

SITES 94.03.01, 2014.03.01 ET 93.02.02 – MÉTABETCHOUAN–LAC-À-LA-CROIX ET SAINT-GÉDÉON

SUIVI TECHNIQUE 2022

RIO TINTO
PROGRAMME DE STABILISATION DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN

FÉVRIER 2023



28 juin 2022
Niveau du LSJ = 101,29 m
(15,7 pieds)

Source : PSBLSJ (2022)



SITES 94.03.01, 2014.03.01 ET 93.02.02 – MÉTABETCHOUAN– LAC-À-LA-CROIX ET SAINT-GÉDÉON

SUIVI TECHNIQUE 2022

RIO TINTO
PROGRAMME DE STABILISATION DES BERGES
DU LAC SAINT-JEAN

VERSION FINALE

PROJET N° : 221-11558-00
DATE : FÉVRIER 2023

WSP CANADA INC.
1135, BOULEVARD LEBOURGNEUF
QUÉBEC (QUÉBEC) G2K 0M5

TÉLÉPHONE : +1 418-623-2254
TÉLÉCOPIEUR : +1 418-624-1857
WSP.COM

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR

Justin McKibbin, ing., M.Sc.
N° OIQ : 5000352

Le présent rapport a été préparé par WSP Canada Inc. (WSP) pour le compte de Rio Tinto conformément à l'entente de services professionnels. La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport incombe uniquement au destinataire prévu. Son contenu reflète le meilleur jugement de WSP à la lumière des informations disponibles au moment de la préparation du rapport. Toute utilisation que pourrait en faire une tierce partie ou toute référence ou toutes décisions en découlant sont l'entière responsabilité de ladite tierce partie. WSP n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages, s'il en était, que pourrait subir une tierce partie à la suite d'une décision ou d'un geste basé sur le présent rapport. Cet énoncé de limitation fait partie du présent rapport.

L'original du document technologique que nous vous transmettons a été authentifié et sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. Étant donné que le fichier transmis n'est plus sous le contrôle de WSP et que son intégrité n'est pas assurée, aucune garantie n'est donnée sur les modifications ultérieures qui peuvent y être apportées.

ÉMISSION/RÉVISION	PRÉPARÉ POUR	DATE
Préliminaire	Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean	20 février 2023
Finale	Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean	24 février 2023

ÉQUIPE DE RÉALISATION

RIO TINTO – PROGRAMME DE STABILISATION DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN

Chargée de projet Caroline Jolette, ing.

WSP CANADA INC. (WSP)

Chargé de projet Justin McKibbon, ing., M.Sc.A.

Ingénieure de projet Noémie Blouin, ing., M.Sc.

Dessin technique Jean-Marc Tremblay, tech.

Référence à citer :

WSP. 2023. *Sites 94.03.01, 2014.03.01 et 93.02.02 – Métabetchouan–Lac-à-la-Croix et Saint-Gédéon – Suivi technique 2022*. Rapport final de WSP Canada Inc. à Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. 99 p. et annexes.

SOMMAIRE

Le domaine étudié dans le cadre de ce suivi regroupe les sites 94.03.01, 2014.03.01 et 93.02.02, qui chevauchent les municipalités de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et de Saint-Gédéon, de part et d'autre de l'embouchure de la Belle-Rivière. Dans le cadre du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean (PSBLSJ), plusieurs interventions ont été réalisées depuis 1987 pour atténuer les problématiques d'érosion et d'accumulation observées dans le secteur. Les suivis techniques doivent permettre de valider si les objectifs de ces interventions sont atteints.

Les sections ci-après présentent un résumé des faits saillants observés en 2022, qui démontrent que les objectifs des interventions réalisées sont atteints ou en voie de l'être.

Site 94.03.01 (épis 5 à 7)

- Un rechargement de sable de 9 900 tonnes a été réalisé à l'hiver 2022 au Centre Plein Air Saint-Pierre, entre l'épi 5 et le nord-est des épis en géotubes (longueur 199 m);
- En 2022, la partie sud-ouest de la zone rechargée (entre l'épi 5 et l'épi en géotubes 2) a subi une érosion de -4 490 tonnes, ce qui correspond à 83 % de la quantité de matériaux qui y a été déposée (5 440 tonnes);
- La plage au sud-ouest de la zone de suivi (entre les épis 4 et 5) a également été fortement érodée par les conditions érosives et les niveaux d'eau élevés observés lors de la crue printanière du lac Saint-Jean;
 - Le haut de la plage s'est abaissé et le talus situé derrière a été érodé, provoquant une régression de la ligne de végétation et le déracinement de quelques arbres.
 - Un accès à l'eau (escaliers) a également été endommagé et les pieux supportant un patio ont été déchaussés.
- **Un rechargement est recommandé dans ce secteur lors de la prochaine programmation annuelle des travaux;**
 - **Le secteur situé entre les épis 5 et 6 devrait également être inclus dans la zone d'intervention.**
- La partie nord-est du secteur (entre l'épi en géotubes 2 et l'épi 7) a subi une accumulation de +4 310 tonnes;
 - Les sédiments proviendraient de la dérive des matériaux érodés dans la partie sud-ouest du secteur (quantités presque équivalentes).
- Les bilans cumulatifs indiquent que, depuis l'aménagement de l'épi 7, le taux d'érosion dans le secteur des épis en géotubes a diminué de 64 %.
 - La fréquence des rechargements a également diminué. Un intervalle de 6 ans a été observé entre les dernières interventions (automne 2015 à hiver 2016);
- Entre les épis 5 et 6, une réduction de 76 % a été observée suivant la mise en place des épis en géotubes. Cette valeur atteint maintenant 84 % depuis l'aménagement de l'épi 7.
- Les suivis démontrent que la problématique d'érosion peut être régie de façon efficace avec une fréquence de rechargements acceptable (5 à 7 ans).

- La zone d'influence de l'épi 7 semble toutefois avoir atteint son état d'équilibre (la progression des profils transversaux et de la ligne de rivage demeure marginale dans les années récentes). Il est donc improbable qu'elle s'étende davantage vers le sud-ouest et qu'une réduction supplémentaire des taux d'érosion soit observée dans le secteur des épis en géotubes.
- Une inspection des épis en géotubes réalisée à l'automne 2021 a permis d'identifier la présence de plusieurs déficiences sur les ouvrages. La réparation ou le remplacement des ouvrages à brève échéance était d'ailleurs recommandé.

Site 2014.03.01 (épis 7 à 9)

- En 2022, des accumulations ont été observées dans tous les sous-secteurs;
 - Les matériaux proviendraient du transit naturel de sédiments qui dérivent le long du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et qui se déposent dans la zone de plage sous l'effet des vagues.
- Les bilans cumulatifs indiquent que les épis 7 et 8 sont efficaces dans leur rôle de sécuriser la plage entre les structures et de repousser la zone d'érosion anticipée au nord-est de l'épi 8.
 - La position de la ligne de rivage bouge peu.
 - Le trait de côte ne tend pas vers un profil aussi concave que l'anticipait le profil théorique.
- La zone d'érosion au nord-est de l'épi 8 semble elle aussi avoir atteint un état d'équilibre;
 - La position de la ligne de rivage ne semble pas tendre vers un recul aussi prononcé que celui anticipé par le profil théorique.
- Au sud-ouest de l'épi 9, l'accumulation est moins prononcée que prévu, mais le trait de côte bouge peu d'année en année.
 - L'efficacité de la structure répond aux attentes.
- Au nord-est de l'épi 9, la migration et l'effacement des barres infralittorales se poursuivent, en raison de l'interruption de la dérive littorale;
 - L'érosion ne semble malgré tout pas constituer d'enjeu immédiat envers la pérennité de la structure, puisque le niveau du fond marin demeure plus élevé que le niveau plancher de l'ouvrage;
 - Les parties profondes du chenal d'écoulement de la Belle Rivière se maintiennent par ailleurs à environ 120 m de l'épi. Cette distance correspond néanmoins à une réduction de 43 m par rapport à celle observée en 2021.

Site 93.02.02 (Embouchure de la Belle Rivière et plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac)

Suivant une crue printanière supérieure à la moyenne dans la Belle Rivière (réurrence 15 ans), des changements morphologiques importants ont été constatés à son embouchure. Ceux-ci incluent :

- Nettoyage de la zone d'obstruction située au droit de la flèche de sable (secteur de Saint-Gédéon-sur-le-Lac);
 - Érosion de -9 200 tonnes de sédiments sur la flèche de sable;
 - Réduction de 18 % de la superficie de la flèche.

- Migration de 50 m du chenal d'écoulement vers Métabetchouan-Lac-à-la-Croix;
- Régression de 35 m de la ligne de rivage sur la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière;
 - L'extrémité de la formation demeure très étroite et il existe un risque élevé qu'elle s'efface ou qu'une brèche s'y forme lors des prochaines crues printanières;
 - L'effacement de l'extrémité ou la formation d'une brèche pourrait modifier le tracé du chenal de navigation dans la Belle Rivière et provoquer la formation de hauts fonds ailleurs le long du tracé existant;
 - Une poursuite de la migration du chenal d'écoulement de la Belle Rivière vers Métabetchouan-Lac-à-la-Croix risque également d'exacerber l'érosion de la langue de sable. Une perte supplémentaire de superficies végétalisées sur la crête du cordon littoral est donc anticipée.
- Migration du canal de sortie vers la digue submergée;
 - Le chenal longe maintenant l'extrémité de la structure sur une distance de 130 m;
 - Le fond du canal s'est incisé à une profondeur équivalente au niveau d'enfouissement des pierres de la digue. Bien que la digue ait été conçue en considérant cette dynamique et soit munie d'une berme anti-affouillement sur son pourtour, un abaissement supplémentaire du canal pourrait constituer un enjeu envers la stabilité des pierres. **Une inspection visuelle de l'ouvrage est donc recommandée lors de la prochaine crue printanière afin de surveiller l'apparition de déformations dans la matrice de pierres.**

Pendant les périodes estivale et automnale, les changements morphologiques à l'embouchure de la Belle Rivière ont été caractérisés par :

- Élongation et amincissement de la flèche de sable dans le secteur de Saint-Gédéon-sur-le-Lac;
 - Les accumulations totalisent +5 200 tonnes;
 - Cette quantité correspond à environ 42 % des apports observés en 2021 (+12 300 tonnes);
 - La superficie de la flèche en novembre 2022 était 34 % plus faible que celle observée en novembre 2021.
- Rétrécissement du chenal d'écoulement au droit de la flèche de sable;
 - Une obstruction complète aurait été observée sur une courte période en octobre. Les crues automnales de la Belle Rivière ont cependant réussi à nettoyer quelque peu le chenal d'écoulement;
 - Bien que l'ensablement soit beaucoup moins sévère qu'en novembre 2021, il demeure légèrement plus important qu'en novembre 2020;
 - **L'évolution des lieux sera fortement conditionnée par la crue printanière de la Belle Rivière en 2023, mais le risque que le chenal s'obstrue à nouveau persiste, advenant un effacement insuffisant de la flèche de sable du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.**
- Engraissement de l'extrémité de la langue de sable dans le secteur de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (+7 300 tonnes);

- Les matériaux proviennent de la dérive de sédiments érodés sur les portions centrale et sud-ouest de la flèche. Dans ces secteurs, la ligne de rivage a poursuivi sa régression d'environ 10 m;
- Accumulation de +4 600 tonnes de sédiments dans les zones profondes du canal de sortie de la Belle Rivière (secteur logeant la digue submergée);
- Migration des barres infralittorales situées à l'extrémité et au nord-est de l'épi 9;
 - Accumulation de +20 400 tonnes sur la rive gauche du canal de sortie de la Belle Rivière.

Au niveau de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac, l'année 2022 a été caractérisée par :

- Bilans sédimentaires positifs (accumulation) dans les parties centrale (+9,0 t/m) et nord-est (+7,6 t/m) de la plage;
- Augmentation de l'effacement de la plage devant le perré de support;
 - Une grande partie de l'ouvrage avait déjà été dénudée en 2021;
 - L'exposition croissante de l'aménagement provoque une diminution de la quantité de sédiments pouvant être mobilisés sur le haut de la plage, ce qui amplifie le déficit d'apports dans les secteurs adjacents. Sans l'ouvrage, par contre, une régression du haut de talus serait observée dans ce secteur;
 - Le perré de support ne semble pas avoir été conçu pour un contexte où l'effacement de la plage devant serait maintenu sur une longue période. Un risque élevé d'affouillement persiste au pied de l'ouvrage, ce qui pourrait déstabiliser les pierres et provoquer un affaissement du revêtement.
- Augmentation de 108 m de la longueur de plage affichant une largeur inférieure à 8 m;
 - La longueur totale du tronçon ayant une largeur de moins de 8 m s'élève à 176 m;
 - **Selon les critères déclencheurs inscrits au décret, le secteur se qualifie pour une intervention de rechargement lors de la prochaine programmation annuelle des travaux (largeur inférieure à 8 m sur plus de 100 m).**
 - **Dans le contexte d'ensablement de l'embouchure de la Belle Rivière observée depuis 2021, par contre, la mise en place d'un nouveau rechargement ne peut être envisagée sans l'ajout de structures supplémentaires (épis ou brise-lames) sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac pour retenir les matériaux et éviter qu'ils ne migrent vers l'embouchure de la rivière.**
- Érosion de -13,4 t/m dans la partie sud-ouest de la plage;
 - Les bilans sédimentaires bidimensionnels chiffrent la perte de sédiments à -5 500 tonnes. Cette quantité correspond approximativement aux accumulations cumulatives observées sur la flèche de sable à l'embouchure de la Belle Rivière (+5 200 tonnes).
- Accumulations nettes de 4 800 tonnes au pied de la plage et 28 700 tonnes plus au large, sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière;
 - Les matériaux proviennent des secteurs au large de la zone d'analyse.

L'évolution cumulative démontre que :

- Les travaux réalisés à l'hiver 2019 sont en voie d'atteindre leurs objectifs;

- Les bilans sédimentaires indiquent des accumulations de +114 000 tonnes sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement;
- Une réduction d'environ 60 % du taux d'érosion est observée sur la partie centrale de la plage;
- **La régression du haut de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac et la nécessité d'un nouveau rechargement ne signifie pas un échec des travaux de l'hiver 2019, qui visaient une réduction de la fréquence des interventions, plutôt qu'un arrêt complet.**
- Les suivis démontrent clairement que les sédiments érodés sur la plage constituent la principale source d'apports sur la flèche de sable et que cette formation est l'élément prépondérant qui influence l'obstruction du chenal d'écoulement de la Belle Rivière;
- Une obstruction partielle ou complète de l'embouchure pourrait :
 - Entraver ou interrompre la circulation nautique;
 - Provoquer un rehaussement des niveaux d'eau en amont de l'obstruction, en raison de l'accumulation des apports dans la rivière. En cas de débits forts ou de niveaux d'eau élevés, ce phénomène pourrait constituer un risque d'infiltration d'eau pour les propriétés riveraines et les installations nautiques en amont.

TABLE DES MATIÈRES

1	CONTEXTE.....	1
2	OBJECTIFS	11
3	ACTIVITÉS DE SUIVI	13
4	BILAN DES CONDITIONS ÉROSIVES	15
4.1	PÉRIODE D'EAU LIBRE	15
4.2	NIVEAU DU LAC SAINT-JEAN.....	15
4.3	CRUE PRINTANIÈRE DE LA BELLE RIVIÈRE	16
5	RÉSULTATS ET OBSERVATIONS.....	17
5.1	RELEVÉS PHOTOGRAPHIQUES ET OBSERVATIONS VISUELLES	18
5.1.1	SITE 94.03.01 – SECTEUR 3A : ENTRE LES ÉPIS 4 ET 5 (CH. 2+226 À 2+297).....	18
5.1.2	SITE 94.03.01 – SECTEUR 3B : ENTRE LES ÉPIS 5 ET 6 (CH. 2+172 À 2+226).....	18
5.1.3	SITE 94.03.01 – SECTEUR 4A : AU NORD-EST DE L'ÉPI 6 (CH. 2+014 À 2+172).....	18
5.1.4	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 7 (CH. 1+820 À 2+014).....	19
5.1.5	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 2 : ENTRE LES ÉPIS 7 ET 8 (CH. 1+726 À 1+820).....	19
5.1.6	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3A : AU NORD-EST DE L'ÉPI 8 (CH. 1+424 À 1+726).....	19
5.1.7	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3B : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 9 (CH. 0+800 À 1+424).....	19
5.1.8	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 4 : AU NORD-EST DE L'ÉPI 9 (CH. 0+568 À 0+800).....	19
5.1.9	SITE 93.02.02 – SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 2 (CH. 1+498 À 1+628).....	20
5.1.10	SITE 93.02.02 – SECTEUR 2 : DEVANT LE PERRÉ DE SUPPORT (CH. 1+628 À 1+871).....	20
5.1.11	SITE 93.02.02 – SECTEUR 3 : AU NORD-EST DE LA DIGUE SUBMERGÉE (CH. 1+871 À 2+275).....	20
5.1.12	SITE 93.02.02 – SECTEUR BR : EMBOUCHURE DE LA BELLE-RIVIÈRE (ENTRE LA DIGUE SUBMERGÉE ET L'ÉPI 9).....	21

5.2	CAMPAGNE DE RELEVÉS ET BILANS SÉDIMENTAIRES	21
5.2.1	SITE 94.03.01 – SECTEUR 3B : ENTRE LES ÉPIS 5 ET 6 (CH. 2+172 À 2+226)	61
5.2.2	SITE 94.03.01 – SECTEUR 4A : AU NORD-EST DE L'ÉPI 6 (CH. 2+014 À 2+172).....	61
5.2.3	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 7 (CH. 1+820 À 2+014).....	62
5.2.4	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 2 : ENTRE LES ÉPIS 7 ET 8 (CH. 1+726 À 1+820).....	63
5.2.5	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3A : AU NORD-EST DE L'ÉPI 8 (CH. 1+424 À 1+726).....	63
5.2.6	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3B : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 9 (CH. 0+800 À 1+424).....	64
5.2.7	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 4 : AU NORD-EST DE L'ÉPI 9 (CH. 0+568 À 0+800).....	64
5.2.8	SITE 93.02.02 – HAUT DE LA PLAGE, SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 2 (CH. 1+498 À 1+628)	65
5.2.9	SITE 93.02.02 – HAUT DE LA PLAGE, SECTEUR 2 : DEVANT LE PERRÉ DE SUPPORT (CH. 1+628 À 1+871)	65
5.2.10	SITE 93.02.02 – HAUT DE LA PLAGE, SECTEUR 3 : AU NORD-EST DE LA DIGUE SUBMERGÉE (CH. 1+871 À 2+275).....	66
5.2.11	SITE 93.02.02 – EMBOUCHURE DE LA BELLE RIVIÈRE ET PLAGE DE SAINT-GÉDÉON-SUR-LE-LAC .	67
5.2.12	ÉVOLUTION DE SECTEURS NÉVRALGIQUES DU CHENAL DE NAVIGATION À L'EMBOUCHURE DE LA BELLE RIVIÈRE	74
5.2.13	ÉVOLUTION DE LA LANGUE DE SABLE RELIANT L'ÉPI 9 ET L'EMBOUCHURE DE LA BELLE RIVIÈRE	81
5.3	CAMPAGNE DE RELEVÉS DE LA LIGNE DE RIVAGE.....	83
6	DISCUSSION	85
6.1	ÉVOLUTION ANNUELLE.....	85
6.1.1	SITE 94.03.01 (ÉPIS 5 À 7)	85
6.1.2	SITE 2014.03.01 (ÉPIS 7 À 9)	86
6.1.3	SITE 93.02.02.....	86
6.2	ÉVOLUTION CUMULATIVE	90
6.2.1	SITE 94.03.01 (ÉPIS 5 À 7)	90
6.2.2	SITE 2014.03.01 (ÉPIS 7 À 9)	91
6.2.3	SITE 93.02.02.....	93

7	CONCLUSION	95
7.1	SITE 94.03.01 (ÉPIS 5 À 7)	95
7.2	SITE 2014.03.01 (ÉPIS 7 À 9)	96
7.3	SITE 93.02.02	96
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	99

TABLEAUX

TABLEAU 5.1	SUBDIVISIONS DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	17
TABLEAU 5.2	LARGEURS D'INFLUENCE DES PROFILS TRANSVERSAUX – SITES 94.03.01/2014.03.01 (SECTEUR A03.07).....	23
TABLEAU 5.3	LARGEURS D'INFLUENCE DES PROFILS TRANSVERSAUX – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07).....	24
TABLEAU 5.4	BILANS SÉDIMENTAIRES ANNUELS – SITES 94.03.01/2014.03.01 (SECTEUR A03.07).....	57
TABLEAU 5.5	BILANS SÉDIMENTAIRES ANNUELS – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07).....	59
TABLEAU 5.6	ÉVOLUTION DES TAUX DE TRANSPORT SÉDIMENTAIRE MOYENS ANNUELS AU NORD-EST DE L'ÉPI 6.....	62
TABLEAU 5.7	ÉVOLUTION DES TAUX DE TRANSPORT SÉDIMENTAIRE MOYENS DANS LE SECTEUR 2, SITE 93.02.02.....	65
TABLEAU 5.8	ÉLÉMENTS NOTABLES DU BILAN SÉDIMENTAIRE AU SITE 93.02.02 POUR LA PÉRIODE NOVEMBRE 2021 À MAI 2022.....	67
TABLEAU 5.9	ÉLÉMENTS NOTABLES DU BILAN SÉDIMENTAIRE AU SITE 93.02.02 POUR LA PÉRIODE MAI 2022 À AOÛT 2022.....	68
TABLEAU 5.10	ÉLÉMENTS NOTABLES DU BILAN SÉDIMENTAIRE AU SITE 93.02.02 POUR LA PÉRIODE AOÛT 2022 À SEPTEMBRE 2022.....	69
TABLEAU 5.11	ÉLÉMENTS NOTABLES DU BILAN SÉDIMENTAIRE AU SITE 93.02.02 POUR LA PÉRIODE MAI 2022 À SEPTEMBRE 2022.....	70

TABLEAU 5.12	ÉLÉMENTS NOTABLES DU BILAN SÉDIMENTAIRE AU SITE 93.02.02 POUR LA PÉRIODE SEPTEMBRE 2022 À NOVEMBRE 2022.....	71
TABLEAU 5.13	ÉLÉMENTS NOTABLES DU BILAN SÉDIMENTAIRE AU SITE 93.02.02 POUR LA PÉRIODE NOVEMBRE 2021 À NOVEMBRE 2022.....	72
TABLEAU 5.14	ÉLÉMENTS NOTABLES DU BILAN SÉDIMENTAIRE AU SITE 93.02.02 POUR LA PÉRIODE MARS 2019 À NOVEMBRE 2021.....	73
TABLEAU 5.15	VARIATION DE LA SUPERFICIE DE LA FLÈCHE DE SABLE.	77
TABLEAU 5.16	CARACTÉRISTIQUES DU CHENAL D'ÉCOULEMENT DANS LE SECTEUR DE LA FLÈCHE DE SABLE.	77
TABLEAU 5.17	CARACTÉRISTIQUES DU CHENAL D'ÉCOULEMENT À LA SORTIE DE LA BELLE RIVIÈRE.	81
TABLEAU 5.18	RECU L ANNUEL MOYEN ET TOTAL DE LA LIGNE DE RIVAGE SUR LA LANGUE DE SABLE RELIANT L'ÉPI 9 ET L'EMBOUCHURE DE LA BELLE RIVIÈRE.	82

FIGURES

FIGURE 1.1	LOCALISATION DES TRAVAUX – SITES 94.03.01/2014.03.01 – SECTEUR A03.07	7
FIGURE 1.2	LOCALISATION DES TRAVAUX – SITE 93.02.02 – SECTEUR A02.07	9
FIGURE 3.1	ZONES DE COUVERTURE DES RELEVÉS TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMÉTRIQUES EFFECTUÉS EN 2022 AU SITE 93.02.02.....	14

FIGURE 4.1	ÉVOLUTION DU NIVEAU DU LAC SAINT-JEAN PENDANT LA PÉRIODE D'EAU LIBRE 2022.	15
FIGURE 4.2	ÉVOLUTION DU DÉBIT À L'EMBOUCHURE DE LA BELLE RIVIÈRE LORS DE LA CRUE PRINTANIÈRE 2022.	16
FIGURE 5.1	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE CUMULATIF OBSERVÉ – PÉRIODE 1994 2008 – SITES 91.03.02/94.03.01 (SECTEUR A03.07).....	25
FIGURE 5.2	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE CUMULATIF OBSERVÉ – PÉRIODE 2008-2022 – SITES 94.03.01/2014.03.01 (SECTEUR A03.07).....	27
FIGURE 5.3	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE ANNUEL OBSERVÉ – PÉRIODE 2008-2022 – SITES 94.03.01/2014.03.01 (SECTEUR A03.07).....	31
FIGURE 5.4	ÉVOLUTION DU CHENAL D'ÉCOULEMENT DE LA BELLE RIVIÈRE DANS LE SECTEUR DE LA FLÈCHE DE SABLE ENTRE NOVEMBRE 2020 ET NOVEMBRE 2022.....	75
FIGURE 5.5	ÉVOLUTION DE LA FLÈCHE DE SABLE (SECTEUR SAINT-GÉDÉON-SUR-LE-LAC) ET DE LA LIGNE DE RIVAGE (SECTEUR MÉTABETCHOUAN-LAC-À-LA-CROIX) À L'EMBOUCHURE DE LA BELLE RIVIÈRE, POUR LA PÉRIODE DE NOVEMBRE 2020 À NOVEMBRE 2022.....	76
FIGURE 5.6	COMPARAISON DES SECTIONS TRANSVERSALES DU CHENAL D'ÉCOULEMENT DANS LE SECTEUR DE LA FLÈCHE DE SABLE (PÉRIODE NOVEMBRE 2020 À NOVEMBRE 2022).	76

FIGURE 5.7	ÉVOLUTION DU CHENAL D'ÉCOULEMENT À LA SORTIE DE LA BELLE RIVIÈRE ENTRE NOVEMBRE 2020 ET NOVEMBRE 2022.	79
FIGURE 5.8	POSITION DU CHENAL D'ÉCOULEMENT À LA SORTIE DE LA BELLE RIVIÈRE ENTRE NOVEMBRE 2020 ET NOVEMBRE 2022.	80
FIGURE 5.9	COMPARAISON DES SECTIONS TRANSVERSALES DU CHENAL D'ÉCOULEMENT À LA SORTIE DE LA BELLE RIVIÈRE (PÉRIODE NOVEMBRE 2020 À NOVEMBRE 2022).	80
FIGURE 5.10	ÉVOLUTION HISTORIQUE ET PROJETÉE DE LA LIGNE DE RIVAGE SUR LA LANGUE DE SABLE RELIANT L'ÉPI 9 ET L'EMBOUCHURE DE LA BELLE RIVIÈRE.....	82
FIGURE 5.11	MIGRATION DU CHENAL D'ÉCOULEMENT DE LA BELLE RIVIÈRE ET RÉGRESSION DE LA LIGNE DE RIVAGE SUR LA LANGUE DE SABLE DE MÉTABETCHOUAN- LAC-À-LA-CROIX, ENTRE NOVEMBRE 2021 ET MAI 2022.	83

CARTES

CARTE 5.1	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE ANNUEL OBSERVÉ – PÉRIODE 2021-2022 – SITES 94.03.01 ET 2014.03.01 (ZONES 1, 2 ET 3A) – SECTEUR A03.07	35
CARTE 5.2	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE ANNUEL OBSERVÉ – PÉRIODE 2021-2022 – SITE 2014.03.01 (ZONES 3B ET 4) – SECTEUR A03.07	37

CARTE 5.3	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE CUMULATIF OBSERVÉ – PÉRIODES 2008-2022 (SITE 94.03.01) ET 2013- 2022 (SITE 2014.03.01) – SITES 94.03.01 ET 2014.03.01 (ZONES 1, 2 ET 3A) – SECTEUR A03.0739
CARTE 5.4	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE CUMULATIF OBSERVÉ – PÉRIODES 2008-2022 (SITE 94.03.01) ET 2013- 2022 (SITE 2014.03.01) – SITE 2014.03.01 (ZONES 3B ET 4) – SECTEUR A03.0741
CARTE 5.5	ÉVOLUTION BATHYMÉTRIQUE ET TOPOGRAPHIQUE OBSERVÉE ENTRE NOVEMBRE 2021 ET MAI 2022 – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07)43
CARTE 5.6	ÉVOLUTION BATHYMÉTRIQUE ET TOPOGRAPHIQUE OBSERVÉE ENTRE MAI 2022 ET AOÛT 2022 – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07).....45
CARTE 5.7	ÉVOLUTION BATHYMÉTRIQUE ET TOPOGRAPHIQUE OBSERVÉE ENTRE AOÛT 2022 ET SEPTEMBRE 2022 – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07)47
CARTE 5.8	ÉVOLUTION BATHYMÉTRIQUE ET TOPOGRAPHIQUE OBSERVÉE ENTRE MAI 2022 ET SEPTEMBRE 2022 – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07)49
CARTE 5.9	ÉVOLUTION BATHYMÉTRIQUE ET TOPOGRAPHIQUE OBSERVÉE ENTRE SEPTEMBRE 2022 ET NOVEMBRE 2022 – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07).....51
CARTE 5.10	ÉVOLUTION BATHYMÉTRIQUE ET TOPOGRAPHIQUE OBSERVÉE ENTRE NOVEMBRE 2021 ET NOVEMBRE 2022 – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07).....53

CARTE 5.11	ÉVOLUTION BATHYMÉTRIQUE OBSERVÉE ENTRE MARS 2019 ET NOVEMBRE 2022 – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07).....	55
------------	--	----

ANNEXES

A	RÉPERTOIRE PHOTOGRAPHIQUE	
B	PROFILS BATHYMÉTRIQUES	
C	PLANS	
D	SYNTHÈSE DES INTERVENTIONS ET OBSERVATIONS	
E	ARPENTAGE 2022 DE LA LIGNE DE RIVAGE 101,54 M (16,5 PIEDS)	

1 CONTEXTE

Les sites 94.03.01, 2014.03.01 et 93.02.02 délimitent un tronçon de plage d'environ 2 400 m chevauchant les municipalités de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et de Saint-Gédéon-sur-le-Lac, de part et d'autre de l'embouchure de la Belle-Rivière. Dans le cadre du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean (PSBLSJ), plusieurs interventions ont été réalisées depuis 1987 pour atténuer les problématiques d'érosion et d'accumulation observées dans le secteur, dont la mise en place de rechargements de sable et de gravillon, ainsi que la construction d'épis et de perrés. Les suivis techniques doivent permettre de valider si les objectifs de cette intervention sont atteints. Les suivis sont effectués aux sites 94.03.01, 2014.03.01 et 93.02.02 depuis 2008, 2014 et 2019, respectivement.

Un bref historique des travaux réalisés dans chaque secteur est présenté ci-après (Tableaux 1.1 et 1.2 et Figures 1.1 et 1.2). L'annexe D présente quant à elle un portrait plus détaillé des travaux, ainsi que les activités de suivi réalisées depuis 1986. Depuis la dernière période de suivi, un rechargement de sable a été réalisé au site 94.03.01.

Sites 94.03.01 et 2014.03.01 (Métabetchouan-Lac-à-la-Croix)

À l'hiver 1991, deux épis en enrochement ont été aménagés aux chaînages 2+717 et 2+442 afin d'adresser une problématique d'érosion de la plage au sud-ouest. Suivant cette intervention, cependant, la zone d'érosion s'est déplacée au nord-est des structures. Le champ d'épis a donc été prolongé en 1994 avec trois ouvrages en enrochement supplémentaires, aux chaînages 2+297, 2+226 et 2+172. Pour assurer une transition plus graduelle entre la zone de structures et le tronçon de plage non protégée, la longueur des épis a été réduite progressivement vers le nord-est.

Malgré cette transition, une zone d'érosion s'est tout de même développée au nord-est des nouvelles structures. Devant cet impact récurrent des épis, une technique de stabilisation plus douce, soit le rechargement de la plage, a alors été privilégiée dans les années subséquentes. Les interventions se sont toutefois succédé à une fréquence quasi annuelle, voire parfois semi-annuelle. Un perré de support de 53 m a par ailleurs été aménagé en 2004 au nord-est de l'épi 6 afin de protéger la berge contre l'érosion récurrente.

En 2008, trois épis en géotubes ont été mis en place aux chaînages 2+172, 2+119 et 2+066 pour tenter de ralentir la perte des matériaux de plage. Des ouvrages supplémentaires ont aussi été ajoutés en 2010 pour augmenter le volume de sédiments captés par les aménagements. L'utilisation de ce type de structures a été choisie comme technique de stabilisation au terme d'une consultation avec les riverains, qui souhaitaient trouver une solution alternative aux épis conventionnels en enrochement afin d'éviter les problématiques d'érosion typiquement observées en aval de ce genre de structures. Les épis en géotubes devaient donc permettre de réduire la fréquence des rechargements réalisés au nord-est de l'épi 5, tout en minimisant l'impact des ouvrages sur le tronçon de plage situé au nord-est.

Malheureusement, les structures n'ont pas réussi à démontrer la pleine efficacité escomptée. La plage attenante au nord-est a subi une augmentation de son taux d'érosion et l'envergure des interventions de rechargement requis dans le secteur n'a pas diminué de façon significative. En 2014, deux épis en enrochement supplémentaires ont été aménagés environ 250 m au nord-est (épis 7 et 8, site 2014.03.01), afin de réduire la perte de sédiments dans le secteur des épis en

géotubes et de repousser la zone d'érosion vers un endroit où la plage était plus large et où le trait de côte bénéficiait d'un espace de liberté accru. Un troisième épi (épi 9) a quant à lui été aménagé à l'extrémité du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix pour favoriser le développement d'un état d'équilibre du trait de côte au sud-ouest et éviter un recul excessif de la plage au nord-est de l'épi 8.

Depuis l'aménagement des nouvelles structures, une diminution de la fréquence des rechargements est constatée au site 94.03.01. Seules deux interventions y ont été réalisées, soit à l'automne 2015 et à l'hiver 2022. L'érosion du haut de la plage entre les épis en géotubes et au nord-est semble par ailleurs plus lente et progressive. Dans ce contexte, le perré de support aménagé à l'hiver 2004 été même retiré lors des travaux de l'hiver 2022, car l'aménagement gênait l'accès à la plage et créait du mécontentement chez les riverains lorsqu'il se trouvait exposé entre les interventions de rechargement. Les suivis démontrent quant à eux que la problématique d'érosion peut être régie de façon efficace avec une fréquence de rechargements acceptable (5 à 7 ans).

Enfin, une inspection technique des épis en géotubes réalisée à l'automne 2021 a permis d'identifier la présence de plusieurs déficiences sur les ouvrages, dont la rupture et l'évidement de certaines sections, le déchirement et le délogement de la membrane protectrice sous-jacente et des boudins latéraux, ainsi que le bris de plusieurs couvercles de remplissage (WSP, 2022b). L'inspection recommandait la réparation ou le remplacement des ouvrages à brève échéance.

Site 2014.03.01 et 93.02.02 (Embouchure de la Belle-Rivière)

Depuis la régularisation des niveaux d'eau dans le lac Saint-Jean, une dérive progressive de l'embouchure de la Belle-Rivière était observée vers le nord-est. Un des phénomènes qui motivait cette évolution était la dérive littorale dominante du secteur, qui transporte les sédiments le long du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, puis les dépose devant l'embouchure. Au fil du temps, les accumulations de sédiments ont forcé le chenal d'écoulement de la Belle-Rivière à dévier vers le nord-est, au point où il est venu à longer le pied de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (site 93.02.02) sur près de 400 m. Cette formation jouait alors un rôle important dans l'érosion de la berge observée à cet endroit, puisqu'elle maintenait une profondeur d'eau relativement importante au pied de la plage et une pente infralittorale plus raide que dans les secteurs adjacents. Ceci permettait alors aux vagues de parvenir à la berge avec plus d'énergie. L'écoulement des eaux, surtout lors de la crue printanière, évacuait quant à elle progressivement les sédiments s'accumulant dans le chenal.

L'épi construit en 2014 à l'extrémité nord-est du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (site 2014.03.01) devait capter une partie des matériaux dérivant du sud-ouest, évitant ainsi qu'ils ne soient transportés vers l'embouchure. Bien que la structure ait permis d'amorcer certaines dynamiques convoitées (WSP, 2021), l'ouvrage à lui seul ne semblait pas suffisant pour provoquer le redressement complet du chenal d'écoulement sur un horizon de temps acceptable. Une intervention de plus grande envergure a donc été réalisée en 2019, avec la construction d'une digue submergée en enrochement pour obstruer le tronçon du chenal longeant la plage, le remblayage du canal au nord de la digue, puis l'excavation d'un nouveau canal de sortie selon un alignement plus perpendiculaire au littoral et plus éloigné de la plage. Ensemble, l'épi 9 et la digue submergée doivent permettre de borner les déplacements du chenal d'écoulement de la Belle-Rivière, empêchant ce dernier de dévier à nouveau trop proche de la plage.

Site 93.02.02 (Saint-Gédéon-sur-le-Lac)

Les interventions réalisées dans le cadre du PSBLSJ dans le secteur de Saint-Gédéon se sont amorcées avec la construction de six épis en enrochement de longueurs variant entre 80 et 190 m le long de la plage de Saint-Gédéon (site 87.02.04). Au site 93.02.02, situé au sud-ouest du champ d'épis, la première intervention réalisée a été un rechargement de plage à l'automne 1993 devant un perré de support existant, dans un secteur où la berge formait une légère avancée vers le lac. L'extrémité nord-est du perré a également été refaite lors de cette intervention. Un second rechargement a ensuite été réalisé en 1997. Un perré de 60 m a quant à lui été aménagé à l'hiver 2002 sur la rive droite de l'embouchure de la Belle-Rivière pour protéger la berge contre l'érosion.

À compter de 2009, la fréquence et l'envergure des interventions réalisées sur la plage ont subi une augmentation significative. La migration du chenal d'écoulement de la Belle-Rivière à proximité du rivage a été mise en cause pour ce changement soudain de la dynamique.

Des rechargements ont été réalisés sur une base quasi annuelle et le perré de support a été prolongé d'urgence vers le sud-ouest en 2011 (10 m), puis reconstruit en grande partie (112 m) et prolongé vers le nord-est (138 m) en 2015. Pour les rechargements, différentes approches ont été mises à l'essai, faisant varier la longueur d'intervention et les taux de rechargements. Aucun changement particulièrement distinctif n'a cependant été constaté à l'égard des résultats et de la pérennité des interventions.

En 2019, le chenal d'écoulement de la Belle-Rivière a été remblayé dans le cadre des travaux de redressement de l'embouchure. Le rehaussement du pied de la plage et l'adoucissement de sa pente avaient pour objectif de provoquer le déferlement des vagues plus loin au large et d'atténuer leur énergie sur une plus grande distance, favorisant ainsi une meilleure stabilité des matériaux dans la zone de plage. Des rechargements ont malgré tout été réalisés en 2019 (dans le cadre des travaux de redressement de la Belle-Rivière), puis en 2020, en attendant que les travaux développent leur pleine efficacité.

En 2021, une combinaison rare de facteurs aggravants a mené à un engraissement atypique de la flèche de sable présente depuis plusieurs années à l'embouchure de la Belle Rivière, en prolongement de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac. Spécifiquement, la crue printanière dans la Belle Rivière a été environ 60% plus faible que la normale et les apports de sédiments sur la flèche de sable ont été près de deux fois plus importants que la moyenne historique (WSP, 2022a). Ces conditions se sont donc traduites par un « nettoyage » insuffisant de l'embouchure de la Belle Rivière au printemps, suivi d'une accumulation de sédiments plus importante qu'à l'habitude pendant la période estivale. L'ensablement a alors provoqué un rétrécissement du chenal de navigation. Une obstruction complète a même été observée pendant une courte période à la fin du mois de juillet 2021.

En 2022, une crue printanière de la Belle Rivière supérieure à la moyenne (récurrence 15 ans) a effectué un nettoyage plus substantiel du chenal d'écoulement à l'embouchure. Toutefois, devant la quantité exceptionnelle de sédiments s'y étant accumulés en 2021, la flèche n'a pas subi un effacement aussi prononcé que lors de conditions similaires dans les années précédentes (WSP, 2022a). L'extrémité de la formation s'est ensuite ensablée à nouveau pendant la période estivale, provoquant une fois de plus un rétrécissement du chenal de navigation et son obstruction complète pendant une courte période en octobre 2022.

Les études et les suivis réalisés depuis 2021 démontrent que les sédiments érodés sur la plage Saint-Gédéon-sur-le-Lac constituent la principale source d'apports sur la flèche de sable et que cette formation est l'élément prépondérant qui influence l'obstruction du chenal de navigation.

Dans ce contexte, la mise en place de nouveaux rechargements sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac a été temporairement suspendue le temps d'élaborer une solution plus globale permettant d'adresser l'érosion de la plage, tout en considérant l'ensablement de l'embouchure de la Belle Rivière. À cet effet, une intervention visant la construction d'un épi supplémentaire sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac, en combinaison avec un rechargement, est prévue à l'hiver 2023. La structure doit permettre de retenir les matériaux sur la plage et ainsi augmenter leur durabilité, puis éviter qu'ils ne migrent vers l'embouchure de la rivière, diminuant ainsi les risques d'obstruction.

Tableau 1.1 Interventions réalisées dans la zone étendue entourant les sites 94.03.01 et 2014.03.01, dans la municipalité de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.

PÉRIODE ¹	CHAÎNAGES		LONG. (m)	DESCRIPTION
	DÉBUT	FIN		
A1987	2+640	2+870	230	Un rechargement de sable (11 000 tonnes) est réalisé à l'extrémité sud-ouest de la zone d'étude, dans le secteur où seront aménagés les épis 2 et 3 (voir H1991).
H1991	2+442 (épi 2) 2+717 (épi 3)		N/A	Deux épis en « L » en enrochement d'environ 100 m sont aménagés au nord-est de la zone de rechargement précédente pour tenter de ralentir la dérive des matériaux.
A1991	2+442	2+717	275	Un rechargement de sable (20 000 tonnes) est réalisé entre les deux structures.
A1993	2+137	2+442	305	Suivant le développement d'une zone d'érosion au nord-est des épis, un rechargement de sable (25 000 tonnes) est réalisé, combiné à un adoucissement de talus.
H1994	2+172 (épi 6) 2+226 (épi 5) 2+297 (épi 4)		N/A	Trois épis supplémentaires sont ensuite aménagés pour ralentir la dérive des matériaux dans la nouvelle zone d'érosion. La longueur des ouvrages est graduellement réduite du sud-ouest vers le nord-est (67 m, 44 m et 28 m, respectivement) afin de créer une transition entre la zone de structures et le tronçon de plage non protégée.
H1995	2+061	2+297	236	Un rechargement de sable (15 000 tonnes) est réalisé entre les structures et au nord-est des ouvrages.
A1996 H1998 A1998 A1999 H2000 A2000 A2001 A2002 A2003 A2004 A2005 A2006 A2007 A2009	2+066	2+226	160	Des rechargements de sable (8 000 à 10 000 tonnes) sont réalisés au nord-est de l'épi 5 sur une base quasi annuelle pour entretenir la plage.
H2004	2+119	2+172	53	Un perré de support est aménagé au nord-est de l'épi 6, afin de protéger le talus contre l'érosion récurrente.
H2008	2+066 (géo. 3) 2+119 (géo. 2) 2+172 (géo. 1)		N/A	Trois épis en géotubes d'environ 100 m sont mis en place dans la zone d'érosion pour ralentir la dérive des matériaux. L'épi situé au chaînage 2+172 est installé dans le prolongement de l'épi 6 (H1994). L'extrémité de l'ancienne structure est transformée en forme d'éventail.

¹ A = Automne; H = Hiver.

Tableau 1.1 (suite) Interventions réalisées dans la zone étendue entourant les sites 94.03.01 et 2014.03.01, dans la municipalité de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.

PÉRIODE ¹	CHAÎNAGES		LONG. (m)	DESCRIPTION
	DÉBUT	FIN		
H2010	2+066 (géo. 3) 2+119 (géo. 2)		N/A	Quatre géotubes supplémentaires sont ajoutés aux aménagements existants (H2008). Deux de ces ouvrages, d'environ 45 m de longueur, sont superposés aux épis en géotubes 2 et 3 existants afin de rehausser l'élévation des structures, alors que les deux autres sont déposés à l'extrémité des aménagements, parallèlement à la côte. Après ces ajouts, les structures forment une sorte de cellule rectangulaire permettant de circonscrire les sédiments.
	2+066	2+119	53	
	2+119	2+172	53	
H2011	2+012	2+172	160	Des travaux d'adoucissement de la pente du talus sont réalisés dans le secteur des épis en géotubes et au nord-est.
A2011	2+012	2+066	54	Un rechargement de sable (5 000 tonnes) est réalisé de part et d'autre des épis en géotubes.
	2+186	2+287	101	
A2012	1+966	2+066	100	Un rechargement de sable (4 500 tonnes) est réalisé au nord-est des épis en géotubes.
H2014	1+966	2+276	310	Un rechargement de sable (12 000 tonnes) est réalisé entre les épis en géotubes, ainsi que dans les secteurs adjacents au sud-ouest et au nord-est. Près de la moitié du volume est malgré tout déposé au nord-est des épis géotubes, sur une longueur d'environ 100 m.
	0+800 (épi 9) 1+726 (épi 8) 1+820 (épi 7)		N/A	Deux épis en enrochement (7 et 8), de 80 et 60 m, respectivement, sont aménagés au nord-est des épis en géotubes afin de ralentir la dérive de matériaux et de repousser la zone d'érosion vers un endroit où la plage est plus large et où le trait de côte bénéficie alors d'un espace de liberté accru. Un troisième épi en enrochement (épi 9) de 200 m est également ajouté à l'extrémité nord-est du banc de sable pour assurer le développement d'un état d'équilibre de la plage au sud-ouest, ainsi qu'adresser une problématique d'accumulation de sédiments devant l'embouchure de la Belle-Rivière.
A2014	1+973	2+066	93	Un rechargement de sable (8 000 tonnes) est réalisé au nord-est des épis en géotubes.
A2015	1+986	2+172	186	Un rechargement de sable (9 000 tonnes) est réalisé entre les épis en géotubes, ainsi que dans le secteur adjacent au nord-est.
H2022	2+027	2+226	199	Un rechargement de sable (9 900 tonnes) est réalisé entre les épis en géotubes, ainsi que dans les secteurs adjacents au sud-ouest et au nord-est.
	2+119	2+172	53	Le perré de support aménagé sur le haut de la plage entre les épis en géotubes #1 et #2 (H2004) est retiré.

¹ A = Automne; H = Hiver.

Tableau 1.2 Interventions réalisées dans la zone étendue entourant le site 93.02.02, dans la municipalité de Saint-Gédéon.

PÉRIODE ¹	CHAÎNAGES		LONG. (m)	DESCRIPTION
	DÉBUT	FIN		
A1993	1+767	1+952	185	Un rechargement de gravillon avec couche de sable (10 000 tonnes) est réalisé devant le perré de support existant et dans le secteur adjacent au sud-ouest.
	1+760	1+767	7	Le perré de support est prolongé vers le nord-est.
A1997	1+767	1+967	200	Un rechargement de gravillon avec couche de sable (11 000 tonnes) est réalisé devant le perré et dans le secteur adjacent au sud-ouest.
H2002	2+215	2+275	60	Un perré est aménagé à l'embouchure de la Belle-Rivière.
A2009	1+767	2+014	247	Un rechargement de gravillon avec couche de sable (6 000 tonnes) est réalisé devant le perré et dans le secteur adjacent au sud-ouest.
H2011	1+820	1+880	10	Suite à une érosion importante de la berge lors de la crue printanière, des travaux d'urgence sont effectués pour prolonger le perré de support vers le sud-ouest.
A2011	1+767	1+989	222	Un rechargement de gravillon avec couche de sable (11 000 tonnes) est réalisé devant le perré.
A2012 H2014	1+504	1+989	485	Des rechargements de gravillon avec couche de sable (13 000 à 17 000 tonnes) sont réalisés devant le perré et au nord-est, jusqu'à l'épi 2 (site 87.02.04).
H2015	1+622	1+872	250	Le perré existant est reconstruit, puis est prolongé vers le nord-est.
	1+619	1+954	335	Un rechargement de gravillon avec couche de sable (21 000 tonnes) est réalisé devant le perré.
A2015	1+625	1+925	300	Un rechargement de gravillon avec couche de sable (12 000 tonnes) est réalisé devant le perré.
A2016 A2017	1+628	1+885	257	Un rechargement de gravillon avec couche de sable (10 000 tonnes) est réalisé devant le perré.
H2019	2+275 (digue submergée)		422	Une digue submergée est aménagée pour redresser l'embouchure de la Belle-Rivière. La base de la digue est raccordée au perré aménagé dans ce secteur en H2002.
	1+628	2+108	480	Le canal de la Belle-Rivière au nord-est de la digue est remblayé jusqu'à l'élévation 99,0/100,0 m et un rechargement de sable fin (19 000 tonnes) est réalisé sur le haut de la plage.
H2020	1+620	1+900	280	Un rechargement de gravillon avec couche de sable fin (17 000 tonnes) est réalisé sur le haut de plage.
	2+275		77	Le perré à la base de la digue submergée, en rive droite de la Belle-Rivière, est rehaussé avec des pierres de calibre 200-400 mm et une technique végétale est aménagée en crête.

¹ A = Automne; H = Hiver.

EPI EVENTAIL

GÉOTUBE

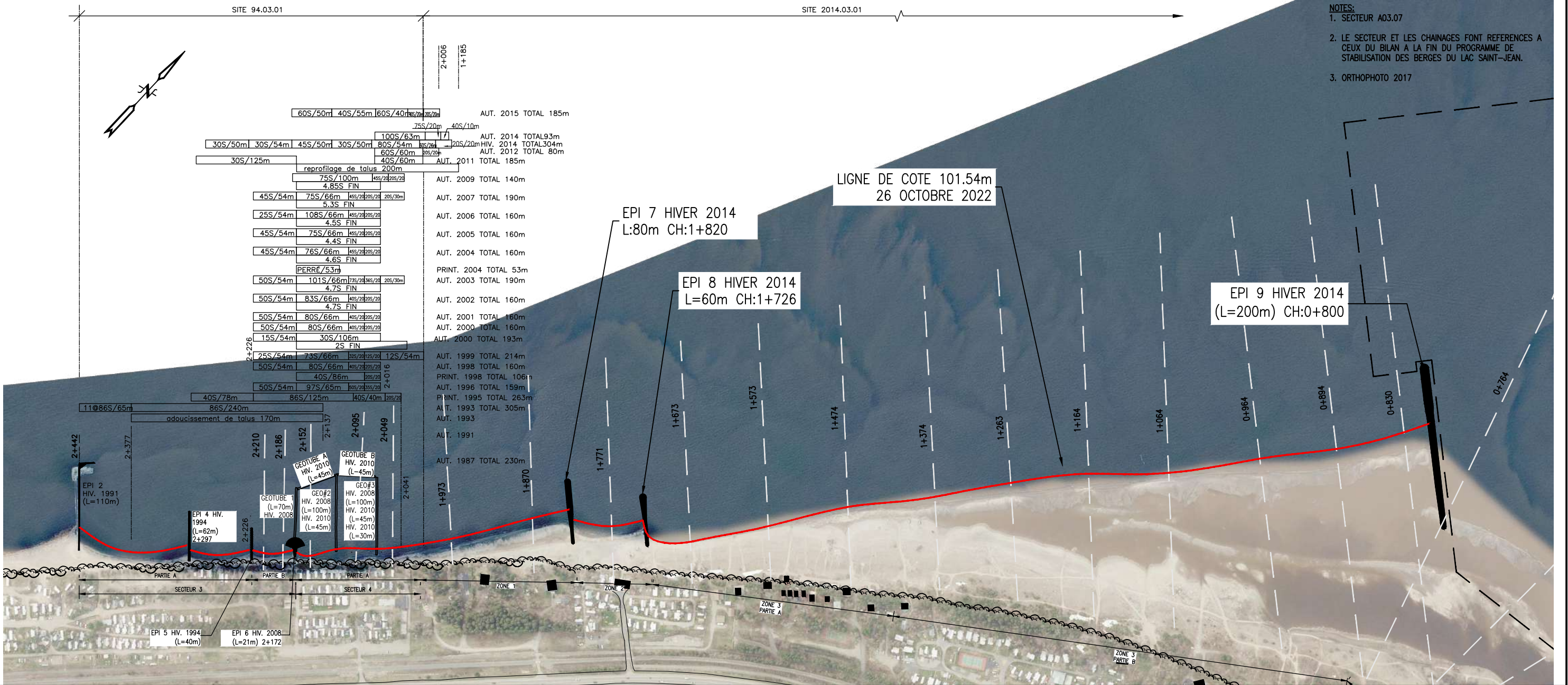
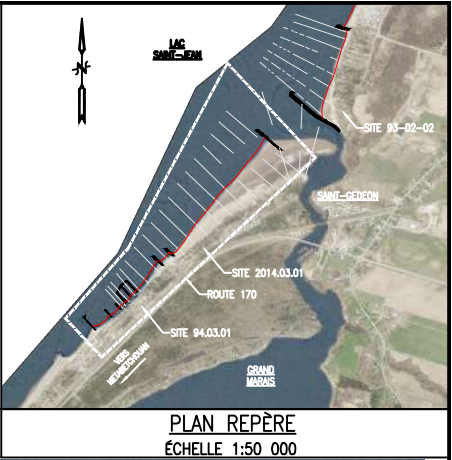
EPI

LÉGENDE

G: RECHARGEMENT DE GRAVILLON EN T.M./M.

