

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

SUIVI TECHNIQUE 2019

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

FÉRIVER 2020



Source : Rio Tinto (2018)



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

SUIVI TECHNIQUE 2019

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

VERSION FINALE

PROJET N° : 191-09491-00
DATE : FÉVIER 2020

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



2020-02-24

Justin McKibbon, ing., M.Sc.A.
Nº OIQ : 5000352

RÉVISÉ PAR



Steve Renaud, ing., M.Sc.
Nº OIQ : 121069

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'entièvre 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
Préalinaire	Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean	31 janvier 2020
Finale	Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean	24 février 2020

ÉQUIPE DE RÉALISATION

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

Chargée de projet Caroline Jolette, ing.

WSP CANADA INC. (WSP)

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

Traitement de texte et édition

Référence à citer :

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.

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. Depuis la dernière période de suivi, en 2017, aucune intervention n'a été réalisée du côté de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (sites 94.03.01 et 2014.03.01). Au site 93.02.02, par contre, d'importants travaux de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière ont été réalisés à l'hiver 2019. Ces travaux incluaient notamment la construction d'une digue submergée permettant la fermeture et le remblayage de l'ancien chenal d'écoulement, l'excavation d'un nouveau canal de sortie, puis la mise en place d'un rechargement sur le haut de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac.

Les activités réalisées dans le cadre de ce suivi comprenaient la réalisation de relevés topographiques et bathymétriques en mars, juin et novembre 2019, soit à la fin des travaux de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière, après la crue printanière et à la fin de la période d'eau libre, respectivement. Une visite de terrain en juillet 2019 et l'arpentage de la ligne de rivage en novembre 2019 ont également été réalisés. Du côté de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (sites 94.03.01 et 2014.03.01), la période d'analyse couvre l'intervalle de temps entre le suivi précédent (2017) et les relevés effectués au printemps 2019. L'analyse ne prend donc pas en compte les déplacements de sédiments pouvant avoir été occasionnés pendant les périodes estivale et automnale de cette année. Au site 93.02.02, deux périodes d'analyses sont quant à elles considérées, soit entre mars et juin 2019, puis entre juin et novembre 2019.

L'évolution annuelle au site 94.03.01 (entre les épis 5 et 7) a été caractérisée par une perte de sédiment supérieure à la normale entre l'épi 5 et le géotube 2. Entre les épis 5 et 6, le talus en haut de la plage présentait un escarpement prononcé et la ligne de végétation semblait avoir régressé. Le perré de support présent entre l'épi 6 et le géotube 2 se trouvait quant à lui encore plus dégagé qu'il ne l'était en 2017. En dépit de l'érosion constatée, la largeur de la plage au niveau 101,54 m (16,5 pieds) ne semblait pas avoir évolué de façon significative depuis la dernière période de suivi. L'arpentage de la ligne de rivage à l'automne 2019 indiquait par ailleurs que seul un tronçon de 13 m possédait une largeur inférieure à 8 m et que la largeur minimum mesurée était de 7,7 m.

Ailleurs le long du secteur (entre le géotube 2 et l'épi 7), les changements sur la plage étaient moins perceptibles. Quelques légers reculs du haut de plage ont été documentés, mais la plage conservait une pente relativement douce, libre d'escarpements et avec des sédiments plutôt lâches.

L'évolution cumulative des bilans sédimentaires aux profils 2+049 et 2+095 suggère qu'un léger ralentissement des pertes de sédiments observées au nord-est des épis en géotubes pourrait avoir été amorcé, grâce à l'influence de l'épi 7, aménagé en 2014. La poursuite des suivis permettra toutefois de confirmer si cette tendance se maintient. L'influence de l'ouvrage ne semble quant à elle pas s'étendre au-delà de l'épi en géotube 2. La récente période de suivi suggère d'autre part que la zone d'accumulation au sud-ouest de l'épi 7 converge vers un état d'équilibre. Aucun changement significatif de la dynamique n'est donc anticipé dans le secteur des épis en géotubes à court terme.

Au nord-est de l'épi 7, peu de changements significatifs ont été observés dans le cadre la période de suivi en cours. Les principaux mouvements de sédiments impliquaient un déplacement des barres infralittorales et un raidissement de la pente de la plage dans la zone d'érosion située au nord-est de l'épi 8.

Sur une base cumulative, les épis 7 et 8 parviennent à maintenir une plage stable entre les structures. La zone d'érosion anticipée au nord-est des aménagements demeure quant à elle active, mais évolue beaucoup moins rapidement qu'initialement anticipée. L'accumulation anticipée au sud-ouest de l'épi 9 est elle aussi moins prononcée que prévu. Malgré tout, le trait de côte entre les deux structures bouge peu d'année en année. Enfin, à l'extrémité nord-est du site, l'influence de l'épi 9 sur la dynamique hydrosédimentaire à l'embouchure de la Belle-Rivière continue d'évoluer. Les changements observés au niveau de la position du chenal d'écoulement et la migration de la flèche de sable s'élançant vers l'embouchure ne semblent malgré tout pas constituer d'enjeux particuliers à l'égard de la stabilité de l'épi à court- ou moyen-terme.

Au site 93.02.02, les analyses réalisées au terme de cette première année de suivi suggèrent que l'intervention de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière progresse telle qu'anticipée. Aucun élément inattendu, pouvant constituer un enjeu majeur à l'égard des aménagements, n'a été constaté dans la zone d'étude. Le nouveau canal de sortie de la Belle-Rivière a subi un certain remodelage et un léger décalage vers le nord-est, mais rien ne suggère qu'il tend à se rediriger vers son ancien lit. Le remblai recouvrant l'ancien lit de la Belle-Rivière n'a d'ailleurs pas subi de transformation significative au cours de la période de suivi.

Au niveau de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac, bien qu'une perte importante de sédiments sur le haut de la plage se soit produite au printemps 2019, les bilans sédimentaires indiquent qu'une quantité modérée de ces matériaux a simplement glissé plus bas sur la plage. D'ailleurs, le taux d'érosion estimé pour la période mars à juin 2019 était considérablement plus faible que le taux moyen historique établi pour ce secteur. La période d'analyse ne couvrait cependant que quelques mois. Il demeure donc prématuré de se prononcer à savoir si ce résultat est représentatif du nouveau régime de transport sédimentaire.

Le remodelage de la plage demeure par ailleurs un processus normal pour ce secteur, alors que la plage évolue vers un nouveau profil d'équilibre. Cette dynamique devrait persister un certain temps avant de s'estomper graduellement. Il demeure également anticipé qu'une dérive de matériaux persiste par-dessus la digue submergée à l'ouest. Les bilans sédimentaires le long de la plage devraient donc se maintenir en territoire érosif dans les années à venir, mais selon un taux beaucoup plus faible qu'auparavant, ce qui permettrait de réduire la fréquence des rechargements de plage à long terme.

TABLE DES MATIÈRES

1	CONTEXTE.....	1
2	OBJECTIFS	11
3	ACTIVITÉS DE SUIVI	13
4	BILAN DES CONDITIONS ÉROSIVES	15
5	RÉSULTATS ET OBSERVATIONS.....	17
5.1	RELEVÉS PHOTOGRAPHIQUES ET OBSERVATIONS VISUELLES	17
5.1.1	SITE 94.03.01 – SECTEUR 3B : ENTRE LES ÉPI 5 ET 6 (CH. 2+172 À 2+226).....	17
5.1.2	SITE 94.03.01 – SECTEUR 4A : AU NORD-EST DE L’ÉPI 6 (CH. 2+014 À 2+172).....	18
5.1.3	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L’ÉPI 7 (CH. 1+820 À 2+014).....	18
5.1.4	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 2 : ENTRE LES ÉPI 7 ET 8 (CH. 1+726 À 1+820).....	18
5.1.5	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3A : AU NORD-EST DE L’ÉPI 8 (CH. 1+424 À 1+726).....	18
5.1.6	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3B : AU SUD-OUEST DE L’ÉPI 9 (CH. 0+800 À 1+424).....	19
5.1.7	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 4 : AU NORD-EST DE L’ÉPI 9 (CH. 0+568 À 0+800).....	19
5.1.8	SITE 93.02.02 – SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L’ÉPI 2 (CH. 1+498 À 1+628).....	19
5.1.9	SITE 93.02.02 – SECTEUR 2 : DEVANT LE PERRÉ DE SUPPORT (CH. 1+628 À 1+871).....	19
5.1.10	SITE 93.02.02 – SECTEUR 3 : AU NORD-EST DE LA DIGUE SUBMERGÉE (CH. 1+871 À 2+275).....	20
5.1.11	SITE 93.02.02 – SECTEUR BR : EMBOUCHURE DE LA BELLE-RIVIÈRE (ENTRE LA DIGUE SUBMERGÉE ET L’ÉPI 9).....	20
5.2	CAMPAGNE DE RELEVÉS ET BILANS SÉDIMENTAIRES	20
5.2.1	SITE 94.03.01 – SECTEUR 3B : ENTRE LES ÉPI 6 ET 5 (CH. 2+172 À 2+226).....	43
5.2.2	SITE 94.03.01 – SECTEUR 4A : AU NORD-EST DE L’ÉPI 6 (CH. 2+014 À 2+172).....	43
5.2.3	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L’ÉPI 7 (CH. 1+820 À 2+014).....	44

5.2.4	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 2 : ENTRE LES ÉPIΣ 7 ET 8 (CH. 1+726 À 1+820).....	44
5.2.5	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3A : AU NORD-EST DE L’ÉPI 8 (CH. 1+424 À 1+726).....	45
5.2.6	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 3B : AU SUD-OUEST DE L’ÉPI 9 (CH. 0+800 À 1+424).....	45
5.2.7	SITE 2014.03.01 – SECTEUR 4 : AU NORD-EST DE L’ÉPI 9 (CH. 0+568 À 0+800).....	45
5.2.8	SITE 93.02.02 – SECTEUR 1 : AU SUD-OUEST DE L’ÉPI 2 (CH. 1+498 À 1+628).....	46
5.2.9	SITE 93.02.02 – SECTEUR 2 : DEVANT LE PERRÉ DE SUPPORT (CH. 1+628 À 1+871).....	46
5.2.10	SITE 93.02.02 – SECTEUR 3 : AU NORD-EST DE LA DIGUE SUBMERGÉE (CH. 1+871 À 2+275).....	47
5.2.11	SITE 93.02.02 – ZONES DE QUADRILLAGE	47
5.3	CAMPAGNE DE RELEVÉS DE LA LIGNE DE RIVAGE.....	50
6	DISCUSSION	51
6.1	ÉVOLUTION ANNUELLE.....	51
6.1.1	SITE 94.03.01 (ÉPIΣ 5 À 7)	51
6.1.2	SITE 2014.03.01 (ÉPIΣ 7 À 9)	52
6.1.3	SITE 93.02.02.....	52
6.2	ÉVOLUTION CUMULATIVE	54
6.2.1	SITE 94.03.01 (ÉPIΣ 5 À 7)	54
6.2.2	SITE 2014.03.01 (ÉPIΣ 7 À 9)	54
6.2.3	SITE 93.02.02.....	55
7	CONCLUSION	57
7.1	SITE 94.03.01 (ÉPIΣ 5 À 7)	57
7.2	SITE 2014.03.01 (ÉPIΣ 7 À 9)	58
7.3	SITE 93.02.02	59
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		61

TABLEAUX

TABLEAU 1.1	HISTORIQUE DES 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.	3
TABLEAU 1.2	HISTORIQUE DES INTERVENTIONS RÉALISÉES DANS LA ZONE ÉTENDUE ENTOURANT LE SITE 93.02.02, DANS LA MUNICIPALITÉ DE SAINT-GÉDÉON.	5
TABLEAU 3.1	ACTIVITÉS RÉALISÉES DANS LE CADRE DU SUIVI 2019	13
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)	22
TABLEAU 5.3	LARGEURS D'INFLUENCE DES PROFILS TRANSVERSAUX – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07).....	23
TABLEAU 5.4	BILANS SÉDIMENTAIRES PRÉVUS ET OBSERVÉS – SITES 94.03.01/2014.03.01 (SECTEUR A03.07)	39
TABLEAU 5.5	BILANS SÉDIMENTAIRES PRÉVUS ET OBSERVÉS – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07).....	41
TABLEAU 5.6	ÉVOLUTION DES TAUX DE TRANSPORT SÉDIMENTAIRE MOYENS ANNUELS AU NORD-EST DE L'ÉPI 6	44

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 4.1	ÉVOLUTION DU NIVEAU DU LAC SAINT-JEAN PENDANT LA PÉRIODE D'EAU LIBRE 2019 (STATION CEHQ 069214 – ROBERVAL).....	15
FIGURE 5.1	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE CUMULATIF OBSERVÉ – PÉRIODE 1994-2008 – SITES 91.03.02/94.03.01 (SECTEUR A03.07).....	24
FIGURE 5.2A	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE CUMULATIF OBSERVÉ – PÉRIODE 2008-2019 – SITES 94.03.01/2014.03.01 (SECTEUR A03.07)	25
FIGURE 5.3A	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE ANNUEL OBSERVÉ – PÉRIODE 2008-2019 – SITES 94.03.01/2014.03.01 (SECTEUR A03.07)	28

CARTES

CARTE 5.1	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE ANNUEL OBSERVÉ – PÉRIODE 2017-2019 – SITES 94.03.01/2014.03.01 (SECTEUR A03.07)	31
CARTE 5.2	TRANSPORT SÉDIMENTAIRE CUMULATIF OBSERVÉ – PÉRIODES 2008-2019 (SITE 94.03.01) ET 2014- 2019 (SITE 2014.03.01) – SITES 94.03.01/2014.03.01 (SECTEUR A03.07)	33

CARTE 5.3	ÉVOLUTION BATHYMETRIQUE ET TOPOGRAPHIQUE OBSERVÉE ENTRE MARS ET JUIN 2019 – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07).....	35
CARTE 5.4	ÉVOLUTION BATHYMETRIQUE OBSERVÉE ENTRE JUIN ET NOVEMBRE 2019 – SITE 93.02.02 (SECTEUR A02.07).....	37

ANNEXES

- A RÉPERTOIRE PHOTOGRAPHIQUE
- B PROFILS BATHYMETRIQUES
- C PLANS
- D SYNTHÈSE DES INTERVENTIONS
ET OBSERVATIONS

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, 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 techniques ont été mises en œuvre 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 en cours et à venir doivent permettre de valider si les objectifs de cette intervention sont atteints.

Les Tableau 1.1 et 1.2, ainsi que les Figure 1.1 et 1.2, présentent un bref historique des interventions réalisées dans la zone d'étude. L'annexe D présente quant à elle un portrait plus détaillé des travaux, ainsi que les activités de suivi réalisées depuis 1986.

Des suivis techniques sont effectués aux sites 94.03.01 et 2014.03.01 depuis 2008 et 2014, respectivement. Dans le cadre du mandat actuel, la zone de suivi a été prolongée vers le site 93.02.02 afin de documenter l'évolution du littoral suivant les travaux de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière, réalisés à l'hiver 2019. Cette intervention incluait la construction d'une digue submergée en pierres pour obstruer le tronçon du canal de sortie de la rivière longeant la plage de Saint-Gédéon, le remblayage de l'ancien canal derrière la digue, l'excavation d'un nouveau canal de sortie, puis la mise en place d'un rechargement sur le haut de la plage de Saint-Gédéon. Les travaux avaient pour objectif d'éloigner le canal de la Belle-Rivière du littoral afin de rehausser et adoucir la pente au pied de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac, permettant ainsi d'atténuer l'énergie des vagues sur une plus grande distance et diminuer la fréquence des rechargements de plage à long terme.

Étant donné que le littoral au site 93.02.02 a été complètement transformé, le suivi actuel vise à comparer l'état des lieux observé à la fin des travaux, en mars 2019, avec ceux observés après la crue printanière, en juin 2019, et à la fin de la période d'eau libre, en novembre 2019. Ce suivi est prévu se dérouler sur 5 ans. Il a pour principal but de documenter l'évolution du secteur, de vérifier si les interventions effectuées ont une efficacité conforme aux attentes et de proposer des ajustements au besoin.

Un bref historique des travaux réalisés dans les différents secteurs est présenté ci-après. Du côté de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (sites 94.03.01 et 2014.03.01), aucune intervention n'a été réalisée depuis le dernier exercice de suivi en 2017 (WSP, 2018).

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 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 pour

adresser la problématique d'érosion. 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 capté 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 donc été aménagés, environ 250 m au nord-est (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 accrue. Pour éviter, malgré tout, un recul excessif de la plage et favoriser le développement d'un état d'équilibre du trait de côte dans ce secteur, un troisième épi a également été aménagé à l'extrémité du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.

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 est observée vers le nord-est. Un des phénomènes qui motive cette évolution est 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 devant le site 93.02.02 (à Saint-Gédéon) 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 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 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, 2018), 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 derrière la digue, puis l'excavation d'un nouveau canal de sortie selon un alignement plus perpendiculaire au littoral. 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 berge.

Site 93.02.02 (Saint-Gédéon)

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-sur-le-Lac (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 support 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 sur le haut de la plage. Les suivis techniques en cours et à venir doivent permettre de valider si les objectifs de cette intervention sont atteints.

Tableau 1.1 Historique des 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.

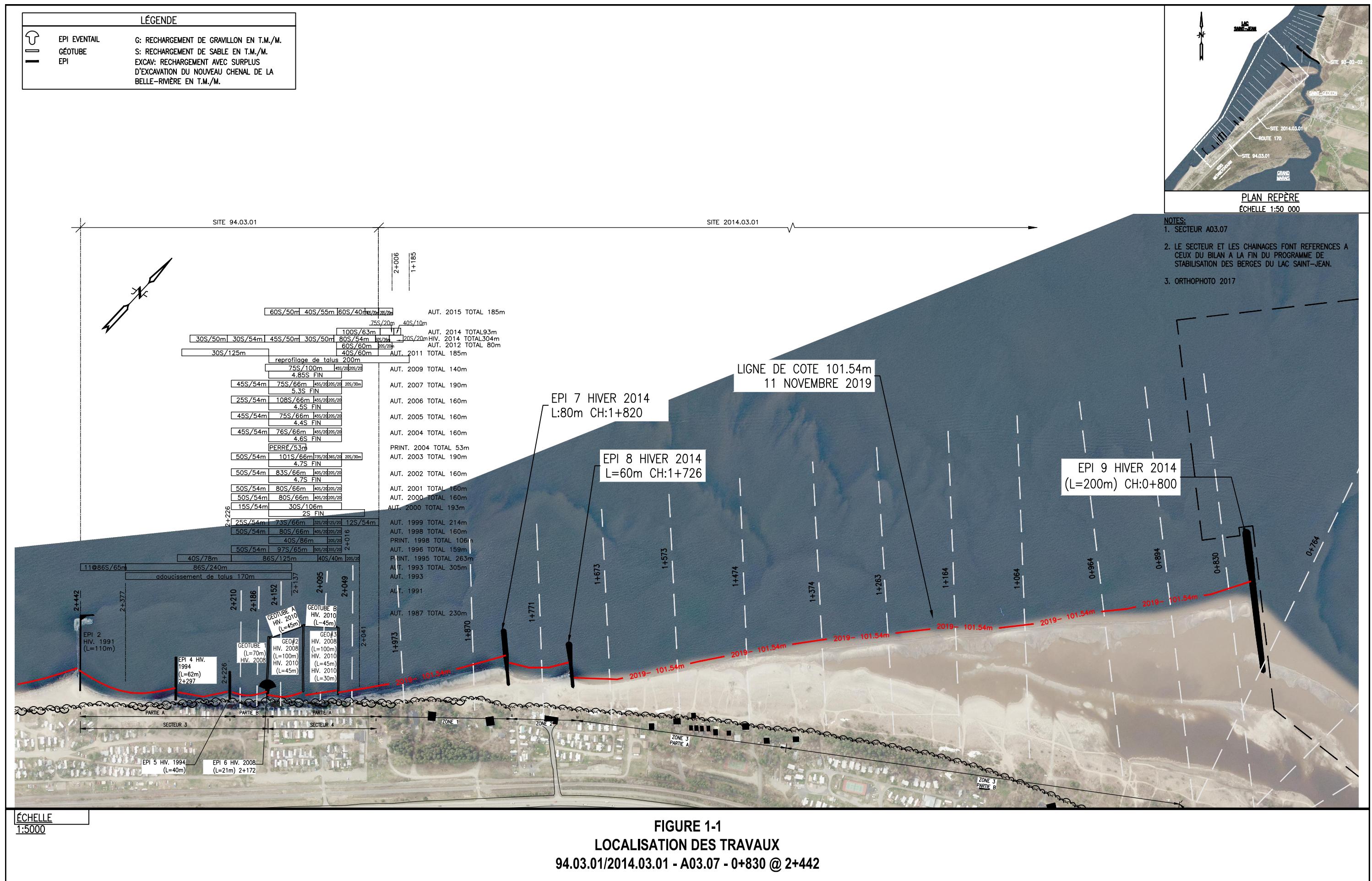
PÉRIODE ¹	CHAÎNAGES		LONG. (m)	DESCRIPTION
	DÉBUT	FIN		
A1996 H1998 A1998 A1999 H2000 A2000 A2001 A2002 A2003 A2004 A2005 A2006 A2007 A2009	2+066	2+226	160	Des rechargements de sable (8 000 à 10 000 tonnes) sont réalisés au nord-est de l'épi 5 sur une base quasi annuelle pour entretenir la plage.
H2004	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.
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.
	2+066	2+119	53	
	2+119	2+172	53	Après ces ajouts, les structures forment une sorte de cellule rectangulaire permettant de circonscrire les sédiments.
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 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.

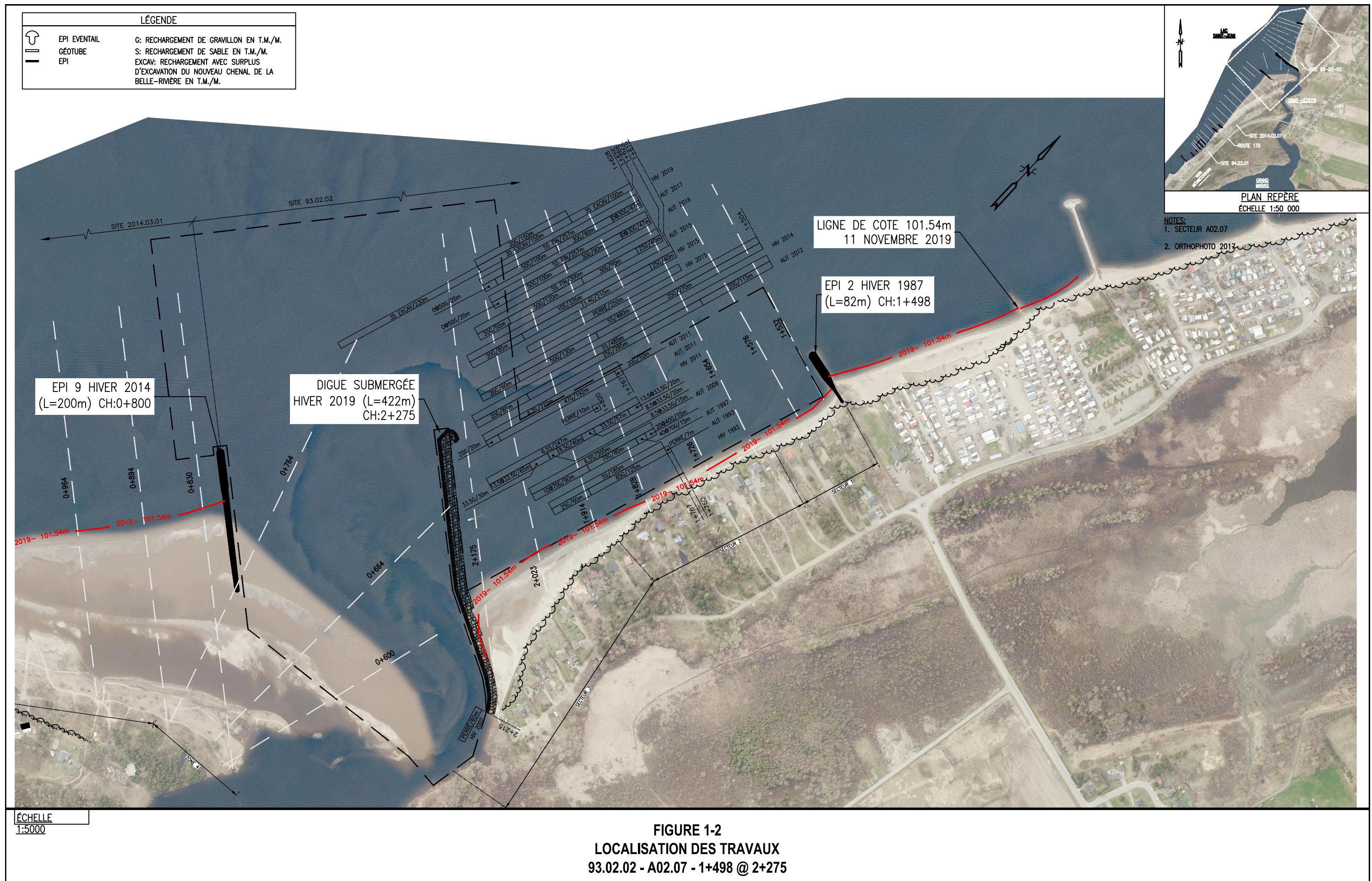
1 A = Automne; H = Hiver.

Tableau 1.2 Historique des 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 le 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 sable fin (19 000 tonnes) est réalisé sur le haut de la plage.

1 A = Automne; H = Hiver.





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. Plus spécifiquement, aux sites 94.03.01 et 2014.03.01, les épis en enrochement aménagés en 2014 doivent permettre de freiner la perte de matériaux au nord-est des épis en géotubes, de favoriser le développement d'un état d'équilibre de la plage entre les structures et de capter les matériaux transportés le long du banc de sable de Métabetchouan–Lac-à-la-Croix avant qu'ils n'atteignent l'embouchure de la Belle-Rivière. Au site 93.02.02, les travaux de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière doivent permettre de réduire le taux d'érosion de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac et éviter que le chenal d'écoulement de la Belle-Rivière ne dévie 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 arpantage de la ligne de rivage.

3 ACTIVITÉS DE SUIVI

Les activités réalisées dans le cadre du suivi 2019 sont présentées dans le Tableau 3.1.

Tableau 3.1 Activités réalisées dans le cadre du suivi 2019

DATE	NIVEAU DU LAC SAINT-JEAN	ACTIVITÉ
25 mars 2019	97,50 m [3,2 pi]	Relevés topographiques visant l'arpentage des ouvrages finaux réalisés dans le cadre du projet de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière.
12 juin 2019	101,50 m [16,4 pi]	Relevés topographiques et bathymétriques visant l'arpentage de profils transversaux et le quadrillage de la zone ceinturant l'embouchure de la Belle-Rivière, ainsi que le pied de la plage devant le site 93.02.02.
12 juillet 2019	101,24 m [15,5 pi]	Visite de terrain par un ingénieur, avec prise de photos.
7 novembre 2019 11 novembre 2019	101,07 m [14,5 pi]	Relevés topographiques visant l'arpentage de la ligne de rivage (cote 101,54 m [16,5 pi]).
11 novembre 2019	101,06 m [14,9 pi]	Relevés bathymétriques visant le quadrillage de la zone ceinturant l'embouchure de la Belle-Rivière, ainsi que le pied de la plage devant le site 93.02.02.

La période d'analyse considérée pour les sites 94.03.01 et 2014.03.01 couvre l'intervalle de temps entre les relevés effectués lors du suivi précédent (21 novembre 2017) et ceux réalisés au printemps 2019 (12 juin 2019). Au site 93.02.02, deux périodes d'analyses sont considérées, soit celles circonscrites entre la fin des travaux de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière (25 mars 2019), le passage de la crue printanière dans le lac Saint-Jean (12 juin 2019) et la fin de la période d'eau libre (11 novembre 2019).

4 BILAN DES CONDITIONS ÉROSIVES

La Figure 4.1 présente l'évolution du niveau d'eau dans le lac Saint-Jean entre mai et novembre 2019. Lors de la crue printanière, le niveau d'eau a atteint, ou excédé la cote 101,70 m (17,0 pieds) pendant une période de 7 jours consécutifs à la fin de mois de mai. Les niveaux d'eau sont ensuite demeurés au-dessus de l'élévation 101,40 (16,0 pieds) jusqu'à la troisième semaine de juin. Selon les témoignages des riverains rencontrés lors de l'inspection visuelle et des responsables du Programme de stabilisation des berges, des événements de vents forts et de vagues élevées en provenance de l'ouest sont survenus pendant cette période.

Par la suite, pendant la saison estivale, les niveaux d'eau ont globalement suivi la courbe médiane historique, à l'exception de la première moitié du mois de septembre, où l'abaissement du lac c'est amorcé plus tardivement que la normale. Des niveaux inférieurs à la médiane ont quant à eux été observés pendant la période automnale (octobre à décembre).

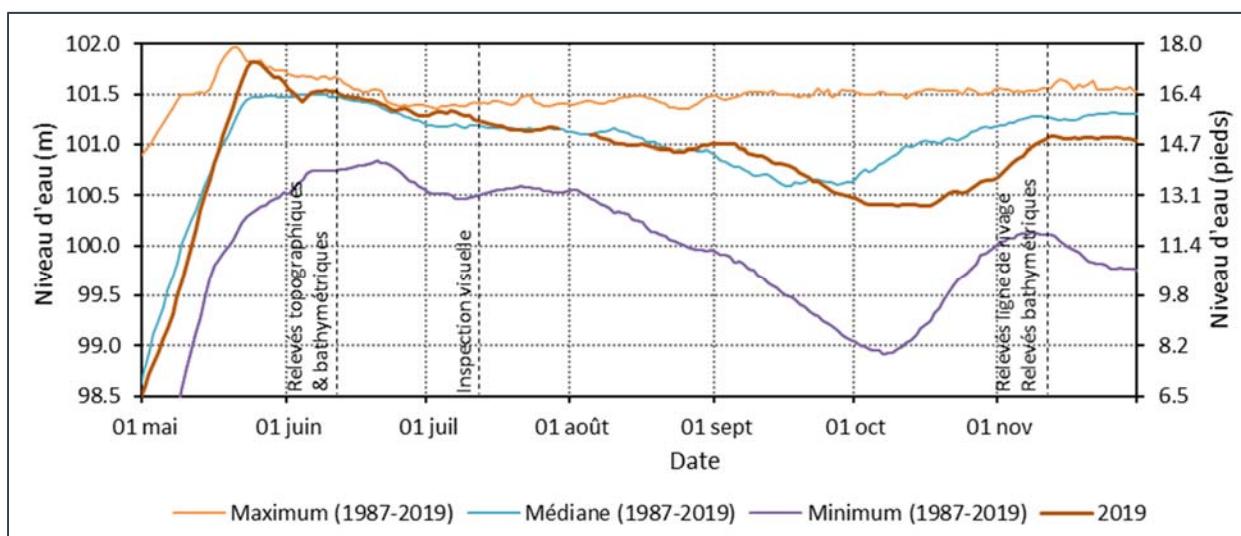


Figure 4.1 Évolution du niveau du lac Saint-Jean pendant la période d'eau libre 2019 (station CEHQ 069214 – Roberval)

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 3B	2+171	2+226	Entre les épis 5 et 2
	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

La principale visite du secteur, avec prise de photos, a été réalisée le 12 juillet 2019, alors que le niveau du lac était à une élévation de 101,24 m (15,5 pi). Les principales photos citées dans les sections suivantes du rapport sont consignées dans le répertoire photographique présenté à l'annexe A.

