

Programme de suivi de la mobilité des berges du tronçon fluvial du Saint-Laurent

Fiche portrait Mobilité-Trajectoire



Le cas des plages de l'Anse-Tibbits,
de la Baie de Beauport et du parc
Jacques-Cartier, région de Québec

Pour davantage d'informations sur l'étude et pour les références, veuillez consulter le rapport :
Bernier, J.-F., Meury, S. W. et Lajeunesse, P. 2024. Étude d'enjeux de mobilité des berges dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent. Laboratoire de géomorphologie Terre-Mer, Département de Géographie, Université Laval.



Fait saillant #1 - Effets limités des vagues

Contrairement au secteur maritime du Saint-Laurent, les agents géomorphologiques indépendants des vagues ont une plus grande influence dans les mouvements sédimentaires. Ainsi, la glace côtière est l'agent exportateur de sédiments le plus important de la région de Québec.



Fait saillant #2 - Systèmes hybrides

Les trois plages étudiées ont été coproduites par une combinaison d'interventions humaines historiques et récentes ainsi que de processus naturels.

Les plages urbaines de Québec présentent des bilans sédimentaires déficitaires qui le resteront de manière permanente sans aide supplémentaire.

Les nombreuses interventions ont altéré la relation de cause à effet entre les taux de migration du trait de côte et les événements hydrométéorologiques sévères.

Fait saillant #3 - Déficits sédimentaires

Fait saillant #4 - Causalité hasardeuse

Les plages urbaines de la région de Québec

Mise en contexte de l'enjeu



- La région de Québec est localisée à l'extrémité est de l'**estuaire fluvial du Saint-Laurent** et comporte un important cadre bâti riverain, où près de **40% des berges ont été modifiées** par les activités humaines.
- Ce secteur possède une **riche histoire liée à l'industrie maritime et portuaire** découlant de transformations majeures dans le paysage côtier de Québec et Lévis, et ce, surtout à partir du 19^e siècle.
- Aujourd'hui, quelques plages à **forte vocation récréotouristique** existent dans ce noyau urbain, mais elles semblent exposer une forte sensibilité aux conditions hydrologiques du régime fluvio-estuarien du Saint-Laurent.
- Une étude basée sur une **approche géomorphologique et géohistorique** portant sur trois plages de la région a ainsi été réalisée afin de (1) **mieux comprendre les facteurs naturels/humains passés et récents** qui contrôlent leur mobilité et (2) **contribuer à une gestion durable** de ces systèmes sédimentaires appréciés des citoyens.

1. La plage du parc de l'Anse-Tibbits (AT)

Cette plage localisée à Lévis, sur la rive sud du Saint-Laurent, est l'**une des seules plages sableuses** de la grande région de Québec. Elle montre une **discordance sédimentaire** avec la géologie locale. On peut aussi observer sur le site **plusieurs vestiges de son passé industriel**, tels que des structures en bois dégradées et des épaves, et une piste cyclable vulnérable au recul du trait de côte.



2. La plage de la Baie de Beauport (BB)

Localisée à l'extrémité d'un **promontoire empiétant sur près de 2 km** dans la baie de Beauport, cette plage, comme pour celle de l'Anse-Tibbits, représente une **discordance sédimentaire** avec la géologie locale. Elle se trouve également à proximité des activités industrielles du port de Québec.

3. Le parc de la Plage-Jacques-Cartier (JC)

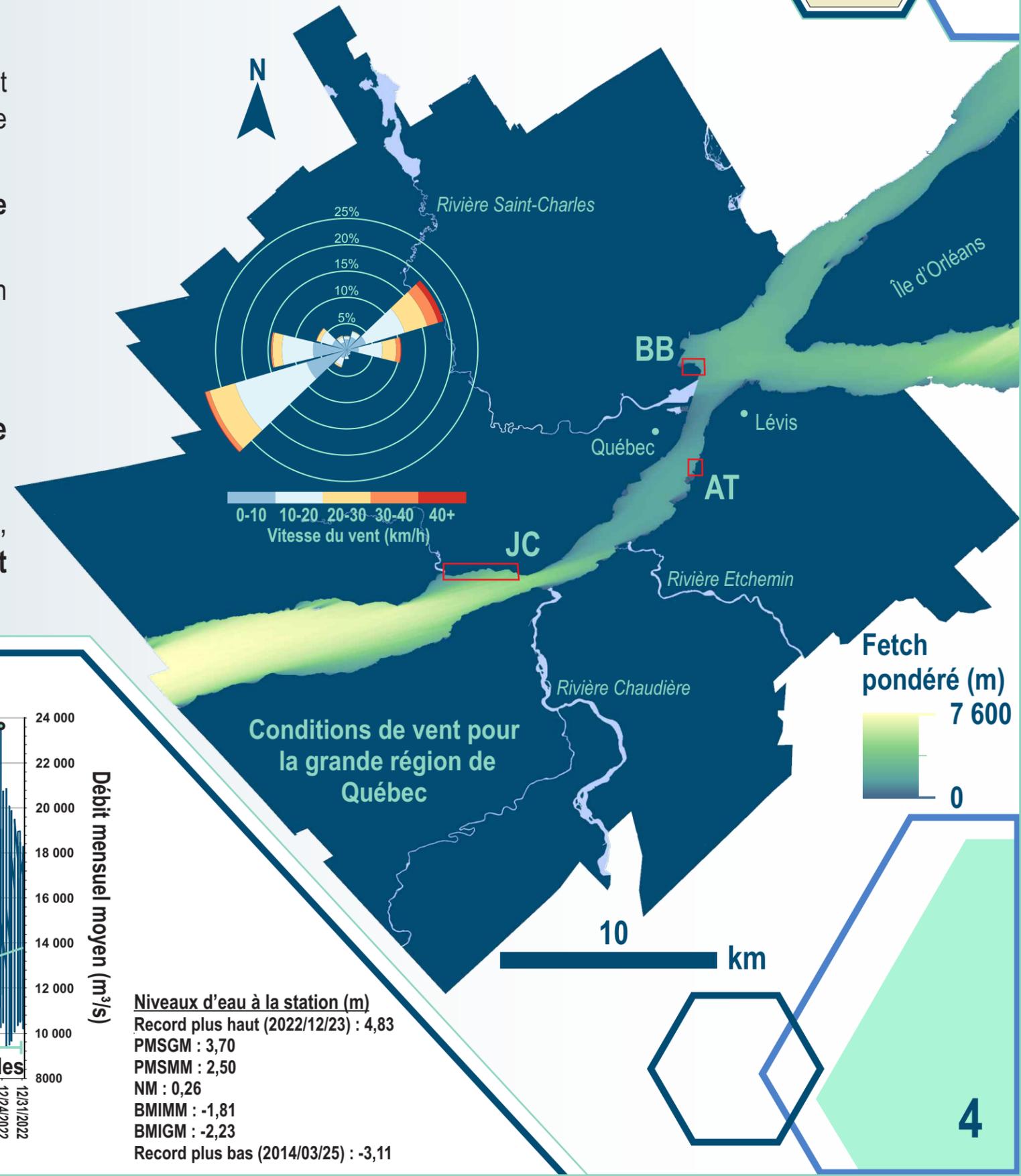
Cette plage **bordée d'une falaise rocheuse friable** fait partie d'un grand parc urbain très fréquenté par la population de la ville de Québec. **Plusieurs structures de protection** sont présentes le long du trait de côte, mais certaines sections demeurent non protégées et affichent des signes d'érosion.

Les plages urbaines de la région de Québec

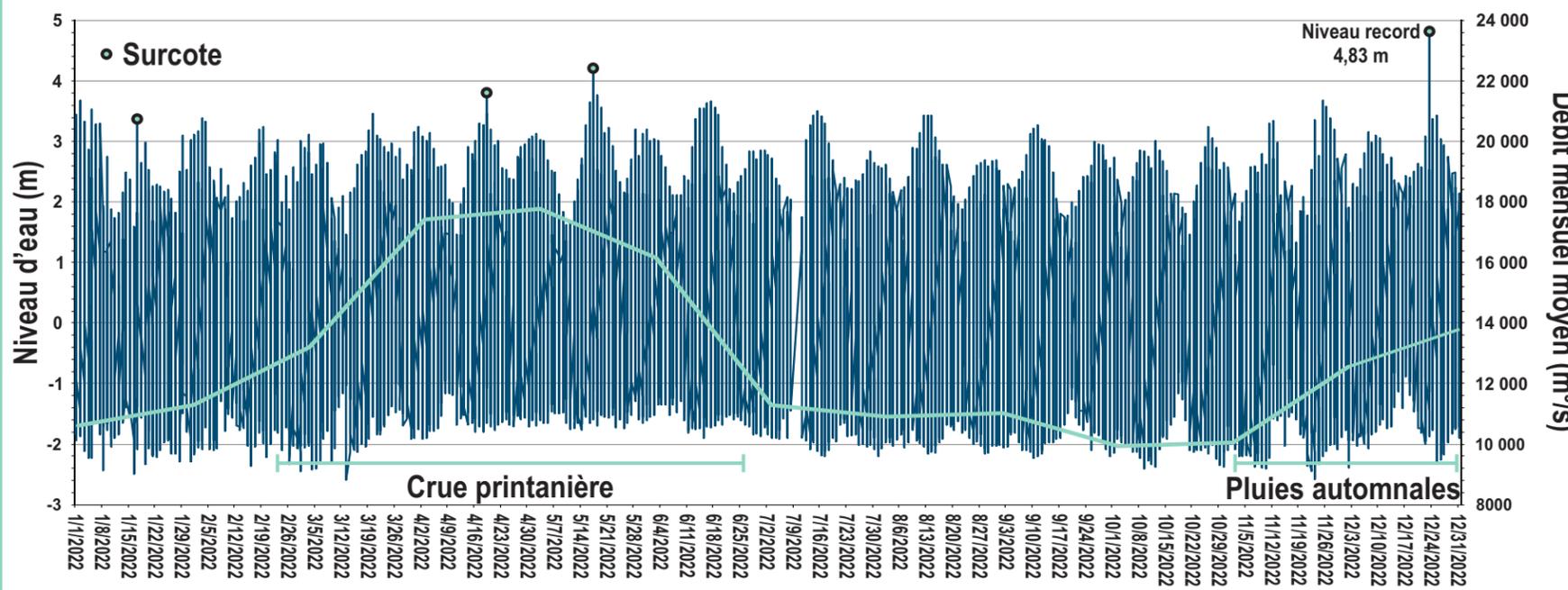
Contexte physique



- Les plages de la région de Québec sont régies par les mêmes facteurs de contrôles naturels :
 - Le fleuve a un **régime hydrologique nivo-pluvial**, c'est-à-dire deux augmentations du débit par année, une importante au printemps (fonte de la neige) et une plus faible à l'automne (pluies abondantes) ;
 - Des marées avec un **marnage moyen d'environ 4,5 m** et affectées par de **rars ondes de tempête** pouvant générer des surcotes >1 m (p. ex. le 23 décembre 2022) ;
 - Des vents dominants provenant majoritairement du sud-ouest et du nord-est dans un **environnement côtier à fetch très limité** qui contraint la croissance de vagues importantes ;
 - La présence de **glace côtière pendant près de 5 mois**, soit de décembre à avril.
- La physiographie locale est généralement caractérisée par de **larges battures bordées de falaises rocheuses** avec une géologie composée de **roche sédimentaire friable**.
- Les trois plages étudiées, surtout celles de l'Anse-Tibbits et de la Baie de Beauport, **contrastent avec cette physiographie**, ce qui suggère que des **activités humaines ont influencé leur formation et leur évolution**.



Marées et débit à Québec pour 2022



Niveaux d'eau à la station (m)
 Record plus haut (2022/12/23) : 4,83
 PMSGM : 3,70
 PMSMM : 2,50
 NM : 0,26
 BMIMM : -1,81
 BMIGM : -2,23
 Record plus bas (2014/03/25) : -3,11

Les plages urbaines de la région de Québec

Rose des vagues des trois sites pour 2022

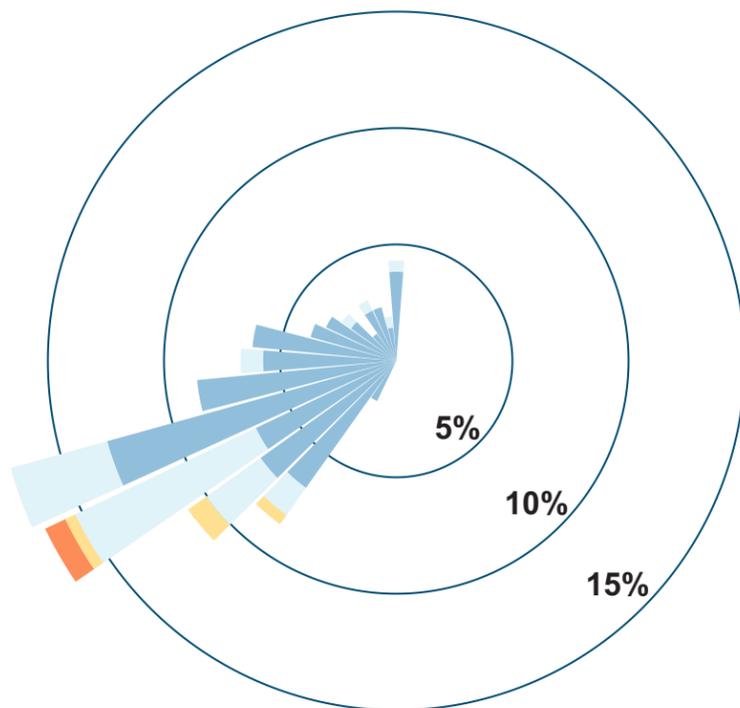


- La modélisation du **climat de vague** pour l'année 2022 démontre clairement les **effets d'un fetch limité** dans la région, avec des hauteurs significatives généralement de faible amplitude, c'est-à-dire avec une **majorité de valeurs < 30 cm**.
- La plus haute valeur estimée est liée à la **tempête du 23 décembre 2022** à la baie de Beauport, où une **hauteur de 1 m** a été suggérée par le modèle de vague. La surcote générée par cette onde de tempête combinée à une grande marée a également permis d'établir un **nouveau record de niveau d'eau** pour la région avec une valeur de 4,825 m d'altitude, à laquelle on peut ajouter la hauteur des vagues.
- Les roses des vagues illustrent bien l'impact d'une **orientation préférentielle** à des vents forts avec une Baie de Beauport davantage exposée aux **vents du nord-est** qui, malgré une fréquence plus faible que ceux du sud-ouest, sont caractérisés plus souvent par des vitesses soutenues >30 km/h.