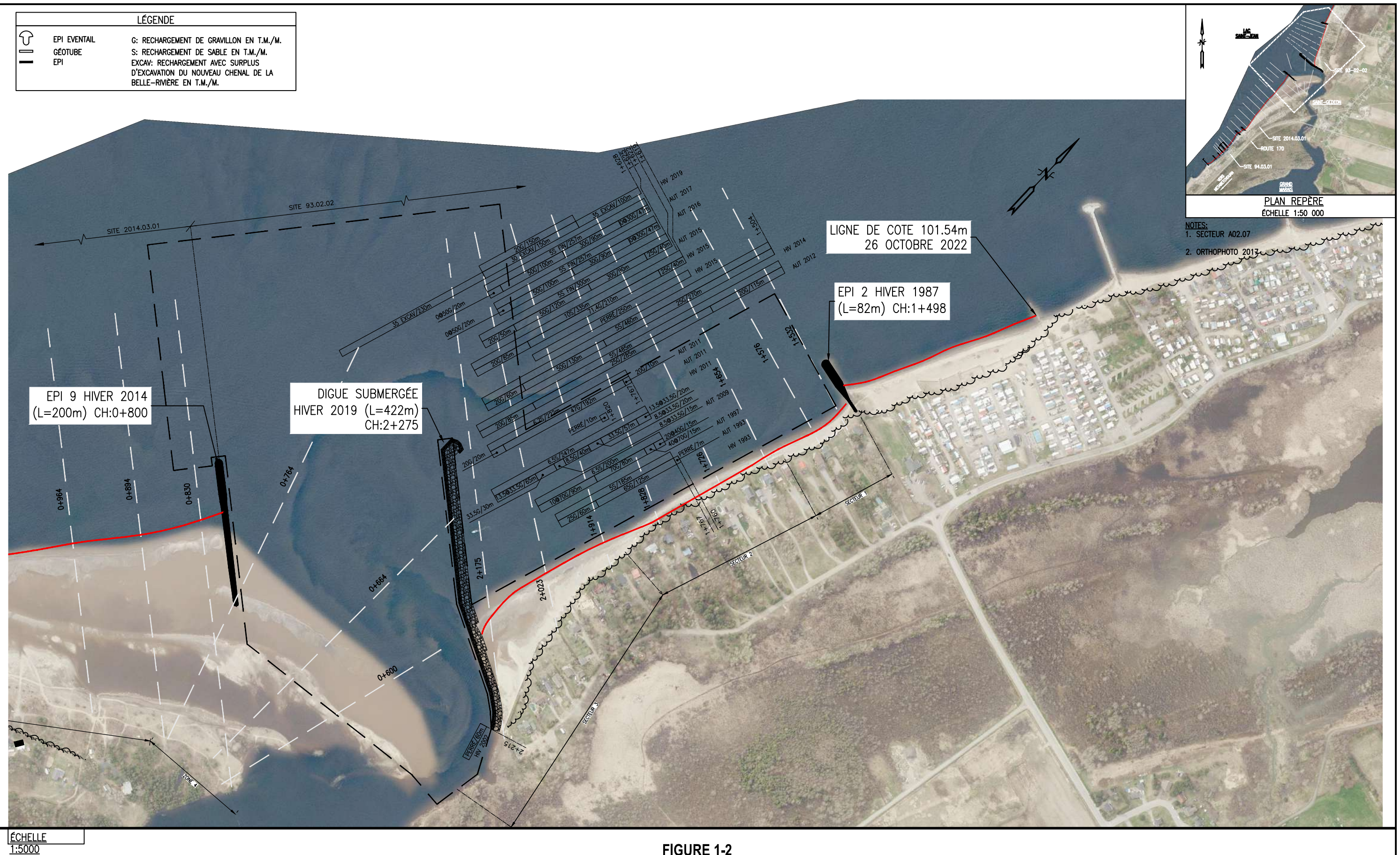
S: RECHARGEMENT DE SABLE EN T.M./M.

EXCAV: RECHARGEMENT AVEC SURPLUS D'EXCAVATION DU NOUVEAU CHENAL DE LA BELLE-RIVIÈRE EN T.M./M.



NOTES:
1. SECTEUR A03.07
2. LE SECTEUR ET LES CHAINAGES FONT REFERENCES A CEUX DU BILAN A LA FIN DU PROGRAMME DE STABILISATION DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN.
3. ORTHOPHOTO 2017

FIGURE 1-1
LOCALISATION DES TRAVAUX
94.03.01/2014.03.01 - A03.07 - 0+830 @ 2+442



2 OBJECTIFS

Les objectifs du présent suivi sont d'observer l'évolution de la berge par rapport aux suivis antérieurs et de vérifier si les interventions effectuées ont une efficacité conforme aux attentes. Dans l'éventualité où la performance des interventions demeure en-deçà des attentes, des pistes de solutions sont proposées pour permettre de développer la pleine efficacité des travaux.

Plus spécifiquement, aux sites 94.03.01 et 2014.03.01, les épis en enrochement aménagés en 2014 devaient permettre de freiner la perte de matériaux au nord-est des épis en géotubes et de favoriser le développement d'un état d'équilibre de la plage entre les structures. Par ailleurs, l'épi 9, aménagé proche de l'embouchure de la Belle Rivière, devait permettre de capter la dérive littorale en provenance du banc de sable de Métabetchouan–Lac-à-la-Croix, ou de la faire dévier vers le large, afin que les matériaux transportés cessent de contribuer aux accumulations faisant dévier le chenal d'écoulement de la Belle Rivière vers Saint-Gédéon-sur-le-Lac. Les travaux de redressement de l'embouchure de la rivière réalisés à l'hiver 2019 au site 93.02.02 devaient quant à eux permettre d'adoucir la pente de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac, d'y réduire le taux d'érosion sur le haut de la plage et d'éviter que le chenal d'écoulement de la Belle Rivière ne retourne à nouveau à proximité de la berge.

Diverses méthodes sont employées dans le cadre de ce suivi pour évaluer cette performance, dont une visite de terrain par un ingénieur, la réalisation de bilans sédimentaires et un arpentage de la ligne de rivage.

3 ACTIVITÉS DE SUIVI

Les activités réalisées dans le cadre du suivi 2022 sont présentées dans le Tableau 3.1. Plusieurs relevés bathymétriques ont été réalisés à l'été et à l'automne dans le secteur de l'embouchure de la Belle Rivière et de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac pour y suivre l'évolution de la flèche de sable obstruant le canal de navigation et de la plage attenante. La Figure 3.1 présente le domaine couvert par chacun des relevés.

La période d'analyse considérée pour le suivi en cours couvre l'intervalle de temps entre les relevés effectués lors de l'exercice précédent (10 novembre 2021) et ceux réalisés à l'automne 2022 (3 novembre 2022). Au site 94.03.01, par contre, le dernier suivi remonte au 26 octobre 2020.

Tableau 3.1 Activités réalisées dans le cadre du suivi 2022.

DATE	NIVEAU DU LAC SAINT-JEAN	ACTIVITÉ
24 au 30 mai 2022	101,47 à 101,95 m [16,3 à 17,8 pi]	Relevés topographiques et bathymétriques à l'embouchure de la Belle Rivière et devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (site 93.02.02).
8 et 9 août 2022	101,24 à 101,25 m [15,5 à 15,6 pi]	Relevés topographiques et bathymétriques à l'embouchure de la Belle Rivière.
19 au 22 septembre 2022	100,67 à 100,77 m [13,6 à 14,0 pi]	Relevés topographiques et bathymétriques à l'embouchure de la Belle Rivière et devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (site 93.02.02).
26 octobre 2022	100,68 m [13,7 pi]	Arpentage de la ligne de rivage au niveau 101,54 m (16,5 pieds) aux sites 94.03.01, 2014.03.01 et 93.02.02.
31 octobre au 3 novembre 2022	100,78 à 100,81 m [14,0 à 14,1 pi]	Relevés topographiques et bathymétriques aux sites 94.03.01, 2014.03.01 et 93.02.02.
8 novembre 2022	100,82 m [14,1 pi]	Visite de terrain par un ingénieur, avec prise de photos, aux sites 94.03.01, 2014.03.01 et 93.02.02.

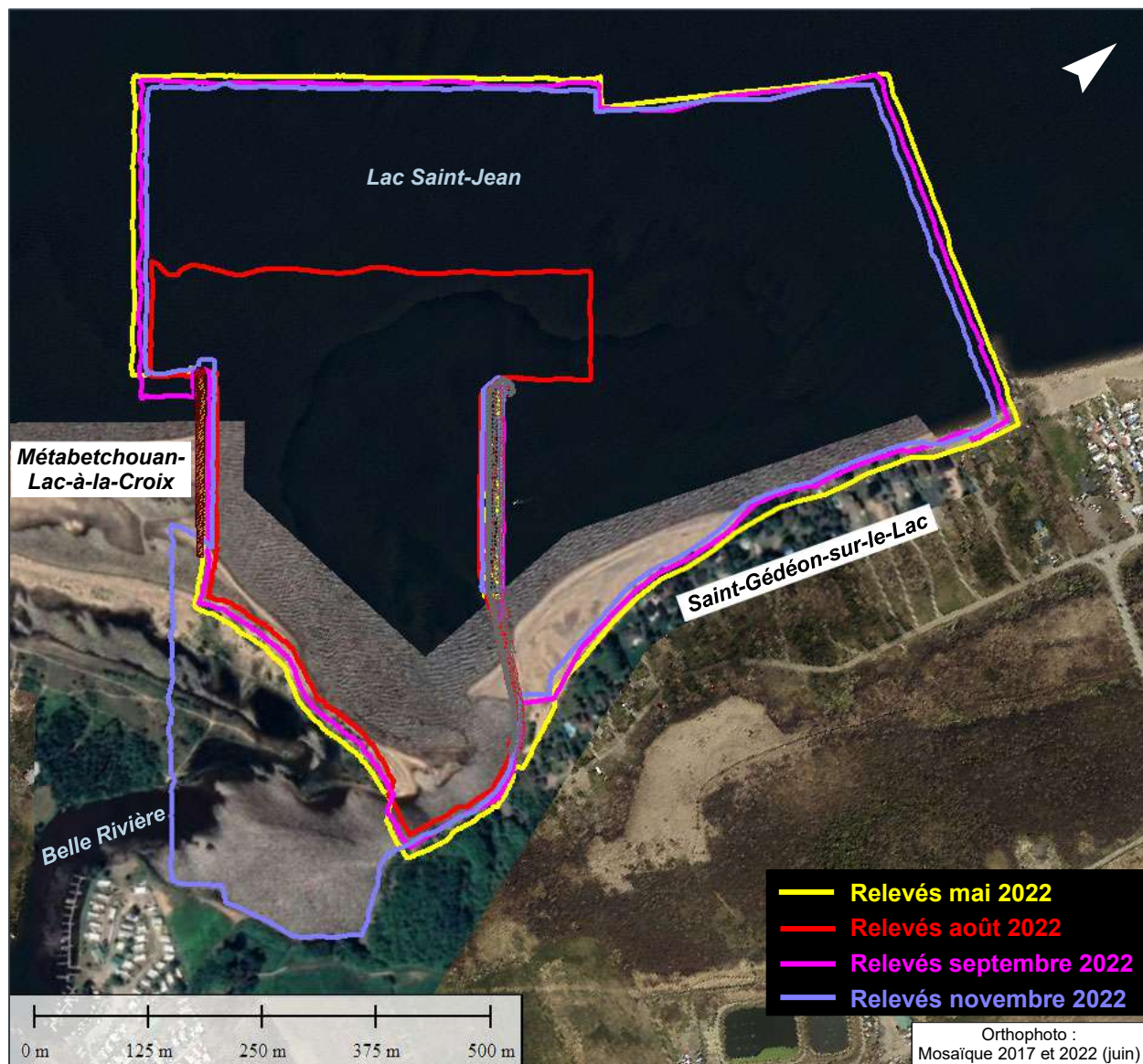


Figure 3.1 Zones de couverture des relevés topographiques et bathymétriques effectués en 2022 au site 93.02.02.

4 BILAN DES CONDITIONS ÉROSIVES

4.1 PÉRIODE D'EAU LIBRE

La période d'eau libre pour l'année 2022 s'est étirée du 13 mai au 10 décembre. Le départ et la prise des glaces sont survenus dans leurs périodes habituelles respectives, soit entre le 1^{er} et le 15 mai pour le départ et entre le 30 novembre et le 21 décembre pour la prise. La période d'eau libre a donc eu une durée de 212 jours, ce qui cadre avec la moyenne historique, qui varie entre 201 et 231 jours (période 1993-2019).

4.2 NIVEAU DU LAC SAINT-JEAN

La Figure 4.1 présente l'évolution du niveau d'eau dans le lac Saint-Jean entre mai et décembre 2022. La montée des eaux au printemps a globalement suivi la courbe médiane jusqu'au 15 mai, environ. Une crue exceptionnelle a ensuite caractérisé la deuxième moitié du mois. Les niveaux d'eau ont excédé la contrainte de gestion maximale de 101,54 m (16,5 pieds) pendant 10 jours, soit du 19 au 28 mai. La limite de dépassement autorisée de 101,69 m (17,0 pieds) a quant à elle été surpassée pendant 8 jours, soit du 19 au 26 mai. Un niveau maximum de 102,08 m (18,27 pieds) a été atteint le 22 mai 2022.

Pour le reste de la période d'eau libre, le niveau d'eau s'est maintenu proche de la médiane historique pendant la période estivale, puis environ 0,3 m (1,0 pied) sous la médiane historique pendant la période automnale. Outre lors de la crue printanière, les contraintes de gestion du lac Saint-Jean ont été respectées pendant la période d'eau libre 2022.

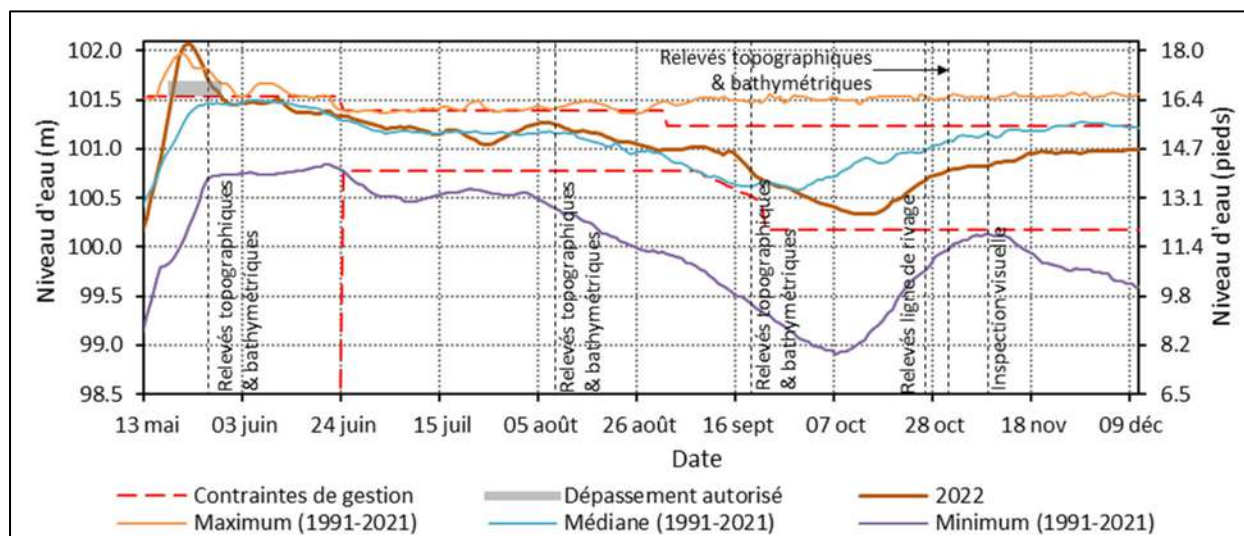


Figure 4.1 Évolution du niveau du lac Saint-Jean pendant la période d'eau libre 2022.

4.3 CRUE PRINTANIÈRE DE LA BELLE RIVIÈRE

La crue printanière de la Belle Rivière a été relativement forte (Figure 4.2). Le débit maximal de la rivière a atteint une valeur de 86 m³/s le 4 mai, ce qui correspond à une récurrence d'environ 15 ans. Le niveau du lac Saint-Jean à ce moment se trouvait à une élévation de 97,98 m (7,7 pieds). Une deuxième pointe de crue a ensuite été observée le 28 mai, avec un débit maximum de 67 m³/s, alors que le niveau du lac avait remonté à l'élévation 101,59 m (16,7 pieds).

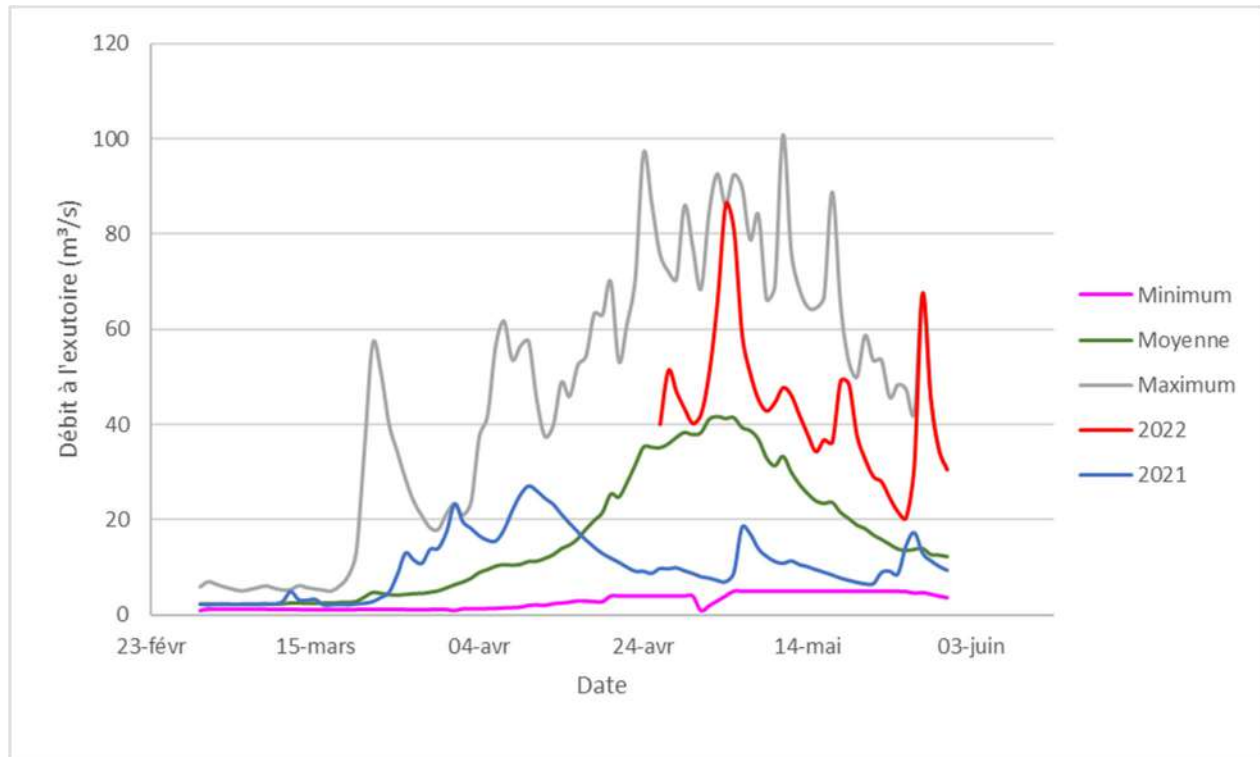


Figure 4.2 Évolution du débit à l'embouchure de la Belle Rivière lors de la crue printanière 2022.

5 RÉSULTATS ET OBSERVATIONS

Le Tableau 5.1 présente les subdivisions considérées dans chaque secteur pour la présentation des résultats de suivi.

Tableau 5.1 Subdivisions de la zone d'étude.

	NOM	CHAÎNAGE DÉBUT	CHAÎNAGE FIN	DESCRIPTION
Site 94.03.01	Secteur 3A	2+226	2+297	Entre les épis 4 et 5
	Secteur 3B	2+171	2+226	Entre les épis 5 et 6
	Secteur 4A	2+014	2+171	Entre la fin des rechargements et l'épi 6
Site 2014.03.01	Secteur 1	1+820	2+014	Sud-ouest de l'épi 7
	Secteur 2	1+726	1+820	Entre les épis 7 et 8
	Secteur 3A	1+424	1+726	Nord-est de l'épi 8
	Secteur 3B	0+800	1+424	Sud-ouest de l'épi 9
	Secteur 4	0+568	0+800	Nord-est de l'épi 9
Site 93.02.02	Secteur 1	1+498	1+628	Sud-ouest de l'épi 2
	Secteur 2	1+628	1+871	Devant perré de support
	Secteur 3	1+871	2+275	Nord-est de la digue submergée
	Secteur BR	2+275 (93.02.02)	0+800 (2014.03.01)	Embouchure de la Belle-Rivière (entre la digue submergée et l'épi 9)

5.1 RELEVÉS PHOTOGRAPHIQUES ET OBSERVATIONS VISUELLES

Une visite du secteur a été réalisée le 8 novembre 2022, alors que le niveau du lac était à une élévation de 100,82 m (14,1 pi). Les observations effectuées sur le terrain sont présentées aux sections suivantes. Les photos citées sont quant à elles consignées dans le répertoire photographique présenté à l'annexe A.

5.1.1 SITE 94.03.01 – SECTEUR 3A : ENTRE LES ÉPIS 4 ET 5 (CH. 2+226 À 2+297)

Le secteur situé entre les épis 4 et 5 a été particulièrement affecté par les niveaux d'eau élevés lors de la crue printanière du lac Saint-Jean. Le haut de la plage s'est abaissé et le talus situé derrière a été fortement érodé (photos 1 à 4), provoquant une régression de la ligne de végétation et le déracinement de quelques arbres. Un accès à l'eau (escaliers) a également été endommagé et les pieux supportant un patio ont été déchaussés.

5.1.2 SITE 94.03.01 – SECTEUR 3B : ENTRE LES ÉPIS 5 ET 6 (CH. 2+172 À 2+226)

Les secteurs 3B et 4A ont fait l'objet d'un rechargement de sable à l'hiver 2022. Lors de l'inspection visuelle, les matériaux de rechargement pouvaient encore être distingués sur le haut de la plage (photos 5, 9 et 13).

Entre les épis 5 et 6, seule une petite bande de matériaux de rechargement demeurait visible (photos 5 à 8). Une grande partie des matériaux semblait quant à elle avoir été emportée lors de la crue printanière du lac Saint-Jean. L'érosion n'a cependant pas atteint le talus derrière la plage et aucun changement distinctif de la ligne de végétation n'était perceptible.

5.1.3 SITE 94.03.01 – SECTEUR 4A : AU NORD-EST DE L'ÉPI 6 (CH. 2+014 À 2+172)

Au nord-est de l'épi 6, une portion plus importante du rechargement réalisé à l'hiver 2022 demeurait présente sur le haut de la plage (photos 9 à 20). La bande de matériaux visible était également progressivement plus large vers le nord-est (photos 9, 13 et 17). Le retrait du perré de support pouvait également être remarqué entre l'épi 6 et le géotube 2 (photo 9).

Un petit escarpement (environ 0,15 à 0,30 m) demeurait présent sur le haut de la plage, mais cette dernière conservait une largeur augmentée par rapport aux années précédentes et une pente relativement douce. La ligne de végétation ne semblait pas être menacée à court terme par l'érosion.

5.1.4 SITE 2014.03.01 – SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 7 (CH. 1+820 À 2+014)

Au sud-ouest de l'épi 7, l'inspection visuelle n'a pas permis de constater de changement significatif sur la plage par rapport aux années précédentes (photos 21 à 24). La plage conservait une bonne largeur, avec une pente uniforme et douce. Des matériaux provenant du rechargement réalisé au sud-ouest étaient toutefois présents en surface.

5.1.5 SITE 2014.03.01 – SECTEUR 2 : ENTRE LES ÉPIS 7 ET 8 (CH. 1+726 À 1+820)

De façon similaire au secteur précédent, les observations visuelles réalisées entre les épis 7 et 8 n'ont pas permis de constater des changements significatifs par rapport aux années précédentes (photos 25 à 28). La plage conservait une largeur importante et sa forme concave était conforme aux attentes.

5.1.6 SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3A : AU NORD-EST DE L'ÉPI 8 (CH. 1+424 À 1+726)

Au nord-est de l'épi 8, la zone d'érosion ne semblait pas avoir évolué depuis l'inspection de 2021 (photos 29 à 32). La pente de la plage paraissait malgré tout légèrement plus douce qu'en 2020. L'adoucissement ne semblait cependant pas avoir modifié la position du haut de talus, ni provoqué la perte de végétation à cet endroit.

5.1.7 SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3B : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 9 (CH. 0+800 À 1+424)

Au sud-ouest de l'épi 9, aucun changement significatif par rapport aux suivis précédents n'a été constaté (photos 33 à 36). La plage conservait une largeur importante et une pente relativement douce.

5.1.8 SITE 2014.03.01 – SECTEUR 4 : AU NORD-EST DE L'ÉPI 9 (CH. 0+568 À 0+800)

Le secteur situé au nord-est de l'épi 9 était submergé lors de l'inspection visuelle. Il n'était donc pas possible d'y constater des changements distinctifs au niveau de la plaine sablonneuse (photos 37 à 42).

Le long de la langue de sable reliant l'épi 9 à l'embouchure de la Belle Rivière, par contre, l'effacement du premier cordon littoral et la migration du chenal d'écoulement étaient pleinement perceptibles. L'érosion avait par ailleurs atteint le deuxième cordon littoral situé derrière et provoqué une régression de la ligne de végétation ayant colonisé cette formation. Au moment de la visite, les vagues sapaient toujours le pied du talus dénudé, indiquant que le secteur demeurait vulnérable à l'érosion et que la régression de la végétation risque de se poursuivre lors de la prochaine saison d'eau libre.

À l'extrémité de la langue de sable, il a été remarqué que les sédiments des deux côtés de l'embouchure de la Belle Rivière paraissaient de natures similaires et contenaient une forte proportion de granulats grossiers (graviers et petits galets). Dans le contexte où le secteur de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix est réputé être un milieu riche en sable, alors que celui de Saint-Gédéon-sur-le-Lac est principalement caractérisé par le gravillon provenant des interventions de rechargements, cette observation laissait sous-entendre l'existence possible d'un lien hydrosédimentaire entre les deux rives de la Belle Rivière.

L'inspection visuelle élargie du côté de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix a néanmoins permis de constater la présence de granulats grossiers ailleurs sur la plage. Les teneurs élevées constatées en surface dans certains secteurs résulteraient simplement d'une ségrégation naturelle des matériaux effectuée par l'érosion éolienne et par les vagues, qui emportent les particules fines et laissent derrière les matériaux plus grossiers. L'observation effectuée à l'extrémité de la langue de sable n'est donc pas révélatrice d'un lien hydrosédimentaire entre les deux rives de l'embouchure de la Belle Rivière.

5.1.9 SITE 93.02.02 – SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 2 (CH. 1+498 À 1+628)

La plage au sud-ouest de l'épi 2 demeure dans un état comparable à celle de l'année précédente (photos 43 à 50). L'escarpement présent sur le haut de la plage en 2021 a toutefois subi un certain nivèlement. La plage demeure malgré tout en régression par rapport aux conditions de 2019 et 2020.

5.1.10 SITE 93.02.02 – SECTEUR 2 : DEVANT LE PERRÉ DE SUPPORT (CH. 1+628 À 1+871)

Comme en 2021, le perré de support était toujours fortement exposé (photos 51 à 59). Aucune largeur de plage utile n'était d'ailleurs présente entre l'ouvrage et le lac, alors que le niveau d'eau se trouvait proche de la contrainte de gestion minimale pour la période estivale (100,78 m ou 14,0 pieds). L'effacement de la plage s'était également visiblement prolongé à l'extrémité sud-ouest du perré. Ces conditions demeurent en recul par rapport à celles observées en 2019 et 2020.

Autrement, le perré paraissait maintenir un état satisfaisant. Aucun affaissement discernable des pierres n'a été observé et aucun signe de perte de végétation n'a été constaté au niveau de la berge derrière.

5.1.11 SITE 93.02.02 – SECTEUR 3 : AU NORD-EST DE LA DIGUE SUBMERGÉE (CH. 1+871 À 2+275)

Plus loin au sud-ouest, la plage conservait une largeur importante (photos 60 à 62). Un escarpement d'environ 0,3 à 0,5 m de hauteur était toutefois présent sur le haut de plage, signe que le secteur demeure sous l'influence d'une érosion active. Les relevés topographiques indiquent d'ailleurs un recul léger à cet endroit par rapport à 2021.

5.1.12 SITE 93.02.02 – SECTEUR BR : EMBOUCHURE DE LA BELLE-RIVIÈRE (ENTRE LA DIGUE SUBMERGÉE ET L'ÉPI 9)

La flèche de sable présente en prolongement de la plage se projetait toujours dans le chenal d'écoulement de la Belle Rivière, qui demeurerait très étroit (photos 63 et 64).

Le perré situé à la base de la digue submergée conservait quant à lui un état satisfaisant (photos 65 à 69). Aucune détérioration n'a été observée par rapport aux inspections précédentes. La couverture végétale sur le talus en haut du perré semble par ailleurs avoir augmenté par rapport à 2020.

5.2 CAMPAGNE DE RELEVÉS ET BILANS SÉDIMENTAIRES

Des relevés topographiques et bathymétriques ont été effectués à l'automne 2022. Le plan de relevés était constitué de profils transversaux du côté de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (Figure 1.1) et d'un quadrillage de points à l'embouchure de la Belle Rivière et dans la zone située devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (Figure 1.2).

Trois relevés complémentaires ont également été réalisés entre mai et septembre 2022 dans le secteur de l'embouchure de la Belle Rivière et de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac pour y documenter l'évolution de la flèche de sable, du chenal de navigation et de la plage attenante.

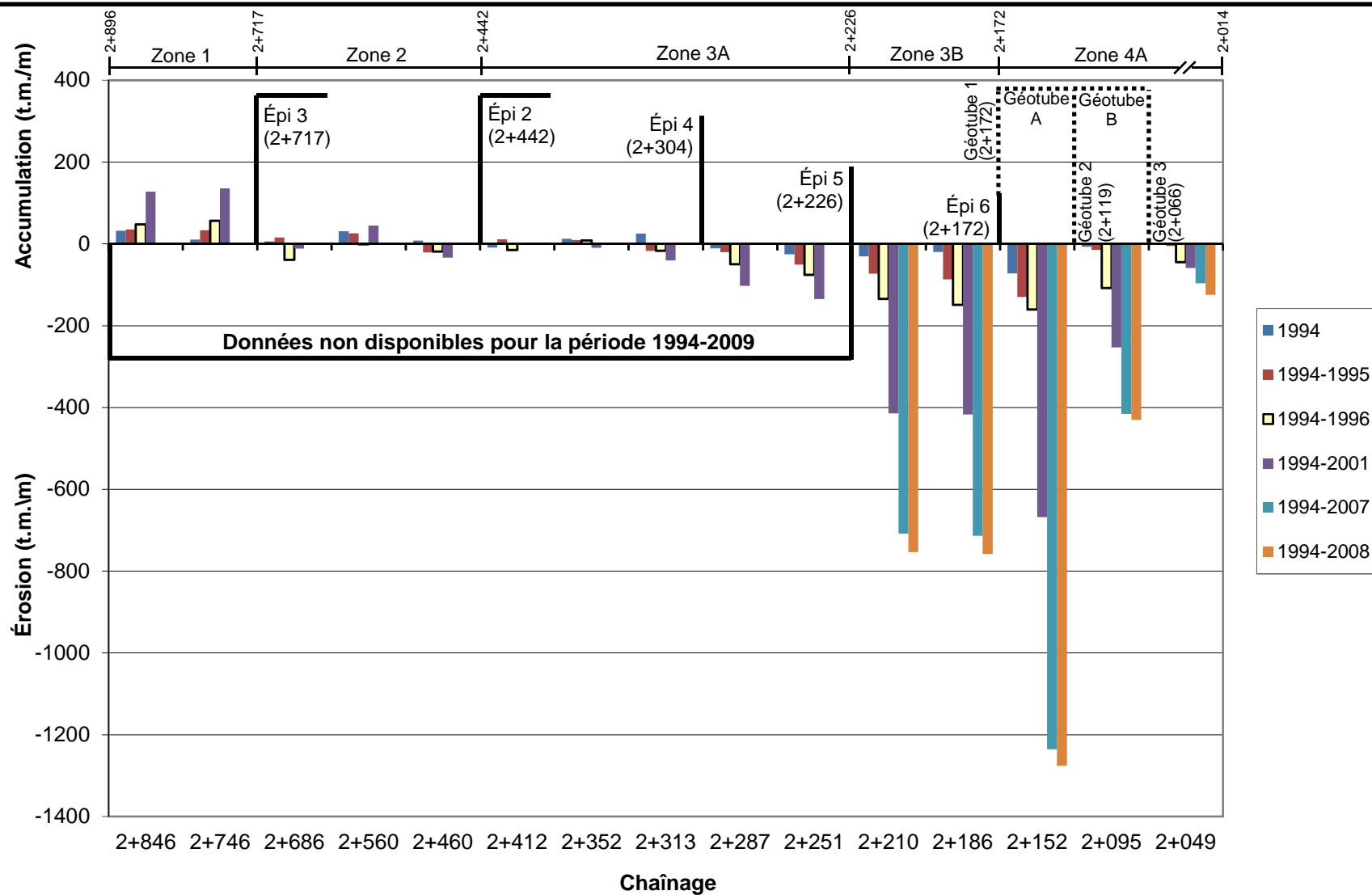
Les Tableaux 5.2 et 5.3 présentent les largeurs d'influence attribuées aux différents profils transversaux, alors que les Figures 5.1 à 5.3, ainsi que les Cartes 5.1 à 5.11, illustrent les bilans sédimentaires cumulatifs, annuels et intermédiaires observés dans chaque zone représentée.

Les Tableaux 5.4 et 5.5 présentent quant à eux les bilans sédimentaires prévus et observés dans chaque secteur. Enfin, l'annexe B présente les profils transversaux, alors que la localisation des lignes de référence est illustrée sur les plans consignés à l'annexe C.

Tableau 5-2 Largeurs d'influence des profils transversaux Sites 94.03.01/2014.03.01 (secteur A03.07)					
			PROFILS	LIMITE D'INFLUENCE	LARGEUR D'INFLUENCE (m)
Site 94.03.01	Secteur 3	Partie A	2+412	2+442 (Épi 2)	60
			2+352	2+382	49.5
			2+313	2+332	35.5
			2+287	2+297 (Épi 4)	28
			2+251	2+269	43
			2+226 (Épi 5)		
		TOTAL ENTRE LES ÉPIS 2 ET 5			216
	Partie B	2+210	2+226 (Épi 5)	28	
		2+186	2+198	26	
		2+172 (Épi 6/Géotube 1)			
	TOTAL ENTRE LES ÉPIS 5 et 6			54	
Secteur 4	Partie A	2+152	2+172 (Épi 6/Géotube 1)	53	
		2+095	2+119 (Géotube 2)	53	
		2+049	2+066 (Géotube 3)	52	
		2+014			
	TOTAL NE DE L'ÉPI 6			158	
Site 2014.03.01	Secteur 1		1+973	2+014	92.5
			1+870	1+921	101.5
			1+820 (Épi 7)		
	TOTAL SO DE L'ÉPI 7			194	
	Secteur 2		1+771	1+820 (Épi 7)	94
			1+726 (Épi 8)		
	TOTAL ENTRE LES ÉPIS 7 et 8			94	
	Secteur 3	Partie A	1+673	1+726 (Épi 8)	103
			1+573	1+623	99.5
			1+474	1+523	99.5
1+424					
TOTAL NE DE L'ÉPI 8			302		
Partie B		1+374	1+424	105.5	
		1+263	1+318	105	
		1+164	1+213	99.5	
		1+064	1+114	100	
	0+964	1+014	100		
	0+894	0+914	52		
	0+830	0+862	62		
0+800 (Épi 9)					
TOTAL SO DE L'ÉPI 9			624		
Secteur 4		0+764	0+800 (Épi 9)	86	
		0+664	0+714	82	
		0+600	0+632	64	
		0+568			
	TOTAL NE DE L'ÉPI 9			232	
GRAND TOTAL				1 874	

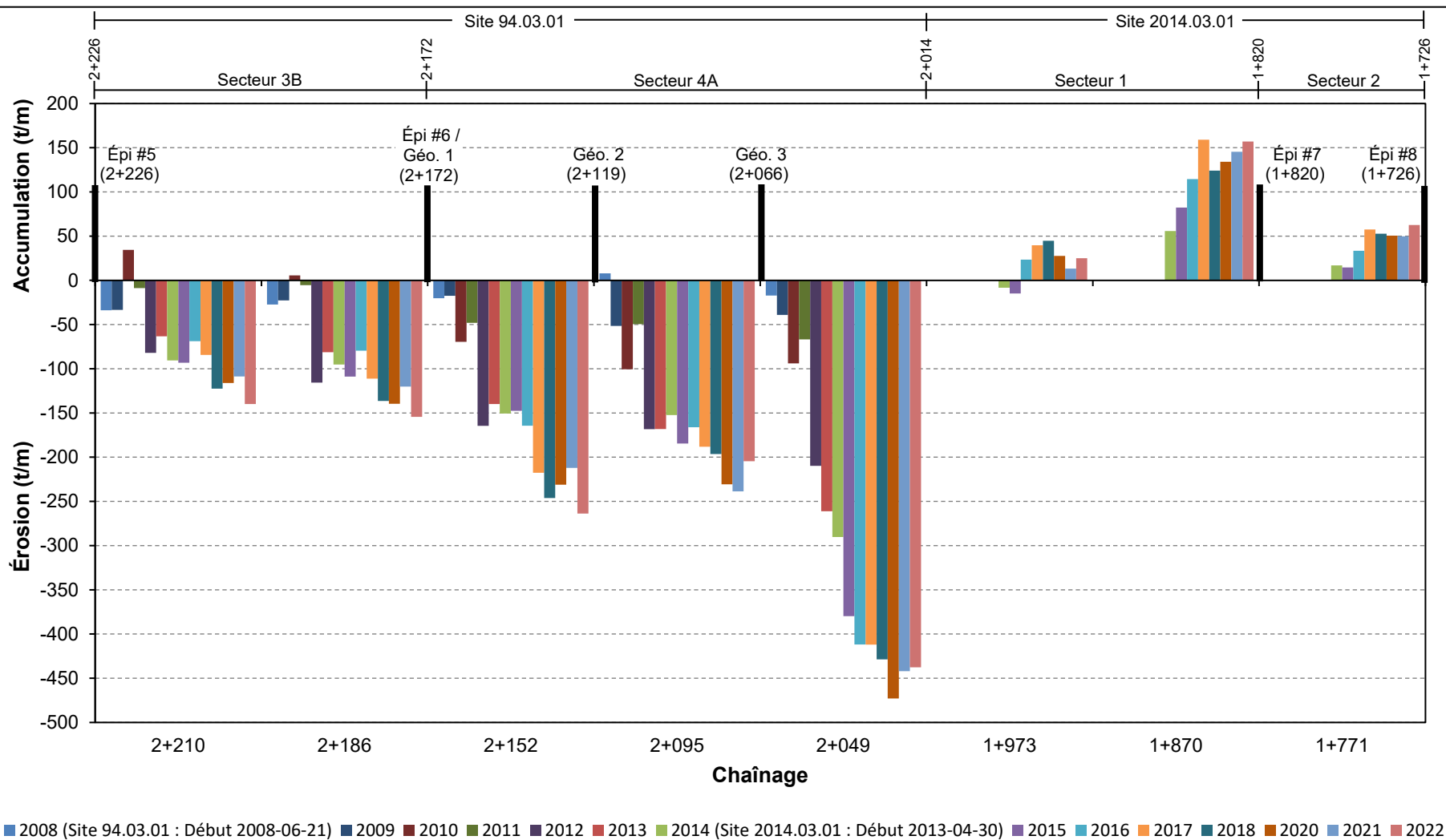
Tableau 5-3
Largeurs d'influence des profils transversaux
Site 93.02.02 (secteur A02.07)

		PROFILS	LIMITE D'INFLUENCE	LARGEUR D'INFLUENCE (m)
Site 93.02.02	Secteur 1	1+532	1+498 (Épi 2)	45
		1+576	1+554	74
			1+628	
		TOTAL SO DE L'ÉPI 2		119
	Secteur 2	1+654	1+628	62
		1+726	1+690	87
		1+828	1+777	94
			1+871	
		TOTAL DEVANT PERRE SUPPORT		243
	Secteur 3	1+914	1+871	91
		2+023	1+969	94
		2+175	2+099	75
			2+275 (Digue submergée)	
		TOTAL NE DIGUE SUBMERGÉE		260
GRAND TOTAL			622	



Remarques : - L'accumulation de sable est mesurée en m³ et transformée en tonnes métriques en utilisant une densité moyenne pour le sable de 2 000 kg/m³.
 - Ces bilans sont nets, c'est-à-dire que les volumes ajoutés lors des rechargements sont déduits.

Figure 5-1
Transport sédimentaire cumulatif observé — Période 1994 - 2008
Sites 91.03.02/94.03.01 (Secteur A03.07)



Remarques: - L'accumulation de sable est mesurée en m³ et transformée en tonnes métriques en utilisant une densité moyenne pour le sable de 2 000 kg/m³.
 - Ces bilans sont nets, c'est-à-dire que les volumes ajoutés lors des rechargements sont déduits.

Figure 5-2a
Transport sédimentaire cumulatif observé — Période 2008-2022
Sites 94.03.01/2014.03.01 (secteur A03.07)

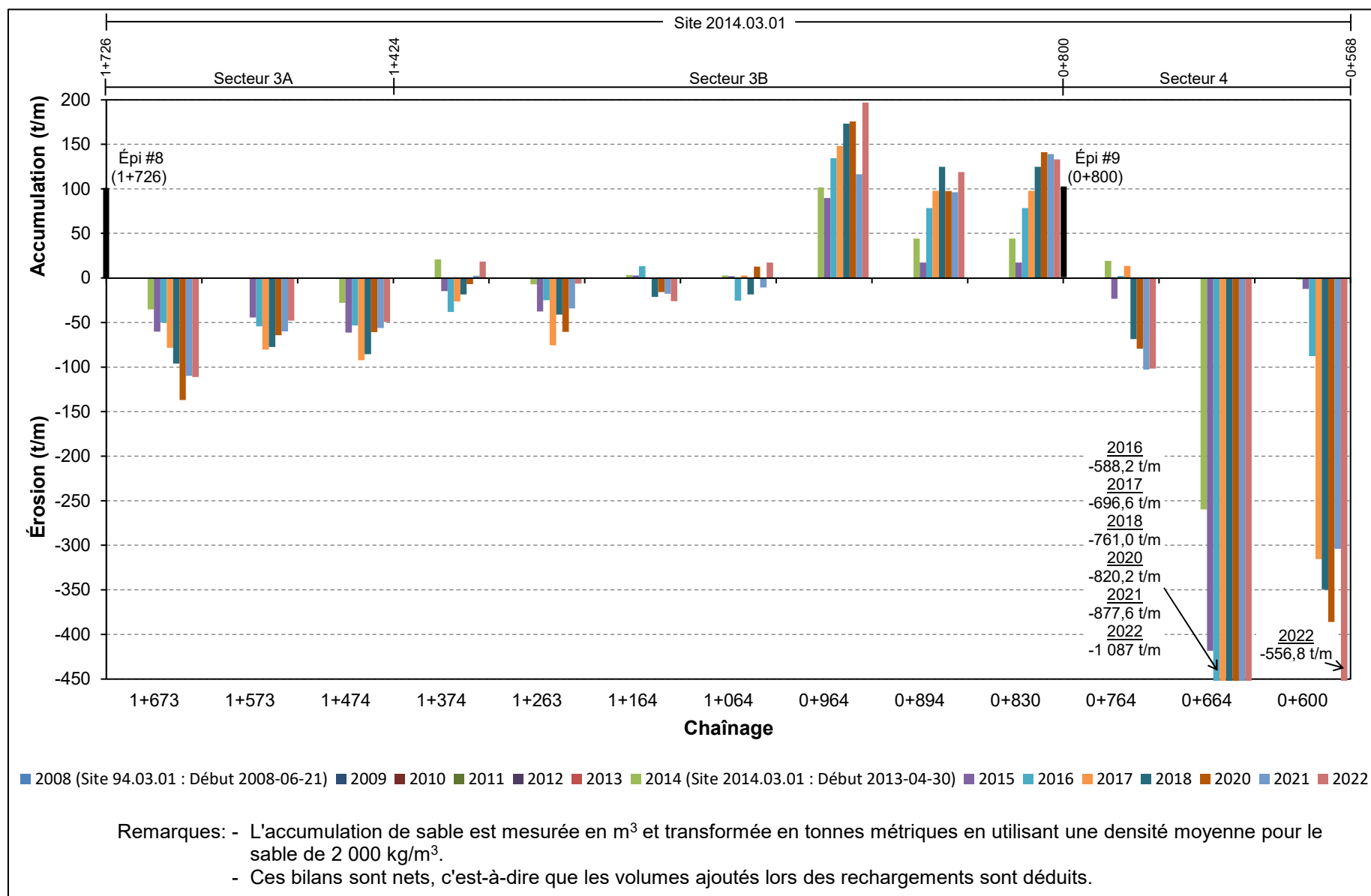


Figure 5-2b
Transport sédimentaire cumulatif observé — Période 2008-2022
Sites 94.03.01/2014.03.01 (secteur A03.07)

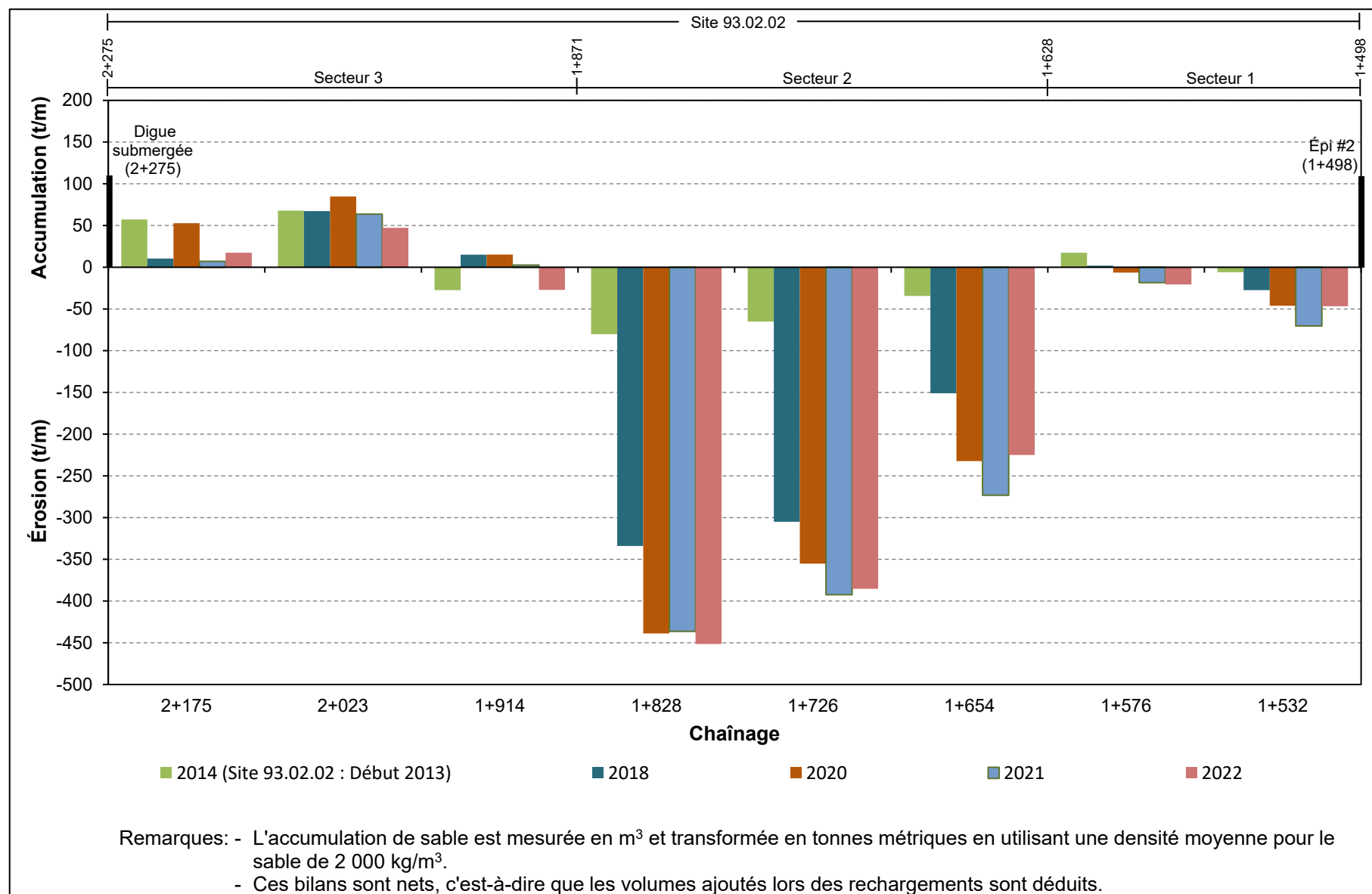


Figure 5-2c
Transport sédimentaire cumulé observé — Période 2013-2022
Site 93.02.02 (secteur A02.07)

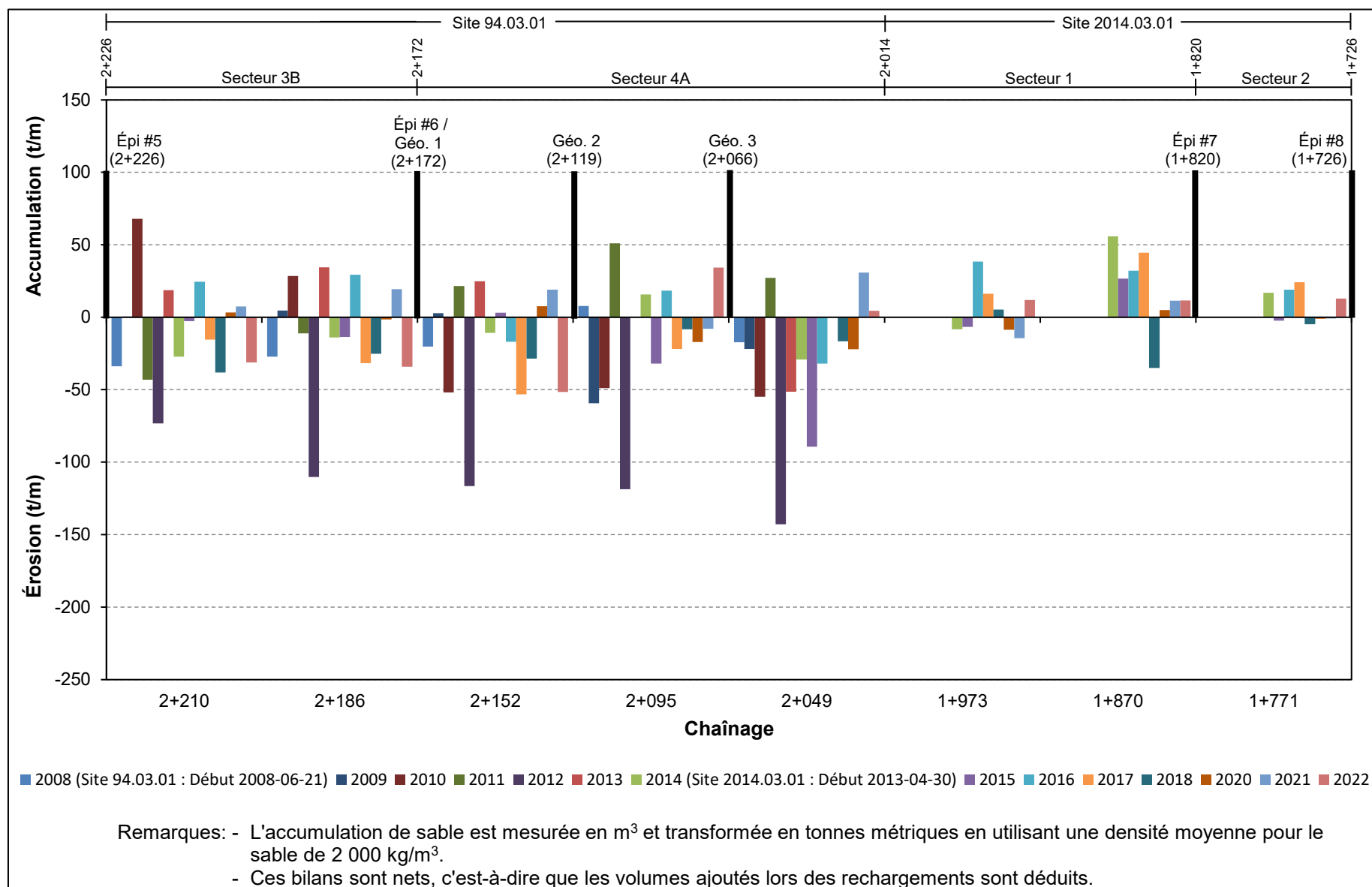


Figure 5-3a
Transport sédimentaire annuel observé — Période 2008-2022
Sites 94.03.01/2014.03.01 (secteur A03.07)

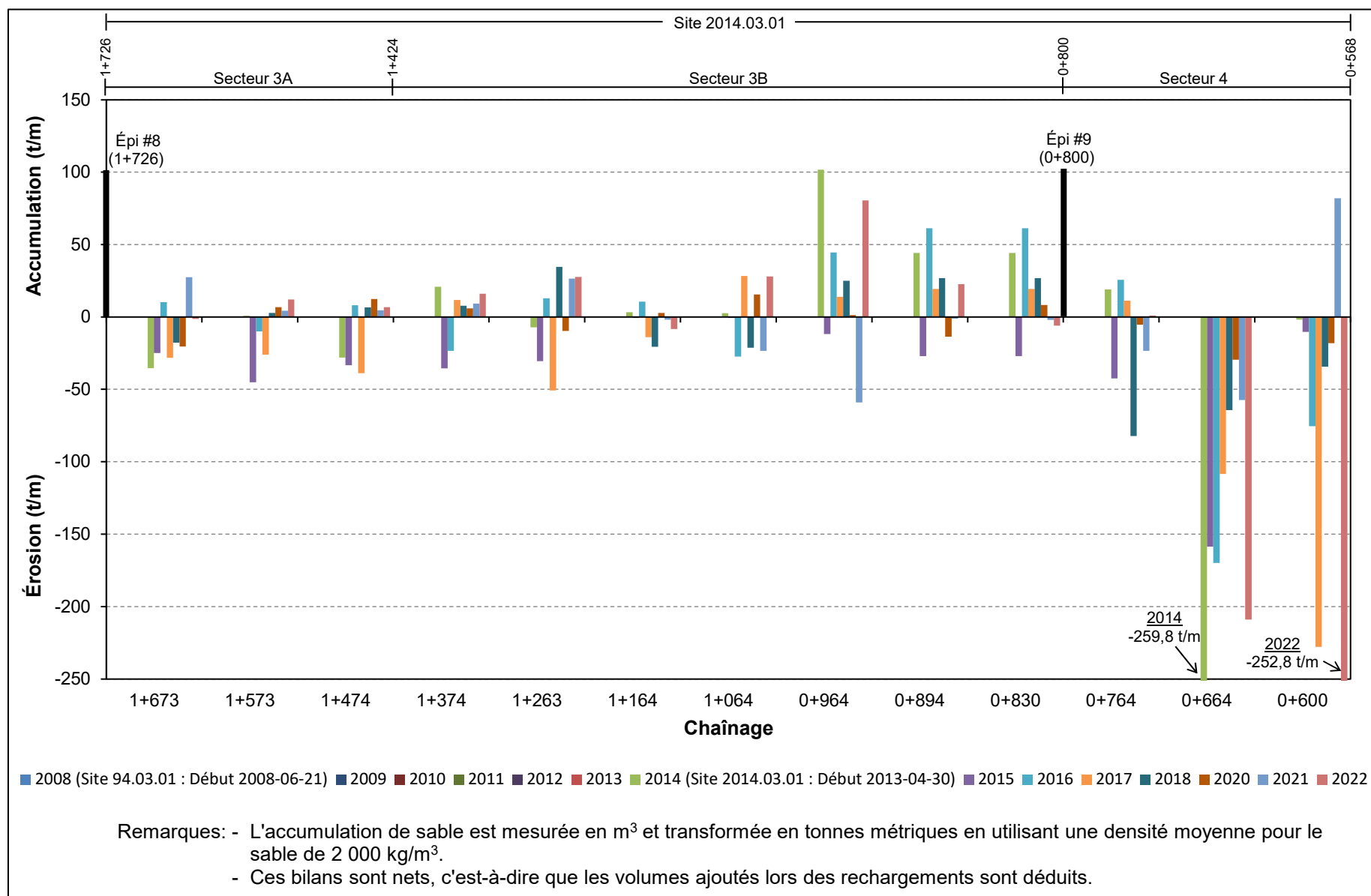


Figure 5-3b
Transport sédimentaire annuel observé — Période 2008-2022
Sites 94.03.01/2014.03.01 (secteur A03.07)

