



INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ПО АГРОЭКОЛОГИИ

RAPPORT FINAL

SUIVI HYDROMÉTRIQUE DU RUISSEAU CASTOR

NOVEMBRE 2019 À DÉCEMBRE 2022



Responsable scientifique : SIMON RICARD, Ph.D., Chercheur IRDA

Collaborateurs : Arianne BLAIS-GAGNON, William HUERTAS, Aubert MICHAUD

Rapport présenté à : Sophie Bélanger-Comeau, MELCCFP

Mars 2023

Projet IRDA #400222



L'IRDA a été constitué en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et le ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations (MEIE).

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement est une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille à chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

Notre vision

En 2016, l'IRDA est reconnu à l'échelle canadienne comme un chef de file en recherche, développement et transfert en agroenvironnement. L'IRDA se démarque par son approche intégrée et par le dynamisme de ses partenariats qui lui permettent d'anticiper les problèmes et de proposer des solutions novatrices répondant aux besoins des agriculteurs et de la société.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

LE RAPPORT PEUT ÊTRE CITÉ COMME SUIV :

Ricard, S., A. Blais-Gagnon, W. Huertas et A. Michaud. 2023. SUIVI HYDROMÉTRIQUE DU RUISSEAU CASTOR. Rapport final. IRDA et partenaires. 20 pages.

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

- Responsable scientifique : Simon Ricard, Ph. D., IRDA
- Arianne Blais-Gagnon, IRDA
- William Huertas, IRDA
- Aubert Michaud, OBVBM

COLLABORATEURS

- Colline Gombault, IRDA
- Mick Wu, biostatisticien IRDA
- Olivier Perret, producteur en support à l'échantillonnage
- Johanne Bérubé, OBVBM

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Simon Ricard

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-2380, poste 691

Courriel : simon.ricard@irda.qc.ca

TABLE DES MATIÈRES

1	Mise en contexte	1
2	Portait du bassin.....	2
3	Méthodologie	5
3.1	Suivi hydrométrique	5
3.2	Suivi géochimique en continu	6
3.3	Suivi géochimique ponctuel	7
4	Résultats	8
4.1	Courbe de tarage et débits.....	8
4.2	Signaux géochimiques	10
4.2.1	Sédiments.....	13
4.2.2	Nutriments.....	14
5	Accès à la donnée	17
6	Conclusion	18
7	Références.....	19
	Annexe A. séparation de l'hydrogramme.....	21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4-1	Concentrations (conc.) moyennes pondérées pour le débit et charges annuelles spécifiques (365 jrs, base ha) de calcium, de matières en suspension, d'azote et de phosphore estimées à la station.....	13
Tableau 4-2	Spéciation des formes de phosphore estimée pour les charges du bassin étudié.....	13

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1	Caractéristiques biophysiques du bassin versant à l'étude : occupation du territoire (A), relief (B) et séries de sol (C).	3
Figure 2-2	Visites terrain pour les mesures de débit à la station 16_CAS en mars 2020 (A), août 2020 (B), octobre 2020 (C), mars 2021 (D), septembre 2021 (E), décembre 2021 (F), mars 2022 (G), juin 2022 (H) et décembre 2022 (I).	4
Figure 3-1	Installation de la sonde ISCO au centre du cours d'eau (A), système d'alimentation sur la rive (B), récolte de données d'une sonde HOBO (C), mesures au Flowtracker (D) et sonde YSI (E).	6
Figure 4-1	Courbe de tarage à la station 16_CAS.	9
Figure 4-2	Séries chronologiques des débits spécifiques et des précipitations journalières (ECCC) observés à la station de 2019 à 2022.	9
Figure 4-3	Séparation des écoulements de surface et souterrain pour le cours d'eau.	10
Figure 4-4	Distribution dans le temps des débits journaliers au moment des échantillonnages.	11
Figure 4-5	Distribution des concentrations observées en matières en suspension (A), calcium (B), phosphore total (C) et nitrates (D) en fonction du débit spécifique et de la date d'échantillonnage à la station.	12
Figure 4-6	Séries chronologiques des débits spécifiques, des précipitations journalières et des flux de sédiments observés à la station de 2019 à 2022.	14
Figure 4-7	Distribution des charges cumulées et des flux de phosphore à la station.	15
Figure 4-8	Charges et spéciation des formes de phosphore observées à la station 16_CAS.	15
Figure 4-9	Distribution des charges cumulées et des flux de nitrates à la station.	16

1 MISE EN CONTEXTE

Le suivi hydrométrique de la station 16_CAS s'inscrit dans le cadre du projet de la Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030 du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Le présent rapport propose une description fine des débits et des flux de sédiments et nutriments dans le bassin versant ruisseau au Castor de novembre 2019 à décembre 2022. Les visites mensuelles au site permettent l'entretien des équipements, les mesures de débits instantanés, la récolte d'échantillons d'eau et l'acquisition des différentes données enregistrées par les instruments, de façon à répondre aux objectifs spécifiques du projet:

- i. Assurer un suivi hydrométrique par la mesure et l'enregistrement de la hauteur de la colonne d'eau et de la vitesse d'écoulement en continu ainsi que des mesures ponctuelles de débit réalisées à la station;
- ii. Assurer un suivi géochimique en continu par la conception et l'installation d'un dispositif comprenant une sonde immergée et de l'alimentation autonome à la station d'observation localisée à l'exutoire du bassin. Calibrer et extraire des données pour la période hivernale pour les paramètres de turbidité, conductivité et température;
- iii. Assurer un suivi géochimique ponctuel par l'échantillonnage et le dosage en laboratoire des propriétés physico-chimiques conformément au protocole établi : matières en suspensions (MES), concentrations en ortho phosphates (P ortho), P total en solution (P dissous), P biodisponible (P bio) et P total (P total), ammonium (NH₄) et nitrates (NO₃).

Dans ce rapport, le portrait général du bassin est d'abord dressé. Suivent ensuite la méthodologie retenue pour l'opération de la station hydrométrique et le détail concernant l'utilisation des données récupérées et les résultats de quantité (débits) et de qualité (physicochimie) de l'eau.

2 PORTAIT DU BASSIN

La station 16_CAS a été installée à l'embouchure du ruisseau Castor, un tributaire de la section aval de la rivière aux Brochets en Estrie. Le bassin versant, qui chevauche les municipalités de Pike River, Notre-Dame-de-Stanbridge et Stanbridge Station, couvre une superficie de 12 km² et est essentiellement dédié à la production agricole (Figure 2-1A). Le bassin versant du ruisseau est situé aux confins de la plaine des basses-terres du Saint-Laurent. Le paysage légèrement ondulé présente un gradient longitudinal d'élévation favorisant le secteur Est du bassin (Figure 2-1B). Les sols de la série Sainte-Rosalie occupent les positions basses du relief tout en longeant le cours d'eau principal (Figure 2-1C). En position légèrement surélevée dans le relief, les séries de sol Bedford et Saint-Brigide présentent une topographie légèrement ondulée. Les sols Saint-Sébastien occupent les positions les plus élevées du relief (Michaud et *al.*, 2005). La Figure 2-2 offre un aperçu du cours d'eau lors de quelques-unes des visites réalisées au printemps, en été et à l'automne pour chaque année de suivi.