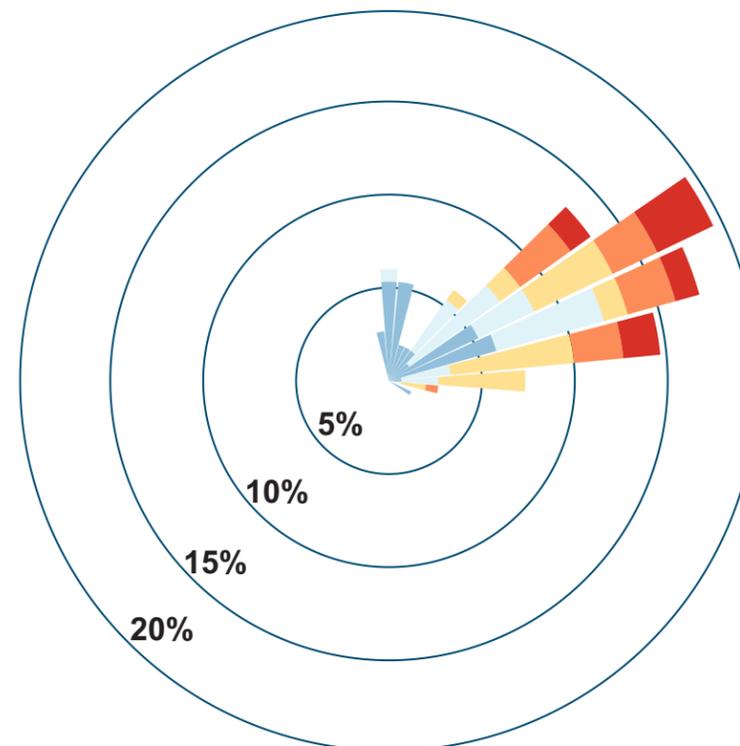


Rose des vagues pour 2022

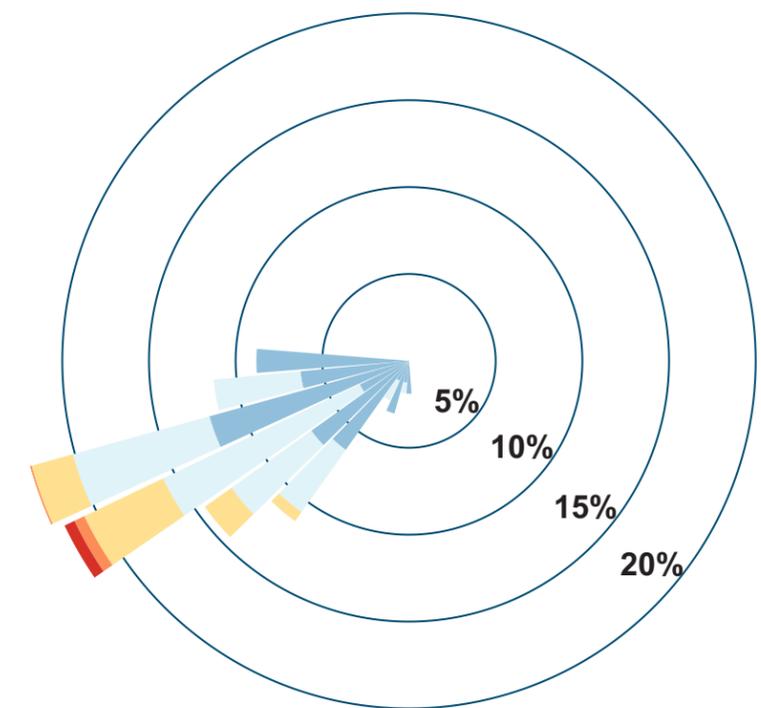
Anse-Tibbits



Baie de Beauport



Jacques-Cartier



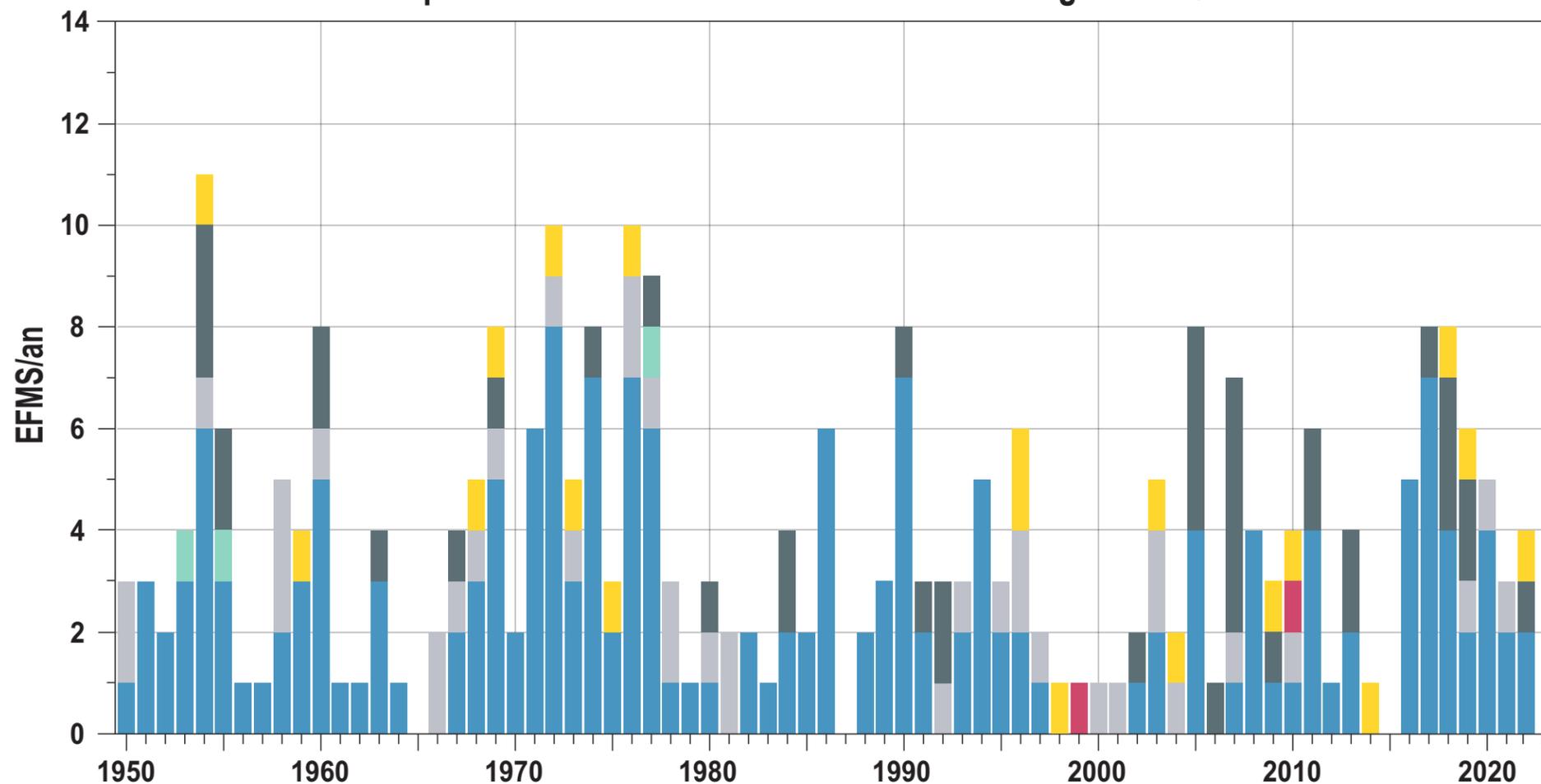
Les plages urbaines de la région de Québec

Événements à forte mobilité sédimentaire



- Depuis 1950, 280 « événements à forte mobilité sédimentaire (EFMS) » ont été comptabilisés selon les valeurs-seuils. Ces EFMS correspondraient donc à de potentiels moments où une migration notable du trait de côte aurait pu se produire sur chacun des sites.
- Les périodes 1966-1977 et post-2015 possèdent de fortes concentrations d'événements, des périodes également marquées par des inondations printanières extrêmes.
- En fait, la **répartition saisonnière** de l'ensemble des EFMS est étroitement **liée au régime hydrologique nivo-pluvial** du Saint-Laurent, où près de 60% des EFMS recensés se produisent pendant la crue printanière (entre mars et juin) et que 36% se produisent à l'automne (entre octobre et décembre).
- Ainsi, les EFMS sont dominés par une **fréquence élevée de hauts niveaux d'eau**, puis suivis de ceux combinant des hauts niveaux d'eau avec une glace non ancrée.
- Les événements comprenant des **vents forts sont extrêmement rares**, dans le cas des plages de l'Anse-Tibbits et Jacques-Cartier avec 5 occurrences en près de 70 ans, alors que la plage de la **Baie de Beauport est plus exposée** avec 61 occurrences pour la même période, dont la tempête du 23 décembre 2022. La **hauteur significative des vagues serait demeurée toutefois plutôt faible** lors de la majorité de ces événements.

Fréquence des EFMS de 1950 à 2023 dans la région de Québec



Valeurs-seuils



> 3,70 m



07/12 - 31/12
17/03 - 07/04



Fetch efficace :

AT = 220-250°

JC = 220-260°

BB = 40 - 100°

& Vent > 29 km/h

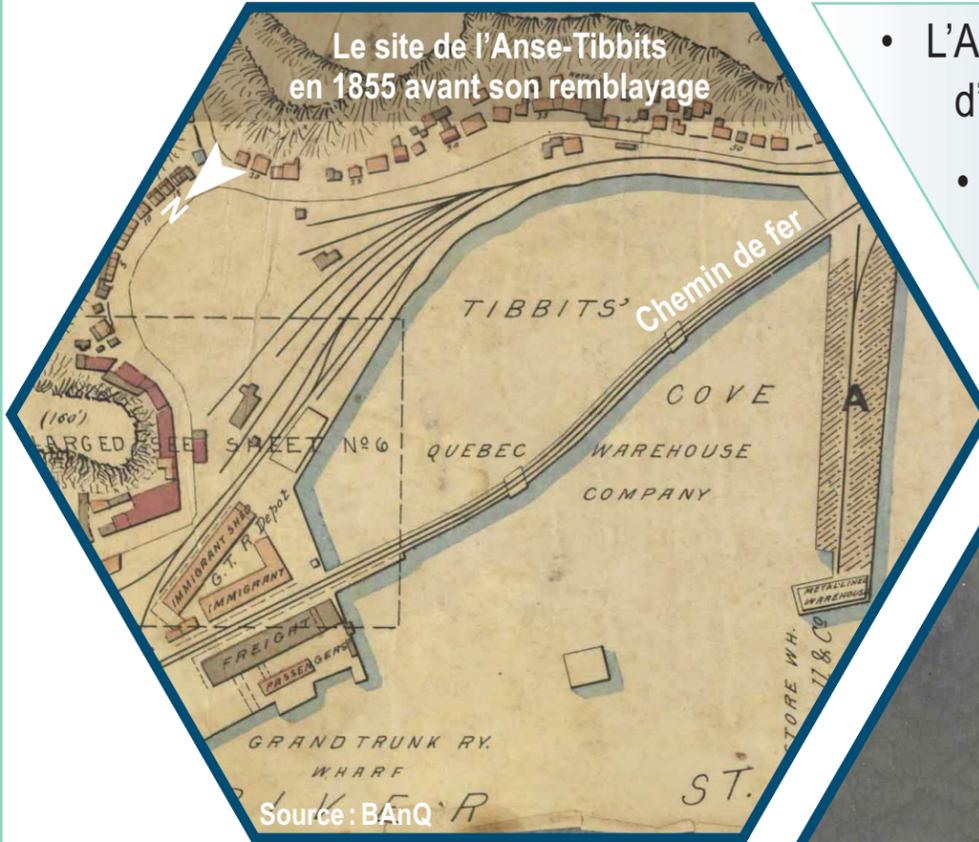


Tous les facteurs combinés
(BB / AT et JC)