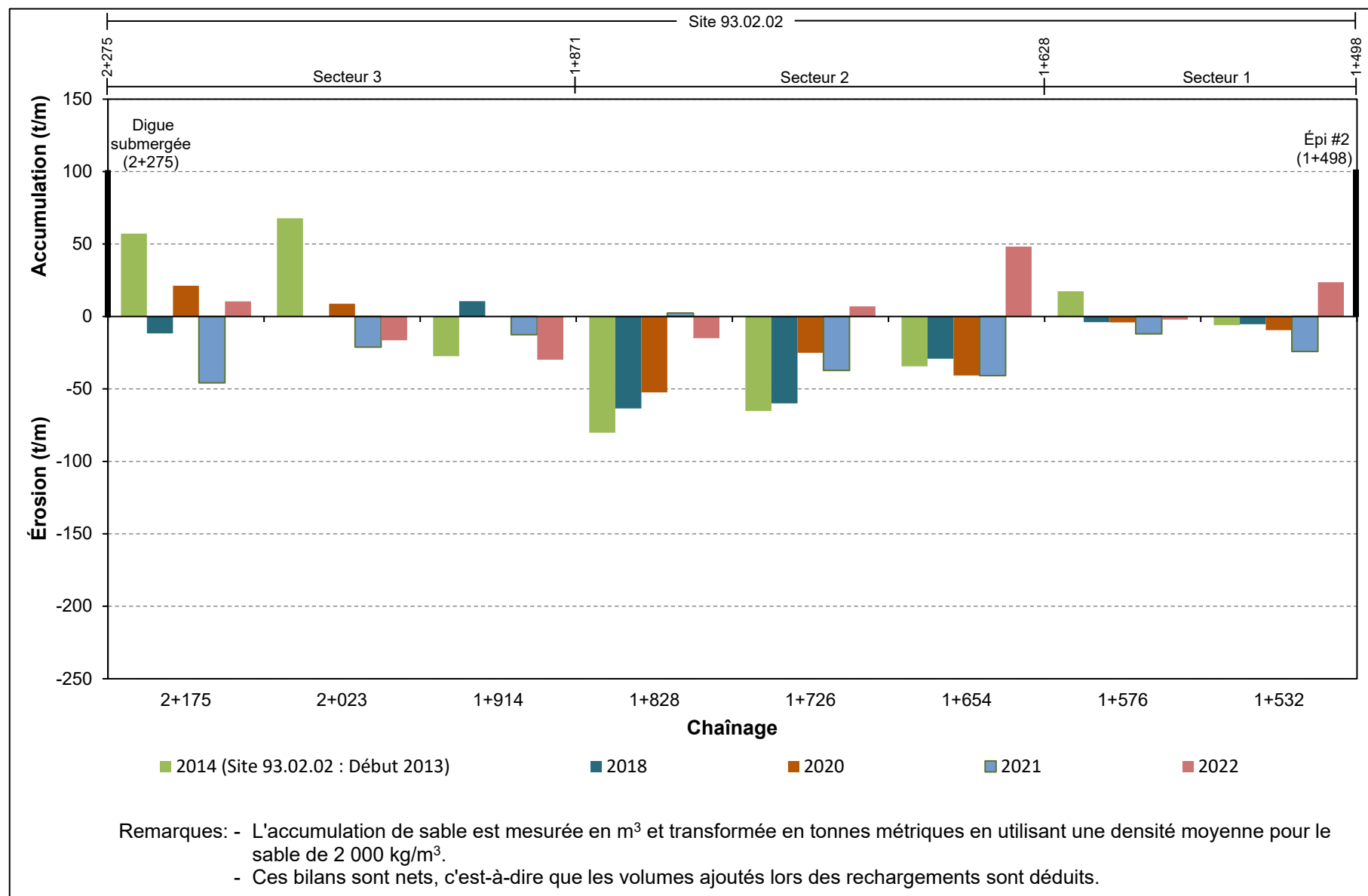
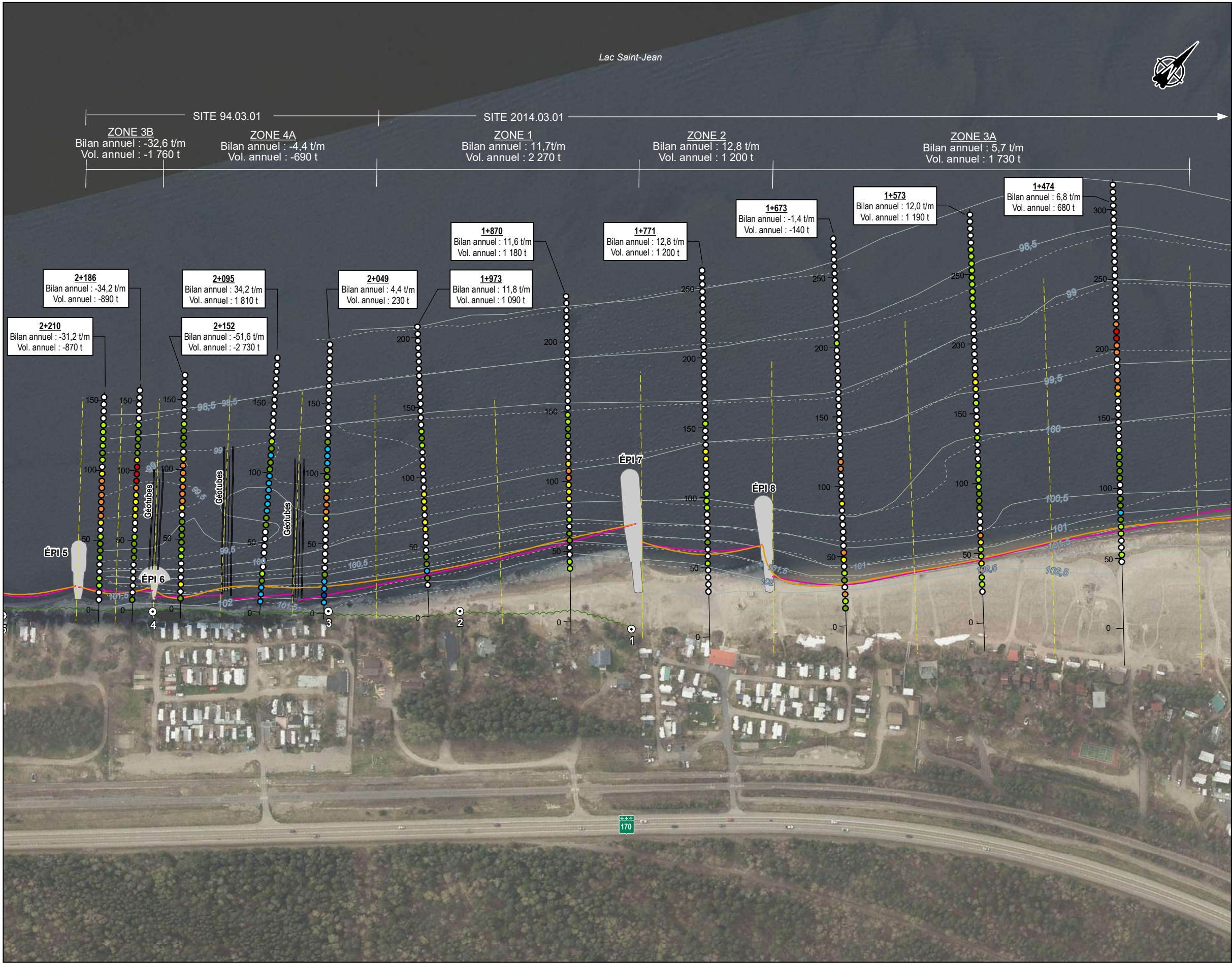


Figure 5-3c
Transport sédimentaire annuel observé — Période 2013-2022
Site 93.02.02 (secteur A02.07)



Taux de transport des sédiments (t/m/m)

●	> 2,0	Accrétion
●	1,0 à 2,0	
●	0,5 à 1,0	
●	0,25 à 0,5	
○	-0,25 à 0,25	Érosion
●	-0,5 à -0,25	
●	-1,0 à -0,5	
●	-2,0 à -1,0	
●	< -2,0	

⊙ Borne inamovible

0 50 Transect bathymétrique (m)

--- Limite d'influence

— Courbe bathymétrique 2022 (m)

- - - Courbe bathymétrique 2021 (m)

— Ligne de rivage 101,54 m (16,5 pieds système Rio Tinto) relevée le 1er nov. 2022

— Ligne de rivage 101,54 m (16,5 pieds système Rio Tinto) relevée le 1er nov. 2021

~ Limite de végétation 1986

RioTinto

Sites 94.03.01 & 2014.03.01
Métabetchouan-Lac-à-la-Croix
Suivi technique 2022

Carte 5.1
**Transport sédimentaire annuel observé –
Période 2021-2022**
**Sites 94.03.01/2014.03.01, zones 1, 2 et 3A
(secteur A03.07)**

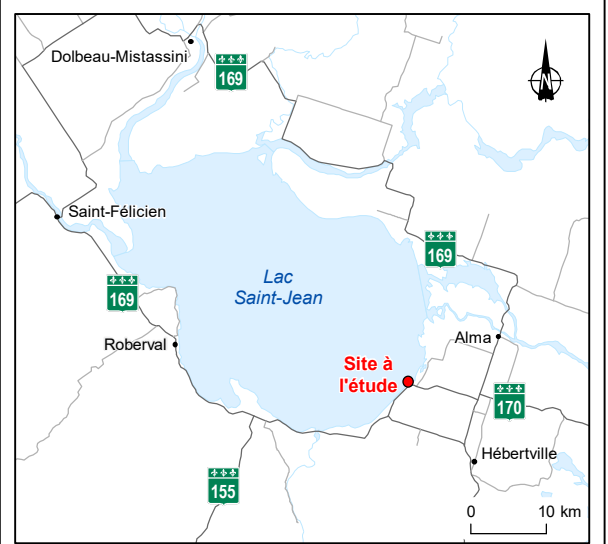
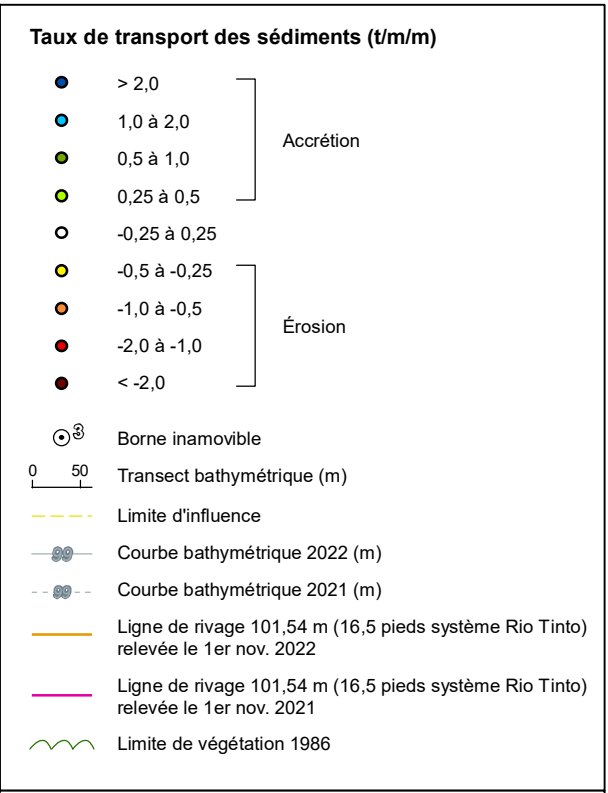
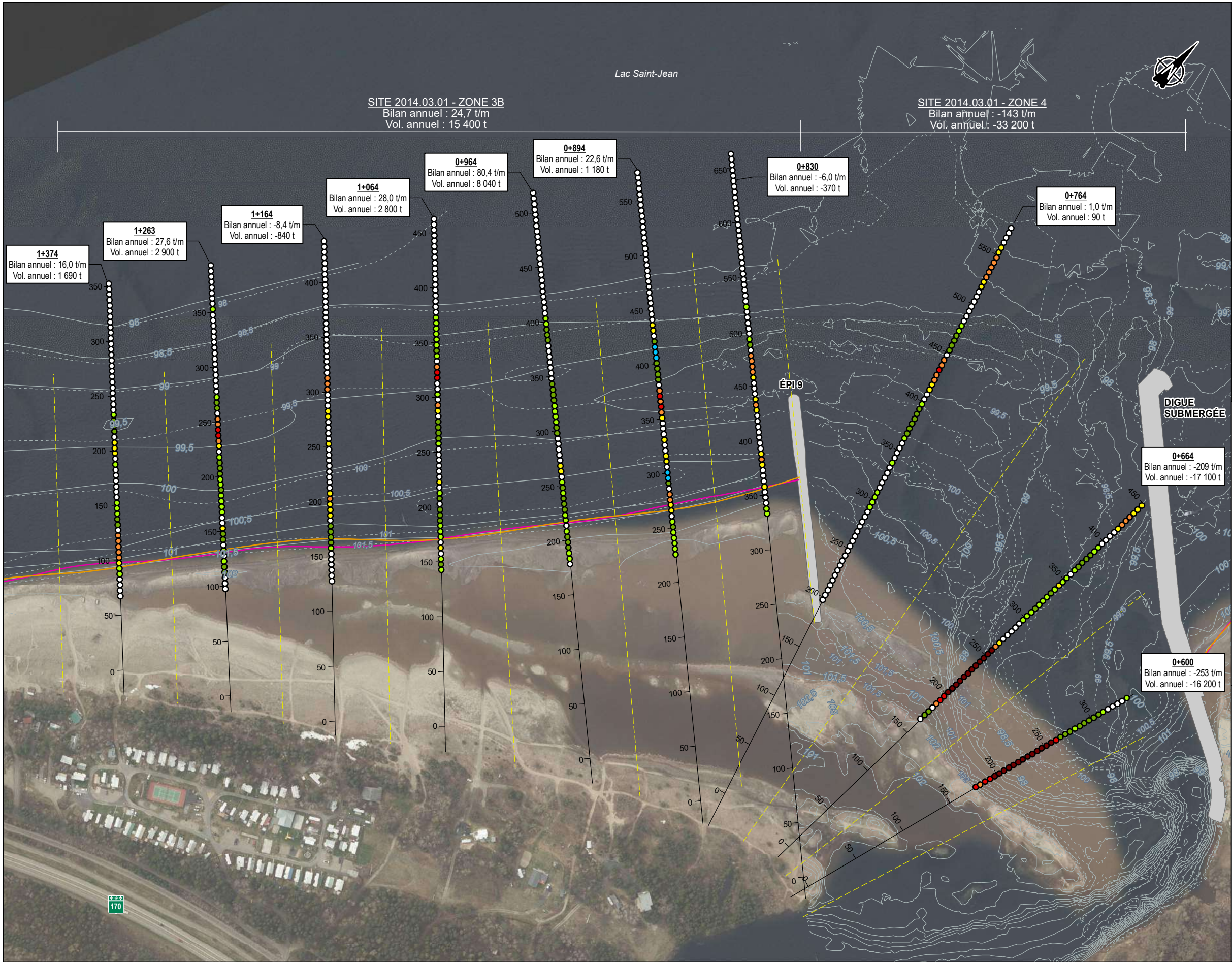
0 27,5 55 82,5 m
1 : 2 750
Projection : MTM, fuseau 7, NAD83

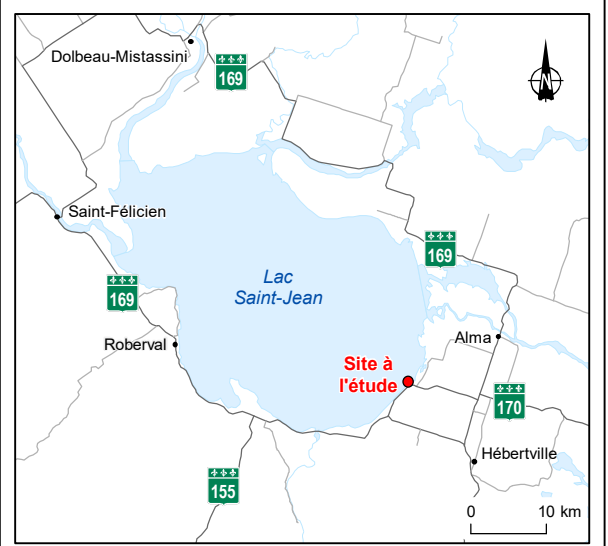
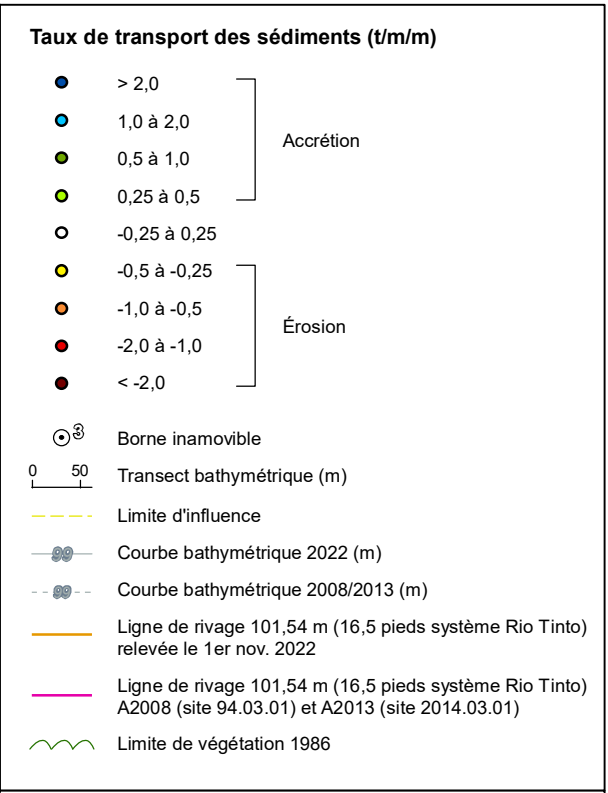
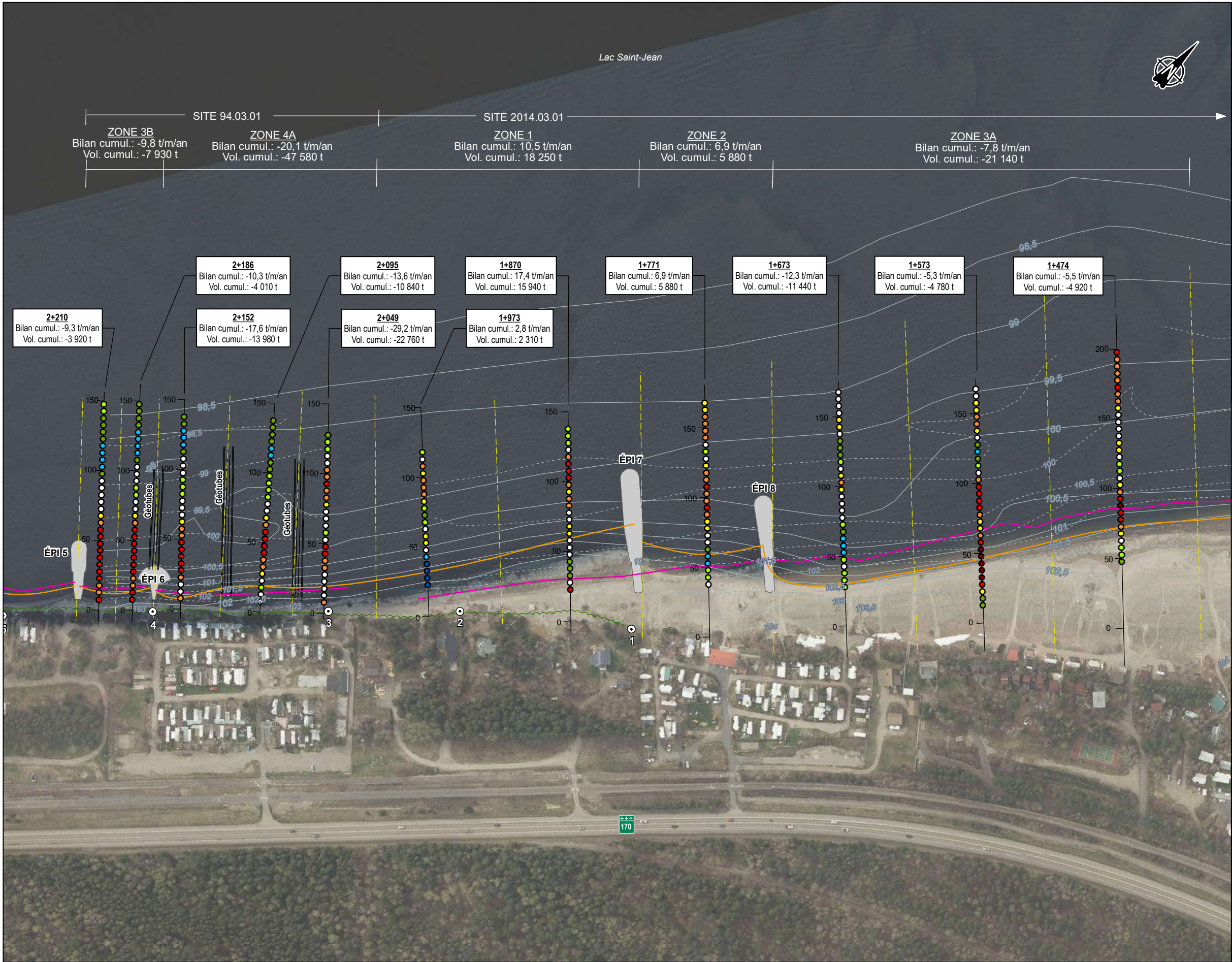
Sources :
Relevés 2022 : Groupe Conseil Nutshimit Nippour, 31 oct. et 1er nov. 2022
Relevés 2021 : Groupe Conseil Nutshimit Nippour, 10 et 11 nov. 2021
Photographie aérienne : Regroupement Saguenay-Lac-St-Jean, 2017

Fichier : 221_11558_ST22_c5_1_940301_20140301_230217.mxd

Février 2023

No. Projet WSP : 221-11558-00





Rio Tinto

Sites 94.03.01 & 2014.03.01
Métabetchouan-Lac-à-la-Croix
Suivi technique 2022

Carte 5.3
Transport sédimentaire cumulatif observé –
Période 2008-2022 (site 94.03.01) et
2013-2022 (site 2014.03.01) –
Sites 94.03.01/2014.03.01, zones 1, 2 et 3A
(secteur A03.07)

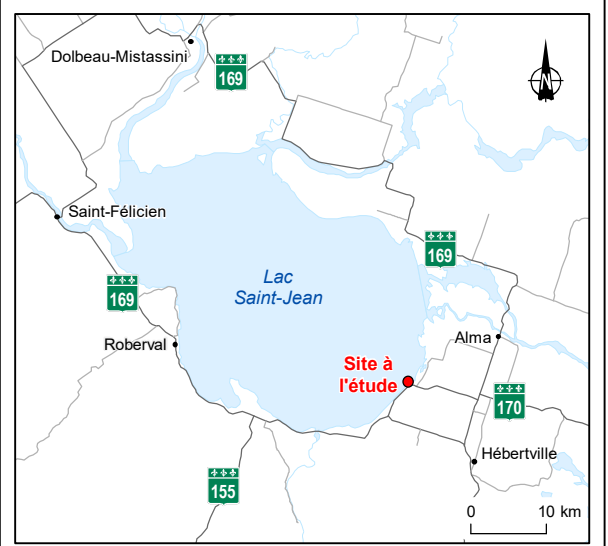
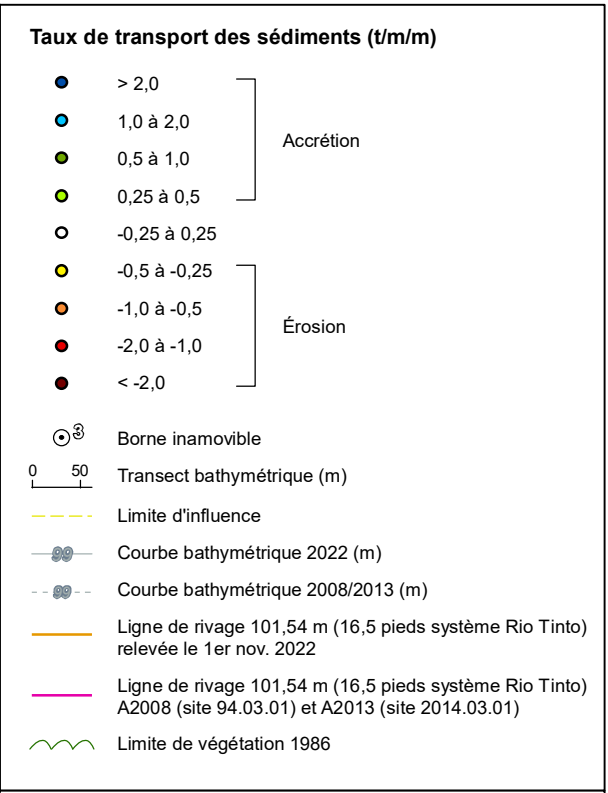
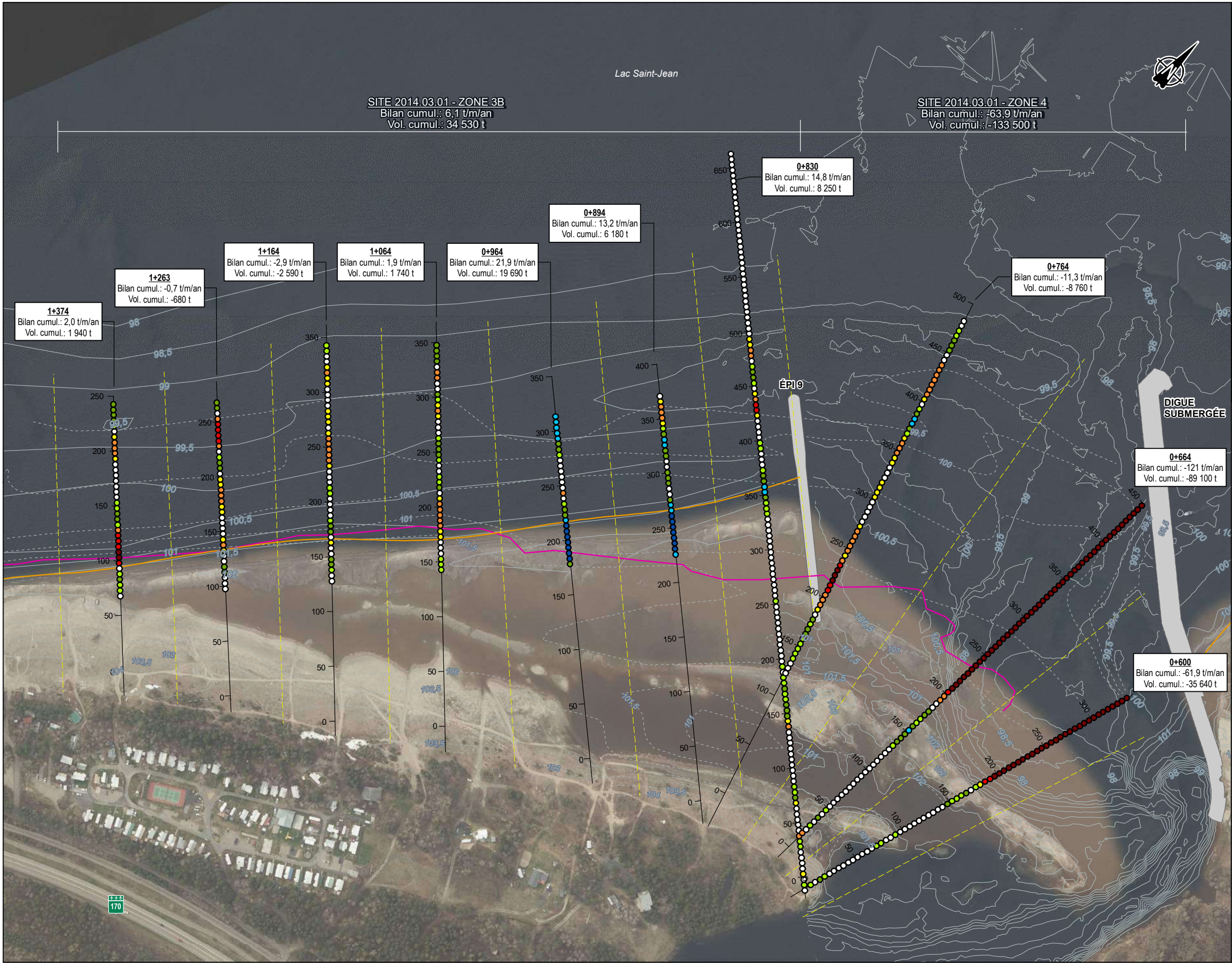
0 27,5 55 82,5 m
1 : 2 750
Projection : MTM, fuseau 7, NAD83

Sources :
Relevés 2022 : Groupe Conseil Nutshimit Nippour, 31 oct. et 1er nov. 2022
Relevés 2008 et 2013 : source non disponible
Photographie aérienne : Regroupement Saguenay-Lac-St-Jean, 2017
Fichier : 221_11558_ST22_c5_3_940301_20140301_230217.mxd

Février 2023

No. Projet WSP : 221-11558-00

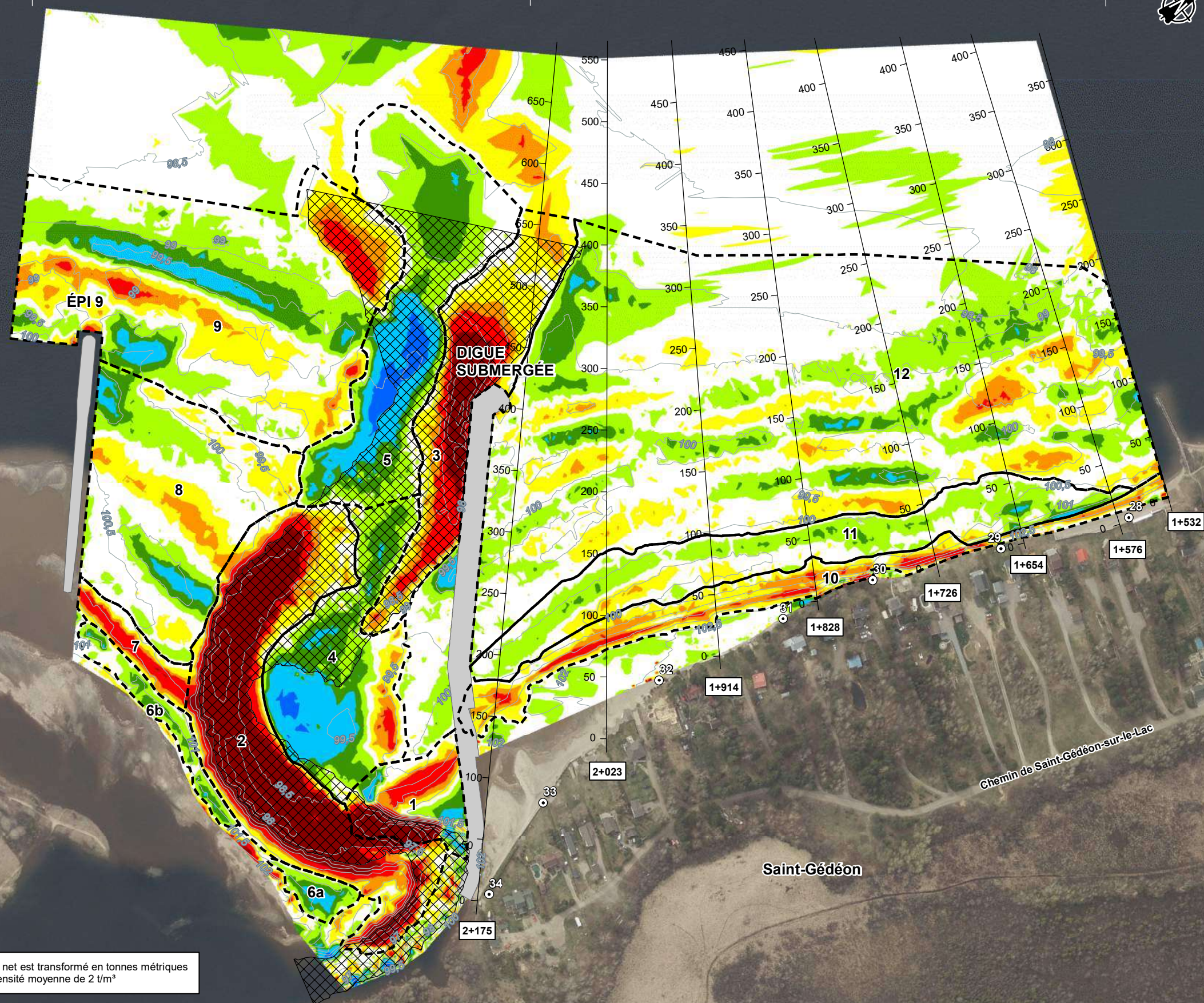
wsp



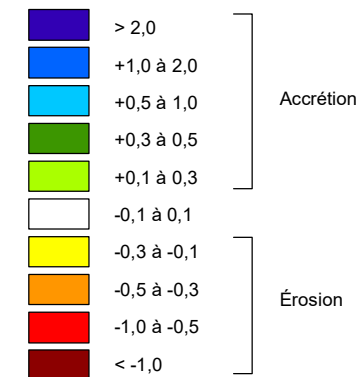
SITE 93.02.02 - ZONE A
Bilan sédimentaire net : -28 500 m³ (-57 000 t *)
Superficie : 232 000 m²

Lac Saint-Jean

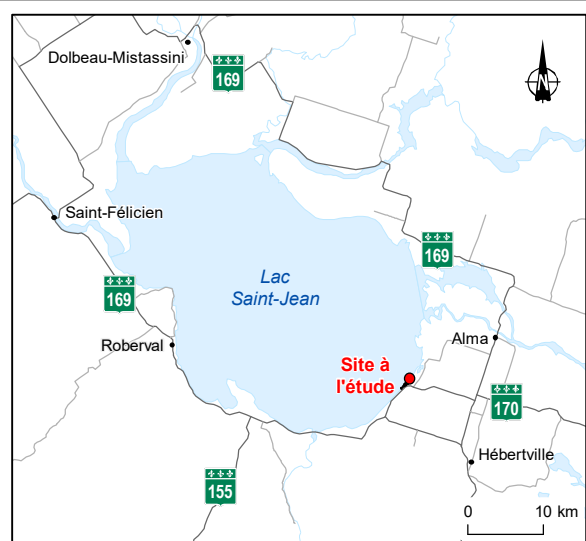
SITE 93.02.02 - ZONE B
Bilan sédimentaire net : +4 600 m³ (+9 200 t *)
Superficie : 229 000 m²



Variation verticale du terrain naturel (m)



- Borne inamovible
- Transect bathymétrique (m)
- Courbe bathymétrique, mai 2022
- Chenal Belle Rivière, mai 2022
- Observation Voir section 5.2.11 du rapport



RioTinto | Site 93-02-02
Saint-Gédéon
Suivi technique 2022

Carte 5.5 Évolution bathymétrique et topographique observée entre novembre 2021 et mai 2022 Site 93.02.02 (secteur A02.07)

0 35 70 105 m
1 : 3 500
Projection : MTM, fuseau 7, NAD83

Sources :
Relevés 2021/11 : Groupe Conseil Nutshimit Nippour, 10 et 11 novembre 2021
Relevés 2022/06 : Groupe Conseil Nutshimit Nippour, 26 et 27 mai 2022
Photographie aérienne : Regroupement Saguenay-Lac-St-Jean, 2017

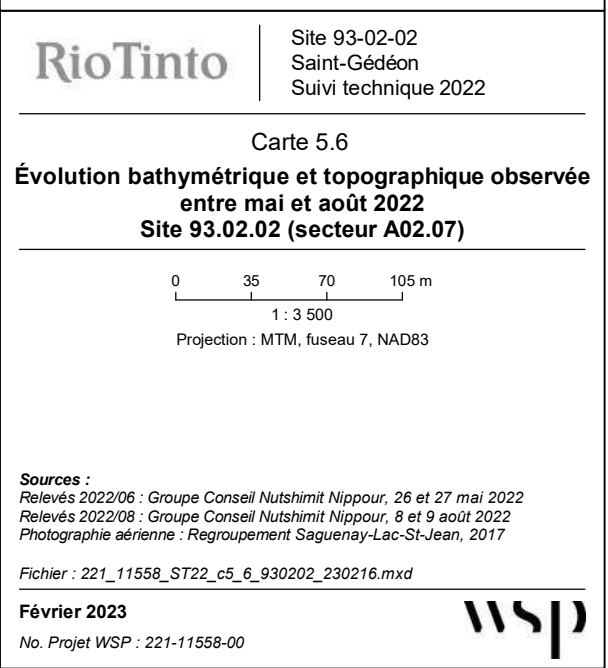
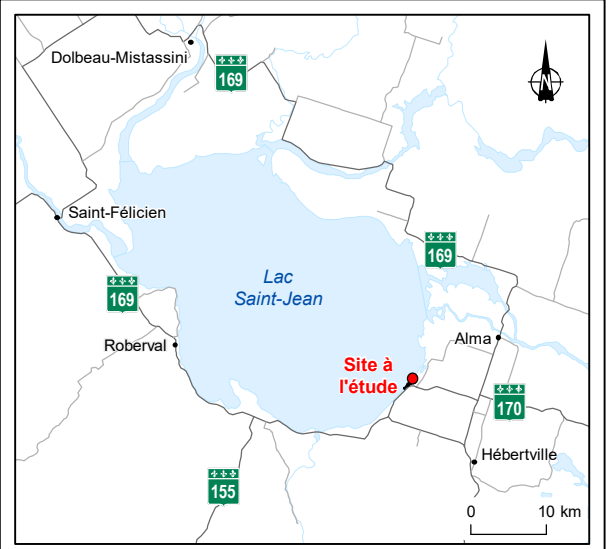
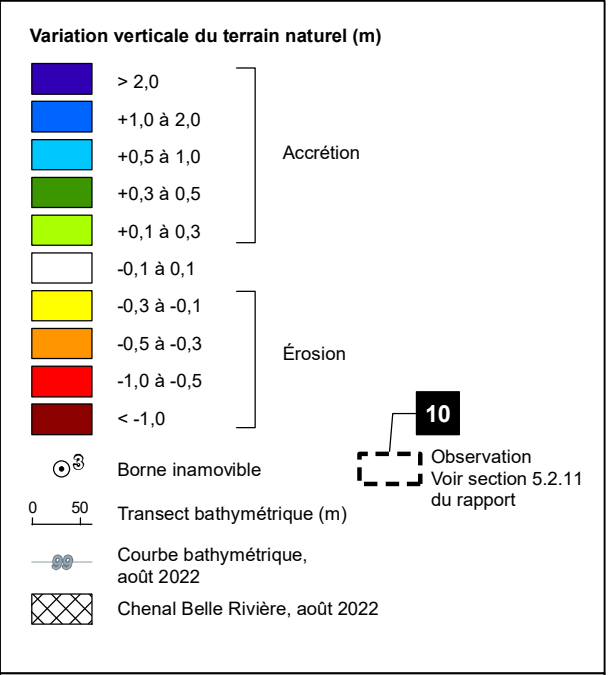
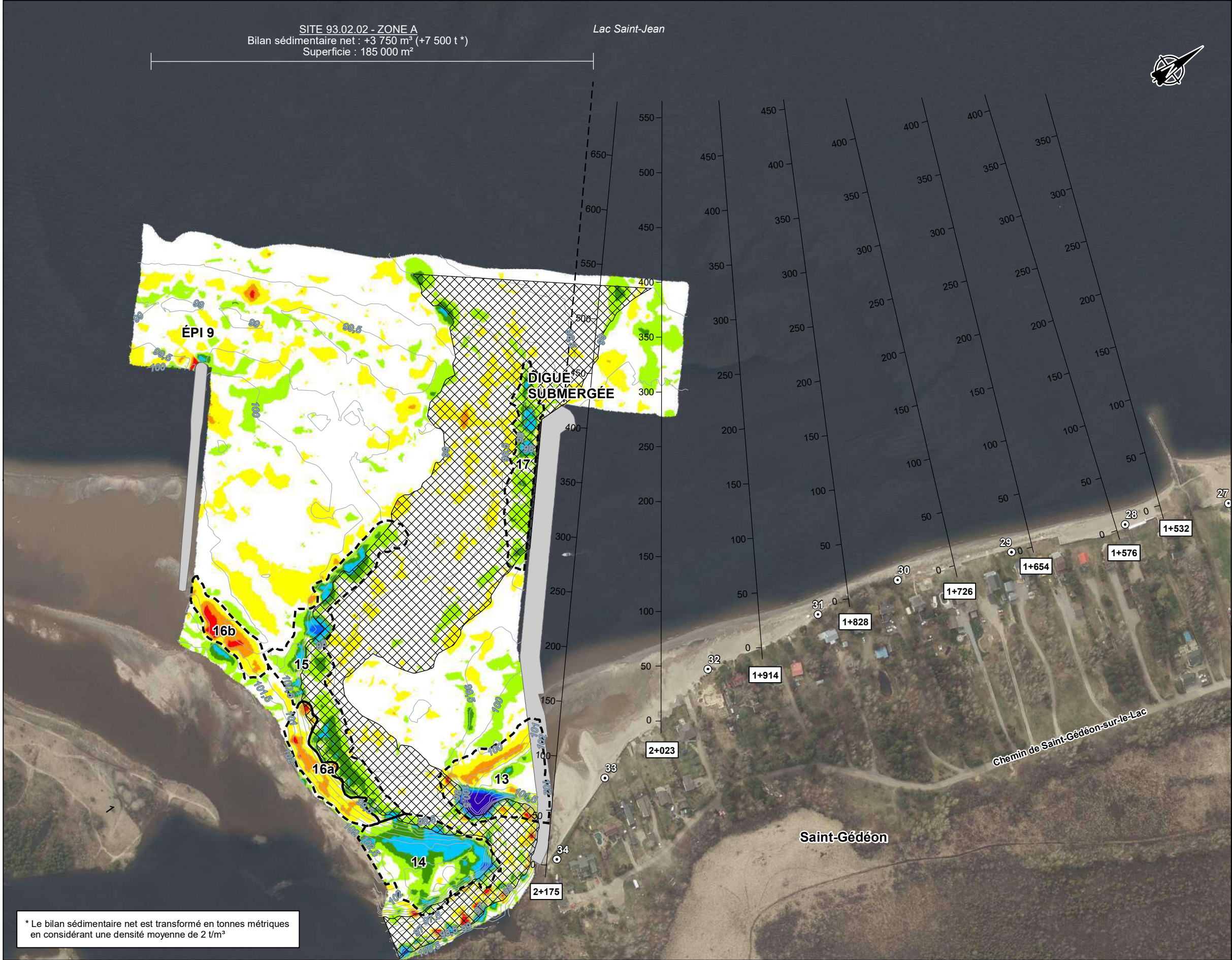
Fichier : 221_11558_ST22_c5_5_930202_230216.mxd

Février 2023

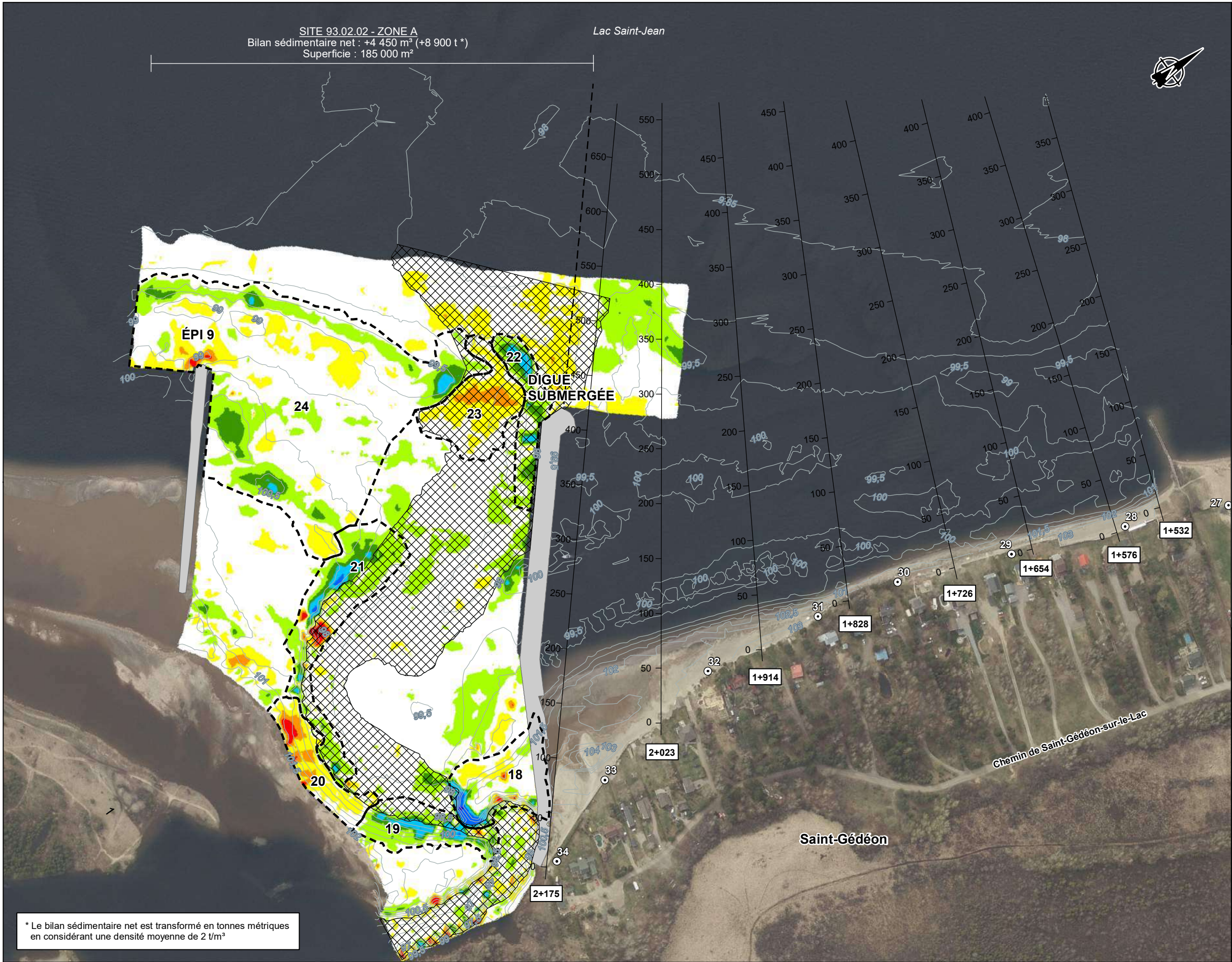
No. Projet WSP : 221-11558-00



* Le bilan sédimentaire net est transformé en tonnes métriques en considérant une densité moyenne de 2 t/m³



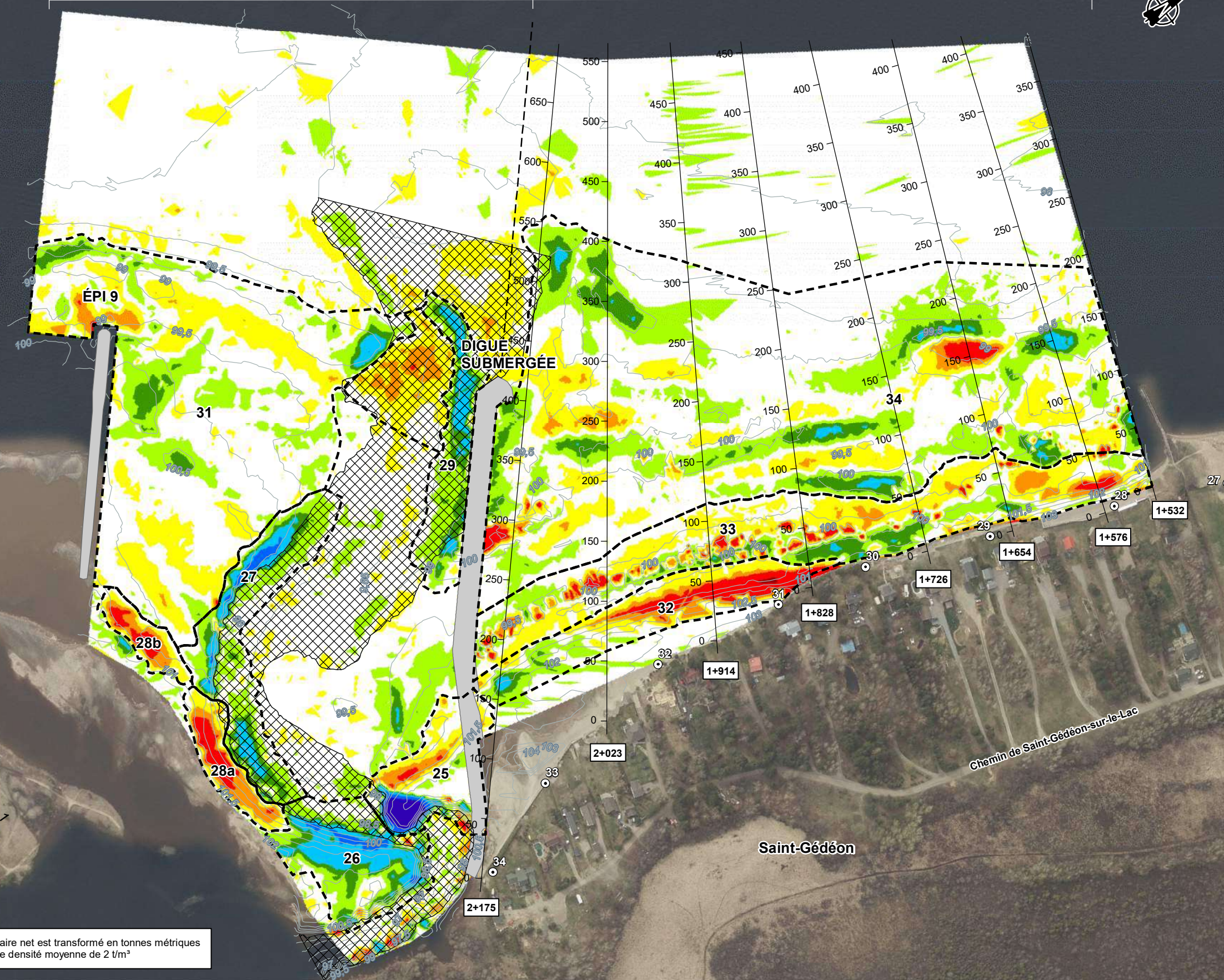
* Le bilan sédimentaire net est transformé en tonnes métriques en considérant une densité moyenne de 2 t/m³



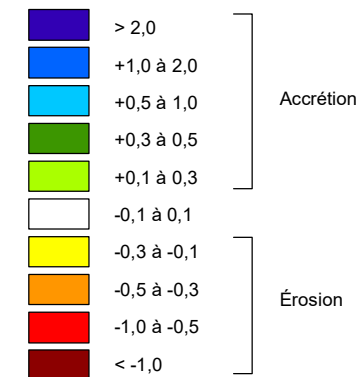
SITE 93.02.02 - ZONE A
Bilan sédimentaire net : +6 750 m³ (+13 500 t *)
Superficie : 232 000 m²

Lac Saint-Jean

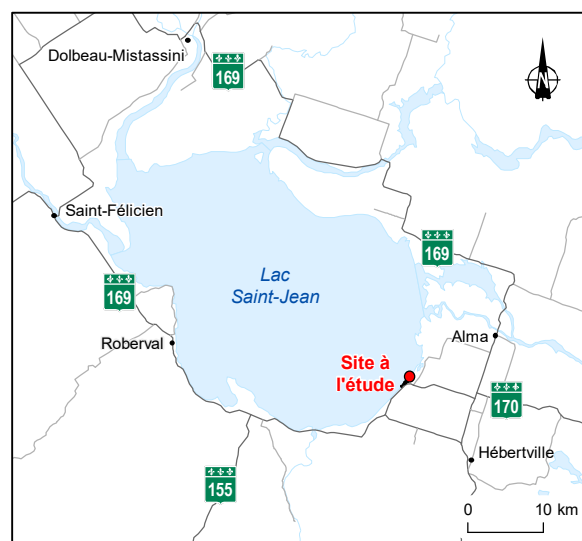
SITE 93.02.02 - ZONE B
Bilan sédimentaire net : +1 600 m³ (+3 200 t *)
Superficie : 229 000 m²



Variation verticale du terrain naturel (m)



- Borne inamovible
- Transect bathymétrique (m)
- Courbe bathymétrique, septembre 2022
- Chenal Belle Rivière, septembre 2022
- Observation Voir section 5.2.11 du rapport



RioTinto | Site 93-02-02
Saint-Gédéon
Suivi technique 2022

Carte 5.8
Évolution bathymétrique et topographique observée
entre mai et septembre 2022
Site 93.02.02 (secteur A02.07)

0 35 70 105 m
1 : 3 500
Projection : MTM, fuseau 7, NAD83

Sources :
Relevés 2022/08 : Groupe Conseil Nutshimit Nippour, 26 et 27 mai 2022
Relevés 2022/09 : Groupe Conseil Nutshimit Nippour, 19 et 20 septembre 2022
Photographie aérienne : Regroupement Saguenay-Lac-St-Jean, 2017