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

Au nord-est de l'épi 5, l'érosion de la plage s'est poursuivie par rapport au suivi précédent (photos 1 et 2). Le haut de la plage avait subi un abaissement généralisé et l'escarpement présent en 2017 était maintenant plus prononcé. La ligne de végétation semblait par ailleurs avoir régressé.

Malgré cette perte de sédiments, la plage à l'élévation approximative de 101,25 m (15,5 pieds) semblait conserver une largeur comparable à celle observée en 2016 (photos 1 et 3).

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

Une régression importante de la plage était également visible dans le secteur des épis en géotubes. Le perré de support présent au nord-est de l'épi 6 se trouvait d'ailleurs encore plus dégagé qu'il ne l'était en 2017 (photos 4 et 5). L'ouvrage constituait maintenant un obstacle infranchissable pour les riverains souhaitant accéder à la plage. À un niveau d'eau de 101,24 m (15,5 pieds), les vagues sapaient directement la base de la structure, menaçant ainsi l'intégrité du pied si la profondeur d'enfouissement de la clé n'est pas suffisante. À terme, le perré pourrait être à risque d'une déstabilisation et d'un affaissement.

La perte de matériaux était aussi perceptible plus au nord-est (photos 6 à 10). Toutefois, bien que légèrement plus étroite qu'en 2017, la plage conservait un état pouvant être qualifié de « satisfaisant », avec une pente relativement douce, libre d'escarpements et avec des sédiments plutôt lâches. Par ailleurs, la ligne de végétation ne semblait pas être menacée à court terme par l'érosion.

5.1.3 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 des changements significatifs sur la plage par rapport à 2017 (photos 11 et 12). La zone d'accumulation s'était maintenue et la plage conservait une bonne largeur, avec une pente uniforme et douce.

5.1.4 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 à l'état de 2017 (photos 13 et 14). La plage conservait une largeur importante et sa forme concave était conforme aux attentes.

5.1.5 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 semblait avoir évolué depuis le dernier suivi, dans la mesure où la pente de la plage paraissait plus raide qu'en 2017 (photos 15 et 16). Cette régression ne semblait malgré tout pas avoir modifié la position du haut de talus, ni provoqué la perte de végétation à cet endroit. Elle pourrait néanmoins rendre le secteur plus vulnérable à la formation d'escarpements.

Il demeure important de rappeler que la perte de sédiments dans ce secteur constitue un effet normal et anticipé de la mise en place des épis 7 et 8. L'érosion du littoral est cependant jugée tolérable, puisque la plage demeure très large et le trait de côte bénéficie d'un espace de liberté relativement grand.

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

Plus loin au nord-est, la plage demeurait en bon état, avec une largeur importante et une pente relativement douce (photos 17 et 18). Les zones d’accumulations observées en 2017 (photos 19 et 20) ne semblaient plus être présentes. Le niveau d’eau lors de la visite était cependant plus élevé qu’en 2017 et limitait l’observation visuelle de cette partie de la plage.

À proximité de l’épi 9, l’inspection visuelle n’a pas permis de constater des changements significatifs par rapport à 2017 (photos 21 et 22).

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

Le secteur au nord-est de l’épi 9 demeurait largement submergé lors de l’inspection 2019 (photos 23). Aucun changement significatif n’a donc été observé par rapport à 2017 (photo 24).

La dynamique anticipée dans ce secteur continue malgré tout d’être une perte de sédiments et un remodelage de la flèche de sable à l’embouchure de la Belle-Rivière en raison de l’interruption de la dérive littorale provoquée par la présence de l’épi. Les relevés bathymétriques dans ce secteur révèlent d’ailleurs que des changements significatifs sont en cours sous le niveau d’eau.

5.1.8 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 présentait un état pouvant être qualifié de « satisfaisant », avec une largeur adéquate, une pente relativement douce, libre d’escarpements et des sédiments plutôt lâches (photos 27 et 28). L’inspection visuelle ne semblait pas constater de changements significatifs par rapport à 2018 (photo 29). Étant donné le faible nombre d’interventions réalisées dans ce secteur, il est raisonnable de croire que la plage bénéficie d’une certaine stabilité des matériaux.

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

Devant le perré de support, la plage était plus étroite que dans le secteur précédent (photos 30 et 32 à 34). Le perré était d’ailleurs relativement exposé et des petits escarpements de gravillon sur l’ouvrage marquaient l’étendue de l’érosion qu’avait subie le rechargement réalisé quelques mois plus tôt. Une quantité importante des matériaux avait donc été érodée.

Bien que le niveau de dégradation ne semblait pas aussi sévère qu’en 2018 (photos 32, 35 et 36), l’état de la plage paraissant précaire pour affronter plus d’une saison de tempêtes automnales.

5.1.10 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 demeurait en bon état, avec une largeur importante et une pente relativement douce (photos 37 et 39). L'inspection visuelle n'a pas permis de constater des changements significatifs par rapport à 2018 (photo 38).

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

Dans le secteur de l'embouchure de la Belle-Rivière, une légère dégradation du perré aménagé à la base de la digue submergée a été observée (photos 40 et 41). L'épisode de vents et de vagues élevés, combinés aux hauts niveaux d'eau observés lors de la crue printanière semblait avoir contribué à l'érosion des matériaux meubles au-dessus de la crête du perré. Une partie de l'ouvrage semblait également avoir subi un léger affaissement (≈ 30 cm).

Ailleurs, la zone d'analyse demeurait largement submergée. Aucun élément particulièrement remarquable n'a donc été observé.

5.2 CAMPAGNE DE RELEVÉS ET BILANS SÉDIMENTAIRES

Des relevés topographiques et bathymétriques ont été effectués au printemps 2019 vis-à-vis les chaînages usuels le long du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (Figure 1.1). Une légère rectification de l'alignement des profils 0+964, 0+894 et 0+830 a toutefois été effectué dans le cadre de ce suivi, afin que les sections soient plus perpendiculaires à la ligne de rivage dans ce secteur. Les relevés historiques réalisés le long de ces profils ont été ajustés pour tenir compte du réalignement appliqué.

Devant l'embouchure de la Belle-Rivière, un quadrillage de points a plutôt été relevé (Figure 1.2), puisque la zone possède des traits qui sont beaucoup plus dynamiques que les secteurs de plage adjacents et qui évoluent à la fois selon des axes longitudinal et perpendiculaire au rivage. Ce protocole de relevé a également été prolongé au nord-est, dans la zone de remblayage de l'ancien canal de la Belle-Rivière, afin de documenter l'évolution du fond avec une meilleure résolution dans ce secteur. De façon générale, l'espacement entre les lignes de quadrillage était de 15 m, mais a été augmenté à 50 m au large de l'embouchure.

Des profils transversaux ont également été relevés dans le secteur de la plage de Saint-Gédéon, afin de documenter la partie émergée de la plage (relevés topographiques), ainsi que la zone plus au large, non couverte par les relevés par quadrillage.

Une seconde campagne de relevés bathymétriques a été réalisée à l'automne 2019, seulement dans le secteur du site 93.02.02, afin de documenter l'évolution du fond du lac pendant la période d'eau libre. Aucun relevé topographique n'a cependant été réalisé dans le cadre de cette campagne. Les profils plus au sud-ouest (site 94.03.01 et 2014.03.01) n'ont également pas été revisités.

Dans les secteurs caractérisés par des profils transversaux, les relevés récents ont été comparés aux courbes des années antérieures afin de quantifier les gains et les pertes de

matériaux le long des sections. Les bilans sédimentaires ont ensuite été évalués en associant des longueurs d'influence à chaque profil et en multipliant les résultats des bilans transversaux par ces valeurs.

Pour les zones de quadrillage, la densité des points relevés permettait l'élaboration de modèles numériques de terrain en trois dimensions. Les bilans sédimentaires ont donc été évalués en évaluant les écarts verticaux entre les différentes surfaces, puis en multipliant les résultats par les superficies en plan des différents secteurs d'analyses.

Aux sites 94.03.01 et 2014.03.01, les profils relevés en 2019 s'inscrivent en continuité avec ceux relevés dans le cadre des suivis précédents. Au site 93.02.02, par contre, l'état de référence considéré est celui défini par les relevés finaux réalisés à la fin des travaux de réaménagement de l'embouchure de la Belle-Rivière, soit mars 2019. Des relevés transversaux effectués en 2013, 2014 et 2018 ont également été considérés dans le secteur de la plage pour établir des taux d'érosion représentatifs des conditions observées avant les travaux.

Les Tableau 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 5.4, illustrent les bilans sédimentaires cumulatifs et annuels observés dans chaque zone représentée. Pour les Cartes 5.1 et 5.2, il est important de souligner que les graphiques présentent le transport net. Les volumes de sédiments ajoutés lors des rechargements sont déduits des calculs. Cette opération ne peut cependant pas être effectuée pour les Cartes 5.3 et 5.4.

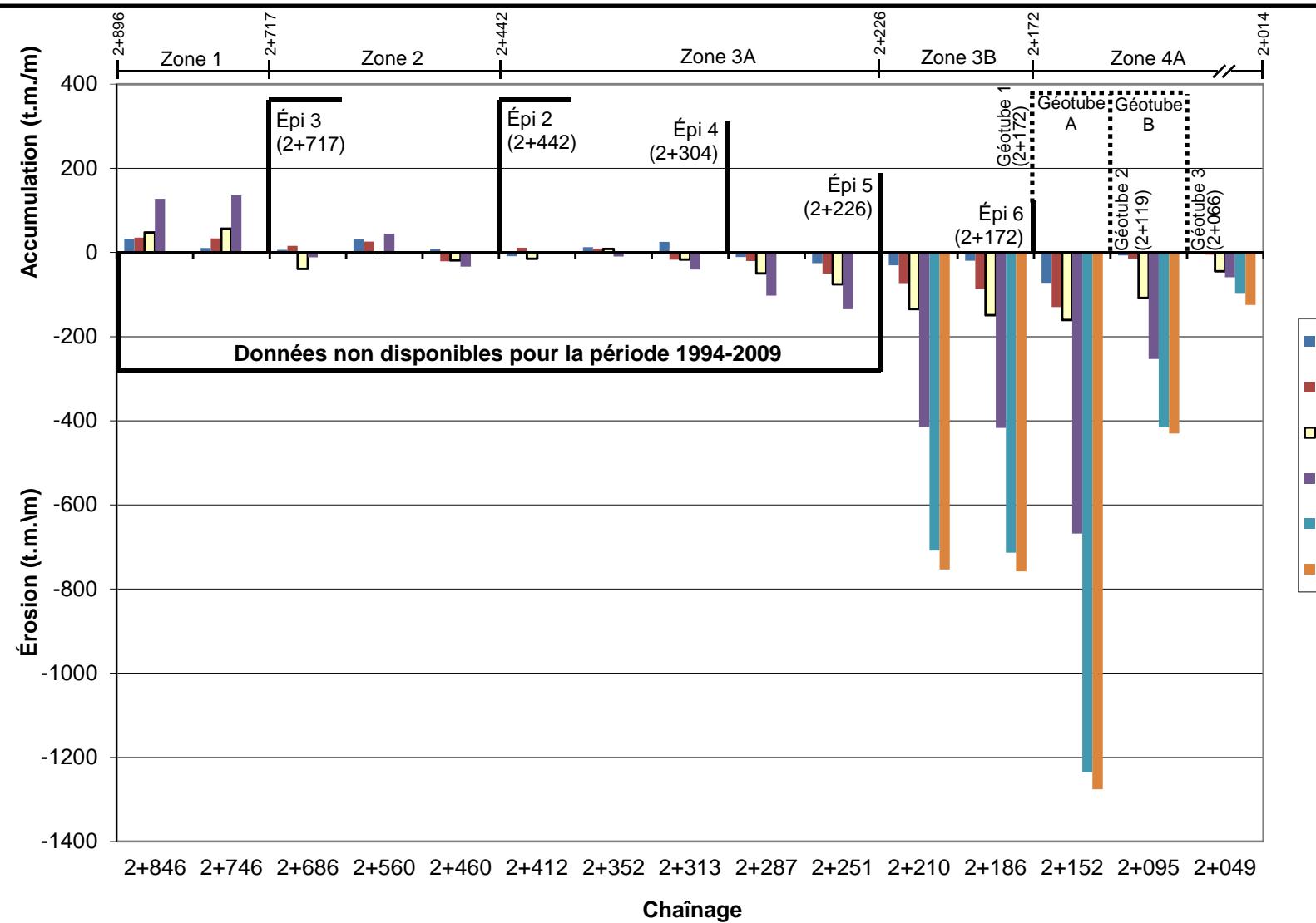
Les Tableau 5.4 et 5.5 présentent quant à eux les bilans sédimentaires prévus et observés dans chaque secteur. Il est important de souligner que les bilans présentés pour le site 93.02.02 ont été établis pour la zone de plage seulement, donc les quelques 40 à 100 premiers mètres des profils, selon leur emplacement. Ceci permet alors une comparaison plus juste avec les relevés antérieurs aux travaux de réaménagement de l'embouchure de la Belle-Rivière. 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	
	TOTAL ENTRE LES ÉPI 2 ET 5		2+226 (Épi 5)		216	
	Secteur 4	Partie B	2+210	2+226 (Épi 5)	28	
			2+186	2+198	26	
			2+172 (Épi 6/Géotube 1)			
	TOTAL ENTRE LES ÉPI 5 et 6				54	
Site 2014.03.01	Secteur 1	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	
	Secteur 2		1+973	2+014	92.5	
			1+870	1+921	101.5	
			1+820 (Épi 7)			
	TOTAL SO DE L'ÉPI 7				194	
	Secteur 3	Partie A	1+771	1+820 (Épi 7)	94	
			1+726 (Épi 8)			
	TOTAL ENTRE LES ÉPI 7 et 8				94	
Secteur 4	Secteur 2	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	
	Secteur 3	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	
	TOTAL SO DE L'ÉPI 9		0+914		114	
	Secteur 4		0+800 (Épi 9)			
					624	
			0+764	0+800 (Épi 9)	86	
			0+664	0+714	82	
	Secteur 5		0+600	0+632	64	
			0+568			
TOTAL NE DE L'ÉPI 9				232		
GRAND TOTAL				1 874		

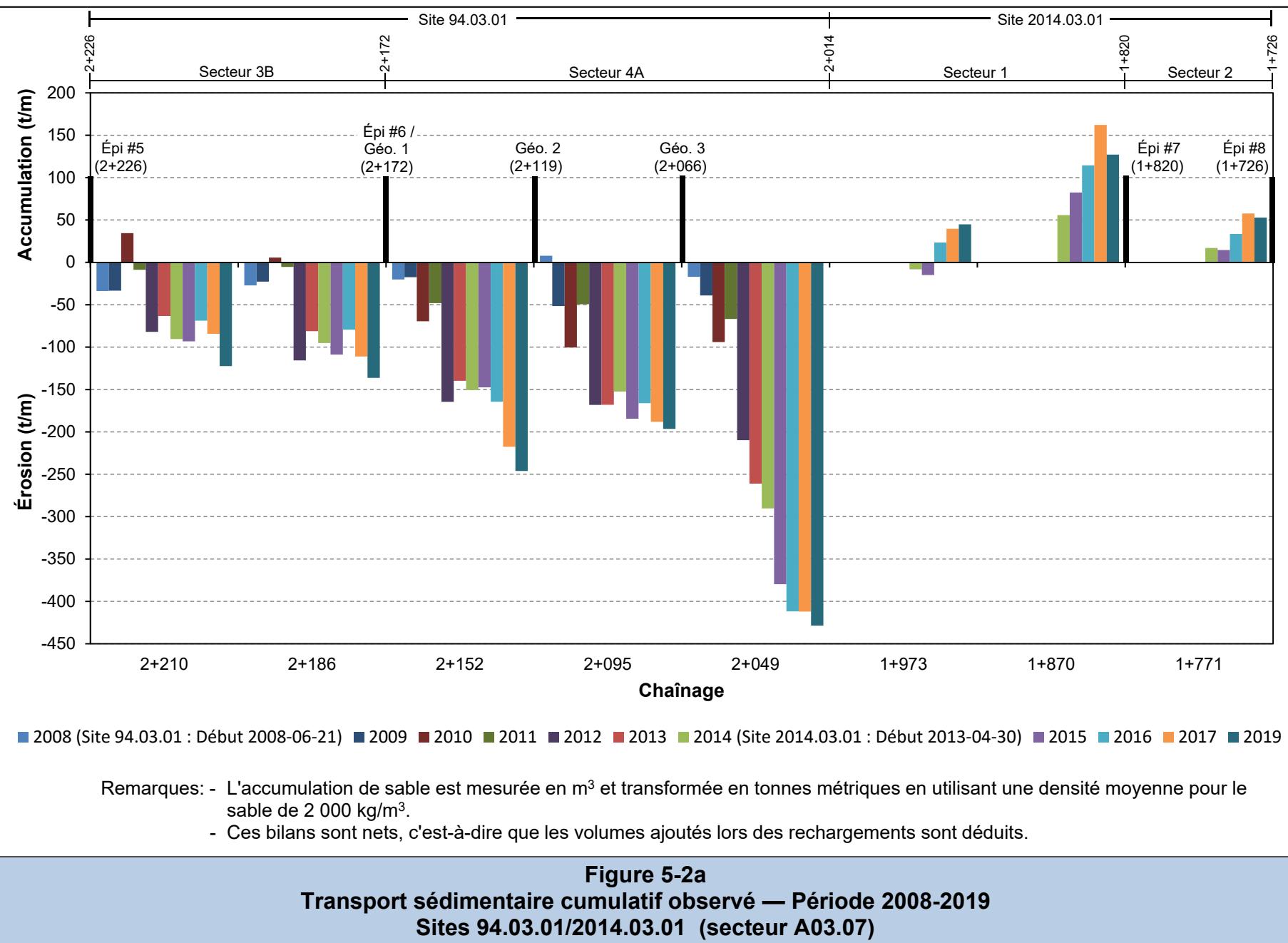
Tableau 5-3
Largeurs d'influence des profils transversaux
Site 93.02.02 (secteur A02.07)

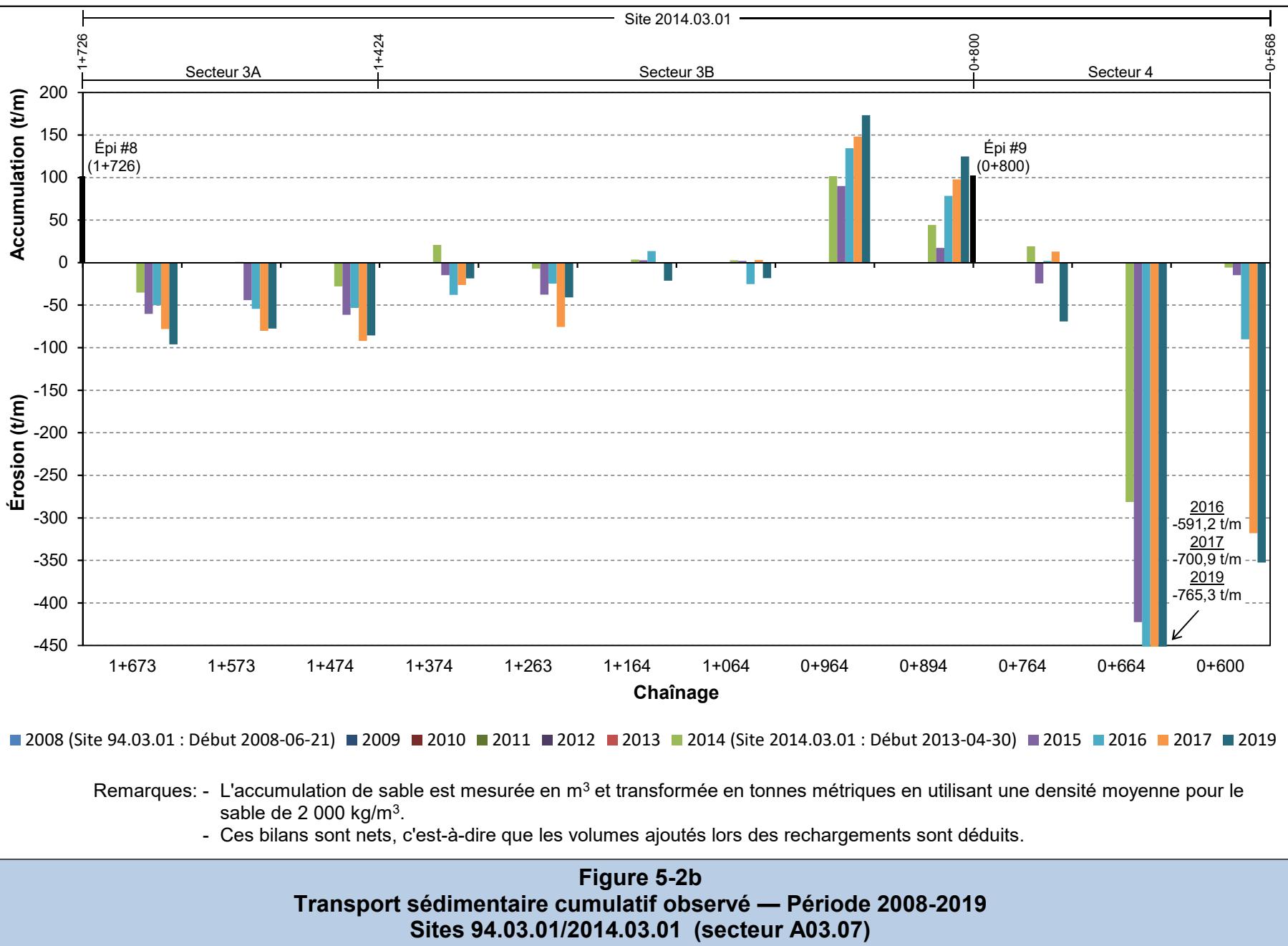
		PROFILS	LIMITE D'INFLUENCE	LARGEUR D'INFLUENCE (m)	
Site 93.02.02	Secteur 1	1+532	1+498 (Épi 2)	45	
		1+576	1+554	74	
			1+628		
	TOTAL SO DE L'ÉPI 2		119		
	Secteur 2	1+654	1+628	62	
		1+726	1+690	87	
		1+828	1+777	94	
			1+871		
	TOTAL DEVANT PERRE SUPPORT		243		
	Secteur 3	1+914	1+871	91	
		2+023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

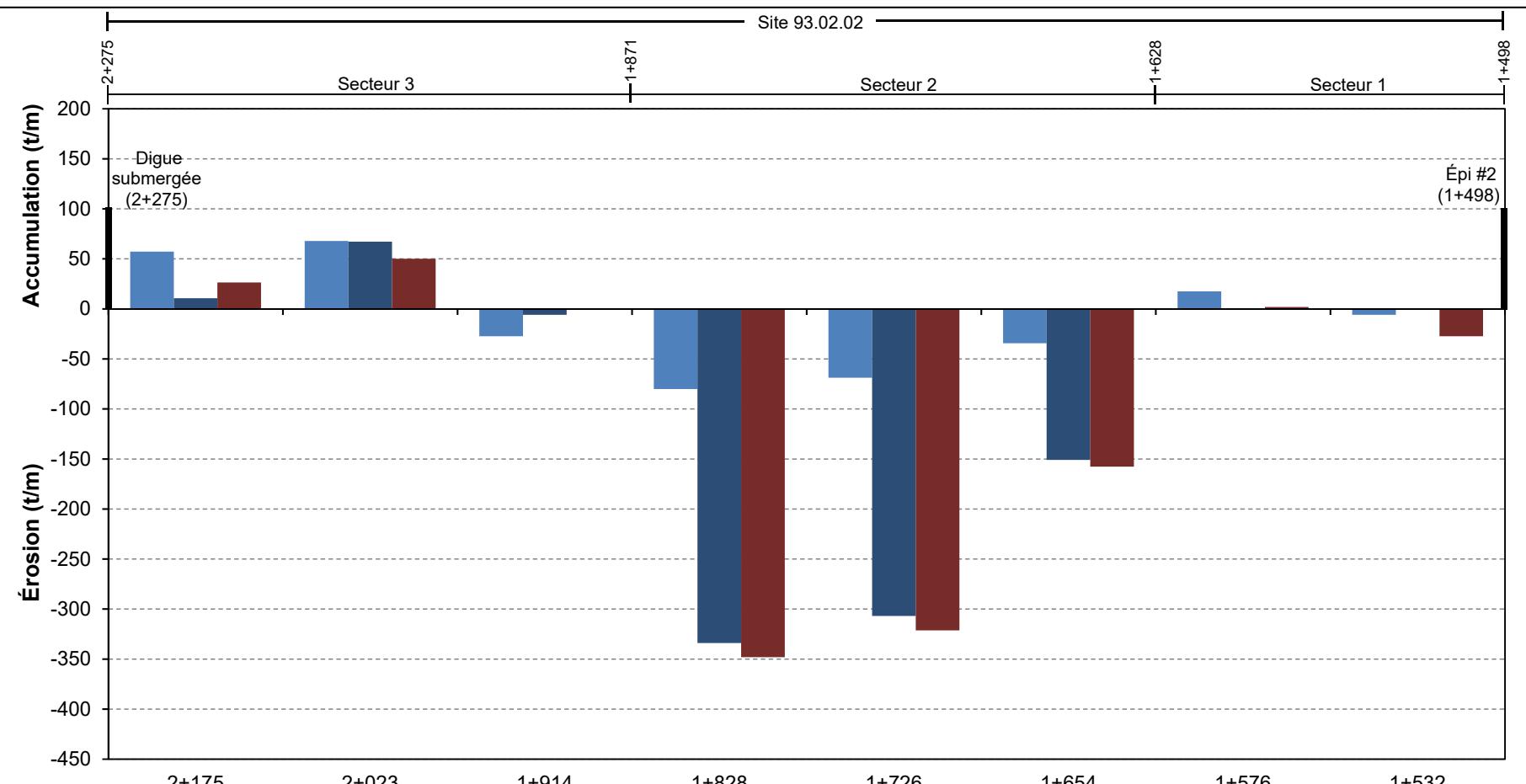


Remarques : - L'accumulation de sable est mesurée en m³ et transformée en tonnes métriques en utilisant une densité moyenne pour le sable de 2 000 kg/m³.
- Ces bilans sont nets, c'est-à-dire que les volumes ajoutés lors des rechargements sont déduits.

