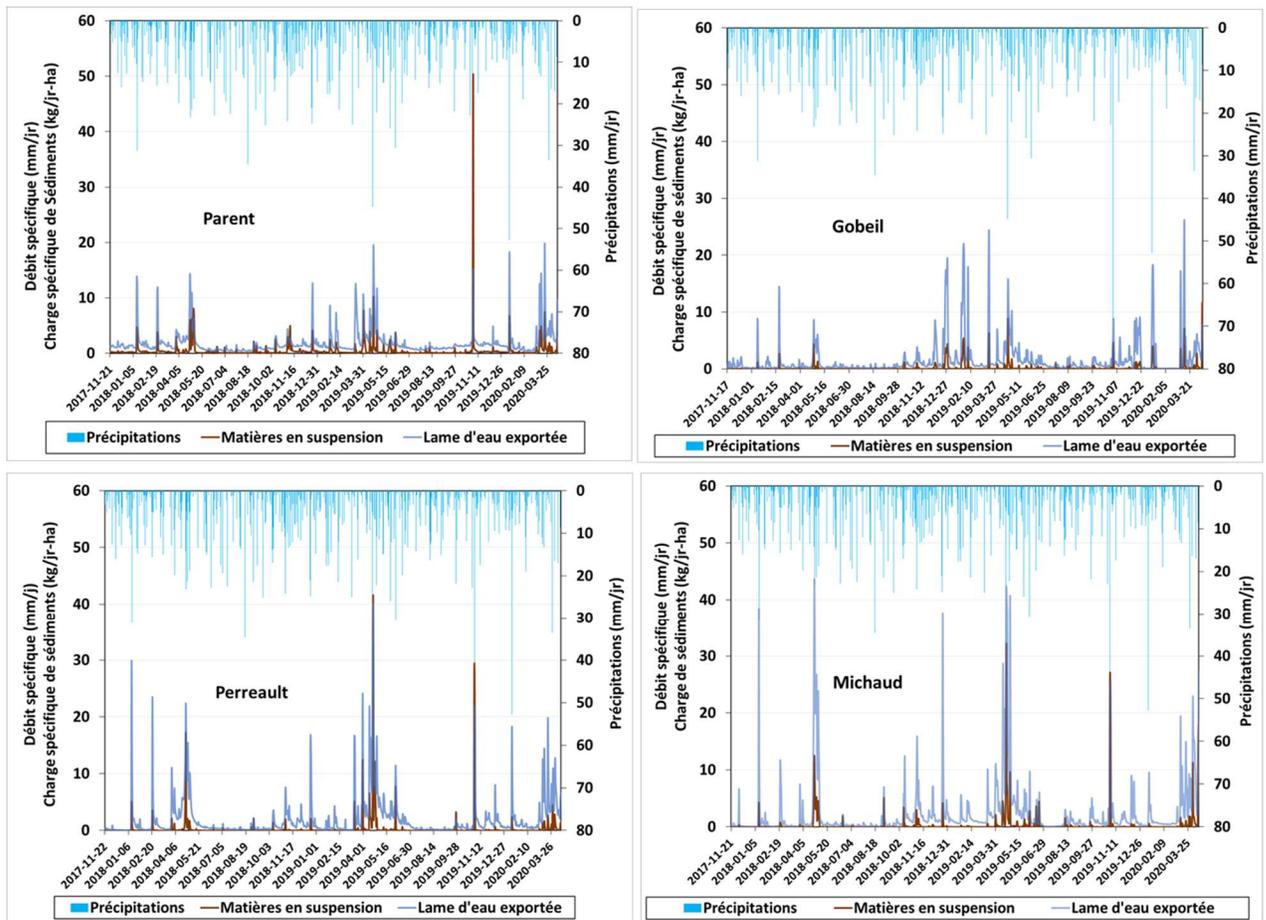


Figure 10. Séries chronologiques des précipitations, du débit spécifique et des charges journalières de sédiments mesurées aux quatre stations hydrométriques des affluents de la rivière Bulstrode pour la période de novembre 2017 à avril 2020.