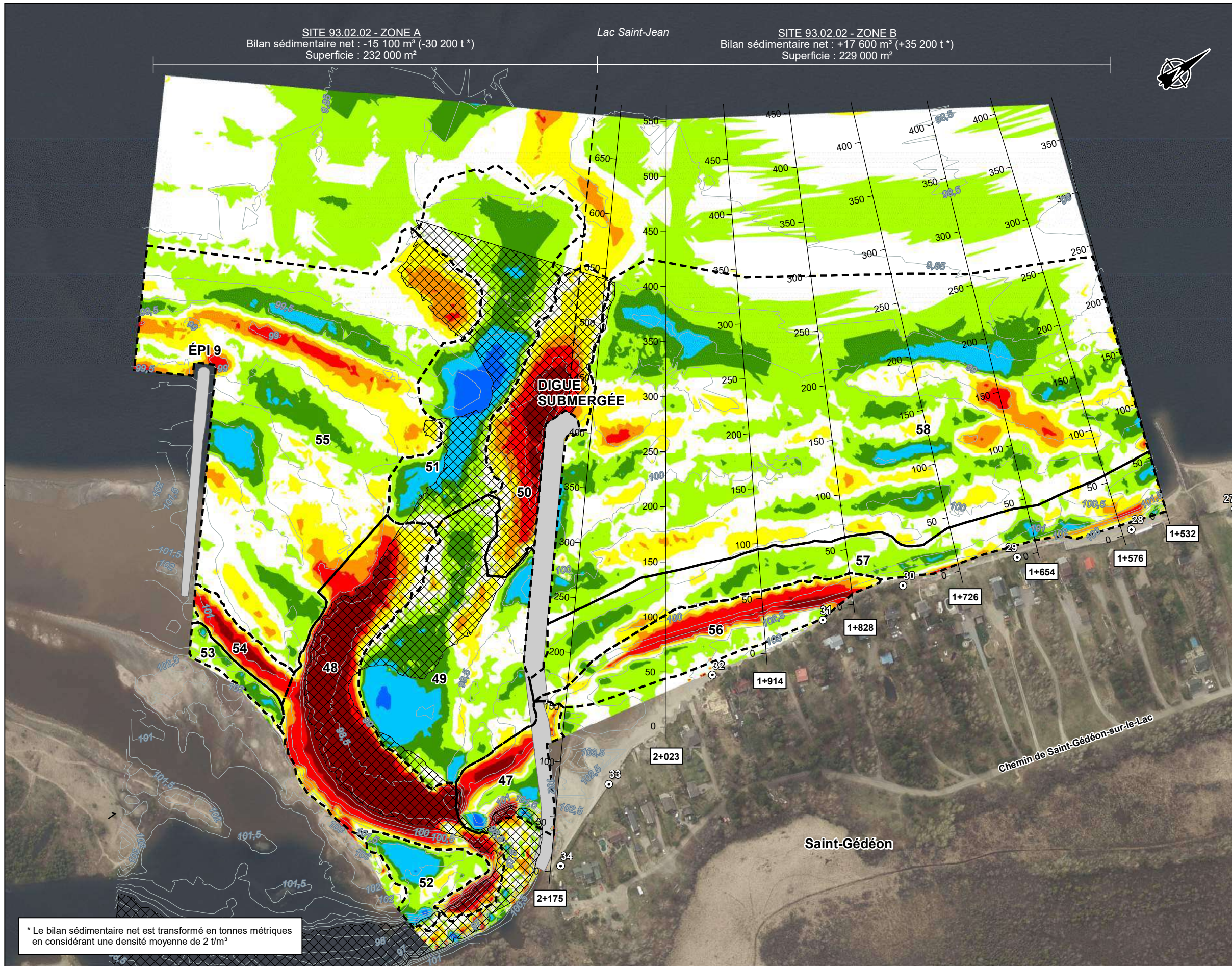
Fichier : 221_11558_ST22_c5_8_930202_230216.mxd

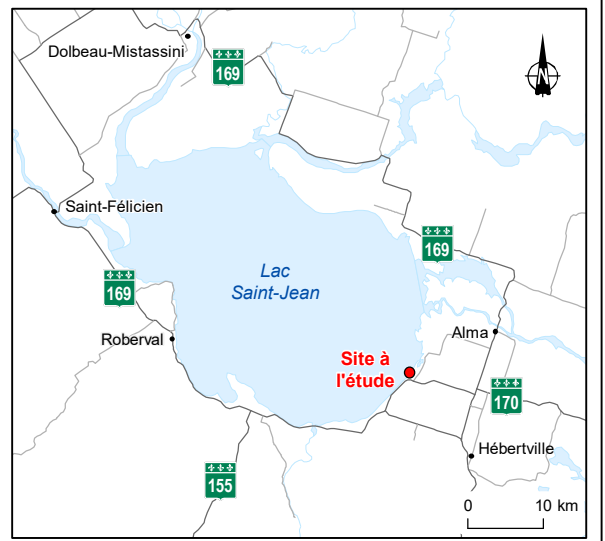
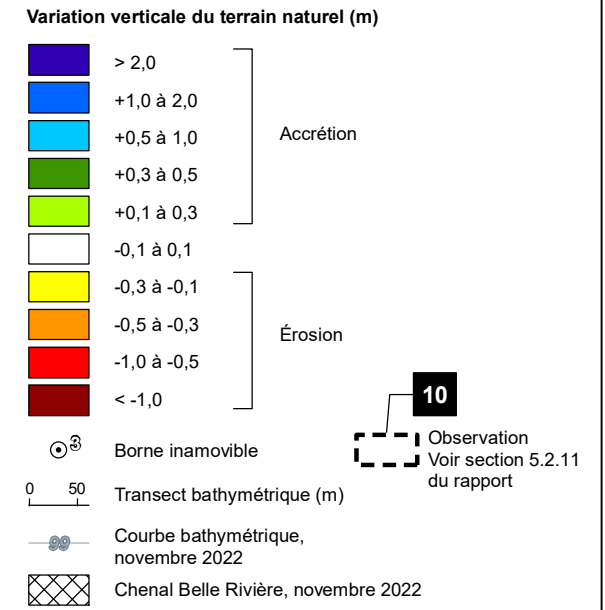
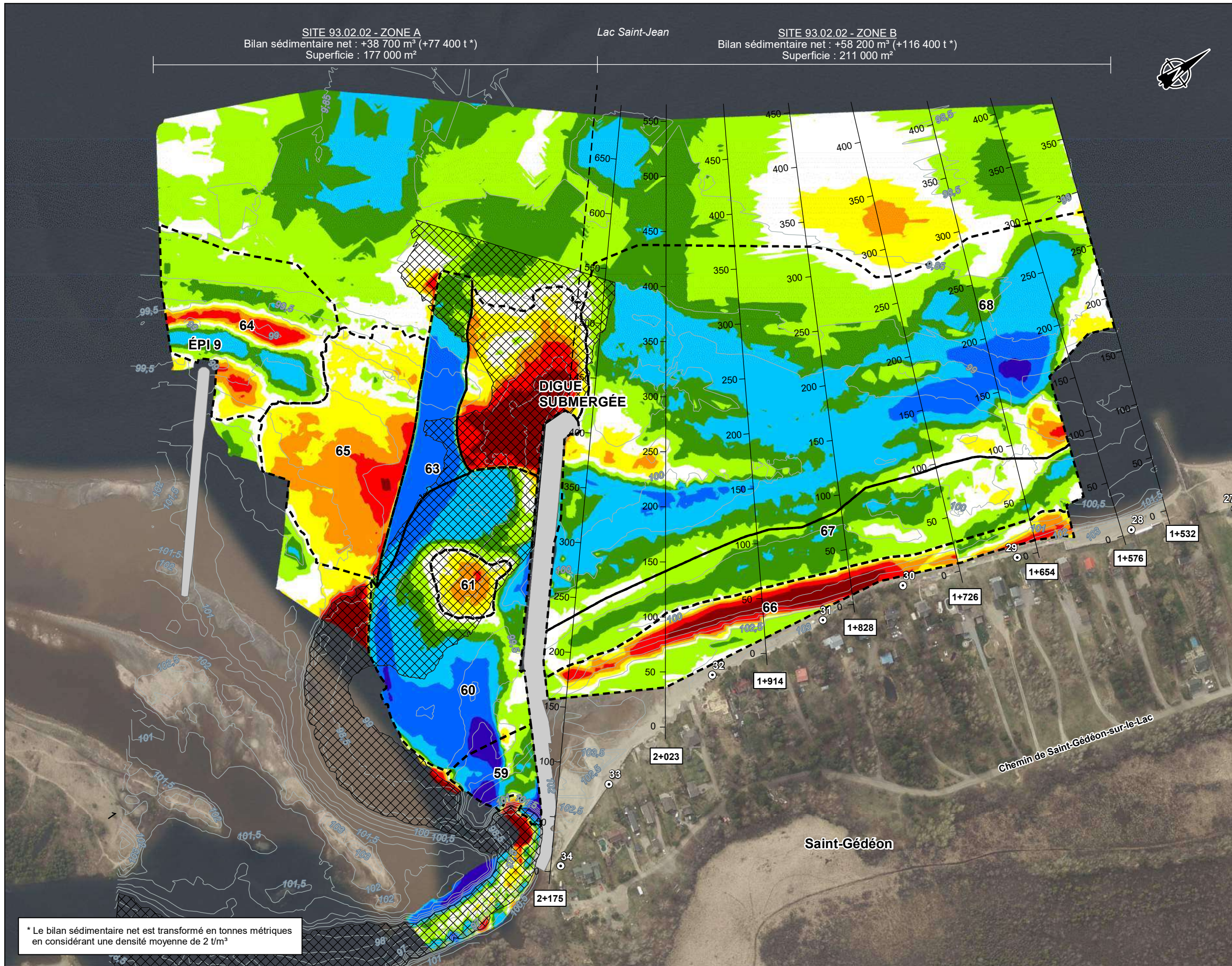
Février 2023

No. Projet WSP : 221-11558-00



* Le bilan sédimentaire net est transformé en tonnes métriques en considérant une densité moyenne de 2 t/m³





RioTinto

Site 93-02-02
Saint-Gédéon
Suivi technique 2022

Carte 5.11
Évolution bathymétrique et topographique observée
entre mars 2019 et novembre 2022
Site 93.02.02 (secteur A02.07)

0 35 70 105 m
1 : 3 500
Projection : MTM, fuseau 7, NAD83

Sources :
Relevés 2019/03 : Excavations G. Larouche, relevés finaux lors des travaux, 25 mars 2019
Relevés 2022/11 : Groupe Conseil Nutshimit Nippour, xxxxx
Photographie aérienne : Regroupement Saguenay-Lac-St-Jean, 2017

Fichier : 221_11558_ST22_c5_11_930202_230216.mxd

Février 2023
No. Projet WSP : 221-11558-00

wsp

* Le bilan sédimentaire net est transformé en tonnes métriques en considérant une densité moyenne de 2 t/m³

Tableau 5.4
Bilans sédimentaires annuels
Sites 94.03.01/2014.03.01 (A03.07)

CHAINAGE		LONGUEUR	TRAVAUX 2022	BILANS SÉDIMENTAIRES OBSERVÉS (t/m)																							MOYENNE SUR TOUTE LA PÉRIODE											
				1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Nombre d'années Période	t/m/an				
Site 94.03.01	Secteur 3B 2+172 à 2+226 Entre les épis 5 et 6	54	RS (42 t/m)	-25.3	-54.8	-61.8		-274.2						-297.3				-30.7	2.5	48.8	-27.8	-91.0	26.3	-20.9	-7.9	26.8	-23.3	-31.9	1.8	13.2	-32.6	14 (1993 à 2007) 6 (2007 à 2013) 9 (2013 à 2022)	-51.0 -12.0 -8.3					
	Secteur 4A 2+014 à 2+172 NE de l'épi 6	158	RS (48 t/m)	-19.9	-16.5	-59.6		-175.4						-204.0				-9.9	-26.2	-51.9	33.2	-126	-8.5	-8.0	-39.1	-10.1	-25.3	-17.9	-21.0	13.8	-4.4	14 (1993 à 2007) 6 (2007 à 2013) 9 (2013 à 2022)	-34.0 -31.5 -12.4					
Site 2014.03.01	Secteur 1 1+820 à 2+014 SO de l'épi 7	194	SI																			25.2	10.8	35.1	32.6	-15.8	-3.0	-0.9	11.7	9 (2013 à 2022)	10.6							
	Secteur 2 1+726 à 1+820 Entre les épis 7 et 8	94	SI																			16.9	-2.4	19.0	24.1	-4.8	-2.2	-0.8	12.8	9 (2013 à 2022)	7.0							
	Secteur 3A 1+424 à 1+726 NE de l'épi 8	302	SI																			-21.1	-34.4	2.9	-31.0	-3.0	-1.4	12.2	5.7	9 (2013 à 2022)	-7.8							
	Secteur 3B 0+800 à 1+424 SO de l'épi 9	624	SI																			27.6	-18.2	13.8	1.5	9.4	4.4	-7.8	24.7	9 (2013 à 2022)	6.2							
	Secteur 4 0+568 à 0+800 NE de l'épi 9	232	SI																			-85.3	-74.6	-71.3	-97.0	-62.7	-35.0	-6.3	-143.2	9 (2013 à 2022)	-63.9							
TOTAL		1 658																																				

LÉGENDE

RG: Rechargement de gravillon
EG: Épi et rechargement de gravillon
RS: Rechargement de sable
ES: Épi et rechargement de sable
BL: Brise-lames
SI: Sans intervention

Tableau 5.5
Bilans sédimentaires annuels
Site 93.02.02 (A02.07)

CHAÎNAGE		LONGUEUR	TRAVAUX 2022	BILANS SÉDIMENTAIRES OBSERVÉS (t/m)								MOYENNE SUR TOUTE LA PÉRIODE	
				2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Nombre d'années Période
		(m)											
Site 93.02.02	Secteur 1	119	SI	8.6	-17.6			-12.2		-16.6	7.6	5 2013 à 2018	-1.8
	1+498 à 1+628 SO de l'épi 2											4 2018 à 2022	-5.3
	Secteur 2	243	SI	-63.1	-213.6			-79.3		-22.8	9.0	5 2013 à 2018	-55.4
	1+628 à 1+871 Devant perré support											4 2018 à 2022	-23.3
	Secteur 3	260	SI	31.4	1.2			18.7		-25.3	-13.4	5 2013 à 2018	6.5
	1+871 à 2+275 NE de digue submergée											4 2018 à 2022	-5.0
TOTAL		622											

L É G E N D E

RG: Rechargement de gravillon
EG: Épi et rechargement de gravillon
RS: Rechargement de sable
ES: Épi et rechargement de sable
REx: Rechargement avec surplus d'excavation
BL: Brise-lames
DI: Digue submergée
SI: Sans intervention

5.2.1 SITE 94.03.01 – SECTEUR 3B : ENTRE LES ÉPIS 5 ET 6 (CH. 2+172 À 2+226)

Deux profils transversaux sont utilisés pour caractériser l'évolution de la plage entre les épis 5 et 6 (ch. 2+210 et 2+186). Historiquement, une érosion moyenne d'environ -51 t/m/an a été observée dans ce secteur entre 1994 et 2007 (Tableau 5.4). Depuis la mise en place des épis en géotubes en 2008, les bilans sédimentaires oscillent entre accumulation et érosion.

Les relevés de 2022 indiquent une perte nette annuelle de -32,6 t/m, ou -1 760 tonnes, sur le tronçon (Carte 5.1). Environ 2 260 tonnes de sédiments ont toutefois été déposées dans ce secteur lors du rechargement effectué à l'hiver 2022. La plage conservait alors 500 tonnes (22 %) des matériaux déposés.

Les gains demeurent visibles sur la partie supérieure des profils transversaux (annexe B), au-dessus de l'élévation 102,0 m, ainsi qu'au pied de la plage, sous le niveau 99,5 m. Dans la zone de baignade estivale (entre 99,5 et 102,0), le profil de la plage demeurerait comparable à celui de 2021. Les pertes de sédiments se sont quant à elles davantage concentrées au niveau des barres infralittorales à environ 60 m du rivage.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux d'érosion moyen annuel à -8,3 t/m/an pour la période 2013-2022 (Tableau 5.4). Le volume total de sédiments étant sorti du système d'épis au cours de ces années est d'environ 7 930 tonnes (Carte 5.3), ce qui correspond approximativement à environ 1,6 fois le volume des rechargements réalisés pendant cette période (5 060 tonnes).

5.2.2 SITE 94.03.01 – SECTEUR 4A : AU NORD-EST DE L'ÉPI 6 (CH. 2+014 À 2+172)

L'évolution de la plage au nord-est de l'épi 6 est caractérisée à l'aide de trois profils transversaux : un entre chaque paire d'épis en géotubes (ch. 2+152 et 2+095) et un au nord-est des ouvrages (ch. 2+049). Historiquement, une érosion moyenne d'environ -34,0 t/m/an a été documentée sur l'ensemble du secteur entre 1993 et 2007 (Tableau 5.4). Une analyse individuelle des profils révèle cependant que les taux d'érosion n'étaient pas uniformes, mais plutôt très élevés proche de l'épi 6 et progressivement plus faibles vers le nord-est (Tableau 5.6). La dérive des matériaux érodés aurait été responsable de cette dynamique.

Les données recueillies dans le cadre du récent suivi indiquent que la période 2021-2022 a été caractérisée par une érosion entre les géotubes 1 et 2 (profil 2+152), puis une accumulation entre les géotubes 2 et 3 (profil 2+095) et au nord-est (profil 2+049). Les matériaux en surplus proviendraient de la dérive des sédiments érodés dans les secteurs adjacents au sud-ouest.

Malgré les gains, le taux de transport moyen annuel pour le secteur demeurerait légèrement négatif et s'élevait à -4,4 t/m, ou -690 tonnes (Carte 5.1). En considérant les 7 640 tonnes de sédiments mis en place dans le secteur lors du rechargement effectué à l'hiver 2022, la plage conservait alors 6 680 tonnes (87 %) des matériaux déposés.

De façon similaire au secteur précédent, l'analyse graphique des profils transversaux (annexe B) indique que des accumulations demeureraient présentes sur la partie supérieure de la plage, au-dessus de l'élévation 100,5 m. Les profils 2+095 et 2+049 sont particulièrement

éloquents à cet effet. Une accumulation importante était également présente au pied de la plage devant le profil 2+095, environ 60 m au large.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux d'érosion moyen annuel à -12,4 t/m/an pour la période 2013-2022 (Tableau 5.4), soit 64 % de moins que le taux moyen historique. Le volume total de sédiments étant sorti du système d'épis entre 2008 et 2022 serait de 47 580 tonnes (Carte 5.3), ce qui correspond à environ 5 000 tonnes de plus que le volume des rechargements réalisés pendant cette période (42 600 tonnes).

L'analyse détaillée des bilans sédimentaires de chaque profil (Tableau 5.6) illustre l'impact des structures (épis en géotubes et épis en enrochement) sur la dynamique hydrosédimentaire du secteur. La mise en place des géotubes a permis de ralentir la perte de matériaux au nord-est de l'épi 6 (profil 2+152), mais l'érosion s'est intensifiée au nord-est des épis en géotubes (profil 2+049). Le taux de transport au chaînage 2+049 demeurerait toutefois plus faible que celui observé au chaînage 2+152 avant la mise en place des géotubes; ce dernier étant indicateur du taux d'érosion anticipé sur un tronçon de plage non protégée en aval d'épis conventionnels dans ce secteur. Globalement, le taux de transport moyen pour l'ensemble du secteur a subi une légère réduction de 7 %.

L'ajout des épis 7 et 8 au nord-est (site 2014.03.01) semble quant à lui avoir eu un effet plus marqué sur les taux de transport devant les épis en géotubes. Les analyses cumulatives constatent une diminution de l'érosion au droit de chaque profil et le taux de transport moyen a subi une réduction de 64 % par rapport à la période de référence (1993-2007).

Tableau 5.6 Évolution des taux de transport sédimentaire moyens annuels au nord-est de l'épi 6

PROFIL	TAUX DE TRANSPORT SÉDIMENTAIRE MOYEN ANNUEL ¹ (t/m/an)		
	PÉRIODE 1993-2007 (avant la mise en place des épis en géotubes)	PÉRIODE 2007-2013 (après la mise en place des épis en géotubes)	PÉRIODE 2013-2022 (après la mise en place des épis 7 et 8 (site 2014.03.01))
2+152	-88,3	-23,3	-13,8
2+095	-29,7	-28,0	-4,0
2+049	-6,9	-43,5	-19,6
MOYENNE	-34,0	-31,5	-12,4

¹ Valeurs calculées à partir des taux présentés sur les Figures 5.1 et 5.2.

5.2.3 SITE 2014.03.01 – SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 7 (CH. 1+820 À 2+014)

Deux profils transversaux sont utilisés pour caractériser l'évolution de la plage au sud-ouest de l'épi 7 (ch. 1+973 et 1+870). Les relevés effectués en 2022 indiquent qu'une accumulation de matériaux y aurait été observée au cours de la dernière année, avec un taux moyen de +11,7 t/m, ou un volume de +2 270 tonnes (Carte 5.1). Les matériaux proviendraient de la dérive des sédiments érodés dans les secteurs adjacents au sud-ouest. Le volume d'accumulation est d'ailleurs comparable au volume d'érosion constaté dans le secteur des épis en géotubes (-1 760 tonnes (zone 3B) - 690 tonnes (zone 4A) = -2 450 tonnes).

Les profils présentés à l'annexe B indiquent que les accumulations se sont principalement concentrées dans la zone de baignade estivale, entre les élévations 100,0 et 102,0 m. Le haut

de la plage a progressé d'environ 5 m devant le profil 1+973 et 2 m devant le profil 1+870. Des accumulations secondaires se sont également produites environ 120 m au large, à une élévation de 99,0 m.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux d'accumulation moyen annuel à +10,6 t/m/an pour la période 2013-2022 (Carte 5.3). Le volume total de sédiments captés par l'épi au cours de ces années s'élève alors à +18 250 tonnes. Cette quantité correspond à 68 % du volume des rechargements réalisés au sud-ouest de l'ouvrage pendant la même période (26 900 tonnes). La portion restante des matériaux aurait contourné l'extrémité de l'épi et poursuivi sa dérive vers le nord-est.

5.2.4 SITE 2014.03.01 – SECTEUR 2 : ENTRE LES ÉPIS 7 ET 8 (CH. 1+726 À 1+820)

L'évolution de la plage entre les épis 7 et 8 est caractérisée à l'aide d'un seul profil transversal (1+771). Les relevés de 2022 indiquent une accumulation de +12,8 t/m à cet endroit au cours de la dernière année, soit un volume d'environ +1 200 tonnes (Carte 5.1). L'analyse graphique des profils (annexe B) révèle toutefois que l'accrétion était distribuée relativement uniformément sur l'ensemble du profil et que la section transversale n'a pas changé beaucoup par rapport à 2021.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux d'accumulation moyen annuel à +6,9 t/m/an pour la période 2013-2022 (Carte 5.3). Le volume total de sédiments captés entre les épis au cours de ces années serait donc d'environ +5 880 tonnes.

5.2.5 SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3A : AU NORD-EST DE L'ÉPI 8 (CH. 1+424 À 1+726)

Trois profils transversaux sont utilisés pour caractériser l'évolution de la plage au nord-est de l'épi 8 (profils 1+673, 1+573 et 1+474). Les relevés effectués en 2022 indiquent qu'une accumulation moyenne de +5,7 t/m a été observée dans ce secteur au cours de la dernière année, ce qui représente un volume d'environ 1 730 tonnes (Carte 5.1). L'analyse graphique des profils (annexe B) indique pour sa part que les sédiments se sont principalement déposés au pied de la plage, sous l'élévation 100,5 m. Le haut de la plage a quant à lui peu évolué.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux d'érosion moyen annuel à -7,8 t/m/an pour la période 2013-2022 (Carte 5.3). Le volume total de sédiments ayant quitté la zone d'analyse au cours de ces années serait donc d'environ -21 140 tonnes.

Il convient de souligner qu'un bilan cumulatif négatif demeure normal dans ce secteur, en raison de la construction des épis 7 et 8, qui a interrompu la dérive de sédiments sur le haut de la plage. L'évolution des profils transversaux et des bilans sédimentaires des dernières années indique toutefois une certaine stabilisation de la plage, alors que le trait de côte converge vers son nouvel état d'équilibre.

5.2.6 SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3B : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 9 (CH. 0+800 À 1+424)

L'évolution de la plage au sud-ouest de l'épi 9 est caractérisée via sept profils transversaux (1+374 à 0+830). Les relevés de 2022 indiquent que la dynamique hydrosédimentaire annuelle a favorisé une accumulation moyenne +24,7 t/m dans ce secteur, ce qui représente un volume de +15 400 tonnes (Carte 5.2).

L'analyse graphique des profils (annexe B) indique pour sa part que les déplacements de matériaux se sont produits à des niveaux différents devant chaque profil, sans tendance distinctive particulière. De façon générale, le haut de la plage, au-dessus de l'élévation 101,0 m, a peu changé, alors que le pied de la plage a vu une migration et un remodelage des barres infralittorales.

Au cumulatif, le secteur conserve un bilan sédimentaire positif, avec un taux d'accumulation moyen annuel de +6,1 t/m/an pour la période 2013-2022 (Carte 5.4), ou un volume net d'environ +34 530 tonnes. Ces accumulations sont principalement concentrées à proximité de l'épi 9 (profils 0+964 à 0+830).

5.2.7 SITE 2014.03.01 – SECTEUR 4 : AU NORD-EST DE L'ÉPI 9 (CH. 0+568 À 0+800)

Au nord-est de l'épi 9, trois profils transversaux sont utilisés pour caractériser l'évolution de la plage (profils 0+764, 0+664 et 0+600). Les relevés de 2022 continuent d'indiquer que le secteur demeure en érosion, avec un taux de transport moyen annuel de -143 t/m, ou une perte d'environ -33 200 tonnes (Carte 5.2). La perte de matériaux s'est principalement concentrée au droit des profils 0+664 et 0+600 et aurait visiblement été occasionnée en grande partie par la migration du chenal d'écoulement de la Belle Rivière lors de la crue printanière (voir section 5.2.11).

Il convient de souligner que les bilans sédimentaires évalués à l'aide de ces profils sont surtout présentés à titre indicatif, par souci de continuité avec les suivis techniques précédents. Le lecteur est plutôt invité à se référer à la section 5.2.11 du rapport pour obtenir des quantités d'accumulation et d'érosion plus précises et plus représentatives de l'évolution des lieux pour différentes périodes de références.

L'analyse graphique des profils (annexe B) témoigne du caractère hautement dynamique du secteur. Les profils 0+664 et 0+600 indiquent un déplacement d'environ 50 à 60 m du chenal d'écoulement de la Belle Rivière vers le secteur de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. L'effacement d'un des cordons littoraux sur la langue de sable reliant l'épi 9 à l'embouchure de la rivière est également visible sur le profil 0+600.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux d'érosion moyen annuel à -63,9 t/m/an pour la période 2013-2022 (Carte 5.4). Le volume total de sédiments ayant quitté la zone d'analyse au cours de ces années serait donc d'environ -133 500 tonnes.

5.2.8 SITE 93.02.02 – HAUT DE LA PLAGE, SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L'ÉPI 2 (CH. 1+498 À 1+628)

Deux profils transversaux sont utilisés pour caractériser l'évolution de la plage au sud-ouest de l'épi 2 (ch. 1+532 et 1+576). Les relevés de 2022 indiquent un gain annuel moyen de +7,6 t/m, ou +900 tonnes sur le tronçon (Tableau 5.5). L'analyse graphique des profils transversaux (annexe B) révèle cependant que l'accrétion s'est davantage concentrée au pied de la plage, sous les élévations 101,0 m (ch. 1+532) et 100,5 (ch. 1+576). Une légère régression de la plage a quant à elle été observée au-dessus de ces élévations.

Historiquement, ce tronçon de plage était caractérisé par un taux de transport relativement neutre (-1,8 t/m/an). Les bilans sédimentaires effectués depuis 2019 indiquent plutôt que les taux de transport varient entre des valeurs positives et négatives. Ce résultat suggère que le secteur demeure sensible aux conditions de vagues observées pendant la période d'eau libre. Étant donné la présence de l'épi 2 (épi Kiwanis) au nord-est, des accumulations seraient observées lorsque l'orientation des vagues favorise un transport dominant vers le nord-est et de l'érosion serait observée lorsque l'orientation des vagues favorise un transport dominant vers le sud-ouest.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux de transport moyen annuel à -5,3 t/m/an pour la période 2018-2022 (Tableau 5.5). Le volume total de sédiments ayant quitté la zone d'analyse se chiffre à environ -3 600 tonnes.

5.2.9 SITE 93.02.02 – HAUT DE LA PLAGE, SECTEUR 2 : DEVANT LE PERRÉ DE SUPPORT (CH. 1+628 À 1+871)

L'évolution de la plage devant le perré de support est caractérisée à l'aide de trois profils transversaux (ch. 1+654, 1+726 et 1+828). En 2022, un gain annuel moyen de +9,0 t/m, ou +2 200 tonnes, a été observé (Tableau 5.5). Il s'agit de la première année depuis 2014 où un bilan positif est constaté.

L'analyse détaillée des profils révèle cependant une variation importante des taux de transport le long du tronçon (Figure 5.3c et Tableau 5.7), avec une forte accumulation à l'extrémité nord-est (ch. 1+654), diminuant au centre (ch. 1+726), puis se transformant en érosion à l'extrémité sud-ouest (ch. 1+828). Cette dynamique est opposée à celle observée en 2021 (WSP, 2022c) et résulte probablement d'une variation naturelle des conditions de vagues et de leur orientation dominante. Le bilan concrétise, malgré tout, la diminution des taux d'érosion observée aux trois profils depuis 2019.

Tableau 5.7 Évolution des taux de transport sédimentaire moyens dans le secteur 2, site 93.02.02.

PROFIL	TAUX DE TRANSPORT SÉDIMENTAIRE MOYEN ANNUEL ¹ (t/m/an)		
	PÉRIODE 2013-2018 (avant redressement Belle Rivière)	PÉRIODE 2019-2022 (après redressement Belle Rivière)	ANNÉE 2022
1+654	-30,2	-18,5 (-39 %)	+48,2
1+726	-61,0	-20,1 (-67 %)	+7,0
1+828	-66,8	-29,4 (-56 %)	-15,0
MOYENNE	-55,4	-23,3 (-58 %)	+9,0

¹ Valeurs calculées à partir des taux présentés sur les Figures 5.2 et 5.3.

L'analyse graphique des profils transversaux révèle pour sa part que les accumulations se sont davantage concentrées au pied de la plage, sous les élévations 101,0 m (ch. 1+654 et 1+726) et 100,4 m (ch. 1+828). Le haut de la plage est quant à lui demeuré stable aux profils 1+654 et 1+726, considérant la présence du perré de support qui avait été atteint à l'automne 2021 (WSP, 2022c) et qui limite le recul pouvant s'y produire. Une régression a pour sa part été observée au profil 1+828. L'effacement de la plage atteint maintenant le perré de support à cet endroit.

La présence du perré de support exposé sur le haut de la plage a pour effet de diminuer la quantité de sédiments pouvant être mobilisés sur ce tronçon, ce qui peut entraîner ou exacerber les déficits d'apports dans les secteurs adjacents. En l'absence du perré de support, des taux d'érosion plus élevés seraient observés dans ce secteur.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux de transport moyen annuel depuis les travaux de redressement de l'embouchure de la Belle Rivière à -23,3 t/m/an (Tableau 5.5). L'amélioration constatée dans le cadre des suivis précédents (WSP, 2021 et 2022), par rapport au taux de transport historique de -55,4 t/m/an, semble donc se maintenir et se chiffre maintenant à près de 60 %. Le volume total de sédiments ayant été perdu dans la zone d'analyse entre 2018 et 2022 est évalué à environ -22 800 tonnes.

5.2.10 SITE 93.02.02 – HAUT DE LA PLAGE, SECTEUR 3 : AU NORD-EST DE LA DIGUE SUBMERGÉE (CH. 1+871 À 2+275)

Trois profils transversaux sont utilisés pour caractériser l'évolution de la plage au nord-est de la digue submergée (ch. 1+914, 2+023 et 2+175). En 2022, une perte annuelle nette de -13,4 t/m de sédiments, ou -3 500 tonnes, a été constatée sur ce tronçon de la plage. Bien que plus faible que le taux de transport de 2021, le bilan s'inscrit en continuité avec la tendance érosive observée depuis quelques années. Avant les travaux de redressement de l'embouchure de la Belle Rivière effectués à l'hiver 2019, une tendance à l'accumulation était plutôt observée, avec un taux de transport annuel moyen de +6,5 t/m/an (période 2013 à 2018).

Une analyse détaillée des profils (Figure 5.3c) révèle pour sa part que l'érosion a été plus sévère à l'extrémité nord-est du secteur (profil 1+914) qu'à l'extrémité sud-ouest (profil 2+175). L'analyse graphique des sections transversales (annexe B) confirme par ailleurs un recul du haut de la plage (au-dessus de l'élévation 100,0 m) de l'ordre de -8 à -9 m aux profils 1+914 et 2+023, alors qu'il n'est que d'environ -2 m au profil 2+175.

Le comportement hydrosédimentaire du secteur, avec des taux d'érosion diminuant progressivement dans le même sens que la direction dominante de la dérive littorale, semble correspondre à celui d'une zone sous l'influence d'un déficit d'apports sédimentaires. Historiquement, le secteur bénéficiait d'une dérive continue des matériaux de rechargement déposés dans le secteur 2. Aujourd'hui, avec la suspension des rechargements et l'effacement de la plage devant le perré de support, les apports se trouvent réduits et vraisemblablement inférieurs à la capacité de transport effective le long du littoral. Les secteurs « amont » servent alors à combler le déficit de quantités. Advenant la mise en place d'un nouveau rechargement dans le secteur 2, il est probable que des bilans sédimentaires positifs seraient retrouvés dans le secteur 3.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux de transport moyen annuel à -5,0 t/m/an pour la période 2018-2022 (Tableau 5.5). Le volume total de sédiments ayant quitté la zone d'analyse se chiffre alors à environ -5 300 tonnes.

5.2.11 SITE 93.02.02 – EMBOUCHURE DE LA BELLE RIVIÈRE ET PLAGE DE SAINT-GÉDÉON-SUR-LE-LAC

Les Cartes 5.5 à 5.11 présentent l'évolution bathymétrique et topographique de l'embouchure de la Belle Rivière et de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac entre les relevés effectués dans le cadre de ce suivi. Sur ces figures, les zones ayant subi des accumulations sont illustrées dans des teintes de vert et de bleu, alors que les zones ayant subi de l'érosion sont représentées par des teintes de jaune et de rouge. Les écarts verticaux compris entre -0,1 et +0,1 m sont quant à eux considérés être à l'intérieur de la marge d'incertitudes des relevés et de l'interpolation des modèles de terrain. Ces variations sont donc jugées non significatives et illustrées en blanc.

Les éléments de discussion sont numérotés sur les cartes et correspondent aux descriptions présentées ci-après.

5.2.11.1 PÉRIODE: NOVEMBRE 2021 À MAI 2022

Les éléments notables concernant l'évolution du fond marin entre novembre 2021 et mai 2022, et identifiés sur la Carte 5.5, sont consignés au Tableau 5.8.

Tableau 5.8 Éléments notables du bilan sédimentaire au site 93.02.02 pour la période novembre 2021 à mai 2022.

NOTE	DESCRIPTION	SOURCE DE L'ACCUMULATION OU CAUSE L'ÉROSION (PROBABLE)
1	Élargissement du chenal d'écoulement à l'embouchure de la Belle Rivière et érosion nette de -9 200 tonnes de la flèche de sable située du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Érosion fluviale et « nettoyage » du chenal d'écoulement lors de la crue printanière de la Belle Rivière. Remodelage de la flèche par l'action des vagues lors de la montée des eaux dans le lac Saint-Jean.
2	Érosion nette de -69 000 tonnes sur la rive gauche de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).	Érosion fluviale du chenal d'écoulement lors de la crue printanière de la Belle Rivière.
3	Migration vers le nord-est du canal de sortie de la Belle Rivière et érosion de -17 000 tonnes. Le canal longe l'extrémité la digue submergée sur près de 130 m et le talweg du chenal d'écoulement atteint une élévation 96,9 m.	Érosion fluviale du chenal d'écoulement lors de la crue printanière de la Belle Rivière.
4	Accumulation nette de +10 500 tonnes dans les zones profondes en rive droite de l'embouchure de la Belle Rivière.	Dérive des matériaux érodés par le « nettoyage » du chenal lors de la crue printanière de la Belle Rivière et dérive de matériaux en provenance de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.
5	Accumulation de +18 000 tonnes sur la rive gauche du canal de sortie de la Belle Rivière.	Dérive des matériaux érodés plus en amont dans le chenal d'écoulement et dérive des matériaux en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
6	Accumulation de +1 000 tonnes (6a) et +1 200 tonnes (6b) sur la partie supérieure de la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix). Avant 2022, ces zones se trouvaient dans le creux des dépressions entre les cordons littoraux formant la langue de sable.	Dérive de sédiments érodés sur la crête des cordons littoraux situés devant (voir note 7).
7	Érosion de -2 500 tonnes sur la crête des cordons littoraux formant la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière.	Érosion par les vagues lors de la crue printanière du lac Saint-Jean, combinée à l'absence d'apports sédimentaires, bloqués par l'épi 9.

Tableau 5.8 (suite) Éléments notables du bilan sédimentaire au site 93.02.02 pour la période novembre 2021 à mai 2022.

NOTE	DESCRIPTION	SOURCE DE L'ACCUMULATION OU CAUSE L'ÉROSION (PROBABLE)
8	Migration des barres infralittorales à l'extrémité de l'épi 9 et au nord-est. Accumulation nette de +1 600 tonnes.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
9	Migration des barres infralittorales à l'extrémité de l'épi 9 et au large de l'embouchure de la Belle Rivière. Accumulation nette de +3 300 tonnes.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
10	Érosion de -5 800 tonnes sur le haut de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Érosion par les vagues.
11	Accumulation nette de +3 400 tonnes au pied de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Dérive des matériaux érodés sur le haut de la plage ou en provenance de la zone plus au large (remblai de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière).
12	Accumulation nette de +10 600 tonnes sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière, devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Matériaux en provenance des secteurs périphériques et au large de la zone d'analyse.

Le bilan sédimentaire net de la zone située devant l'embouchure de la Belle Rivière (zone A) est évalué à environ -57 000 tonnes (érosion), alors que celui de la zone située devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (zone B) est de +9 200 tonnes (accumulation).

5.2.11.2 PÉRIODE: MAI 2022 À AOÛT 2022

Les éléments notables concernant l'évolution du fond marin entre mai 2022 et août 2022, et identifiés sur la Carte 5.6, sont consignés au Tableau 5.9.

Tableau 5.9 Éléments notables du bilan sédimentaire au site 93.02.02 pour la période mai 2022 à août 2022.

NOTE	DESCRIPTION	SOURCE DE L'ACCUMULATION OU CAUSE L'ÉROSION (PROBABLE)
13	Rétrécissement du chenal d'écoulement à l'embouchure de la Belle Rivière et accumulation nette de +3 900 tonnes sur la flèche de sable située du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Remodelage de la flèche par l'action des vagues et dérive des matériaux érodés sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.
14	Accumulation de +4 700 tonnes à l'extrémité de la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).	Dérive de sédiments érodés localement au sud-ouest (voir note 16) et en provenance du transport contournant l'épi 9.
15	Accumulation de +4 400 tonnes dans les zones profondes en rive gauche du chenal d'écoulement de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9, et glissement des matériaux sur la partie supérieure du profil (voir note 16a) dû à un adoucissement local du talus (équilibre géotechnique).

Tableau 5.9 (suite) Éléments notables du bilan sédimentaire au site 93.02.02 pour la période mai 2022 à août 2022.

NOTE	DESCRIPTION	SOURCE DE L'ACCUMULATION OU CAUSE L'ÉROSION (PROBABLE)
16	Érosion de -1 200 tonnes (6a) et -1 400 tonnes (6b) sur la partie supérieure de langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).	Érosion par les vagues, combinée à l'absence d'apports sédimentaires, bloqués par l'épi 9.
17	Accumulation de +1 500 tonnes au fond du chenal d'écoulement à la sortie de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9, ainsi que du secteur de Saint-Gédéon et franchissant la crête de la digue submergée.

Le bilan sédimentaire net de la zone d'analyse est évalué à environ +7 500 tonnes (accumulation).

5.2.11.3 PÉRIODE: AOÛT 2022 À SEPTEMBRE 2022

Les éléments notables concernant l'évolution du fond marin entre août 2022 et septembre 2022, et identifiés sur la Carte 5.7, sont consignés au Tableau 5.10.

Tableau 5.10 Éléments notables du bilan sédimentaire au site 93.02.02 pour la période août 2022 à septembre 2022.

NOTE	DESCRIPTION	SOURCE DE L'ACCUMULATION OU CAUSE L'ÉROSION (PROBABLE)
18	Rétrécissement du chenal d'écoulement à l'embouchure de la Belle Rivière et accumulation nette de +1 300 tonnes sur la flèche de sable située du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Remodelage de la flèche par l'action des vagues et dérive des matériaux érodés sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.
19	Accumulation de +2 000 tonnes à l'extrémité de la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).	Dérive de sédiments érodés localement au sud-ouest (voir note 20) et en provenance du transport contournant l'épi 9.
20	Érosion de -1 400 tonnes sur la rive gauche du chenal d'écoulement de la Belle Rivière.	Érosion par les vagues, combinée à l'absence d'apports sédimentaires, bloqués par l'épi 9.
21	Accumulation de +2 500 tonnes dans les zones profondes en rive gauche du chenal d'écoulement de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
22	Accumulation de +1 500 tonnes au fond du chenal d'écoulement à la sortie de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments en provenance de l'érosion locale au sud-ouest (voir note 23), ainsi qu'au nord-est (franchissant la crête de la digue submergée).
23	Érosion de -1 600 tonnes en rive gauche à la sortie de la Belle Rivière.	Érosion par les vagues.
24	Migration des barres infralittorales au nord-est de l'épi 9 et au large de l'embouchure de la Belle Rivière. Accumulation nette de +2 900 tonnes.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.

Le bilan sédimentaire net de la zone d'analyse est évalué à environ +8 900 tonnes (accumulation).

5.2.11.4 PÉRIODE: MAI 2022 À SEPTEMBRE 2022

Les éléments notables concernant l'évolution du fond marin entre mai 2022 et septembre 2022, et identifiés sur la Carte 5.8, sont consignés au Tableau 5.11.

Tableau 5.11 Éléments notables du bilan sédimentaire au site 93.02.02 pour la période mai 2022 à septembre 2022.

NOTE	DESCRIPTION	SOURCE DE L'ACCUMULATION OU CAUSE L'ÉROSION (PROBABLE)
25	Rétrécissement du chenal d'écoulement à l'embouchure de la Belle Rivière et accumulation nette de +5 000 tonnes sur la flèche de sable située du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Remodelage de la flèche par l'action des vagues et dérive des matériaux érodés sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.
26	Accumulation de +6 700 tonnes à l'extrémité de la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).	Dérive de sédiments érodés localement au sud-ouest (voir note 28) et en provenance du transport contournant l'épi 9.
27	Accumulation de +6 300 tonnes dans les zones profondes en rive gauche du chenal d'écoulement de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9, et glissement des matériaux sur la partie supérieure du profil (voir note 28a) dû à un adoucissement local du talus (équilibre géotechnique).
28	Érosion de -2 500 tonnes (28a) et -1 400 tonnes (28b) sur la partie supérieure de langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).	Érosion par les vagues, combinée à l'absence d'apports sédimentaires, bloqués par l'épi 9.
29	Accumulation de +3 700 tonnes au fond du chenal d'écoulement à la sortie de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments en provenance de l'érosion locale au sud-ouest (voir note 30), ainsi qu'au nord-est (franchissant la crête de la digue submergée).
30	Érosion de -2 300 tonnes en rive gauche à la sortie de la Belle Rivière.	Érosion par les vagues.
31	Migration des barres infralittorales au nord-est de l'épi 9 et au large de l'embouchure de la Belle Rivière. Accumulation nette de +600 tonnes.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
32	Érosion nette de -4 100 tonnes sur le haut de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (secteur sud-ouest de la plage, entre le perré de support et la digue submergée).	Érosion par les vagues, combiné à un déficit d'apports en provenance des portions centre et nord-est de la plage.
33	Érosion nette de -4 400 tonnes au pied de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Érosion par les vagues.
34	Accumulation nette de +7 800 tonnes sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière, devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Matériaux en provenance des secteurs périphériques et au large de la zone d'analyse.

Le bilan sédimentaire net de la zone située devant l'embouchure de la Belle Rivière (zone A) est évalué à environ +13 500 tonnes (accumulation), alors que celui de la zone située devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (zone B) est de +3 200 tonnes (accumulation).

5.2.11.5 PÉRIODE: SEPTEMBRE 2022 À NOVEMBRE 2022

Les éléments notables concernant l'évolution du fond marin entre septembre 2022 et novembre 2022, et identifiés sur la Carte 5.9, sont consignés au Tableau 5.12.

Tableau 5.12 Éléments notables du bilan sédimentaire au site 93.02.02 pour la période septembre 2022 à novembre 2022.

NOTE	DESCRIPTION	SOURCE DE L'ACCUMULATION OU CAUSE L'ÉROSION (PROBABLE)
35	Érosion nette de -100 tonnes sur la flèche de sable située à l'embouchure de la Belle Rivière, du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Action combinée de l'érosion fluviale du chenal d'écoulement lors des crues automnales de la Belle Rivière et de l'accumulation par la dérive de matériaux en provenance de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.
36	Accumulation de +400 tonnes (36a) et de +900 tonnes (36b) à l'extrémité de la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).	Dérive de sédiments érodés localement au sud-ouest (voir note 38) et en provenance du transport contournant l'épi 9.
37	Érosion de -700 tonnes sur la rive gauche du chenal d'écoulement de la Belle Rivière.	Érosion fluviale du chenal d'écoulement lors des crues automnales de la Belle Rivière.
38	Érosion de -1 400 tonnes sur la partie supérieure de langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).	Érosion par les vagues, combinée à l'absence d'apports sédimentaires, bloqués par l'épi 9.
39	Accumulation de +2 000 tonnes dans les zones profondes en rive gauche du chenal d'écoulement de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
40	Accumulation de +1 600 tonnes dans les zones profondes à la sortie de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments en provenance du transport de part et d'autre du chenal d'écoulement.
41	Érosion de -1 300 tonnes en rive gauche à la sortie de la Belle Rivière.	Érosion par les vagues et l'écoulement dans la Belle Rivière.
42	Accumulation de +2 600 tonnes en rive gauche à la sortie de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
43	Migration des barres infralittorales au nord-est de l'épi 9 et au large de l'embouchure de la Belle Rivière. Érosion nette de -1 400 tonnes.	Érosion par les vagues supérieure aux apports en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.
44	Accumulation nette de +2 000 tonnes sur le haut de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (secteur centre et sud-ouest de la plage).	Apports en provenance du large et transportés par les vagues de tempêtes automnales.
45	Accumulation nette de +6 700 tonnes au pied de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Apports en provenance du large et transportés par les vagues de tempêtes automnales.
46	Accumulation nette de +8 800 tonnes sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière, devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Matériaux en provenance des secteurs périphériques et au large de la zone d'analyse.

Le bilan sédimentaire net de la zone située devant l'embouchure de la Belle Rivière (zone A) est évalué à environ +13 000 tonnes (accumulation), alors que celui de la zone située devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (zone B) est de +22 200 tonnes (accumulation).

5.2.11.6 PÉRIODE NOVEMBRE 2021 À NOVEMBRE 2022

La Carte 5.10 présente le bilan combiné des éléments identifiés aux sections précédentes. Les éléments notables sont consignés au Tableau 5.13.

Tableau 5.13 Éléments notables du bilan sédimentaire au site 93.02.02 pour la période novembre 2021 à novembre 2022.

NOTE	DESCRIPTION	SOURCE DE L'ACCUMULATION OU CAUSE L'ÉROSION (PROBABLE)
47	Érosion nette de -3 400 tonnes sur la flèche de sable située à l'embouchure de la Belle Rivière, du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Érosion fluviale du chenal par les écoulements dans la Belle Rivière; remodelage de la flèche par l'action des vagues; dérive des matériaux érodés sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.
48	Érosion nette de -60 000 tonnes sur la rive gauche de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).	Érosion fluviale du chenal d'écoulement lors de la crue printanière de la Belle Rivière et érosion par les vagues de la partie supérieure de langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière.
49	Accumulation nette de +13 400 tonnes dans les zones profondes en rive droite de l'embouchure de la Belle Rivière.	Dérive des matériaux érodés par le « nettoyage » du chenal lors de la crue printanière de la Belle Rivière et dérive de matériaux en provenance de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.
50	Migration vers le nord-est du canal de sortie de la Belle Rivière et érosion de -12 800 tonnes. Le canal longe l'extrémité la digue submergée sur près de 130 m et le talweg du chenal d'écoulement atteint une élévation 98,0 m.	Érosion fluviale du chenal d'écoulement lors de la crue printanière de la Belle Rivière, suivi d'un léger remplissage du chenal pendant la période estivale dû au transport sédimentaire dans les secteurs périphériques.
51	Accumulation de +20 400 tonnes sur la rive gauche du canal de sortie de la Belle Rivière.	Dérive des matériaux érodés plus en amont dans le chenal d'écoulement et dérive des matériaux en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
52	Accumulation de +3 200 tonnes à l'extrémité de la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix). Avant 2022, cette zone se trouvait dans le creux d'une dépression entre les cordons littoraux formant la langue de sable.	Dérive de sédiments érodés localement au sud-ouest et en provenance du transport contournant l'épi 9.
53	Accumulation de +900 tonnes sur la partie supérieure de la plage au nord-est de l'épi 9. Avant 2022, cette zone se trouvait dans le creux d'une dépression entre les cordons littoraux formant la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments érodés sur la crête de la barre littorale située devant (voir note 54).
54	Érosion de -3 500 tonnes de la première barre littorale formant la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière.	Érosion par les vagues, combinée à l'absence d'apports sédimentaires, bloqués par l'épi 9.
55	Migration des barres infralittorales à l'extrémité de l'épi 9 et au nord-est. Accumulation nette de +2 300 tonnes.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
56	Érosion nette de -5 500 tonnes sur le haut de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (secteur sud-ouest de la plage, entre le perré de support et la digue submergée).	Érosion par les vagues, combiné à un déficit d'apports en provenance des portions centre et nord-est de la plage.
57	Accumulation nette de +4 800 tonnes au pied de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Apports en provenance de la zone plus au large, dans la zone de remblayage de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière.
58	Accumulation nette de +28 700 tonnes sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière, devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Matériaux en provenance des secteurs périphériques et au large de la zone d'analyse.

Le bilan sédimentaire net de la zone située devant l'embouchure de la Belle-Rivière (zone A) est évalué à environ -30 200 tonnes (érosion), alors que celui de la zone située devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (zone B) est de +35 200 tonnes (accumulation).

5.2.11.7 PÉRIODE MARS 2019 À NOVEMBRE 2021

La période entre mars 2019 et novembre 2021 permet de comparer l'état des lieux avec l'état de référence à la fin des travaux de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière. Les éléments notables concernant l'évolution du fond marin, et identifiés sur la Carte 5.11, sont consignés au Tableau 5.14.

Tableau 5.14 Éléments notables du bilan sédimentaire au site 93.02.02 pour la période mars 2019 à novembre 2021.

NOTE	DESCRIPTION	SOURCE DE L'ACCUMULATION OU CAUSE L'ÉROSION (PROBABLE)
59	Accumulation de +9 100 tonnes ¹ sur la flèche de sable située à l'embouchure de la Belle Rivière, du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Dérive des matériaux érodés sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.
60	Accumulation de +43 500 tonnes dans les zones profondes en rive droite de l'embouchure de la Belle Rivière.	Dérive des matériaux érodés par le « nettoyage » du chenal lors de la crue printanière de la Belle Rivière et dérive de matériaux en provenance de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.
61	Érosion de -1 400 tonnes au fond du chenal d'écoulement de la Belle Rivière.	Érosion fluviale lors des crues printanières de la Belle Rivière.
62	Migration vers le nord-est du canal de sortie de la Belle Rivière et érosion de -19 900 tonnes de sédiments. Le canal longe l'extrémité la digue submergée sur près de 130 m et le talweg du chenal d'écoulement atteint une élévation 98,0 m.	Érosion fluviale provoquée par l'écoulement de la Belle Rivière, principalement lors des crues printanières.
63	Accumulation de +18 000 tonnes sur la rive gauche du chenal d'écoulement à la sortie de la Belle Rivière.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
64	Migration des barres infralittorales à l'extrémité de l'épi 9. Accumulation nette de +3 900 tonnes.	Dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui contournent l'épi 9.
65	Érosion de -12 200 tonnes sur la plaine sablonneuse située entre l'épi 9 et le chenal d'écoulement de la Belle Rivière.	Érosion par les vagues et dérive des matériaux vers les zones profondes du chenal d'écoulement de la Belle Rivière.
66	Érosion -11 500 tonnes ² sur le haut de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (secteurs centre et sud-ouest de la plage).	Érosion par les vagues combinée à un déficit d'apports sédimentaires.
67	Accumulation nette de +12 700 tonnes au pied de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.	Apports en provenance de la zone plus au large, dans la zone de remblayage de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière.
68	Accumulation de près de +101 000 tonnes de sédiments sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière, devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac	Matériaux en provenance des secteurs périphériques et au large de la zone d'analyse.

¹ Bilan sédimentaire partiel sur la flèche de sable, en raison d'une couverture limitée des relevés de mars 2019.

² Bilan sédimentaire partiel sur le haut de la plage, en raison d'une couverture limitée des relevés de mars 2019.

Le bilan sédimentaire net de la zone située devant l'embouchure de la Belle-Rivière (zone A) est évalué à +77 400 tonnes (accumulation), alors que celui de la zone située devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac (zone B) est de +116 400 tonnes (accumulation).

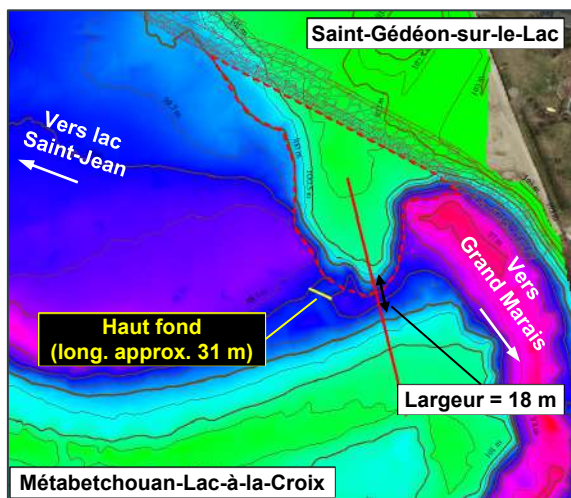
5.2.12 ÉVOLUTION DE SECTEURS NÉVRALGIQUES DU CHENAL DE NAVIGATION À L'EMBOUCHURE DE LA BELLE RIVIÈRE

5.2.12.1 ZONE D'ENSABLEMENT

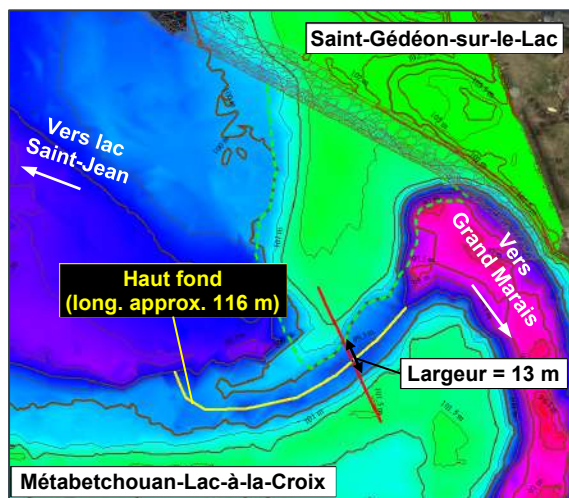
La Figure 5.4 présente l'évolution du chenal d'écoulement de la Belle Rivière dans le secteur de la flèche de sable, entre novembre 2020 et novembre 2022. Les images illustrent par ailleurs l'emplacement de la section transversale considérée pour évaluer la largeur du chenal (trait rouge), ainsi que la longueur approximative du « haut fond » (trait jaune). La Figure 5.5 illustre l'évolution de la flèche de sable de Saint-Gédéon-sur-le-Lac ainsi que de la ligne de rivage du côté de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix pour la même période. Enfin, la Figure 5.6 présente une comparaison des sections transversales observée à chaque relevé. Les Tableaux 5.15 et 5.16 consignent quant à eux l'évolution de la superficie de la flèche de sable et les principales caractéristiques du chenal d'écoulement, respectivement.