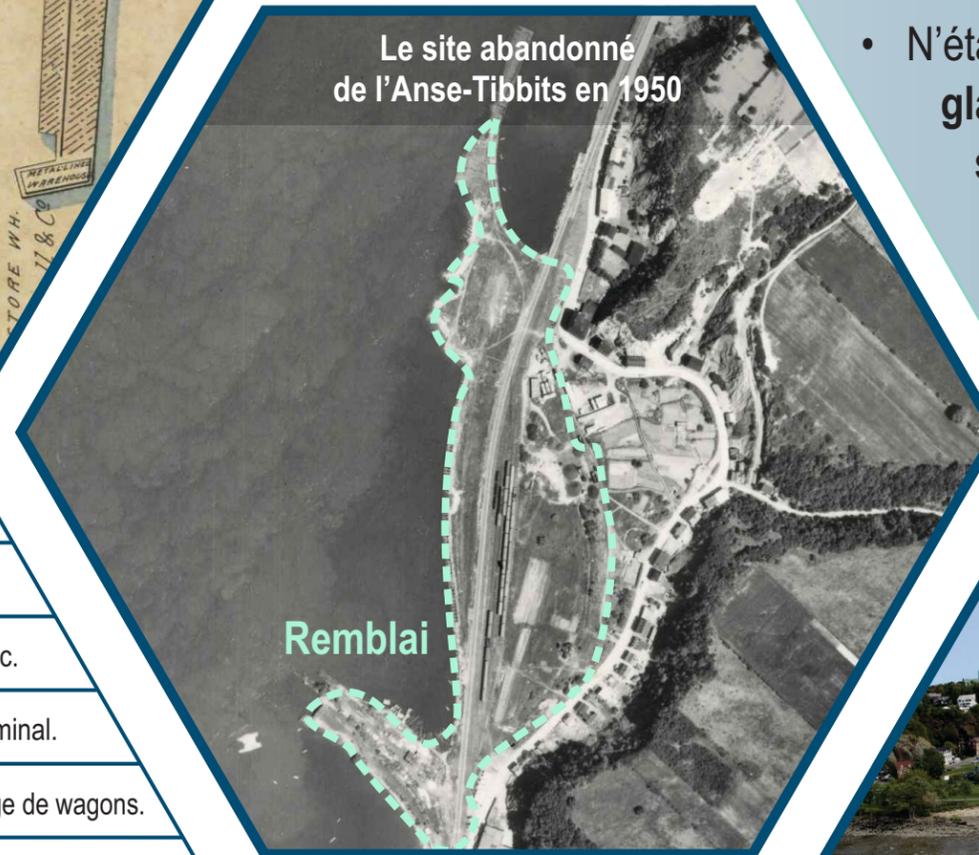
- Les conditions fluvio-estuariennes de la région, marquées par une influence limitée des vents forts, causeraient donc **davantage de mouvements du trait de côte au printemps**.

Les plages urbaines de la région de Québec

Résumé historique de la plage de l'Anse-Tibbits



- L'Anse-Tibbits a été le chantier de **nombreuses interventions humaines depuis le 19^e siècle**. En fait, avant d'être modifiée par d'importants aménagements, **l'anse ne contenait aucune plage sableuse**.
- En développant une **vocation industrielle**, le site fut grandement modifié pour répondre aux besoins du secteur ferroviaire, dont un **remblayage complet de l'anse** en 1870 derrière le chemin de fer préexistant.
- Par manque d'espace, le secteur fut **progressivement délaissé** par la compagnie ferroviaire du Grand-Tronc et les activités ont été déplacées vers l'intérieur des terres.
- N'étant plus entretenue, l'ancienne structure du chemin de fer a été **dégradée par la glace côtière** et une brèche est apparue dans la structure vers 1950. Cette brèche s'agrandit au fil du temps et exposa davantage le **remblai qui permit la formation d'une plage sableuse** dans l'anse.
- Au tournant des années 1990, la plage **développe une importante vocation récréotouristique**. Plusieurs interventions seront par la suite réalisées dans l'objectif de renforcer cette nouvelle vocation.

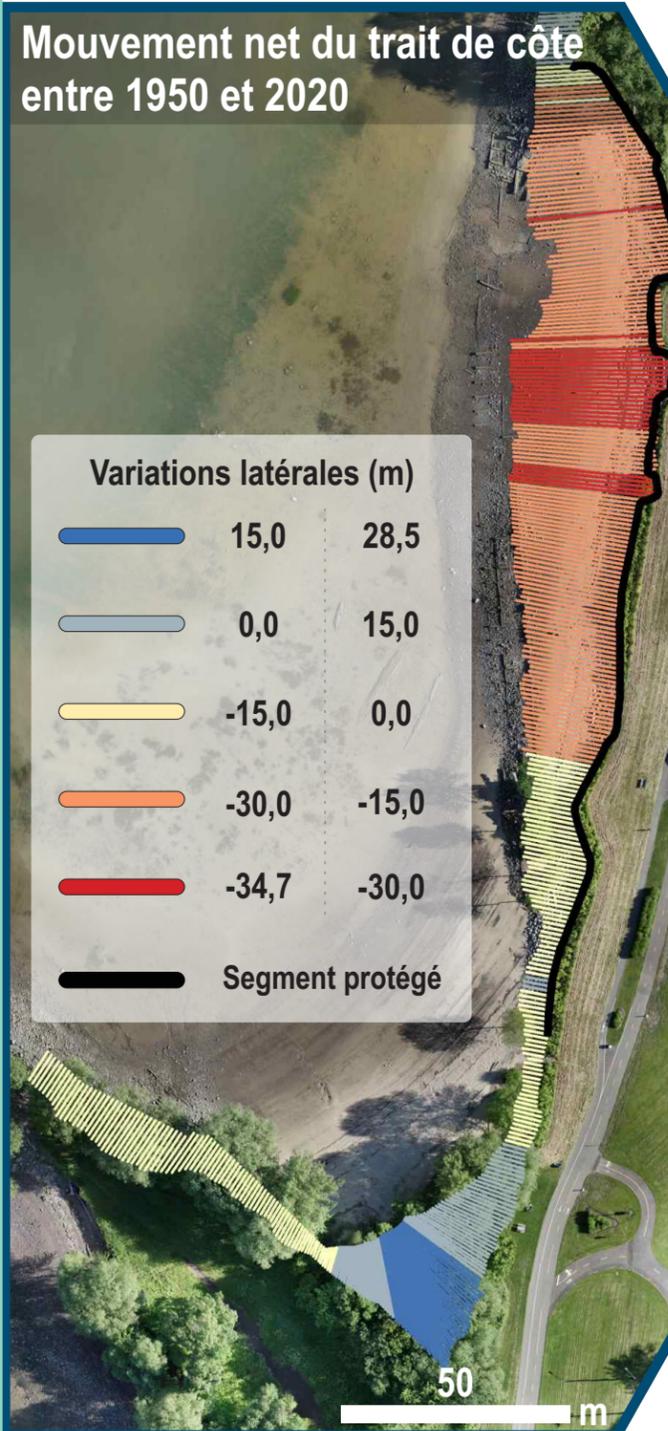


Date	Interventions significatives
19 ^e s.	Aménagement de deux quais de marchandises.
1855	Construction du terminal de chemin de fer du Grand-Tronc.
1870	Remblayage de l'ensemble de l'anse pour agrandir le terminal.
1889	Transfert des activités ferroviaires ; le site sert d'entrepôt de wagons.
1914	Abandon et arrêt de l'entretien des structures par le Grand-Tronc.
1996	Retrait de poutres de l'ancienne structure du chemin de fer pour faciliter l'accès à la nouvelle plage ; plantation d'une végétation arbustive et d'arborescente au sommet de la plage.
1998	Changement de vocation du site alors qu'il est converti en parc municipal.
2001	Développement d'une piste cyclable sur l'ancien tracé ferroviaire du Grand-Tronc.
2001	Retrait de la végétation s'étant développée le long de la plage afin de créer des ouvertures visuelles sur le fleuve et sur Québec.
2020	Enrochement de la portion nord de la plage suite à des épisodes de recul importants.

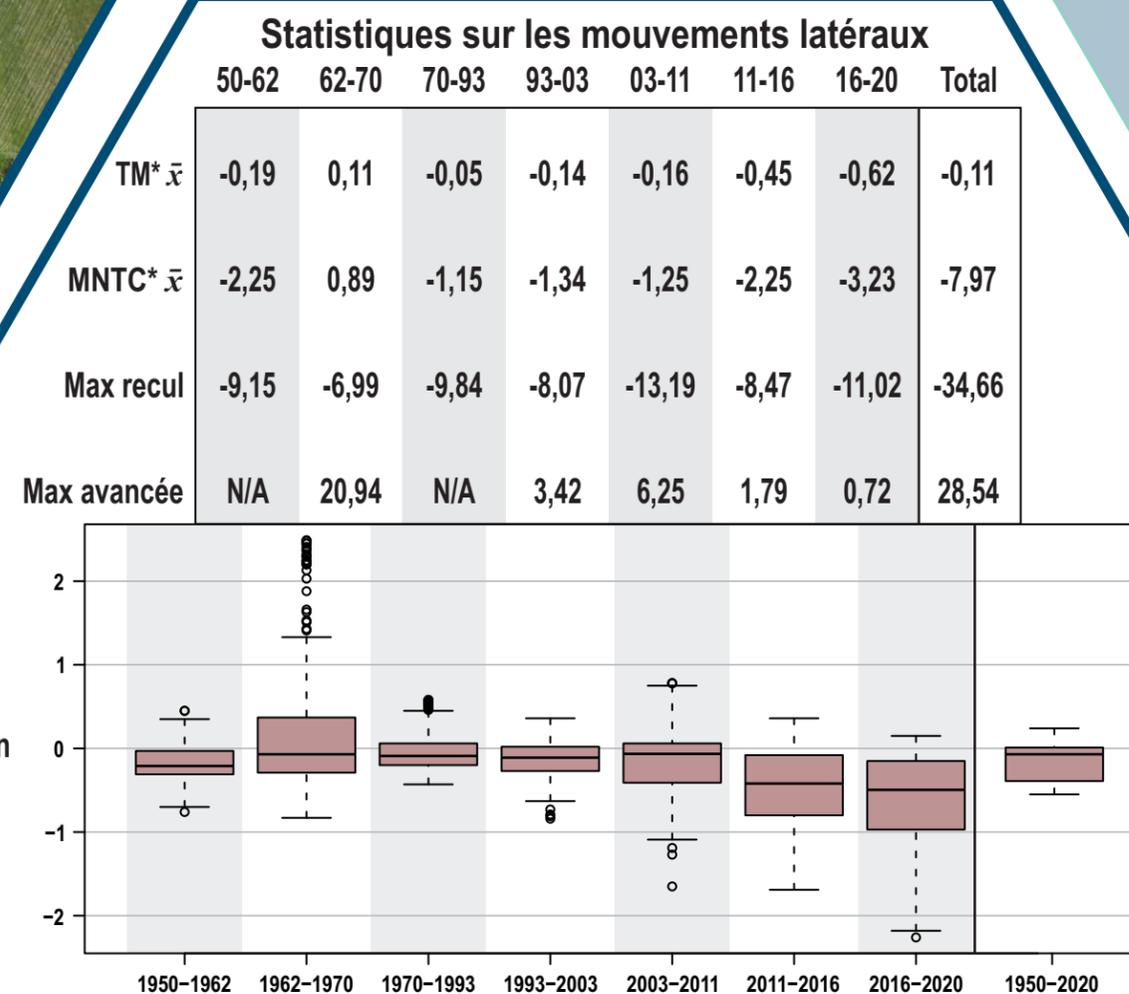
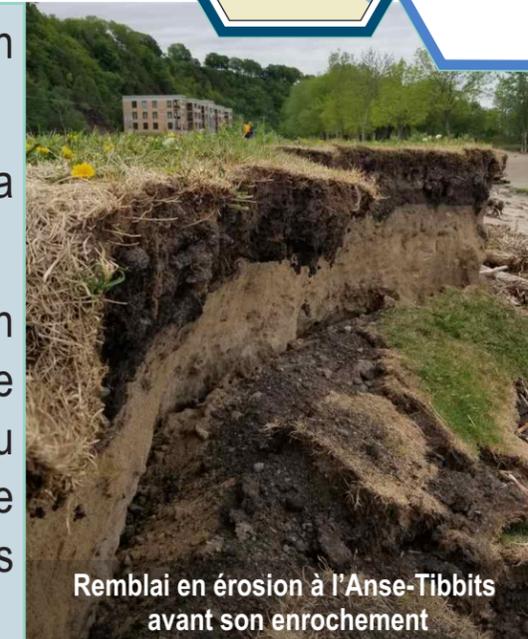
- Suite à une importante période de recul associée aux hauts niveaux d'eau de 2017 et 2019, la **plage a été enrochée** pour protéger la piste cyclable à proximité.

Les plages urbaines de la région de Québec

Évolution latérale de la plage de l'Anse-Tibbits



- À partir de 1950, le **trait de côte du site a généralement reculé**, et ce, jusqu'à son enrochement en novembre 2020. Le secteur le plus affecté a subi un déplacement maximum d'environ -35 m en 70 ans.
- À l'inverse, la **portion sud du site a avancé** d'une vingtaine de mètres lors du développement de la plage, entre 1962 et 1970, pour ensuite atteindre un équilibre relatif jusqu'à aujourd'hui.
- Avant son enrochement, le trait de côte en recul correspondait à un talus vertical composé d'un **remblai sableux facilement remobilisable** par les processus hydrologiques. Il était même possible d'y voir une strate de charbon à son sommet, témoin du passé ferroviaire du site. Au printemps, le talus présentait plusieurs lambeaux de terrain en porte-à-faux, lesquels se détachaient progressivement au courant de l'été suivant pour ensuite être évacués par les grandes marées à l'automne.



- Un **taux moyen de migration constant** d'environ -0,15 m/année a été observé pour les intervalles étudiés **entre 1950 et 2011**, malgré une forte concentration de EFMS entre 1966 et 1977.
- Une **augmentation des taux de migration** s'est enclenchée **à partir de 2003**, alors qu'entre 2003 et 2016 les EFMS ont été peu fréquents. À l'inverse, beaucoup d'EFMS ont été observés entre 2016-2020 et les plus grands mouvements y ont également été notés.
- En bref, la comparaison historique et récente entre les mouvements latéraux et les EFMS expose une **causalité hasardeuse**. Cette observation suggère que les **interventions humaines** à partir de 1996 sont venues **influencer la sensibilité** de la berge et, par le fait même, sa vitesse de migration au tournant des années 2000.