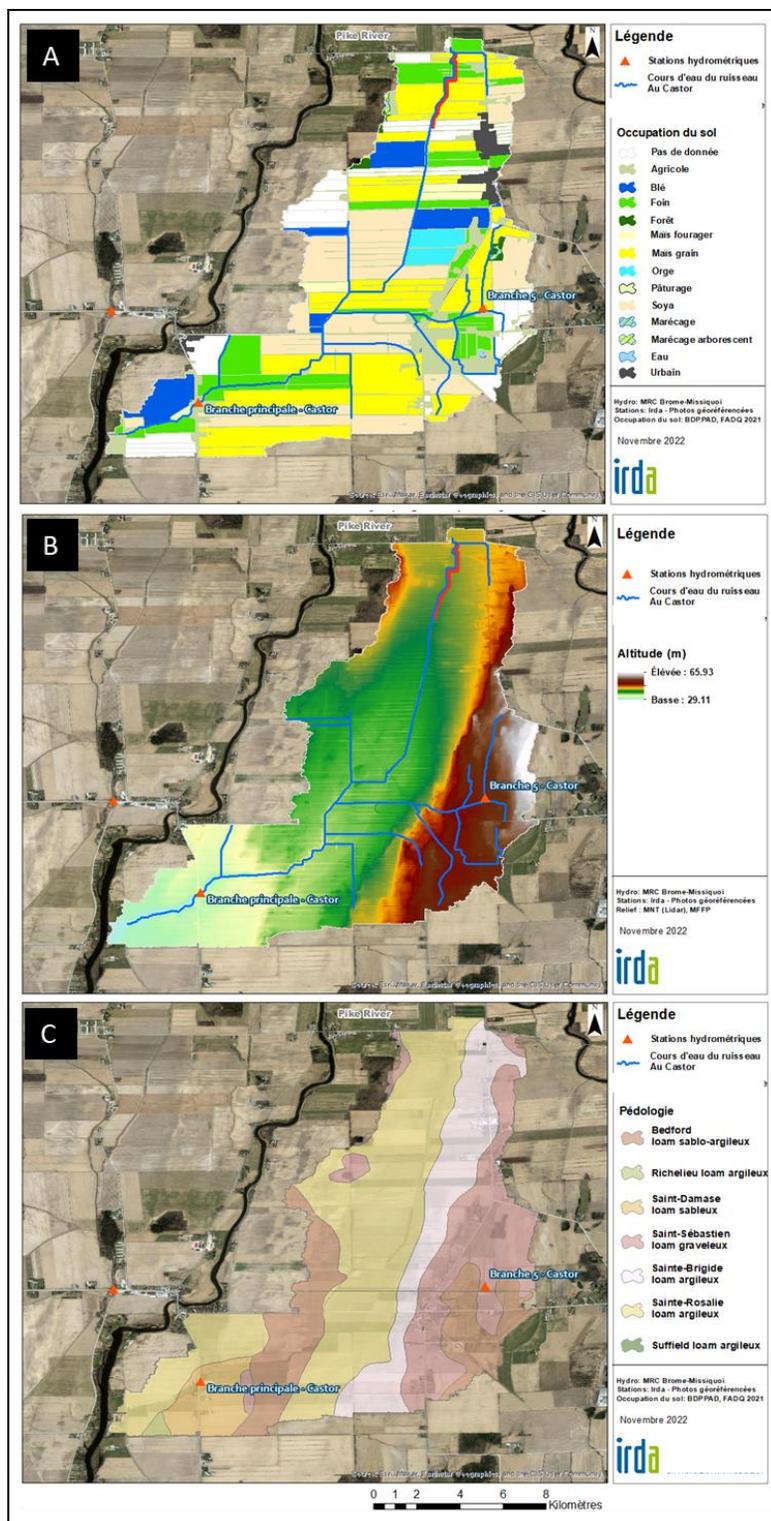


Figure 2-1 Caractéristiques biophysiques du bassin versant à l'étude : occupation du territoire (A), relief (B) et séries de sol (C).



Figure 2-2 Visites terrain pour les mesures de débit à la station 16_CAS en mars 2020 (A), août 2020 (B), octobre 2020 (C), mars 2021 (D), septembre 2021 (E), décembre 2021 (F), mars 2022 (G), juin 2022 (H) et décembre 2022 (I).

3 MÉTHODOLOGIE

Le dispositif d'étude du bassin versant s'appuie sur l'opération de la station hydrométrique 16_CAS qui collige en continu des observations de vitesse du courant et de hauteur d'eau, de même que la température, le signal de conductivité électrique et la turbidité. Le suivi hydrométrique est complété par des prélèvements d'échantillons d'eau, principalement lors des crues du cours d'eau, qui sont acheminés au Laboratoire d'analyse agroenvironnementale de l'IRDA pour en déterminer les composantes physico-chimiques. Le traitement des données de débit et du signal géochimique de l'eau, couplé à celui des résultats de dosages au laboratoire des échantillons prélevés ponctuellement dans les cours d'eau, permet de décrire en continu les débits et les flux de sédiments et de nutriments pour toute la durée du projet, du 14 novembre 2019 au 8 décembre 2022.

3.1 SUIVI HYDROMÉTRIQUE

Les dispositifs et protocoles mis en place à l'automne 2019 sont spécifiquement adaptés pour la mesure de hauteur d'eau et le calcul des débits, la station hydrométrique étant composée d'instruments localisés aux abords et dans le cours d'eau. La sonde acoustique ISCO (Figure 3-1A) installée au centre de la section d'écoulement collige en continue des observations sur la vitesse du courant et la hauteur de l'eau, de même que sa température. Cette sonde a un dispositif électronique d'enregistrement de données qui est alimenté par une source d'électricité provenant d'un panneau solaire installé sur la rive (Figure 3-1B). La sonde acoustique est jumelée avec une sonde barométrique de type HOBO (Figure 3-1C) qui permet de calculer la hauteur d'eau et de valider les mesures prises par la sonde acoustique. Ces informations sont complétées par des mesures ponctuelles de débit prises avec un débitmètre de type Flowtracker (Figure 3-1D), lors des visites régulières sur le terrain. Chaque jaugeage est effectué avec un minimum de 10 mesures réparties uniformément le long de la section d'écoulement du cours d'eau. Les mesures de débits instantanés obtenues par le moulinet hydrologique permettent d'établir la courbe de tarage hauteur-débit servant au calcul de débit en continu.

Les hauteurs d'eau exportées (mm/jour) sont également séparées selon leur cheminement de surface (ruissellement) ou souterrain (drainage artificiel et résurgence au ruisseau), en s'appuyant sur les mesures de conductivité électrique du suivi géochimique en continu et celles de débits du cours d'eau. Cette détermination est fondée sur le principe que l'eau qui s'est infiltrée dans le sol se charge de minéraux et présente une conductivité électrique plus élevée que l'eau qui a rejoint le ruisseau par les voies de surface (Annexe A). Le dépouillement des courbes conductivité-débit permet ainsi de détecter le déclenchement du ruissellement de surface puis d'en quantifier la contribution à l'écoulement global du ruisseau au pas de temps de 15 minutes suivant une approche de calcul du bilan de masse (Michaud et *al.*, 2009a).