Les panneaux « b » et « c » de la Figure 5.4 illustrent bien le « nettoyage » du chenal d'écoulement effectué par la crue printanière de la Belle Rivière. Le chenal s'est élargi à 47 m et le haut fond s'est pratiquement effacé. Toutefois, devant la quantité exceptionnelle de sédiments s'y étant accumulés en novembre 2021, la flèche ne s'est effacée que de 18 %.

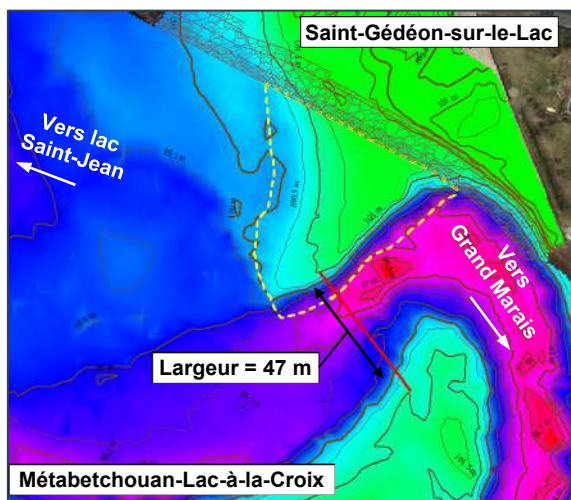
La formation a continué de s'amincir pendant la période estivale, sous l'effet des vagues, pour atteindre un effacement maximal de 41 % par rapport à novembre 2021. Les matériaux transportés pendant cette période se sont toutefois accumulés à l'extrémité de la flèche, empiétant ainsi dans le chenal d'écoulement. En août (panneau « d »), le chenal avait rétréci considérablement et l'ouverture était à nouveau similaire à celle observée en novembre 2020. L'ensablement s'est poursuivi en septembre (panneau « e ») et, selon les témoignages de riverains, une obstruction complète aurait été observée en octobre. Les crues automnales de la Belle Rivière ont malgré tout réussi à nettoyer quelque peu le chenal, qui s'est élargi et approfondi légèrement en novembre (panneau « f »). L'ensablement du chenal à la fin de la période d'eau libre 2022 demeurerait largement inférieur à celui observé en 2021, mais était légèrement plus sévère que celui observé en 2020.



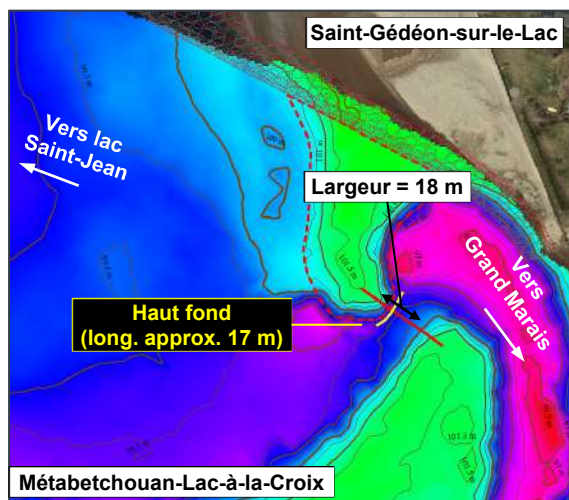
(a) 4 novembre 2020



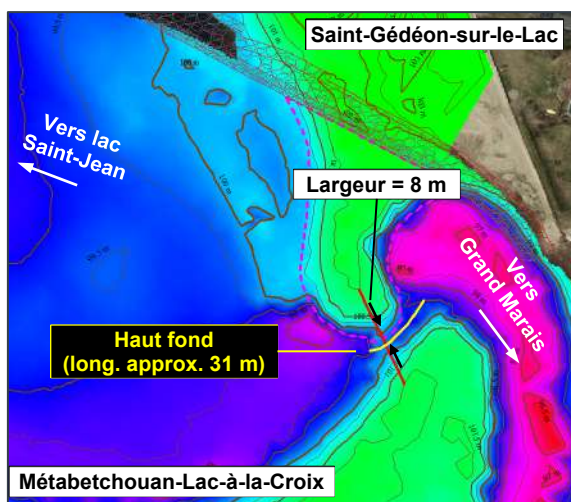
(b) 10 novembre 2021



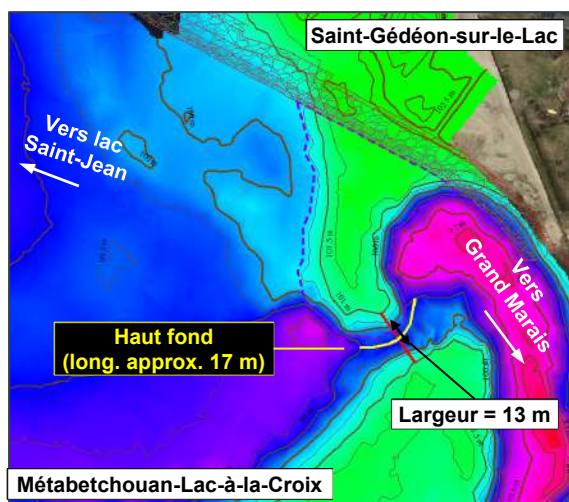
(c) 26 mai 2022



(d) 8 août 2022



(e) 19 septembre 2022



(f) 1^{er} novembre 2022

Figure 5.4 Évolution du chenal d'écoulement de la Belle Rivière dans le secteur de la flèche de sable entre novembre 2020 et novembre 2022.

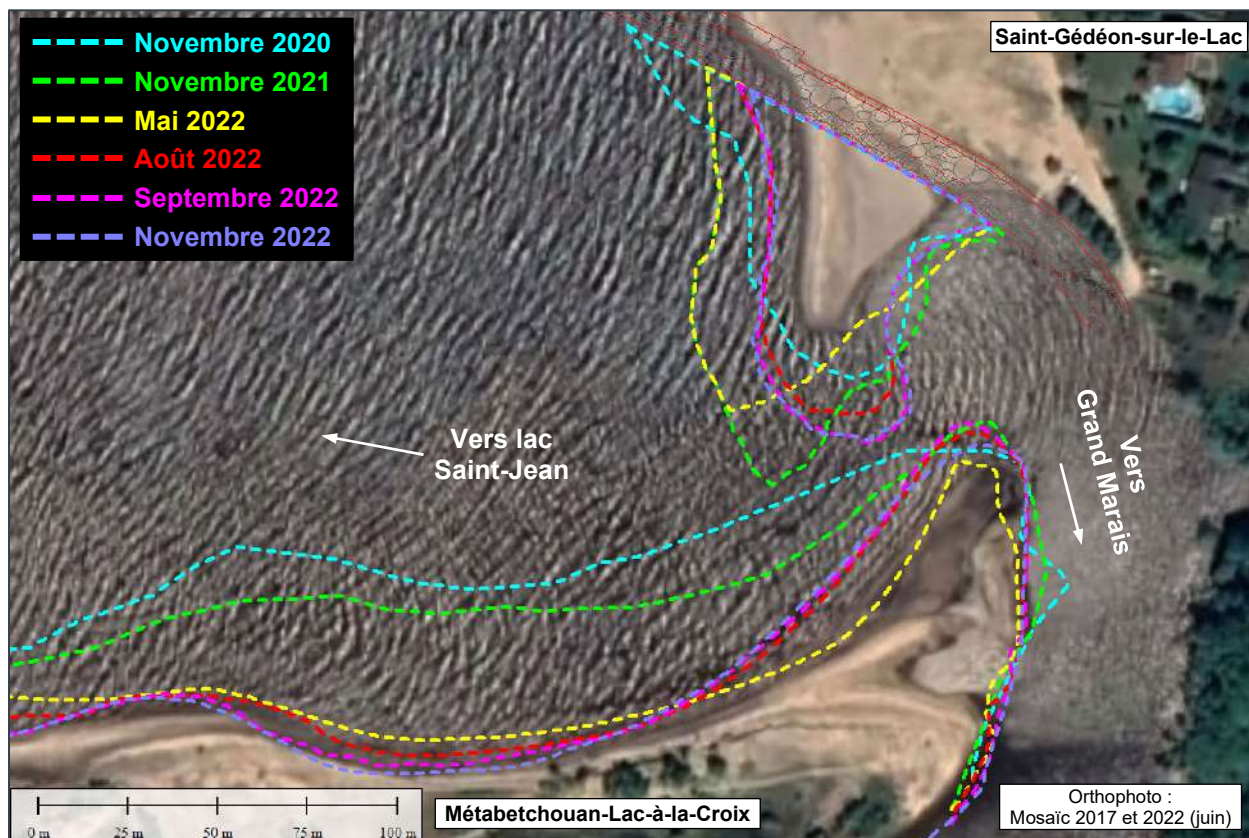


Figure 5.5 Évolution de la flèche de sable (secteur Saint-Gédéon-sur-le-Lac) et de la ligne de rivage (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix) à l'embouchure de la Belle Rivière, pour la période de novembre 2020 à novembre 2022.

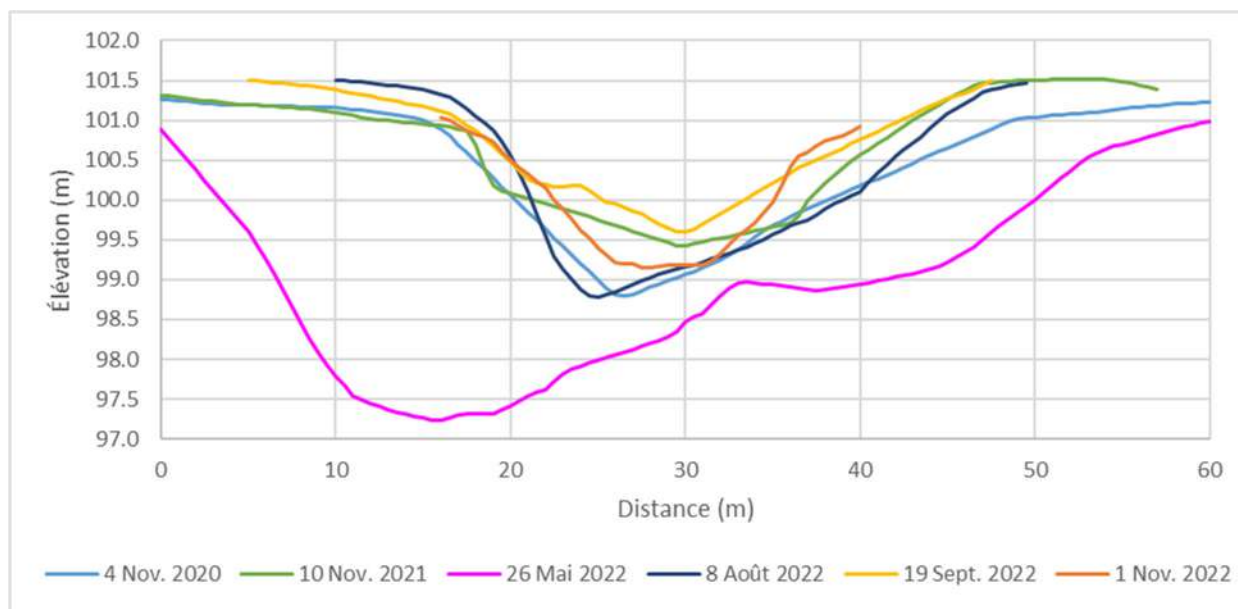


Figure 5.6 Comparaison des sections transversales du chenal d'écoulement dans le secteur de la flèche de sable (période novembre 2020 à novembre 2022).

Tableau 5.15 Variation de la superficie de la flèche de sable.

PÉRIODE	SUPERFICIE DE LA FLÈCHE DE SABLE (m²)	VARIATION PAR RAPPORT À NOV. 2020	VARIATION PAR RAPPORT À NOV. 2021
15 novembre 2017	2 080	-38 %	-59 %
6 novembre 2018	1 690	-49 %	-67 %
13 juin 2019	2 490	-25 %	-51 %
5 novembre 2019	2 170	-35 %	-57 %
4 novembre 2020	3 340	n/a	-35 %
24 juin 2021	4 000	+20 %	-22 %
4 août 2021	4 210	+26 %	-17 %
2 septembre 2021	4 480	+34 %	-12 %
10 novembre 2021	5 100	+53 %	n/a
26 mai 2022	4 160	+25 %	-18 %
8 août 2022	3 030	-9 %	-41 %
19 septembre 2022	3 340	0 %	-35 %
1 ^{er} novembre 2022	3 360	+1 %	-34 %

Tableau 5.16 Caractéristiques du chenal d'écoulement dans le secteur de la flèche de sable.

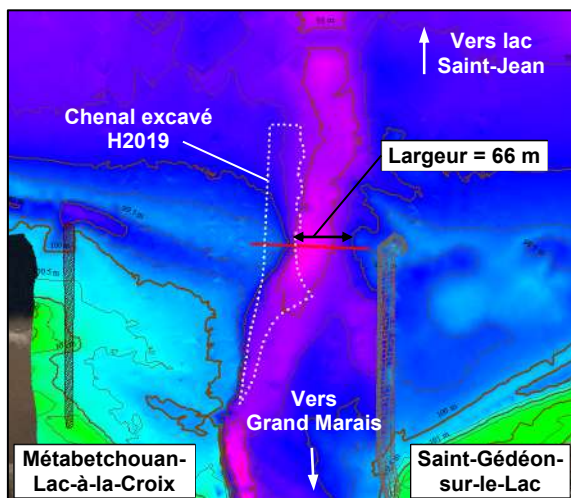
PÉRIODE	LONGUEUR DU HAUT FOND (m)	ÉLÉVATION MAXIMALE DU HAUT FOND (m)	LARGEUR DU CHENAL D'ÉCOULEMENT À L'ÉLÉVATION 100,0 m (m)
4 novembre 2020	10	99,3	18
10 novembre 2021	116	99,9	13
26 mai 2022	n/a	98,3	47
8 août 2022	17	98,8	18
19 septembre 2022	31	99,7	8
1 ^{er} novembre 2022	34	99,4	13

5.2.12.2 CANAL DE SORTIE VERS LE LAC SAINT-JEAN

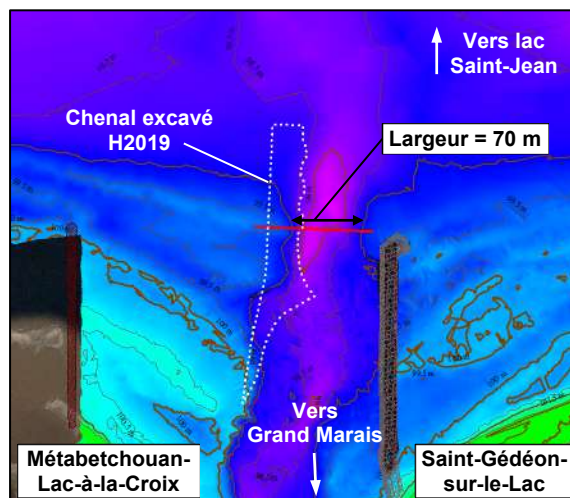
La Figure 5.7 présente l'évolution du chenal d'écoulement à la sortie de la Belle Rivière, où elle rejoint le lac Saint-Jean, entre novembre 2020 et novembre 2022. La Figure 5.8 illustre quant à elle la position du chenal d'écoulement, délimitée par l'isocontour à l'élévation 99,0 m, aux différents moments relevés. Enfin, la Figure 5.9 présente une comparaison des sections transversales dans la section à plus étroite du chenal. La position où sont extraits les profils est illustrée par un trait rouge sur chaque panneau de la Figure 5.7. Le Tableau 5.17 consigne pour sa part les principales caractéristiques du chenal.

Les panneaux « b » et « c » de la Figure 5.7 illustrent bien la migration du canal de sortie subi lors de la crue printanière de la Belle Rivière. Le chenal d'écoulement a été déporté vers la digue submergée et se trouvait à longer l'extrémité de la structure sur une distance d'environ 130 m. Le canal s'est également incisé jusqu'à une profondeur de 96,9 m. Bien que l'affouillement maximal était confiné à une petite superficie, ces conditions s'approchaient des limites de conception de la digue, dans la mesure où les pierres de l'ouvrage sont enfouies jusqu'à l'élévation 97,0 m. La berme de protection anti-affouillement aménagée sur le pourtour de la structure devrait néanmoins permettre d'assurer sa stabilité encore un moment advenant un abaissement supplémentaire du canal. Une inspection visuelle de l'ouvrage est malgré tout recommandée lors de la prochaine crue printanière afin de surveiller l'apparition de déformations dans la matrice de pierres.

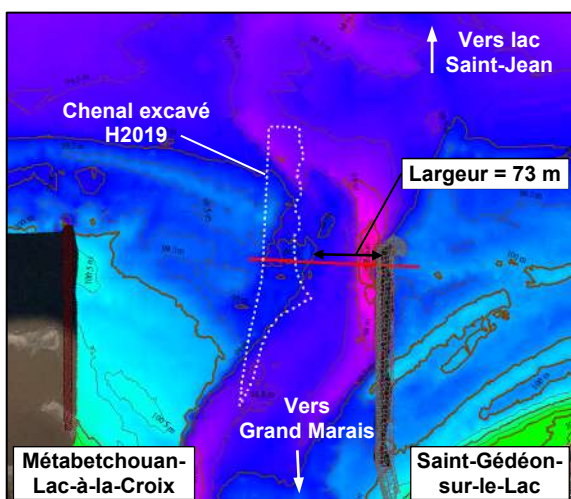
Pendant la période estivale (panneaux « d » à « f »), la position du chenal d'écoulement est demeurée plutôt stable. Quelques accumulations ont toutefois été observées dans les zones les plus profondes du canal et la migration des barres infralittorales au sud-ouest a fait varier sa largeur. En date de novembre 2022, le canal de sortie se trouvait dans un état légèrement plus étroit que ceux observés en novembre 2021 et 2020. Le chenal excavé lors des travaux de l'hiver 2019 se trouvait quant à lui complètement enseveli sous la dérive de matériaux en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.



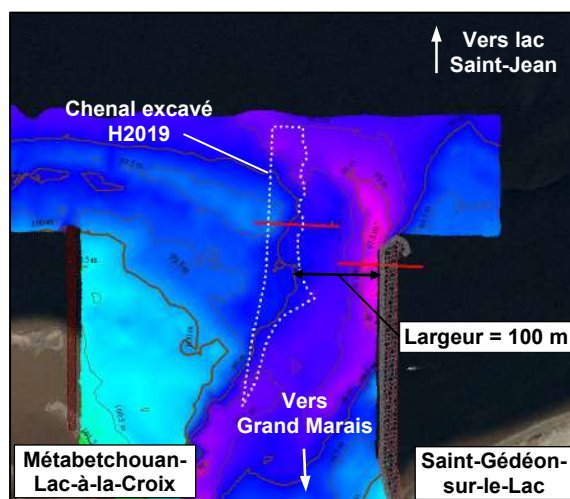
(a) 4 novembre 2020



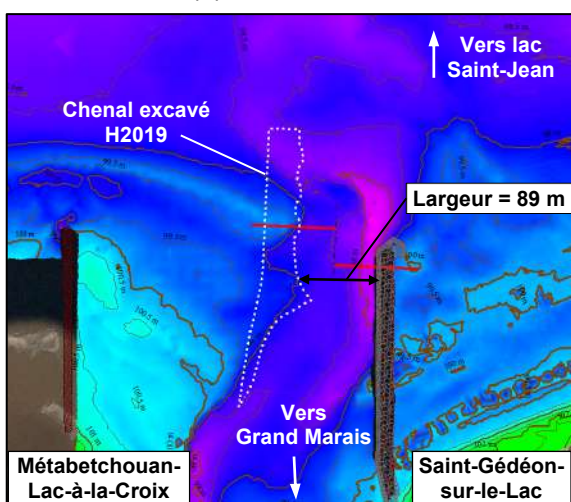
(b) 10 novembre 2021



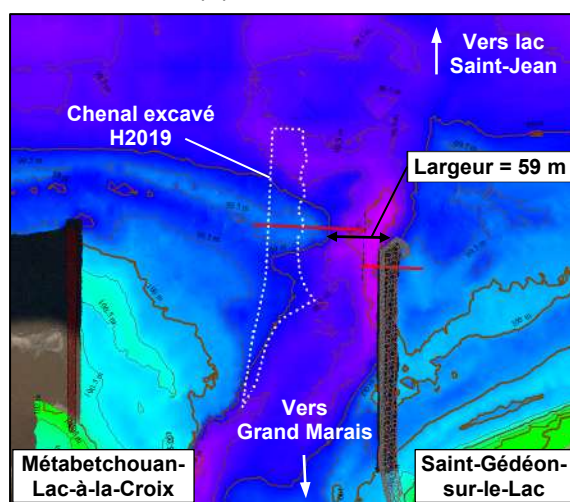
(c) 26 mai 2022



(d) 8 août 2022



(e) 19 septembre 2022



(f) 1^{er} novembre 2022

Figure 5.7 Évolution du chenal d'écoulement à la sortie de la Belle Rivière entre novembre 2020 et novembre 2022.

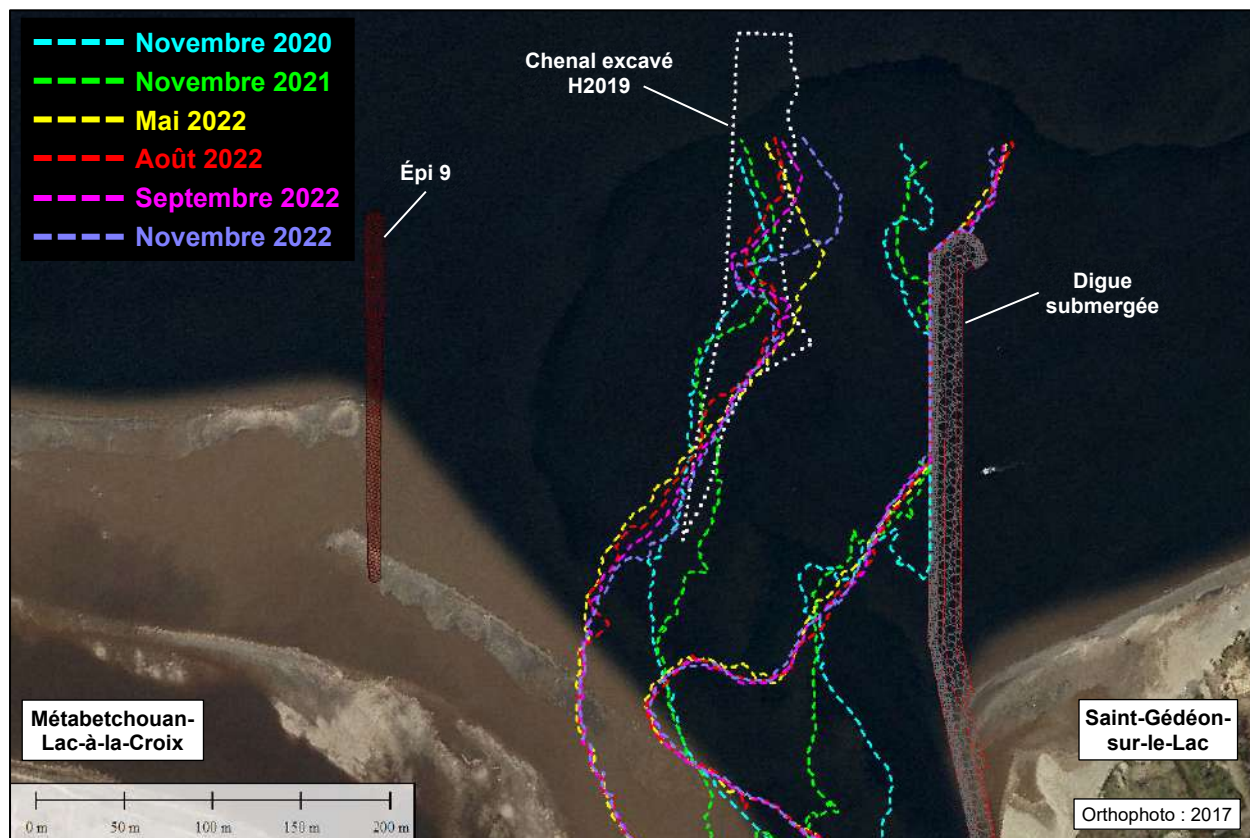


Figure 5.8 Position du chenal d'écoulement à la sortie de la Belle Rivière entre novembre 2020 et novembre 2022.

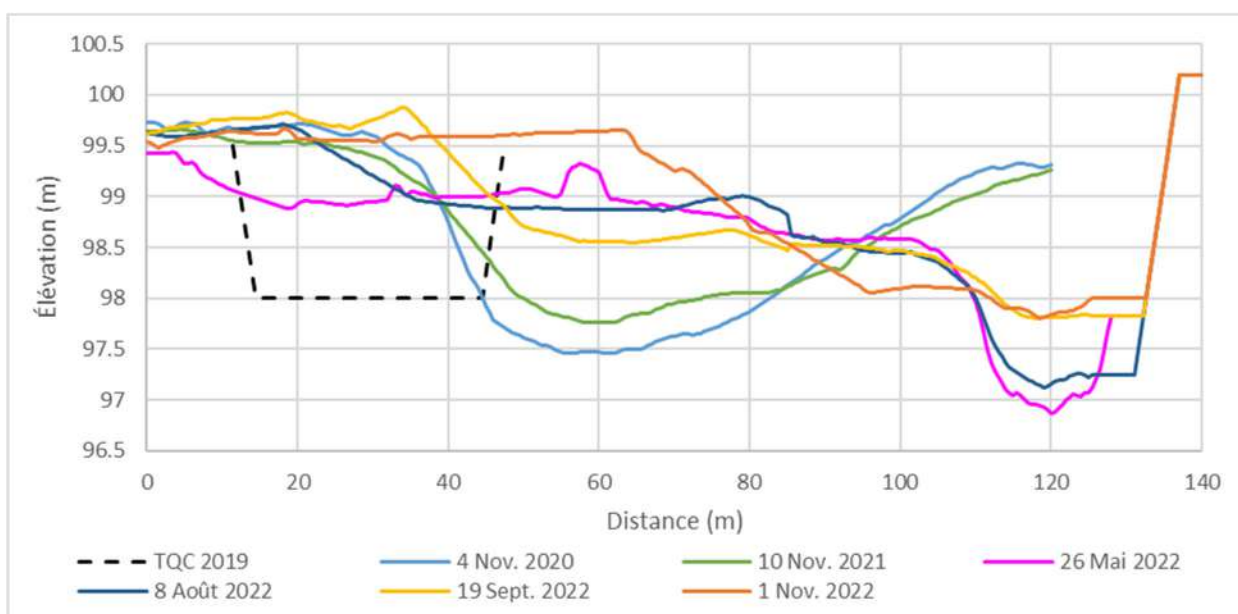


Figure 5.9 Comparaison des sections transversales du chenal d'écoulement à la sortie de la Belle Rivière (période novembre 2020 à novembre 2022).

Tableau 5.17 Caractéristiques du chenal d'écoulement à la sortie de la Belle Rivière.

PÉRIODE	ÉLÉVATION MINIMUM DU FOND (m)	LARGEUR DU CHENAL D'ÉCOULEMENT (m)	
		À L'ÉLÉVATION 98,0 m	À L'ÉLÉVATION 99,0 m
Chenal excavé H2019	98,0	30	34
4 novembre 2020	97,5	39	66
10 novembre 2021	97,8	36	70
26 mai 2022	96,9	22	73
8 août 2022	97,1	22	100
19 septembre 2022	97,8	19	89
1 ^{er} novembre 2022	97,8	20	59

5.2.13 ÉVOLUTION DE LA LANGUE DE SABLE RELIANT L'ÉPI 9 ET L'EMBOUCHURE DE LA BELLE RIVIÈRE

Comme constaté dans le cadre des suivis techniques précédents (WSP, 2022c), la langue de sable reliant l'épi 9 à l'embouchure de la Belle Rivière s'amenuise. La Figure 5.10 indique que la régression s'est poursuivie à un rythme particulièrement rapide en 2022. Une part importante du recul aurait toutefois été occasionnée par une migration du chenal d'écoulement de la Belle Rivière lors de la crue printanière, combiné à l'effacement d'un des cordons littoraux formant la langue de sable (Figure 5.11). La régression observée entre novembre 2021 et mai 2022 a atteint 35 m, tandis que la migration du chenal d'écoulement est d'environ 50 m.

L'érosion des parties centrale et ouest de la langue de sable s'est ensuite poursuivie pendant les saisons estivale et automnale en raison de l'action des vagues. Un recul de l'ordre de -10 m a été observé dans chacun de ces secteurs entre mai et novembre 2022. La dérive des matériaux vers l'est (vers l'embouchure de la Belle Rivière) aurait cependant permis un engraissement du cordon à l'extrémité de la langue de sable, où un avancement de +14 m de la ligne de rivage a été constaté.

Le recul moyen entre novembre 2019 et novembre 2022 atteint -38 m (Tableau 5.18). Compte tenu de la dynamique hydrosédimentaire hautement volatile du secteur, par contre, il ne semble plus judicieux d'annualiser cette régression pour ensuite projeter l'évolution de la ligne de rivage dans le futur. Nonobstant, le trait pointillé blanc sur la Figure 5.10 présente la position du rivage advenant qu'un recul comparable à celui observé lors de la crue printanière 2022 se produise en 2023.

Il est possible de constater qu'une poursuite ininterrompue de la régression amincira progressivement la langue de sable. L'extrémité pourrait éventuellement s'effacer ou une brèche pourrait s'y ouvrir, modifiant ainsi le tracé du chenal de navigation dans la Belle Rivière. Le risque que cette évolution se matérialise à court terme est élevé, mais la dynamique hydrosédimentaire du secteur demeure fortement conditionnée par des processus complexes et imprévisibles. Il est donc impossible de préciser davantage l'horizon de temps sur lequel ces changements pourraient survenir. Par ailleurs, il convient de souligner que le risque demeure confiné principalement à l'extrémité de la langue de sable (zone encadrée en pointillé rose sur la Figure 5.10). Plus en « amont », la formation conserve une largeur considérable. Même advenant un recul similaire à celui observé en 2022, une largeur résiduelle de 46 m pourrait être maintenue sur le cordon littoral. La régression occasionnerait cependant des pertes de superficies végétalisées en crête.

Concernant la régression à proximité de l'épi 9, l'érosion constatée ne semble pas constituer d'enjeu immédiat envers la pérennité de l'ouvrage. Une vigilance devrait toutefois être maintenue lors des prochains suivis techniques afin de s'assurer que la perte de sédiments et le recul de la ligne de rivage ne déchaussent pas le pied de la structure.

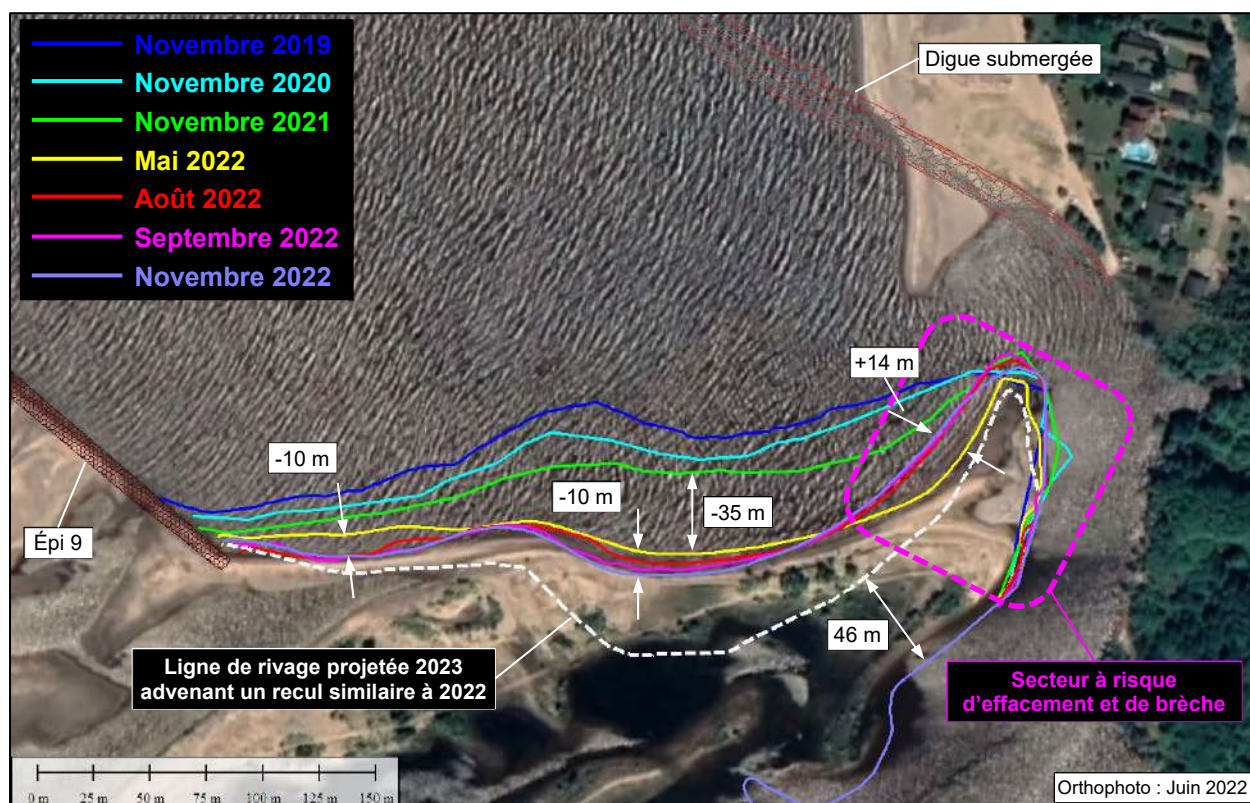


Figure 5.10 Évolution historique et projetée de la ligne de rivage sur la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière.

Tableau 5.18 Recul annuel moyen et total de la ligne de rivage sur la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière.

PÉRIODE	RECU (m)
2019-2020	-7,7
2020-2021	-8,7
2021-2022	-22,0
Total	-38,4

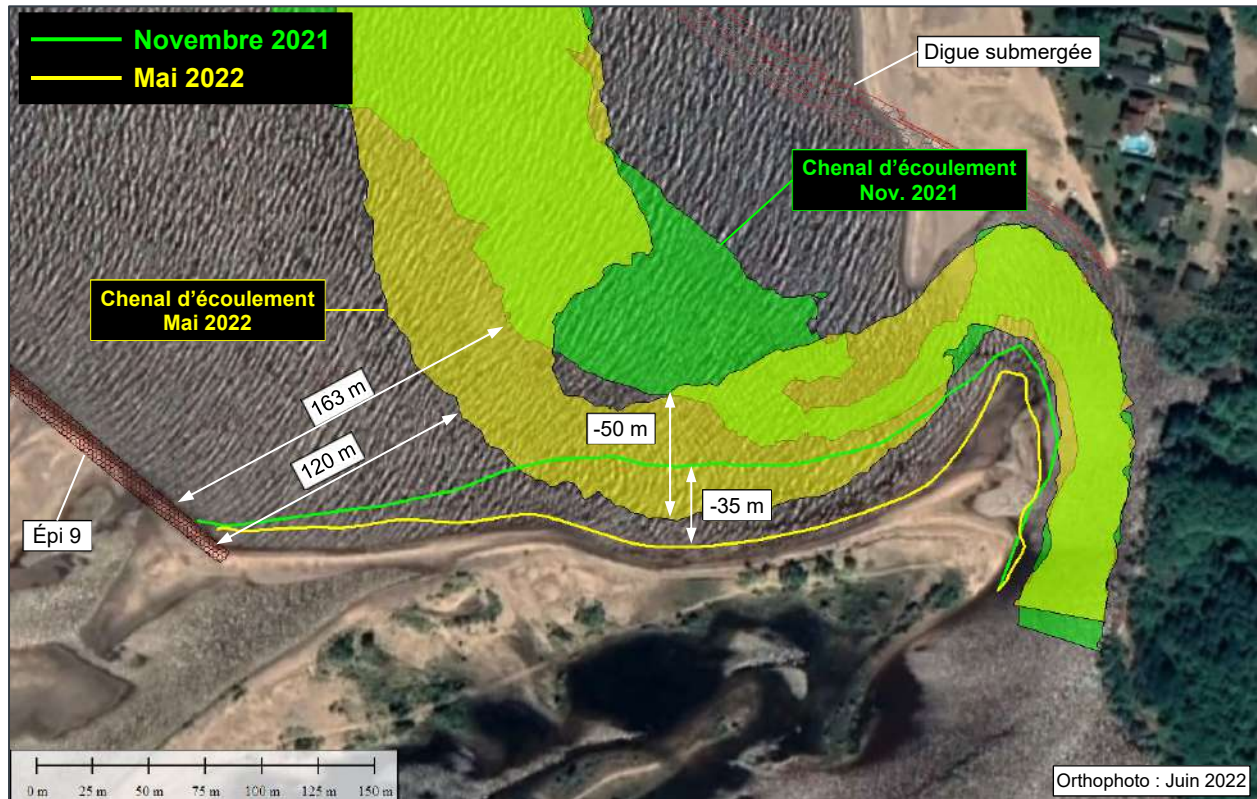


Figure 5.11 Migration du chenal d'écoulement de la Belle Rivière et régression de la ligne de rivage sur la langue de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, entre novembre 2021 et mai 2022.

5.3 CAMPAGNE DE RELEVÉS DE LA LIGNE DE RIVAGE

Les plans consignés à l'annexe C présentent l'évolution de la ligne de rivage relevée à l'élévation 101,54 m (16,5 pi). L'annexe E présente quant à elle les largeurs de plage mesurées en 2022. Les relevés permettent de faire les constats suivants :

Site 94.03.01

- La position de la ligne de rivage s'est avancée d'environ 10 m au nord-est des épis en géotubes 2 et 3. La progression aurait été occasionnée par le rechargement de plage réalisé à cet endroit à l'hiver 2022 (Carte 5.1);
- Au sud-ouest de l'épi en géotubes 2 et entre les épis 4, 5 et 6, la position de la ligne de rivage demeure comparable à celle relevée en 2021 (Carte 5.1);
- Les largeurs de plage demeurent supérieures à 8 m sur l'ensemble du secteur;
- La largeur la plus étroite est observée au nord-est de l'épi 6/géotube 1 et mesure 9,05 m;
- La largeur de la plage entre les épis 4 et 5 varie entre 12 et 20 m.

Site 2014.03.01

- La progression de la ligne de rivage observée dans le secteur des épis en géotubes s'atténue graduellement jusqu'à l'épi 7(Carte 5.1);
- Ailleurs le long du site 2014.03.01, la position de la ligne de rivage n'a pas évolué de façon significative depuis les relevés de 2021(Cartes 5.1 et 5.2);
- Les largeurs de plage demeurent largement supérieures à 8 m sur l'ensemble du secteur et varient entre 40 et 360 m;
- Les relevés ne couvrent pas la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière.

Site 93.02.02

- Une régression de la ligne de rivage est observée dans les secteurs nord-est et sud-ouest de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac. Le recul moyen est de -3,6 m dans la zone nord-est et -7,4 m dans la zone sud-ouest;
- Dans le secteur central de la plage, devant le perré de support, les déplacements de la ligne de rivage sont plus modérés et varient entre un recul de -4 m et une progression de +2 m;
- La longueur du tronçon de plage affichant une largeur inférieure à 8 m a augmenté de 108 m, pour atteindre 176 m;
- La largeur minimale de la plage a diminué de 4,4 m, pour atteindre 1,2 m.

6 DISCUSSION

6.1 ÉVOLUTION ANNUELLE

6.1.1 SITE 94.03.01 (ÉPIS 5 À 7)

L'année 2022 a été caractérisée par des bilans érosifs dans la partie sud-ouest du secteur et des accumulations dans sa partie nord-est. L'érosion a emporté 4 490 tonnes de sédiments entre l'épi 5 et l'épi en géotubes 2, ce qui correspond à environ 83 % du rechargement réalisé sur ce tronçon à l'hiver 2022. Les matériaux érodés se seraient toutefois déposés dans le secteur adjacent au nord-est, qui affiche une quantité d'accumulation presque équivalente entre l'épi en géotubes 2 et l'épi 7, soit 4 310 tonnes.

L'inspection visuelle a quant à elle permis de constater que les matériaux de rechargement demeuraient présents en bonne quantité sur le haut de la plage au nord-est de l'épi 6 et que la plage exhibait une largeur augmentée par rapport aux années précédentes. La ligne de végétation ne semblait pas être menacée à court terme par l'érosion dans ce secteur.

Au sud-ouest, entre les épis 5 et 6, l'état de la plage présentait une évolution moins distinctive par rapport à 2021. Seule une petite bande de matériaux de rechargement demeurait visible sur le haut de la plage. Par ailleurs, l'arpentage de la ligne de rivage au niveau 101,54 m (16,5 pieds) a permis de confirmer que cette ligne de référence conservait une position comparable à celle de l'année précédente. Bien que le rechargement réalisé dans ce secteur ait été efficace pour protéger la berge contre les conditions érosives subies en 2022, son effacement quasi-complet laisse les lieux dans un état de vulnérabilité contre l'érosion comparable à celui de 2021, soit avant le rechargement.

Entre les épis 4 et 5, une détérioration de l'état de la plage a été observée. Le haut de la plage s'est abaissé et le talus situé derrière a été fortement érodé, provoquant une régression de la ligne de végétation et le déracinement de quelques arbres. Un accès à l'eau (escaliers) a également été endommagé et les pieux supportant un patio ont été déchaussés. Selon toute vraisemblance, les dégradations auraient été occasionnées par les conditions érosives et les niveaux d'eau élevés observés lors de la crue printanière du lac Saint-Jean.

Bien que la largeur de la plage dans ce secteur n'ait pas atteint le critère d'intervention inscrit au décret (largeur inférieure à 8 m sur plus de 100 m), l'abaissement du haut de la plage expose le talus situé derrière à un risque accru d'érosion advenant d'autres événements de vagues fortes combinées à des niveaux d'eau élevés, et ce, même si les niveaux d'eau respectent les seuils de gestion autorisés du lac Saint-Jean. **Un rechargement est alors recommandé dans le cadre de la prochaine programmation annuelle des travaux** afin de remplacer les matériaux perdus sur le haut de la plage (qui ne sont pas remplacés naturellement), prévenir une régression supplémentaire du talus végétalisé et protéger les infrastructures situées au sommet. **Le secteur situé entre les épis 5 et 6 devrait également être inclus dans la zone d'intervention**, pour les mêmes raisons.

6.1.2 SITE 2014.03.01 (ÉPIS 7 À 9)

Dans son ensemble, une accumulation nette de +18 330 tonnes a été observée entre les épis 7 et 9, en 2022. Les matériaux proviendraient du transit naturel de sédiments qui dérivent le long du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et qui se déposent dans la zone de plage sous l'effet des vagues. De façon générale, le haut de la plage au-dessus de l'élévation 101,0 m a peu changé, alors que le pied de la plage a vu une migration et un remodelage des barres infralittorales.

Entre les épis 7 et 8, le profil transversal et la position de la ligne de rivage n'ont pas changé de façon distinctive par rapport à 2021. Le même constat est aussi observé au nord-est de l'épi 8, dans la zone de régression anticipée de la plage.

Au nord-est de l'épi 9, l'analyse des profils transversaux indique une forte érosion. L'évolution du littoral dans ce secteur est cependant mieux décrite par l'analyse des bilans sédimentaires bidimensionnels discutée à la section suivante du rapport (site 93.02.02).

6.1.3 SITE 93.02.02

Suivant une crue printanière supérieure à la moyenne dans la Belle Rivière (récurrence 15 ans), des changements morphologiques importants ont été constatés à son embouchure. Ceux-ci incluent :

- Nettoyage de la zone d'obstruction située au droit de la flèche de sable (secteur de Saint-Gédéon-sur-le-Lac) : Le chenal d'écoulement s'est élargi de 34 m et le fond s'est abaissé de 1,6 m, passant de l'élévation 99,9 m à 98,3 m. Environ 9 200 tonnes de sédiments ont été érodés sur la flèche de sable. Toutefois, devant la quantité exceptionnelle de sédiments s'étant accumulés à l'embouchure en novembre 2021, la superficie de la flèche n'a diminué que de 18 % (Tableau 5.15). À cet effet, les études réalisées en 2021 indiquaient qu'un retour à une dynamique plus « standard » d'effacement de la flèche lors de la crue printanière pouvait s'échelonner sur plus d'une année (WSP, 2022a).
- Migration de 50 m du chenal d'écoulement vers Métabetchouan-Lac-à-la-Croix : L'érosion en rive gauche du chenal a provoqué l'effacement d'un des cordons littoraux formant la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière. L'écoulement des eaux a emporté 69 000 tonnes de sédiments.

Une combinaison de facteurs aggravants pourrait avoir contribué à l'érosion plus sévère que la normale constatée sur ce côté de la rivière. D'une part, la quantité exceptionnelle de sédiments s'étant accumulés à l'embouchure de la rivière pourrait avoir modifié l'orientation des courants, dirigeant la force des eaux davantage vers la rive gauche que la rive droite.

Une granulométrie plus fine des sédiments du côté de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix pourrait également avoir rendu les matériaux plus sensibles à l'érosion. À cet égard, les matériaux sur ce côté de la rivière proviennent d'un milieu réputé être riche en sable, tandis que ceux du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac sont plus grossiers, car ils proviennent de la dérive de matériaux érodés sur la plage adjacente et sont alors constitués de matériaux de rechargement en gravillon. Dans ce contexte, les prochaines crues printanières pourraient privilégier davantage une poursuite de la migration du chenal d'écoulement vers Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, plutôt qu'un effacement de la flèche du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.

Autrement, il est aussi possible que la migration substantielle du chenal d'écoulement ait été occasionnée par l'effacement d'un des cordons littoraux formant la langue de sable et l'exposition d'une faiblesse hydrosédimentaire dans les dépôts sous-jacents. Considérant que la langue de sable se soit formée par l'accumulation successive de matériaux transportés par la dérive littorale, il n'est pas impossible que des strates granulométriques hétérogènes ou de compaction variable soient présentes dans la formation. Advenant l'atteinte d'une couche de matériaux plus résistants à l'érosion sur cette rive du chenal d'écoulement, les prochaines crues printanières pourraient à nouveau affecter davantage la flèche de sable du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.

Enfin, le comportement hydrosédimentaire du chenal d'écoulement pourrait aussi avoir été influencé par des conditions de gel variable dans le sol, qui modifient la sensibilité à l'érosion des matériaux. Dans ce contexte, le comportement anticipé du chenal d'écoulement lors de la crue printanière 2023 demeure difficile à prévoir.

- Régression de 35 m de la ligne de rivage sur la langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière : Bien que cette formation soit en régression depuis l'aménagement de l'épi 9 en 2014, qui prive le secteur d'apports sédimentaires en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, la migration du chenal d'écoulement de la Belle Rivière au printemps 2022 a occasionné un recul de la ligne de rivage d'une envergure inégalée jusqu'à présent.

L'extrémité de la langue de sable demeure quant à elle plutôt étroite et il existe un risque élevé que cette partie de la formation s'efface ou qu'une brèche s'y forme lors des prochaines crues printanières (voir zone encadrée en rose sur la Figure 5.10). La dynamique hydrosédimentaire du secteur demeure néanmoins fortement conditionnée par des processus complexes et imprévisibles et il est impossible de préciser davantage l'horizon de temps sur lequel ces changements pourraient survenir.

L'effacement de l'extrémité de la langue de sable ou la formation d'une brèche aurait pour conséquence principale de modifier le tracé du chenal de navigation dans la Belle Rivière et, possiblement, provoquer la formation de hauts fonds ailleurs le long du tracé existant. Par ailleurs, une récurrence de l'érosion observée au printemps 2022 pourrait occasionner la perte de superficies végétalisées sur la crête de la langue de sable, dans sa partie plus centrale. Le cordon littoral conserve néanmoins une largeur importante dans ce secteur et il est peu probable que l'érosion y provoquerait une brèche.

- Migration du canal de sortie vers la digue submergée : Le chenal s'est déplacé contre la structure et s'est retrouvé à longer l'extrémité de l'ouvrage sur une distance d'environ 130 m. Le fond du canal s'est également incisé jusqu'à une profondeur de 96,9 m. Le déplacement a occasionné une érosion de 17 000 tonnes de sédiments le long de la structure. L'affouillement a également atteint, voire légèrement excédé, la profondeur à laquelle sont enfouies les pierres de la digue (97,0 m). La structure ne semble toutefois pas avoir été affectée outre mesure par cette érosion, qui est demeurée confinée à une petite superficie.

Pendant la période estivale et automnale, les changements morphologiques dans l'embouchure de la Belle Rivière ont été caractérisés par :

- Élongation et amincissement de la flèche de sable dans le secteur de Saint-Gédéon-sur-le-Lac : Les accumulations sont évaluées à 3 900 tonnes entre mai et août, puis 1 300 tonnes entre août et septembre. Un bilan neutre a quant à lui été constaté entre septembre et novembre. Le bilan total (5 200 tonnes) correspond à environ 42 % des apports observés en

2021 (12 300 tonnes), lors de la première obstruction du chenal. Les sédiments proviennent de la dérive de matériaux érodés sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.

Malgré une augmentation de sa longueur, la flèche s'est tout de même amincie sous l'action des vagues. La réduction de sa superficie, par rapport à celle de novembre 2021, a atteint un sommet en août, avec -41 %, pour ensuite se clôturer à -34 % en novembre (Tableau 5.15).

- Rétrécissement du chenal d'écoulement au droit de la flèche de sable : L'obstruction du chenal demeure principalement conditionnée par la progression de la flèche de sable du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac. En août, le chenal avait déjà retrouvé des dimensions similaires à celles observées en novembre 2020, soit l'automne avant la première obstruction estivale. Selon des témoignages de riverains, une obstruction complète du chenal d'écoulement a même été observée pendant une courte période en octobre. Les crues automnales de la Belle Rivière ont cependant réussi à nettoyer quelque peu le chenal, qui s'est élargi et approfondi légèrement en novembre.

Bien que l'ensablement du chenal en novembre 2022 était beaucoup moins sévère qu'en novembre 2021, il demeurerait légèrement plus important que celui observé en novembre 2020. Dans ce contexte, une obstruction du chenal pourrait à nouveau être observée en 2023, advenant un effacement insuffisant de la flèche de sable du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac lors de la crue printanière.

- Engraissement de l'extrémité de la langue de sable dans le secteur de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix : Les accumulations sont évaluées à 4 700 tonnes, 2 000 tonnes et 600 tonnes pour les périodes respectives de mai à août, août à septembre, puis septembre à novembre. Les sédiments proviennent de la dérive de matériaux érodés sur la partie ouest de la langue de sable (source principale), ainsi qu'une partie de ceux contournant l'épi 9 (source secondaire).

Il convient toutefois de souligner que cette dynamique n'est représentative que du régime hydrosédimentaire dominant pendant les saisons estivales et automnales, lorsque le transport sédimentaire est influencé majoritairement par l'intensité et l'orientation des vagues. Au printemps, lorsque le transport solide est plutôt contrôlé par l'écoulement des eaux dans la Belle Rivière, l'extrémité de la langue de sable demeure très vulnérable à l'érosion. Ceci est particulièrement éloquent sur les bilans sédimentaires du mois de mai 2022 (Carte 5.5).

- Accumulation de sédiments dans les zones profondes du canal de sortie : Environ 4 600 tonnes de sédiments se seraient déposées dans la portion du chenal qui longe la digue submergée, rehaussant ainsi le fond de 0,9 m, soit jusqu'à l'élévation 97,8 m. Les sédiments proviennent de la dérive de matériaux érodés de part et d'autre du chenal. Les matériaux en provenance de Saint-Gédéon-sur-le-Lac sont en mesure de franchir la crête de la digue submergée, car les accumulations constatées sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement ont provoqué un rehaussement du fond marin à un niveau correspondant.
- Migration des barres infralittorales situées à l'extrémité et au nord-est de l'épi 9 : Ces formations sont alimentées par la dérive de sédiments en provenance de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et contournant l'épi. Une grande partie des matériaux se sont accumulés sur la rive gauche du canal de sortie de la Belle Rivière (20 400 tonnes). Le reste s'est dispersé dans les secteurs plus « amont » de l'embouchure et s'est déposé dans les zones profondes du chenal d'écoulement.

Au niveau de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac, l'année 2022 a été caractérisée par :

- Bilans sédimentaires positifs (accumulation) dans les parties centrale (+9,0 t/m) et nord-est (+7,6 t/m) de la plage (Tableau 5.5) : Dans le cadre des suivis techniques, il s'agit de la première année où un bilan positif est observé sur la partie centrale de la plage (secteur 2), devant le perré de support. Le résultat consolide la diminution de 60 % du taux d'érosion cumulatif observée dans ce secteur depuis 2019. L'analyse graphique des profils transversaux révèle cependant que les accumulations se sont davantage concentrées au pied de la plage, sous l'élévation 100,5 m, alors que de légères régressions ont plutôt été observées sur le haut de la plage. Ce résultat est également visible sur la Carte 5.10 (zone 57).
- Augmentation de l'effacement de la plage devant le perré de support : L'ouvrage assure la protection de la berge en cas d'effacement de la plage. Son exposition provoque cependant une diminution de la quantité de sédiments pouvant être mobilisés sur le haut de la plage. Cette dynamique crée alors un déficit d'apports dans les secteurs adjacents, particulièrement au sud-ouest. Sans l'ouvrage, par contre, une régression du haut de talus serait observée dans ce secteur.

Il convient de souligner que, selon les plans finaux de construction (ROCHE, 2015), la clé du perré serait enfouie au niveau 100,5 m, ce qui est peu profond compte tenu de limite où est observée l'érosion du haut de plage. Le perré semble donc à risque élevé d'affouillement à son pied, ce qui pourrait déstabiliser les pierres et provoquer un affaissement de l'ouvrage. Il est probable que le perré n'ait pas été conçu pour un contexte où l'effacement de la plage devant serait maintenu sur une longue période. Le rechargement de la plage est donc recommandé pour remplacer les sédiments perdus et assurer la pérennité du perré. Sans quoi, une réfection de l'ouvrage pourrait devenir nécessaire advenant sa dégradation, afin de maintenir le niveau de protection de la berge derrière.