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



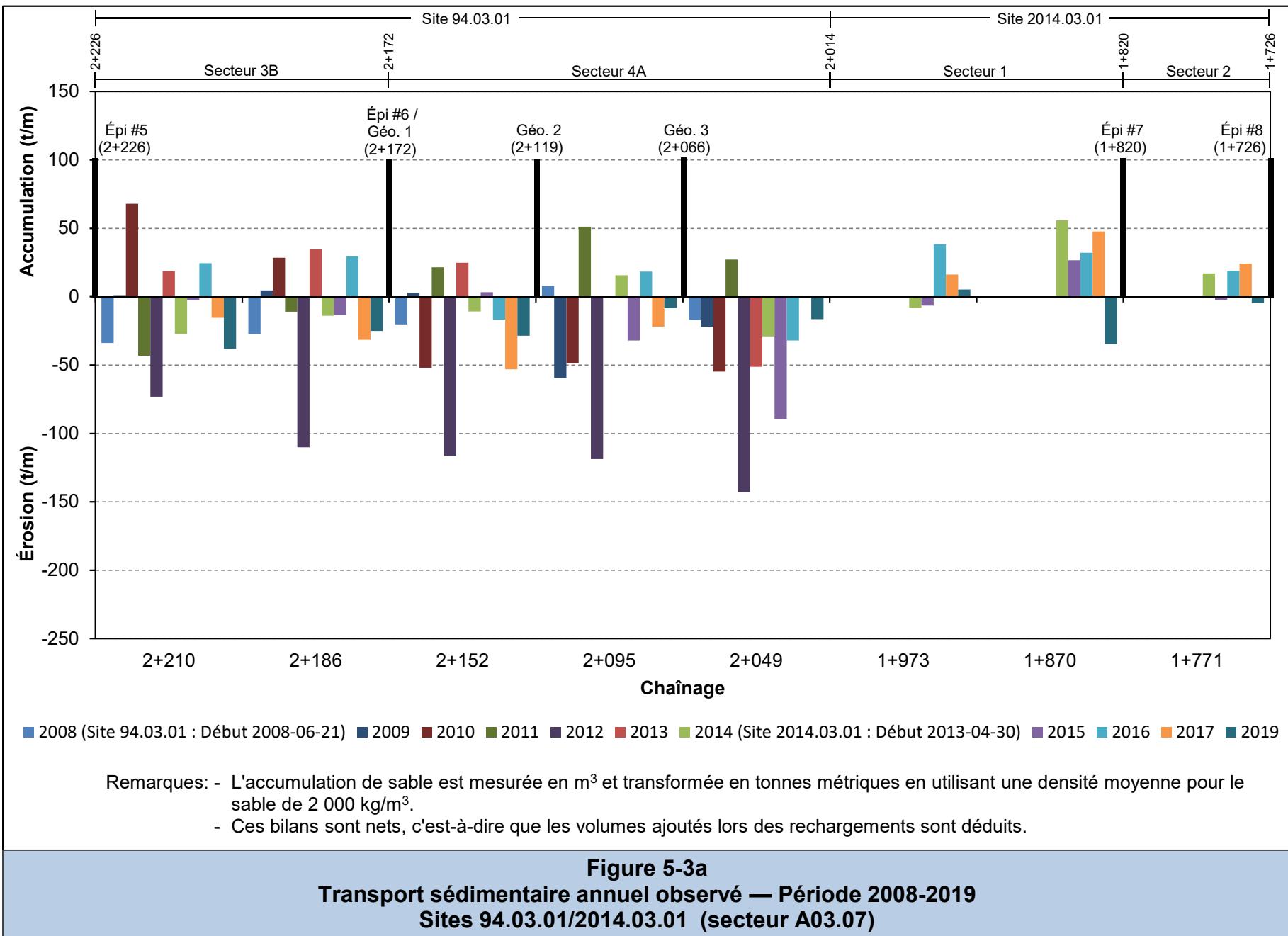


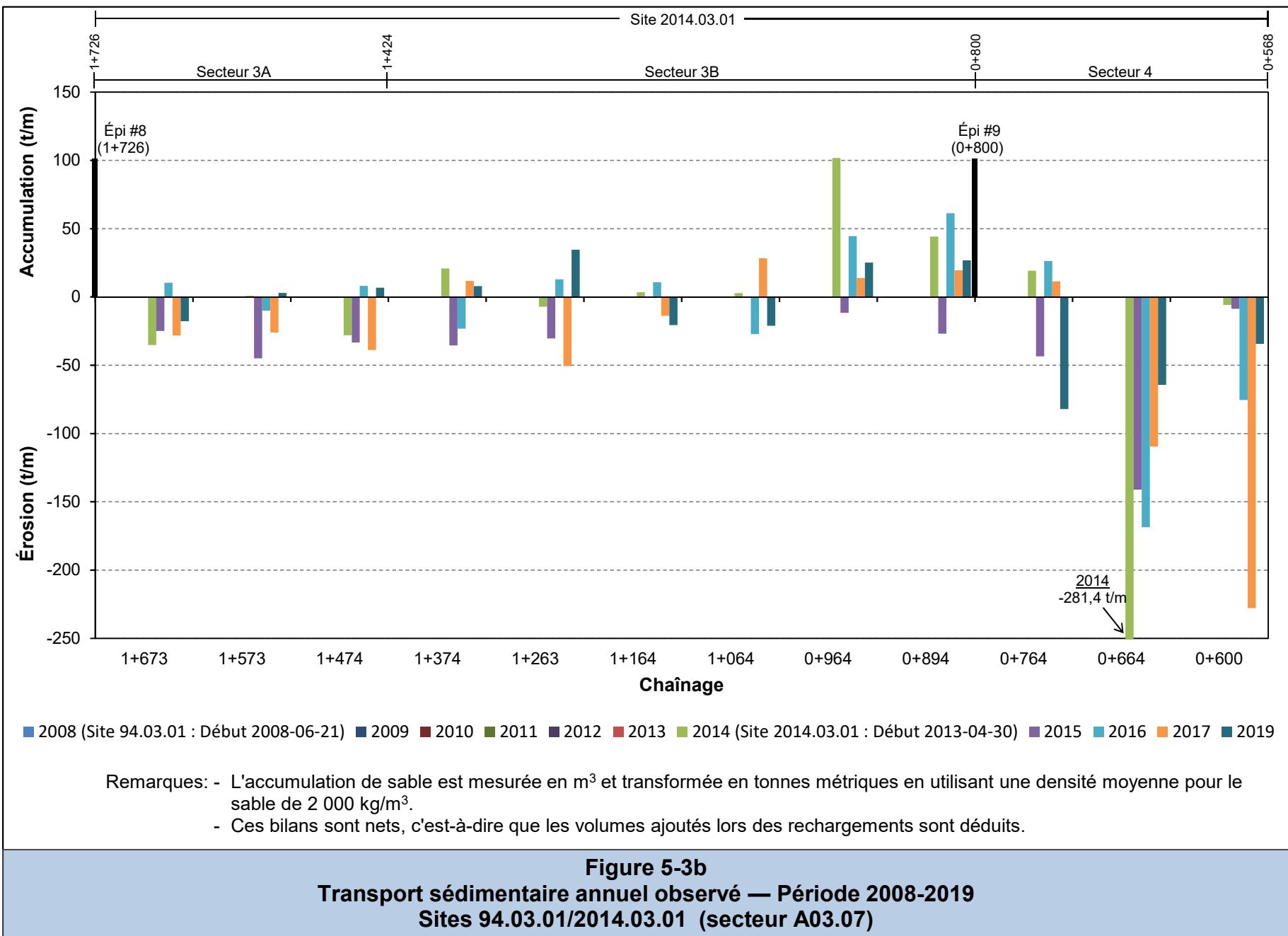


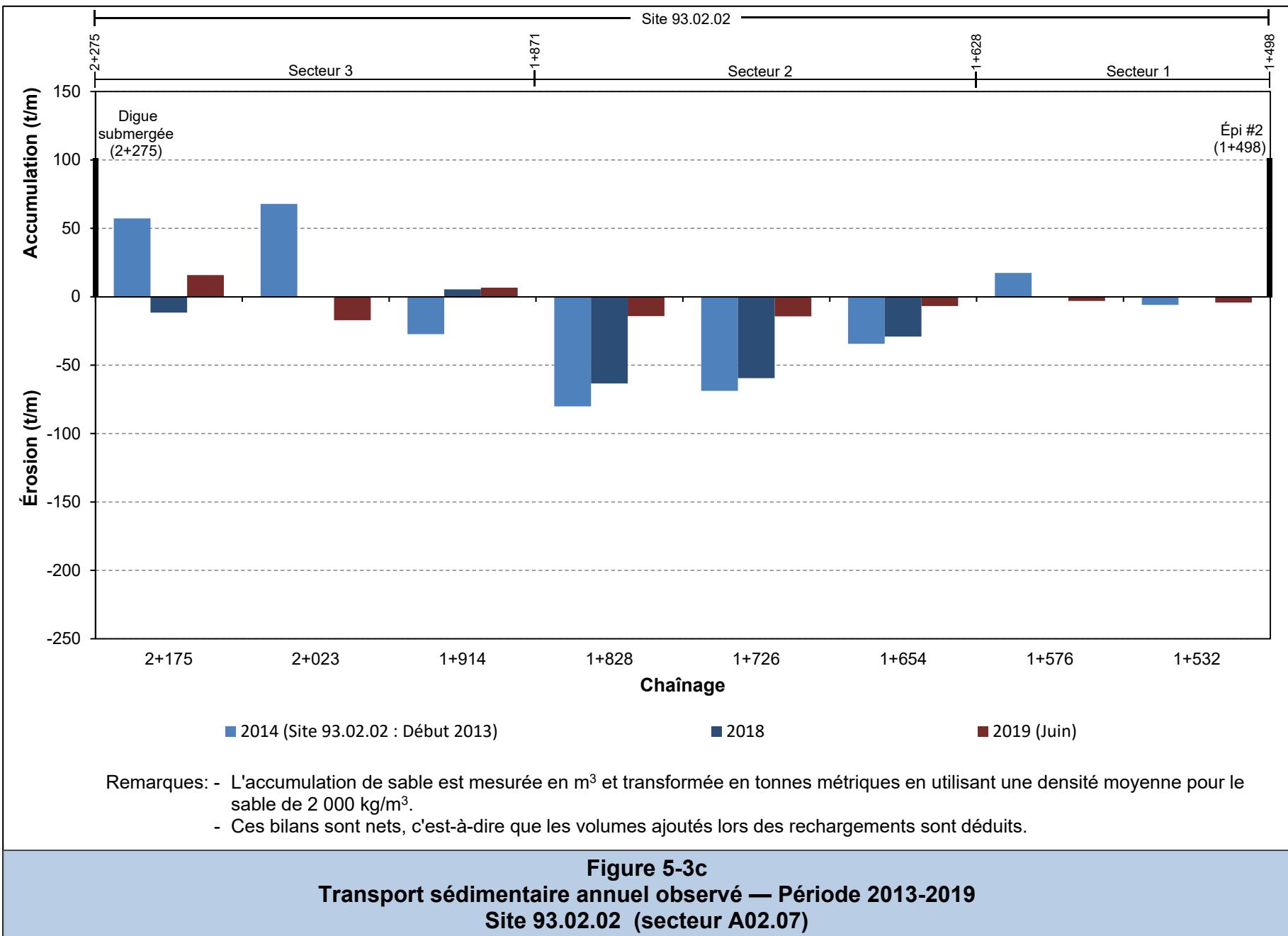
■ 2014 (Site 93.02.02 : Début 2013) ■ 2018 ■ 2019 (Juin)

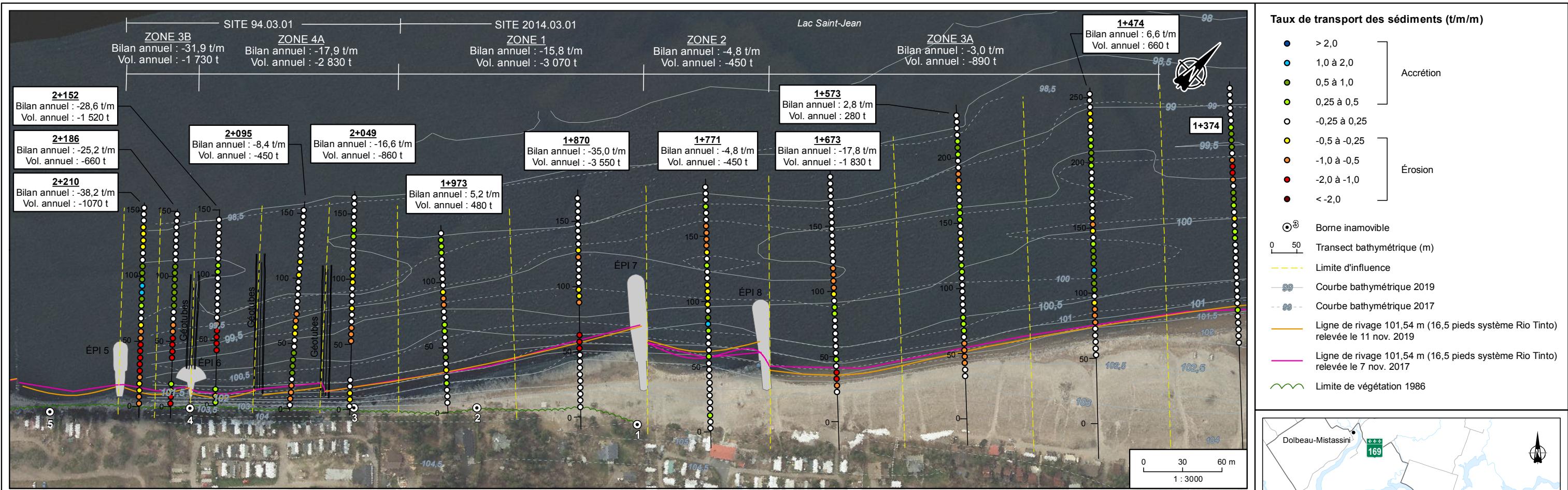
- Remarques:
- L'accumulation de sable est mesurée en m^3 et transformée en tonnes métriques en utilisant une densité moyenne pour le sable de $2\ 000 \text{ kg/m}^3$.
 - Ces bilans sont nets, c'est-à-dire que les volumes ajoutés lors des rechargements sont déduits.

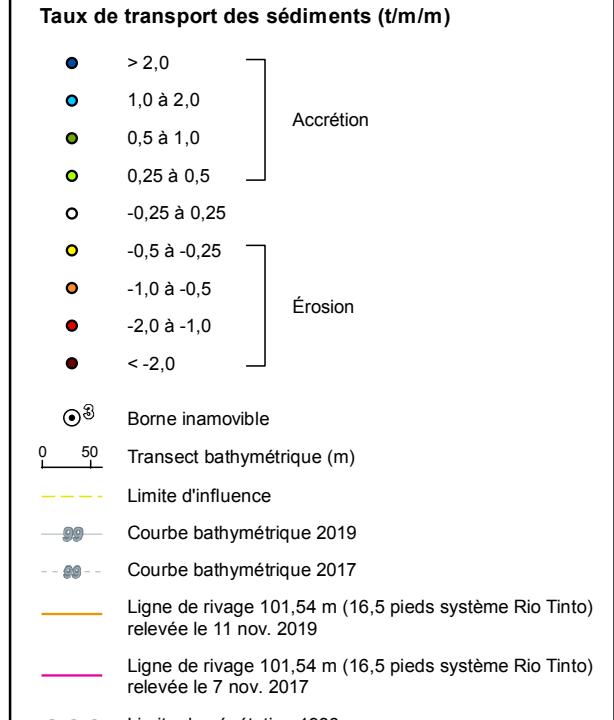
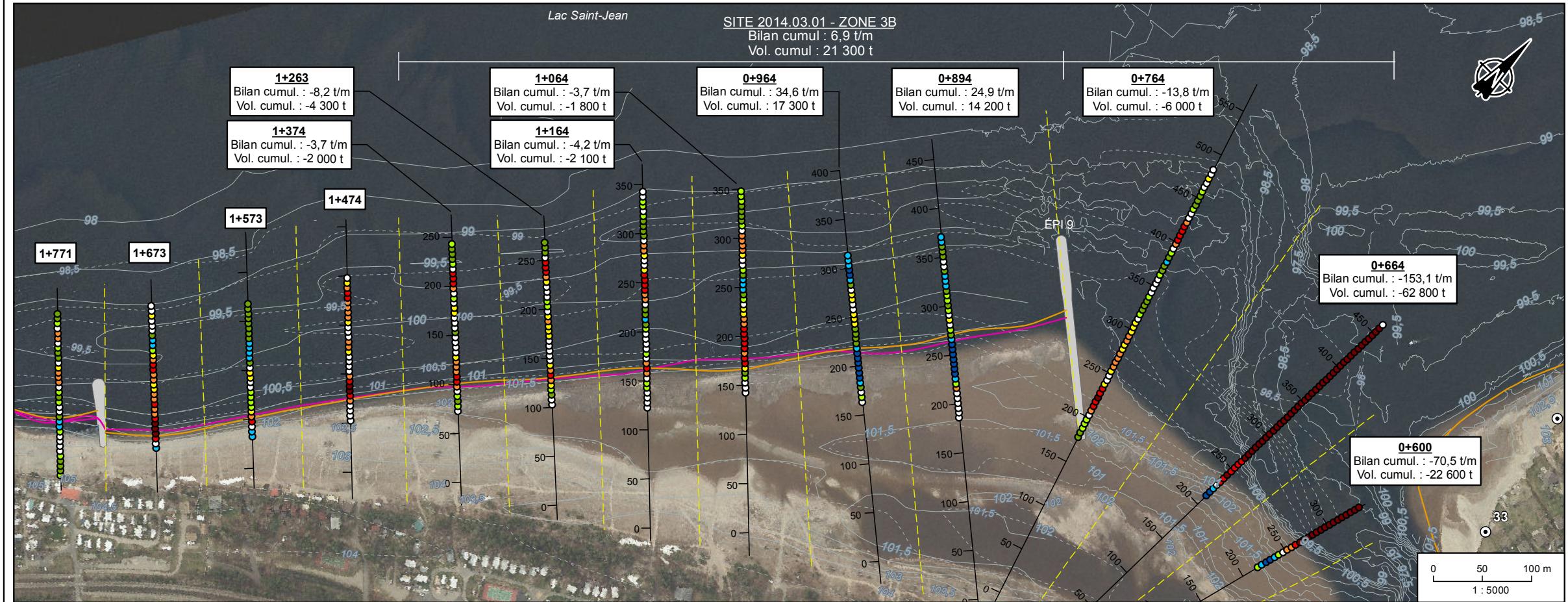
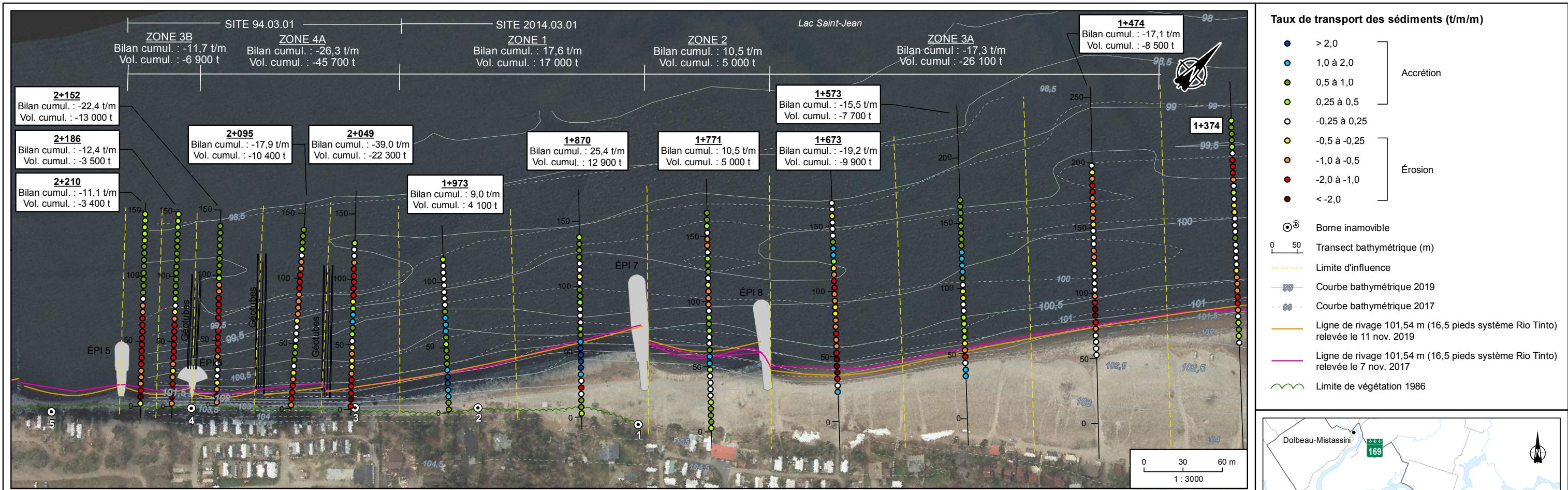
Figure 5-2c
Transport sédimentaire cumulatif observé — Période 2013-2019
Site 93.02.02 (secteur A02.07)





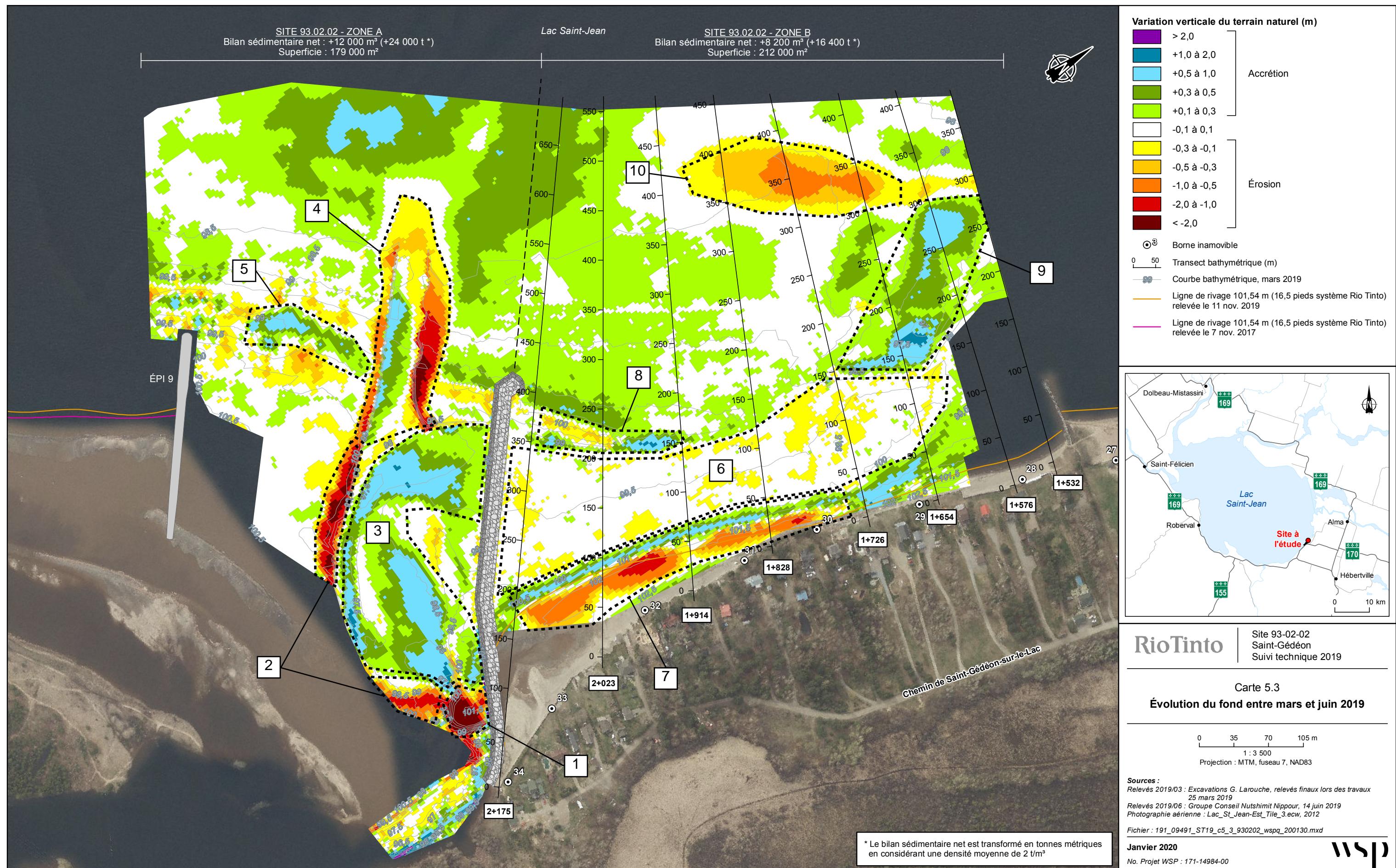






RioTinto
Sites 94.03.01 & 2014.03.01
Métabetchouan-Lac-à-la-Croix
Suivi technique 2019

Carte 5.2
Transport sédimentaire cumulatif observé –
Période 2008-2019 (site 94.03.01) et
2014-2019 (site 2014.03.01) –
Sites 94.03.01/2014.03.01 (secteur A03.07)



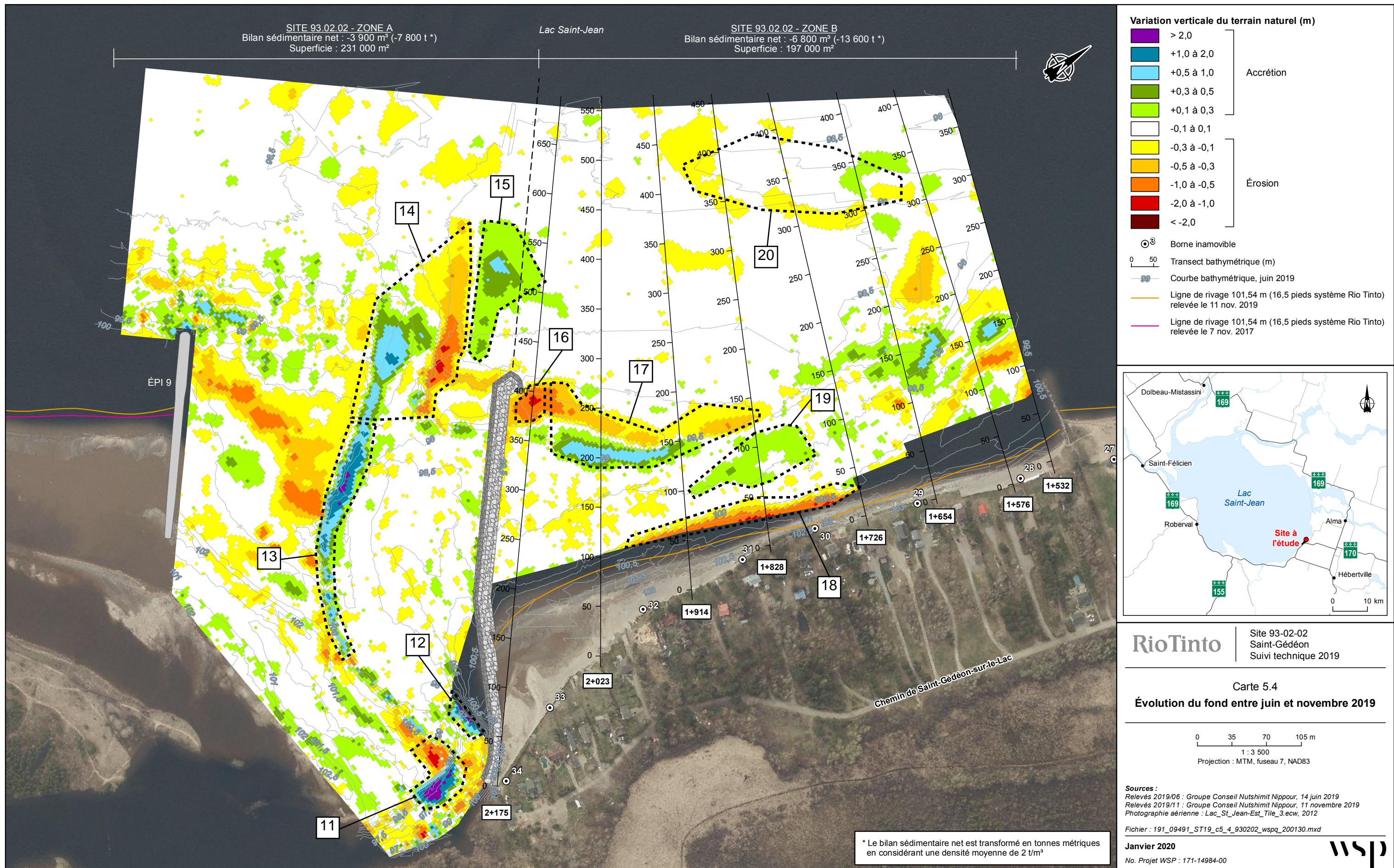


Tableau 5.4
Bilans sédimentaires prévus et observés
Sites 94.03.01/2014.03.01 (A03.07)

CHAINAGE	LONGUEUR (m)	TRAVAUX 2019	TRANSPORT DE SEDIMENTS PRÉVU SI LE SITE EST NON PROTÉGÉ (t/m/an)	TRANSPORT DE SEDIMENTS PRÉVU LORSQUE LE SITE EST PROTÉGÉ (t/m/an)	BILANS SÉDIMENTAIRES OBSERVÉS (t/m)																							MOYENNE SUR TOUTE LA PÉRIODE							
					1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2019 /06
Site 94.03.01	Secteur 1 2+717 à 2+896 SO de l'épi 3	179	SI	-12 (1)	-2,4 (1)																													11 1991 à 2001	23.9
	Secteur 2 2+442 à 2+717 Entre les épis 2 et 3	275	SI	-12 (1)	-2,4 (1)																												11 1991 à 2001	3.0	
	Secteur 3A 2+226 à 2+442 Entre les épis 2 et 5	216	SI (avant construction des épis 4 à 6)	-12 (1)	-2,4 (1)																												3 1991 à 1993	-30.9	
			SI (après construction des épis 4 à 6)	-12 (1)	-2,4 (1)																												8 1994 à 2001	-6.3	
	Secteur 3B 2+172 à 2+226 Entre les épis 5 et 6	54	SI	-12 (1)	-2,4 (1)																												25 1994 à 2019/06	-33.7	
																																	11 2008 à 2019/06	-11.7	
	Secteur 4A 2+014 à 2+172 NE de l'épi 6	158	SI (avant construction des épis 4 à 6)	-12 (1)	-2,4 (1)																												6 1988 à 1993	-9.0	
			SI (après construction des épis 4 à 6)	-12 (1)	-2,4 (1)																												25 1994 à 2019/06	-30.6	
																																	11 2008 à 2019/06	-26.3	
	Secteur 4B 1+719 à 2+014 NE de l'épi 6	295	SI	-12 (1)	-2,4 (1)																												14 1988 à 2001	-2.0	
Site 2014.03.01	Secteur 1 1+820 à 2+014 SO de l'épi 7	194	SI	n/d	n/d																												25.2 2013 à 2019/06	17.6	
	Secteur 2 1+726 à 1+820 Entre les épis 7 et 8	94	SI	n/d	n/d																												16.9 2013 à 2019/06	10.5	
	Secteur 3A 1+424 à 1+726 NE de l'épi 8	302	SI	n/d	n/d																												-21.1 2013 à 2019/06	-17.3	
	Secteur 3B 0+800 à 1+424 SO de l'épi 9	624	SI	n/d	n/d																												27.0 2013 à 2019/06	6.8	
	Secteur 4 0+568 à 0+800 NE de l'épi 9	232	SI	n/d	n/d																												-94.8 2013 à 2019/06	-78.7	
	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

(1) Cette valeur est basée sur les données tirées de l'Étude d'impact (1986).

Tableau 5.5
Bilans sédimentaires prévus et observés
Site 93.02.02 (A02.07)

CHAINAGE	LONGUEUR (m)	TRAVAUX 2019	BILANS SEDIMENTAIRES OBSERVÉS (t/m)						MOYENNE SUR TOUTE LA PÉRIODE	
			2014	2015	2016	2017	2018	2019/06	Nombre d'années Période	t/m/an
Site 93.02.02	Secteur 1 1+498 à 1+628 SO de l'épi 2	119	REx	8.6		-3.6			5 2013 à 2019/06	-1.8
	Secteur 2 1+628 à 1+871 Devant perré support	243	REx + RG	-64.4		-53.3		-12.4	5 2013 à 2019/06	-58.0
	Secteur 3 1+871 à 2+275 NE de digue submergeée	260	REx + DI	31.4		-1.5		0.6	5 2013 à 2019/06	5.2
TOTAL		622								

L E 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 submergeée
 SI: Sans intervention

(1) Cette valeur est basée sur les données tirées de l'Étude d'impact (1986).

5.2.1 SITE 94.03.01 – SECTEUR 3B : ENTRE LES ÉPIΣ 6 ET 5 (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 d'environ -51 t/m/an a été observée dans ce secteur entre 1994 et 2007 (Tableau 5.4). La mise en place des épis en géotubes en 2008 semble néanmoins avoir modifié cette tendance. Les bilans sédimentaires indiquent que depuis cette intervention, des années d'érosion et d'accumulation se sont succédé dans le secteur.

Les données recueillies dans le cadre de la récente période de suivi indiquent que le taux de transport moyen entre 2017 et 2019 a été de -31,9 t/m, ou -1 700 tonnes pour l'ensemble du tronçon (Tableau 5.4). Les profils présentés à l'annexe B démontrent que l'érosion a été généralisée sur l'ensemble de la plage, entre les élévations 99 et 103 m. Une partie des matériaux érodés pourrait toutefois s'être accumulée au pied de la plage, où une barre de sable était maintenant présente à environ 90 m du rivage.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux d'érosion moyen annuel à -11,7 t/m/an pour la période 2008-2019 (Tableau 5.4). Le volume total de sédiments étant sorti du système d'épis au cours de ces années serait donc d'environ 6 900 tonnes (-11,7 t/m/an x 11 ans x 54 m), ce qui correspond approximativement à environ 2,5 fois le volume des rechargements réalisés pendant cette période (2 800 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 t/m/an a été documentée sur l'ensemble du secteur entre 1994 et 2007 (Tableau 5.4). Une analyse individuelle des profils révèle cependant que les taux d'érosion n'étaient pas uniformes, mais plutôt progressivement plus faibles vers le nord-est (Figure 5.1). Cette partie de la plage bénéficiait en toute probabilité d'une dérive des matériaux de rechargement déposés annuellement au sud-ouest.

Les données recueillies dans le cadre de la récente période de suivi confirment que la période 2017-2019 a été érosive entre les géotubes. Les pertes de sédiments se seraient toutefois principalement concentrées au pied de la plage entre les géotubes 1 et 2 (ch. 2+152), puis sur le haut de la plage entre les géotubes 2 et 3 (ch. 2+095). L'érosion au nord-est des ouvrages (ch. 2+049) aurait quant à elle été plus modérée.