3.2 SUIVI GÉOCHIMIQUE EN CONTINU

La station 16_CAS compte une sonde multiparamétrique YSI (Figure 3-1E) complètement immergée, protégée par un cylindre en acier perforé et déposée sur le lit du cours d'eau au centre de la section d'écoulement. La sonde mesure les signaux géochimiques en continu (pas de temps 15 minutes) dont la conductivité électrique, de même que la turbidité à l'aide d'un capteur optique. Le dispositif immergé de la sonde assure sa protection contre le gel et contre l'impact des glaces lors des redoux hivernaux et des crues printanières. Les mesures peuvent ainsi se poursuivre pendant la période hivernale sans manquer les redoux hivernaux ou l'épisode de fonte des neiges. La sonde fonctionne avec huit batteries AA qui lui donnent une autonomie d'environ trois mois, mais l'équipe terrain assure le plus possible l'entretien à une récurrence mensuelle.

Les données de conductivité en continu servent à différencier les types d'écoulement (surface vs souterrain) tel que décrit à la section 3.1. Les données de turbidité en continu permettent l'estimation des volumes de matières en suspension transportés dans le cours d'eau.



Figure 3-1 Installation de la sonde ISCO au centre du cours d'eau (A), système d'alimentation sur la rive (B), récolte de données d'une sonde HOBO (C), mesures au Flowtracker (D) et sonde YSI (E).

3.3 SUIVI GÉOCHIMIQUE PONCTUEL

À chaque visite d'entretien de la station hydrométrique par l'équipe de l'IRDA, un échantillon d'eau est prélevé et rapporté au laboratoire pour l'analyse de sa qualité. Un producteur local s'occupe de prendre des échantillons en période de crue à la demande de l'équipe IRDA. Pour bien décrire chaque évènement, une première campagne d'échantillonnage se fait en période de montée de la crue. La station hydrométrique Ewing du MELCCFP (030426) sert à observer la montée de l'hydrogramme et à déclencher l'échantillonnage. Deux autres campagnes se réalisent dans les 36 heures suivant ce même pic, séparées minimalement par quatre heures entre chacune. La balance des échantillonnages est répartie à travers chaque saison afin d'obtenir un portrait de la variabilité saisonnière de la qualité de l'eau.

Le dosage des échantillons d'eau au laboratoire est réalisé au Laboratoire d'analyse agroenvironnementale de l'IRDA pour les paramètres suivants : matières en suspension (MES), azote ammoniacal (N-NH₄), nitrates (N-NO₃), calcium (Ca), potassium (K), magnésium (Mg), sodium (Na), spéciation des formes de phosphore et conductivité électrique. De fait, en plus de la détermination en phosphore total, les échantillons d'eau ont été dosés pour leurs composantes en phosphore biodisponible, totales dissoutes et totales réactives solubles, principalement sous forme d'ortho-phosphate. Cette spéciation des formes de phosphore permet de mettre en évidence la variabilité des formes de P et la biodisponibilité potentielle, cette caractérisation étant particulièrement pertinente lorsqu'il est question d'évaluer le risque d'eutrophisation d'un plan d'eau.

Les échantillons d'eau sont conservés à une température inférieure à 4 °C jusqu'à ce qu'ils soient analysés en laboratoire. Les matières en suspension (MES) sont déterminées par filtration à 0,45 µm (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2012). Les différentes formes d'azote ammonium (NH₄) et nitrates (NO₃) sont dosées par colorimétrie (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 2017a). Le phosphore réactif (P ortho) est dosé par colorimétrie selon la méthode du Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017b). La concentration de phosphore total (P total) est mesurée selon une méthode digestion au persulfate (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 2005). Le phosphore biodisponible (P bio) est déterminé par extraction avec NaOH + EDTA et une analyse colorimétrique selon la méthode de Sharpley et *al.* (1991) et Robinson et *al.* (1994). Le dosage des autres éléments en solution (P dissous, K, Ca, Mg, Na) est réalisé selon un protocole de spectrométrie (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 2017c et EPA-821-R-01-010, 2001). La conductivité électrique est mesurée directement avec une sonde de conductivité plongée dans l'échantillon (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 2017d).

La concentration en nutriments mesurée de façon ponctuelle sert à l'estimation des flux de nutriments. Les flux, définis comme le résultat du produit instantané du débit et de sa concentration, sont estimés à l'aide de modèles statistiques de régressions linéaires exprimant l'évolution de la concentration d'un élément donné en fonction du débit du ruisseau. La relation développée est ensuite mise à profit dans les calculs d'interpolation des flux pour les jours où aucune valeur observée n'est disponible.

4 RÉSULTATS

Les données brutes recueillies sur le terrain permettent de produire plusieurs types de résultats utiles à l'interprétation de l'hydrologie du bassin versant, incluant :

- L'intensité des débits et leur évolution au cours de l'année (débits instantanés et journaliers);
- La séparation des écoulements en ses composantes de surface et de souterrain;
- Les charges de matières en suspension et d'éléments fertilisants exportés.

Cette section présente les résultats du suivi hydrologique pour la période du 14 novembre 2019 au 8 décembre 2022 (1121 jours). La courbe de tarage et les débits stratifiés des ruisseaux sont d'abord présentés, suivi des flux respectifs de sédiments et de nutriments.

4.1 COURBE DE TARAGE ET DÉBITS

Au cours de la période d'étude, 30 campagnes de mesures de débit ont été effectuées sur le cours d'eau, en visant principalement des épisodes hydrologiques de forte intensité. Les débits instantanés (pas de temps 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 des 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 la station (Figure 4-1). Aucun refoulement à la station n'a été observé au cours de la période d'étude.

La Figure 4-2 illustre les précipitations totales¹ et les débits journaliers observés à la station 16_CAS pour la période d'étude de trois ans. Dans l'ensemble, les hauteurs totales d'eau rapportées sur une base annuelle se situent à 464 mm. Sans surprise, les débits spécifiques les plus élevés observés à la station sont associés à la période printanière hâtive (mars), alors que la fonte du couvert de neige et les précipitations sur les sols saturés en eau favorisent l'émission de ruissellement. En février 2022, des épisodes de redoux hivernaux ont également contribué à d'importants volumes d'eau exportés.

La Figure 4-3 illustre la séparation des écoulements de base et des écoulements rapides. Cette séparation est dérivée de l'analyse du signal de conductivité électrique qui traduit un fort contraste entre l'écoulement souterrain (fortement chargé en électrolytes dû à un contact prolongé avec la matrice de sol) et le ruissellement de surface (relativement moins chargé en électrolytes). Pour la durée totale du suivi, une hauteur totale d'eau de 1426 mm/jour a été estimée, avec une portion de l'écoulement rapide correspondant à 35 % des écoulements totaux.

¹ Les précipitations ont été compilées selon deux méthodes : générées à partir de 55 stations selon des approches random forest et kriging (Ricard et *al.*, 2022) et extraites des séries d'Environnement et Changement climatique Canada pour la station Frelighsburg (7022579).