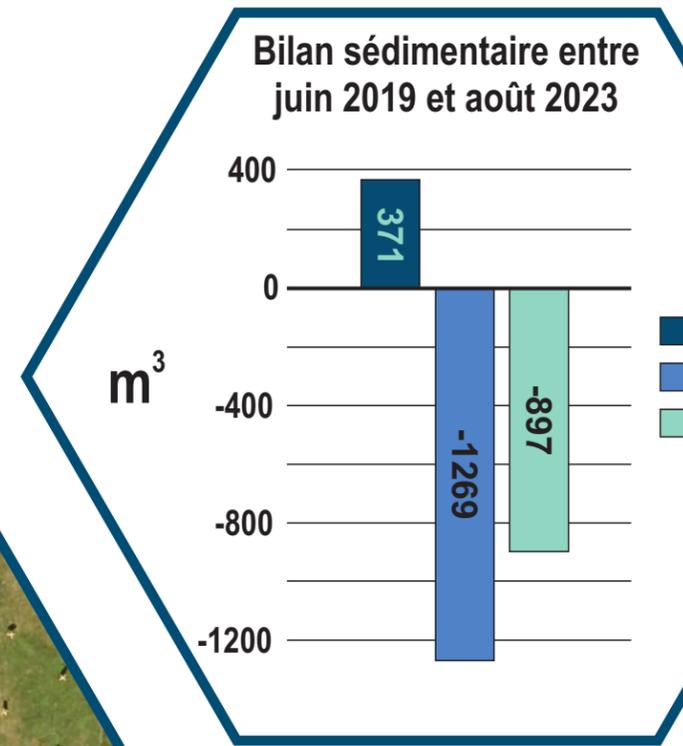
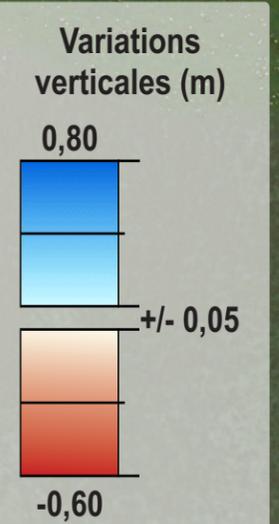
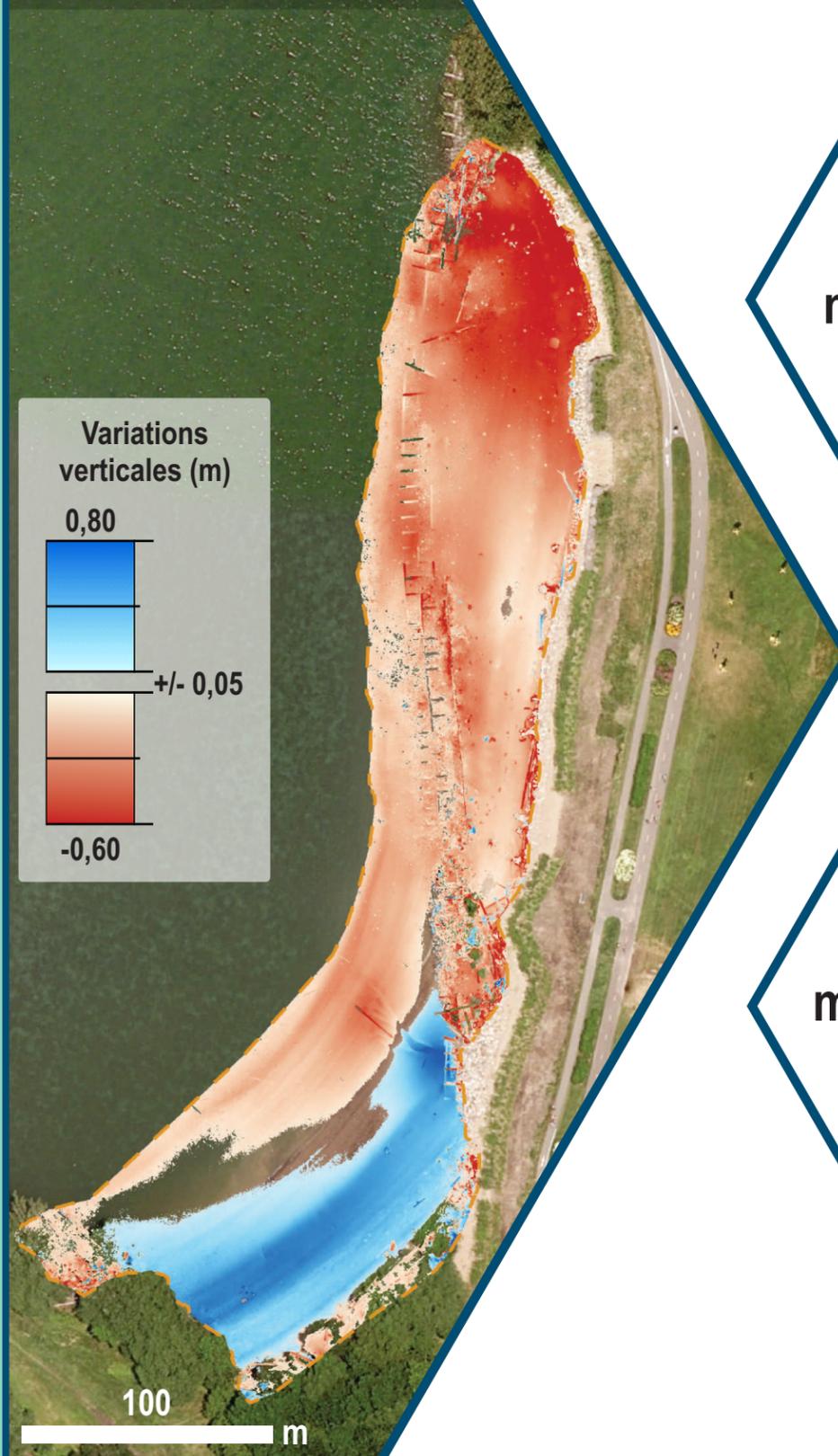
*TM: Taux de migration
 *MNTC: Mouvement net du trait de côte
 \bar{x} : Moyenne

Les plages urbaines de la région de Québec

Évolution verticale de la plage de l'Anse-Tibbits

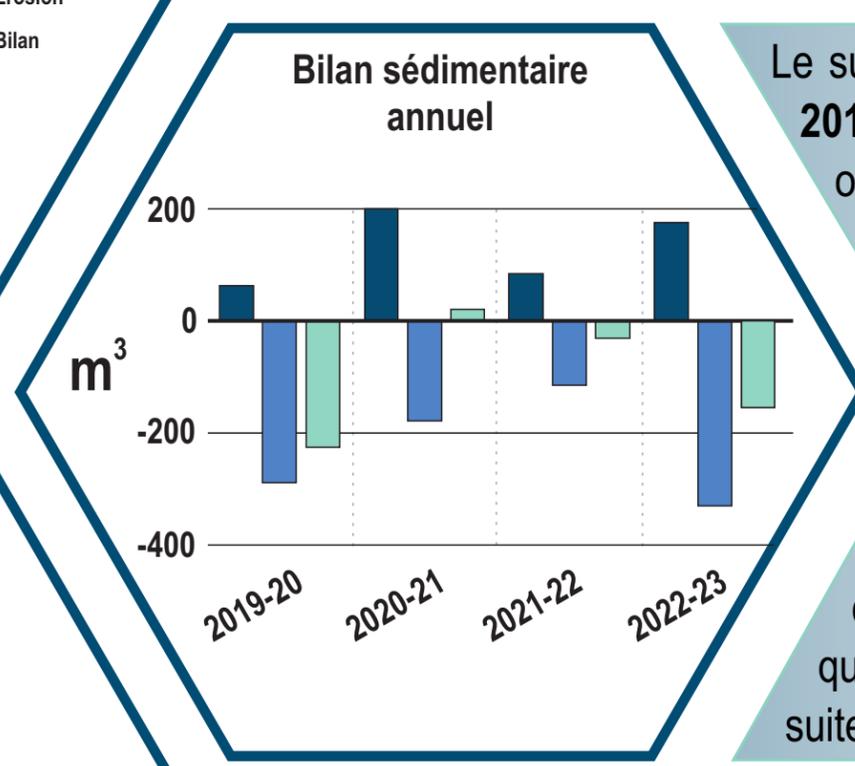
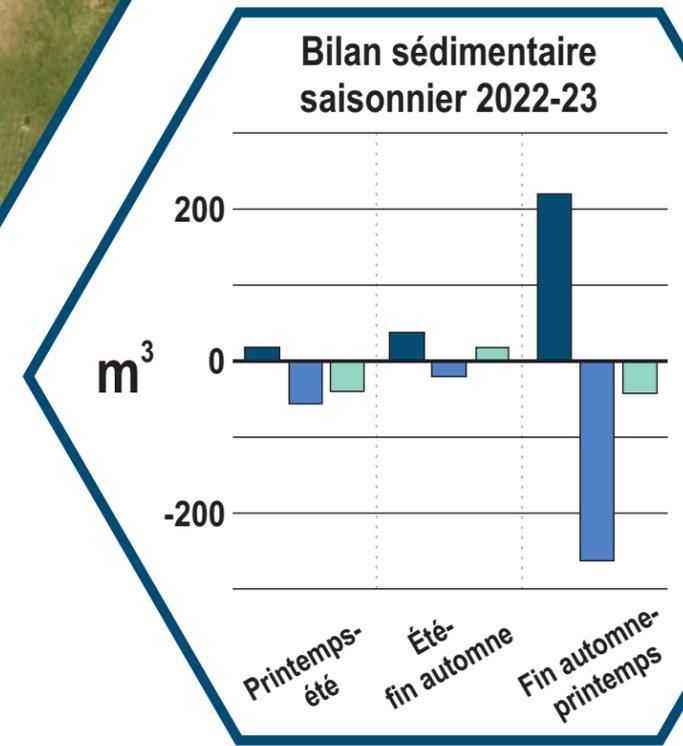


Évolution verticale
entre juin 2019 et
août 2023



Entre juin 2019 et août 2023, un abaissement moyen de la plage d'environ $-2,1 \text{ cm/m}^2/\text{an}$ a été observé, ce qui représente une perte d'environ 900 m^3 de sédiment.

Comme pour l'érosion latérale, l'**érosion verticale** s'est principalement produite **dans la portion nord**, alors qu'une partie de ces sédiments a été transportée sur la portion sud de la plage.