Le taux d'érosion moyen annuel pour le secteur s'élève à -17,9 t/m, ou -2 800 tonnes au total (Tableau 5.4).

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte quant à elle le taux d'érosion moyen annuel à -26,3 t/m/an pour la période 2008-2019 (Tableau 5.4), ce qui demeure comparable, voire légèrement plus faible, que le taux moyen historique. Le volume total de sédiments qui est sorti du système d'épis au cours de ces années serait d'environ 45 700 tonnes (-26,3 t/m/an x 11 ans x 158 m), ce qui correspond à près de 11 000 tonnes de plus que le volume des rechargements réalisés pendant cette période (35 000 tonnes).

L'analyse détaillée des bilans sédimentaires de chaque profil, avant et après la mise en place des épis en géotubes (Tableau 5.6), indique malgré tout que les ouvrages ont permis de ralentir la perte de matériaux entre les structures. L'érosion se serait cependant intensifiée au nord-est. Le taux de transport au chaînage 2+049 demeure néanmoins plus faible que celui observé au chaînage 2+152 avant la mise en place des épis en géotubes. Or, ce dernier est indicateur du taux d'érosion anticipé sur un tronçon de plage non protégé en aval d'épis conventionnels dans ce secteur.

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 1994-2007 (avant la mise en place des géotubes)	PÉRIODE 2008-2019 (avant la mise en place des géotubes)
2+152	-88,3	-22,4
2+095	-29,7	-17,9
2+049	-6,9	-39,0
MOYENNE	-34,3	-26,3

1 Valeurs calculées à partir des taux présentés sur les Figure 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 2019 indiquent qu'une perte de matériaux se serait produite dans ce secteur depuis 2017, à un taux moyen de -15,8 t/m (Tableau 5.4), ou un volume total de -3 100 tonnes. Les profils présentés à l'annexe B révèlent pour leur part que la régression se serait essentiellement produite au chaînage 1+870, où la plage aurait reculée de 5 à 10 m entre les élévations 101 et 102 m.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données réduit le taux d'accumulation moyen annuel à 17,6 t/m/an pour la période 2014-2019 (Tableau 5.4). Le volume total de sédiments captés par l'épi au cours de ces années serait donc d'environ 17 000 tonnes (17,6 t/m/an x 5 ans x 194 m), ce qui correspond approximativement au volume des rechargements réalisés au sud-ouest de l'ouvrage pendant cette période (17 000 tonnes).

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 2019 indiquent une légère érosion depuis 2017 de -4,8 t/m à cet endroit, soit un volume d'environ 500 tonnes (Tableau 5.4). L'analyse graphique des profils (annexe B) révèle malgré tout que les déplacements de matériaux se seraient principalement produits sur la partie inférieure de la plage, sous l'élévation 101 m.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données réduit le taux d'accumulation moyen annuel à 10,5 t/m/an pour la période 2014-2019 (Tableau 5.4). Le volume total de sédiments captés par l'épi au cours de ces années serait donc d'environ 5 000 tonnes (10,5 t/m/an x 5 ans x 94 m).

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 immédiatement au nord-est de l’épi 8 (profils 1+673, 1+573 et 1+474). Les relevés effectués en 2019 indiquent que le taux d’erosion n’aurait été que de -3,0 t/m depuis 2017, ce qui représente une perte d’environ 900 tonnes (Tableau 5.4). La régression se serait par ailleurs principalement concentrée au droit du profil 1+673, alors que les deux autres sections transversales affichaient de légères accumulations. L’analyse graphique des profils (annexe B) indique pour sa part une augmentation de la pente de la plage entre les élévations 101 et 103 m, confirmant ainsi les observations visuelles réalisées lors de la visite de terrain.

Rappelons qu’un bilan cumulatif négatif est normalement attendu dans ce secteur, en raison de la construction des épis 7 et 8, mais l’erosion devrait s’atténuer au fur et à mesure que le trait de côte évolue vers son nouvel état d’équilibre.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données réduit le taux d’erosion moyen annuel à -17,3 t/m/an pour la période 2014-2019 (Tableau 5.4). Le volume total de sédiments ayant quitté la zone d’analyse au cours de ces années serait donc d’environ 26 100 tonnes (-17,3 t/m/an x 5 ans x 302 m).

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

L’évolution du reste de la plage entre les épis 8 et 9 est caractérisée via six profils transversaux (1+374 à 0+894). Les relevés de 2019 indiquent que les bilans de transport sont demeurés relativement faibles, à l’exception du profil 1+263, qui a subi une accrétion d’environ 35 t/m. L’accumulation au sud-ouest de l’épi 9 a également été plus importante que lors de la période de suivi précédente (ch. 0+894 et 0+964).

Le taux de transport moyen annuel pour ce secteur demeure positif, avec une valeur de 9,4 t/m, ou un volume total d’environ 5 800 tonnes (Tableau 5.4).

L’analyse graphique des profils (annexe B) révèle pour sa part que les déplacements de matériaux se sont principalement concentrés au niveau des barres infralittorales, sous l’élévation 100 m. Un adoucissement de la plage, entre les élévations 100 et 101 m, s’est également produit au droit de plusieurs profils. En fin, une régression du haut de talus aurait quant à elle eu lieu au droit du profil 1+064.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux d’accumulation moyen annuel à 6,8 t/m/an pour la période 2014-2019 (Tableau 5.4). Le volume total de sédiments s’étant déposé au cours de ces années serait donc d’environ 21 300 tonnes (6,8 t/m/an x 5 ans x 624 m).

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 2019 confirment que ce secteur demeure

en érosion, avec un taux de transport moyen annuel de -62,7 t/m, ou une perte d'environ 14 600 tonnes pour l'intervalle entre les suivis (Tableau 5.4). La perte de matériaux aurait cependant été plus lente que lors des suivis précédents, à l'exception du profil 0+764, où une accélération significative du taux de transport a été observée.

L'analyse graphique des profils (annexe B) indique que le déplacement du chenal de la Belle-Rivière serait à l'origine des pertes observées aux profils 0+600 et 0+664, alors que l'érosion constatée au profil 0+764 serait liée à une régression du haut de la flèche de sable, entre les élévations 101 et 102 m. Une migration de cette flèche peut pareillement être observée sur les deux autres profils.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux d'érosion moyen annuel à -78,7 t/m/an pour la période 2014-2019 (Tableau 5.4). Le volume total de sédiments ayant quitté la zone d'analyse au cours de ces années serait donc d'environ 91 400 tonnes (-78,7 t/m/an x 5 ans x 232 m).

5.2.8 SITE 93.02.02 – 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). Entre 2013 et 2014, avant les travaux de redressement du canal de la Belle-Rivière, une accumulation de 8,6 t/m/an a été observée dans ce secteur (Tableau 5.5). Depuis, les données recueillies dans le cadre de la récente période de suivi indiquent que le taux de transport moyen annuel aurait été d'environ -3,6 t/m/an. Un peu plus de 2 000 tonnes de matériaux auraient donc été perdues entre 2014 et 2019.

L'analyse graphique des profils transversaux (annexe B) démontre pour sa part que la partie supérieure de la plage est demeurée relativement stable entre les deux périodes de suivis. La perte de matériaux se serait plutôt concentrée dans la partie inférieure de la plage, sous l'élévation 99 m. La dérive du canal de sortie de la Belle-Rivière pourrait être à l'origine de cette dynamique.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux de transport moyen annuel à -1,8 t/m/an pour la période 2013-2019 (Tableau 5.5). Le volume total de sédiments ayant quitté la zone d'analyse au cours de ces années serait donc d'environ 1 100 tonnes (-1,8 t/m/an x 5 ans x 119 m). Une petite quantité de sédiments, environ 400 tonnes, y aurait été déposée pendant cette période, principalement à l'extrême sud-ouest de la zone d'analyse.

5.2.9 SITE 93.02.02 – 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). Le taux de transport dans ce secteur pour la période précédant les travaux de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière était d'environ -55,5 t/m/an (Tableau 5.5). Les secteurs les plus sensibles se trouvaient au droit des profils 1+726 et 1+828 (Figure 5.3). Environ 67 500 tonnes de sédiments auraient été perdues entre 2013 et 2018, alors que près de 58 000 tonnes y ont été déposées pendant cette période.

Entre mars et juin 2019, une perte de sédiments de -12,4 t/m a été observée, ce qui correspond à un volume total de -3 000 tonnes. Cette quantité représente environ le tiers du volume de matériaux déposé dans la zone d'analyse à l'hiver. À première vue, ce résultat semble être un taux d'érosion significativement moins sévère que les conditions antérieures. Il est toutefois important de rappeler que la période d'analyse ne couvre que quelques mois. Il demeure donc un peu tôt pour se prononcer à savoir si ce résultat est représentatif d'un taux de transport moyen annuel.

L'analyse graphique des profils transversaux (annexe B) indique pour sa part qu'une portion significative du rechargement réalisé à l'hiver aurait été érodée, principalement au-dessus de l'élévation 100,5 m. Quelques accumulations étaient néanmoins présentent au pied de la plage, suggérant qu'une partie des matériaux emportés sur le haut de la plage aurait simplement glissée plus bas.

La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux de transport moyen annuel à -54,4 t/m/an pour la période 2013-2019 (Tableau 5.5).

5.2.10 SITE 93.02.02 – 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). Une accumulation de 31,4 t/m a d'abord été observée dans ce secteur entre 2013 et 2014. Lors des années suivantes, par contre, les bilans sédimentaires sont demeurés relativement neutres. Les résultats d'analyse pour la période mars à juin 2019 s'inscrivent en continuité avec cette tendance, alors qu'un bilan de 0,6 t/m a été observé (Tableau 5.5).

Les profils transversaux indiquent malgré tout que la plage aurait subi un certain remodelage pendant cette période, où la partie au-dessus de l'élévation 101 aurait régressé, tandis que la partie en dessous affichait une accrédition. La mise à jour des bilans sédimentaires cumulatifs avec les récentes données porte le taux d'accumulation moyen annuel à 5,2 t/m/an pour la période 2013-2019 (Tableau 5.5).

L'ambivalence des bilans sédimentaires ne signifie pas pour autant que les taux de transports y sont nuls. Simplement que les matériaux pourraient transiter par le secteur, sans y rester.

5.2.11 SITE 93.02.02 – ZONES DE QUADRILLAGE

Les Cartes 5.3 et 5.4 présentent l'écart vertical observé entre les modèles numériques de terrains générés avec chaque jeu de relevés. 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'incertitude 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 : MARS À JUIN 2019

La période entre mars et juin est d'abord caractérisée par une dynamique fluviale dominée par la crue printanière dans la Belle-Rivière, alors que le niveau du lac Saint-Jean est encore bas. Les changements anticipés pendant cette période se concentrent donc principalement autour du chenal de sortie du cours d'eau, où la force des écoulements peut provoquer un remodelage important des parois du canal.

Ensuite, au fur et à mesure que le niveau du lac Saint-Jean remonte, la dynamique fluviale cède sa place à une dynamique littorale, influencée principalement par le régime des vagues. Les événements de vents et de vagues élevés, combinés aux hauts niveaux d'eau, peuvent alors remodeler les berges, les plages et les hauts fonds.

Plusieurs éléments associés à ces dynamiques ont été identifiés sur la Carte 5.3 :

1. Sous l'effet probable de la dynamique littorale présente lors de la période d'eau libre en 2018, une dérive de sédiments du haut vers le bas de la carte aurait créé un bouchon dans le canal de sortie de la Belle-Rivière. Ce bouchon aurait ensuite été érodé lors de la crue printanière du cours d'eau.
2. La paroi en rive gauche du canal de sortie de la Belle-Rivière semble avoir subi un remodelage. La partie supérieure a été érodée, vraisemblablement par l'action des vagues, suite à la remontée des niveaux d'eau dans le lac Saint-Jean.
3. Une accumulation généralisée est observée dans les zones profondes de l'ancien canal de sortie de la Belle-Rivière. Ce secteur agit maintenant comme un puits à sédiments, où les particules en suspension dans la colonne d'eau décantent, puisque le seuil du nouveau canal de sortie fraîchement excavé se trouve à une élévation supérieure.
4. Le nouveau canal de sortie de la Belle-Rivière a subi un remodelage plutôt significatif, avec une accumulation en rive gauche et une érosion en rive droite. Ce remodelage était toutefois anticipé, alors que le lit de la rivière évolue vers un nouvel état d'équilibre. Un certain décalage vers le nord-est risque de se poursuivre dans les années à venir, sous l'effet de la dérive de matériaux en provenance du sud-ouest (Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).
5. Une progression de la flèche de sable en provenance du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix est d'ailleurs visible entre l'épi 9 et le nouveau canal de sortie de la Belle-Rivière.
6. Le remblai de l'ancien canal de sortie de la Belle-Rivière n'a pas subi de transformation significative.
7. La zone de plage a toutefois subi une érosion plutôt importante. Une bande d'accumulation est néanmoins présente au pied de la plage, suggérant qu'une partie des matériaux emportés sur le haut de la plage aurait simplement glissé plus bas.
8. Le haut fond situé devant la zone de remblayage semble lui aussi avoir subi un certain nivellement, avec une érosion de la crête, puis une accumulation en périphérie. La dérive littorale qui alimentait antérieurement cette formation se trouve maintenant interrompue par la digue submergée et le nouveau canal de sortie de la Belle-Rivière. Sans apports sédimentaires, il est anticipé que ce haut fond s'efface avec le temps.
9. La partie non remblayée de l'ancien canal de sortie de la Belle-Rivière a naturellement subi un certain remplissage sous l'effet de la dérive des matériaux de part et d'autre.

10. Une dépression s'est formée environ 200 m au large de la zone de remblayage. Les processus responsables de cette formation ne sont toutefois pas immédiatement apparents. Il est également impossible d'affirmer si cette évolution morphologique a un lien avec les travaux effectués à l'embouchure de la Belle-Rivière. Une poursuite des suivis bathymétriques permettra de documenter l'évolution de la dépression et d'évaluer le risque qu'elle représente à l'égard des aménagements à proximité.

Le bilan sédimentaire net de la zone située devant l'embouchure de la Belle-Rivière (zone A) est évalué à environ 24 000 tonnes d'accumulation, alors que celui de la zone située devant la plage de Saint-Gédéon (zone B) est de 16 400 tonnes d'accumulation.

5.2.11.2 PÉRIODE : JUIN À NOVEMBRE 2019

La période entre juin et novembre est pour sa part principalement caractérisée par une dynamique littorale, où le régime des vagues constitue la force motrice dominante derrière les changements morphologiques observée sur les berges. Pour l'année 2019, les principaux changements observés dans la zone d'analyse (Carte 5.4) étaient les suivants :

- 11.** Migration de la flèche de sable en rive gauche du canal de la Belle-Rivière. Cette dynamique demeure conforme à l'évolution anticipée pour cette formation, sous l'influence d'une dynamique littorale. Au printemps, lors de la crue de la Belle-Rivière, la flèche de sable risque de subir une certaine érosion.
- 12.** Accumulation de sédiments en rive droite du canal de la Belle-Rivière. Seul le bord de la zone est visible, car les relevés n'ont pas passé au-dessus du haut fond dans ce secteur. Les matériaux transportés dans cette zone proviennent en toute probabilité de la plage de Saint-Gédéon, qui dérivent vers le sud-ouest, puis franchissent la crête de la digue submergée.
- 13.** Poursuite de l'accumulation en pied de talus sur la rive gauche du canal de sortie de la Belle-Rivière. Les matériaux transportés dans cette zone proviennent en toute probabilité du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, qui dérivent vers le nord-est.
- 14.** Poursuite du remodelage de l'exutoire du canal de la Belle-Rivière, avec des accumulations en rive gauche et de l'érosion en rive droite.
- 15.** Accumulation de nature indéterminée à l'extrémité de la digue submergée. Les processus responsables de cette formation ne sont pas immédiatement apparents. Il pourrait s'agir d'un transport fluvial généré lors d'une période d'écoulements plus importants dans la Belle-Rivière, qui auraient longé la digue submergée. Alternativement, une zone de recirculation pourrait s'être formée à la rencontre des courants transversaux provenant de la Belle-Rivière et des courants longitudinaux provenant de la dérive littorale. Cette recirculation aurait créé des conditions propices à la déposition en rive droite du canal de sortie.
- 16.** Affouillement au pied de la digue submergée probablement lié à la réflexion et la diffraction des vagues sur l'ouvrage en enrochement. Il est généralement reconnu que l'ajout de structures rigides dans des milieux granulaires meubles peut provoquer un abaissement du fond marin au pied de l'ouvrage. Cet affouillement n'est donc pas inattendu, mais ne devrait malgré tout pas menacer l'intégrité structurale de la digue, puisque les pierres sont enfouies à une certaine profondeur sous le fond marin.
- 17.** Poursuite du nivellement du haut fond devant la zone de remblayage, avec érosion de la crête, puis accumulation en périphérie. Le remodelage de cette formation est plus important

que lors de la période d'analyse précédente en raison une plus longue période de sollicitation par les vagues.

18. Érosion du pied de la plage. Seule une petite partie de la zone d'érosion est visible, car les activités de terrain en novembre se sont limitées aux relevés bathymétriques.
19. Une légère accumulation s'est formée sur le remblai de l'ancien lit de la rivière, devant la zone de plage affichant le taux d'érosion le plus élevé. Un rehaussement du fond peu contribuer réduire l'énergie des vagues qui atteignent le rivage;
20. La dépression observée en juin ne semble pas avoir évolué de façon significative pendant les saisons estivale et automnale.

Le bilan sédimentaire net de la zone située devant l'embouchure de la Belle-Rivière (zone A) est évalué à -7 800 tonnes (érosion), alors que celui de la zone située devant la plage de Saint-Gédéon (zone B) est de -13 600 tonnes d'accumulation.

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). À l'intérieur du domaine à l'étude, seulement deux endroits affichaient des largeurs de plage inférieures à 8 m. Le premier tronçon était situé entre les épis en géotubes 1 et 2 (site 94.03.01) et mesurait environ 13 m de longueur. La largeur minimale observée était de 7,7 m. L'autre tronçon était quant à lui situé sur la plage de Saint-Gédéon (site 93.02.02), dans le secteur 2. Il faisait 48 m de longueur et possédait une largeur minimum de 4,5 m.

6 DISCUSSION

6.1 ÉVOLUTION ANNUELLE

De façon générale, la période entre 2017 et 2019 a été marquée par des tendances érosives supérieures à la normale dans plusieurs secteurs, particulièrement au site 94.03.01, entre les épis 5 et 6, puis au sud-ouest de l'épi 7. Rappelons qu'aux sites 94.03.01 et 2014.03.01, la période de suivi considère l'état des berges relevé en juin 2019 et ne prend donc pas en compte les déplacements de sédiments pouvant avoir été occasionnés pendant les périodes estivale et automnale de cette année. Il en va pareillement pour l'analyse du haut de la plage au site 93.02.02.

Les analyses effectuées dans le cadre de ce suivi ont permis de faire les constats énumérés ci-après :

6.1.1 SITE 94.03.01 (ÉPI 5 À 7)

- Une perte de sédiments plutôt importante a été constatée au site 94.03.01, particulièrement entre les épis 5 et 6, où le taux d'érosion a atteint près de -32 t/m et où le talus en haut de plage présentait un escarpement prononcé et la ligne de végétation semblait avoir régressé;
- Le perré de support présent au nord-est de l'épi 6 se trouvait encore plus dégagé qu'il ne l'était en 2017. Au niveau d'eau du jour lors de la visite (101,24 m; 15,5 pieds), les vagues sapaient directement la base de la structure. À terme, l'intégrité du pied pourrait donc être menacée si la profondeur d'enfouissement de la clé n'est pas suffisante, ce qui exposerait l'ouvrage à une déstabilisation et un affaissement;
- L'analyse graphique des profils transversaux indique par ailleurs une érosion substantielle de la plage entre les élévations 99 et 101 m, surtout entre les épis 5 et 6, ainsi que devant le perré de support. Une partie des matériaux emportés semble néanmoins s'être accumulée au pied de la plage, où une barre infralittorale était maintenant présente. Il apparaît malgré tout peu probable que ces matériaux puissent remonter en quantités suffisantes plus haut sur la plage pour éviter une érosion accrue du haut de talus lors des prochains événements de vagues et de niveaux d'eau élevés, car les matériaux sont rendus très bas sur les profils et le processus de reconstruction des plages nécessite généralement beaucoup plus de temps que celui d'érosion pour transporter une quantité équivalente de matériaux;
- En dépit de l'érosion constatée, la largeur de la plage au niveau 101,54 m (16,5 pieds) ne semblait pas avoir évolué de façon significative depuis la dernière période de suivi. L'arpentage à l'automne 2019 indiquait d'ailleurs que seul un tronçon de 13 m possérait une largeur inférieure à 8 m et que la largeur minimum mesurée était de 7,7 m. Un certain discernement est donc recommandé à l'égard de ce critère pour la planification des besoins en recharge, car les autres métriques présentées dans ce suivi indiquent une dégradation plutôt importante de la plage dans ce secteur;
- Au nord-est de l'épi en géotube 2, la perte de sédiments paraissait moins sévère qu'au sud-ouest (taux d'érosion de -8,4 t/m au profil 2+095, contre -28,6 t/m au profil 2+152). Bien que légèrement plus étroite qu'en 2017, la plage conservait une pente relativement douce, libre d'escarpements et avec des sédiments plutôt lâches. La ligne de végétation ne semblait par ailleurs pas être menacée à court terme par l'érosion.

- Les relevés transversaux confirmaient pour leur part quelques légers reculs du haut de la plage entre les géotubes 2 et 3, ainsi qu'au sud-ouest de l'épi 7, mais peu de changement aux niveaux inférieurs de la plage. Le secteur immédiatement au nord-est des géotubes semblait également avoir bénéficié d'une certaine stabilité entre les deux périodes de suivis;
 - Près de 8 000 tonnes de matériaux (environ 20 t/m, en moyenne) ont quitté la zone d'analyse entre les deux périodes de suivis. La perte généralisée de sédiments sur l'ensemble du secteur suggère possiblement un transport transversal plus important, composante pour laquelle les épis sont généralement moins efficaces pour éviter la perte de matériaux.
-

6.1.2 SITE 2014.03.01 (ÉPI 7 À 9)

- De façon générale, les changements observés entre les épis 7 et 9 ont été peu significatifs. Les principaux mouvements de sédiments impliquaient un déplacement des barres infralittorales, en dessous de l'élévation 100 m. Un adoucissement de la pente de la plage, entre les élévations 100 et 101 m, a également été observé au droit de certains profils;
 - Au nord-est de l'épi 8, par contre, le haut de la plage a subi un raidissement de sa pente. L'ajustement n'aurait cependant pas affecté la position du haut de talus, ni provoqué la perte de végétation à cet endroit. Le secteur demeure néanmoins plus vulnérable à la formation d'escarpements, tel qu'observé dans le cadre de suivis antérieurs;
 - Au sud-ouest de l'épi 9, l'accumulation a été légèrement plus forte que lors de la dernière période de suivi. Environ 6 000 tonnes de matériaux (environ 6 t/m, en moyenne) se seraient accumulées dans la zone d'influence de l'ouvrage;
 - Au nord-est de l'épi 9, le bilan sédimentaire s'est maintenu en territoire négatif. La perte de matériaux aurait cependant été plus lente que lors des suivis précédents (près de 25 % moins que la moyenne historique établie entre 2013 et 2017). L'analyse graphique des profils indique que le déplacement du chenal de la Belle-Rivière serait toujours la principale cause des pertes observées.
-

6.1.3 SITE 93.02.02

- La plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac a été significativement affectée par la dynamique littorale lors de la crue printanière du lac Saint-Jean en 2019. Une partie importante du rechargeant réalisée à l'hiver a été emportée du haut de la plage par les vagues. La présence de quelques zones d'accumulations au pied de la plage suggère néanmoins qu'une portion des matériaux aurait simplement glissé plus bas;
- Le taux d'érosion estimé entre mars et juin 2019 sur le tronçon le plus vulnérable de la plage (secteur 2) est évalué à -12,4 t/m, alors qu'historiquement, une perte annuelle moyenne de -55,5 t/m y était observée. À première vue, ce résultat semble être une amélioration par rapport aux conditions antérieures, mais la période d'analyse ne couvre que quelques mois. Il demeure donc prématuré de se prononcer à savoir si le résultat est représentatif du nouveau régime de transport sédimentaire;
- Bien que le niveau de dégradation de la plage ne semblait pas aussi sévère qu'en 2018, son état paraissait précaire pour affronter plus d'une saison de tempêtes automnales. Le perré de support présent à cet endroit assurait la protection de la berge et un rechargeant est prévu à cet endroit dans le cadre des travaux de l'hiver 2020;

- De part et d'autre du secteur 2, les taux de transport sédimentaires sont demeurés relativement neutres. Les profils transversaux indiquent pour leur part que la plage est demeurée plutôt stable au nord-est (secteur 1), alors qu'un certain remodelage a été observé au sud-ouest (secteur 3), avec une régression au-dessus de l'élévation 101 m et une accrétion en dessous;
- Plus au large, le remblai de l'ancien lit de la Belle-Rivière n'a pour sa part pas subi de transformation significative au cours de la période d'analyse. Un remplissage naturel s'est toutefois produit dans la portion non remblayée de l'ancien canal, sous l'effet de la dérive des matériaux de part et d'autre;
- Le suivi bathymétrique entre novembre 2018 et juin 2019 a révélé la formation d'une dépression environ 200 m au large de la zone de remblayage. Les processus responsables pour cette formation ne sont cependant pas immédiatement apparents. Il est également impossible d'affirmer si cette évolution morphologique a un lien avec les travaux effectués à l'embouchure de la Belle-Rivière. La formation n'a, par ailleurs, pas évolué de façon significative entre juin et novembre 2019;
- Un léger affouillement au pied de la digue submergée a été observé en novembre 2019, près du musoir. Cette érosion pourrait être liée à la réflexion des vagues sur l'ouvrage en enrochement, qui provoquent généralement un abaissement du fond marin, lorsque ce dernier est constitué de matériaux granulaires meubles. L'affouillement ne devrait cependant pas menacer l'intégrité structurale de la digue, puisque les pierres sont enfouies à une certaine profondeur sous le fond marin;
- Le perré aménagé à la base de la digue submergée a lui aussi subi une légère dégradation, alors que les matériaux meubles au-dessus de la crête de l'ouvrage ont été érodés pendant la période de niveaux élevés au printemps. Une partie de la structure aurait également subi un léger affaissement d'environ 0,3 m. Un rehaussement de l'ouvrage est d'ailleurs prévu dans le cadre des travaux de l'hiver 2020;
- Devant l'embouchure de la Belle-Rivière, le canal de sortie nouvellement excavé a subi un remodelage et un déplacement progressif vers le nord-est entre chaque période de suivi. Cette dynamique n'est cependant pas anormale, puisque le canal évolue vers un nouvel état d'équilibre, sous l'effet des vagues, de l'écoulement des eaux dans la rivière, ainsi que la dérive de matériaux en provenance du sud-ouest (Métabetchouan-Lac-à-la-Croix);
- Plus en amont, des accumulations ont été observées dans les zones plus profondes de l'ancien lit de la Belle-Rivière. Cette dynamique est elle-aussi normale, car le seuil du nouveau canal de sortie se trouve à une élévation supérieure à celle de l'ancien lit. Le secteur agit alors maintenant comme un puits à sédiments;
- Une dérive de sédiments en provenance de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac continue pour sa part d'alimenter une zone d'accumulation en rive droite du canal de la Belle-Rivière, proche de la base de la digue submergée, forçant le rétrécissement du chenal à cet endroit. L'écoulement des eaux lors de la crue printanière de la Belle-Rivière devrait cependant nettoyer le canal au gré des conditions érosives, comme il le faisait auparavant;

6.2 ÉVOLUTION CUMULATIVE

6.2.1 SITE 94.03.01 (ÉPI 5 À 7)

L'analyse des bilans sédimentaires continue de démontrer que les épis en géotubes ont permis de réduire la perte de sédiments dans la zone immédiatement au nord-est de l'épi 5. Entre cet ouvrage et l'épi en géotube 1 (secteur 3B), le taux d'érosion moyen observé entre 2008 et 2019 a été réduit d'environ 80 % par rapport à celui observé entre 1994 et 2007. Au nord-est des aménagements, par contre, l'érosion s'est amplifiée depuis 2008. Le taux de transport y demeure malgré tout plus faible (environ 50 %) que celui anticipé en aval d'épis conventionnels en enrochement dans ce secteur. Globalement, pour l'ensemble de la zone des épis en géotubes (secteur 4A), le taux de transport moyen demeure comparable, voire légèrement plus faible, que le taux historique.

Au sud-ouest de l'épi 7, l'accumulation dans la zone d'influence de l'ouvrage semble converger vers son état d'équilibre. Le bilan sédimentaire au profil 1+973 est en décroissance depuis 2016 et une perte de matériaux a même été observée pour la première fois, en 2019, au profil 1+870. La position de la ligne de rivage est quant à elle demeurée relativement inchangée depuis 2016 et suit relativement bien le profil théorique anticipé en 2017 (voir Annexe C), qui se veut représentatif de l'état d'équilibre.

Dans le secteur des géotubes, les pertes sédimentaires observées aux profils 2+049 et 2+095 semblent être en légère décroissance depuis 2016/2017. Il pourrait s'agir-là d'un possible effet de l'influence de l'épi 7 aménagé en 2014. Une poursuite des suivis permettra de confirmer si cette tendance se maintient dans les années à venir.

Plus loin au sud-ouest (profil 2+152), par contre, aucun changement notable du taux d'érosion ne semble se distinguer depuis 2014. L'épi 7 pourrait donc s'avérer trop court ou trop loin pour pouvoir exercer une influence significative à cette distance.

6.2.2 SITE 2014.03.01 (ÉPI 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 vouloir reculer autant que l'anticipait le profil théorique établi en 2013 et projeté pour l'année 2017 (voir Annexe C). Les ouvrages paraissent donc efficaces dans leur rôle de repousser la zone d'érosion prévue se développer en aval du système d'épis vers le nord-est.

Concernant cette zone d'érosion, au nord-est de l'épi 8, celle-ci demeure active, mais évolue beaucoup moins rapidement qu'initialement anticipée. La position de la ligne de rivage est d'ailleurs encore loin devant celle du profil théorique projeté pour 2017 (voir Annexe C). De façon similaire, à l'autre extrémité de la cellule d'épis, l'accumulation anticipée au sud-ouest de l'épi 9 demeure moins prononcée que prévu. Malgré tout, le trait de côte entre les deux structures bouge peu d'année en année.

Au nord-est de l'épi 9, la structure continue visiblement d'influencer la dynamique hydrosédimentaire dans le secteur de l'embouchure de la Belle-Rivière. Le chenal d'écoulement a poursuivi sa migration vers le sud-ouest et un recul de la flèche de sable s'élançant vers

l'embouchure du cours d'eau a aussi été amorcé. La position du chenal d'écoulement demeure malgré tout encore loin de l'épi 9 (environ 150 m) et ne semble pas constituer d'enjeux à l'égard de la stabilité de l'ouvrage à court- ou moyen-terme.