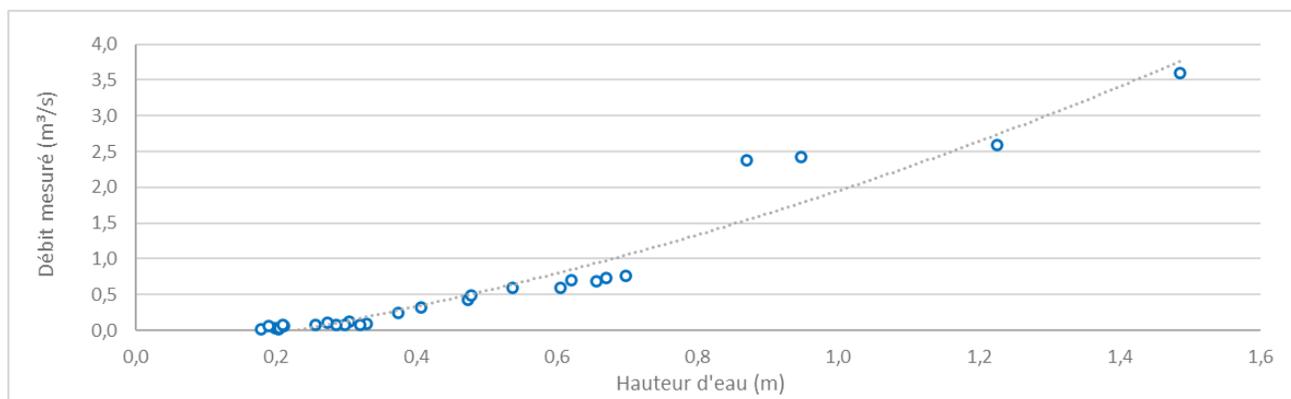


Figure 4-1 Courbe de tarage à la station 16_CAS.

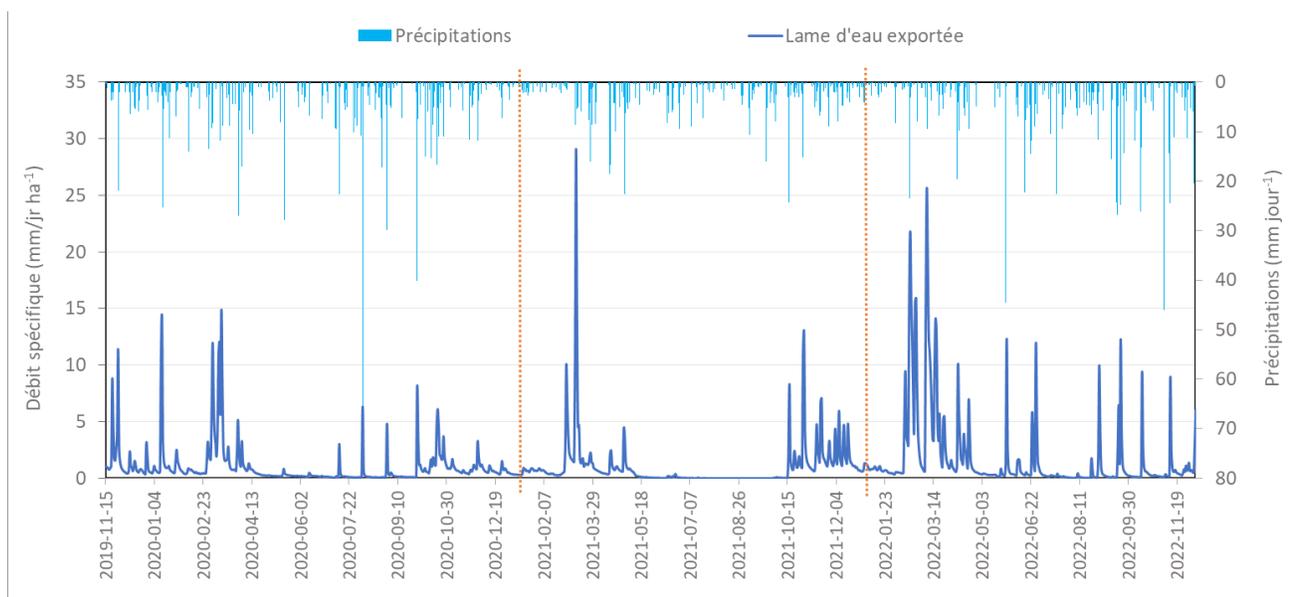


Figure 4-2 Séries chronologiques des débits spécifiques et des précipitations journalières (ECCC) observés à la station de 2019 à 2022.

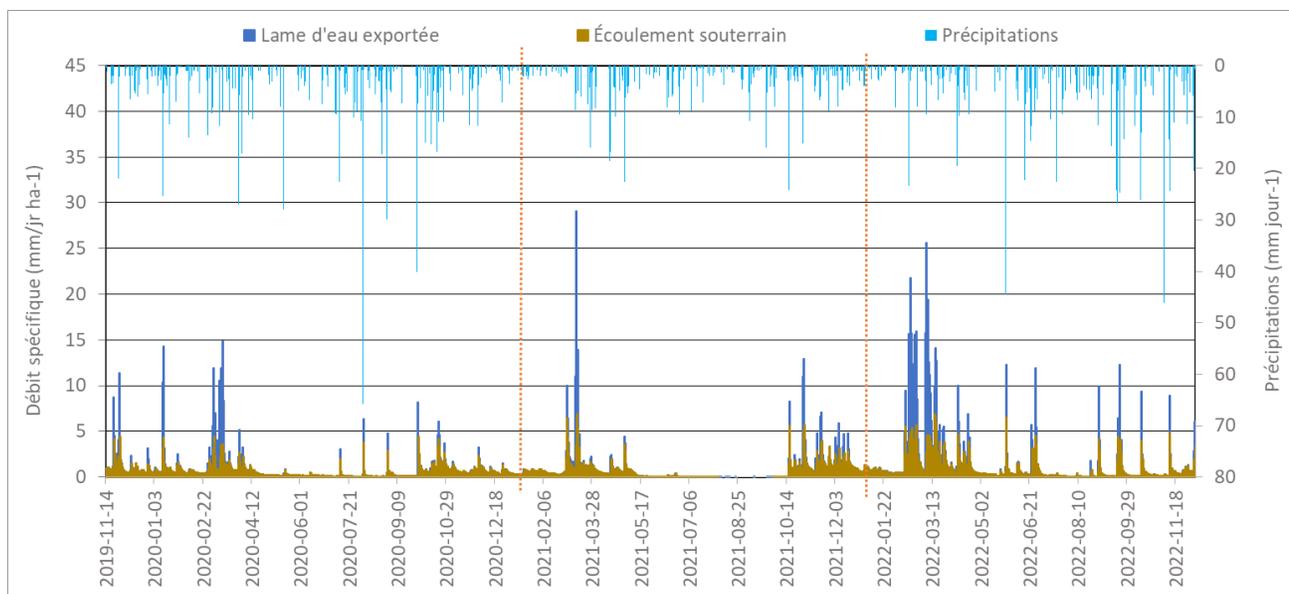


Figure 4-3 Séparation des écoulements de surface et souterrain pour le cours d'eau.

Au global, les résultats démontrent un important gradient saisonnier. La période du printemps hâtif est dominée par des écoulements rapides, présumément associés à des cheminements de surface ou des écoulements préférentiels rapides vers les drains souterrains. Les périodes estivales et automnales sont davantage caractérisées par des écoulements souterrains plus lents. L'année 2021 a été marquée par une absence de précipitations pendant la période estivale, condition qui a influencé l'état du cours d'eau, alors que ce dernier est demeuré à sec du mois d'août à la mi-octobre.