Le contraste entre les réponses hydrologiques des ruisseaux Parent et Perreault traduit pour leur part l'influence du paysage sur le cheminement des eaux les bassins versants. Représentant le relief pentu du piedmont appalachien, l'hydrogramme du ruisseau Perreault démontre une forte « hydro-activité », avec des débits de pointe journaliers systématiquement plus élevés qu'au bassin versant du ruisseau Parent, plutôt représentatif du paysage de la plaine du Saint-Laurent. Au final, les deux ruisseaux affichent une hauteur d'eau annuelle exportée similaire (689 à 696 mm/an), mais le ruisseau Parent exporte près de deux fois plus de sédiments (232 kg/ha-an) que le ruisseau Perreault (127 kg/ha-an), toutes proportions gardées pour leur superficies respectives (Tableau 2). Encore ici, l'occupation agricole du sol, relativement plus importante dans le bassin Parent, demeure un facteur déterminant de sa vulnérabilité aux émissions de sédiments en suspension.

Revenant à une vue d'ensemble des résultats des suivis hydrométriques aux six stations du réseau d'étude, deux facteurs apparaissent déterminants dans l'explication des flux de sédiments mesurés :

- D'une part, les charges spécifiques sont nettement plus élevées dans le tronçon principal de la rivière Bulstrode que dans ses affluents, traduisant l'influence dominante des processus d'érosion en rive de cours d'eau.
- D'autre part, l'occupation du territoire explique en bonne partie les contributions des affluents au tronçon principal de la rivière.

Sur cette base, les contributions relatives de l'érosion du chenal principal de la rivière et des charges apportées par les affluents ont été estimées en projetant les taux d'exportation associés aux occupations agricoles et forestières du territoire à l'ensemble du bassin versant. Les résultats de cette projection sont illustrés au Tableau 3. Considérant les coefficients spécifiques d'exportation de sédiments de 23.2 et 8.1 T/km²-an estimés respectivement pour les sous-bassins des ruisseaux Parent (83% en occupation agricole) et Gobeil (93% en forêt), la charge globale de sédiments provenant des affluents de la rivière Bulstrode est alors estimée à 3,563 tonnes par an. La charge totale de sédiments de la rivière est pour sa part projetée à 11,712 tonnes suivant le coefficient d'exportation de 35,6 T/km²-estimé à la station hydrométrique Bulstrode aval. En déduisant la charge des affluents de la charge totale de la rivière, une estimation de la charge liée à l'érosion du tronçon principal de la rivière est obtenue, dans l'ordre de 8,149 tonnes de sédiments par an, ce qui correspond à environ 70% de la charge totale de la rivière.

Cette projection s'avère cohérente avec les résultats des études antérieures relatives à la dynamique sédimentaire du bassin versant (Duhamel et Bariteau, 2012; Lemay et col., 2020), au traçage de l'origine des sédiments (Lachance, 2017) de même qu'au portrait hydrogéomorphologique de la rivière (Biron et col., 2020). Rappelons ici que les projections de la présente étude s'appliquent aux charges de matières en suspension dans les cours d'eau, tels qu'en témoignent les observations colligées aux stations hydrométriques du réseau. Une sous-estimation de la charge totale de sédiments au réservoir est admise, en lien avec la portion de la charge de sédiments de fond de la rivière, de nature plus grossière, qui est exclue de la charge en suspension mesurée.

Tableau 3. Projection des contributions respectives des affluents et des rives du tronçon principal de la rivière à la charge globale de sédiments de la rivière Bulstrode.

	% Occupation agricole	% Occupation forestière	Taux d'exportation de sédiments (T/km ² -an)	Projection à l'échelle du bassin versant (T/an)
Charge mesurée en affluent agricole (Station du Ruisseau Parent)	83%	6%	23.2	1 380
Charge mesurée en affluent forestier (Station du Ruisseau Gobeil)	1%	93%	8.1	2 183
Projection de la charge des affluents à l'échelle du bassin	17%	78%	10.8	3 563
Charge totale projetée pour le bassin versant			35.6	11 712
Projection de la charge liée à l'érosion du tronçon principal de la rivière (Charge totale - Charge des affluents)				8 149