6.2.3 SITE 93.02.02

Au site 93.02.02, il s'agit de la première année de suivi après les travaux de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière. Les principales observations réalisées jusqu'à présent et qui sont conformes aux dynamiques anticipées incluent un remodelage et une migration progressive vers le nord-est du nouveau canal de sortie de la rivière, puis peu de changement au niveau du remblai déposé dans l'ancien lit du cours d'eau, devant la plage de Saint-Gédéon. D'autre part, outre une érosion importante du rechargement réalisé sur la plage, aucun autre élément inattendu, pouvant constituer un enjeu majeur à l'égard des aménagements, n'a été constaté dans la zone d'étude.

Il demeure malgré tout un peu hâtif pour se prononcer à savoir si ces tendances se poursuivront dans les années à venir, puis à quel rythme. À terme, une réduction du taux d'érosion de la plage est par ailleurs attendue. Selon Lasalle | NHC (2016), les travaux réalisés devraient permettre de réduire l'érosion d'environ 60 % entre les bornes inamovibles 28 et 32, soit dans le secteur 2.

D'autre part, la digue submergée et le remblai de l'ancien lit doivent également empêcher le chenal d'écoulement de la Belle-Rivière de dévier à nouveau à proximité de la berge. Il n'est cependant pas exclu que ce chenal vienne un jour à longer la paroi sud-ouest de la digue, ce qui pourrait occasionner quelques affouillements locaux à la base des pierres. L'ouvrage est toutefois conçu pour résister à une telle éventualité.

Enfin, la zone devant l'embouchure de la Belle-Rivière (entre l'épi 9 et la digue submergée) restera toujours un secteur hautement dynamique en raison des contraintes exercées, dans un premier temps, par le régime fluvial et, dans un second temps, le régime littoral, qui ont des effets parfois contrastants sur le remodelage des berges et des parois du canal. La migration des méandres et l'alternance entre les périodes d'érosion et d'accumulation constituent alors des processus normaux pour ce genre de milieu.

7 CONCLUSION

7.1 SITE 94.03.01 (ÉPI 5 À 7)

Au site 94.03.01, des 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 protégé situé au nord-est.

Les suivis réalisés depuis leur mise en place confirment que les ouvrages ont permis de réduire les taux d'érosion au nord-est de l'épi 5, ainsi qu'entre les géotubes 1 et 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 aménagements, le taux transport y demeure plus faible que celui anticipé en aval d'épis conventionnels en enrochement dans ce secteur. L'efficacité des épis en géotubes est donc conforme à ce qui est attendu pour ce type d'ouvrage. Cependant, en l'absence d'apports naturels de sédiments en provenance du sud-ouest, les pertes de matériaux subites lors de fortes tempêtes ne sont pas remplacées.

L'ajout, en 2014, de deux épis en enrochement au nord-est (épis 7 et 8) a pour sa part réussi à provoquer la formation d'une zone d'accumulation au sud-ouest des ouvrages. L'évolution des taux d'érosion dans les années récentes aux profils 2+049 et 2+095 suggère par ailleurs que l'épi 7 pourrait avoir amorcé un léger ralentissement des pertes de matériaux observées au nord-est des épis en géotubes. Les suivis à venir permettront de confirmer si cette tendance se maintient. L'épi 7 ne semble cependant pas exercer d'influence notable au-delà de l'épi en géotube 2. La récente période de suivi suggère par ailleurs que la zone d'accumulation au sud-ouest de l'épi 7 pourrait avoir atteint son état d'équilibre. Aucun changement significatif de la dynamique n'est donc anticipé dans le secteur des épis en géotubes à court terme.

Pour prévenir une régression supplémentaire du talus et de la ligne de végétation à cet endroit, un rechargeement serait recommandé dans la prochaine programmation annuelle, même si le critère à l'égard de la largeur de la plage n'est pas pleinement rempli (largeur au niveau 101,54 m (16,5 pieds) inférieure à 8 m sur plus de 100 m). Les autres métriques présentées dans le cadre de ce suivi font état d'une importante dégradation de la plage entre 2017 et 2019. L'abaissement du haut de la plage expose notamment la berge à une érosion accrue advenant d'autres événements de vagues fortes, combinés à des niveaux d'eau élevés dans le lac Saint-Jean.

Le perré de support présent entre les épis en géotubes 1 et 2 et qui se trouve maintenant largement découvert constitue quant à lui un obstacle infranchissable pour les riverains souhaitant accéder à la plage. Une des solutions envisageables pour adresser cette problématique pourrait être de retirer l'ouvrage. En ce sens, un avis technique a été émis en 2018 (WSP, 2018) concernant les conséquences que pourrait entraîner cette intervention sur la berge attenante. À la lumière des nouvelles analyses effectuées dans le cadre de ce suivi, les conclusions de l'avis demeurent toujours valides, à savoir qu'un retrait du perré pourrait occasionner un réajustement et un recul de la berge au-dessus de l'ouvrage, mais que la poursuite des rechargelements et le maintien d'une plage suffisamment haute et large permettraient de mitiger ces conséquences. Par ailleurs, le retrait de l'ouvrage ne devrait pas avoir d'influence significative sur la fréquence des rechargelements requis dans le secteur.

Pour améliorer la pérennité des rechargements, les alternatives suivantes pourraient être considérées :

1. Rehausser le profil du rechargement pour réduire la quantité de vagues qui atteignent et franchissent le plateau de la plage. Antérieurement, ce plateau était aménagé entre les élévations 102,0 et 102,3 m. Un rehaussement pourrait rendre le rechargement plus résistant envers les événements de vagues fortes et de niveaux d'eau élevés. Une analyse de la topographie environnante serait toutefois d'abord requise pour évaluer le niveau optimal du plateau;
2. Mise en place d'épis en éventail au droit des épis en géotubes 2 et 3. Ces structures devraient avoir une influence comparable à celle de l'épi 6 en rehaussant le haut de la plage et en réduisant localement la dérive des matériaux par-dessus les structures en géotubes. Cette intervention est cependant anticipée avoir très peu d'influence sur la dynamique sédimentaire aux niveaux inférieurs de la plage. À terme, il est peu probable qu'elle ait un impact significatif à l'égard de la fréquence des rechargements requis dans le secteur. Elle ne devrait être considérée que si elle peut être réalisée à faible coût, ou pour réduire l'impact environnemental d'une autre intervention, par exemple, en récupérant les pierres du perré de support, advenant son démantèlement et pourvu que la taille des pierres s'avère adéquate.
3. Prolongement de l'épi 7 ou construction d'un épi intermédiaire, entre les épis en géotubes et l'épi 7, pour augmenter le volume de sédiments captés au sud-ouest des ouvrages et étendre leur zone d'influence davantage vers le secteur des épis en géotubes. Une évaluation des impacts de ces interventions sur les tronçons de plage situés au nord-est serait toutefois requise afin de vérifier que les modifications n'augmenteraient pas exagérément l'érosion dans ces secteurs;
4. Réduction de la longueur des épis 2 et 3 (site 91.03.02). Ces ouvrages ont vraisemblablement fait dévier une partie importante du transport sédimentaire vers le large, coupant ainsi les apports sur le haut de plage au nord-est. Une réduction de leur longueur permettrait alors de rapprocher la dérive littorale du rivage, favorisant une meilleure transmission des matériaux transitant d'une extrémité à l'autre du champ d'épis et possiblement un retour plus rapide des sédiments sur le sommet de la plage. Une étude approfondie devrait cependant être réalisée avant d'entreprendre une telle intervention afin d'évaluer son efficacité potentielle et les impacts anticipés dans la zone d'influence située au sud-ouest des épis.

7.2 SITE 2014.03.01 (ÉPIS 7 À 9)

En plus de freiner la perte de sédiments au nord-est des épis en géotubes, les épis 7 et 8 devaient permettre repousser la zone d'érosion prévue se développer au nord-est vers un secteur où le trait de côte bénéficie d'un espace de liberté relativement élevé et où son recul est jugé tolérable. L'épi 9 devait quant à lui permettre de capter les matériaux transportés le long du banc de sable de Métabetchouan–Lac-à-la-Croix, favorisant ainsi le développement d'un état d'équilibre le long de la plage au sud-ouest et évitant que la dérive des sédiments ne migre devant l'embouchure de la Belle-Rivière.

Les suivis réalisés depuis la mise en place des ouvrages confirment que les aménagements ont une efficacité conforme aux attentes, dans la mesure où le trait de côte entre les structures

semble converger vers un état d'équilibre. Par ailleurs, la zone d'érosion au nord-est de l'épi 8 est moins importante qu'initialement prévu lors de la conception des ouvrages.

À l'extrême nord-est du site, l'influence de l'épi 9 sur la dynamique hydrosédimentaire à l'embouchure de la Belle-Rivière continue d'évoluer. Les changements observés au niveau de la position du chenal d'écoulement et la migration de la flèche de sable s'élargissant vers l'embouchure ne semblent malgré tout pas constituer d'enjeux particuliers à l'égard de la stabilité de l'épi à court- ou moyen-terme.

7.3 SITE 93.02.02

Au site 93.02.02, les travaux de redressement de l'embouchure de la Belle-Rivière avaient pour objectif de réduire le taux d'érosion de la plage de Saint-Gédéon-sur-le-Lac et éviter que le chenal d'écoulement de la Belle-Rivière ne dévie à nouveau à proximité de la berge.

Au terme de cette première année de suivi, les analyses suggèrent que l'intervention progresse telle qu'anticipée. Malgré un certain remodelage et décalage vers le nord-est, le nouveau canal de sortie de la Belle-Rivière ne donne aucun indice qu'il se redirige vers son ancien lit.

Au niveau de la plage, bien qu'une perte importante de matériaux sur le haut de la plage se soit produite au printemps 2019, les bilans sédimentaires indiquent qu'une quantité modérée de ces matériaux a simplement glissé plus bas sur la plage. Cette dynamique demeure normale et pourrait persister un certain temps, alors que la plage évolue vers un nouveau profil d'équilibre. Par ailleurs, il demeure anticipé qu'une dérive de matériaux persiste par-dessus la digue submergée à l'ouest. Les bilans sédimentaires le long de la plage devraient donc se maintenir en territoire érosif, mais selon un taux beaucoup plus faible qu'auparavant, ce qui permettrait de réduire la fréquence des rechargements de plage à long terme.

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.
- WSP. 2018. PSBLSJ – Site 94.03.01 Camping Saint-Pierre. Avis technique sur le retrait du perré de support. Note technique préparée par WSP Inc. pour Rio Tinto Alcan. 8 p.

ANNEXE

A RÉPERTOIRE PHOTOGRAPHIQUE



Suivi technique 2019
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	19/07/12	101.24	(15.52)
	2	17/10/03	100.89	(14.37)
	3	16/09/26	101.28	(15.65)
	4	19/07/12	101.24	(15.52)
	5	17/10/03	100.89	(14.37)
	6	19/07/12	101.24	(15.52)
	7	19/07/12	101.24	(15.52)
	8	17/10/03	100.89	(14.37)
	9	19/07/12	101.24	(15.52)
	10	17/10/03	100.50	(13.08)
Site 2014.03.01	11	19/07/12	101.24	(15.52)
	12	17/10/03	100.89	(14.37)
	13	19/07/12	101.24	(15.52)
	14	17/10/03	100.89	(14.37)
	15	19/07/12	101.24	(15.52)
	16	17/10/03	100.89	(14.37)
	17	19/07/12	101.24	(15.52)
	18	19/07/12	101.24	(15.52)
	19	17/10/03	100.89	(14.37)
	20	17/10/03	100.89	(14.37)
	21	19/07/12	101.24	(15.52)
	22	17/10/03	100.89	(14.37)
	23	19/07/12	101.24	(15.52)
	24	17/10/03	100.89	(14.37)
	25	19/07/12	101.24	(15.52)
	26	19/07/12	101.24	(15.52)
Site 93.02.02	27	19/07/12	101.24	(15.52)
	28	19/07/12	101.24	(15.52)
	29	18/11/05	101.06	(14.93)
	30	19/07/12	101.24	(15.52)
	31	18/11/05	101.06	(14.93)
	32	19/07/12	101.24	(15.52)
	33	19/07/12	101.24	(15.52)
	34	19/07/12	101.24	(15.52)
	35	18/11/05	101.06	(14.93)
	36	18/11/05	101.06	(14.93)
	37	19/07/12	101.24	(15.52)
	38	18/11/05	101.06	(14.93)
	39	19/07/12	101.24	(15.52)
	40	19/07/12	101.24	(15.52)
	41	19/07/12	101.24	(15.52)

**SITE
94.03.01**

Suivi technique 2019**Photo 1**
(20190712-JM-1234)

Secteur 3B : Vue de l'épi 5 vers l'épi 6 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

**Photo 2**
(20171003-JM-107)

Secteur 3B : Vue de l'épi 5 vers l'épi 6 (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).



Photo 3
(20160926-JM-017)

Secteur 3B : Vue de l'épi 5 vers l'épi 6 (26 sept. 2016)
Élévation du lac : 101,28 m (15,65 pi).



Photo 4
(20190712-JM-1239)

Secteur 4A : Vue au nord-est de l'épi 6 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

Suivi technique 2019**Photo 5**
(20171003-JM-103)

Secteur 4A : Vue au nord-est de l'épi 6 (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).

**Photo 6**
(20190712-JM-1246)

Secteur 4A : Vue au nord-est de l'épi 6 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

Suivi technique 2019**Photo 7**
(20190712-JM-1251)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 2 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

**Photo 8**
(20171003-JM-118)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 2 (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).

Suivi technique 2019**Photo 9**
(20190712-JM-1325)

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

**Photo 10**
(20171003-JM-128)

Secteur 4A : Vue au nord-est du géotube 3 (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).

**Site
2014.03.01**

Suivi technique 2019**Photo 11**
(20190712-JM-1255)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 7 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

**Photo 12**
(20171003-JM-138)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 7 (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).

Suivi technique 2019**Photo 13**
(20190712-JM-1258)

Secteur 2 : Vue de l'épi 7 vers l'épi 8 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

**Photo 14**
(20171003-JM-143)

Secteur 2 : Vue de l'épi 7 vers l'épi 8 (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).

Suivi technique 2019**Photo 15**
(20190712-JM-1262)

Secteur 3A : Vue au nord-est de l'épi 8 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

**Photo 16**
(20171003-JM-149)

Secteur 3A : Vue au nord-est de l'épi 8 (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).

Suivi technique 2019

Photo 17
(20190712-JM-1276)

Secteur 3B : Au sud-ouest de l'épi 9 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).



Photo 18
(20190712-JM-1282)

Secteur 3B : Au sud-ouest de l'épi 9 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

Suivi technique 2019

2017/10/03

Photo 19
(20171003-JM-163)Secteur 3B : Au sud-ouest de l'épi 9 (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).

2017/10/03

Photo 20
(20171003-JM-168)Secteur 3B : Au sud-ouest de l'épi 9 (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).

Suivi technique 2019**Photo 21**
(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 22**
(20171003-JM-175)

Secteur 3B : Vue du sud-ouest vers l'épi 9 (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).

Suivi technique 2019

Photo 23
(20190712-JM-1297)

Secteur 4 : Vue de l'épi 9 vers les nord-est (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).



Photo 24
(20171003-JM-180)

Secteur 4 : Vue de l'épi 9 vers les nord-est (3 oct. 2017)
Élévation du lac : 100,89 m (14,37 pi).

Suivi technique 2019**Photo 25**
(20190712-JM-1298)

Secteur 4 : Flèche de sable au nord-est de l'épi 9 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

**Photo 26**
(20190712-JM-1304)

Secteur 4 : Flèche de sable au nord-est de l'épi 9 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

**Site
93.02.02**

SITE 93.02.02 (SAINT-GÉDÉON)**Suivi technique 2019**

Photo 27
(20190712-JM-1115)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).



Photo 28
(20190712-JM-1110)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

SITE 93.02.02 (SAINT-GÉDÉON)**Suivi technique 2019**

Photo 29
(20181105-PA-001)

Secteur 1 : Vue au sud-ouest de l'épi 2 (5 nov. 2018)
Élévation du lac : 101,06 m (14,93 pi).



Photo 30
(20190712-JM-1119)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).



Photo 31
(20181105-PA-006)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (5 nov. 2018)
Élévation du lac : 101,06 m (14,93 pi).



Photo 32
(20190712-JM-1122)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).



Photo 33
(20190712-JM-1124)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).



Photo 34
(20190712-JM-1127)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).



Photo 35
(20181105-PH-005)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (5 nov. 2018)
Élévation du lac : 101,06 m (14,93 pi).



Photo 36
(20181105-PH-006)

Secteur 2 : Vue devant le perré de support (5 nov. 2018)
Élévation du lac : 101,06 m (14,93 pi).



Photo 37
(20190712-JM-1289)

Secteur 3 : Vue au nord-est de la digue submergée (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).



Photo 38
(20181105-PA-041)

Secteur 3 : Vue au nord-est de la digue submergée (5 nov. 2018)
Élévation du lac : 101,06 m (14,93 pi).



Photo 39
(20190712-JM-1147)

Secteur 3 : Digue submergée (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).



Photo 40
(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).



Photo 41
(20190712-JM-1311)

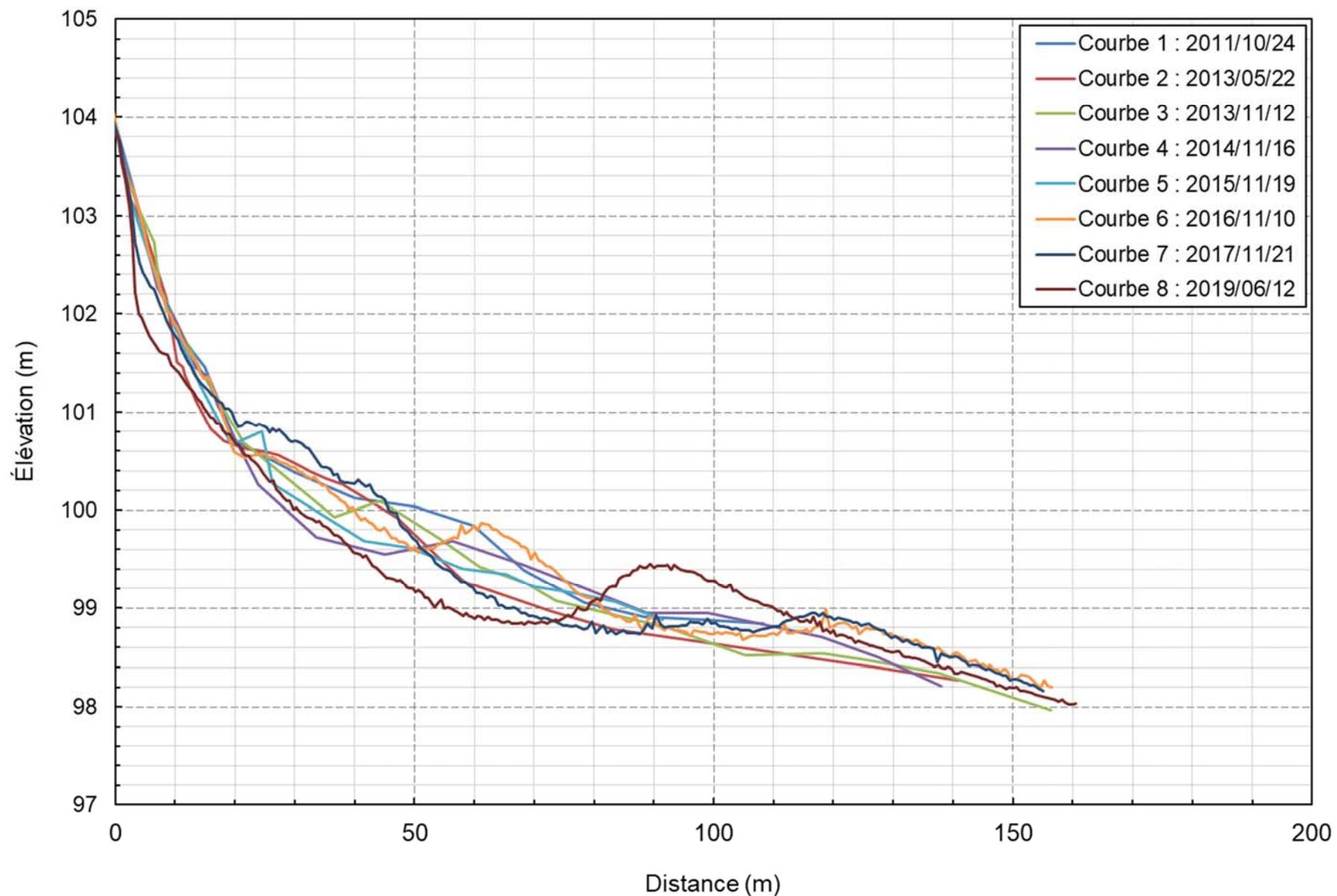
Secteur 3 : Perré à la base de la digue submergée (12 juil. 2019)
Élévation du lac : 101,24 m (15,52 pi).