4.2 SIGNAUX GÉOCHIMIQUES

Pour la durée du projet, un total de 122 échantillons a été dosé pour l'analyse physico-chimique. La Figure 4-4 illustre la distribution des campagnes d'échantillonnage et des débits journaliers du cours d'eau. Dans l'ensemble, les campagnes d'échantillonnage réalisées illustrent une très bonne couverture des crues du ruisseau, à l'origine de la majeure partie des charges de sédiments et de nutriments circulant dans le cours d'eau.

La Figure 4-5 illustre quant à elle la distribution des observations instantanées de concentration en MES, calcium, phosphore total et nitrates. Malgré une grande dispersion des valeurs de concentrations observées dans les échantillons prélevés, pour les différents paramètres de qualité de l'eau, l'ajustement des modèles de calcul des flux est estimé satisfaisant.

Les tableaux 4-1 et 4-2 présentent la sommation des flux (charges) de sédiments et de nutriments à la station 16_CAS pour chaque paramètre de la qualité de l'eau étudié.

Les résultats sont commentés ci-après pour chacun des paramètres suivants : sédiments, calcium, phosphore et nitrates. À tout moment, le lecteur peut comparer les résultats avec ceux d'études similaires (Michaud et *al.*, 2009b; Michaud et *al.*, 2012; Biron et *al.*, 2020; Michaud et *al.*, 2020 et Ricard et *al.*, 2022).

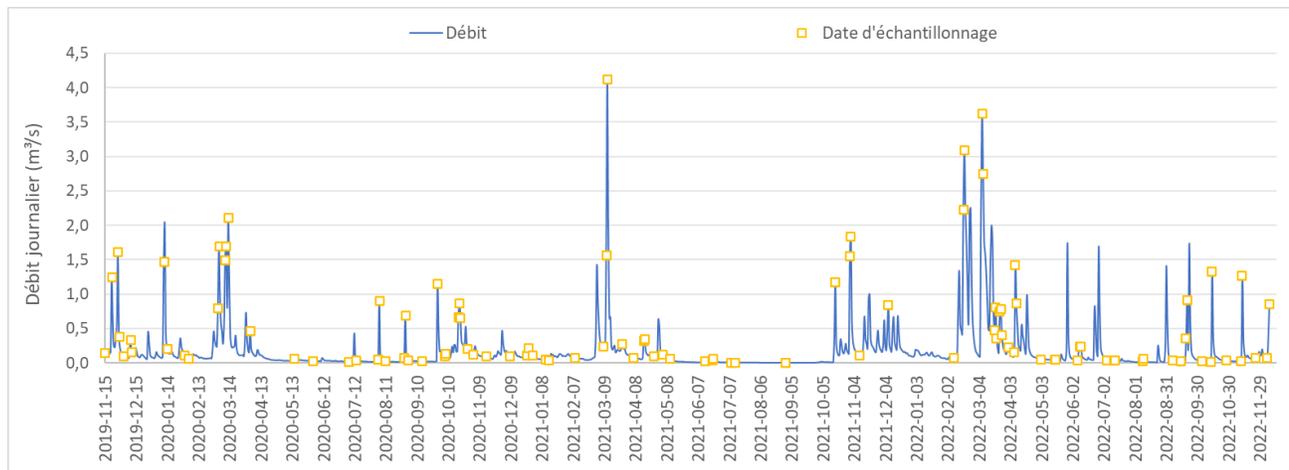


Figure 4-4 Distribution dans le temps des débits journaliers au moment des échantillonnages.

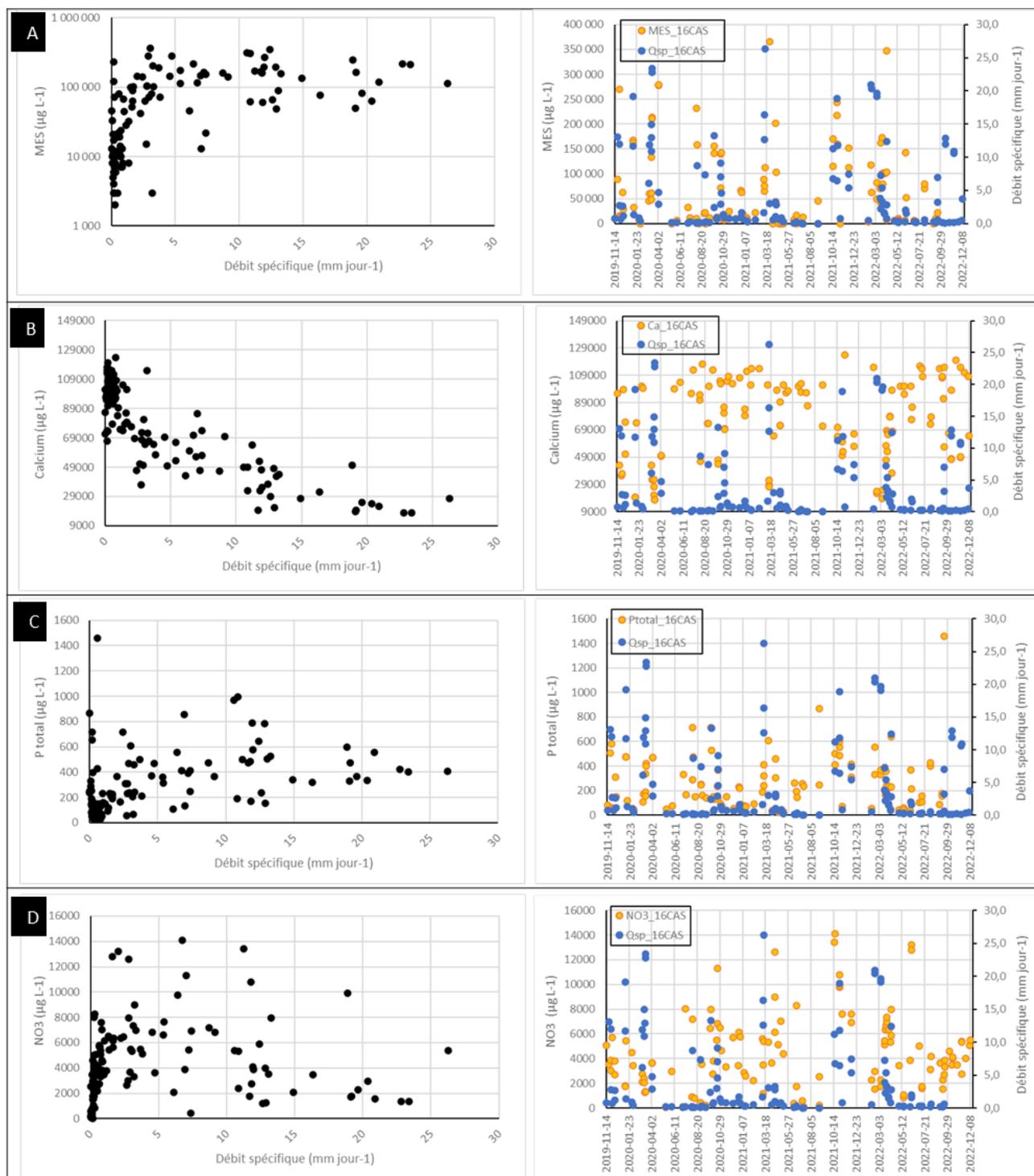


Figure 4-5 Distribution des concentrations observées en matières en suspension (A), calcium (B), phosphore total (C) et nitrates (D) en fonction du débit spécifique et de la date d'échantillonnage à la station.