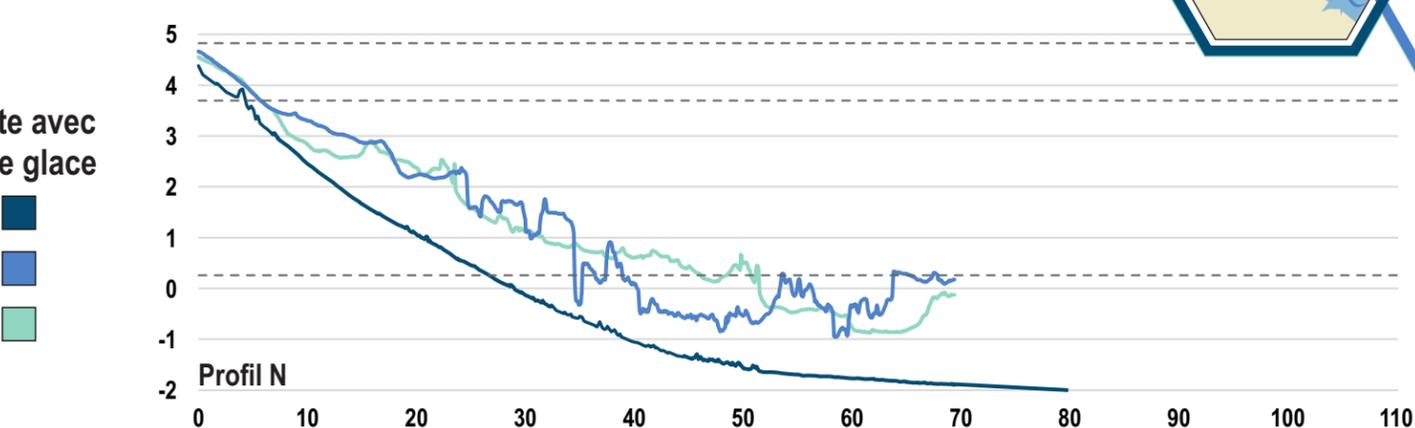
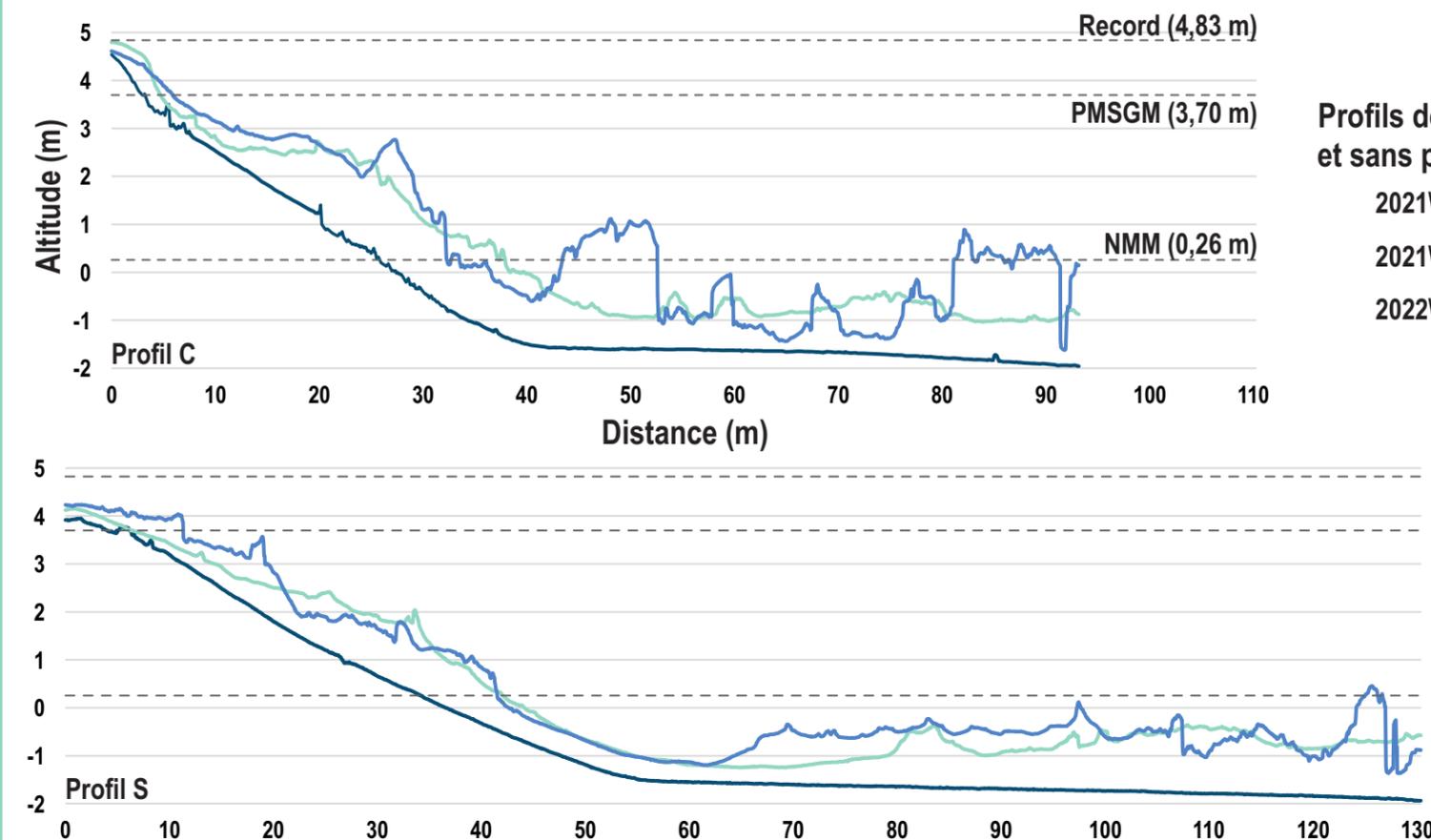
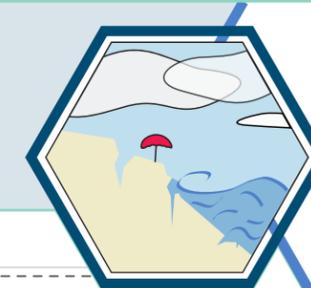
Le suivi expose une **tendance négative entre 2019 et 2023**, mais un ralentissement a été observé en 2020. Lors de sa construction, l'enrochement a été entièrement couvert de sable, ce qui a temporairement permis au système d'avoir un bilan équilibré.

La tendance érosive reprend de manière importante après 2022, puisque l'**enrochement bloque désormais le seul apport sédimentaire** qui permettait à la plage de se réorganiser suite à une perturbation, comme un EFMS.

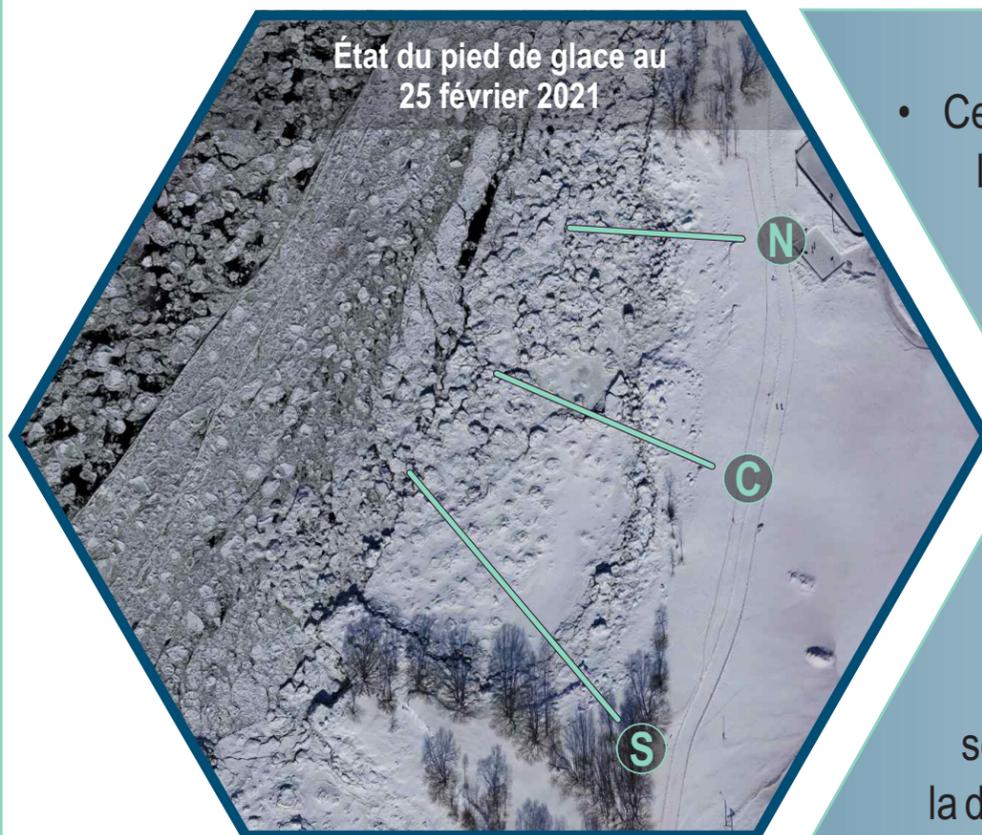
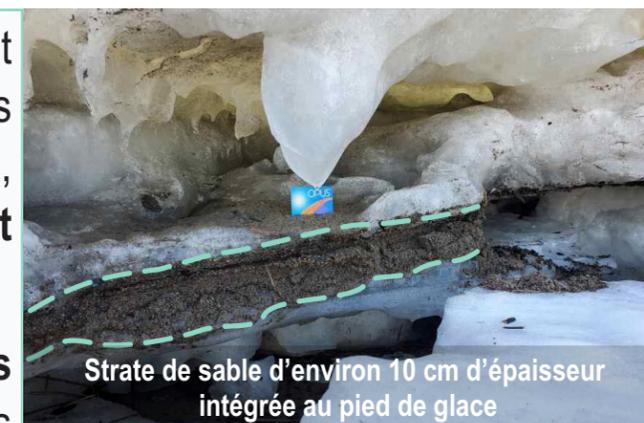
Finalement, le suivi saisonnier démontre que la majorité des mouvements sédimentaires sur la plage se sont produits entre la fin de l'automne et le début du printemps. Ce constat met en lumière l'**important rôle que la glace peut avoir comme agent géomorphologique** sur la plage de l'Anse-Tibbits.

Les plages urbaines de la région de Québec

Impact de la glace côtière sur la plage de l'Anse-Tibbits



- La glace côtière est un agent géomorphologique majeur dans les environnements sédimentaires froids, mais ses **propriétés physiques peuvent grandement varier interannuellement.**
- Les hivers de 2020-21 et 2021-22 ont été très **contrastés**, soit un hiver 2020-21 qui a été plus chaud que la moyenne 1980-2010, alors que le second s'est situé près de la moyenne.



- Cette variation interannuelle des conditions hivernales a généré des **pieds de glace avec des propriétés bien différentes** entre les deux années. Par exemple, une **morphologie de surface plus accidentée** et une **glace côtière plus sensible aux événements hydrométéorologiques** ont été observées pendant l'hiver 2020-21 comparativement à l'hiver 2021-22.
- Il a aussi été constaté que la **croissance du pied de glace pendant les hivers plus froids pouvait être favorisée par de hauts niveaux d'eau** qui submergent la glace. Ce processus permet d'augmenter son épaisseur en intégrant la neige à la glace et de combler les nombreuses crevasses, ce qui améliore, par le fait même, sa résistance mécanique aux événements hydrométéorologiques.
- Enfin, le suivi topographique avant et après ces saisons hivernales a permis de démontrer que les **processus glaciels ont exporté près de trois fois plus de sédiments lors d'un hiver froid que lors d'un hiver doux.** Pendant un hiver froid, une plus grande quantité de sédiments serait en fait intégrée à la base de la glace avant d'être exportée par les radeaux de glace lors de la débâcle printanière.

Les plages urbaines de la région de Québec

Résumé historique de la plage de la Baie de Beauport



Le littoral de Québec et de la Baie de Beauport en 1761

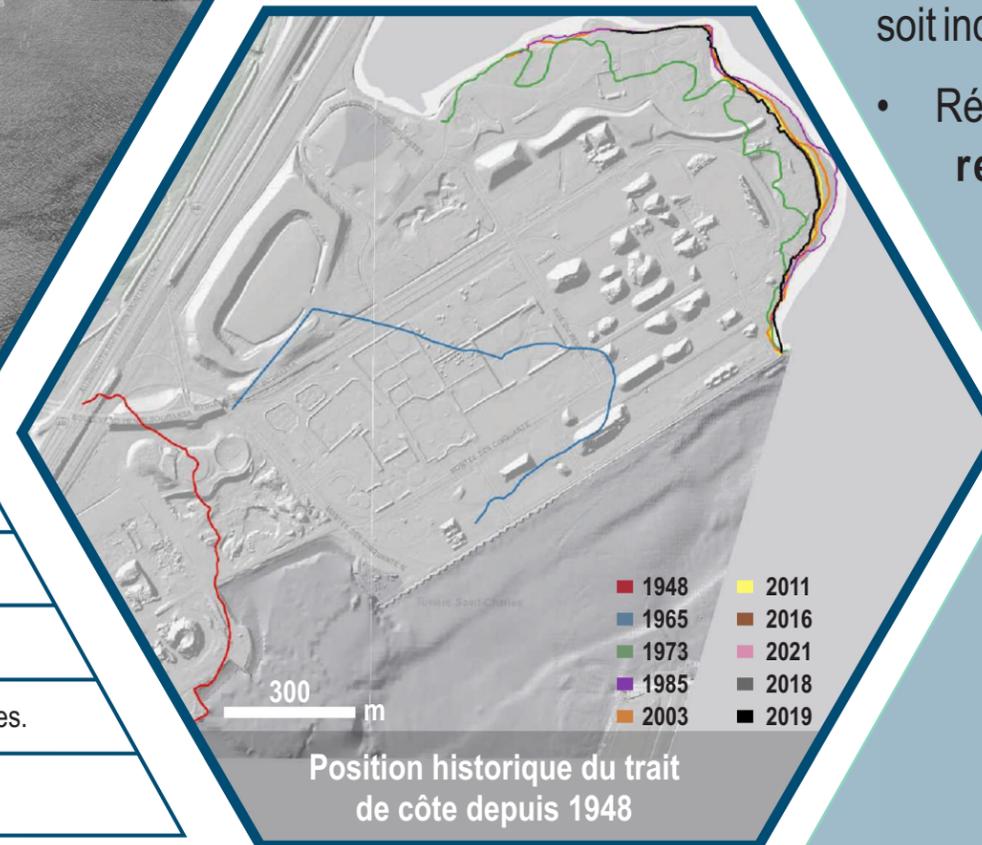
Source : BAnQ

- L'ensemble du secteur abritant aujourd'hui la plage et le port de Québec fut **remblayé entre 1948 et 1985 avec des dépôts de dragage** provenant du Saint-Laurent sur **près de 2 km de long par 1 km de largeur**.
- **Aucune plage n'était présente** dans ce secteur avant que cet **empiètement dans la Baie de Beauport** ne soit terminé dans les années 1980 ; le site d'origine était plutôt caractérisé par de riches marais intertidaux.
- C'est la **remobilisation de ce remblai par le fleuve** qui entraîna la **formation d'une plage** à l'extrémité du promontoire à la fin des années 1980.



État du remblayage de la baie en 1965

- Le promontoire fut **enroché lors de différentes périodes** dans l'objectif de stabiliser ses limites qui répondaient rapidement aux processus de transport sédimentaire, tel que démontré par la formation d'une flèche sableuse à son extrémité nord-ouest.
- Avec peu d'accès à des plages sableuses dans la région de Québec, la plage est rapidement devenue un secteur apprécié des locaux. Plusieurs **interventions ont ensuite été menées pour développer le secteur** qui possède désormais une double vocation, soit industrielle et récréotouristique.



Position historique du trait de côte depuis 1948

- Récemment, des **interventions de remblayage ont encore été réalisées** sur le site afin d'entretenir l'état et la position du trait de côte.