4 CONCLUSIONS DU VOLET D'ÉTUDE HYDROMÉTRIQUE

Le suivi hydrométrique aux six stations du réseau d'étude de la rivière Bulstrode a permis de décrire et contraster les réponses hydrologiques du tronçon principal de la rivière Bulstrode et de ses affluents en occupation forestière et agricole. Dans l'ensemble, les débits de pointe et les charges de sédiments des différents affluents et tronçons sont principalement déterminés par la saisonnalité, l'occupation du territoire et les phénomènes d'érosion en rive. Aux égards des hypothèses et objectifs de départ de l'étude de la rivière Bulstrode, les principales implications du suivi hydrométrique des tronçons principaux et de affluents de la rivière Bulstrode sont les suivantes :

- Les crues de la rivière, associées à la plus large part des exportations de sédiments, sont observés principalement en période de redoux hivernal et lors de la fonte printanière. L'intensité des débits mesurés et la condition de saturation généralisée des sols au moment de ces épisodes exclue la faisabilité d'atténuer de façon tangible les flux de sédiments en laminant les débits de pointe au moyen d'ouvrages hydrauliques.
- Les charges spécifiques observées en tronçon principaux, soit en aval du barrage de Saint-Sophie et près de l'exutoire au réservoir Beaudet, sont nettement plus élevées que celles estimées dans les ruisseaux affluents, ce qui indique que les processus d'érosion en rivière dominant en termes de contribution en sédiments,

par rapport au processus de ruissellement de surface des sous-bassins affluents. La contribution des processus d'érosion du chenal principal à la charge globale de sédiments à la rivière est estimée dans l'ordre de 70%.

- L'occupation agricole du territoire est associée à des exportations spécifiques de sédiments (Kg MES/ha) relativement plus importante que l'occupation forestière. Les contributions des secteurs sous occupation forestière ne sont cependant pas négligeables, reflétant l'influence d'un relief fortement accidenté. Les études de modélisation hydrologique des sous-bassins Parent et Gobeil (Michaud et col. 2020) décrivent de façon plus détaillée les influences de l'occupation du territoire et des propriétés du paysage sur la vulnérabilité à l'érosion des sous-bassins affluents de la rivière Bulstrode.

Les données de débits et de flux de sédiments colligées dans le cadre de ce suivi hydrométrique de la rivière Bulstrode et de ses affluents ont par ailleurs été valorisées dans la réalisation des volets d'étude de modélisation hydrologique par l'équipe de l'IRDA, de même qu'en support aux volets d'étude hydrogéomorphologique (Biron et al., 2020) et hydrodynamique (Lemay et al., 2020) réalisés respectivement par les équipes de l'Université Concordia et de CIMA+.

5 RÉFÉRENCES CITÉES

Biron, P., B., W. Massey et N. Stämpfli. 2020. Analyse hydrogéomorphologique du bassin versant de la rivière Bulstrode. Laboratoire de gestion des rivières de l'Université Concordia. COPERNIC. 42 Pp.

Duhamel, D. et Bariteau, L. 2012a. Étude du bassin versant de la rivière Bulstrode à l'amont du réservoir Beaudet, Victoriaville. Portrait global de l'érosion et de la dynamique sédimentaire présenté au Service de l'environnement de la Ville de Victoriaville. Poly-Géo Inc. Version finale. 17 août 2012. 29 p. + annexes.

Lachance, C. 2017. Sources de sédiments dans un réservoir d'eau potable par la technique de traçage de sédiments. Mémoire de maîtrise. Université Laval. 103 p. + annexes.

Lemay, M., G. Lamont et P.-M. Pelletier. 2020. Étude de la dynamique sédimentaire de la rivière Bulstrode entre les barrages Beaudet et Sainte-Sophie. Rapport préliminaire. Numéro de projet CIMA+ : HS00232. 188p.

Michaud, A.R., M.A. Niang. 2020. Modélisation des scénarios d'actions concertées ciblés sur la prévention des exportations de sédiments des sous-bassins Parent et Gobeil, affluents de la rivière Bulstrode. Rapport final. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), COPERNIC.