Tableau 4-1 Concentrations (conc.) moyennes pondérées pour le débit et charges annuelles spécifiques (365 jrs, base ha) de calcium, de matières en suspension, d'azote et de phosphore estimées à la station.

	Conc.	Charge	CV
	ug/L	kg/ha-an	-
Ca	65 917	307	0,024
MES	74 697	348	0,296
P Total	313	1,46	0,065
P biodisponible	223	1,04	0,063
P dissous	142	0,66	0,077
P ortho	129	0,60	0,086
NO3	5832	27,1	0,074
NH4	498	2,32	0,266
P particulaire	171	0,79	
P particulaire biodisponible	80,3	0,37	
P particulaire non biodisponible	90,2	0,42	
P organique dissous	13,4	0,06	

Tableau 4-2 Spéciation des formes de phosphore estimée pour les charges du bassin étudié.

	Ratio
P particulaire / P total	0,55
P dissous / P total	0,45
P biodisponible / P total	0,71
P réactif soluble/ P total	0,41
P particulaire biodisponible/ P particulaire	0,47
Richesse P sédiments (ug/g)	4 189

4.2.1 Sédiments

La turbidité de l'eau et sa concentration instantanée en matières en suspension sont fortement influencées par le débit du cours d'eau. Alors que le débit du cours d'eau s'accroît au-delà du débit limite, la concentration en MES augmente de façon exponentielle (Figure 4-5A). Cette forte augmentation traduit la force érosive du ruissellement de surface à l'œuvre dans le bassin versant et la capacité de transport des sédiments élevée du cours d'eau. Les charges annuelles de sédiments observées à la station sont de 348 kg MES/ha-an. La Figure 4-6 illustre la distribution dans le temps des flux de sédiments estimés sur la base des données de turbidité colligées en continu au pas de temps de 15 minutes par la sonde YSI.

Dans l'ensemble, les épisodes de précipitations liquide de mars contribuent à un peu plus d'un quart des exportations annuelles de sédiments. Autrement, ce sont les mois d'avril, d'octobre et de novembre pour lesquels

12, 11 et 14 % respectivement des charges totales pour la durée du suivi hydrométrique sont exportées. La période estivale ne contribue que de façon marginale au bilan des exportations.

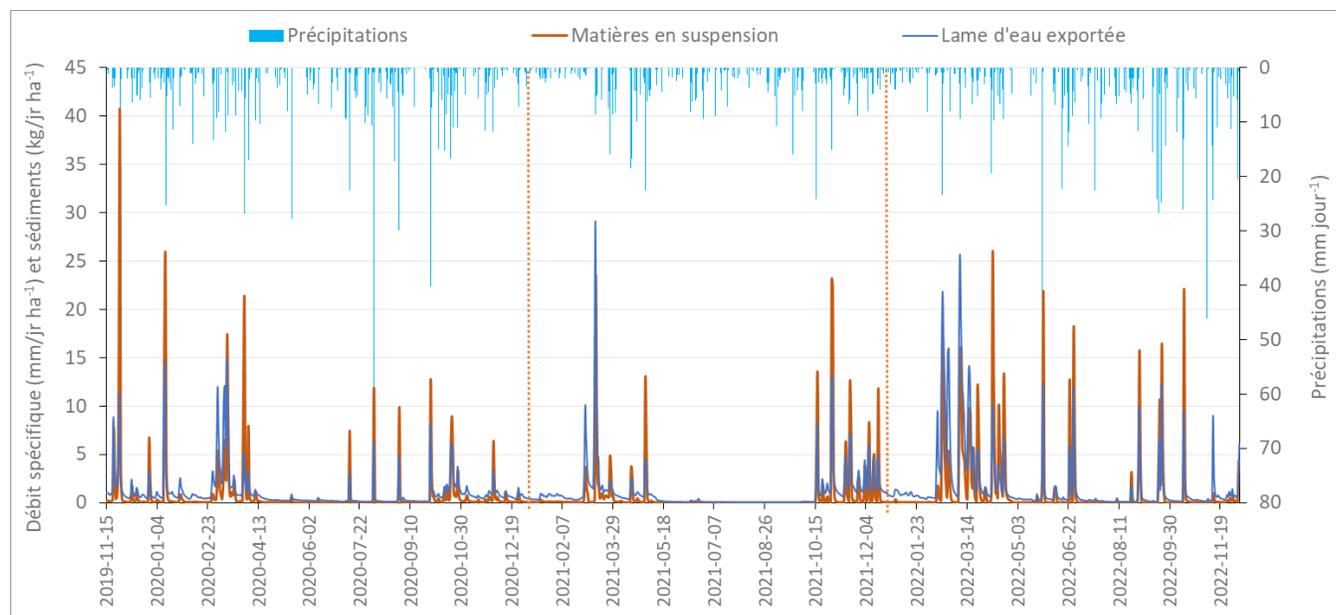


Figure 4-6 Séries chronologiques des débits spécifiques, des précipitations journalières et des flux de sédiments observés à la station de 2019 à 2022.

4.2.2 Nutriments

Calcium

La distribution des concentrations en calcium à la station est, comme les MES, fortement influencée par le débit (Figure 4-5B). Les observations y sont bien structurées en fonction du débit. Le patron du calcium est similaire à celui du signal de conductivité électrique observé en continu, confirmant la forte corrélation entre les deux paramètres. La concentration en calcium de l'eau du ruisseau est à son maximum en condition d'étiage, alors que l'aquifère peu profond resurgit au cours d'eau. Les minéraux entraînés depuis les horizons superficiels du sol vers le cours d'eau enrichissent de façon significative le faible débit d'eau. Les observations des plus basses concentrations en calcium témoignent à l'inverse d'un phénomène de dilution résultant de l'apport de ruissellement de surface.

Phosphore

Le flux spécifique annuel de phosphore total est estimé à 1,46 kg P/ha-an (Tableau 4-1). Le protocole de dosage des différentes formes de phosphore appliqué dans le cadre de la présente étude a permis d'observer que le P

étudié à la station 16_CAS présente des proportions plus importantes (41 %) de phosphore réactif dissous (Figures 4-7 et 4-8). Près de 45 % du P exporté à l'exutoire du bassin est sous forme soluble (cumul des composantes réactive et organique). Cette proportion relativement élevée de phosphore dissous fait en sorte que l'indice de biodisponibilité du phosphore exporté s'élève à 71 % du P total exporté (Tableau 4-2). Cet indice a une implication environnementale importante, puisqu'il traduit la part de la charge totale de phosphore qui est susceptible d'être assimilée par les plantes et les microorganismes du plan d'eau, et alors d'accélérer le processus d'eutrophisation.