- Augmentation de 108 m de la longueur de plage affichant une largeur inférieure à 8 m : La longueur totale du tronçon en déficit du seuil de largeur s'élève à 176 m. En présence de niveaux d'eau saisonniers (autour de 101,0 m l'été), aucune largeur de plage utile n'est présente entre le perré de support et le lac. Selon les critères déclencheurs inscrits au décret, le secteur se qualifie pour une intervention de rechargement de la plage (largeur inférieure à 8 m sur plus de 100 m).
- Érosion de -13,4 t/m dans la partie sud-ouest de la plage (secteur 3) : Les bilans sédimentaires bidimensionnels chiffrent la perte de sédiments à -5 500 tonnes (Carte 5.10, zone 56). Bien que plus faible que l'érosion annuelle de 2021, le résultat continue à être en rupture avec la tendance observée avant 2020, lorsque des accumulations étaient plutôt observées. Le comportement hydrosédimentaire du secteur correspond à celui d'une zone sous l'influence d'un déficit d'apports sédimentaires. Historiquement, le secteur bénéficiait d'une dérive des matériaux de rechargement déposés au centre de la plage (secteur 2). Aujourd'hui, avec la suspension des rechargements et l'effacement de la plage devant le perré de support, les apports se trouvent réduits. Advenant la mise en place d'un nouveau rechargement, il est anticipé que des bilans sédimentaires positifs soient retrouvés dans ce secteur de la plage.

Il est intéressant de noter que le volume d'érosion observé à cet endroit en 2022 correspond approximativement aux accumulations cumulatives observées sur la flèche de sable à l'embouchure de la Belle Rivière (3 900 tonnes (mai-août) + 1 300 tonnes (août-septembre))

= 5 200 tonnes). Ceci démontre que les matériaux érodés sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac constituent la principale source d'apports sur la flèche. L'ajout d'un, ou de plusieurs, épis intermédiaires, ou encore le rehaussement de la digue submergée, sont alors recommandés pour éviter l'ensablement de l'embouchure de la Belle Rivière.

- Accumulations nettes de 4 800 tonnes au pied de la plage et 28 700 tonnes plus au large, sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière : Les matériaux proviennent des secteurs au large de la zone d'analyse.

6.2 ÉVOLUTION CUMULATIVE

6.2.1 SITE 94.03.01 (ÉPIS 5 À 7)

Les résultats de suivis démontrent que les épis en géotubes ont permis de réduire la perte de sédiments au nord-est de l'épi 5. Dans les années qui ont suivi la mise en place des ouvrages (période 2007-2013), le taux d'érosion moyen observé entre les épis 5 et 6 (secteur 3B) a diminué de 76 %, passant de -51,0 t/m/an à -12,0 t/m/an. Une réduction similaire a également été observée entre l'épi 6 et l'épi en géotubes 2 (secteur 4A, profil 2+152), où le taux de transport est passé de -88,3 t/m/an à -23,3 t/m/an (-74 %).

L'intervention a cependant occasionné une augmentation de l'érosion dans le secteur non protégé au nord-est. Le taux de transport au profil 2+049 est notamment passé de -6,9 t/m/an à -43,5 t/m/an. Il convient toutefois de souligner que ce taux de perte demeurerait environ 50 % plus faible que celui observé au profil 2+152 avant la mise en place des épis en géotubes (-88,3 t/m/an) et qui témoignait du taux d'érosion observé sur un tronçon de plage non protégée en aval d'épis conventionnels dans ce secteur. Globalement, le taux de transport moyen pour l'ensemble de la zone d'épis en géotubes (secteur 4A) a subi une légère réduction de 7 % suivant la mise en place des ouvrages.

Une diminution plus marquée du taux d'érosion est quant à elle constatée depuis la construction des épis 7 et 8 au nord-est (période 2013-2022). Dans le secteur des épis en géotubes (secteur 4A), le taux de transport moyen se chiffre maintenant à -12,4 t/m/an, alors qu'il est de -8,3 t/m/an entre les épis 5 et 6 (secteur 3B). Ces résultats représentent des réductions respectives de 64 % et 84 % par rapport à la période de référence (1993-2007). Ils coïncident par ailleurs avec une diminution de la fréquence des rechargements dans le secteur, alors qu'aucune intervention n'a été réalisée entre l'automne 2015 et l'hiver 2022, soit un intervalle de 6 ans.

Sur une base interannuelle, par contre, il convient de souligner que les deux secteurs demeurent sensibles à des épisodes d'érosion plus forts, comme en témoignent les bilans sédimentaires des années 2017, 2018 et 2022 (Tableau 5.4). Par ailleurs, les observations effectuées dans le cadre des suivis techniques indiquent que le haut de la plage ne bénéficie pas d'apports naturels significatifs. Les matériaux qui y sont érodés ne sont donc pas remplacés. La poursuite des rechargements périodiques demeure donc requise pour combler les matériaux perdus et prévenir une régression du talus végétalisé situé au sommet de la plage.

Au sud-ouest de l'épi 7, malgré l'accumulation constatée en 2022, la progression des profils transversaux demeure marginale dans les années récentes et la position de la ligne de rivage

bouge peu depuis 2016. Cette dernière suit même plutôt bien le profil théorique anticipé, qui se veut représentatif de l'état d'équilibre de la plage (voir Annexe C). En ce sens, il semble improbable que la limite d'influence de l'épi poursuive son extension vers le sud-ouest et réduise davantage les taux d'érosion dans le secteur des épis en géotubes.

Pour améliorer la pérennité des matériaux dans ce secteur, les interventions évoquées dans le cadre des suivis précédents (WSP, 2020) demeurent pertinentes. Les solutions incluaient :

1. Rehaussement du profil du rechargement;
2. Mise en place d'épis en éventail au droit des épis en géotubes 2 et 3;
3. Prolongement de l'épi 7 ou construction d'un épi intermédiaire, entre les épis en géotubes et l'épi 7;
4. Réduction de la longueur des épis 2 et 3 (site 91.03.02).

Une analyse approfondie de ces alternatives paraît également appropriée, dans le contexte où les épis en géotubes sont en état de dégradation avancée et que leur réparation ou leur remplacement est recommandé à brève échéance (WSP, 2022b).

L'accumulation totale au sud-ouest de l'épi 7 s'élève à +18 250 tonnes et correspond à environ 74 % de la quantité de matériaux érodés dans le secteur des épis en géotubes depuis 2013 (-24 700 tonnes).

6.2.2 SITE 2014.03.01 (ÉPIS 7 À 9)

Les épis 7 et 8 parviennent à maintenir une plage stable entre les structures. La position de la ligne de rivage bouge peu depuis 2015 et ne semble pas tendre vers un profil aussi concave que l'anticipait le profil théorique (voir Annexe C). Les ouvrages sont donc efficaces dans leur rôle de sécuriser la plage entre les structures et repousser la zone d'érosion prévue se développer en aval du système d'épis vers le nord-est.

Un volume d'environ +5 880 tonnes se serait accumulé entre les ouvrages depuis leur construction (période 2013-2022), malgré l'absence de rechargement dans ce secteur. Les matériaux proviendraient du transit naturel de sédiments qui dérivent le long du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et qui se déposent entre les structures sous l'effet des vagues.

Concernant la zone d'érosion au nord-est de l'épi 8, celle-ci a peu évolué dans les années récentes, ce qui suggère que la plage a atteint un certain état d'équilibre. Le recul de la ligne de rivage demeure que ce qu'anticipait le profil théorique projeté (voir Annexe C). Le secteur est malgré tout caractérisé par un bilan sédimentaire cumulé déficitaire de -21 140 tonnes (période 2013-2022).

Proche de l'épi 9, l'accumulation anticipée au sud-ouest de la structure est moins prononcée que prévu, mais le trait de côte bouge peu d'année en année. En ce sens, l'efficacité de la structure répond aux attentes.

La zone d'analyse conserve une accumulation cumulative nette de +34 530 tonnes de sédiments pour la période 2013-2022, qui se concentre principalement à proximité de l'épi (profils 0+964 à 0+830). Les matériaux proviendraient de la dérive des matériaux érodés au

nord-est de l'épi 8, ainsi que du transit naturel de sédiments qui longent le banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et qui se déposent sur la plage sous l'effet des vagues.

Au nord-est de l'épi 9, l'influence de la structure demeure présente au niveau de la migration et de l'effacement des barres infralittorales sur la plaine sablonneuse adjacente, où une perte nette de -12 200 tonnes est observée depuis mars 2019 (voir note 65, Tableau 5.14). Cette dynamique demeure toutefois normale, puisque le secteur ne bénéficie plus d'autant d'apports sédimentaires, qui sont majoritairement bloqués par l'épi ou détournés plus au large.

L'érosion ne semble malgré tout pas constituer d'enjeu immédiat envers la pérennité de l'ouvrage, puisque le niveau du fond marin demeure plus élevé que le niveau plancher de la structure. Par ailleurs, les parties profondes du chenal d'écoulement de la Belle Rivière se maintiennent à environ 120 m de la structure. Cette distance correspond néanmoins à une réduction de 43 m par rapport à celle observée en 2021. La tendance régressive soulève alors un point de vigilance qui devrait continuer à être surveillé lors des prochains suivis techniques afin de s'assurer que la perte de sédiments ne déchausse pas le pied de la structure.

L'obstruction des apports sédimentaires par l'épi se répercute également sur la langue de sable reliant la structure à l'embouchure de la Belle Rivière, où un recul cumulatif moyen de la ligne de rivage de -38 m est constaté depuis mars 2019 (Tableau 5.18). En 2022, la régression a toutefois été exacerbée par la migration du chenal d'écoulement de la Belle Rivière lors de la crue printanière et l'effacement d'un des cordons littoraux constituant la langue de sable.

Il est anticipé que la combinaison d'agents érosifs (vagues et courants) et de déficits d'apports sédimentaires continue à amincir progressivement la formation. La régression risque de provoquer des pertes de superficies végétalisées en crête et l'extrémité de la langue de sable pourrait éventuellement s'effacer, ou une brèche pourrait s'y ouvrir, modifiant ainsi le tracé du chenal de navigation dans la Belle Rivière. Le risque que cette évolution se matérialise à court terme est élevé, mais la dynamique hydrosédimentaire du secteur demeure fortement conditionnée par des processus complexes et imprévisibles. Il est donc impossible de préciser davantage l'horizon de temps sur lequel ces changements pourraient survenir.

6.2.3 SITE 93.02.02

À Saint-Gédéon-sur-le-Lac (site 93.02.02), l'érosion du haut de la plage constatée en 2022 porte le bilan sédimentaire net à environ -11 500 tonnes depuis mars 2019 (note 66, Tableau 5.14). Ce bilan demeure toutefois partiel, car l'analyse ne couvre pas la pleine portion nord-est de la plage. Le volume d'érosion réel est probablement légèrement plus élevé que celui rapporté. Par ailleurs, considérant les 36 000 tonnes de rechargements déposés dans ce secteur entre les deux périodes de références, l'érosion totale serait plutôt de l'ordre de -47 500 tonnes.

Une accumulation nette de près de +114 000 tonnes de sédiments est quant à elle constatée au pied de la plage et sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement de la Belle Rivière (notes 66 et 67, Tableau 5.14). Ce bilan excède largement les quantités de sédiments érodés sur le haut de la plage et suggère que des sources de sédiments au large de la zone d'analyse contribuent aux accumulations observées.

En ce sens, les analyses démontrent que les travaux de redressement de l'embouchure de la Belle Rivière réalisés à l'hiver 2019 répondent aux attentes et qu'ils sont en voie d'atteindre

leurs objectifs d'adoucissement de la pente de la plage et de réduction des taux d'érosion. Rappelons que, selon Lasalle | NHC (2016), les travaux devaient permettre de réduire l'érosion d'environ 60 % entre les bornes inamovibles 28 et 32 (secteur 2). Cette prévision concorde assez bien avec la réduction du taux de transport observée entre 2019 et 2022 (-58 %, Tableau 5.7). Il convient toutefois de souligner qu'une partie de la réduction constatée dans les dernières années pourrait être attribuée à l'effacement de la plage devant le perré de support et la mise à nue de la structure, ce qui a eu pour effet de diminuer la quantité de sédiments pouvant être mobilisés sur le haut de la plage. Advenant la mise en place d'un nouveau rechargement, une augmentation des taux d'érosion pourrait être observée, sans nécessairement revenir aux valeurs constatées avant les travaux de redressement.

Par ailleurs, malgré la diminution de l'érosion observée, la régression progressive du haut de la plage se poursuit et la mise en place de nouveaux rechargements demeure requise. **Cette évolution respecte toutefois les attentes des travaux de redressement de l'embouchure de la Belle Rivière, qui visaient une réduction de la fréquence des interventions, plutôt qu'un arrêt complet.**

En ce qui concerne l'embouchure de la Belle Rivière, l'évolution du chenal d'écoulement observé lors de la crue printanière de 2022 suggère que la dynamique hydrosédimentaire du secteur pourrait avoir été bouleversée à certains égards. D'abord, malgré une crue supérieure à la moyenne (récurrence 15 ans), la flèche de sable du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac n'a pas subi un effacement aussi prononcé que lors d'années précédentes, dans des conditions similaires (WSP, 2022a). La rivière semble plutôt avoir privilégié une migration accrue du chenal d'écoulement vers Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. Les facteurs aggravants identifiés comme ayant contribué à l'érosion plus sévère que la normale sur ce côté de la rivière suggèrent que l'évolution des lieux pourrait suivre la même tendance lors des prochaines crues printanières. La flèche du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac pourrait alors devenir une formation plus persistante.

Autrement, l'effacement anémique de la flèche de Saint-Gédéon-sur-le-Lac observé en 2022 pourrait simplement avoir été une conséquence de la quantité exceptionnelle de sédiments s'étant accumulés à l'embouchure de la rivière l'automne précédent. À cet effet, les études réalisées en 2021 indiquaient qu'un retour à une dynamique plus « standard » pouvait s'échelonner sur plus d'une année (WSP, 2022a). Dans le contexte où la flèche est maintenant plus mince qu'en novembre 2021 et que l'ensablement est moins sévère, un effacement plus important pourrait être observé en 2023.

Le secteur restera toujours un endroit hautement dynamique est difficile à prévoir en raison des contraintes exercées successivement par les régimes fluvial et littoral, qui ont des effets parfois contrastants sur le remodelage des berges et des parois du canal. La migration des méandres et le déplacement des zones d'érosion et d'accumulation constituent alors des processus normaux pour ce genre de milieu. Ainsi, l'évolution des lieux sera fortement conditionnée par l'intensité de la crue printanière de la Belle Rivière en 2023. Une crue forte pourrait favoriser un meilleur nettoyage de l'embouchure, tandis qu'une crue inférieure à la normale ou un effacement insuffisant de la flèche de Saint-Gédéon-sur-le-Lac pourraient faire perdurer le risque d'obstruction du chenal.

L'autre élément pouvant avoir modifié la dynamique hydrosédimentaire « typique » du chenal d'écoulement est sa migration contre la digue submergée à la sortie de la rivière, combinée à l'engraissement et la progression des barres infralittorales au nord-est de l'épi 9. L'adossement du chenal contre la structure rigide favorise un axe d'écoulement de moindre énergie et

amenuise les chances qu'il se sépare à nouveau de la digue. Les accumulations soutenues devant l'embouchure de la Belle Rivière augmentent par ailleurs les quantités de sédiments que le chenal d'écoulement aurait besoin d'éroder pour reprendre un alignement plus centré entre les structures. La combinaison de ces deux éléments suggère alors que la position du canal de sortie pourrait rester au même endroit encore un moment. La digue submergée a cependant été conçue en considérant cette dynamique et possède une berme anti-affouillement sur son pourtour pour résister au surcreusement du canal. Une inspection visuelle de l'ouvrage devrait toutefois être effectuée lors de la prochaine crue printanière afin de surveiller l'apparition de déformations dans la matrice de pierres.

Le canal de sortie conserve des dimensions similaires à celles du chenal excavé en 2019 (largeur et élévation du fond). Par ailleurs, rien n'indique la présence d'une dynamique favorisant un éventuel retour vers son ancien lit devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.

7 CONCLUSION

7.1 SITE 94.03.01 (ÉPIS 5 À 7)

Au site 94.03.01, trois épis en géotubes ont été aménagés en 2008 pour adresser une problématique d'érosion récurrente en aval d'un champ d'épis en enrochement construit antérieurement. Les géotubes devaient favoriser une meilleure stabilité des matériaux sur la plage, entre les structures ainsi qu'au sud-ouest, tout en minimisant l'impact des ouvrages sur le tronçon de plage non protégée situé au nord-est.

Les suivis réalisés depuis leur mise en place indiquent que les ouvrages ont permis de réduire de 76 % les taux d'érosion entre l'épi 5 et l'épi en géotubes 2, tout en permettant un transit partiel de la dérive littorale vers le nord-est. Malgré une augmentation de l'érosion au nord-est des ouvrages, le taux de transport y demeurait plus faible que celui observé en aval d'épis conventionnels en enrochement dans ce secteur. En ce sens, l'efficacité des épis en géotubes était conforme à ce qui est attendu pour ce type d'ouvrage. Globalement, par contre, le taux de transport moyen pour l'ensemble du secteur n'a diminué que de 7 % dans les années qui ont suivi la mise en place des structures. Il est donc compréhensible que l'envergure et la fréquence des rechargements n'ait pas diminué de façon significative.

L'ajout, en 2014, de deux épis en enrochement au nord-est (épis 7 et 8), a quant à elle provoqué la formation d'une zone d'accumulation au nord-est des épis en géotubes et a amélioré la stabilité des matériaux dans ce secteur. La diminution du taux d'érosion atteint maintenant 64 % dans la zone des épis en géotubes et 84 % entre les épis 5 et 6. Ces résultats coïncident avec une réduction de la fréquence des rechargements, alors qu'un intervalle de 6 ans a été observé entre les dernières interventions (automne 2015 à hiver 2016).

Les résultats d'analyses indiquent toutefois que la zone d'accumulation au sud-ouest de l'épi 7 a atteint son état d'équilibre. Dans ce contexte, il est improbable que la zone d'influence de l'ouvrage poursuive son extension vers le sud-ouest et réduise davantage les taux d'érosion dans le secteur des épis en géotubes.

Par ailleurs, les observations effectuées dans le cadre des suivis indiquent que le haut de la plage dans ce secteur ne bénéficie pas d'apports naturels significatifs. Les matériaux qui y sont érodés ne sont donc pas remplacés. La poursuite des rechargements périodiques demeure donc requise pour combler les matériaux perdus et prévenir une régression du talus végétalisé situé au sommet de la plage. Autrement, une modification des structures existantes ou l'ajout de nouvelles structures seraient requis pour améliorer la pérennité des matériaux.

À cet effet, une inspection des épis en géotubes réalisée à l'automne 2021 a permis d'identifier la présence de plusieurs déficiences sur les ouvrages, dont la rupture et l'évidement de certaines sections, le déchirement et le délogement de la membrane protectrice sous-jacente et des boudins latéraux, ainsi que le bris de plusieurs couvercles de remplissage. La réparation ou le remplacement des ouvrages à brève échéance était d'ailleurs recommandé.

Enfin, il convient de souligner qu'une dégradation importante du haut de la plage a été constatée dans le secteur adjacent à la zone de suivi, entre les épis 4 et 5. Le haut de la plage s'est abaissé et le talus situé derrière a été fortement érodé, provoquant une régression de la ligne de végétation et le déracinement de quelques arbres. Un accès à l'eau (escaliers) a

également été endommagé et les pieux supportant un patio ont été déchaussés. **Un rechargement est alors recommandé dans ce secteur lors de la prochaine programmation annuelle des travaux** afin de remplacer les matériaux perdus, prévenir une régression supplémentaire du talus végétalisé et protéger les infrastructures situées au sommet. **Le secteur situé entre les épis 5 et 6 devrait également être inclus dans la zone d'intervention**, puisque les matériaux de rechargement déposés à l'hiver 2022 ont presque tous été érodés, laissant les lieux dans un état de vulnérabilité contre l'érosion comparable à celui de 2021, soit avant le rechargement.

7.2 SITE 2014.03.01 (ÉPIS 7 À 9)

Outre une diminution de l'érosion au nord-est des épis en géotubes, les épis 7 et 8 devaient aussi assurer la stabilité de la plage entre les structures et repousser la zone d'érosion prévue se développer au nord-est des ouvrages vers un secteur où le trait de côte bénéficie d'un espace de liberté accru et où un recul est tolérable. L'épi 9 devait quant à lui permettre le développement d'un état d'équilibre le long de la plage au sud-ouest et éviter que la dérive des sédiments ne migre devant l'embouchure de la Belle Rivière, où ils exerçaient une pression sur le chenal d'écoulement et provoquaient sa déviation devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.

Les suivis réalisés depuis la mise en place des ouvrages confirment que les aménagements ont une efficacité conforme aux attentes. Le trait de côte entre les structures converge vers un état d'équilibre et la zone d'érosion au nord-est de l'épi 8 est moins importante qu'initialement prévu lors de la conception des ouvrages.

Au nord-est de l'épi 9, des accumulations demeurent présentes en rive gauche du chenal d'écoulement de la Belle Rivière, mais se produisent plus au large et dans des endroits moins névralgiques pour l'ensablement et la déviation de l'embouchure. Plus près du rivage, la migration du chenal d'écoulement et l'érosion de la langue de sable reliant l'épi à l'embouchure de la Belle Rivière ont provoqué l'effacement d'un des cordons littoraux et une régression importante de la ligne de rivage. Ces dégradations ne constituent pas d'enjeu immédiat à l'égard de la stabilité de l'épi, mais l'évolution des lieux devrait continuer à être surveillée annuellement ou bi-annuellement, afin de vérifier que la perte de sédiments ne déchausse pas le pied de la structure.

7.3 SITE 93.02.02

Au site 93.02.02, les travaux de redressement de l'embouchure de la Belle Rivière avaient pour objectifs d'adoucir la pente transversale du rivage et de réduire le taux d'érosion sur le haut de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac. La digue submergée devait par ailleurs prévenir un retour du chenal d'écoulement de la Belle Rivière devant la plage.

Les suivis réalisés jusqu'à présent démontrent que ces travaux répondent aux attentes, dans la mesure où les bilans sédimentaires indiquent des accumulations significatives sur le remblai de l'ancien chenal d'écoulement et une réduction d'environ 60 % du taux d'érosion sur la partie centrale de la plage, devant le perré de support.

Une régression du haut de la plage y persiste malgré tout et le secteur a maintenant **besoin d'un nouveau rechargement considérant qu'il a atteint le seuil déclencheur inscrit au**

décret pour sa planification (largeur inférieure à 8 m sur plus de 100 m). Cette intervention serait notamment requise pour remplacer les sédiments perdus, restaurer une largeur de plage utile convenable entre le perré de support et le lac, puis renhausser le perré de support, qui demeure à risque d'affouillement et de déstabilisation des pierres. Il convient de souligner que la nécessité de cette intervention ne signifie pas pour autant un échec des travaux de redressement de l'embouchure de la Belle Rivière, qui visaient une réduction de la fréquence des interventions, plutôt qu'un arrêt complet. À cet effet, la dernière intervention de rechargement a été réalisée à l'hiver 2020, il y a donc 3 ans.

Dans le contexte d'ensablement de l'embouchure de la Belle Rivière observée depuis 2021, par contre, la mise en place d'un nouveau rechargement ne peut être envisagée sans l'ajout de structures supplémentaires (épis ou brise-lames) sur la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac pour retenir les matériaux et éviter qu'ils ne migrent vers l'embouchure de la rivière. Les suivis démontrent clairement que les sédiments érodés sur la plage constituent la principale source d'apports sur la flèche de sable et que cette formation est l'élément prépondérant qui influence l'obstruction du chenal.

À cet effet, l'état des lieux observé en novembre 2022 demeurerait comparable, voire légèrement plus ensablé, que celui observé en novembre 2020, soit juste avant la première manifestation de la problématique d'ensablement du chenal en 2021. **L'évolution des lieux sera fortement conditionnée par la crue printanière de la Belle Rivière en 2023, mais le risque que le chenal s'obstrue à nouveau persiste, advenant un effacement insuffisant de la flèche de sable du côté de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.**

Une obstruction partielle ou complète de l'embouchure pourrait avoir des impacts significatifs sur les usagers du chenal de navigation et les riverains du Grand Marais. La circulation nautique pourrait notamment être réduite ou interrompue. Un rehaussement des niveaux d'eau en amont de l'obstruction pourrait également se produire, en raison de l'accumulation des apports dans la rivière. En cas de débits forts ou de niveaux d'eau élevés, ce phénomène pourrait constituer un risque d'infiltration d'eau pour les propriétés riveraines et les installations nautiques en amont.

En aval de la zone d'obstruction, des changements importants ont pris forme au niveau du chenal d'écoulement de la Belle Rivière en 2022. Sa position a notamment subi une migration prononcée vers Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, provoquant une régression supérieure à la normale de la langue de sable reliant l'épi 9 à l'embouchure de la Belle Rivière. Cette formation subit un déficit d'apports sédimentaires depuis l'aménagement de l'épi 9 en 2014, qui capte la dérive de matériaux et la redirige vers le large, mais la combinaison de facteurs aggravants observés en 2022 a occasionné un recul d'une envergure inégalée auparavant.

Tout porte à croire que la régression se poursuivra en 2023. Une perte supplémentaire de superficies végétalisées sur la crête du cordon littoral est donc anticipée. L'extrémité de la formation demeure par ailleurs très étroite et il existe un risque élevé qu'elle s'efface ou qu'une brèche s'y forme lors des prochaines crues printanières, ce qui aurait pour conséquence de modifier le tracé du chenal de navigation et, possiblement, provoquer la formation de hauts fonds ailleurs le long du tracé existant.

Proche de l'épi 9, l'érosion de la langue de sable ne semble pas constituer d'enjeu immédiat envers la pérennité de l'ouvrage, puisque le niveau du fond marin demeure plus élevé que le niveau plancher de la structure.

À la sortie de la Belle Rivière, le chenal d'écoulement a adopté une position qui longe l'extrémité de la digue submergée. À court terme, il semble peu probable que cette position migre de façon significative et que le chenal reprenne un alignement plus centré entre la digue et l'épi 9. La digue submergée a cependant été conçue en considérant cette dynamique et possède une berme anti-affouillement sur son pourtour pour résister au surcreusement du canal. **Une inspection visuelle de l'ouvrage demeure malgré tout recommandée lors de la prochaine crue printanière afin de surveiller l'apparition de déformations dans la matrice de pierres.**

Rien n'indique la présence d'une dynamique favorisant un éventuel retour du chenal d'écoulement vers son ancien lit, devant la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- LASALLE-NHC. 2016. *Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean (2017-2026) – Étude et modélisation de l'érosion des berges. Rapport d'étude R.0024 – Volume 2 : Secteur Belle-Rivière*. Rapport final de Lasalle | NHC à Rio Tinto Alcan. 47 p. et annexes.
- ROCHE. 2015. *Programme de stabilisation des berges Hiver 2015. Site 93.02.02, Saint-Gédéon. Plans d'inventaire après construction (émission E)*. Dessin 324113.
- WSP. 2020. *Sites 94.03.01, 2014.03.01 et 93.02.02 – Métabetchouan–Lac à la Croix et Saint-Gédéon – Suivi technique 2019*. Rapport final de WSP Canada Inc. à Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. 61 p. et annexes.
- WSP. 2021. *Sites 94.03.01, 2014.03.01 et 93.02.02 – Métabetchouan–Lac à la Croix et Saint-Gédéon – Suivi technique 2020*. Rapport final de WSP Canada Inc. à Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. 63 p. et annexes.
- WSP. 2022a. *Ensablement de l'embouchure de la Belle Rivière (site 93.02.02) – Diagnostic et étude de faisabilité*. Rapport final de WSP Canada Inc. à Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. 67 p. et annexes.
- WSP. 2022b. *Site 94.03.01 (Métabetchouan–Lac à la Croix) – Inspection des épis en géotubes*. Rapport final de WSP Canada Inc. à Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. 17 p. et annexes.
- WSP. 2022c. *Sites 2014.03.01 et 93.02.02 – Métabetchouan–Lac à la Croix et Saint-Gédéon – Suivi technique 2021*. Rapport final de WSP Canada Inc. à Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. 65 p. et annexes.

ANNEXE

A RÉPERTOIRE PHOTOGRAPHIQUE



Suivi technique 2022
Sites 94.03.01, 2014.03.01 et 93.02.02 - Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et Saint-Gédéon

• Photos retenues •

	PHOTO N°	DATE	ÉLÉVATION DU LAC	
			mètres	(pieds)
Site 94.03.01	1	22/11/08	100.82	(14.1)
	2	21/09/15	100.08	(11.7)
	3	22/11/08	100.82	(14.1)
	4	21/09/15	100.08	(11.7)
	5	22/11/08	100.82	(14.1)
	6	21/09/15	100.08	(11.7)
	7	20/09/24	100.94	(14.5)
	8	19/07/12	101.24	(15.5)
	9	22/11/08	100.82	(14.1)
	10	21/09/15	100.08	(11.7)
	11	20/09/24	100.94	(14.5)
	12	19/07/12	101.24	(15.5)
	13	22/11/08	100.82	(14.1)
	14	21/09/15	100.08	(11.7)
	15	20/09/24	100.94	(14.5)
	16	19/07/12	101.24	(15.5)
	17	22/11/08	100.82	(14.1)
	18	21/09/15	100.08	(11.7)
	19	20/09/24	100.94	(14.5)
	20	19/07/12	101.24	(15.5)
Site 2014.03.01	21	22/11/08	100.82	(14.1)
	22	21/09/15	100.08	(11.7)
	23	20/09/24	100.94	(14.5)
	24	19/07/12	101.24	(15.5)
	25	22/11/08	100.82	(14.1)
	26	21/09/15	100.08	(11.7)
	27	20/09/24	100.94	(14.5)
	28	19/07/12	101.24	(15.5)
	29	22/11/08	100.82	(14.1)
	30	21/09/15	100.08	(11.7)
	31	20/09/24	100.94	(14.5)
	32	19/07/12	101.24	(15.5)
	33	22/11/08	100.82	(14.1)
	34	21/09/15	100.08	(11.7)
	35	20/09/24	100.94	(14.5)
	36	19/07/12	101.24	(15.5)
	37	22/11/08	100.82	(14.1)
	38	22/11/08	100.82	(14.1)
	39	22/11/08	100.82	(14.1)
	40	21/09/15	100.08	(11.7)
	41	20/09/24	100.94	(14.5)
	42	19/07/12	101.24	(15.5)
Site 93.02.02	43	22/11/08	100.82	(14.1)
	44	21/09/15	100.08	(11.7)
	45	20/09/24	100.94	(14.5)
	46	19/07/12	101.24	(15.5)
	47	22/11/08	100.82	(14.1)
	48	21/09/15	100.08	(11.7)
	49	20/09/24	100.94	(14.5)
	50	19/07/12	101.24	(15.5)
	51	22/11/08	100.82	(14.1)
	52	21/09/15	100.08	(11.7)
	53	20/09/24	100.94	(14.5)
	54	19/07/12	101.24	(15.5)
	55	22/11/08	100.82	(14.1)
	56	21/09/15	100.08	(11.7)
	57	20/09/24	100.94	(14.5)
	58	19/07/12	101.24	(15.5)
	59	22/11/08	100.82	(14.1)
	60	21/09/15	100.08	(11.7)
	61	20/09/24	100.94	(14.5)
	62	19/07/12	101.24	(15.5)
	63	22/11/08	100.82	(14.1)
	64	21/09/15	100.08	(11.7)
	65	22/11/08	100.82	(14.1)
	66	22/11/08	100.82	(14.1)
	67	21/09/15	100.08	(11.7)
	68	20/09/24	100.94	(14.5)
	69	19/07/12	101.24	(15.5)

SITE
94.03.01



Photo 1
(20221108-JM-2370)

Secteur 3A : Pieux de galerie déchaussés entre les épis 4 et 5 (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 2
(20210915-JM-2027)

Secteur 3A : Pieux de galerie proche du haut de talus entre les épis 4 et 5 (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 3

(20221108-JM-2368)

Secteur 3A : Vue de l'épi 4 vers l'épi 5 (8 nov. 2022)

Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 4

(20210915-JM-2024)

Secteur 3A : Vue de l'épi 4 vers l'épi 5 (15 sept. 2021)

Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 5
(20221108-JM-2373)

Secteur 3B : Vue de l'épi 5 vers l'épi 6/géotube 1 (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 6
(20210915-JM-2031)

Secteur 3B : Vue de l'épi 5 vers l'épi 6/géotube 1 (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 7
(20200924-NB-0322)

Secteur 3B : Vue de l'épi 5 vers l'épi 6/géotube 1 (24 sept. 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 8
(20190712-JM-1234)

Secteur 3B : Vue de l'épi 5 vers l'épi 6/géotube 1 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).



Photo 9

(20221108-JM-2378)

Secteur 4A : Vue au nord-est de l'épi 6/géotube 1 (8 nov. 2022)

Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 10

(20210915-JM-2040)

Secteur 4A : Vue au nord-est de l'épi 6/géotube 1 (15 sept. 2021)

Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 11
(20200924-NB-0327)

Secteur 4A : Vue au nord-est de l'épi 6/géotube 1 (24 sept. 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 12
(20190712-JM-1239)

Secteur 4A : Vue au nord-est de l'épi 6/géotube 1 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).



Photo 13
(20221108-JM-2383)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 2 (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 14
(20210915-JM-2047)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 2 (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 15
(20200924-NB-0337)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 2 (24 septembre 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 16
(20190712-JM-1251)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 2 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).



Photo 17
(20221108-JM-2387)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 3 (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 18
(20210915-JM-3659)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 2 (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 19
(20200924-NB-344)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 3 (24 septembre 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 20
(20190712-JM-1325)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 3 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

Site
2014.03.01



Photo 21
(20221108-JM-2395)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 7 (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 22
(20210915-JM-3652)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 7 (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 23
(20200924-NB-0361)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 7 (24 sept. 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 24
(20190712-JM-1255)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 7 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).



Photo 25

(20221108-JM-2397)

Secteur 2 : Vue de l'épi 7 vers l'épi 8 (8 nov. 2022)

Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 26

(20210915-JM-3649)

Secteur 2 : Vue de l'épi 7 vers l'épi 8 (15 sept. 2021)

Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 27
(20200924-NB-0359)

Secteur 2 : Vue de l'épi 7 vers l'épi 8 (24 sept. 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 28
(20190712-JM-1258)

Secteur 2 : Vue de l'épi 7 vers l'épi 8 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).



Photo 29
(20221108-JM-2404)

Secteur 3A : Vue au nord-est de l'épi 8 (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 30
(20210915-JM-3648)

Secteur 3A : Vue au nord-est de l'épi 8 (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 31
(20200924-NB-0372)

Secteur 3A : Vue au nord-est de l'épi 8 (24 sept. 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 32
(20190712-JM-1262)

Secteur 3A : Vue au nord-est de l'épi 8 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).

Suivi technique 2022



Photo 33

(20221108-JM-2413)

Secteur 3B : Au sud-ouest de l'épi 9 (8 nov. 2022)

Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 34

(20210915-JM-3635)

Secteur 3B : Au sud-ouest de l'épi 9 (15 sept. 2021)

Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).

Suivi technique 2022

**Photo 35**

(20200924-NB-0404)

Secteur 3B : Vue du sud-ouest vers l'épi 9 (24 sept. 2020)

Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).

**Photo 36**

(20190712-JM-1289)

Secteur 3B : Vue du sud-ouest vers l'épi 9 (12 juil. 2019)

Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).



Photo 37
(20221108-JM-2419)

Secteur 4 : Langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 38
(20221108-JM-2423)

Secteur 4 : Langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 39
(20221108-JM-2428)

Secteur 4 : Langue de sable reliant l'épi 9 et l'embouchure de la Belle Rivière (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 40
(20210915-JM-3636)

Secteur 4 : Au nord-est de l'épi 9 (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 41
(20200924-NB-435)

Secteur 4 : Flèche de sable au nord-est de l'épi 9 (24 sept. 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 42
(20190712-JM-1298)

Secteur 4 : Flèche de sable au nord-est de l'épi 9 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).

Site
93.02.02



Photo 43
(20221108-JM-2341)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 44
(20210915-JM-2000)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 45
(20200924-NB-232)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (24 sept. 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).

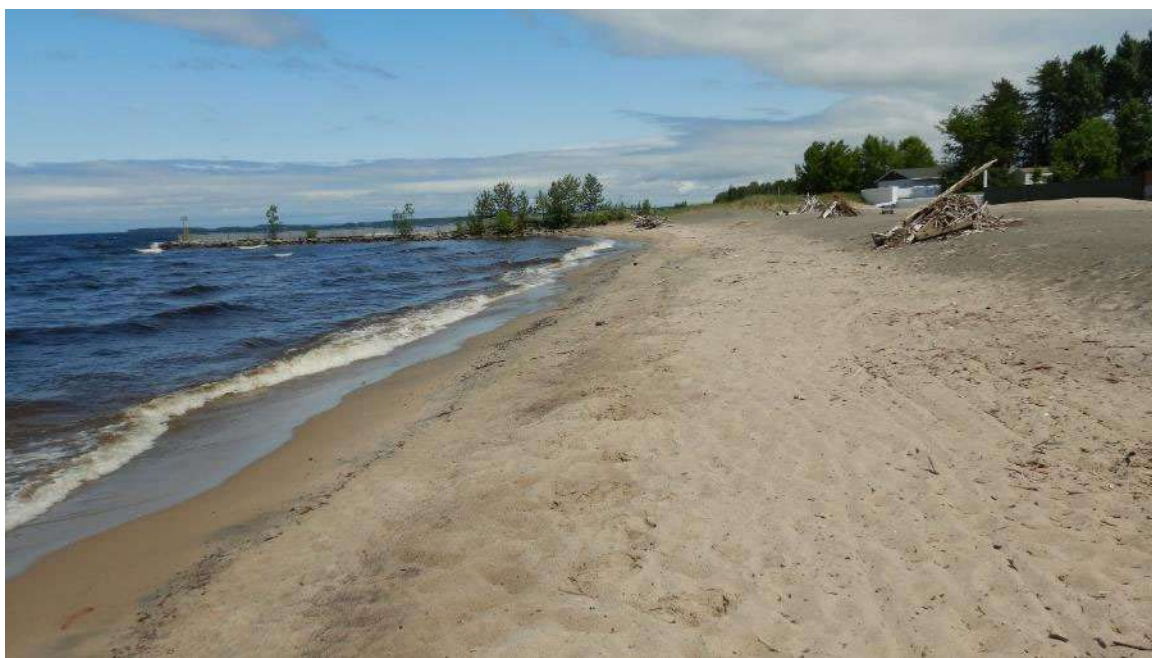


Photo 46
(20190712-JM-1115)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).



Photo 47
(20221108-JM-2349)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 48
(20210915-JM-2016)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 49
(20200924-NB-251)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (24 sept. 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 50
(20190712-JM-1110)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).



Photo 51
(20221108-JM-2339)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 52
(20210915-FL-038)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 53

(20200924-NB-219)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (24 sept. 2020)

Élévation du lac : 100,94 m (14,5).

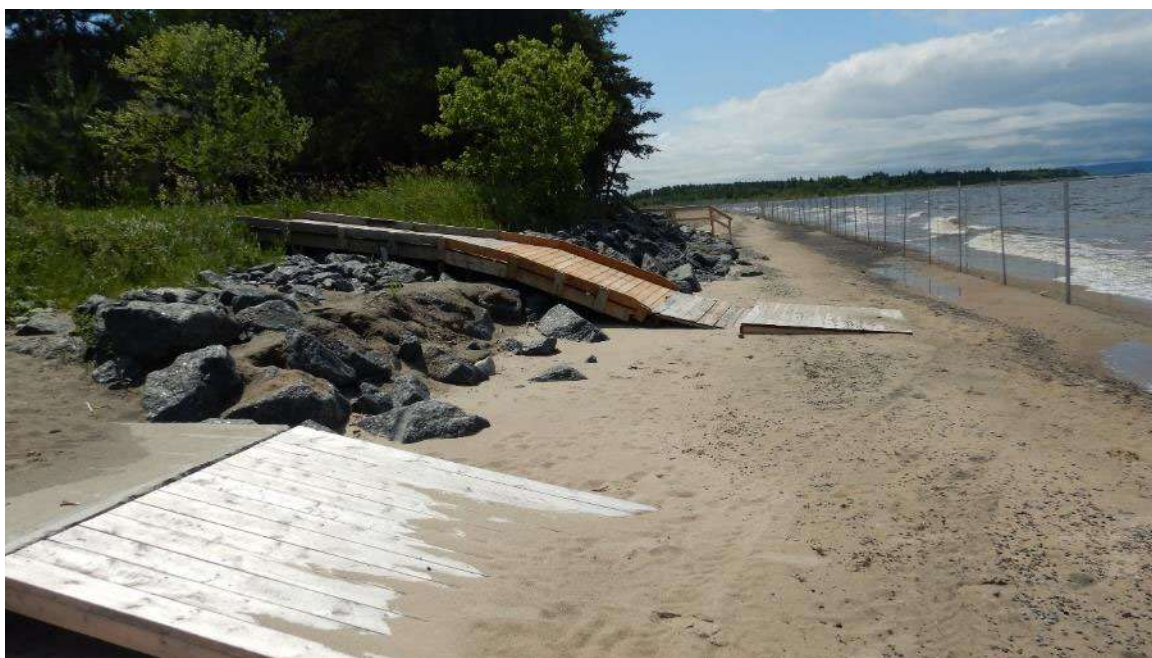


Photo 54

(20190712-JM-1124)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (12 juil. 2019)

Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).



Photo 55
(20221108-JM-2333)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 56
(20210915-JM-7255)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 57
(20200924-NB-215)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (24 sept. 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 58
(20190712-JM-1127)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).



Photo 59
(20221108-JM-2318)

Secteur 3 : Vue au nord-est de la digue submergée (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 60
(20210915-JM-1961)

Secteur 3 : Vue au nord-est de la digue submergée (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 61

(20200924-NB-194)

Secteur 3 : Vue au nord-est de la digue submergée (24 sept. 2020)

Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).



Photo 62

(20190712-JM-1289)

Secteur 3 : Vue au nord-est de la digue submergée (12 juil. 2019)

Élévation du lac : 101,24 m (15,5 pi).



Photo 63
(20221108-JM-2434)

Secteur 3 : Vue nord-est de la digue submergée et embouchure Belle Rivière (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 64
(20210915-JM-043)

Secteur 3 : Vue nord-est de la digue submergée et embouchure Belle Rivière (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 65
(20221108-JM-2310)

Secteur 3 : Perré à la base de la digue submergée (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 66
(20221108-JM-2311)

Secteur 3 : Perré à la base de la digue submergée (8 nov. 2022)
Élévation du lac : 100,82 m (14,1 pi).



Photo 67
(20210915-JM-9713)

Secteur 3 : Perré à la base de la digue submergée (15 sept. 2021)
Élévation du lac : 100,08 m (11,7 pi).



Photo 68
(20200924-NB-170)

Secteur 3 : Perré à la base de la digue submergée (24 sept. 2020)
Élévation du lac : 100,94 m (14,5 pi).

**Photo 69**

(20190712-JM-1151)

Secteur 3 : Perré à la base de la digue submergée (12 juil. 2019)

Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

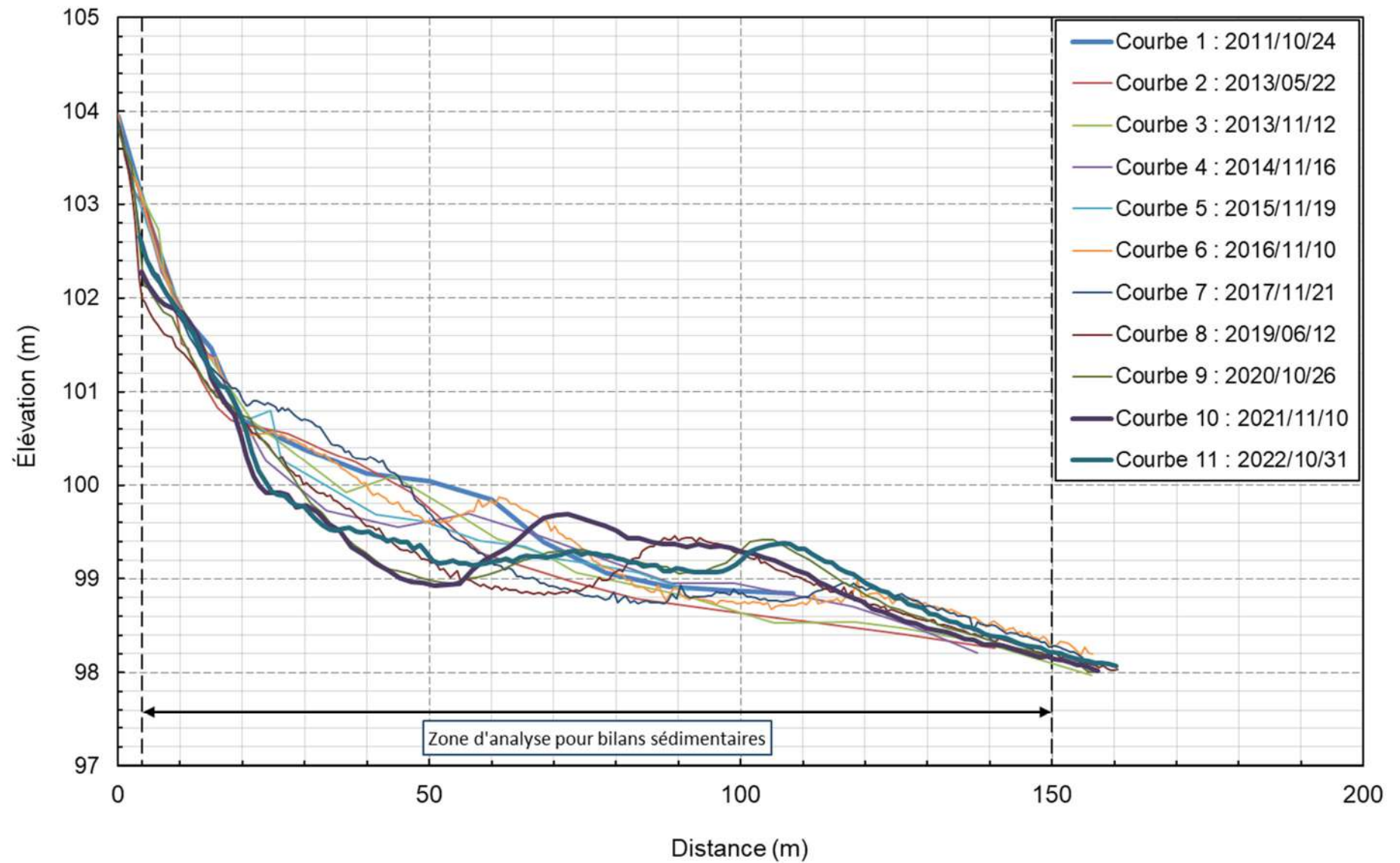
ANNEXE

B PROFILS BATHYMÉTRIQUES

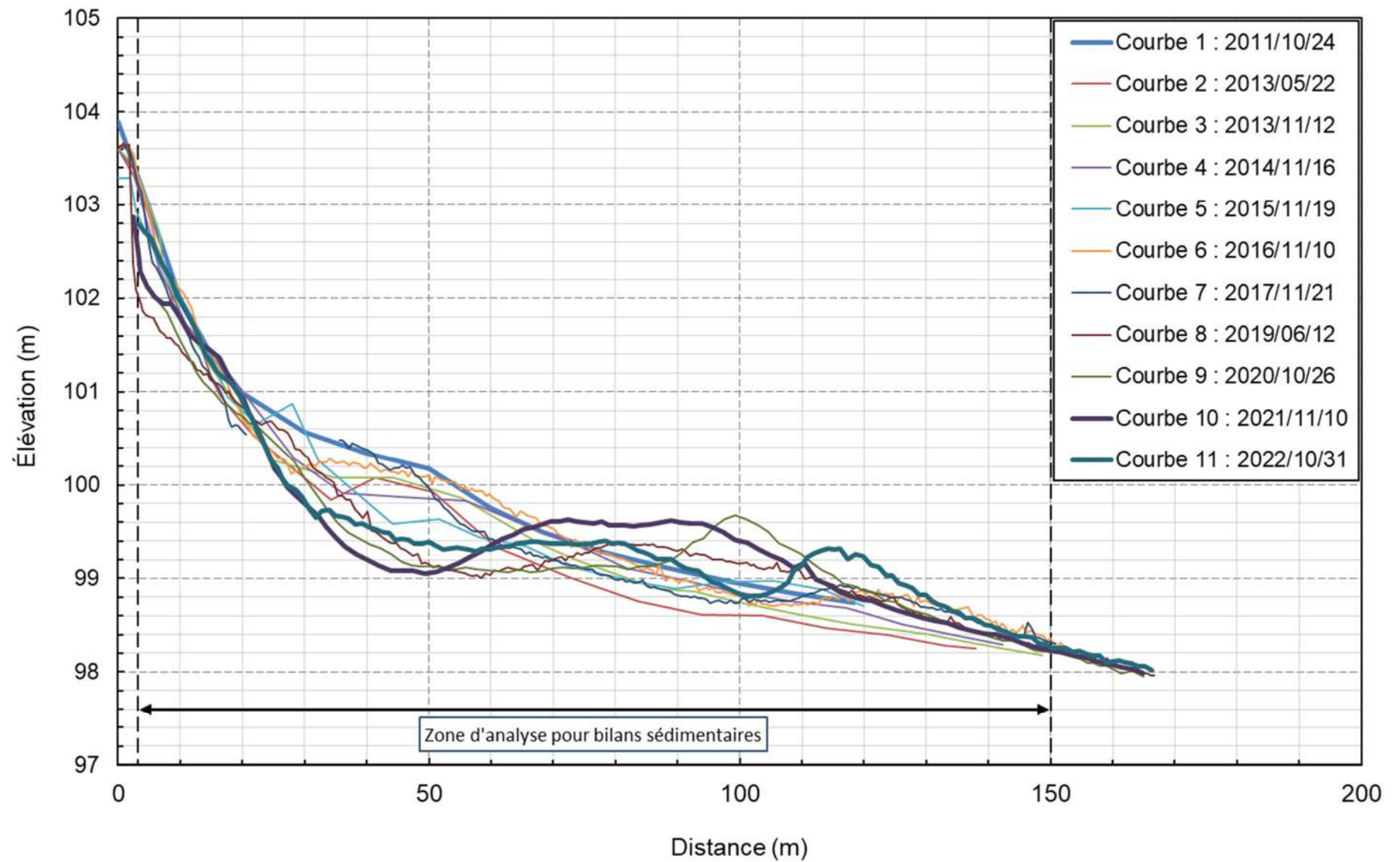


SITE
94.03.01

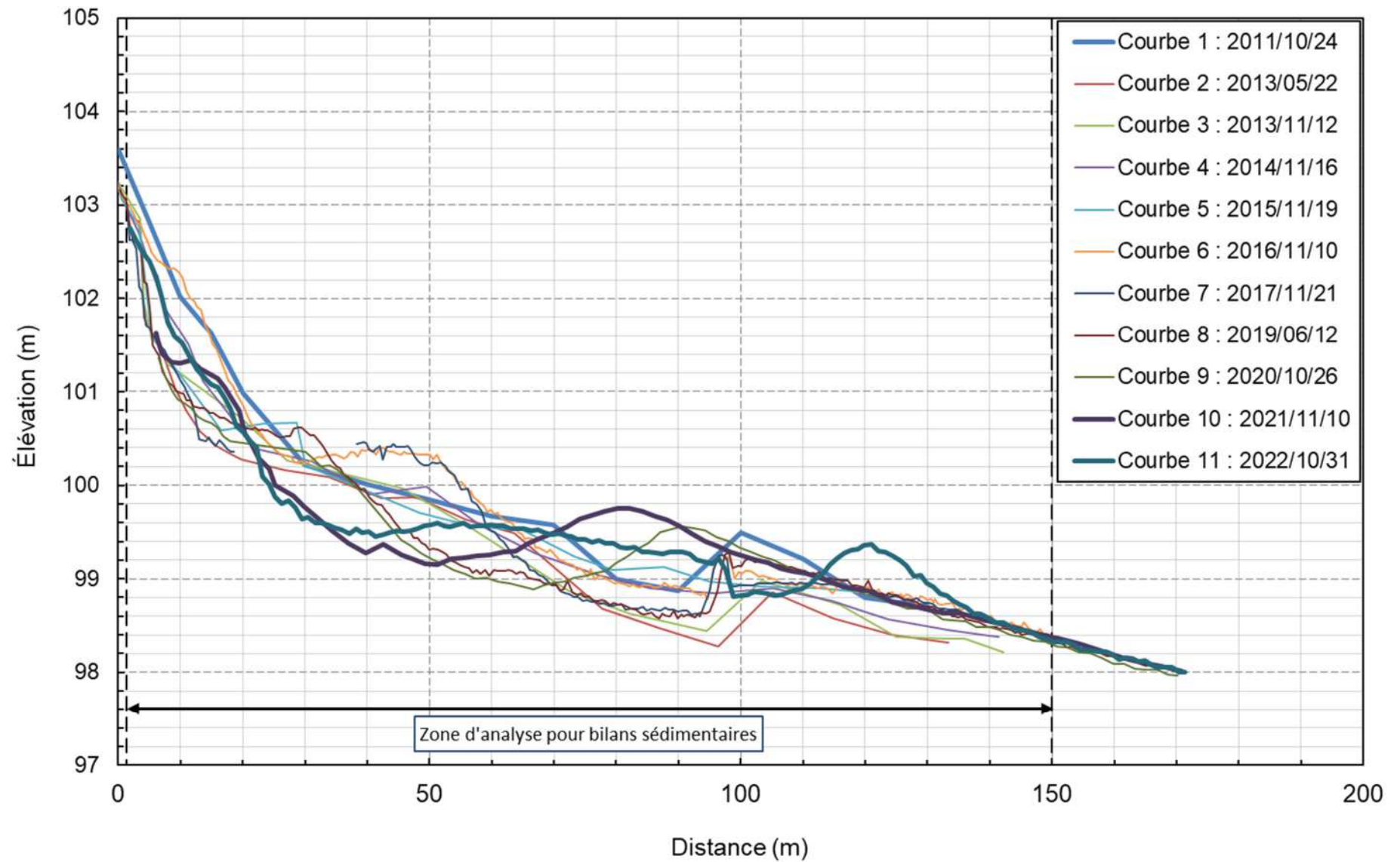
SECTEUR : A0307PR74 CHAINAGE : 2+210



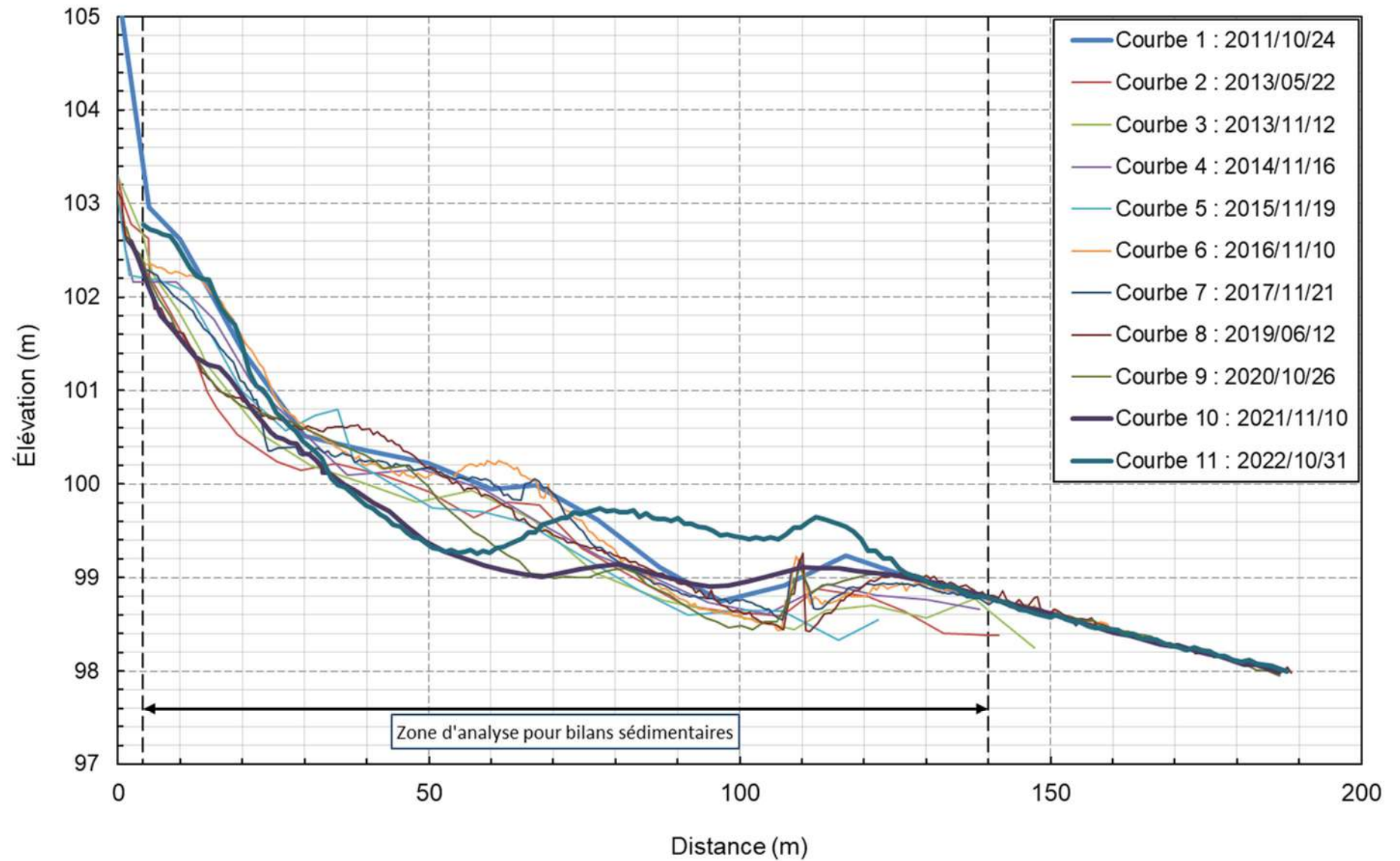
SECTEUR : A0307PR73 CHAINAGE : 2+186



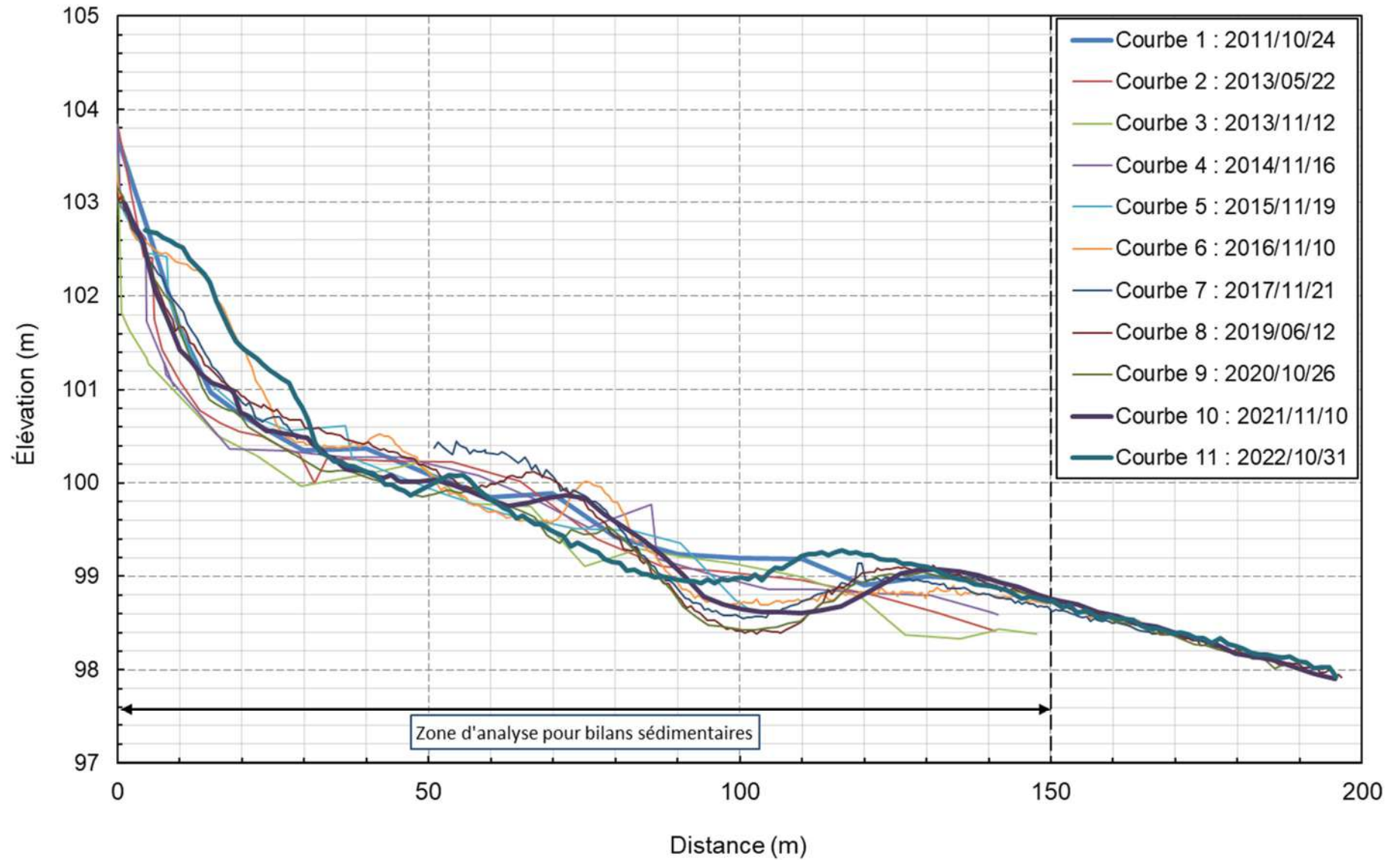
SECTEUR : A0307PR69 CHAINAGE : 2+152



SECTEUR : A0307PR72 CHAINAGE : 2+095

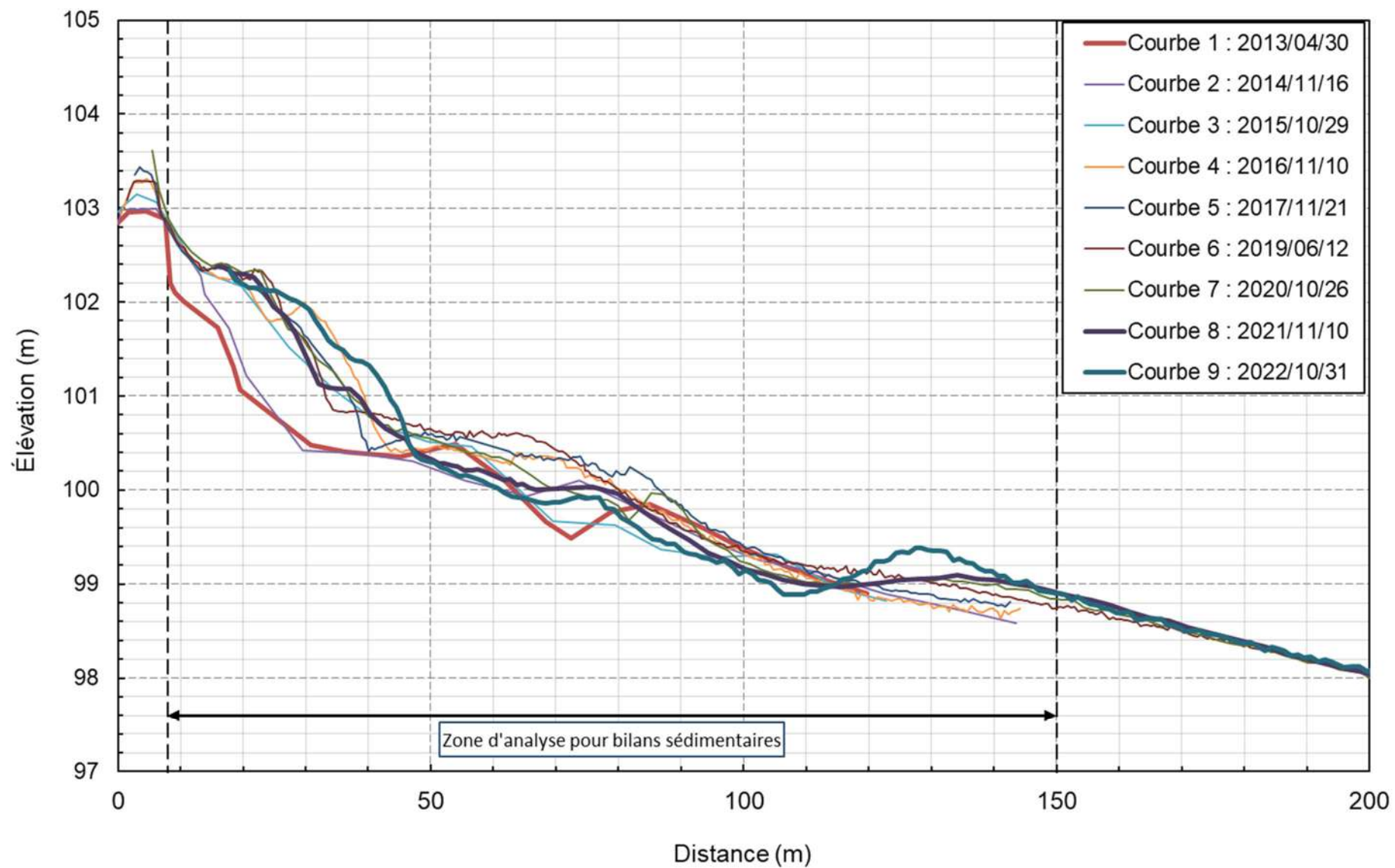


SECTEUR : A0307PR70 CHAINAGE : 2+049

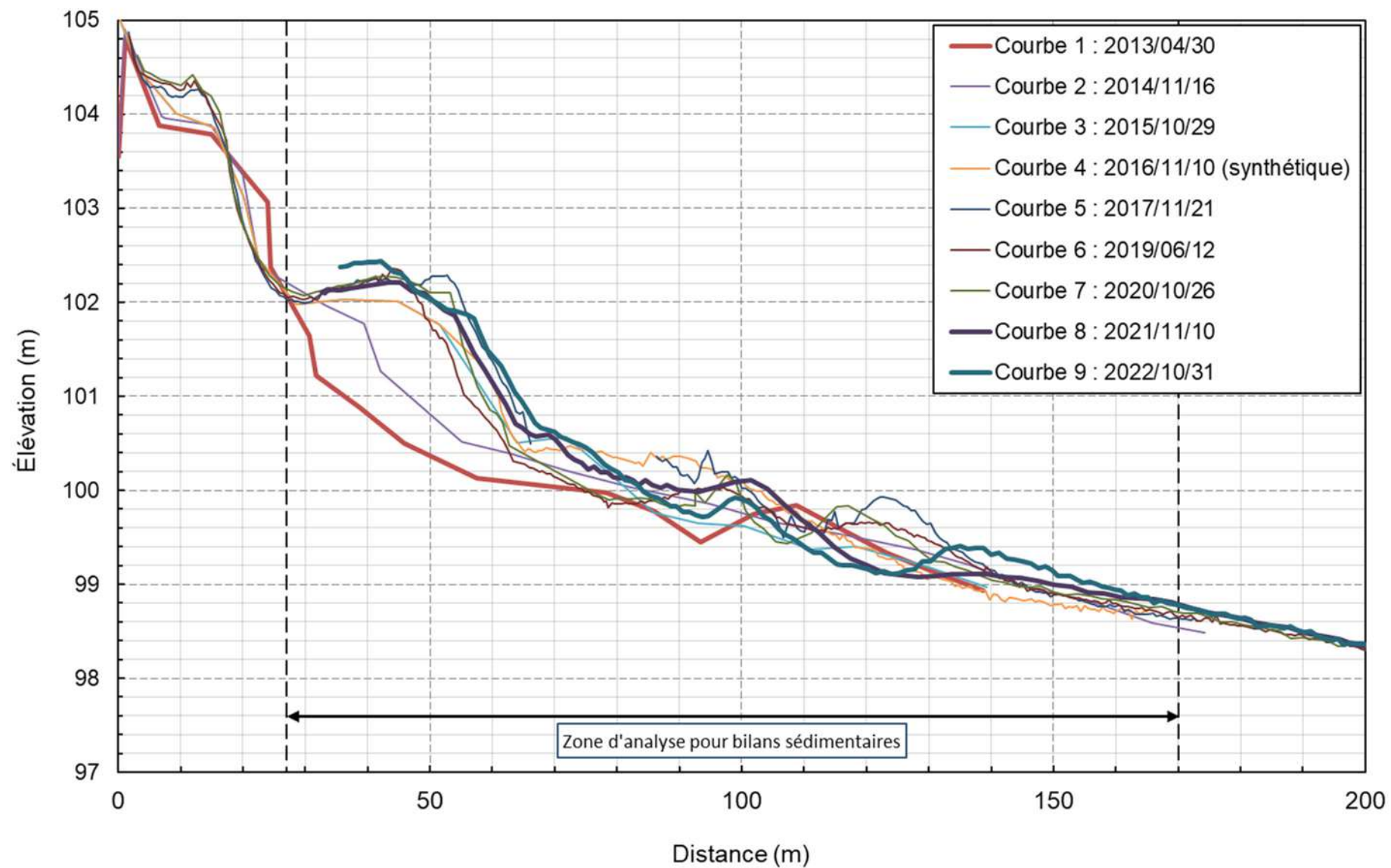


Site
2014.03.01

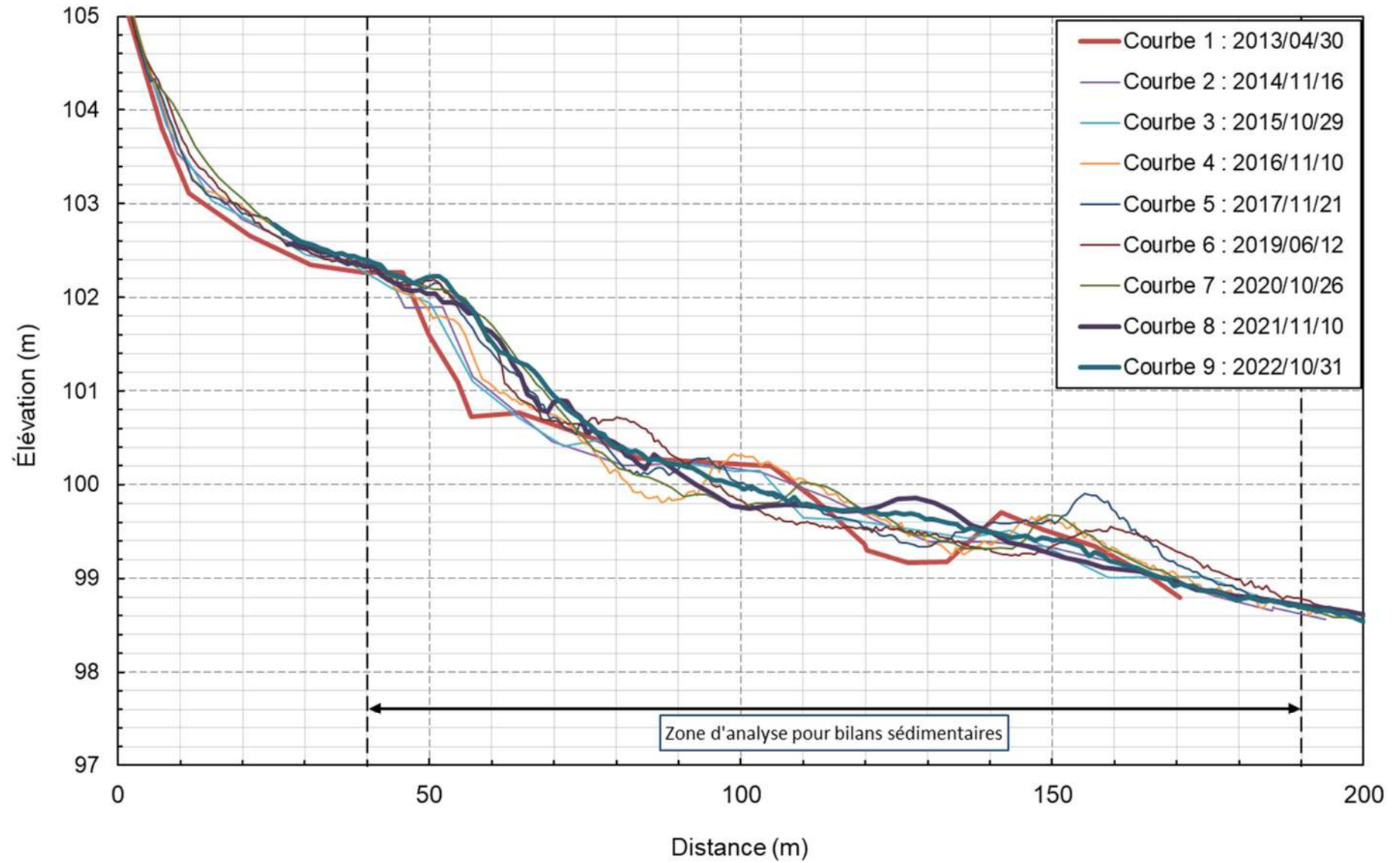
SECTEUR : A0307PR102 CHAINAGE : 1+973



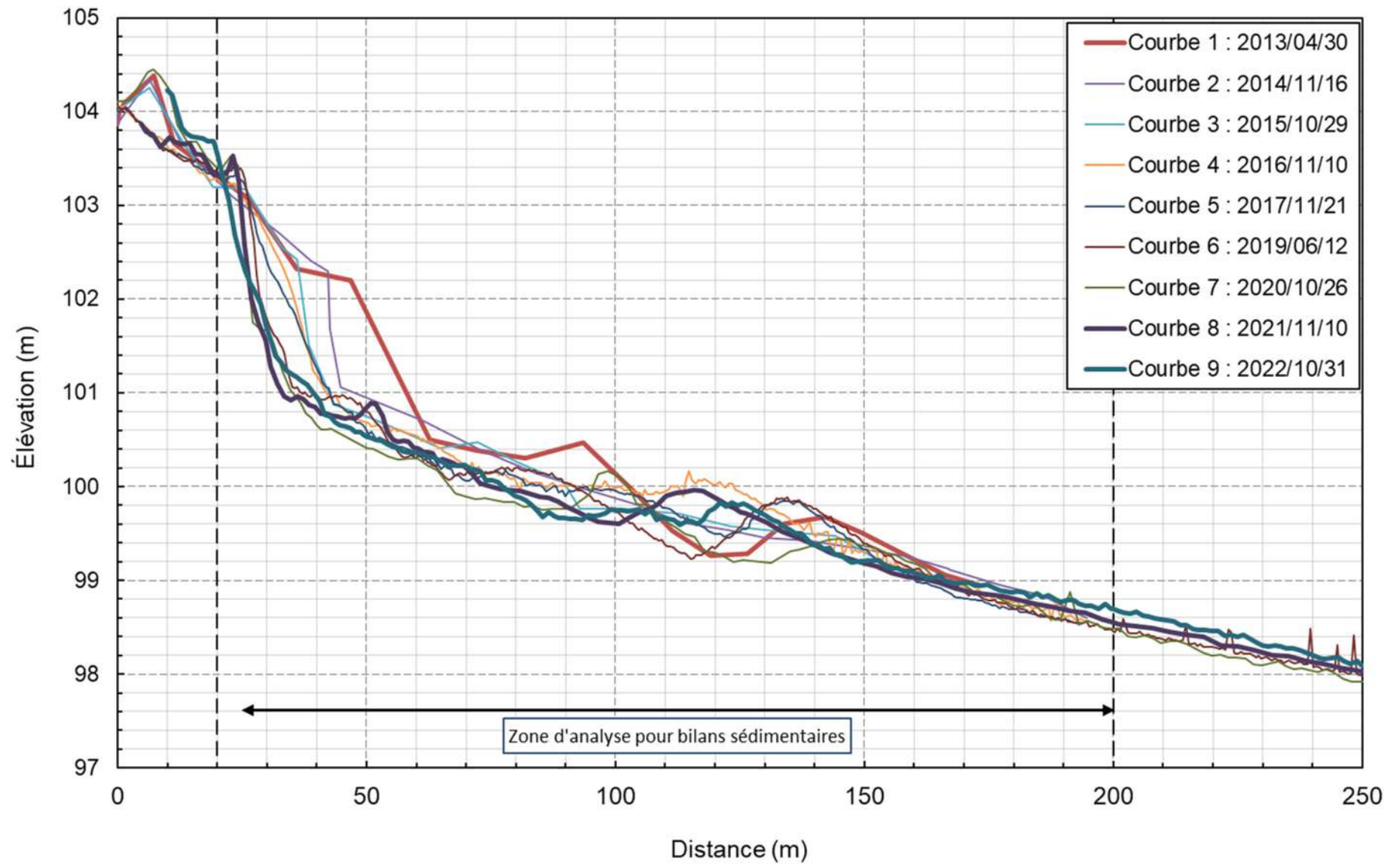
SECTEUR : A0307PR103 CHAINAGE : 1+870



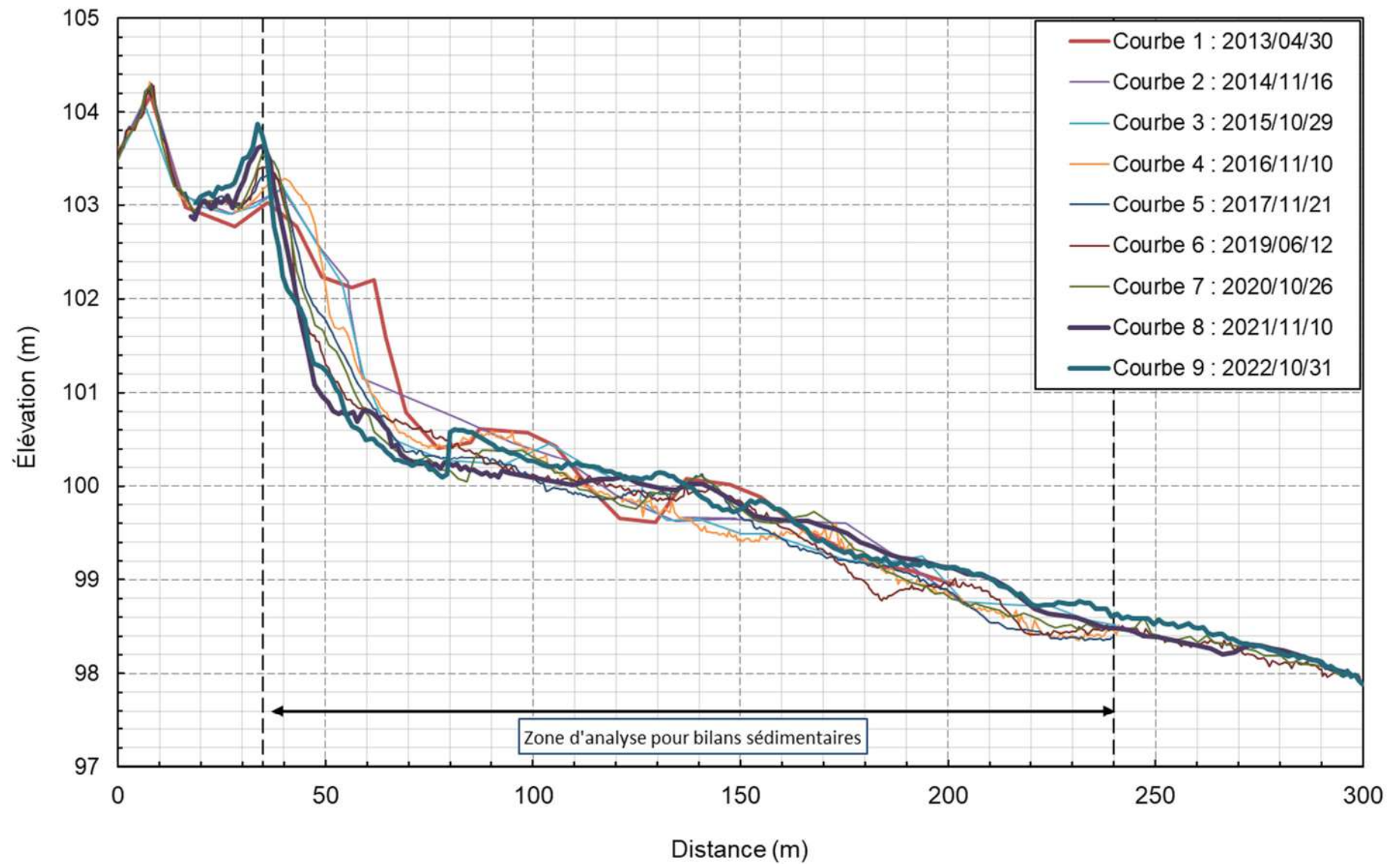
SECTEUR : A0307PR104 CHAINAGE : 1+771



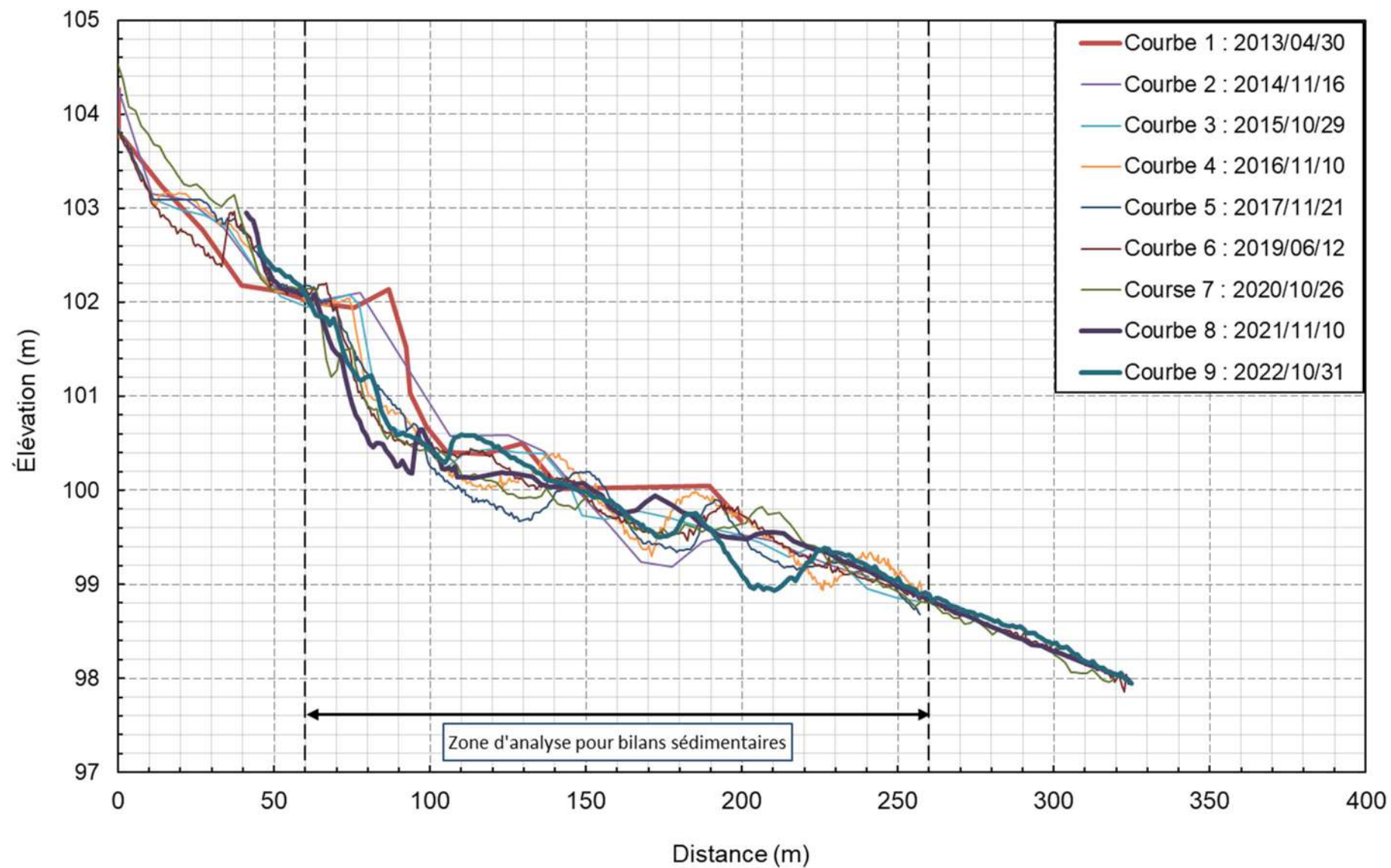
SECTEUR : A0307PR105 CHAINAGE : 1+673



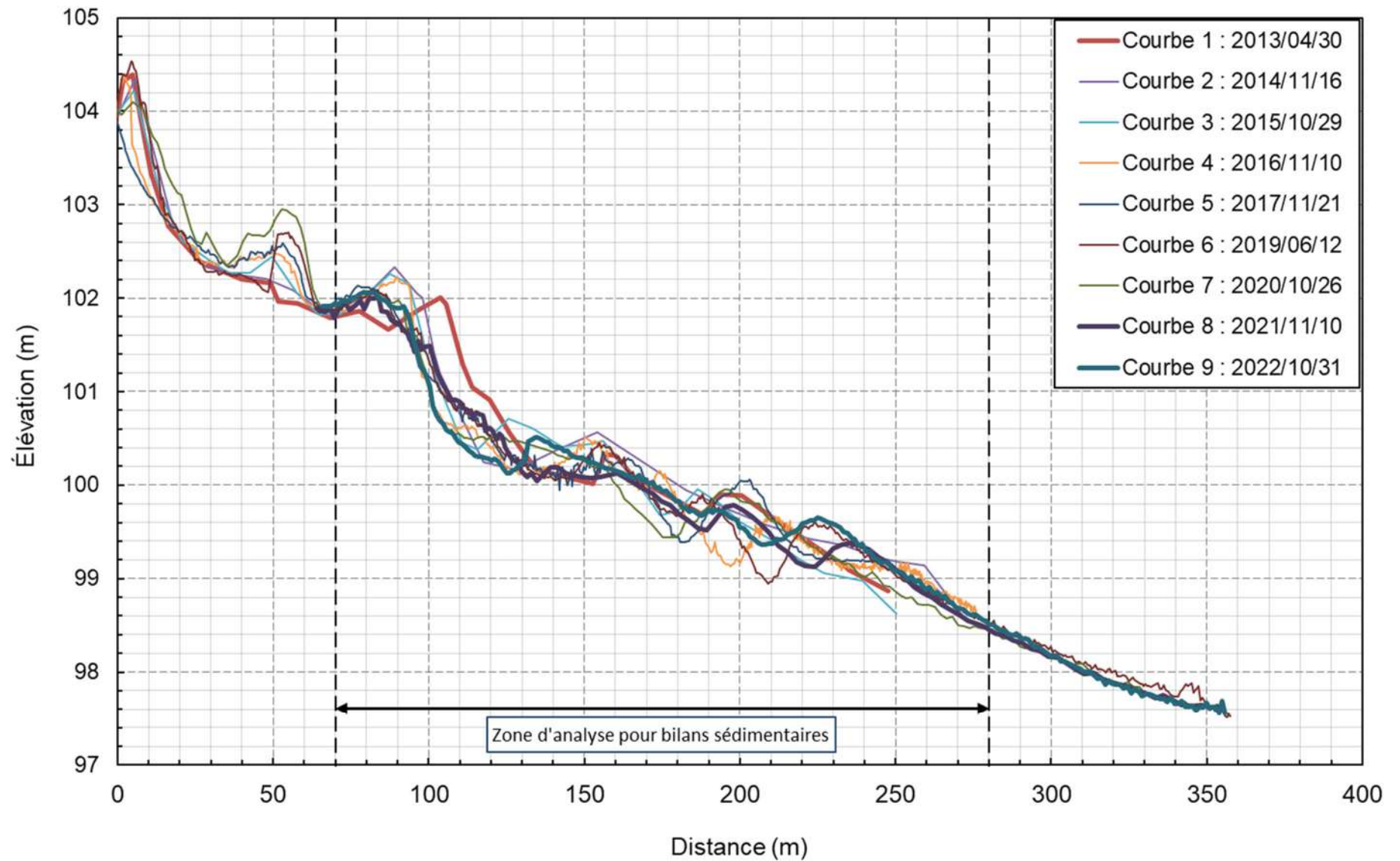
SECTEUR : A0307PR106 CHAINAGE : 1+573



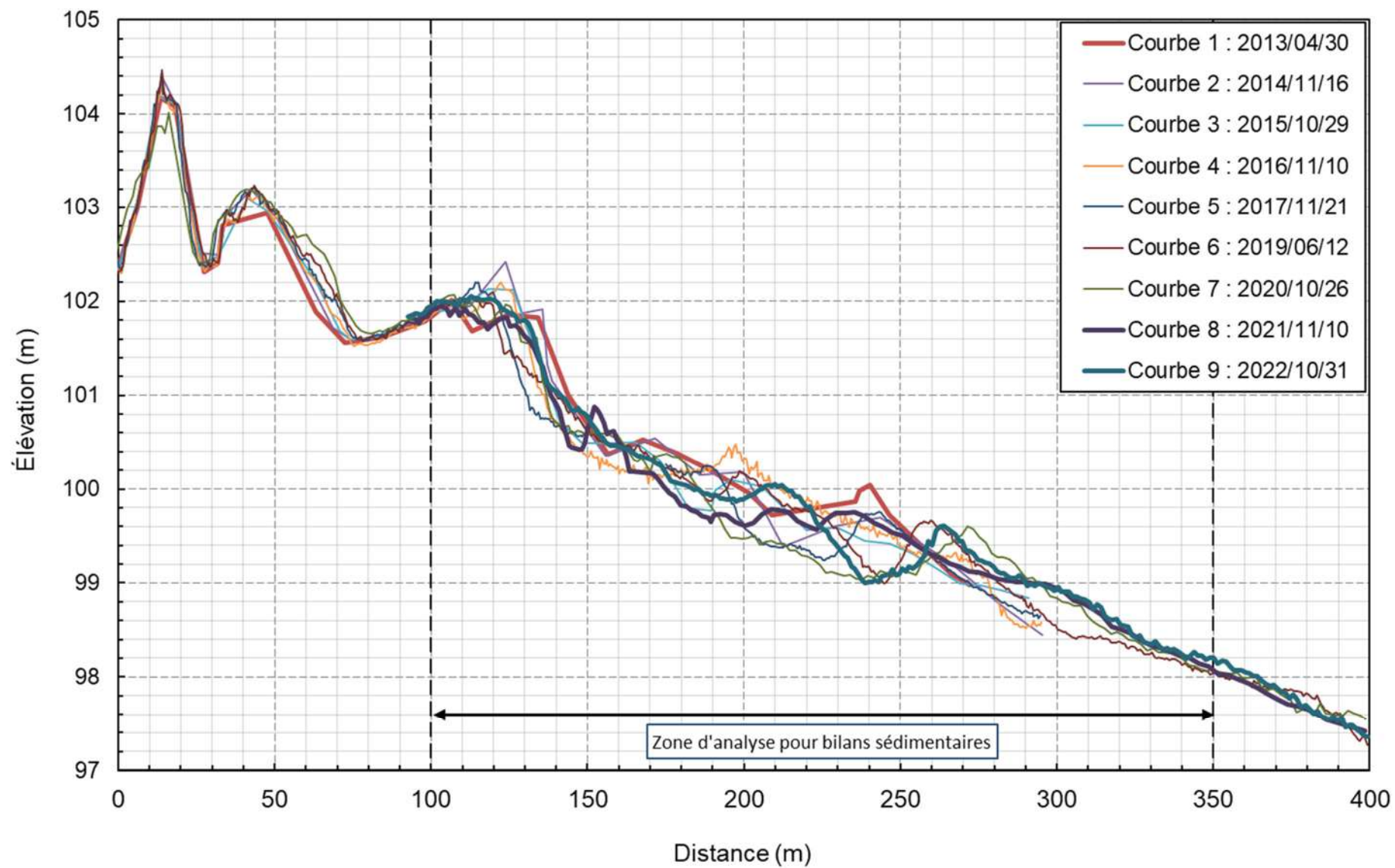
SECTEUR : A0307PR107 CHAINAGE : 1+474



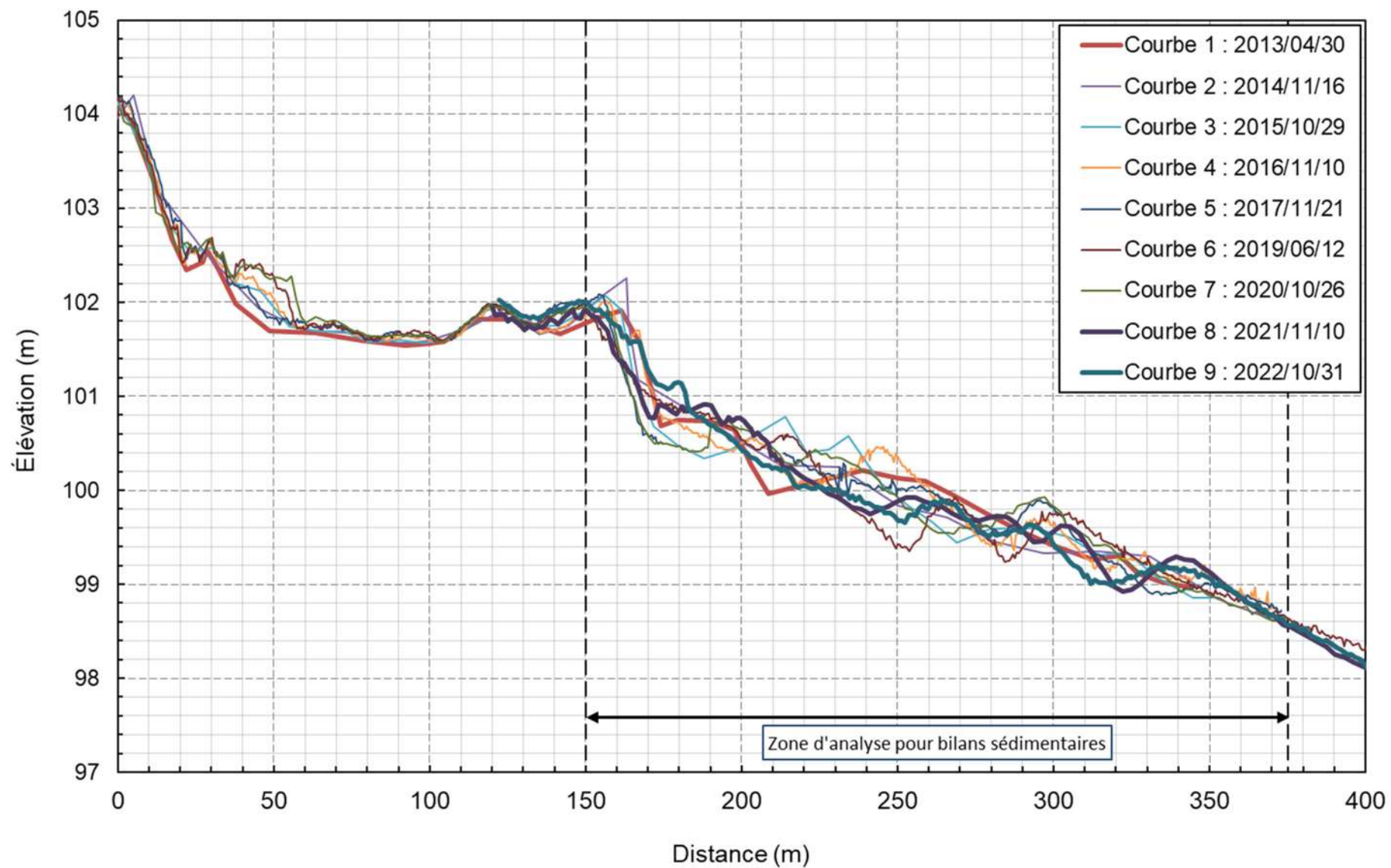
SECTEUR : A0307PR108 CHAINAGE : 1+374



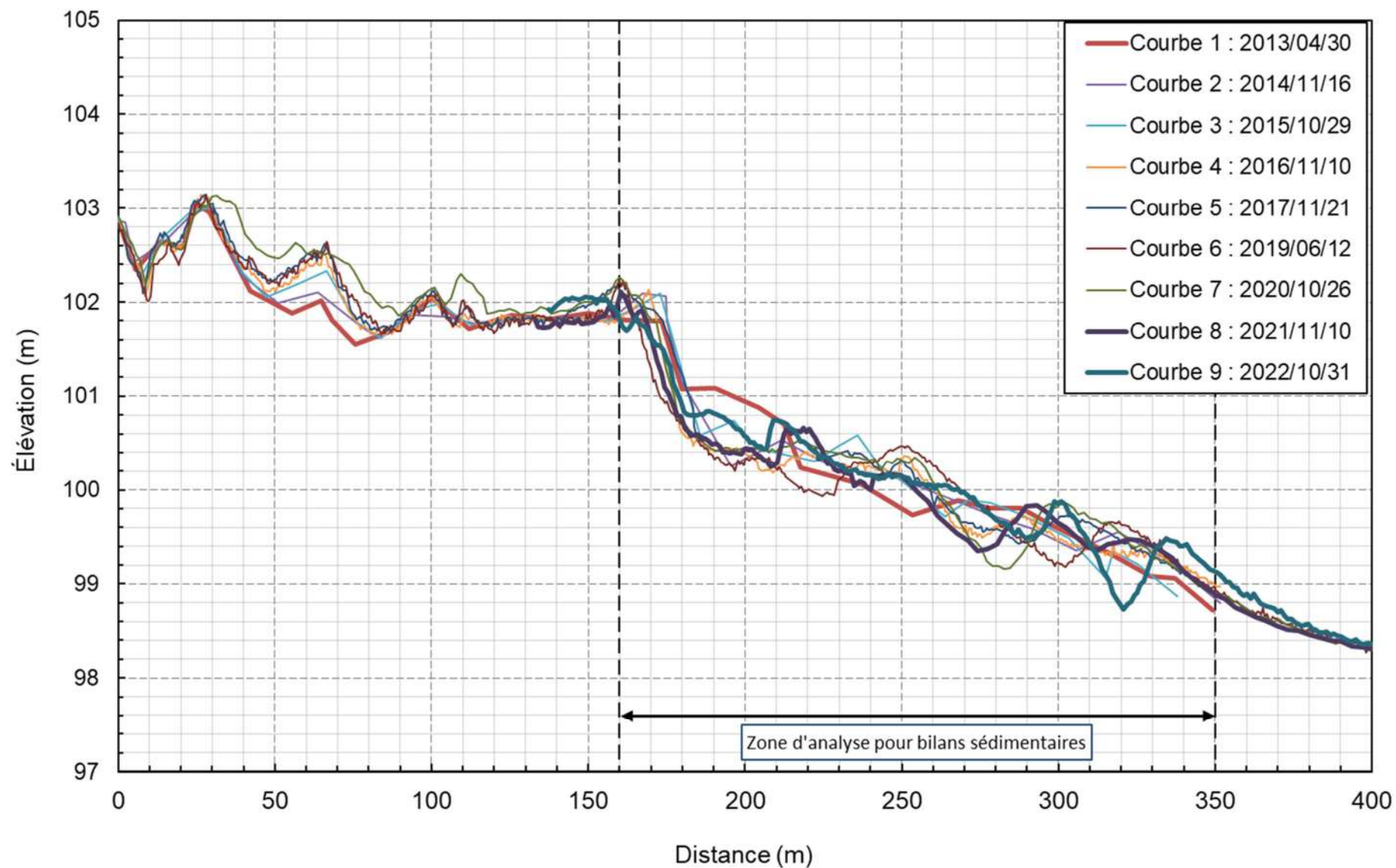
SECTEUR : A0307PR109 CHAINAGE : 1+263



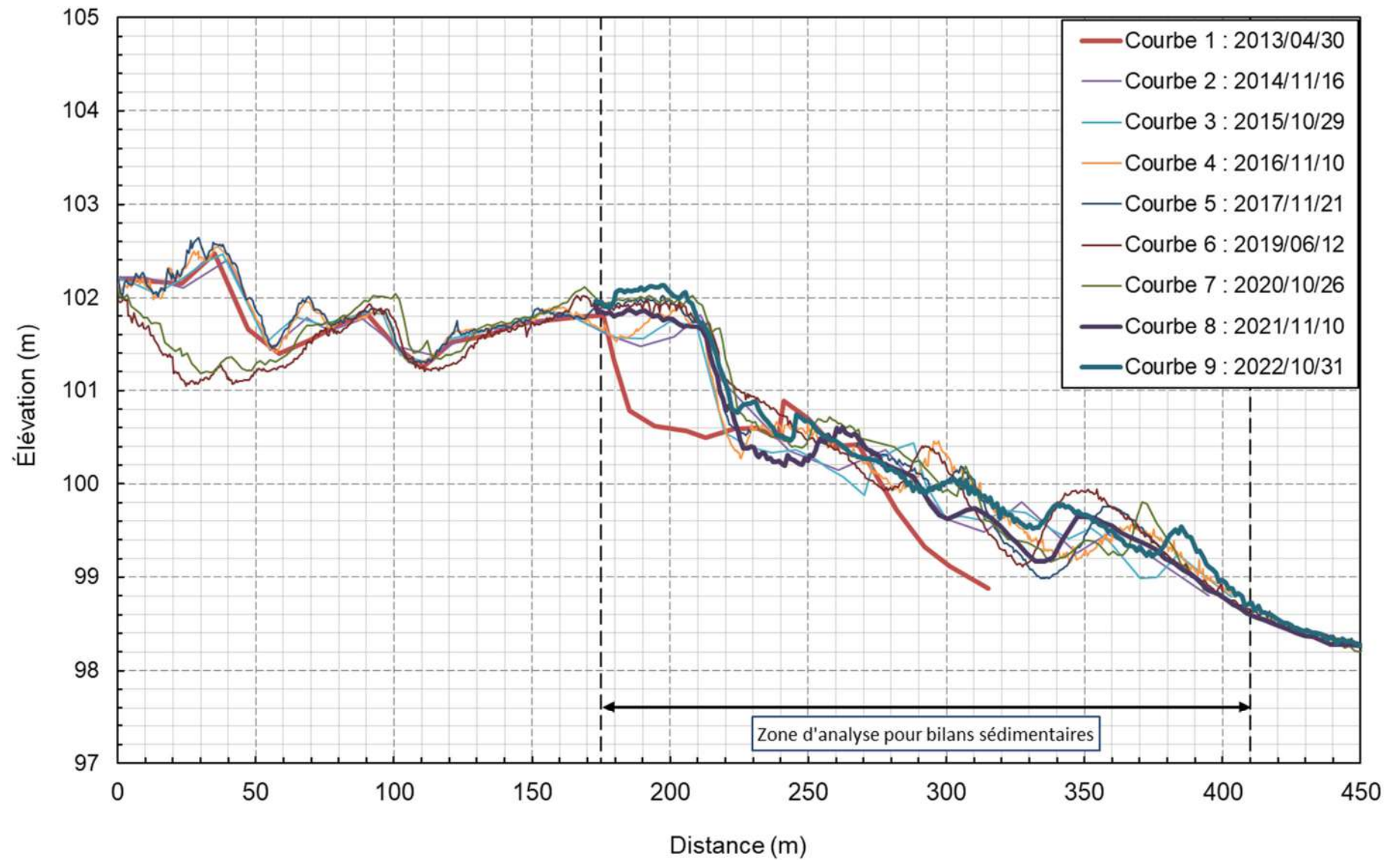
SECTEUR : A0307PR110 CHAINAGE : 1+164



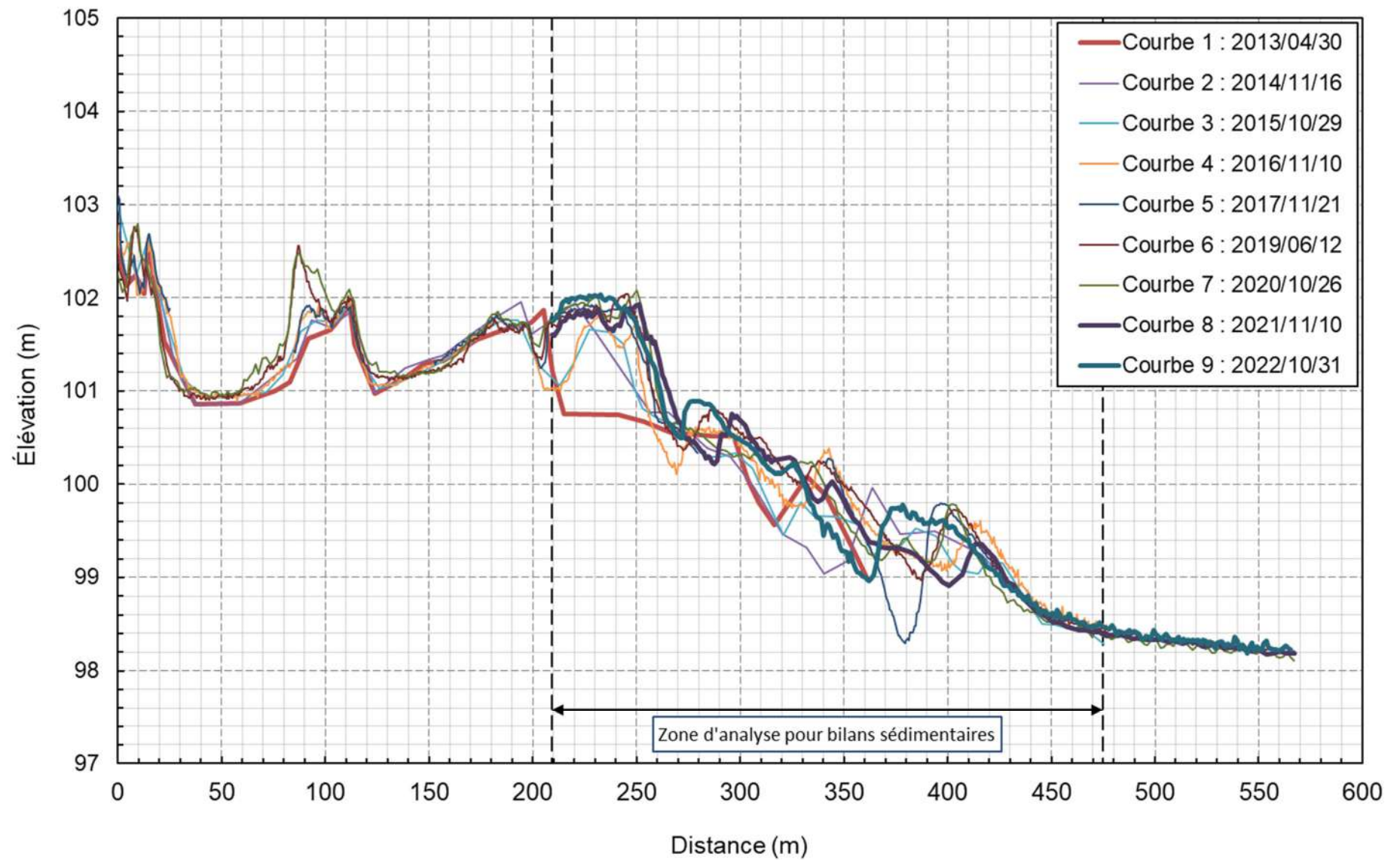
SECTEUR : A0307PR111 CHAINAGE : 1+064



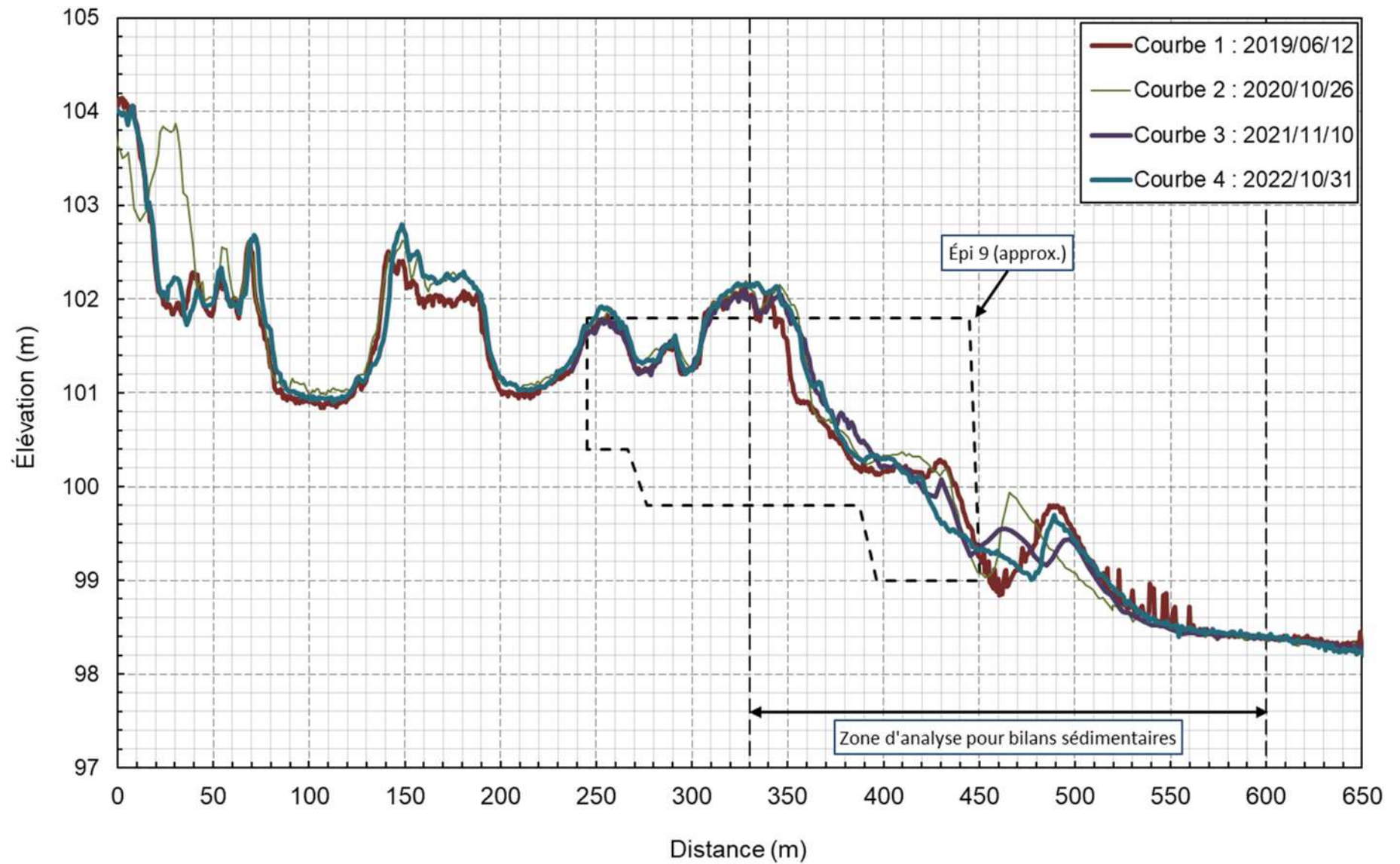
SECTEUR : A0307PR112 CHAINAGE : 0+964



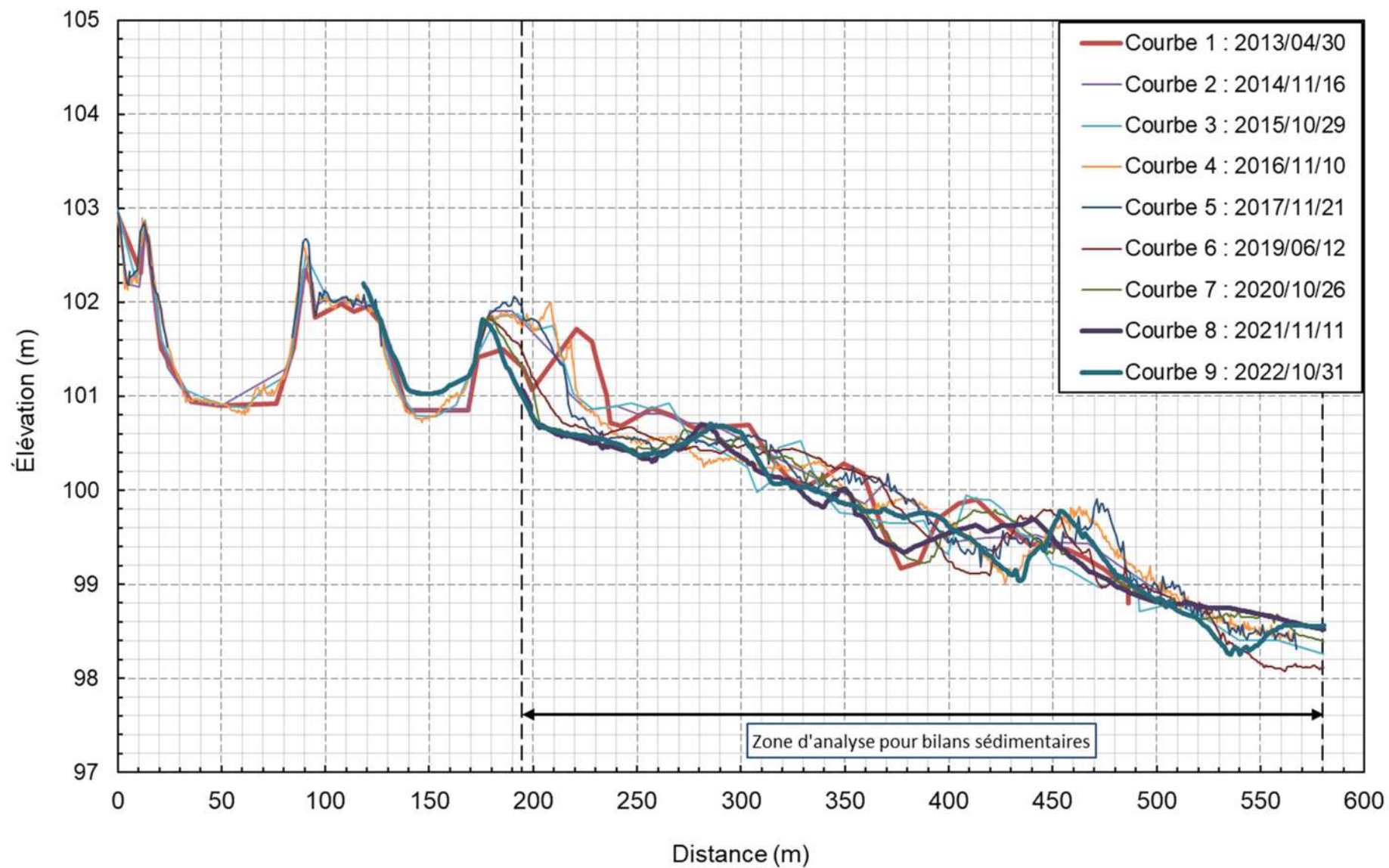
SECTEUR : A0307PR113 CHAINAGE : 0+894



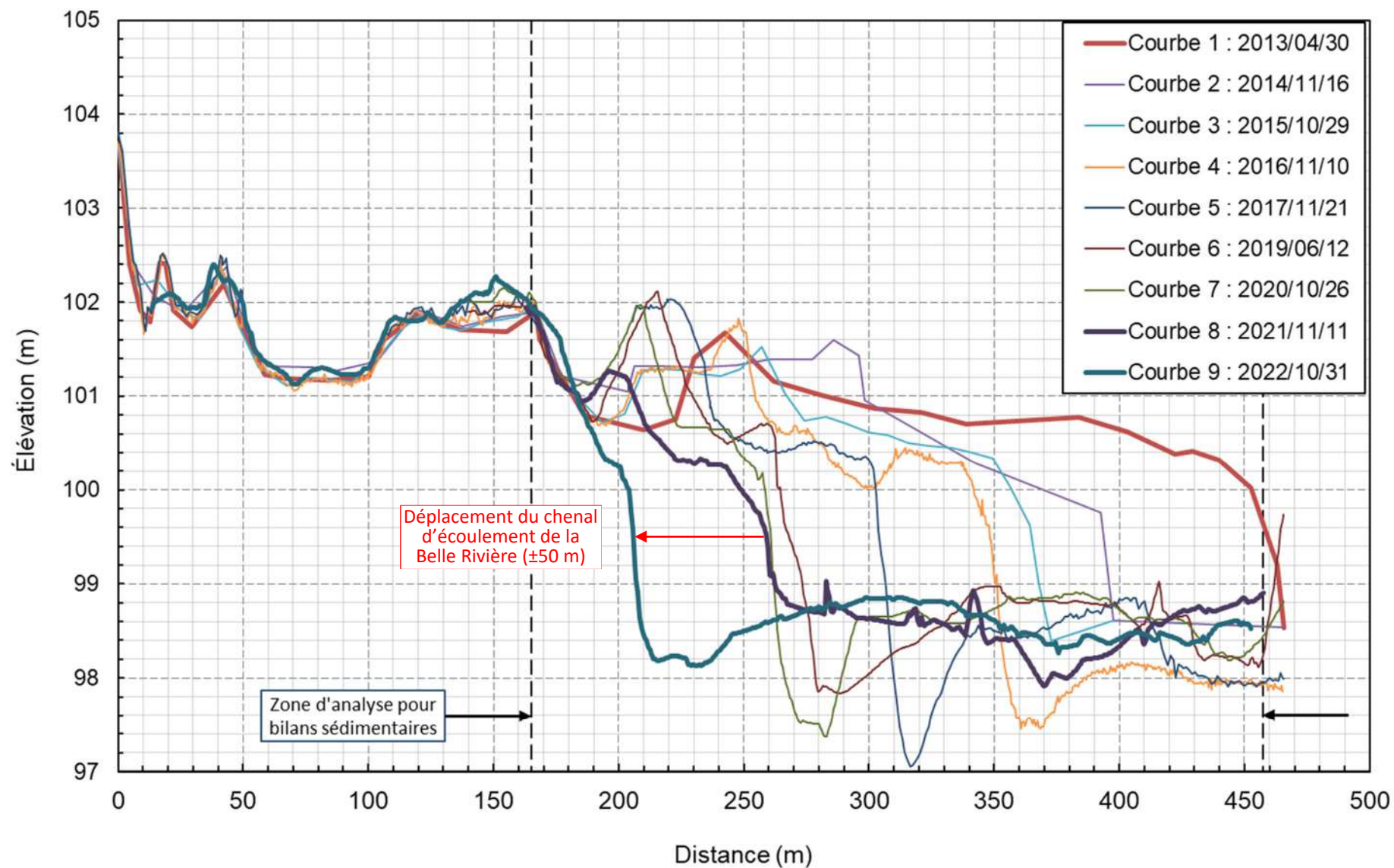
SECTEUR : A0307PR113.5 CHAINAGE : 0+830



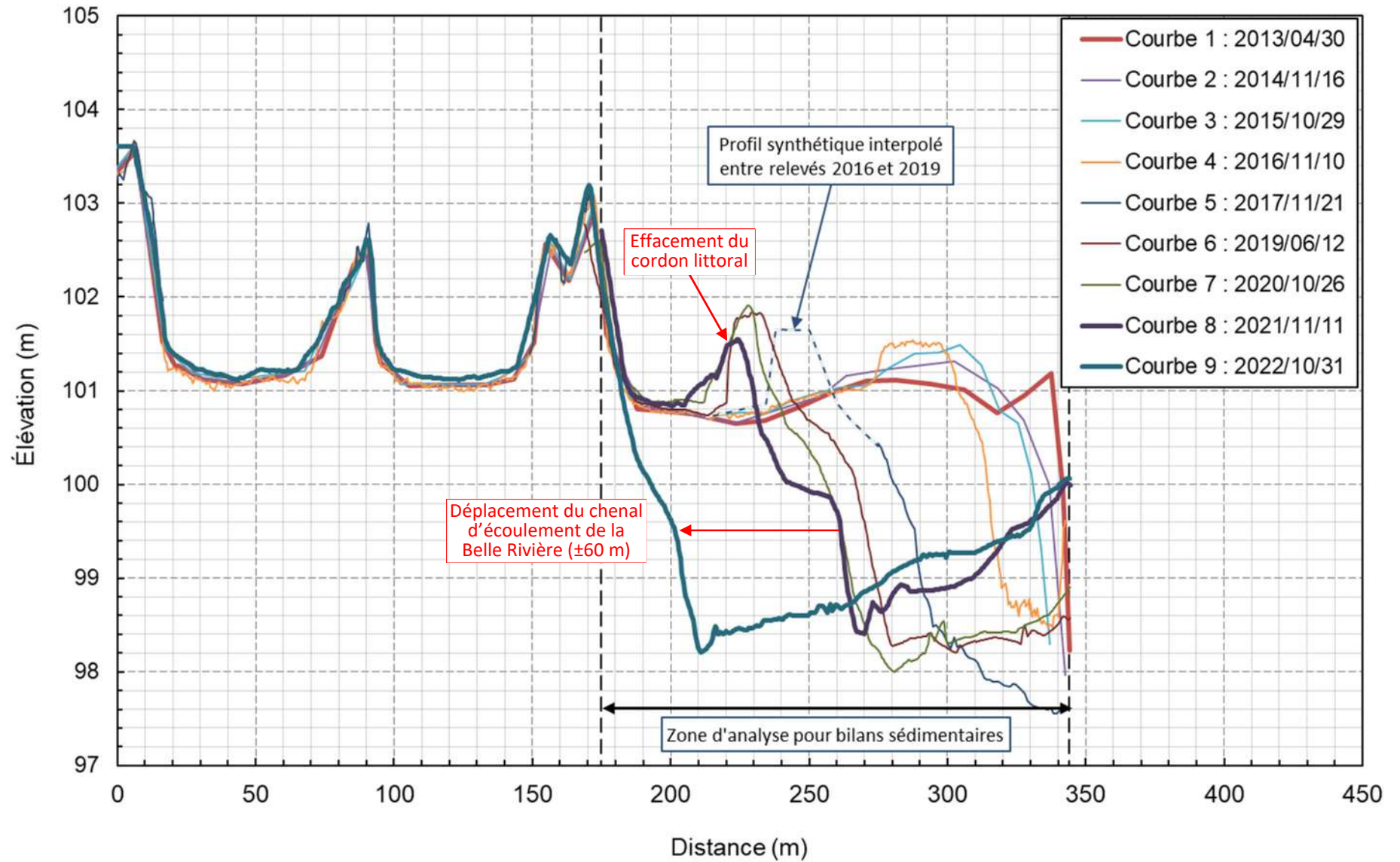
SECTEUR : A0307PR114 CHAINAGE : 0+764



SECTEUR : A0307PR115 CHAINAGE : 0+664

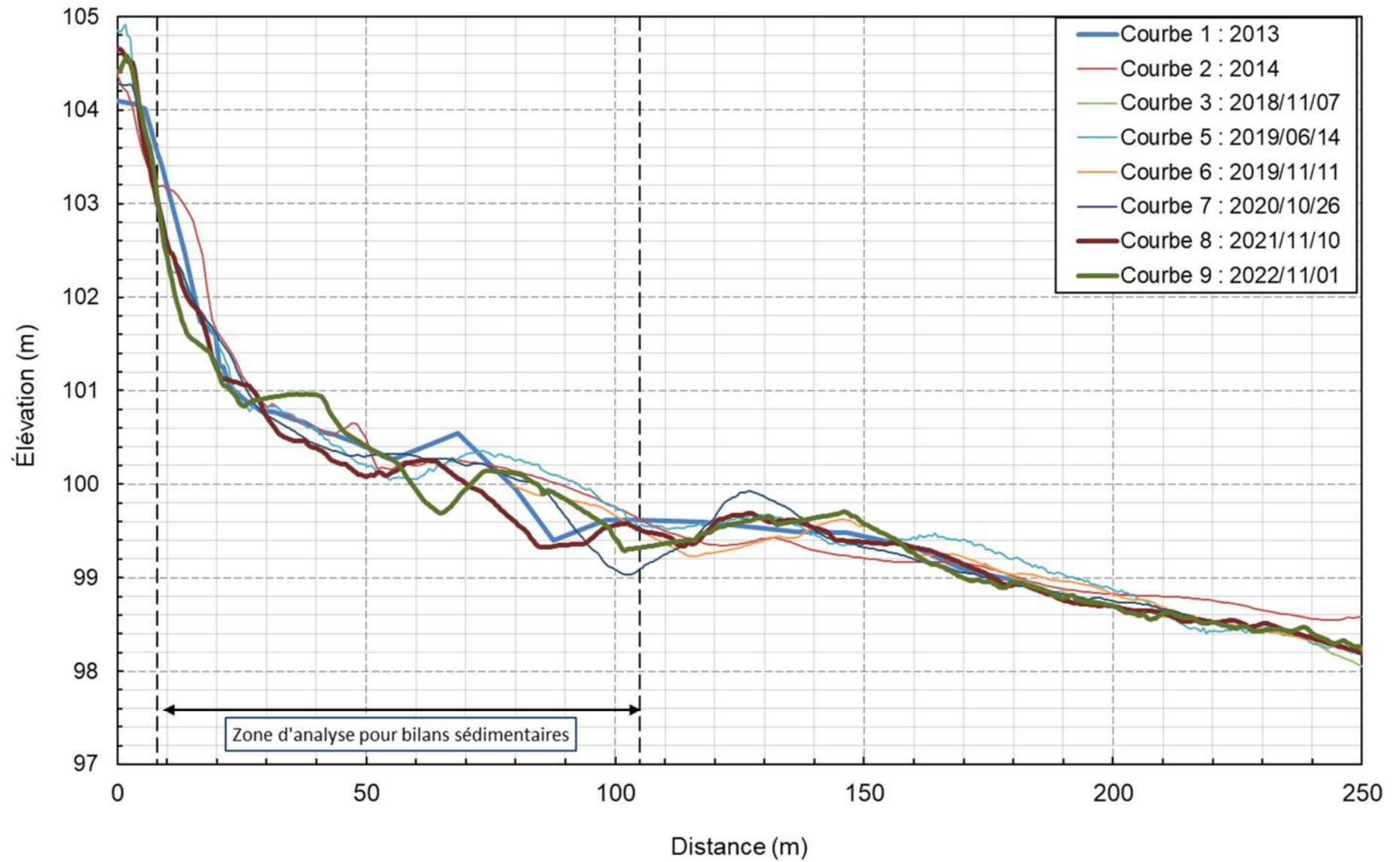


SECTEUR : A0307PR116 CHAINAGE : 0+600

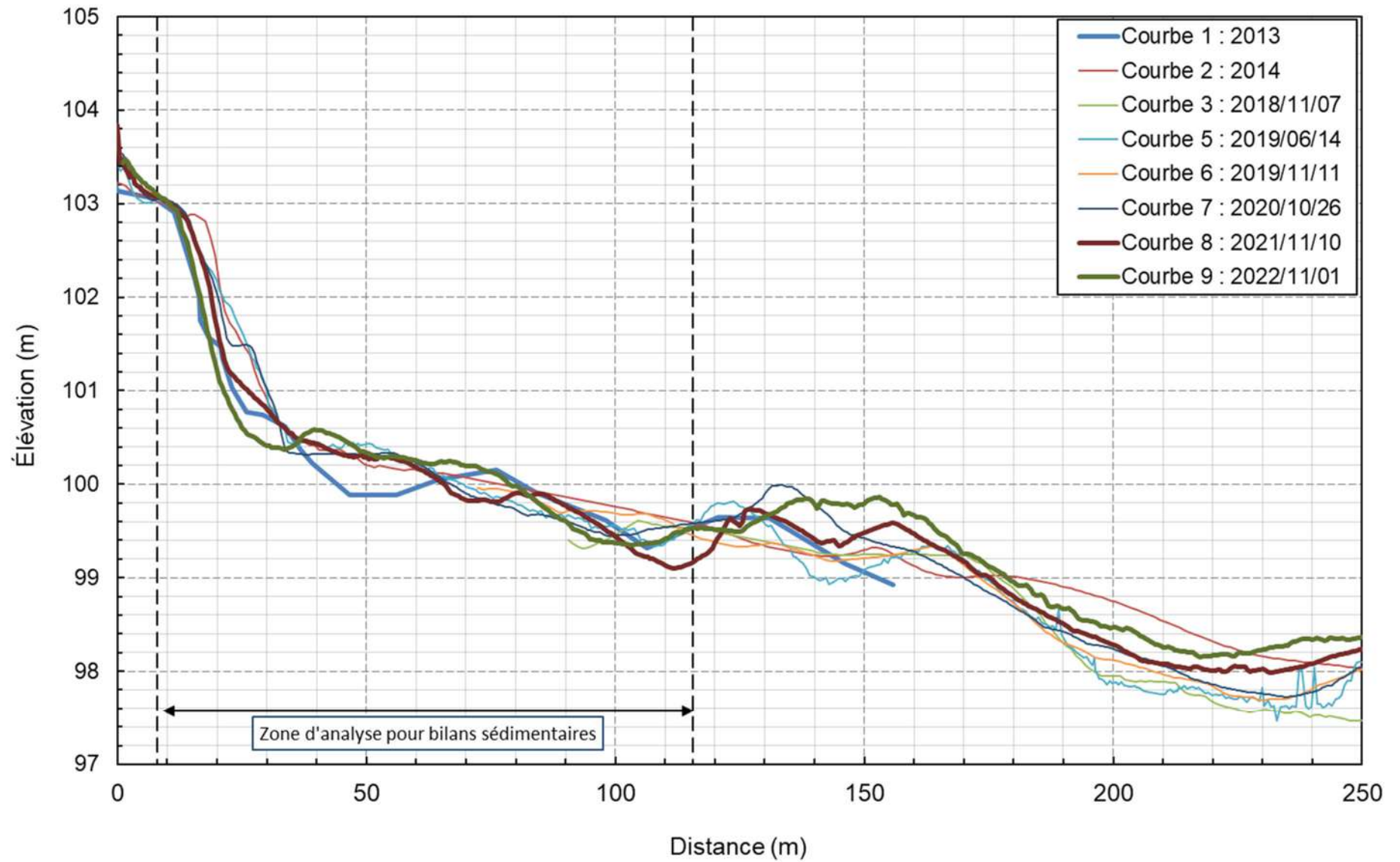


Site
93.02.02

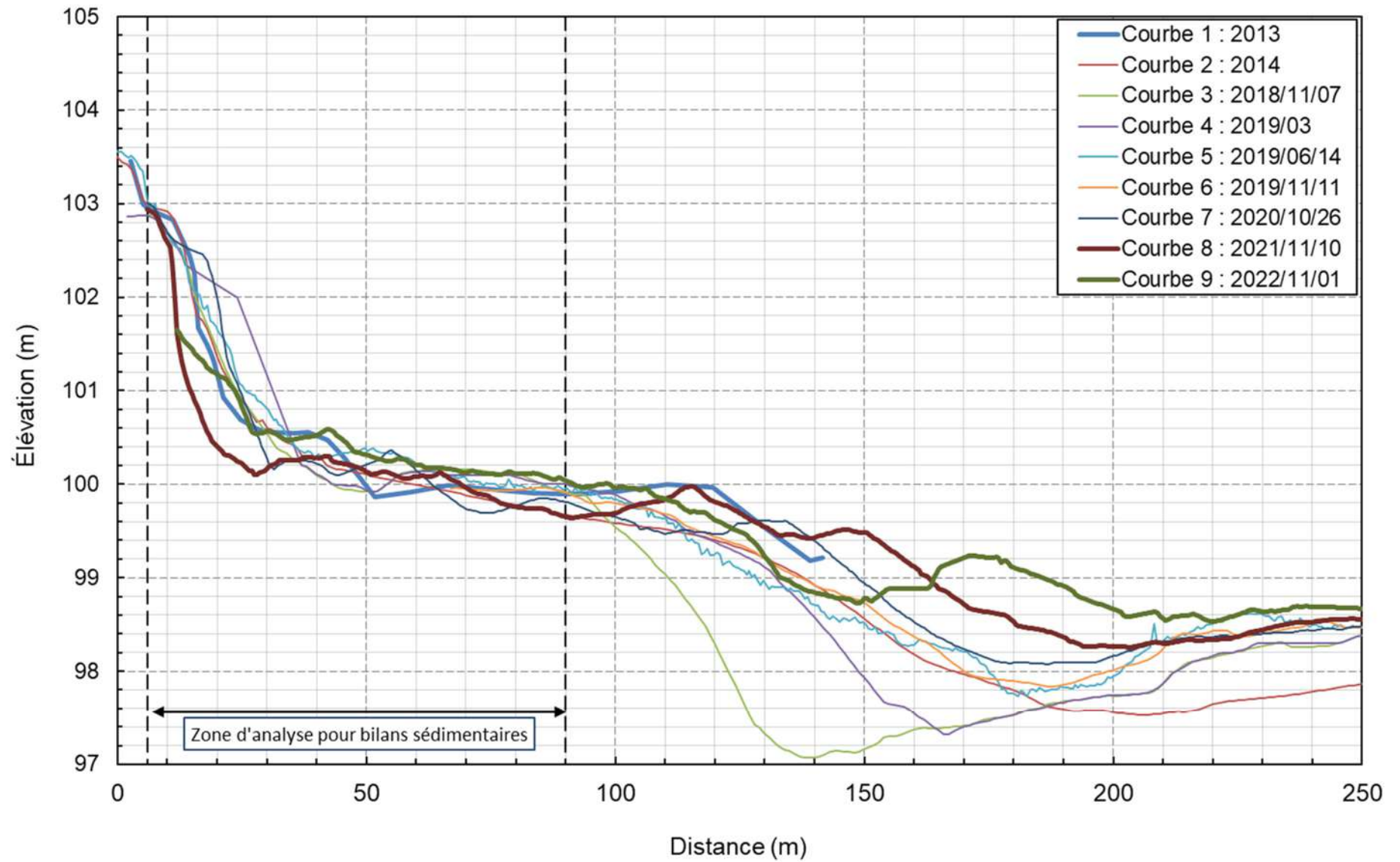
CHAINAGE : 1+532



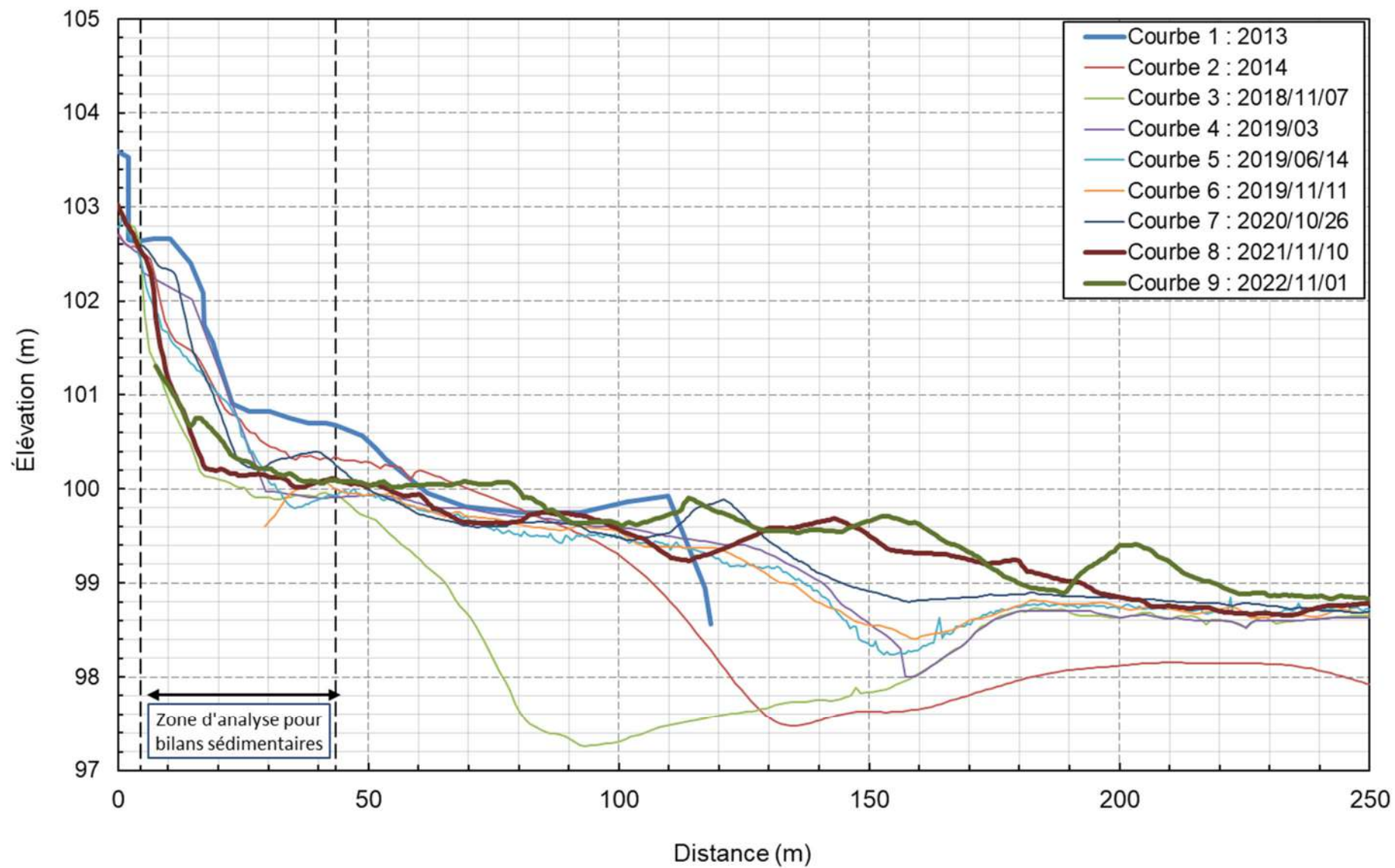
SECTEUR : A0207PR20 CHAINAGE : 1+576



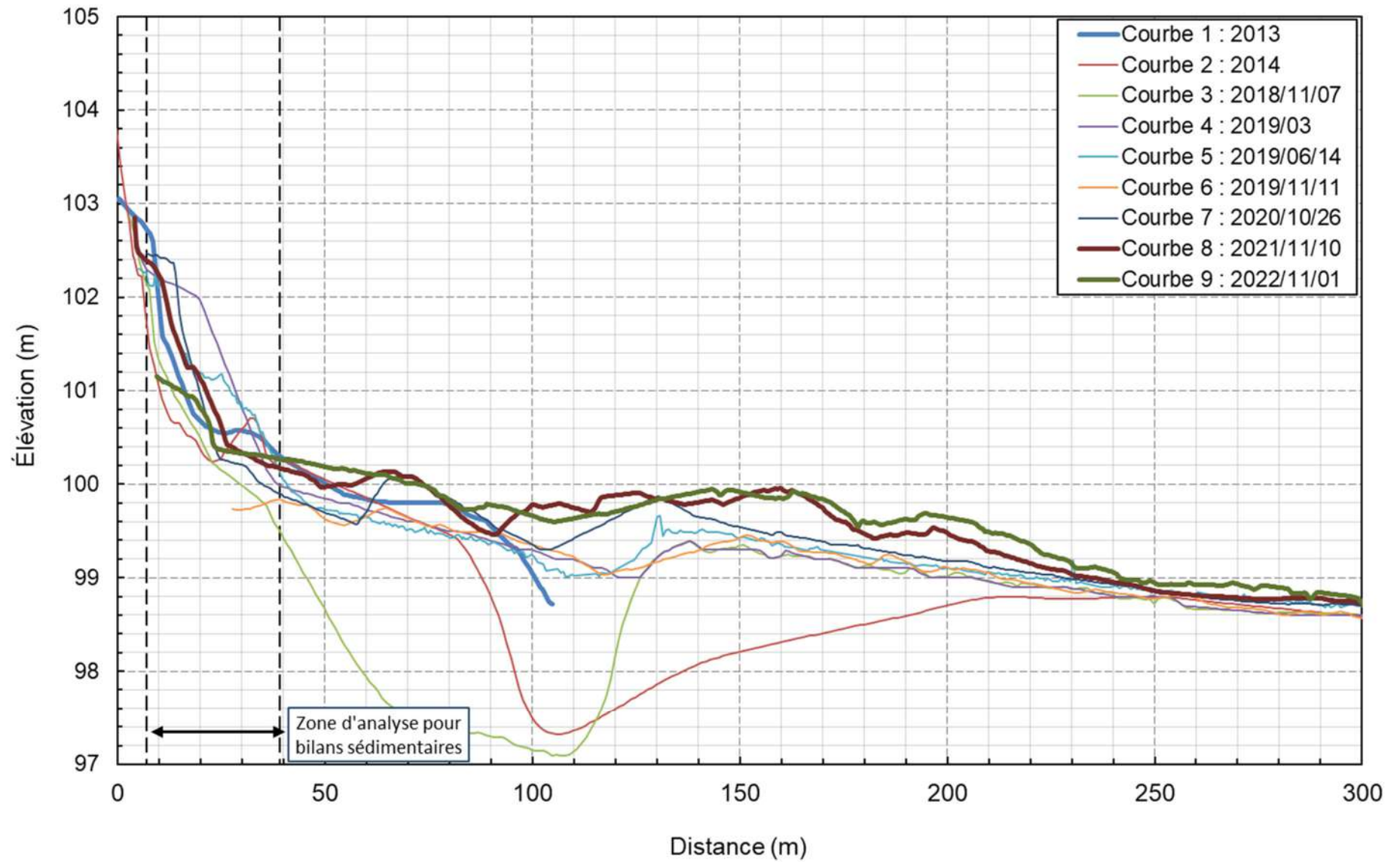
SECTEUR : A0207PR21 CHAINAGE : 1+654



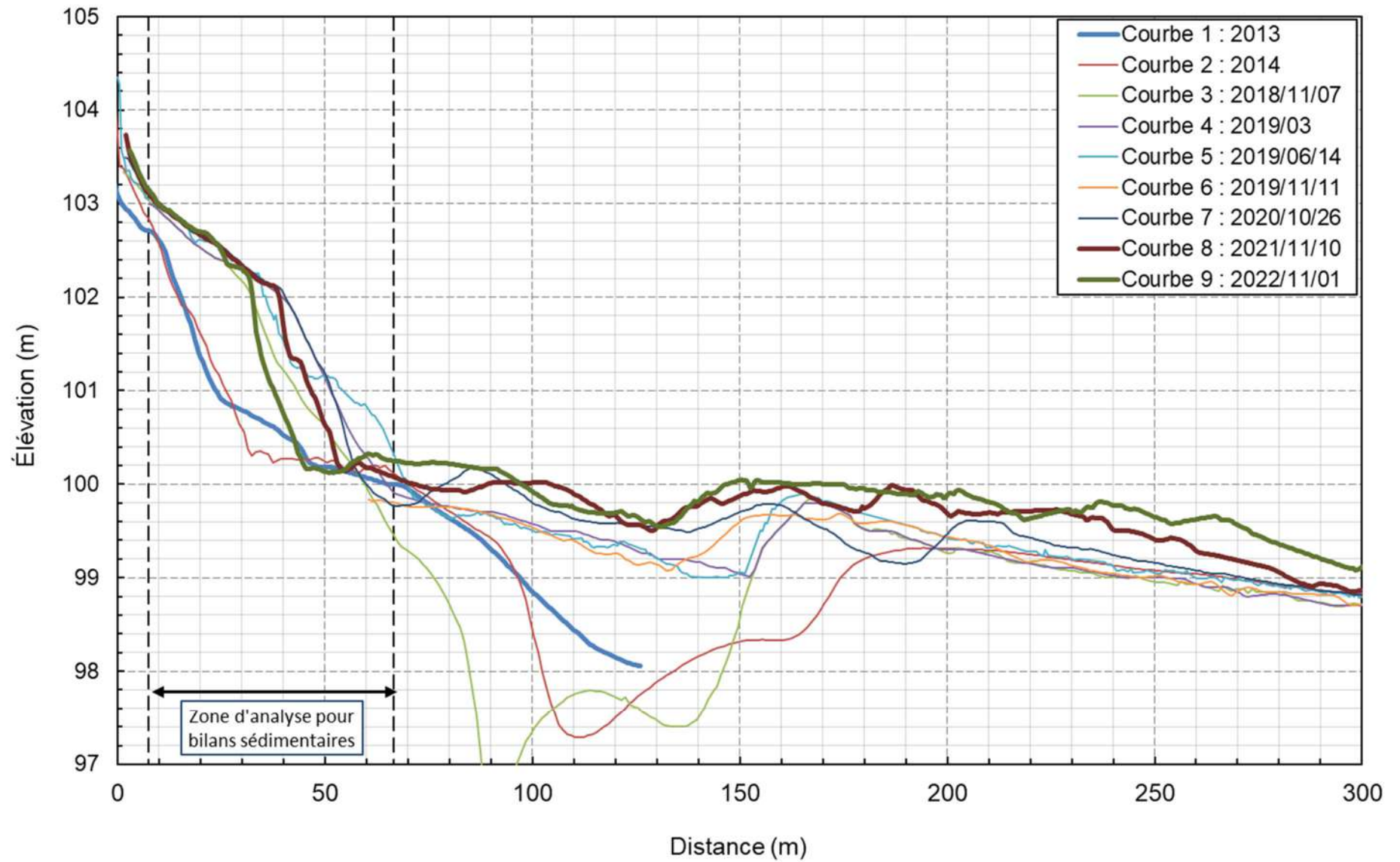
CHAINAGE : 1+726



SECTEUR : A0207PR23 CHAINAGE : 1+828

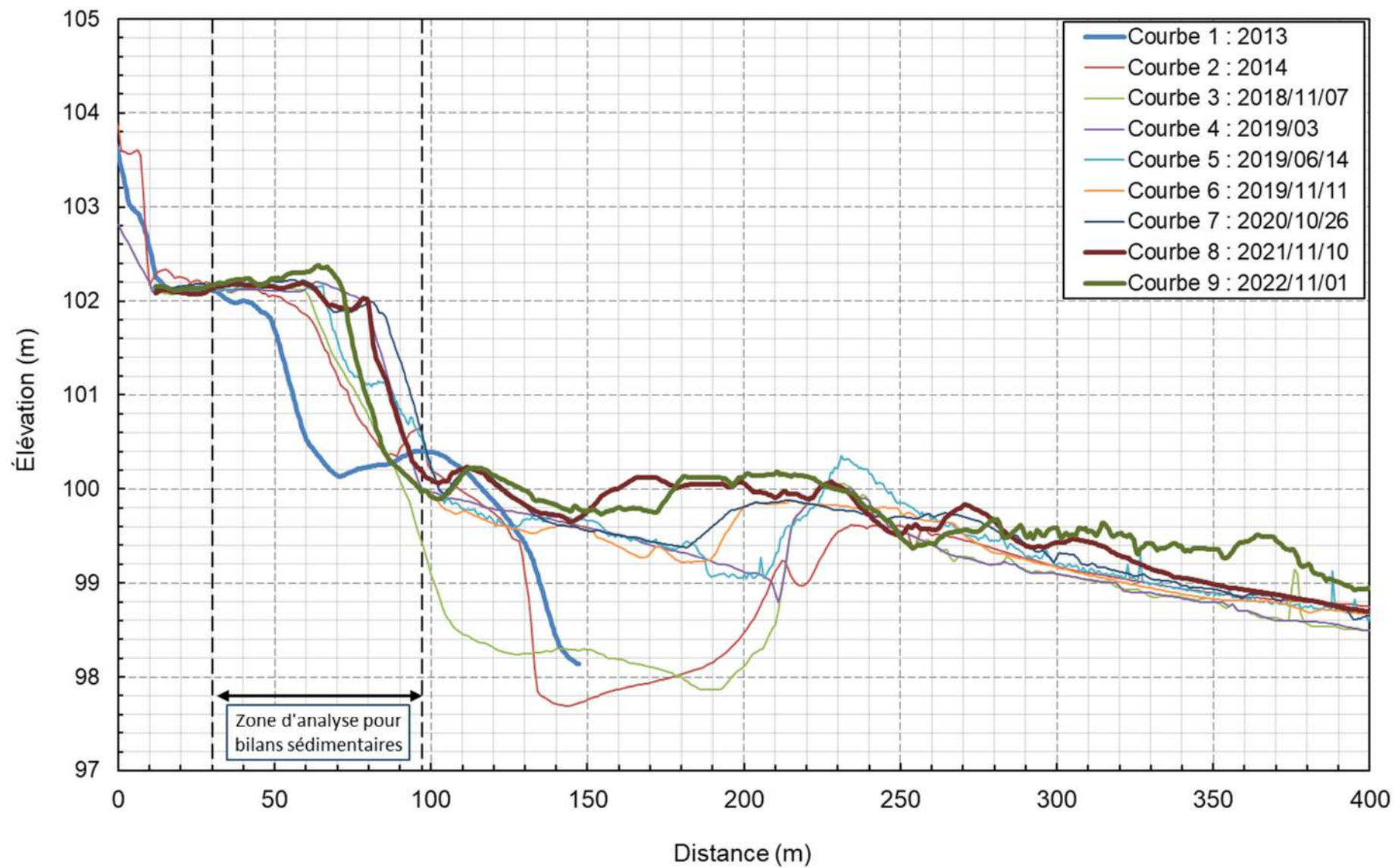


SECTEUR : A0207PR24 CHAINAGE : 1+914

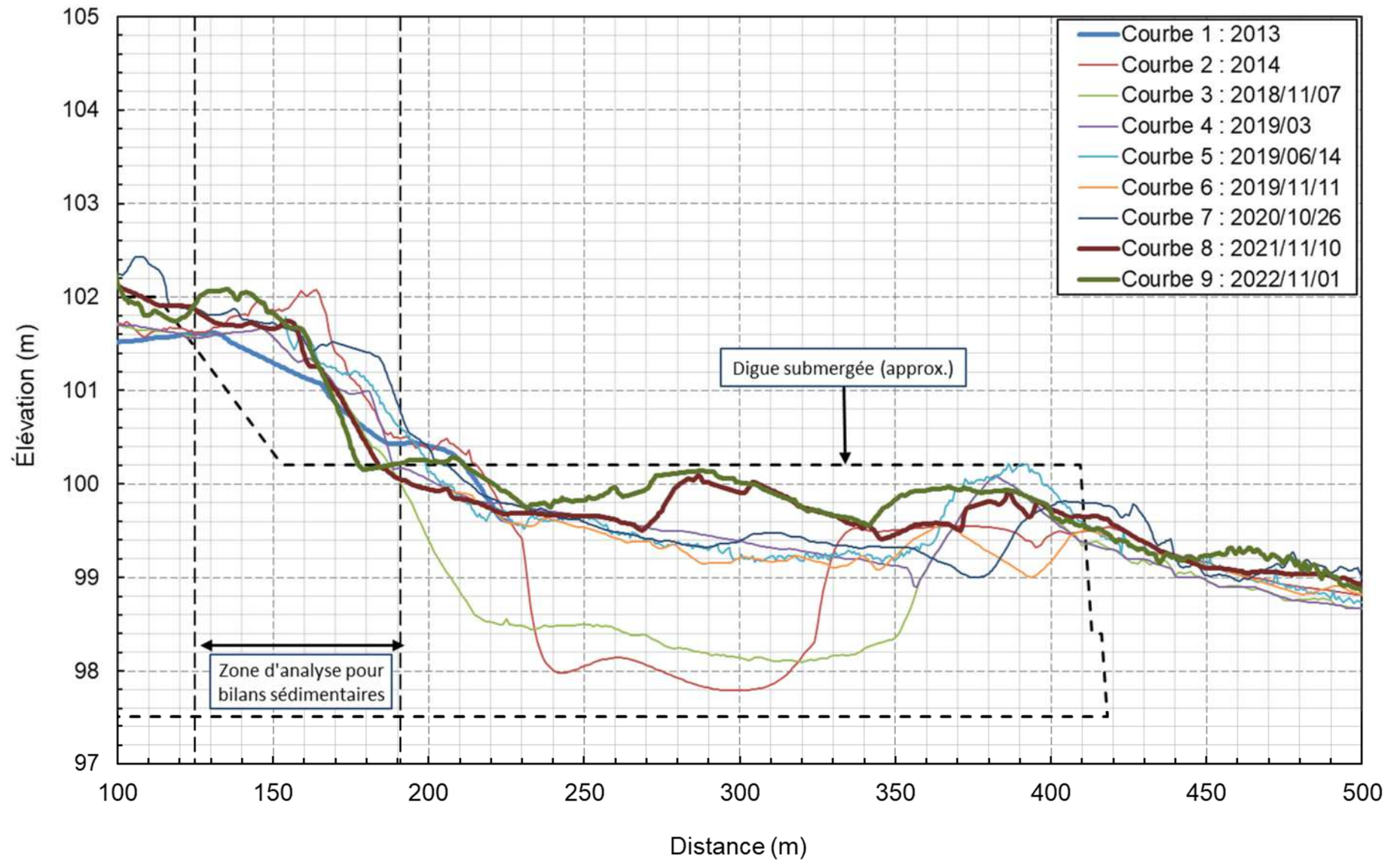


SECTEUR : A0207PR25

CHAINAGE : 2+023



SECTEUR : A0207PR26 CHAINAGE : 2+175



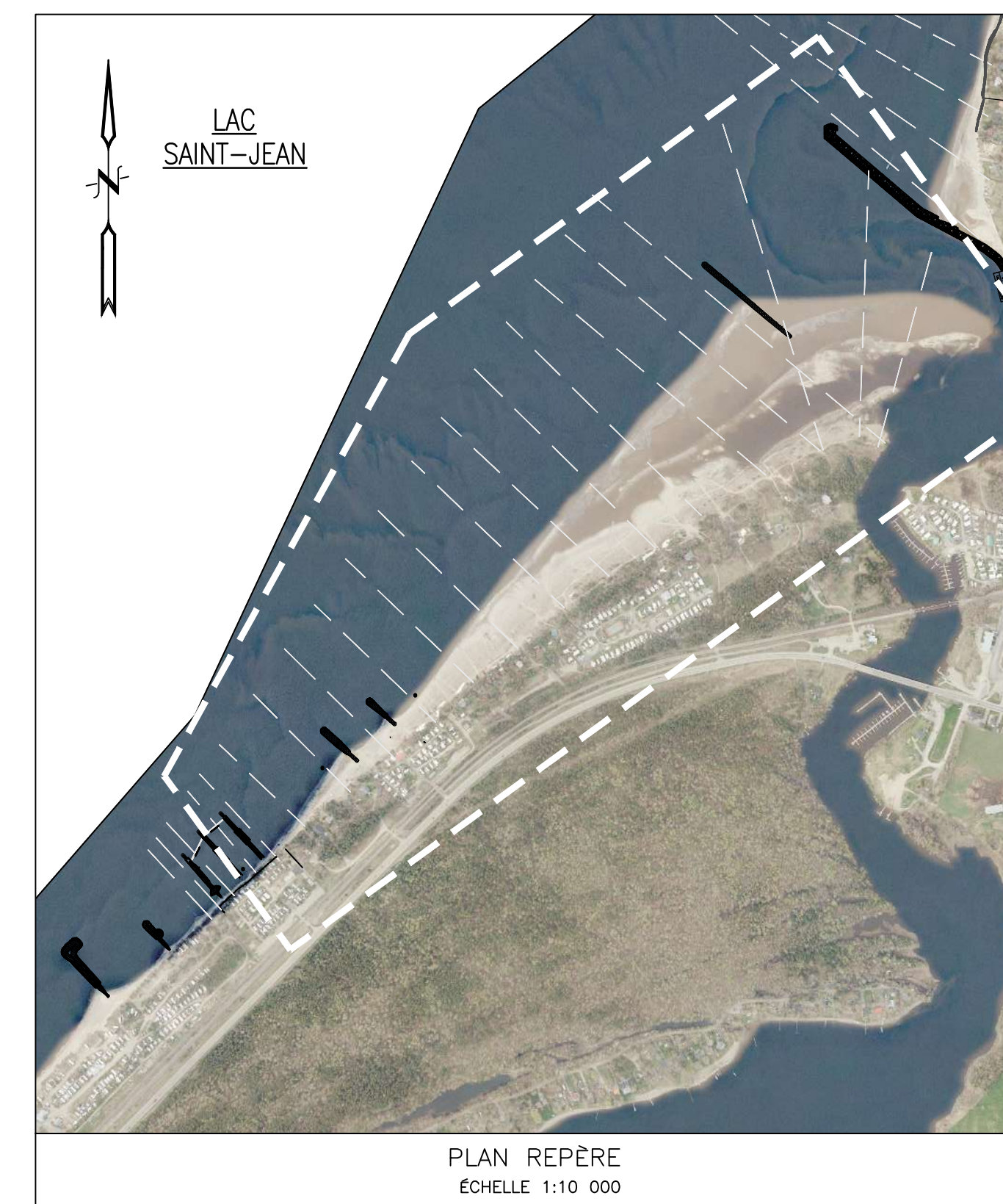
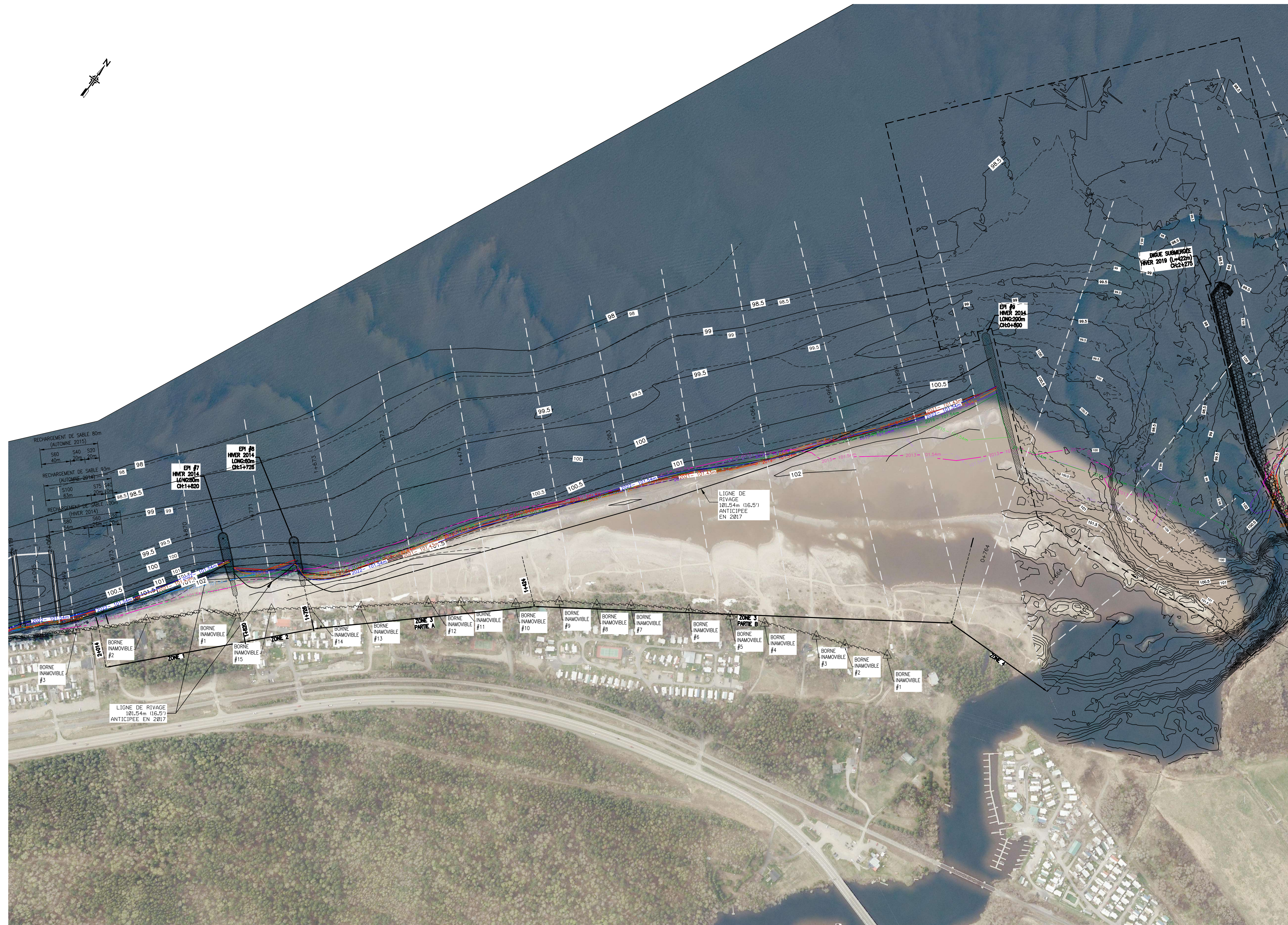
ANNEXE

C PLANS

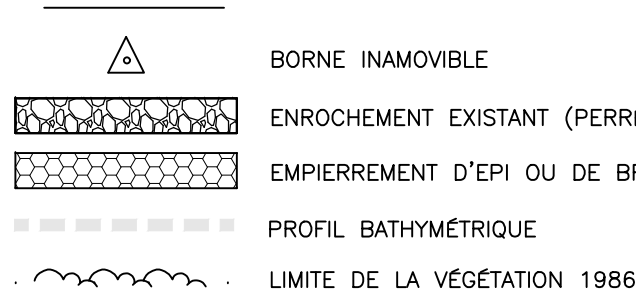




FORMAT	No. SEQ. / SERIE	SERIE / No. SEQ.	FEUILLE
--------	------------------	------------------	---------