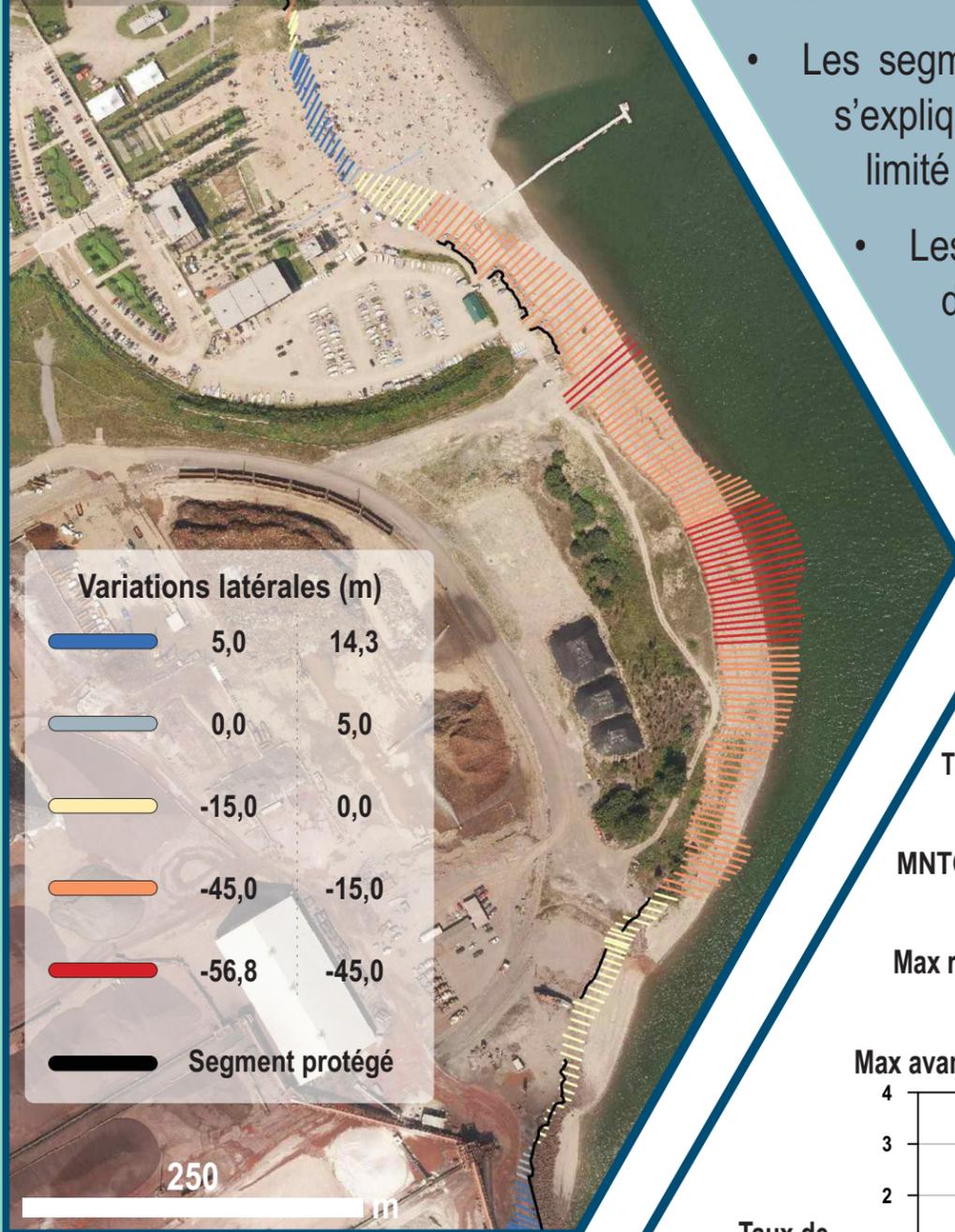
Date	Interventions significatives
1985	Fin de la mise en place du remblai avec les dépôts de dragage.
1985	Remblayage et apparition d'un enrochement d'environ 200 m à partir de l'extrémité du quai 53.
1985	Premier accès à la plage par une route.
1985	Apparition d'un enrochement sur la section nord de la plage d'environ 200 mètres.
2016	Avancée, renforcement et prolongement de l'enrochement du quai 53.
2016	Apparition de segments d'enrochement en face du stationnement à embarcations nautiques.
2018	Modification de l'emplacement des enrochements de 2016 avec des blocs de plus gros gabarit et ajout de segments dans le même secteur.
2018	Disparition de la végétation herbacée et arbustive au centre de la plage.
2021	Prolongement d'environ 50 mètres de l'enrochement du secteur nord vers la droite pour la mise en place du nichoir à hirondelles.
2021	Des dépôts de remblai ont été mis à certains endroits sur le littoral pour réduire la pente du talus en érosion depuis 1985.

Les plages urbaines de la région de Québec

Évolution latérale de la plage de la Baie de Beauport



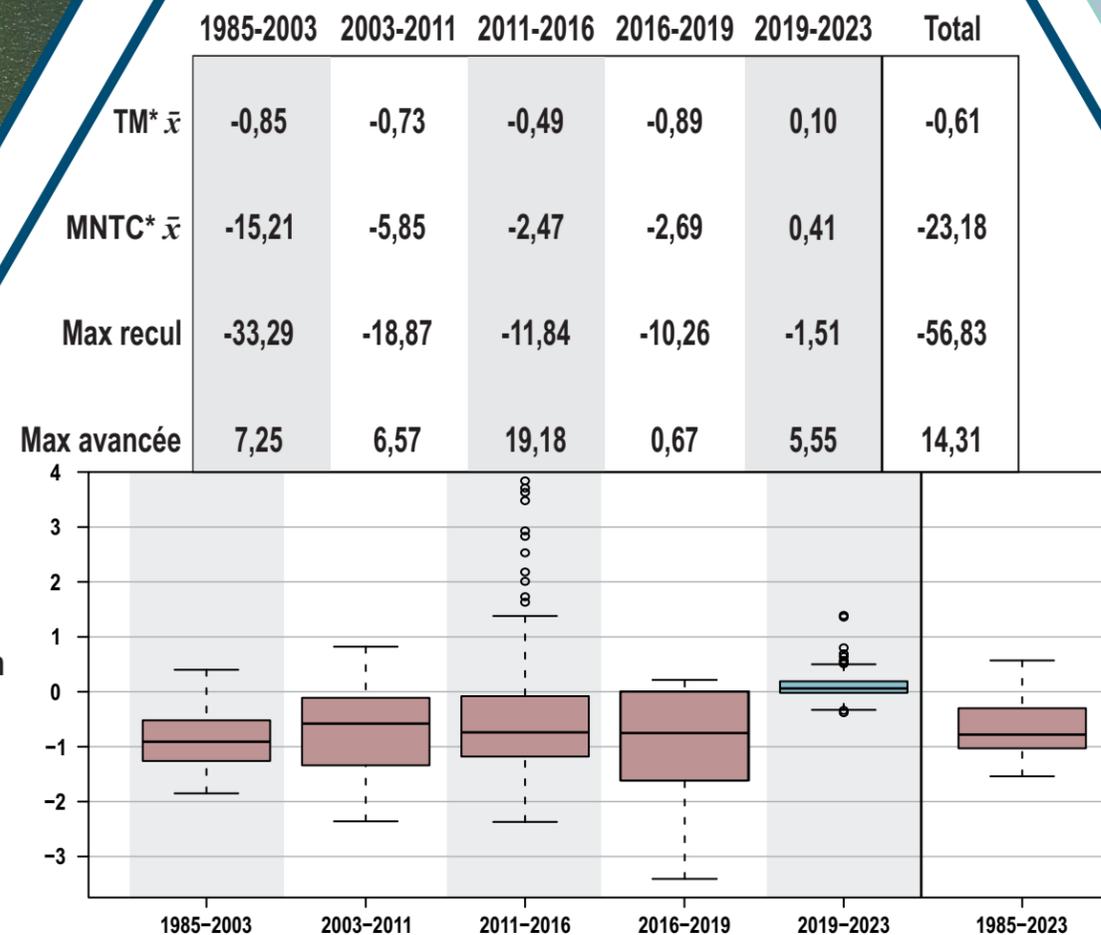
Mouvement net du trait de côte entre 1985 et 2023



- Entre 1985 et 2023, l'est du promontoire affiche d'importants déplacements latéraux pouvant atteindre un maximum de -57 m en seulement 39 ans, soit la plus grande valeur observée sur les trois sites analysés.
- Les segments localisés aux extrémités montrent des valeurs beaucoup plus faibles, ce qui s'explique par le fait que ces segments ont pour la plupart été enrochés depuis 1985 et ont ainsi limité les mouvements latéraux du trait de côte.
- Les taux moyens de migration sont également les plus élevés parmi les trois plages avec des valeurs qui varient entre -0,5 et -0,9 m entre 1985 et 2019, ce qui confirme que cette plage est la plus active des trois étudiées. Ce constat est cohérent avec son exposition beaucoup plus grande aux EFMS composés de vents forts, qui ont été identifiés 12 fois plus souvent que sur les deux autres plages.



Statistiques sur les mouvements latéraux



- L'intervalle de 2019-2023 expose une exception à la tendance négative avec un taux de déplacement latéral positif, lequel s'explique par l'ajout de remblai au niveau du trait de côte sur une bonne partie du site afin de rétablir la perte de terrain suivant les nombreux EFMS entre 2016 et 2019.
- Comme pour l'Anse-Tibbits, l'intervalle 2016-2019 a été marqué par les plus grands mouvements latéraux, et ce, malgré le prolongement d'enrochements entre 2016 et 2018. La fréquence élevée d'EFMS incluant des vents forts semble grandement avoir contribué à ces mouvements.
- En bref, le trait de côte de la plage de la Baie de Beauport montre une très grande sensibilité aux EFMS, et ce, depuis le début de son existence, contrairement aux deux autres plages.

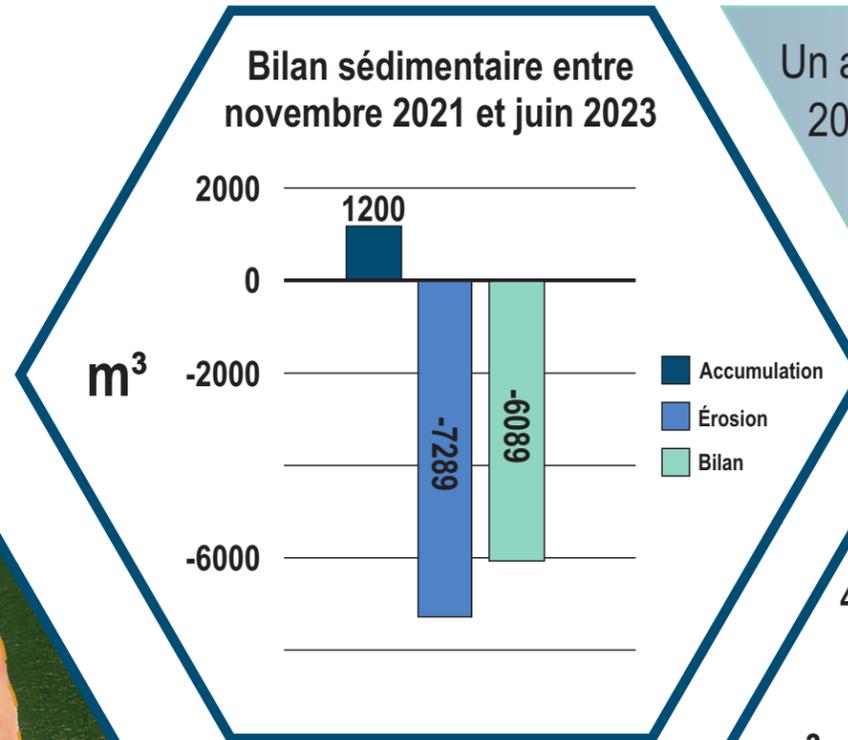
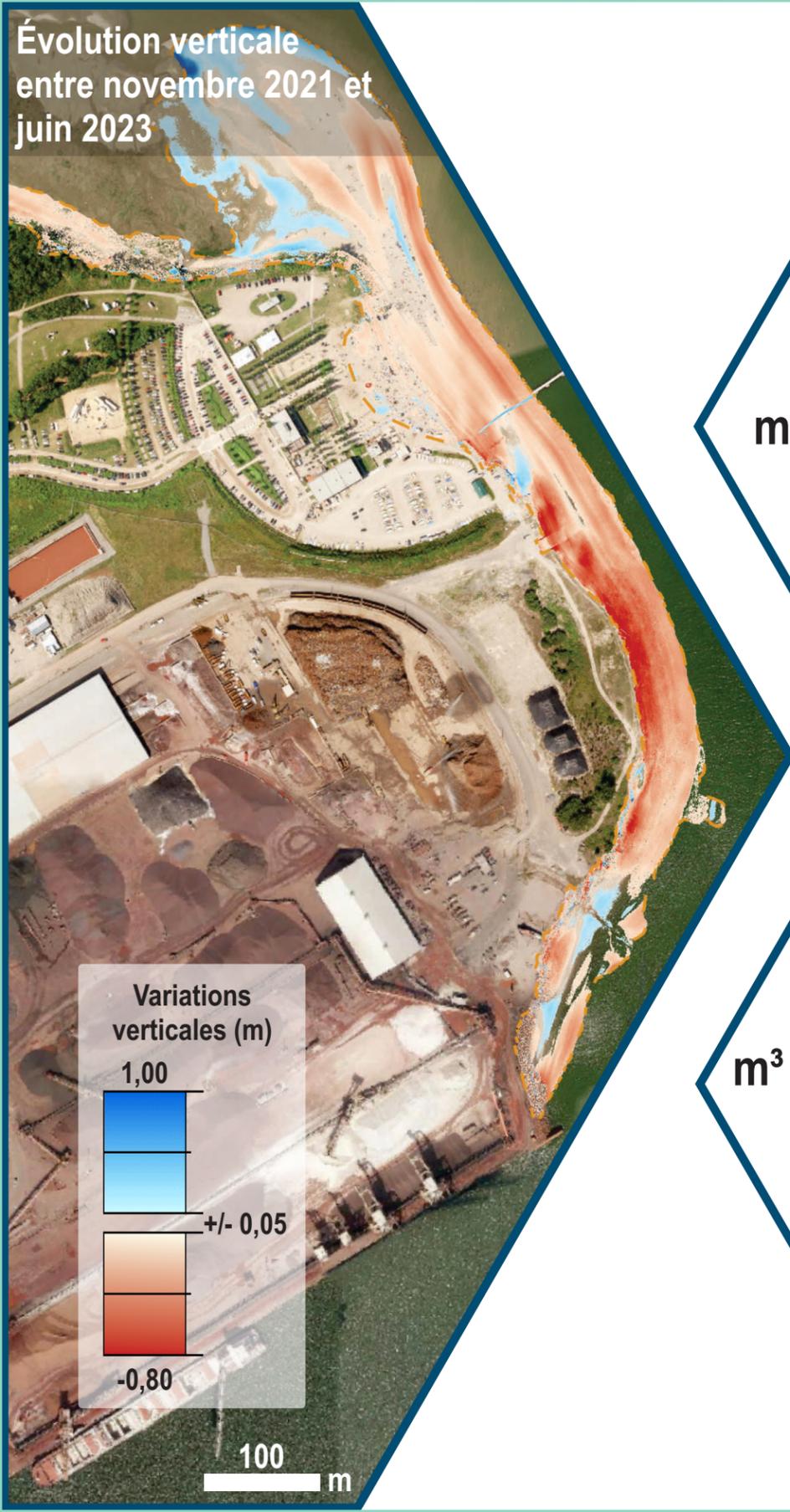
*TM: Taux de migration
*MNTC: Mouvement net du trait de côte
 \bar{x} : Moyenne