ANNEXE

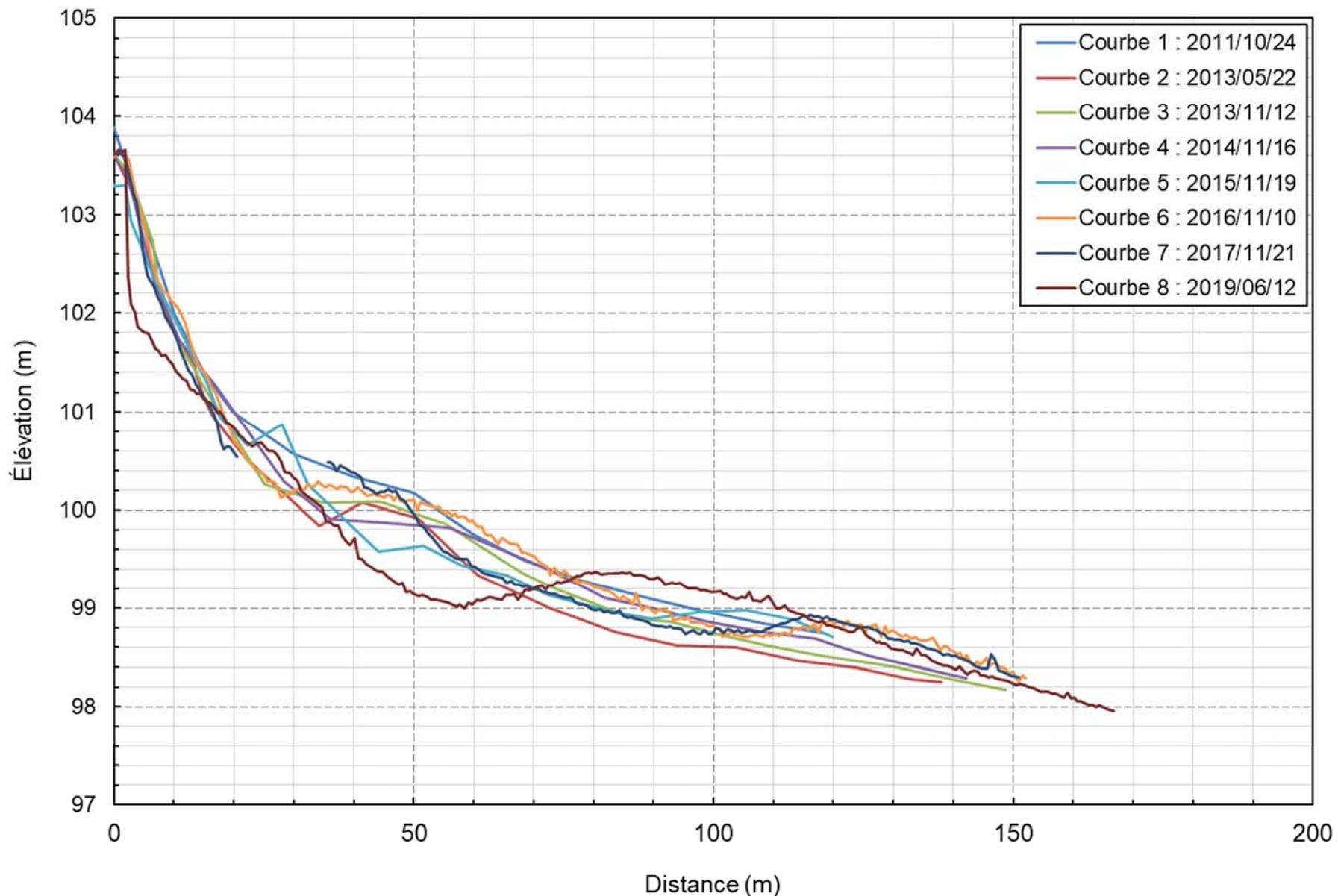
B PROFILS BATHYMÉTRIQUES

**SITE
94.03.01**

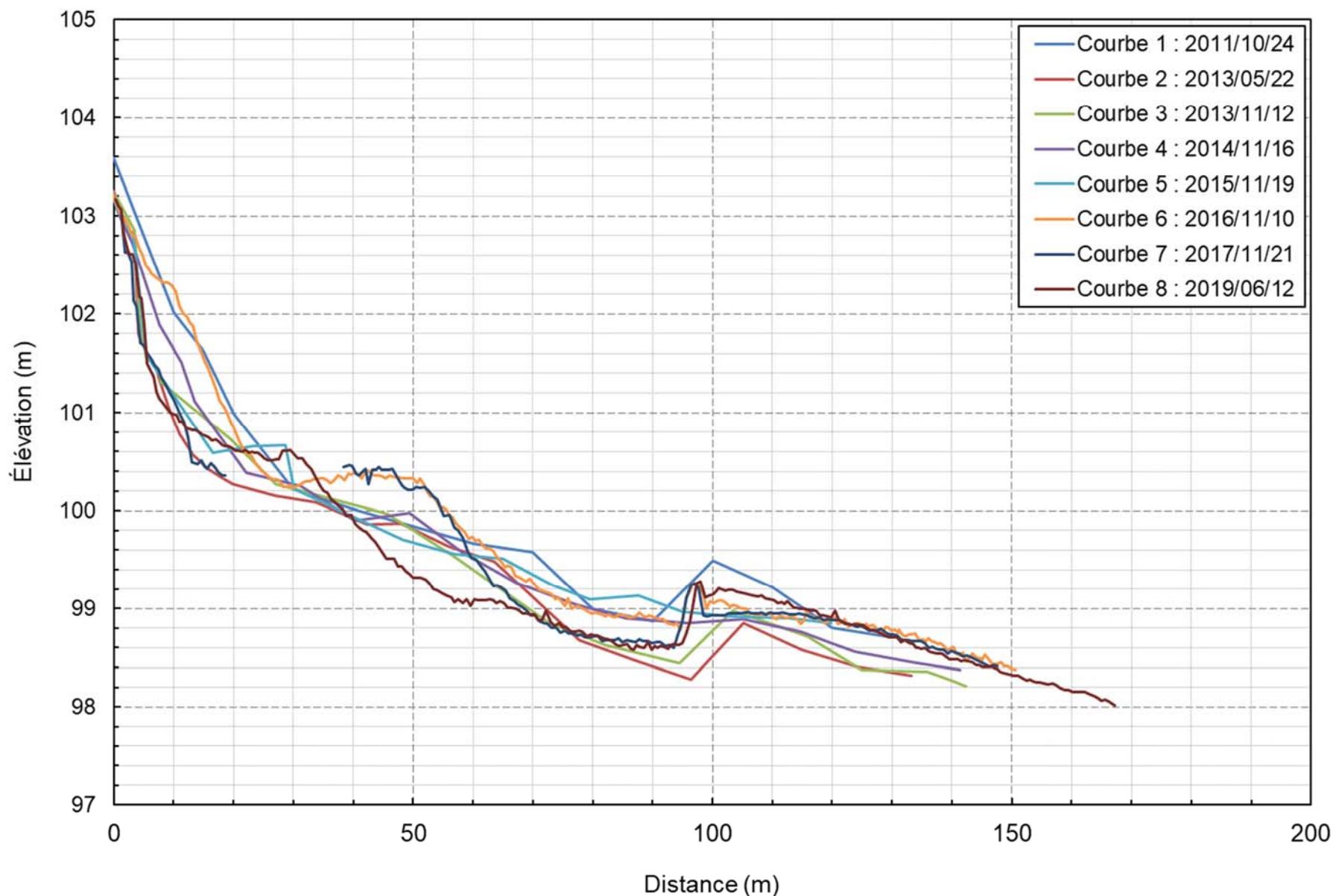
SECTEUR : A0307PR74 CHAINAGE : 2+210



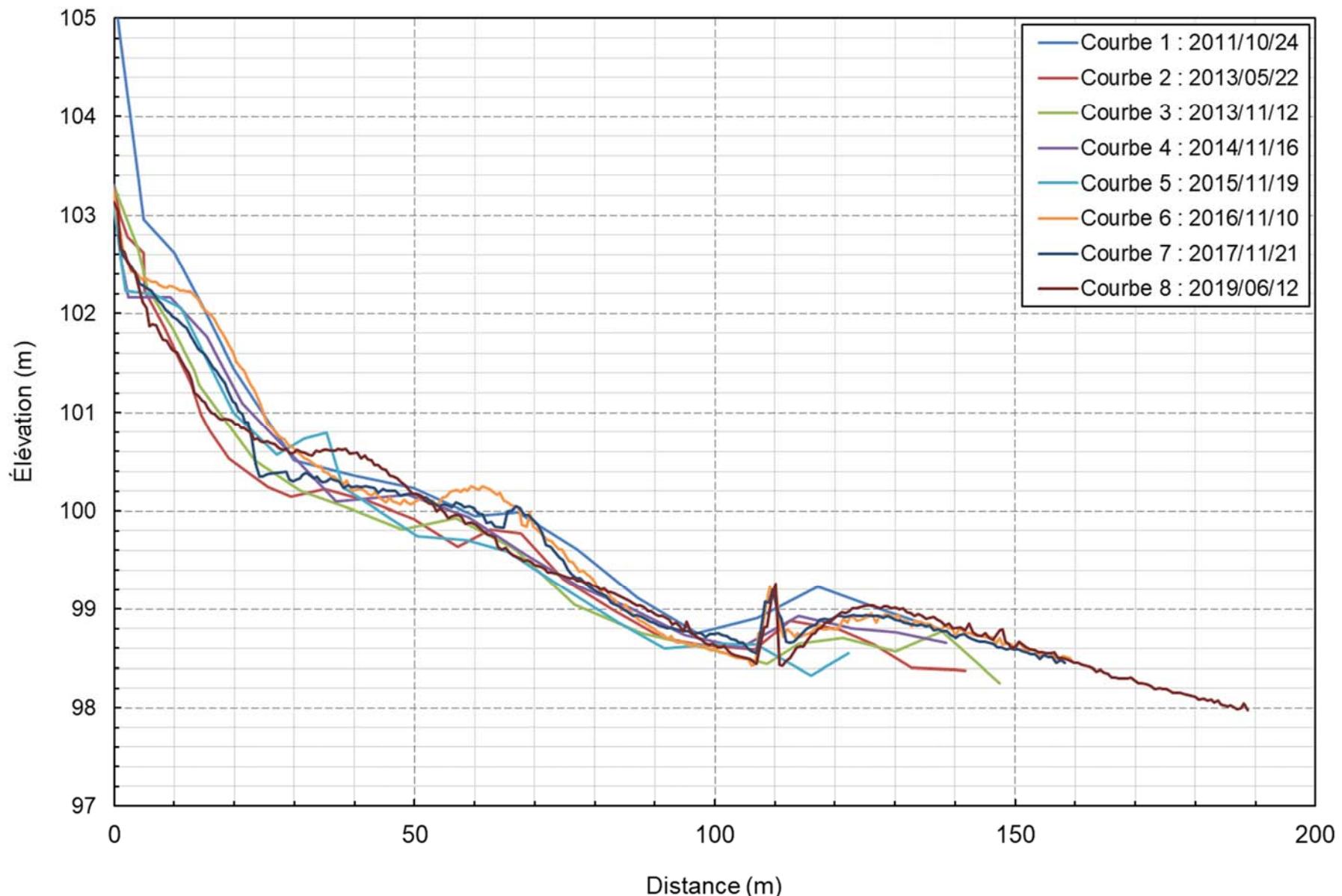
SECTEUR : A0307PR73 CHAINAGE : 2+186



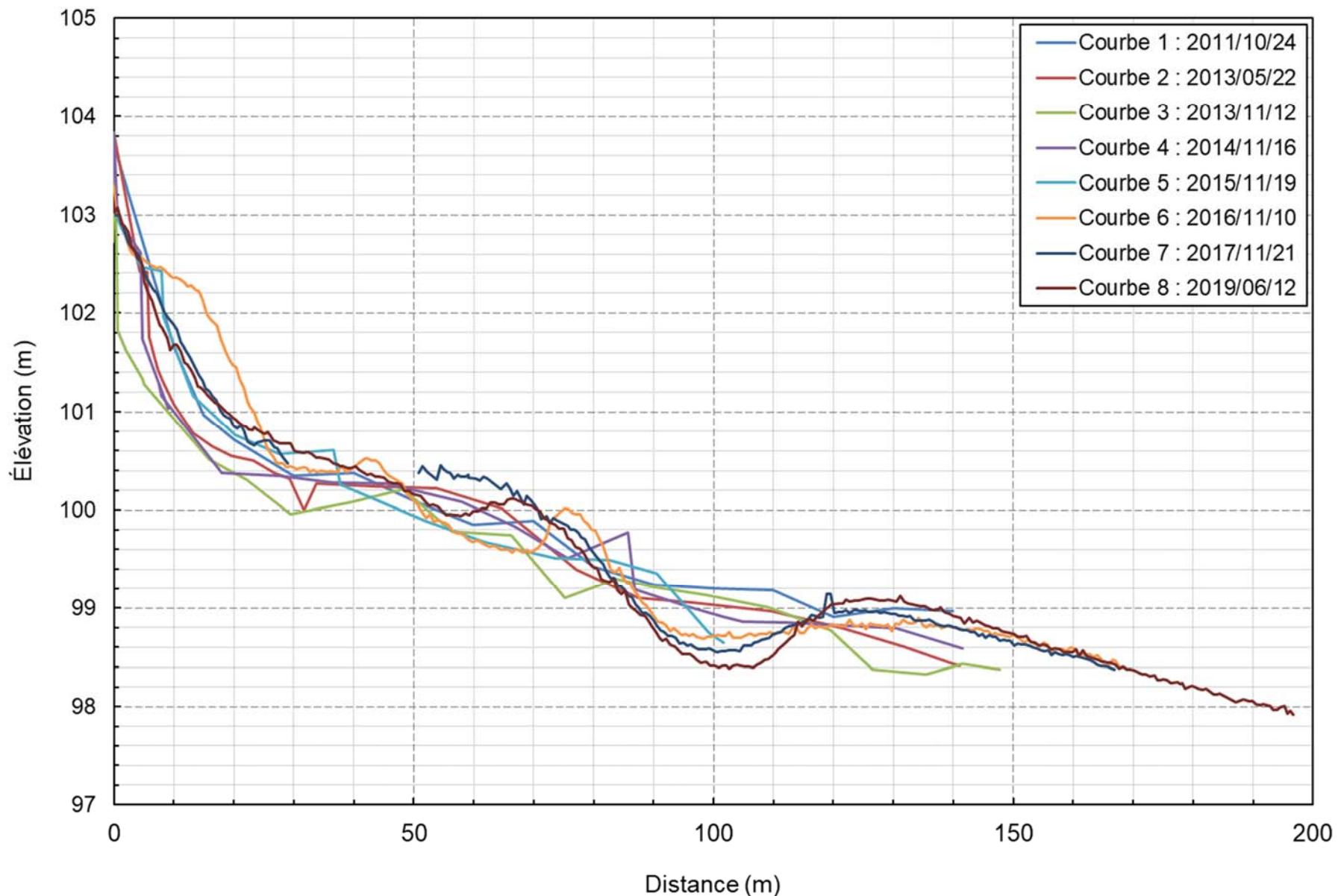
SECTEUR : A0307PR69 CHAINAGE : 2+152



SECTEUR : A0307PR72 CHAINAGE : 2+095

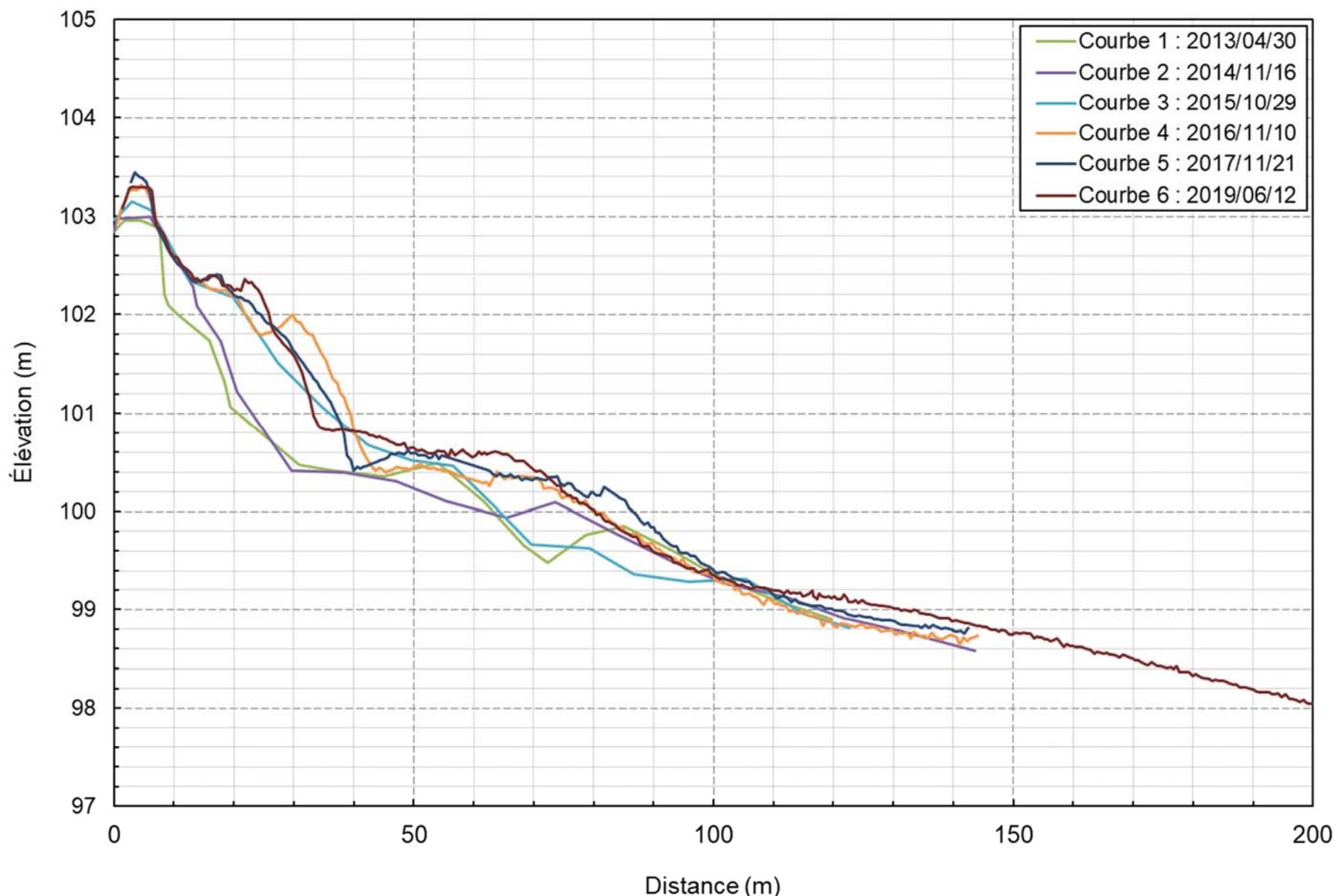


SECTEUR : A0307PR70 CHAINAGE : 2+049

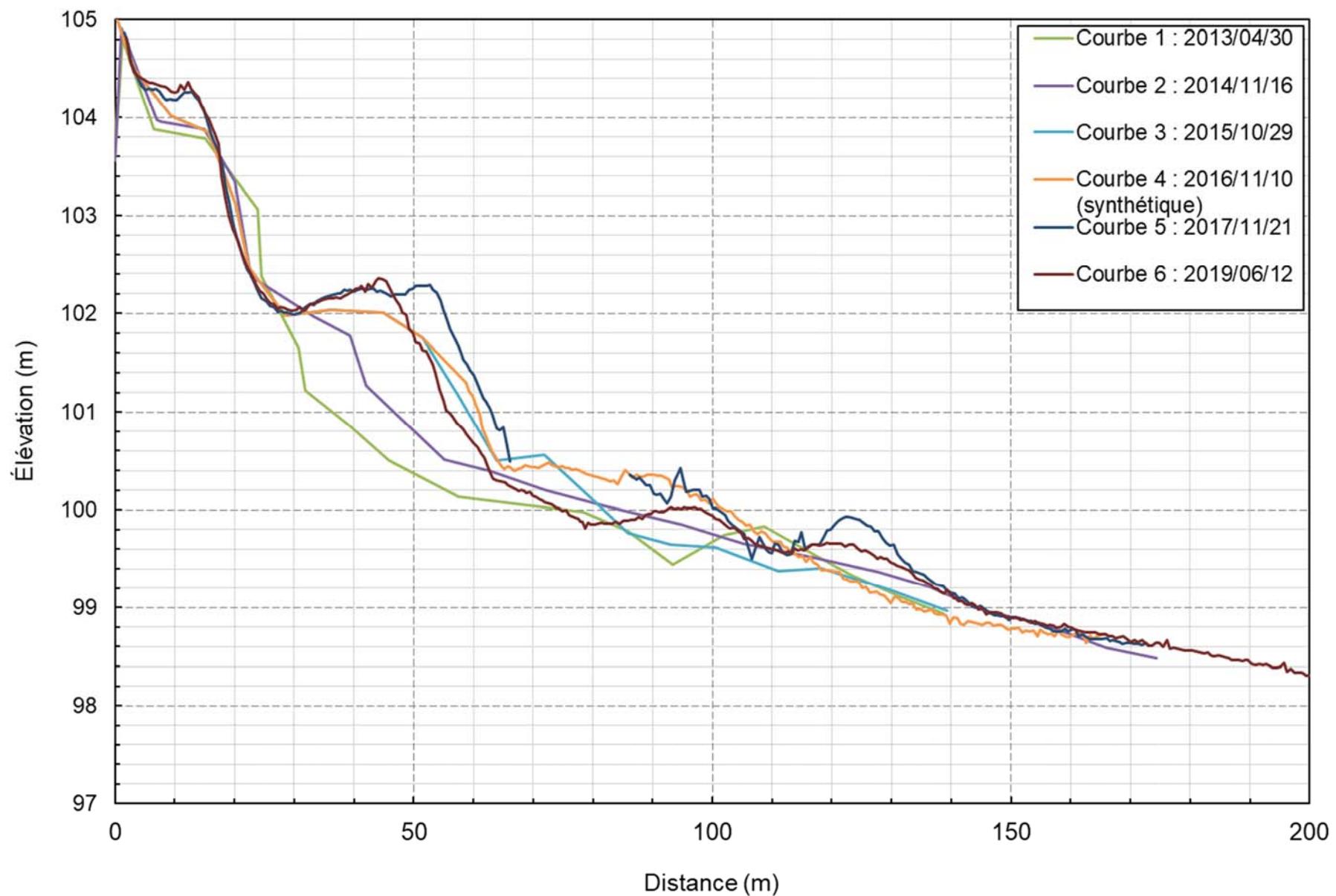


**Site
2014.03.01**

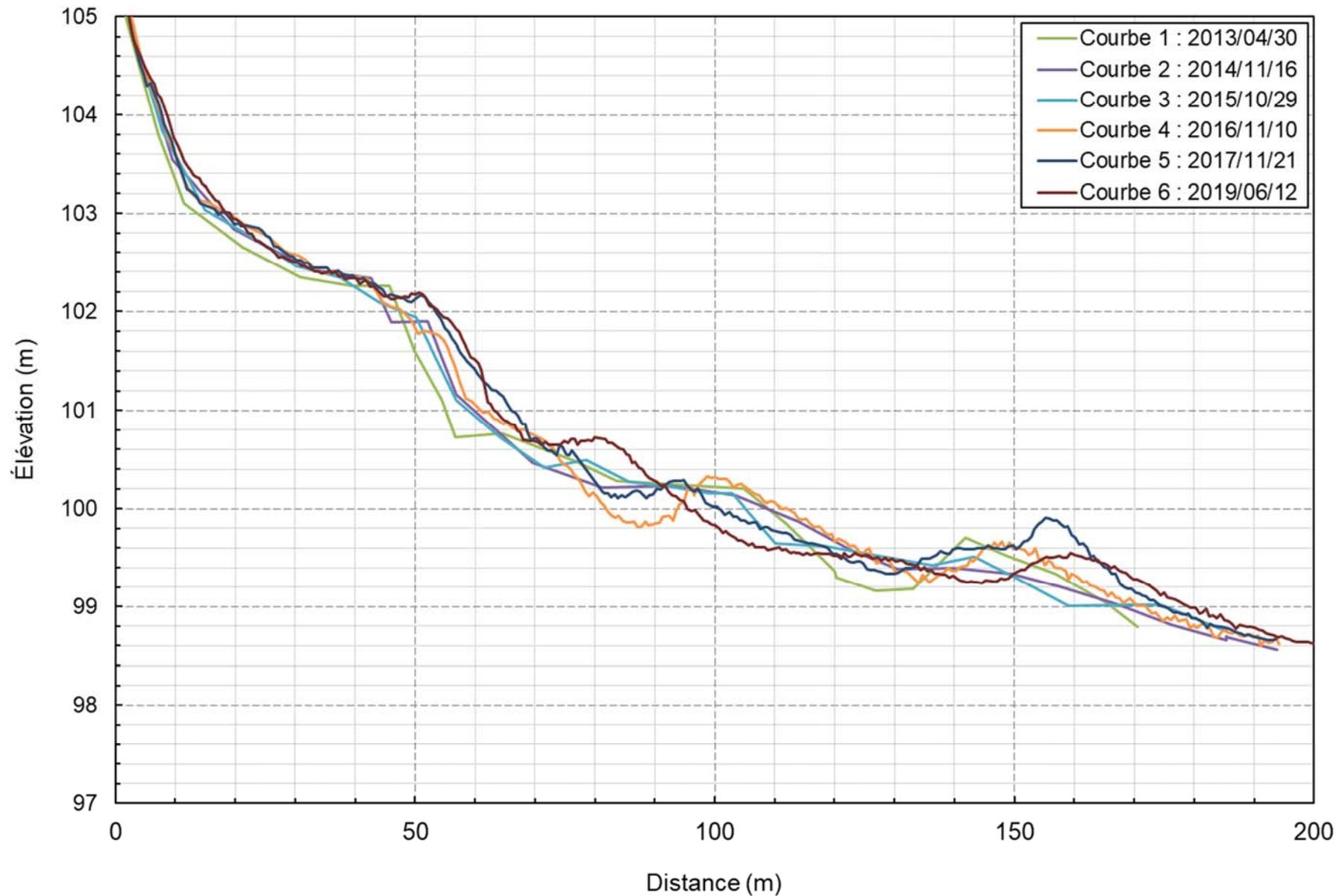
SECTEUR : A0307PR102 CHAINAGE : 1+973



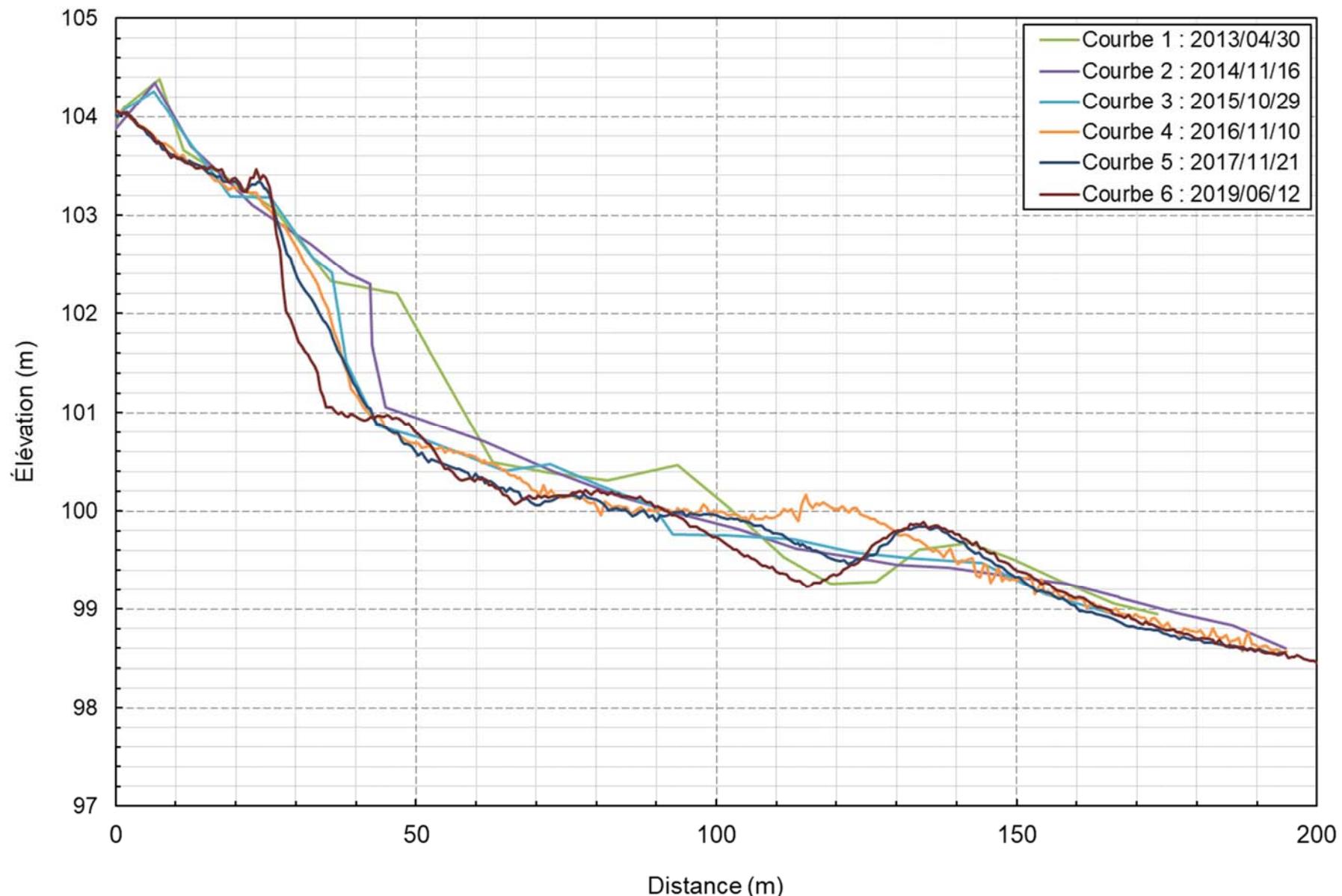
SECTEUR : A0307PR103 CHAINAGE : 1+870



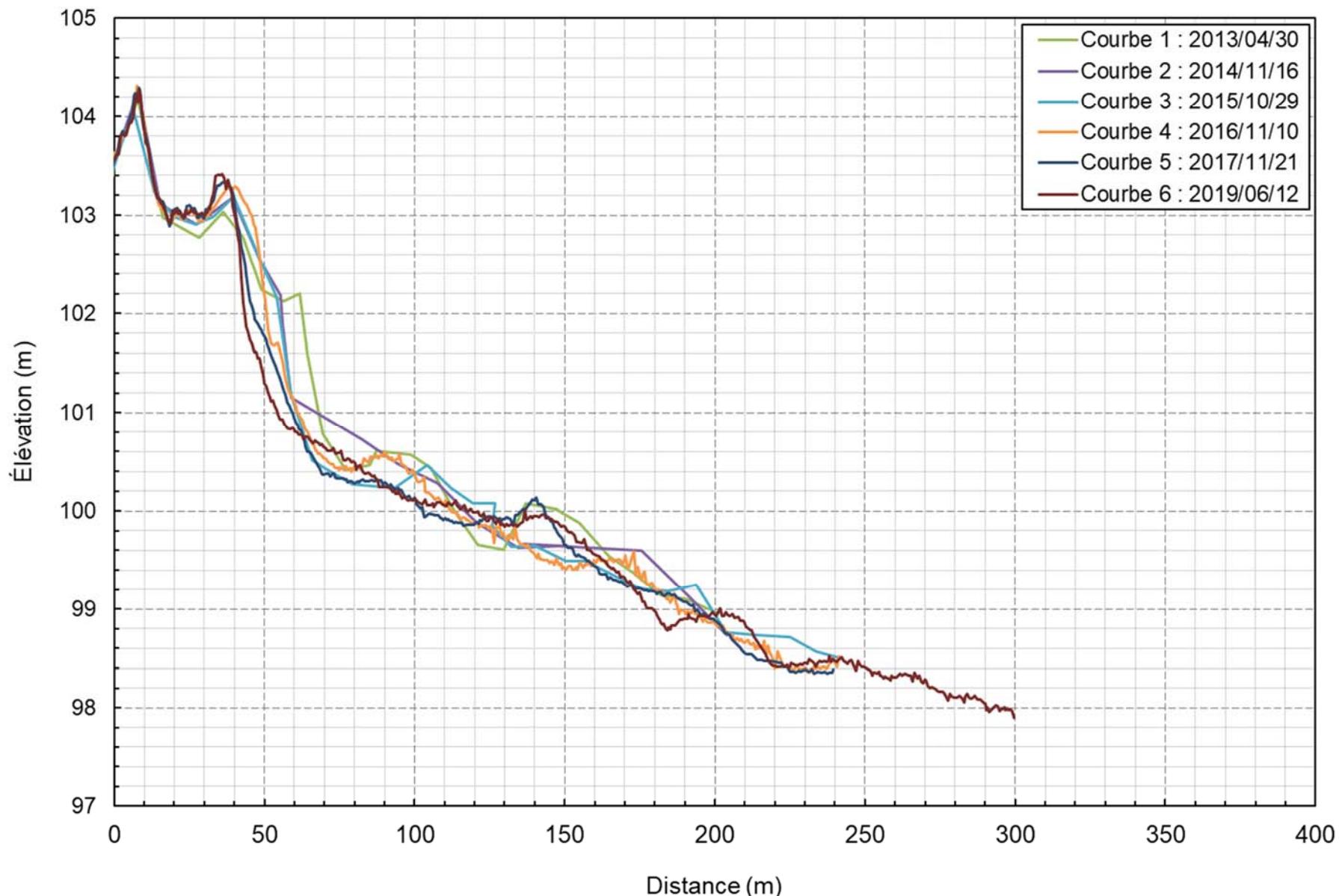
SECTEUR : A0307PR104 CHAINAGE : 1+771



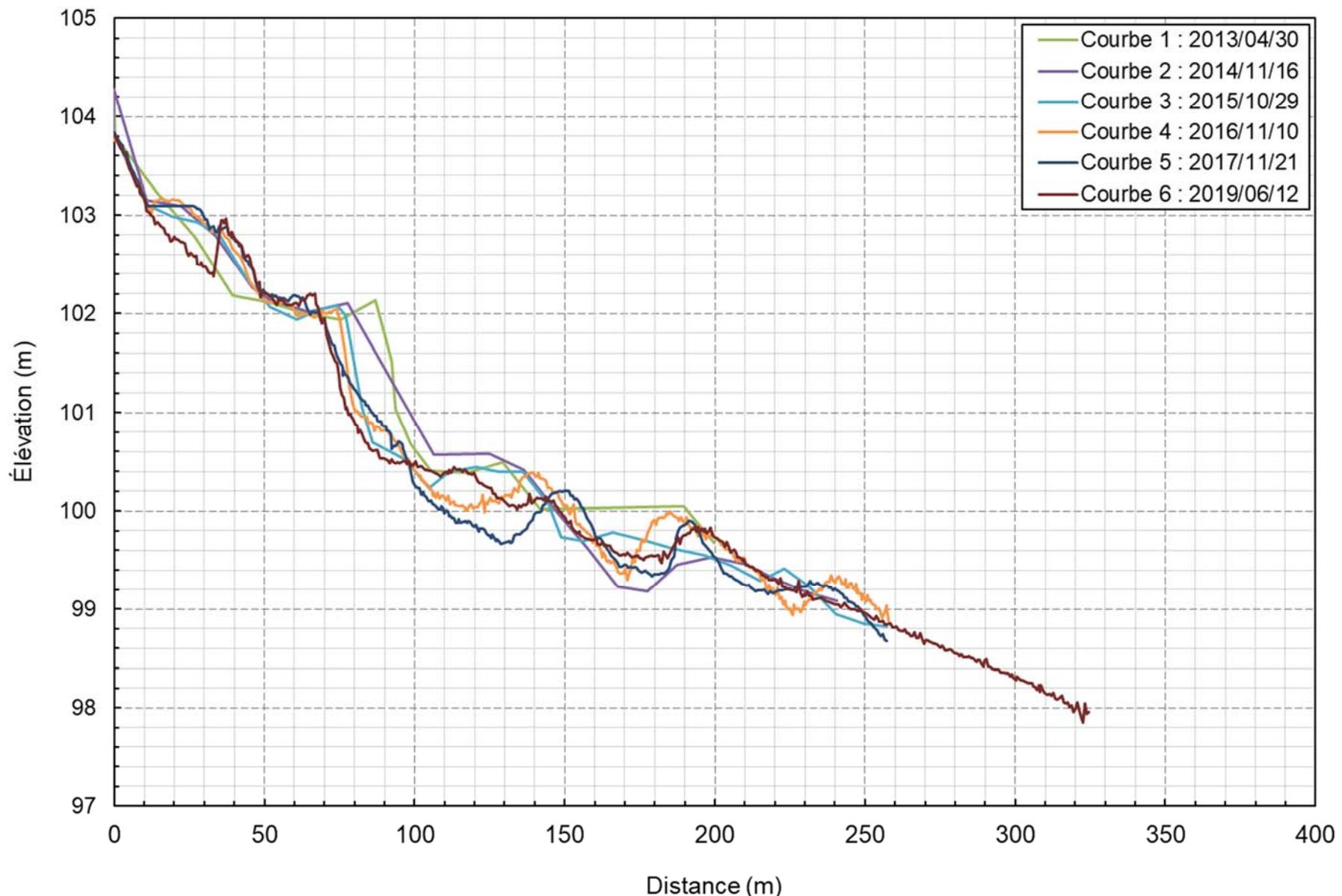
SECTEUR : A0307PR105 CHAINAGE : 1+673



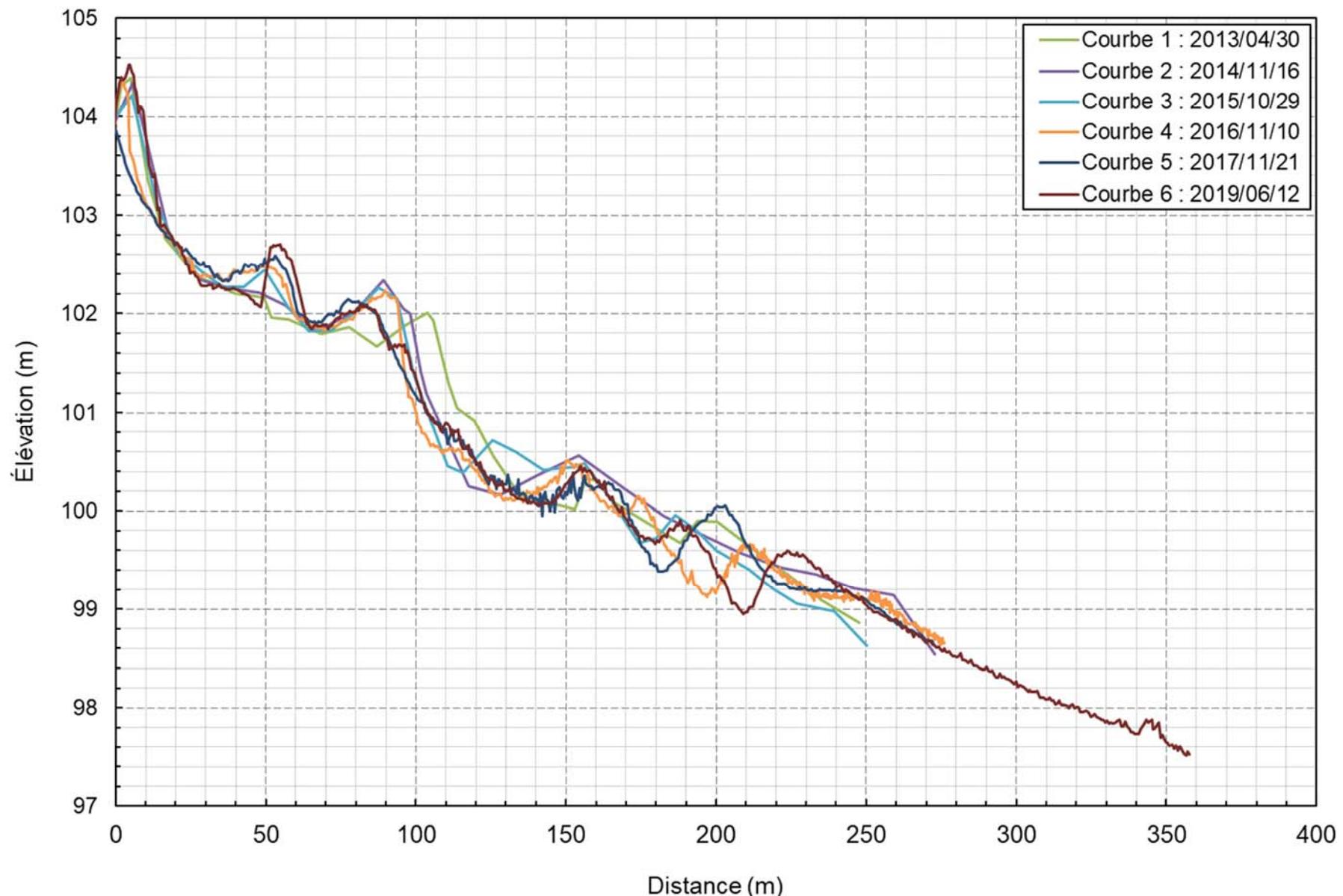
SECTEUR : A0307PR106 CHAINAGE : 1+573