LÉGENDE



— 2013 — 101.54m — LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 D

— 2014 — 101.54m — LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 D

— 2018 — 101.54m — LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 D

— 2217 — 101.54m — LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 D

2018- 101.54m ——— LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 D

— 2019— 101.54m — LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 D

— 2021 — 101.43m — LIGNE DE RIVAGE EL. 101.43 D

— — — — — LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 D.

—XXX,X— COURBES DE NIVEAU NOVEMBRE

NOTES:

SECTEUR A03.07

LE SECTEUR ET LES CHAINAGES FONT REFERENCES A

BILAN A LA FIN DU PROGRAMME DE STABILISATION DE
L'AC. SAINT-JEAN

ORTHOPHOTO 2017

ORTHOPHOTO 2019

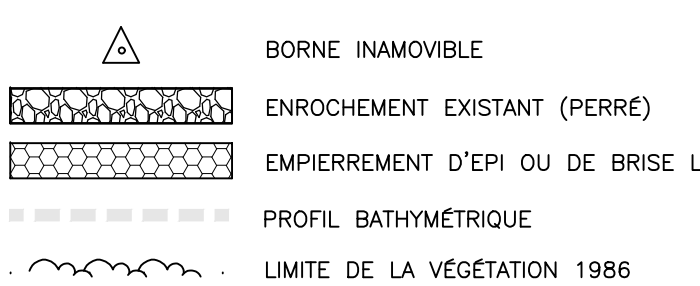
VUE EN PLAN
ÉCHELLE 1:2000

ÉCHELLE 1:2000

[illegible]



LÉGENDE



- | | |
|----------------|---|
| 2016 - 101.5m | LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 DATE 2013 |
| 2017 - 101.5m | LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 DATE 2014/11 |
| 2018 - 101.5m | LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 DATE 2015/11 |
| 2019 - 101.5m | LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 DATE 2016/11 |
| 2020 - 101.5m | LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 DATE 2017/11 |
| 2018 - 101.5m | LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 DATE 2018/11 |
| 2019 - 101.5m | LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 DATE 2019/11 |
| 2021 - 101.43m | LIGNE DE RIVAGE EL. 101.43 DATE 2021/11 |
| 2022 - 101.5m | LIGNE DE RIVAGE EL. 101.54 DATE 2022/11 |
| ---- | COURBES DE NIVEAU NOVEMBRE 2021 |
| XXXXX | COURBES DE NIVEAU NOVEMBRE 2022 |

NOTES:

1. SECTEUR A02.07
2. LE SECTEUR ET LES CHAINAGES FONT REFERENCES A CEUX DU BILAN A LA FIN DU PROGRAMME DE STABILISATION DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN.
3. ORTHOPHOTO 2017

VUE EN PLAN
ÉCHELLE 1:1250

[illegible]

ANNEXE

D SYNTHÈSE DES INTERVENTIONS ET OBSERVATIONS

Tableau D.1
Synthèse des interventions et observations — Sites 94.03.01/2014.03.01
• Secteur A03.07 •

[illegible]

Tableau D.1
Synthèse des interventions et observations — Sites 94.03.01/2014.03.01
• Secteur A03.07 •

[illegible]

*: Date de la fin des travaux. X: Profils
S: Rechargement de sable en t.m./m. G: Géotube

Tableau D.2
Synthèse des interventions et observations — Site 93.02.02
• Secteur A02.07 •

[illegible]

EXCAV.: Rechargement avec surplus d'excavation en provenance du nouveau chenal de la Belle-Rivière en t.m./m.

ANNEXE

E ARPENTAGE 2022 DE
LA LIGNE DE RIVAGE
101,54 m (16,5 PIEDS)