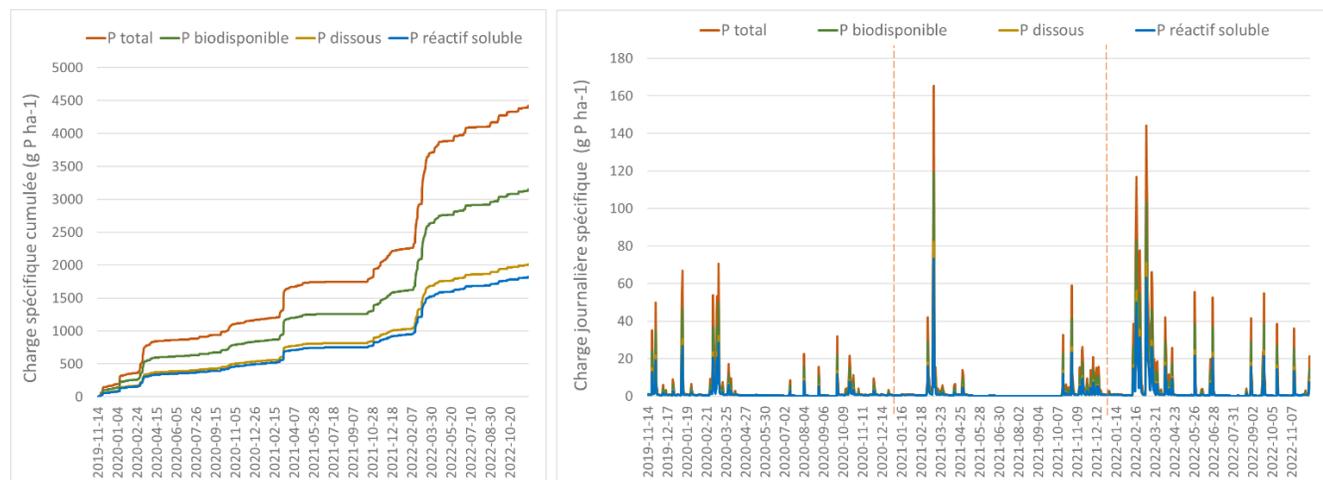


Figure 4-7 Distribution des charges cumulées et des flux de phosphore à la station.

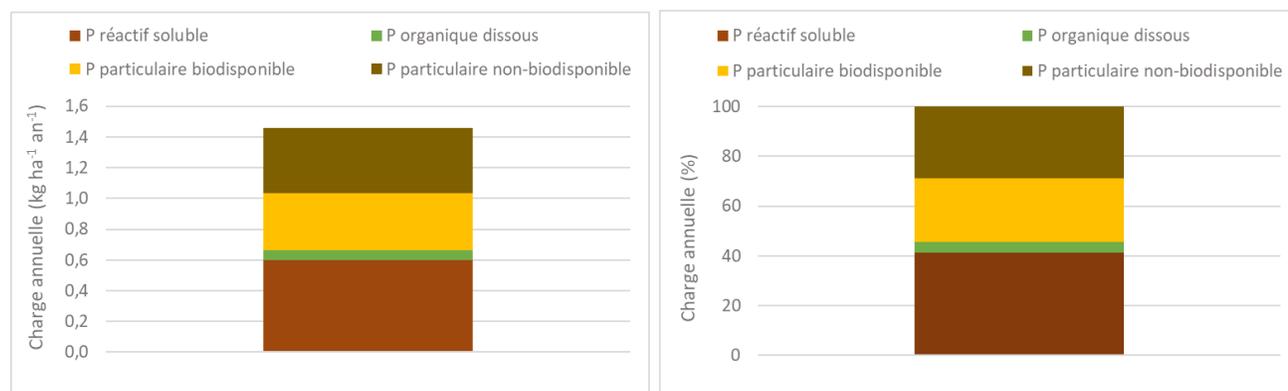


Figure 4-8 Charges et spéciation des formes de phosphore observées à la station 16_CAS.

En considérant les résultats des flux de sédiments et ceux des formes de P exporté, la richesse des sédiments en P et la biodisponibilité du phosphore contenu dans ces sédiments peuvent être exprimées. Dans le cas présent, la richesse moyenne en phosphore des sédiments est estimée à 4189 $\mu\text{g/g}$ alors que l'indice de biodisponibilité du P particulaire (ratio P particulaire biodisponible/P total) est estimé à 47 %.

L'enrichissement de l'eau de surface en fractions dissoutes et réactives du phosphore traduit généralement des apports de P relativement plus élevés par unité de surface avec l'enrichissement des sols en P qui en découle ou par des apports d'engrais de ferme non incorporés. La relation entre les apports et la richesse de sol en P a été bien établie pour les sols du Québec par Giroux et ses collaborateurs (2008) et est à la base des principes de fertilisation intégrée des cultures.

Nitrates

Les charges annuelles spécifiques de nitrates sont estimées à 27,1 kg N/ha (Tableau 4-1), une valeur élevée mais dont l'ordre de grandeur a été observée dans d'autres bassins à grande vocation agricole (Biron et *al.*, 2020).

La distribution saisonnière des concentrations en nitrates témoigne, en plus des pics de concentrations à la fonte printanière (mars), de taux relativement élevés en périodes automnales tardives et hivernales (Figure 4-9). Typiquement en milieu naturel, les concentrations en nitrates diminuent en période hivernale, reflétant un ralentissement dans les processus de nitrification dans les sols et l'eau de surface. Des concentrations soutenues de nitrates en période hivernale dans le bassin suggère un stock d'azote disponible en fin de saison de croissance des cultures.

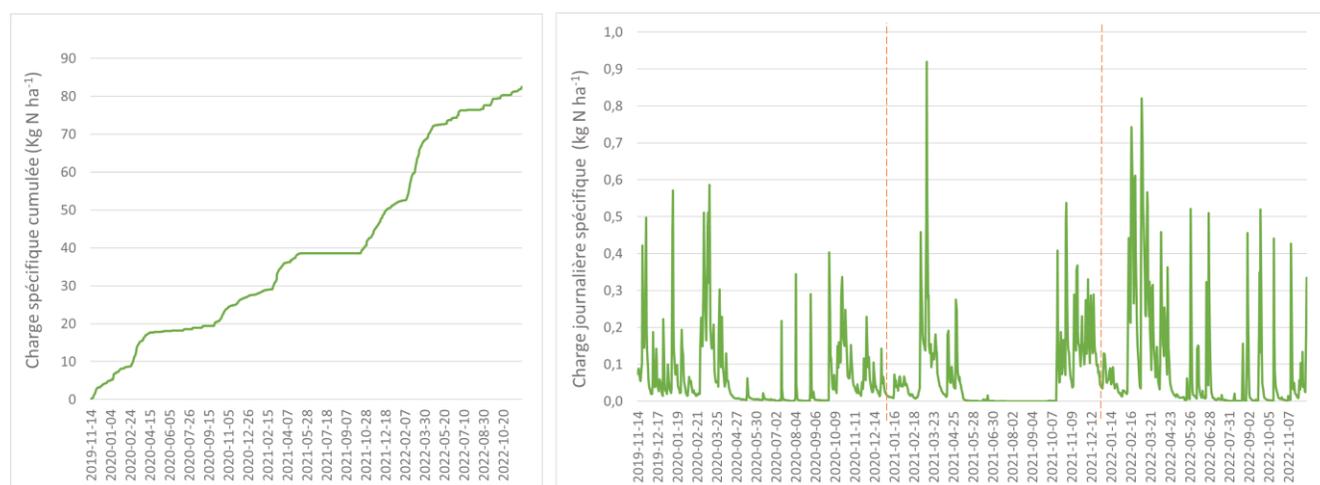


Figure 4-9 Distribution des charges cumulées et des flux de nitrates à la station.

5 ACCÈS À LA DONNÉE

Pour les utilisateurs désirant accéder aux données récoltées ou pour toutes autres informations liées au projet, il est possible de contacter directement Simon Ricard, chercheur en hydrologie à l'IRDA, à l'adresse suivante simon.ricard@irda.qc.ca.