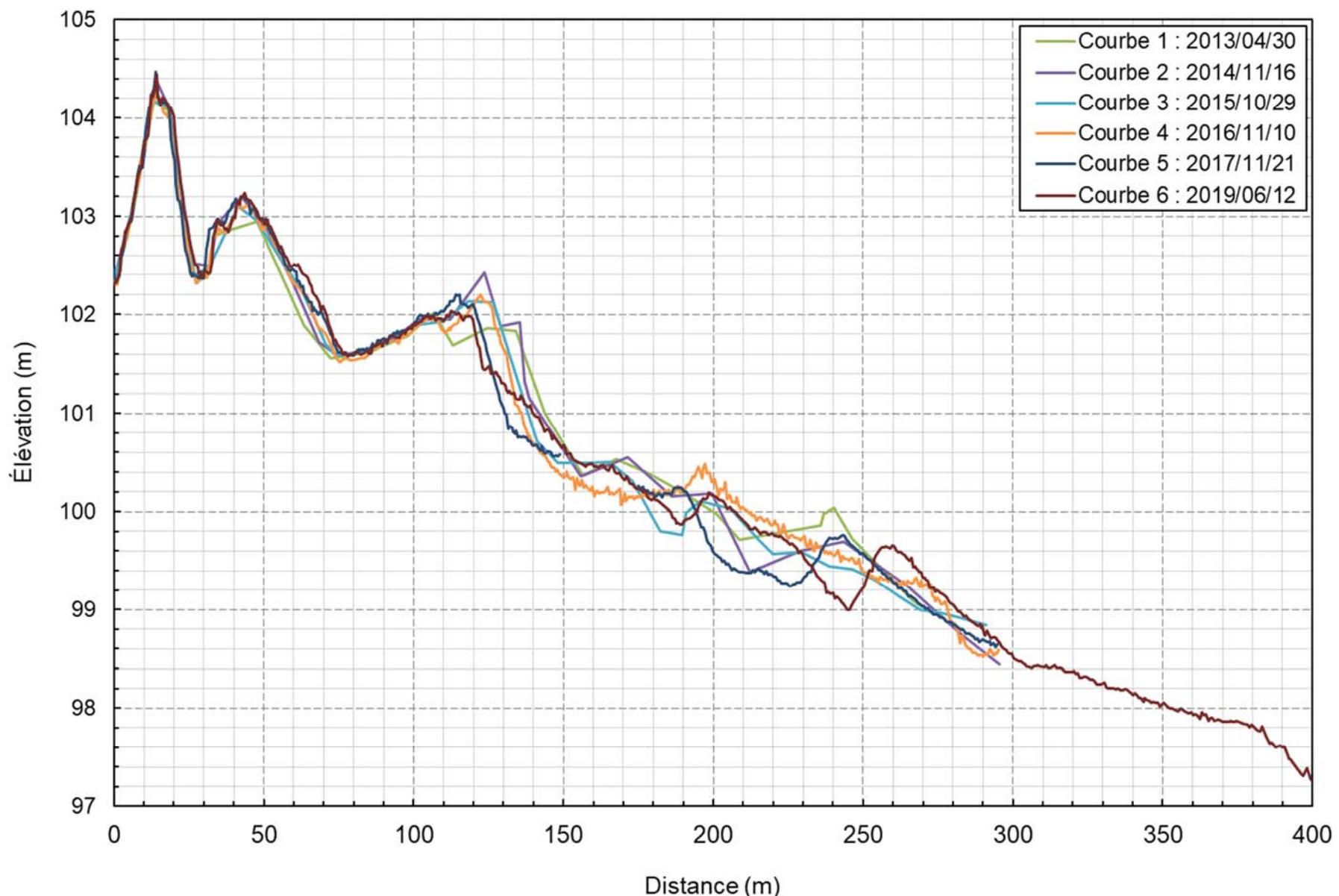
SECTEUR : A0307PR107 CHAINAGE : 1+474



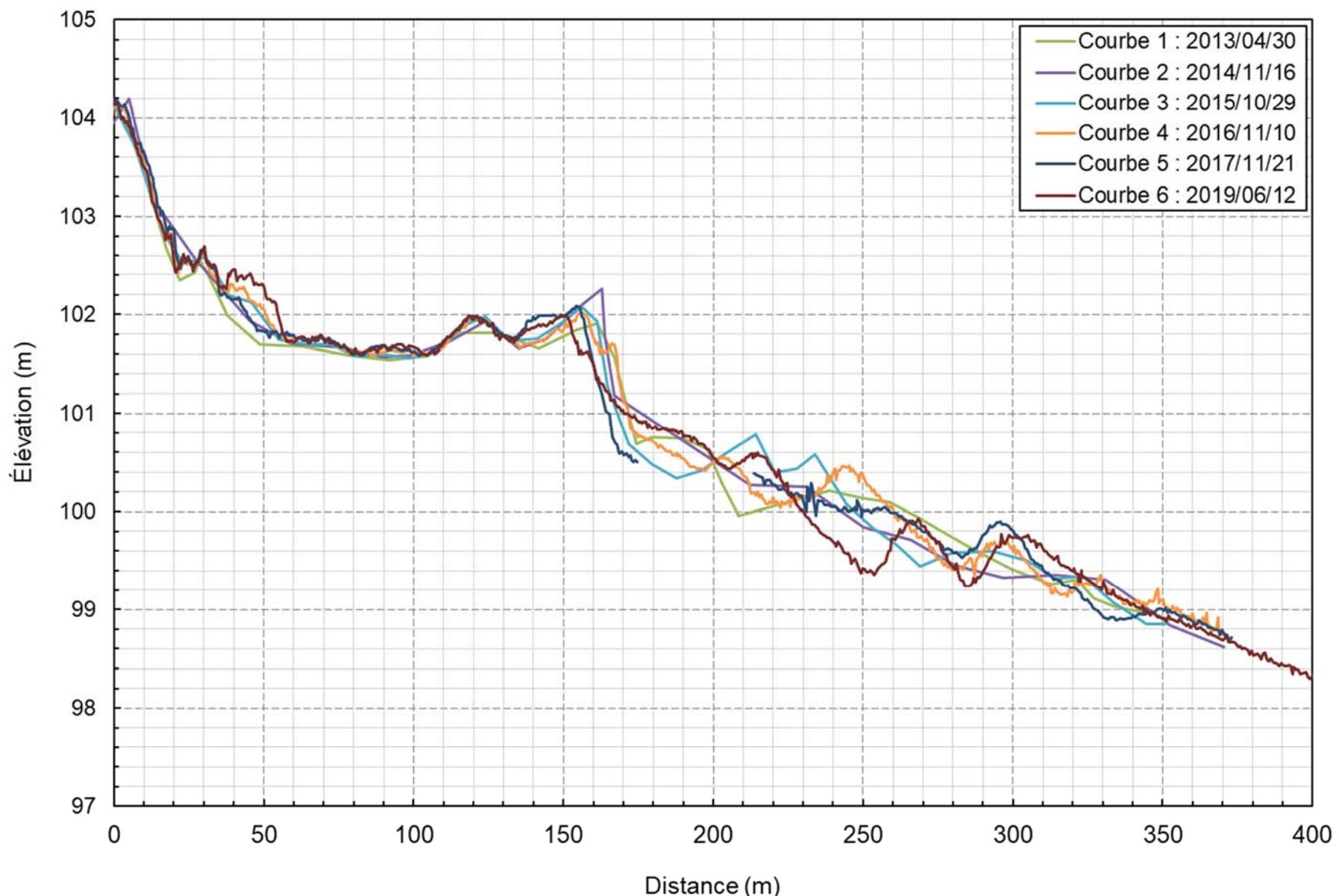
SECTEUR : A0307PR108 CHAINAGE : 1+374



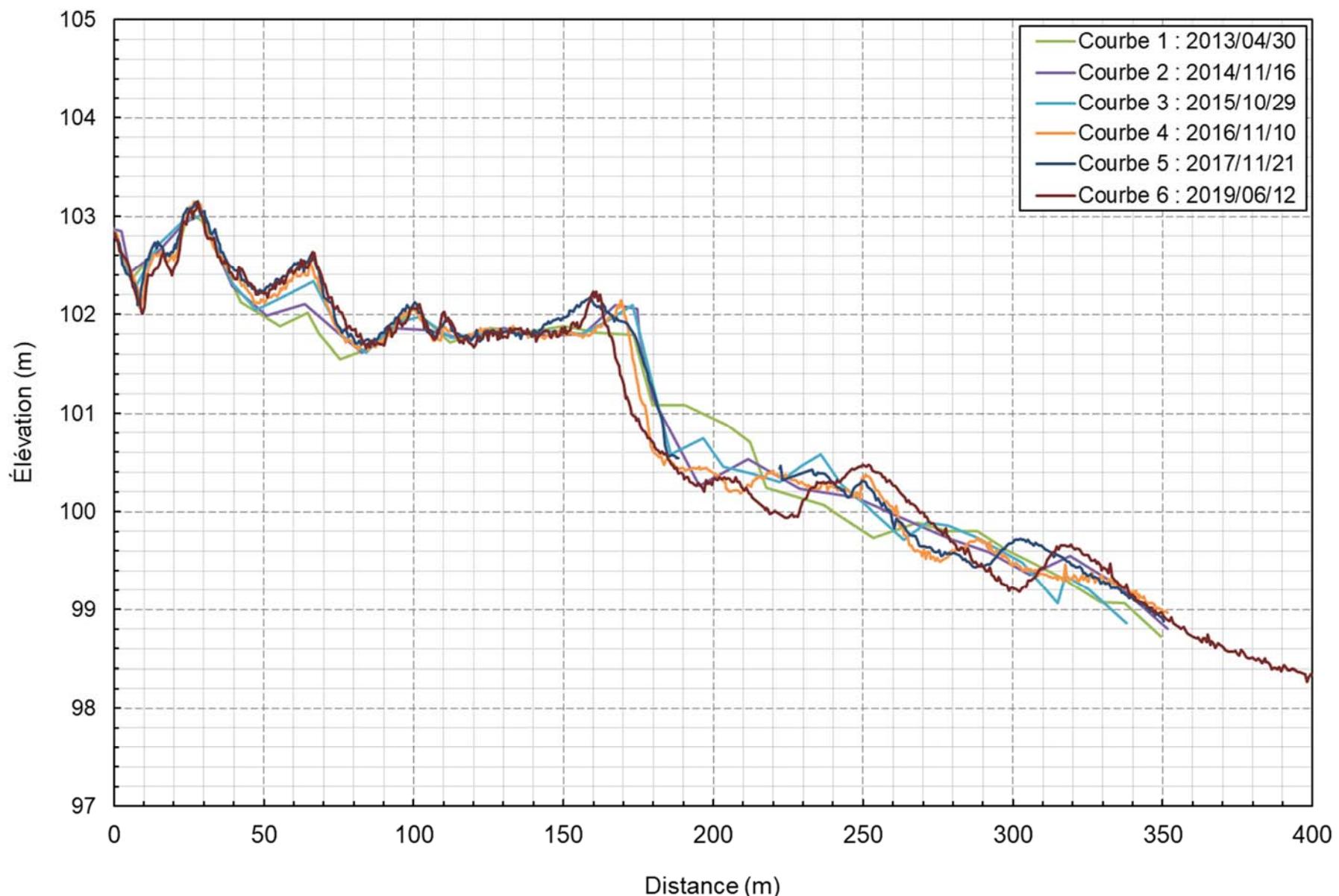
SECTEUR : A0307PR109 CHAINAGE : 1+263



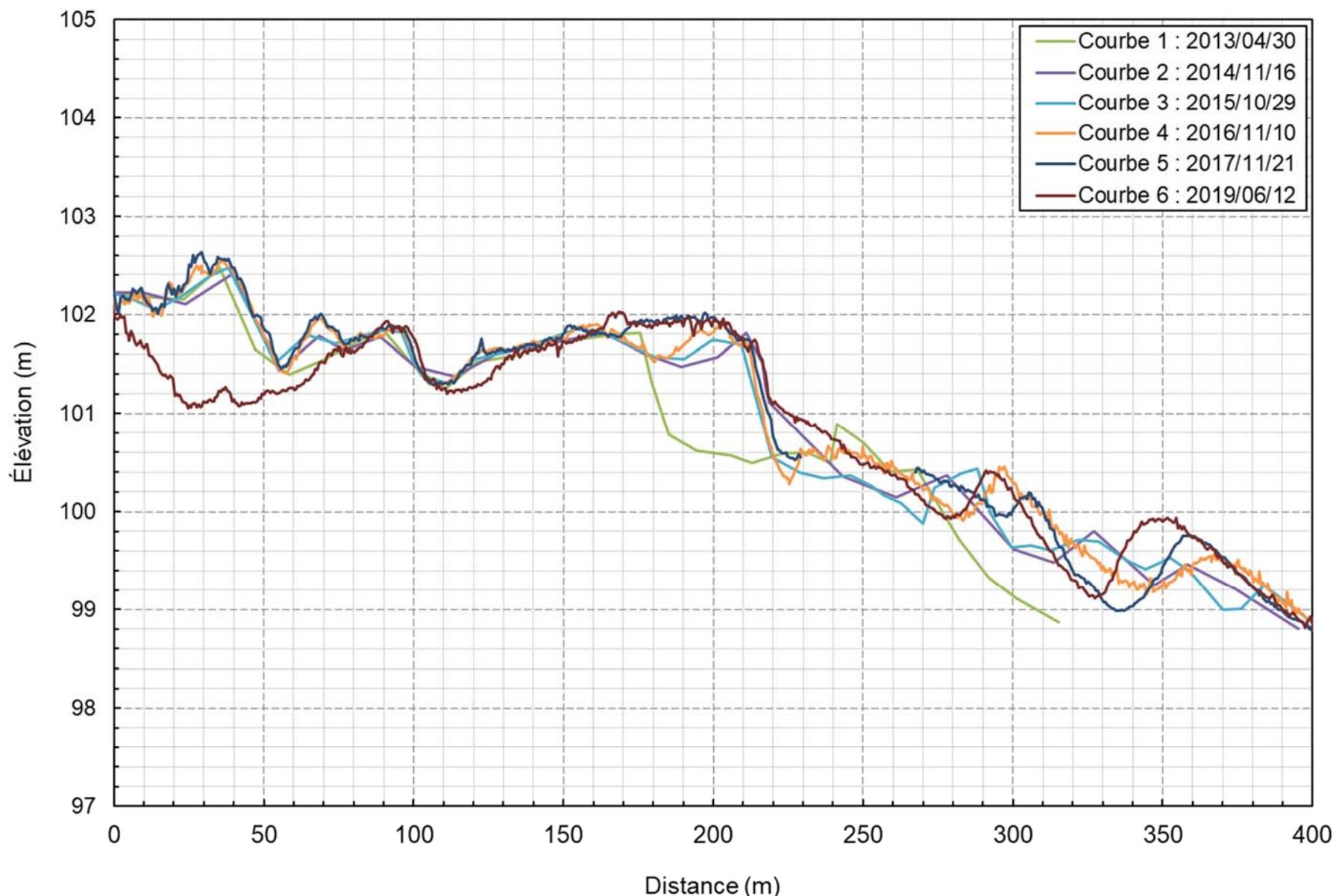
SECTEUR : A0307PR110 CHAINAGE : 1+164



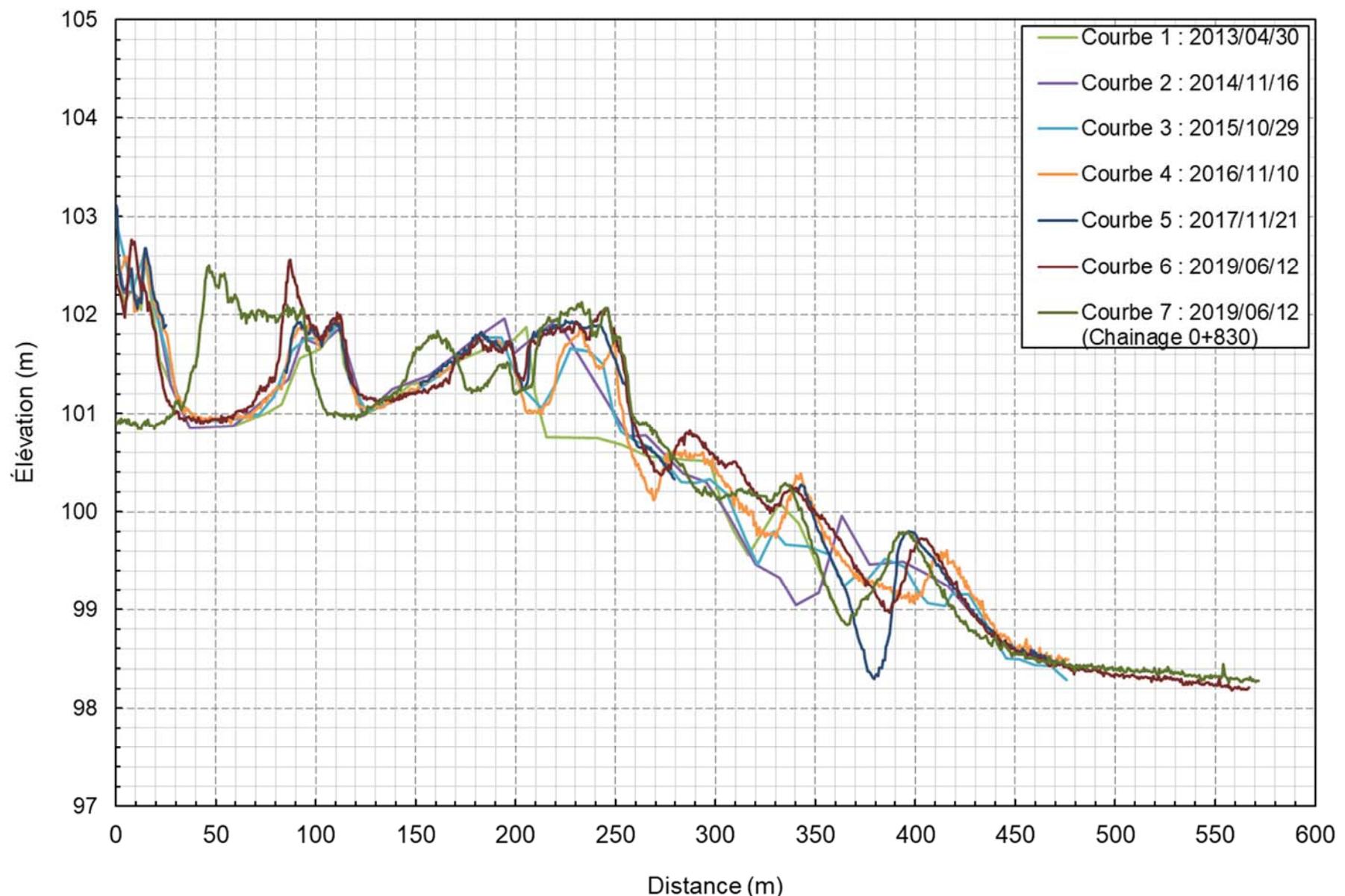
SECTEUR : A0307PR111 CHAINAGE : 1+064



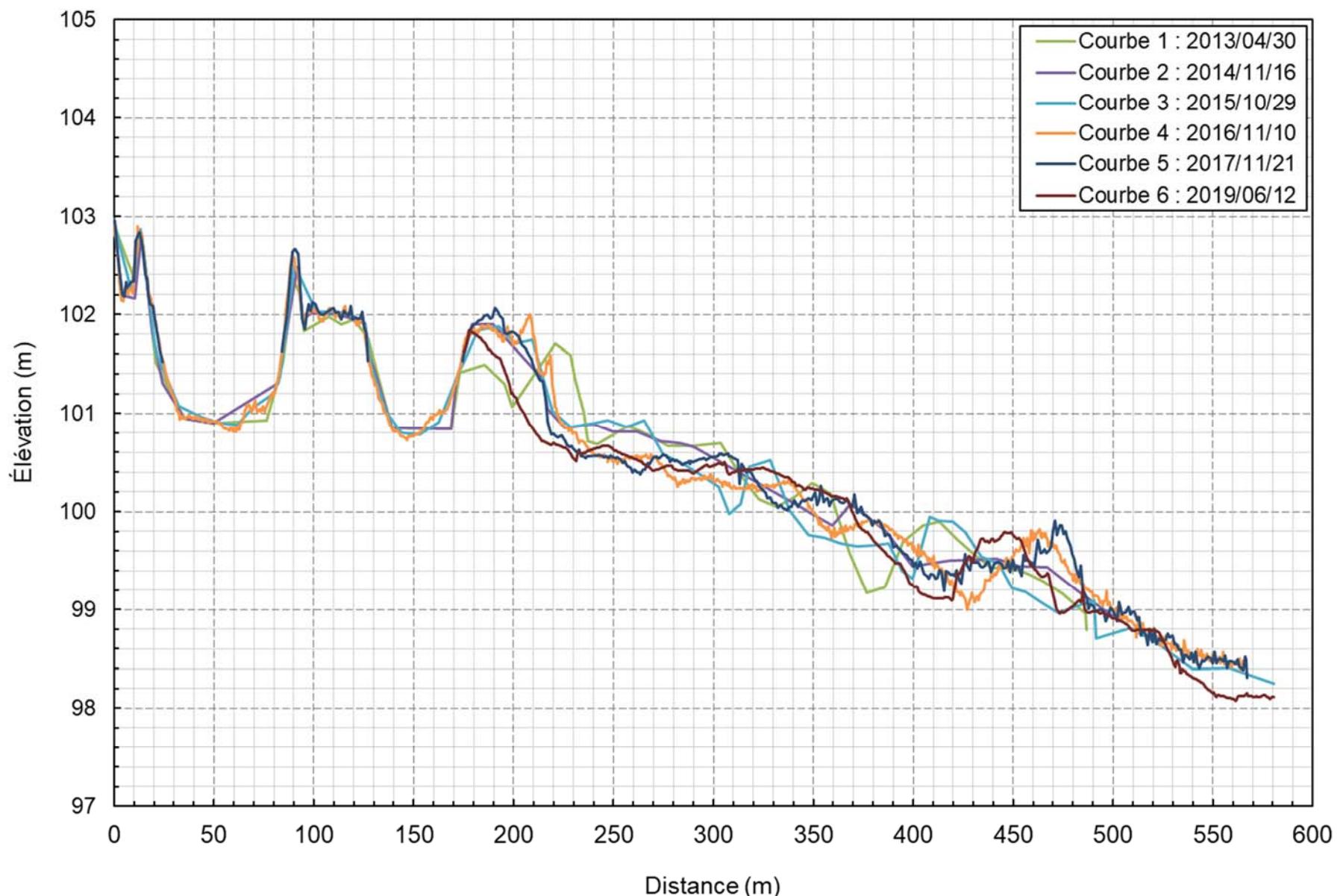
SECTEUR : A0307PR112 CHAINAGE : 0+964



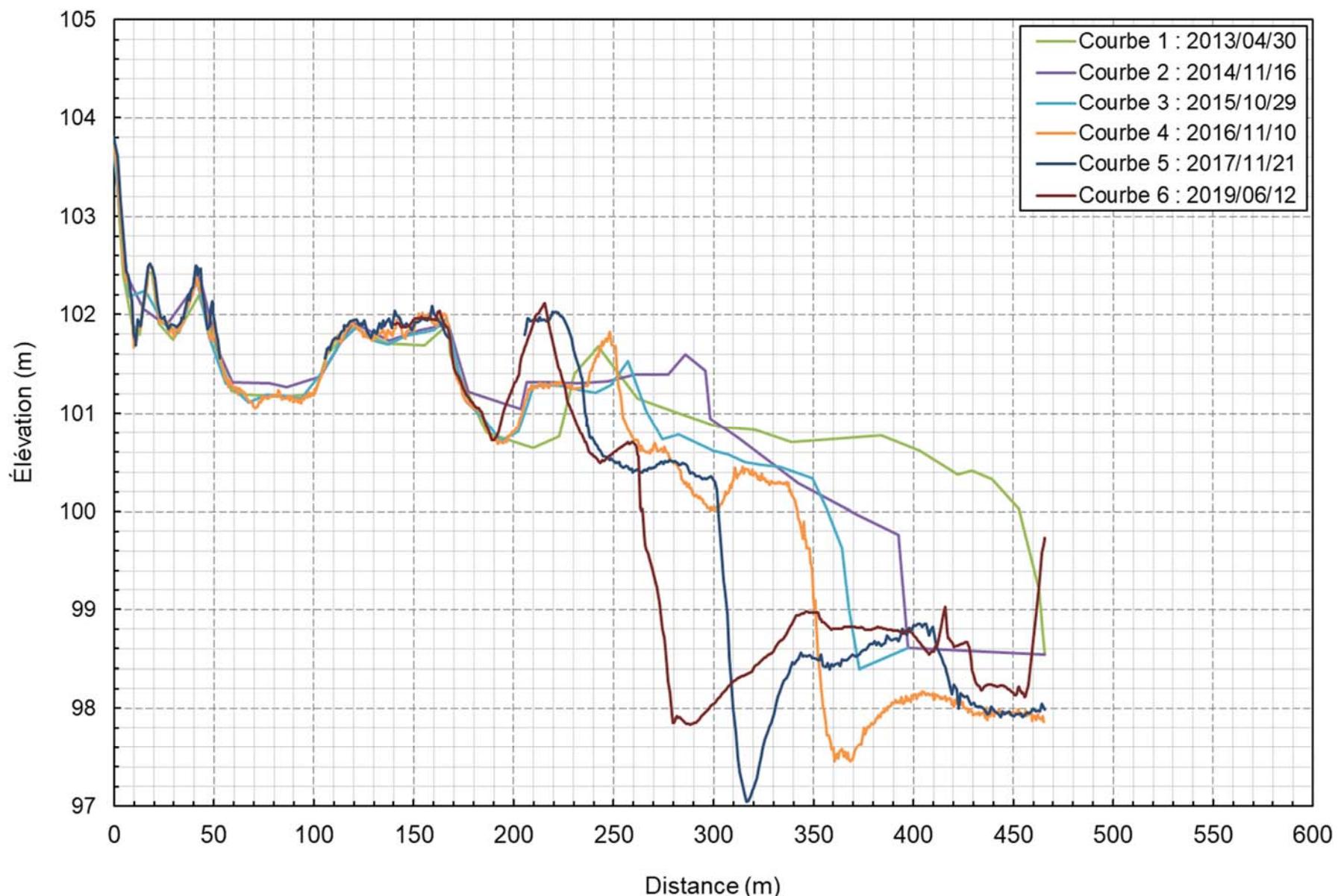
SECTEUR : A0307PR113 CHAINAGE : 0+894



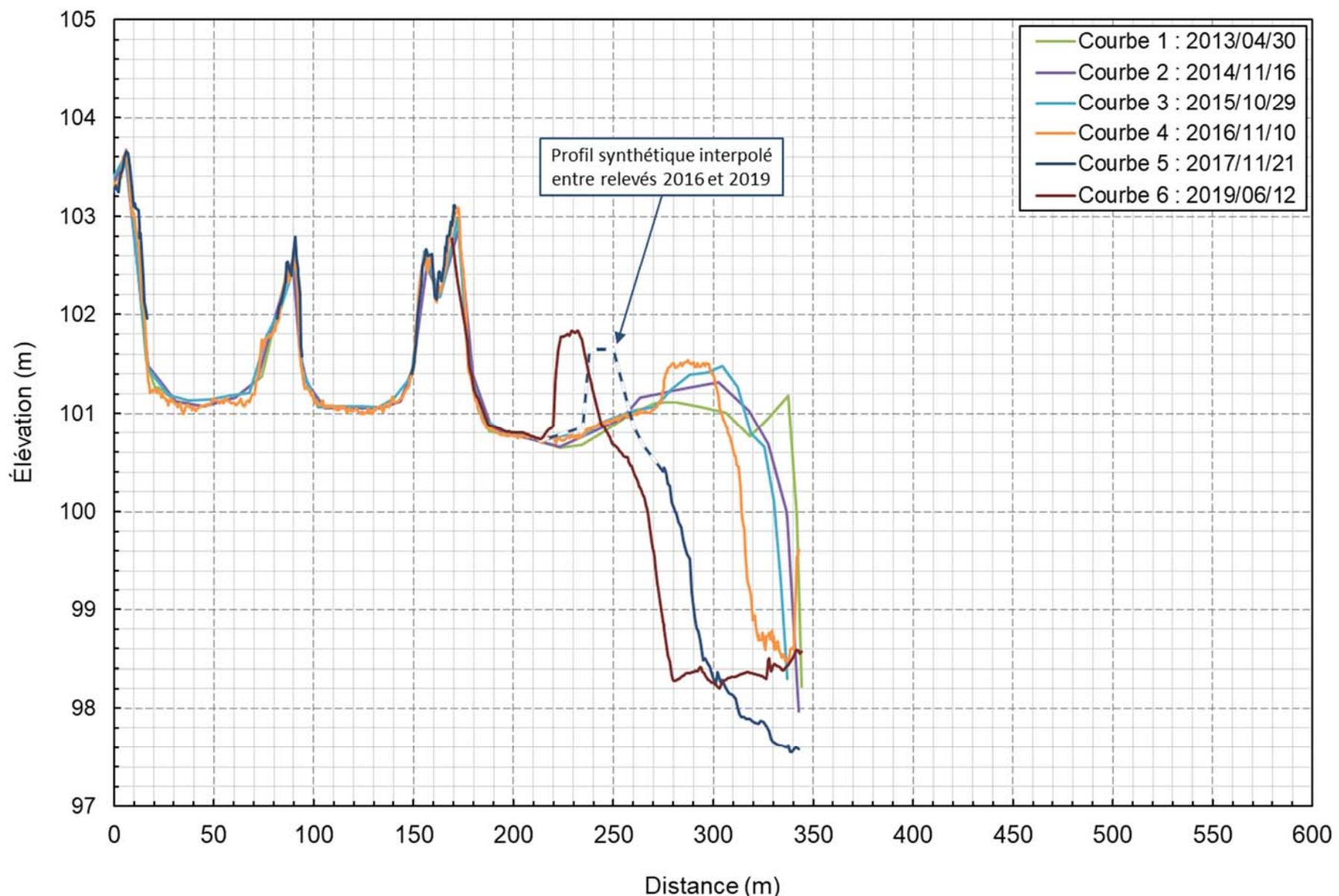
SECTEUR : A0307PR114 CHAINAGE : 0+764



SECTEUR : A0307PR115 CHAINAGE : 0+664

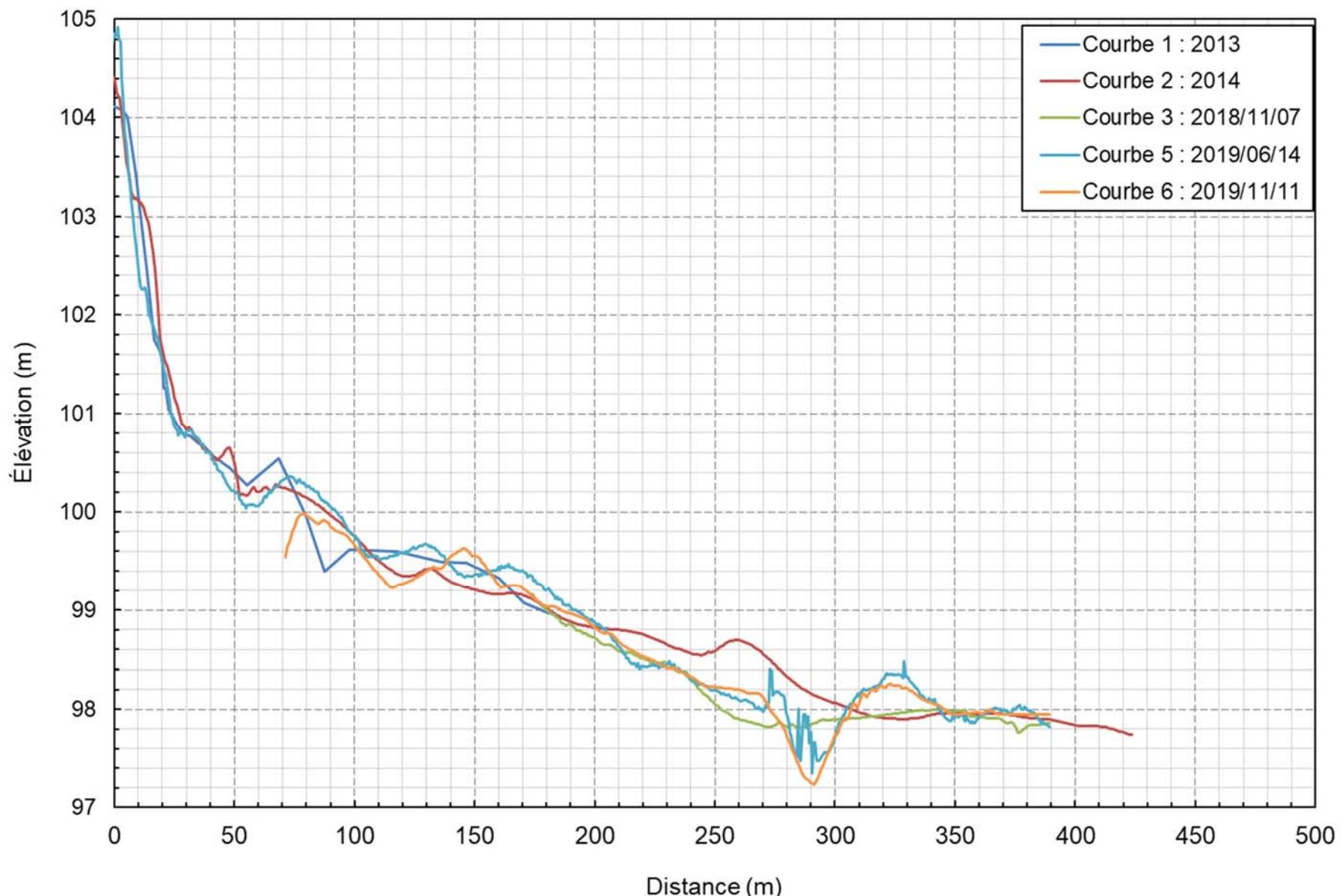


SECTEUR : A0307PR116 CHAINAGE : 0+600

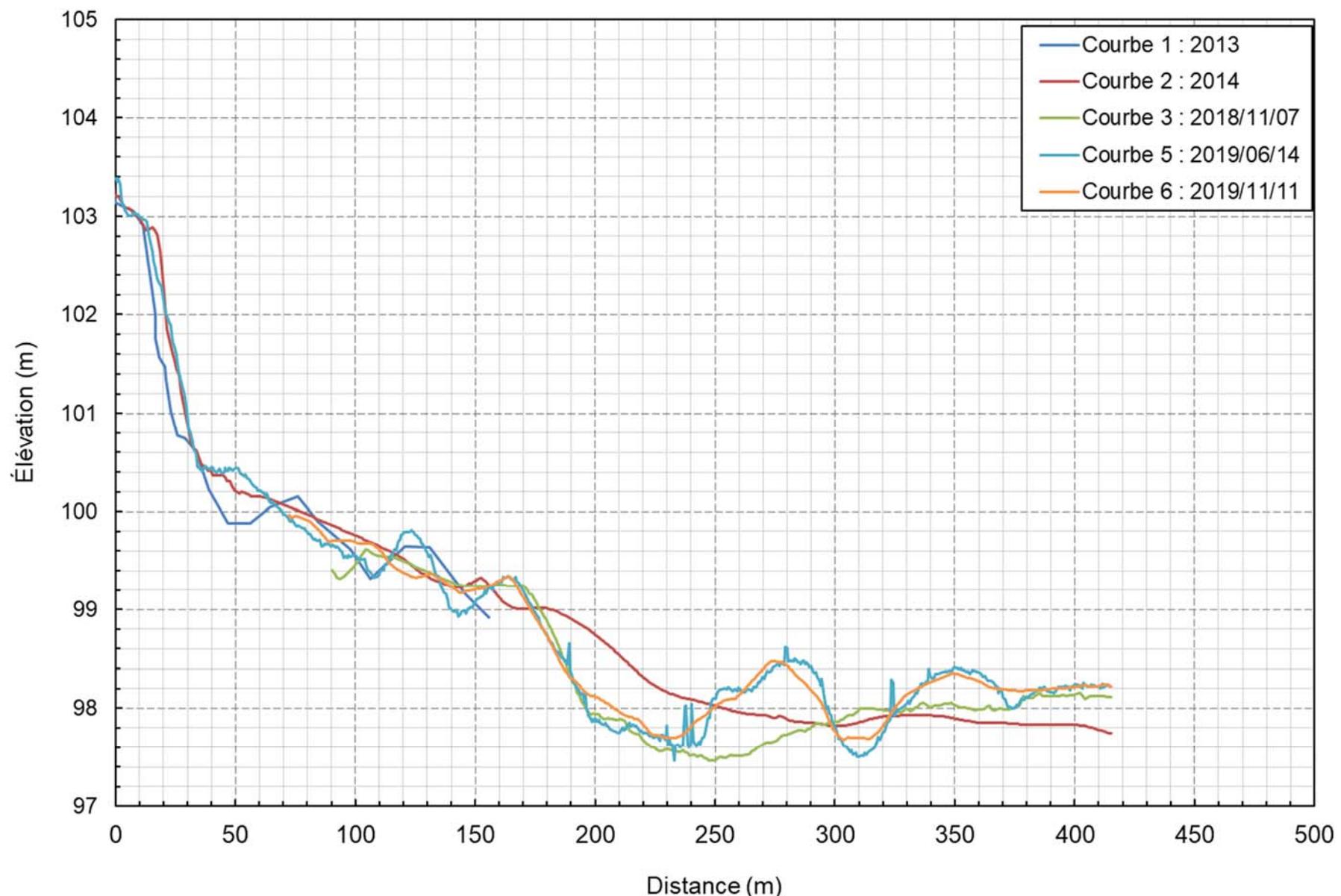


**Site
93.02.02**

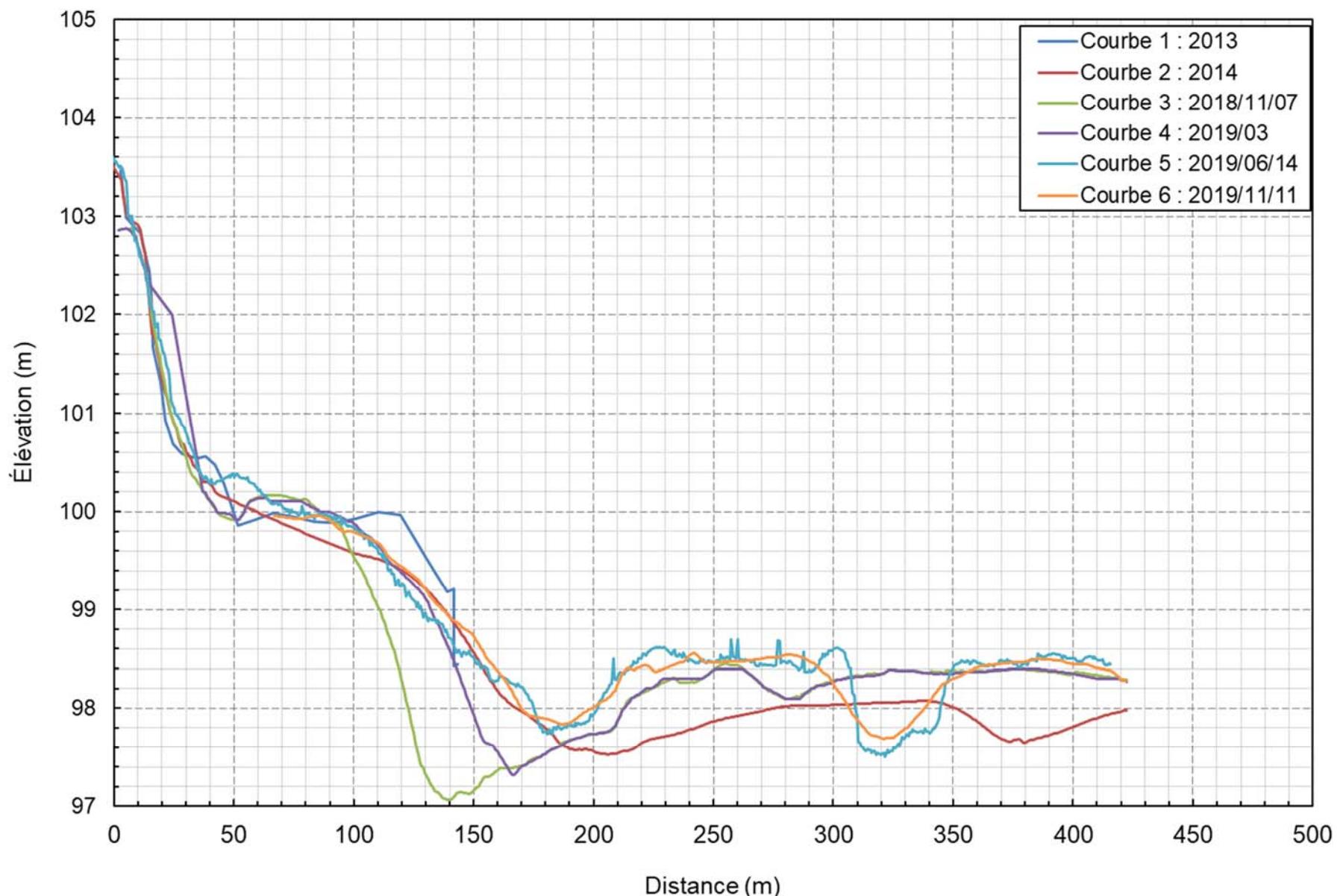