Les plages urbaines de la région de Québec

Évolution verticale de la plage de la Baie de Beauport

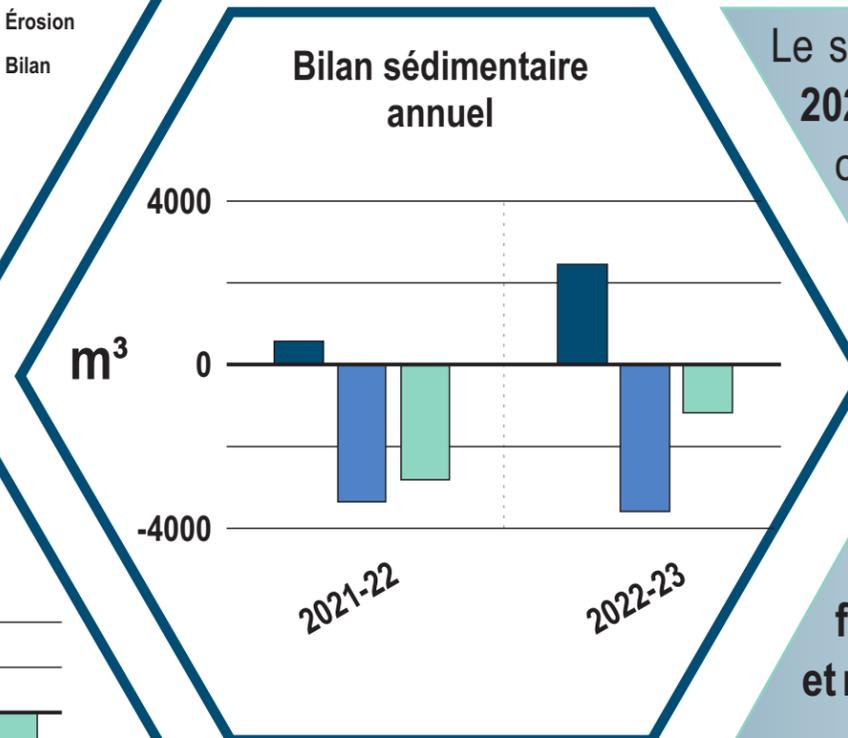
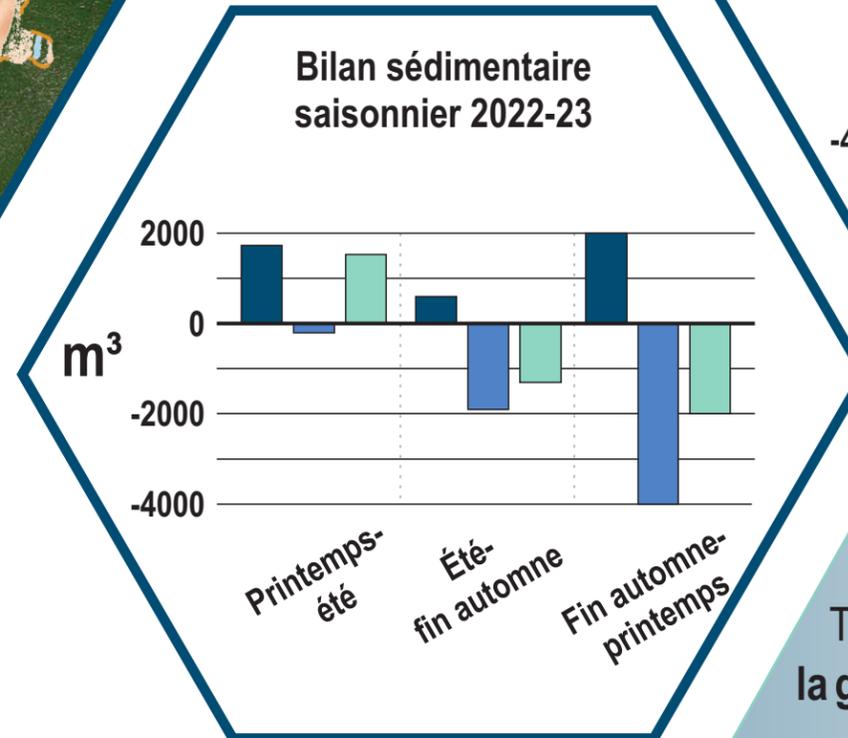


Évolution verticale entre novembre 2021 et juin 2023



Un abaissement moyen de la plage d'environ $-4 \text{ cm/m}^2/\text{an}$ a été observé entre novembre 2021 et juin 2023, ce qui représente une perte d'environ 6089 m^3 de sédiment.

L'érosion verticale s'est généralement produite dans la partie est, alors qu'une **partie de ces sédiments a transité vers le nord-ouest**. Cet échange serait à l'**origine de la flèche sableuse** qui progresse encore dans cette direction aujourd'hui.



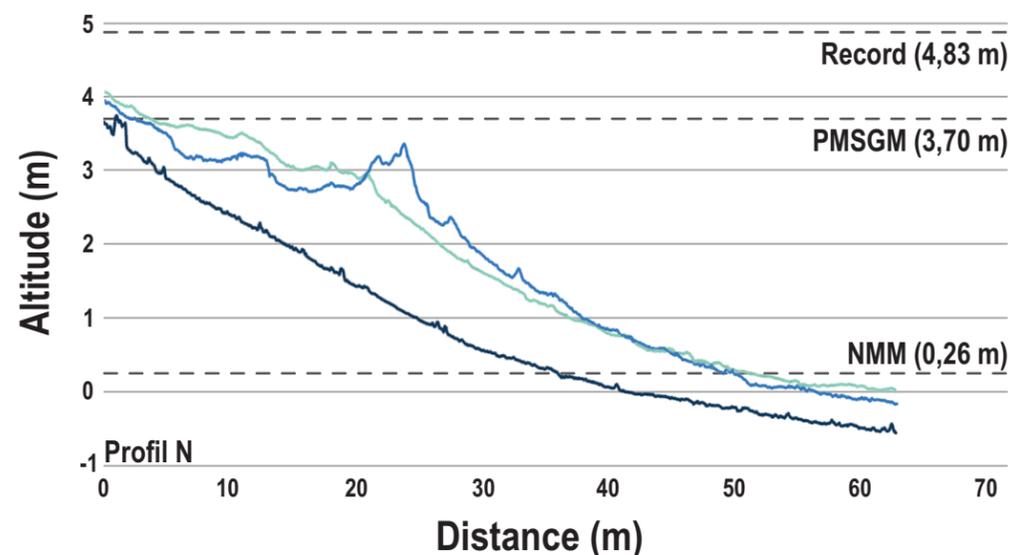
Le suivi expose une **tendance négative entre 2021 et 2023**, mais un bilan plus faible est observé en 2023. Malgré des mouvements négatifs similaires entre 2021 et 2023, **moins de sédiments semblent avoir quitté le système lors de 2022-23**.

Cette baisse marquée d'exportation de sédiments pourrait être expliquée par un **hiver 2022-23 plutôt doux** et une **très faible occurrence d'EFMS entre mai 2022 et mai 2023**.

Finalement, le suivi saisonnier montre que la **majorité des mouvements sédimentaires** sur la plage se sont produits **entre la fin de l'automne et le début du printemps**. Comme pour l'Anse-Tibbits, ce constat met en lumière l'**important rôle que la glace peut avoir comme agent géomorphologique**.

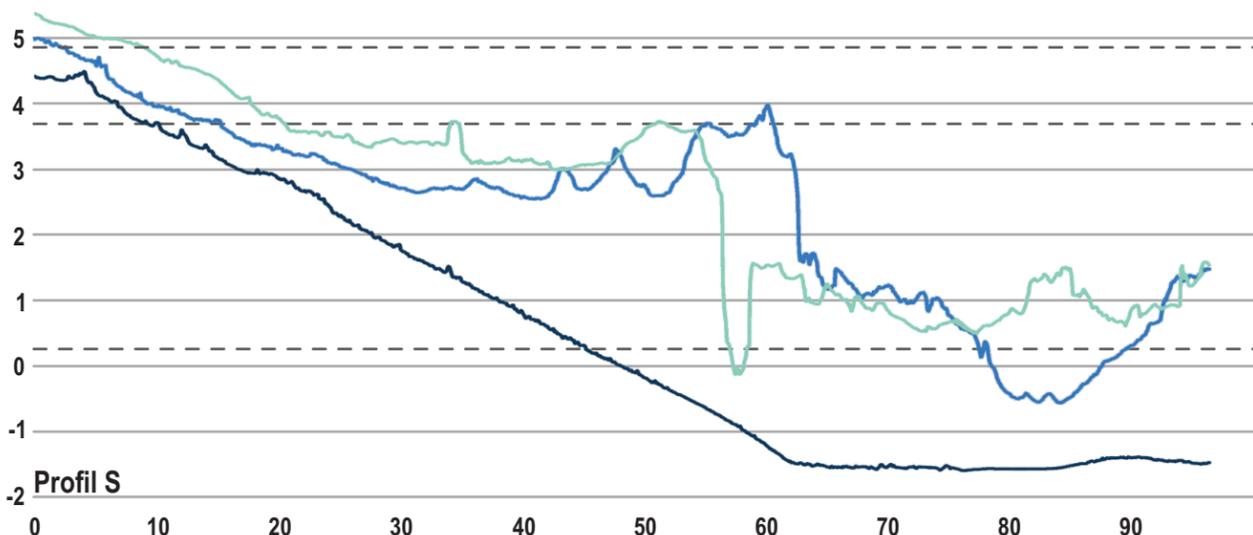
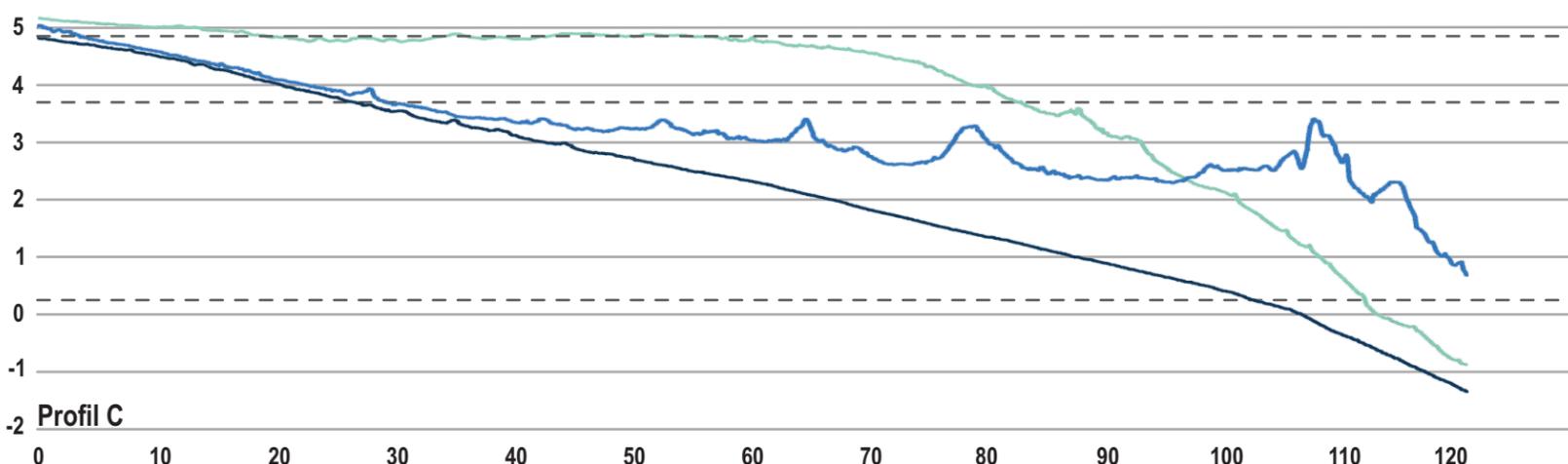
Les plages urbaines de la région de Québec