Les données disponibles incluent :

- Débits instantanés aux pas de temps 15 minutes (m^3/s ou mm/jr);

- Débits journaliers (m^3/s ou mm/jr);

- Charges journalières de matières en suspension (kg/jr);

- Points de la courbe de tarage;

- Analyses physico-chimiques sur les échantillons d'eau (MES, NH_4 , NO_3 , P réactif, P total, P biodisponible, P dissous et autres éléments K, Ca, Mg et Na).

6 CONCLUSION

Le suivi hydrométrique à la station 16_CAS a permis de caractériser les réponses hydrologiques du bassin du ruisseau Castor, de novembre 2019 à décembre 2022. Les charges de sédiments et de nutriments ont été estimées de façon satisfaisante, respectant les critères ciblés d'ajustement des modèles statistiques. La qualité dans l'ajustement du modèle, sur une période de suivi de trois ans, est redevable en grande partie à l'assiduité dans l'échantillonnage et dans les mesures de débit lors des crues du ruisseau. Les charges spécifiques de sédiments et de nutriments estimées pour le bassin demeurent relativement élevées, mais peuvent se comparer aux résultats observés dans d'autres études en sous-bassins agricoles.

7 RÉFÉRENCES

Biron, P., A. Michaud, W. Massey, N. Stämpfli, M. Niang, R. Lagacé et G. Martinelli. 2020. Projet EPERLAB : Ensemble pour l'étude et la restauration de la rivière Boyer. Rapport présenté au programme Odyssée Saint-Laurent du Réseau Québec Maritime. Université Concordia, 150 pages.
https://irda.blob.core.windows.net/media/5744/michaud-et-al-2020-projet_eperlab-ensemble_pour_letude_et_la_restoration_de_la_riviere_boyer.pdf

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2012. Détermination des solides en suspension totaux : méthode gravimétrique, MA. 104 – S.S. 2.0.

EPA-821-R-01-010. 2001., Method 200.7, Trace Element in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, Revision 5.0. U.S Environmental Protection Agency, Office of Science and Technology, Washington, D.C. 20460.

Giroux, M., M. Duchemin, A. R. Michaud, I. Beaudin, C. Landry et M.R. Laverdière. 2008. Relation entre les concentrations en phosphore particulaire et dissous dans les eaux de ruissellement et les teneurs en P total et assimilable des sols pour différentes cultures. Agrosolutions 19(1) : p 4-14.

Michaud, A.R., R. Lauzier et M.R. Laverdière. 2005. Mobilité du phosphore et intervention agroenvironnementale en bassin versant agricole : Étude de cas du Ruisseau aux Castors, tributaire de la Rivière Aux Brochets, Québec. Agrosol, 16(1): 47-59.

Michaud, A.R., J. Deslandes, J. Desjardins et M. Grenier. 2009a. Réseau d'actions concertées en bassins versants agricoles. Rapport final de projet. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), MAPAQ, Club du bassin La Guerre, Dura-Club, Club de fertilisation de la Beauce, Fonds d'action québécois pour le développement durable, Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec et Programme d'aide technique de Couverture végétale du Canada. Québec, Québec, 155 p.

Michaud, A.R., J. Desjardins, M. Grenier et R. Lauzier. 2009b. Suivi de la qualité de l'eau des bassins versants expérimentaux Ewing et Castor – Dans le cadre du projet Lisière verte. Rapport final de projet. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Coopérative de solidarité du bassin versant de la rivière aux Brochets, AAC (PASCAA) et MAPAQ, Québec, Québec, 27 p.
https://irda.blob.core.windows.net/media/2337/michaud-et-al-2009_rapport_suivi_lisiere_verte_ewing_castors.pdf

Michaud, A.R., J. Desjardins, N. Côté, I. Beaudin, A. Drouin, S. Seydoux et I. Saint-Laurent. 2012. Rapport de l'Observatoire de la qualité de l'eau de surface en bassins versants agricoles. Rapport sommaire pour la période de référence 2009-2011. Rapport réalisé dans le cadre du projet Observatoire de la qualité de l'eau de surface en bassins versants agricoles. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA),

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Québec, Canada. 87 p. et annexes.

Michaud, A.R., M.A. Niang, A. Blais-Gagnon, W. Huertas, C. Gombault, G. Labrie et M. Landry. 2020. Suivi hydrométrique et modélisation hydrologique des sédiments et des nutriments des bassins versants de la MRC de La Haute-Yamaska. Rapport final. IRDA et OBV Yamaska. 85 pages plus Annexes. <https://irda.blob.core.windows.net/media/6057/michaud-et-al-2021-hydrometrie-sediments-yamaska.pdf>

Ricard, S., A. Blais-Gagnon, W. Huertas, A. Michaud et M. Wu. 2022. CARACTÉRISATION HYDROMÉTRIQUE DES BRANCHES 5 DU RUISSEAU AU CASTOR ET 46 DU RUISSEAU MORPIONS. Rapport final. IRDA et partenaires. 17 pages. https://irda.blob.core.windows.net/media/7223/irda_rapport_castorsmorpions_2022.pdf

Robinson, J.S. Sharpley A.N. and Smith S.J. 1994. Agricultural Ecosystem and environment 47. Development of a method to determine bioavailable phosphorus loss in agricultural runoff p. 287-297.

Sharpley, Andrew, N., W., Troeger and S.J. Smith. 1991. The measurement of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. Published in J' Environ. Quality 20. p. 235-238.

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005. No: 4500-P B Sample Preparation, 5. Persulfate Digestion Method, p.4-150-151.

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition 2017a. No. 4500-NH3 G: Automated Phenate Method; et No. 4500-NO3 F: Automated Cadmium Reduction Method.

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition 2017b. Méthode 4500-P F: Phosphorus Automated Ascorbic Acid Reduction Method.

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017c. No. 3030 A: Preliminary Treatment of Samples; No. 3030 B: Filtration for Dissolved and Suspended Metals; No. 3120: Metals by Plasma Emission Spectroscopy.

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017d. Méthode 2510: Conductivity.

ANNEXE A. SÉPARATION DE L'HYDROGRAMME

La proportion de l'eau d'origine souterraine par rapport à l'écoulement total est exprimée sur la base des ratios observés dans les conductivités électriques de l'eau suivant l'équation suivante :

$$QB_i = \frac{Q_i(C_i - C_{\min})}{CB_i - C_{\min}}$$

où:

QB_i = Hauteur d'eau associée à un écoulement souterrain au temps « i » (mm jour-1);

Q_i = Hauteur d'eau journalière totale au temps « i » (mm jour-1);

C_i = Conductivité au temps « i » ($\mu\text{S}/\text{cm}$);

C_{\min} = Conductivité de référence du ruissellement de surface ($\mu\text{S}/\text{cm}$);

CB_i = Conductivité de l'écoulement de base au temps « i » ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La figure ci-bas présente, à titre d'exemple, les observations de l'événement du 31 août 2022. Les variations du débit, de la turbidité et de la conductivité électrique de l'eau sont exprimées en fonction du temps. Précédant la crue, en régime d'écoulement de base, le débit est à son plus bas et la conductivité à son niveau maximum. En réponse à la crue des eaux, la conductivité diminue rapidement avec l'apport croissant de ruissellement de surface, 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.