SECTEUR : A0207PR19 CHAINAGE : 1+532



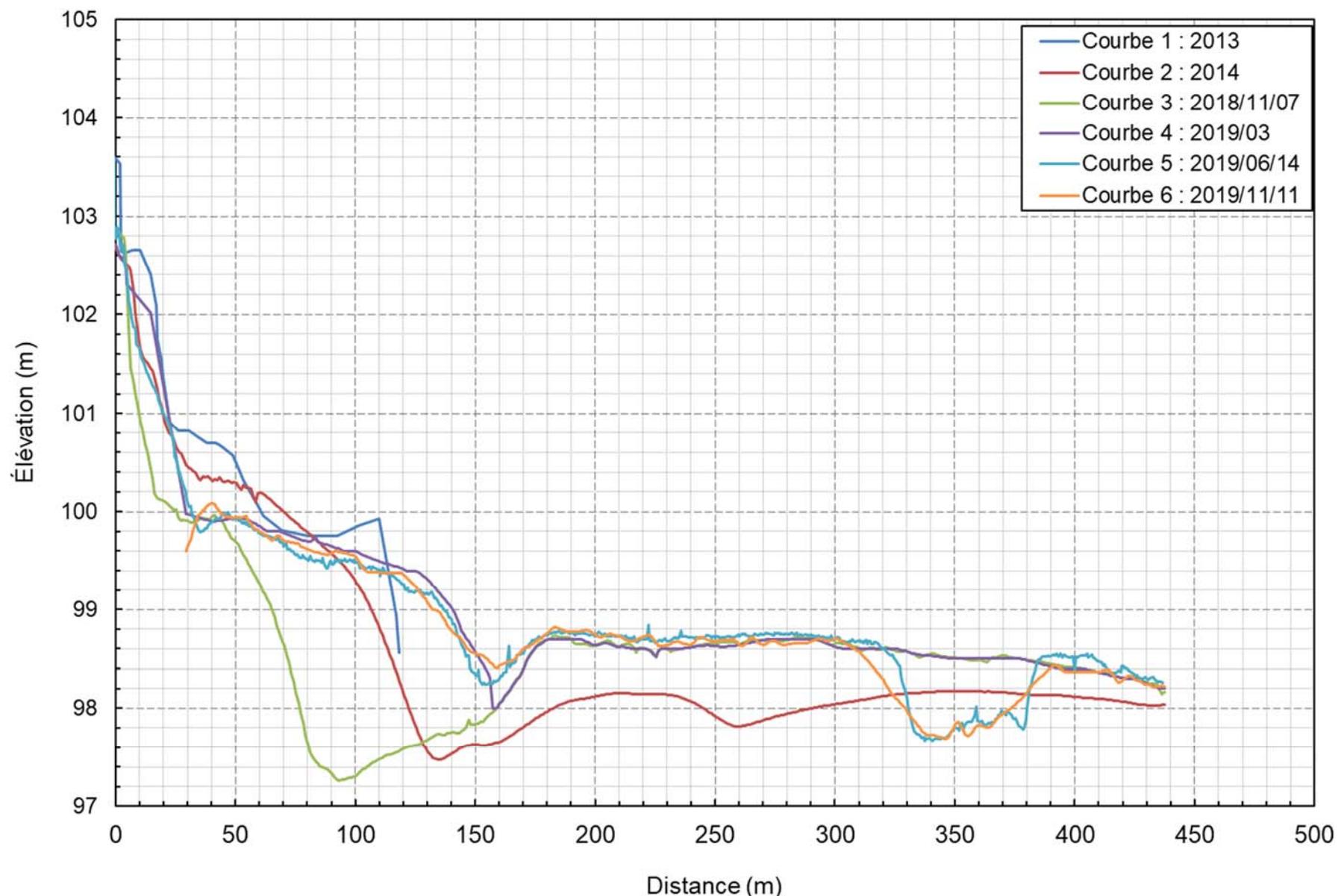
SECTEUR : A0207PR20 CHAINAGE : 1+576



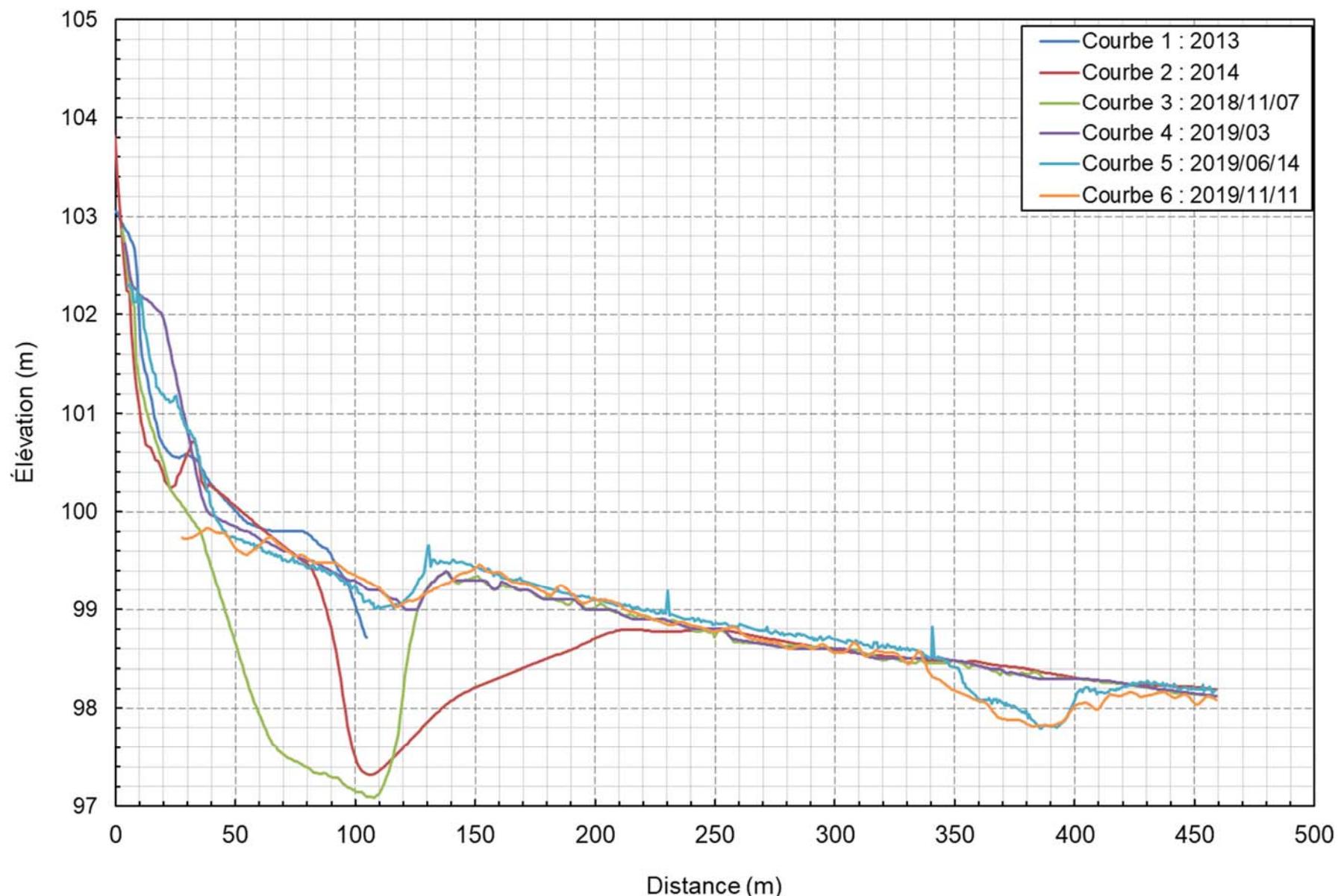
SECTEUR : A0207PR21 CHAINAGE : 1+654



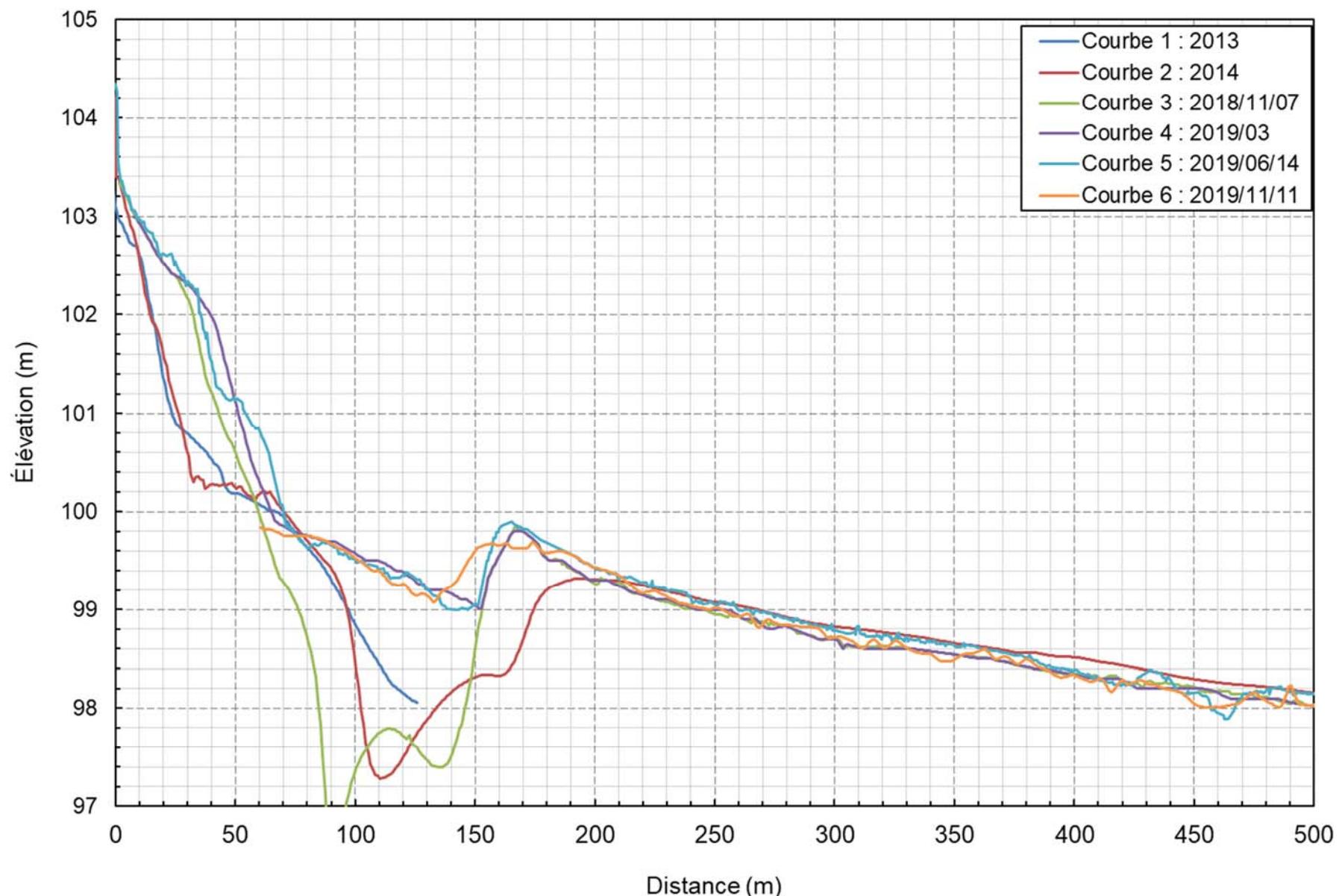
SECTEUR : A0207PR22 CHAINAGE : 1+726



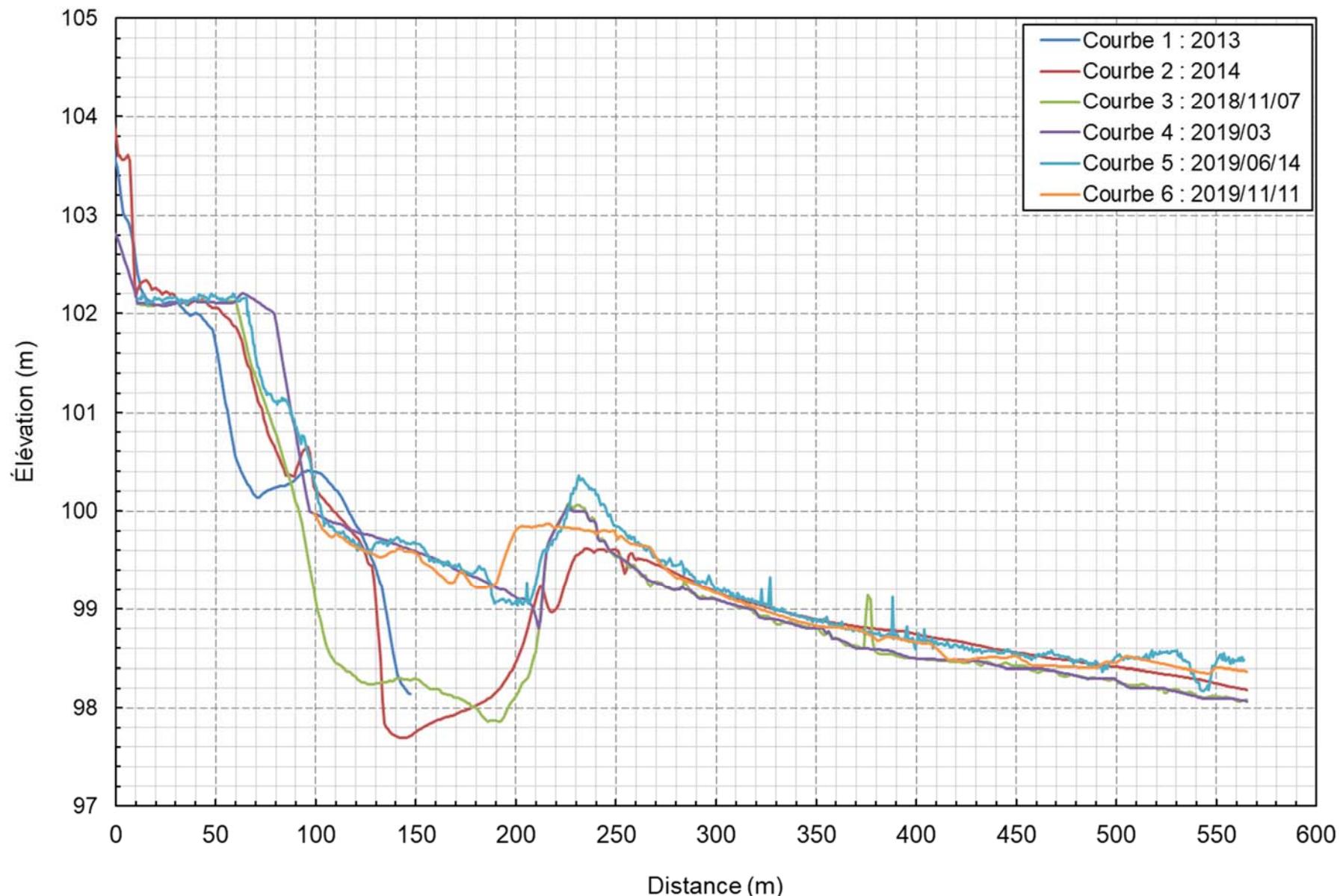
SECTEUR : A0207PR23 CHAINAGE : 1+828



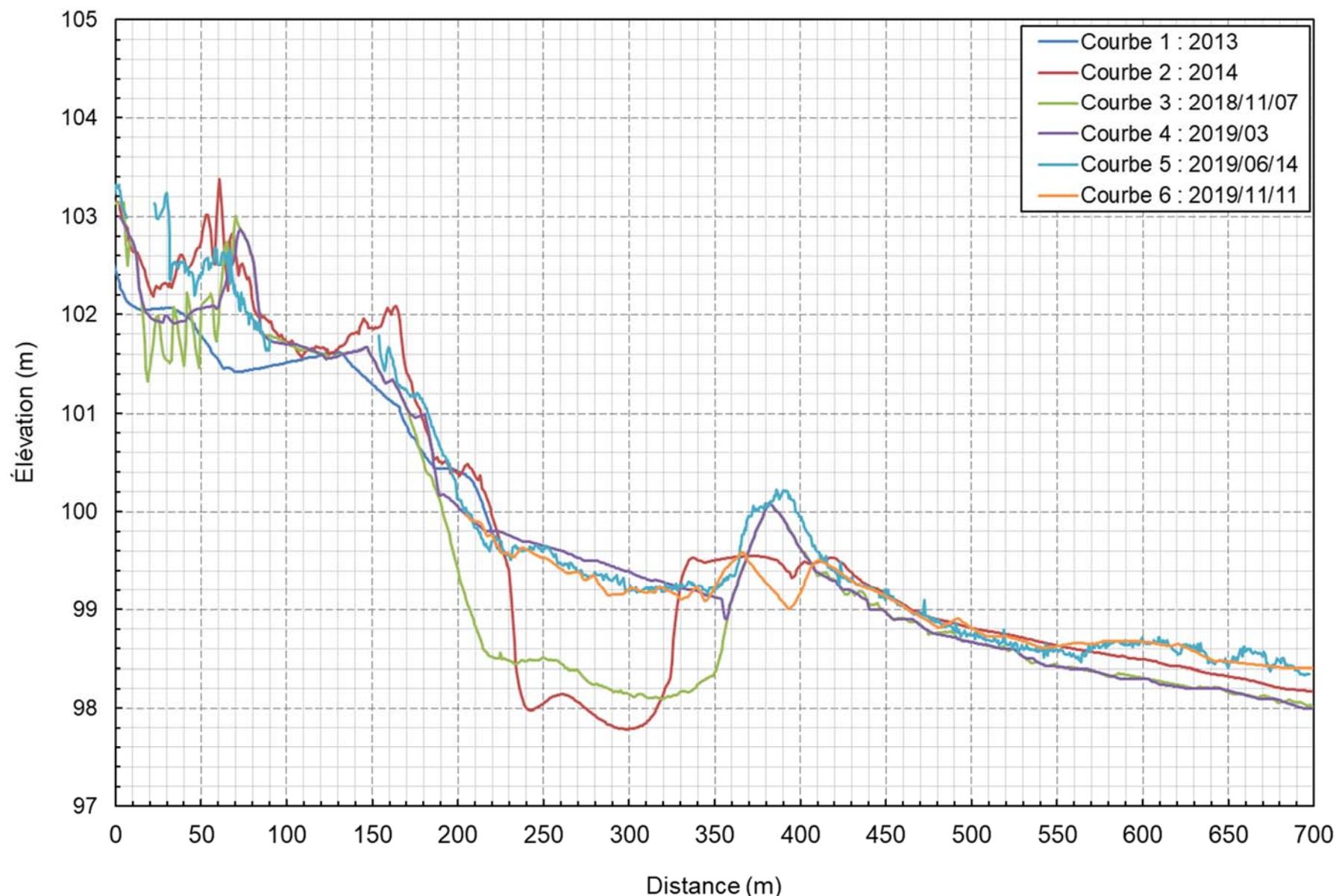
SECTEUR : A0207PR24 CHAINAGE : 1+914



SECTEUR : A0207PR25 CHAINAGE : 2+023



SECTEUR : A0207PR26 CHAINAGE : 2+175



ANNEXE

C PLANS



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 •

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

*: 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 •

*: Date de la fin des travaux.

S: Rechargeement de sable en t.m./m.

G: Rechargement de gravillon en t.m./m.

EXCAV.: Rechargement avec surplus d'excavation en provenance du nouveau chenal de la Belle-Rivière en t.m/m³