Impact de la glace et des tempêtes sur la Baie de Beauport



Profils de pente avec et sans pied de glace

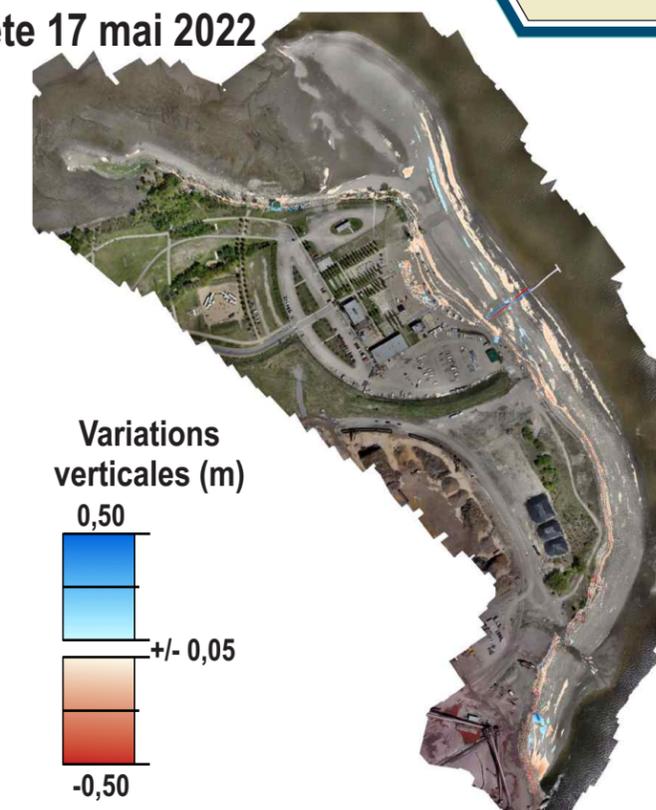
- 2021\11\16
- 2022\02\11
- 2023\02\22



Hiver 2021-22



Tempête 17 mai 2022



- L'occurrence d'EFMS en hiver peut contribuer positivement à la croissance du pied de glace, et ce, malgré un hiver doux. Par exemple, lors de la tempête survenue le 23 décembre 2022, une grande quantité de radeaux de glace a été transportée sur le haut de plage central permettant à la

glace de se consolider 2 m plus haut que pendant l'hiver froid de 2021-22.

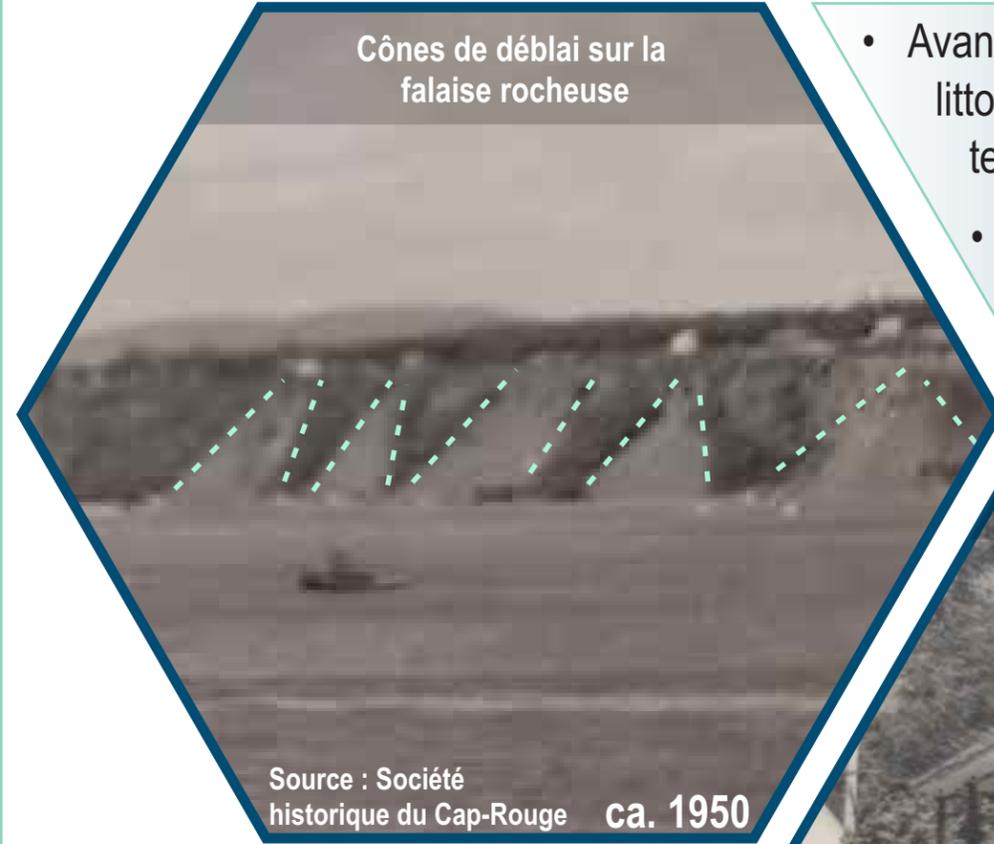
- Le suivi topographique montre aussi que la plage aurait perdu environ 1316 m³ après l'hiver 2021-22, ce qui représente près de 50% des pertes sédimentaires observées à l'intérieur d'une année.
- À titre comparatif, la plage aurait seulement perdu 450 m³ lors d'une tempête survenue le 17 mai 2022 avec peu de mouvements observés à l'échelle du site.
- Les tempêtes ont donc tout de même une influence sur l'évolution géomorphologique de la plage et de son pied de glace, mais le rôle de la glace comme agent érosif semble plus important.

Les plages urbaines de la région de Québec

Résumé historique du parc de la Plage-Jacques-Cartier



Cônes de déblai sur la falaise rocheuse



Source : Société historique du Cap-Rouge ca. 1950

- Avant le 19^e siècle, le **secteur était caractérisé par d'étroites grèves** coincées entre une large plateforme littorale et une falaise, les deux composées de roc friable. Aucun indice sur les cartes anciennes ne laisse croire qu'une terrasse continue aurait été présente au pied de la falaise comme il est possible de l'observer aujourd'hui.
- En 1905, un chemin de fer est aménagé au sommet de la falaise, nécessitant du **dynamitage et le retrait de grandes quantités de déblais qui ont ensuite été jetées du sommet de la falaise**. À partir de 1908, **quelques citoyens récupèrent ces déblais** de fragments de roc afin de s'aménager des **résidences saisonnières le long du fleuve**.

Exemple de résidence saisonnière au pied de la falaise



Source : Société historique du Cap-Rouge ca. 1960

- Cette pratique prend de l'ampleur dans les années 1960 et des **aménagements de stabilisation très artisanaux sont mis en place** par les propriétaires afin de protéger leur résidence coincée entre la falaise et le fleuve. Des **centaines de résidences vont perdurer jusqu'en 1990**, alors que la ville de Sainte-Foy décide de **transformer le pied de la falaise en parc municipal**.

- **Plusieurs aménagements récréatifs ont ensuite été construits**, et ce, en récupérant l'empiétement composé de **remblais peu cohésifs** et facilement transportés par les processus hydrologiques. Depuis 2013, plusieurs interventions de stabilisation ont eu lieu en raison de cette **sensibilité élevée** de ce remblai.

Enrochement dégradé avec remblai en érosion, secteur Cap-Rouge



2019

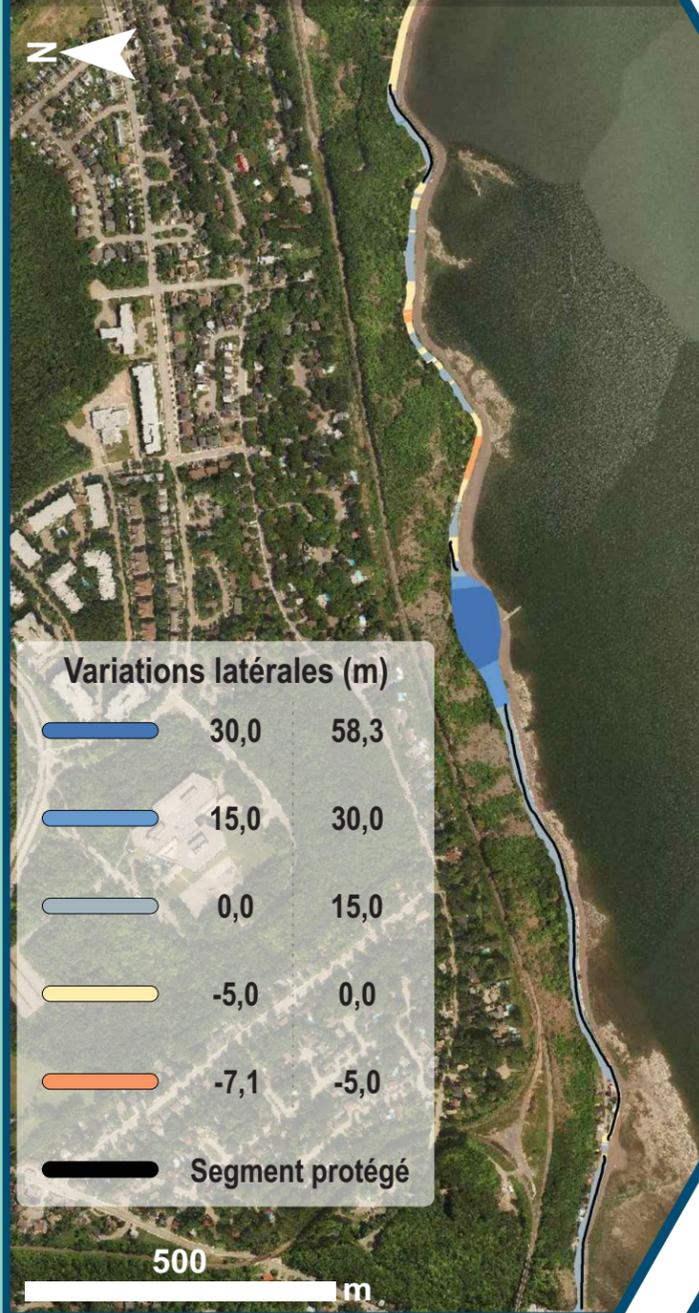
Date	Interventions significatives
19 ^e s.	Aménagement et destruction de quais pour le stockage du bois à l'embouchure de la rivière Cap-Rouge.
1905	Début de la construction d'un chemin de fer du Canadian National au sommet de la falaise qui surplombe la plage.
1908-1948	Premiers chalets aménagés sur la plage ; un total de 22 en 1948.
1963	Remblayage avec les déblais du chemin de fer par les locaux afin d'aménager leurs habitations et des structures de protections.
1963	Essor de la villégiature dans le secteur avec 52 nouvelles habitations.
1973	Aménagement d'un émissaire par la ville de Sainte-Foy engendrant une avancée de 75 m, ce qui constitue la plus grande avancée observée sur les images historiques.
1988	Construction de structures de protection (mur et enrochement) le long de la plage; remblayage pour l'ajout de nouvelles résidences (désormais 111).
1990	Expropriation massive des résidents pour transformer le secteur en parc public (ouverture en 1993).
2003	Aménagement d'une promenade piétonne, d'une aire de stationnement et de nouvelles structures de protection.
2013-2023	Réfection ponctuelle de plusieurs segments protégés.

Les plages urbaines de la région de Québec

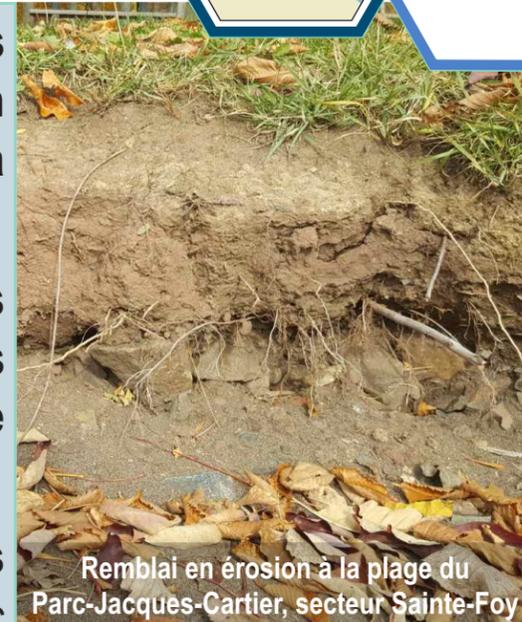
Évolution latérale du parc de la Plage-Jacques-Cartier



Mouvement net du trait de côte entre 1948 et 2023



- La plage du parc Jacques-Cartier a connu l'évolution latérale la plus non-linéaire et chaotique des trois plages en raison des nombreux aménagements le long de la côte depuis 1948. La direction de son déplacement est très variable d'un secteur à l'autre, mais les reculs sont principalement localisés dans la section est du site.
- Le secteur le plus affecté a subi un déplacement maximum d'environ -7 m en 75 ans, ce qui est très faible comparativement aux deux autres sites. À l'inverse, certaines interventions majeures comme l'aménagement d'un émissaire dans les années 1970 ou de la promenade sont à l'origine de valeurs d'empiétement pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres.
- Les taux moyens de migration sont donc peu représentatifs de la complexité des mouvements ayant eu lieu sur le site. Il est difficile d'identifier des tendances claires avec



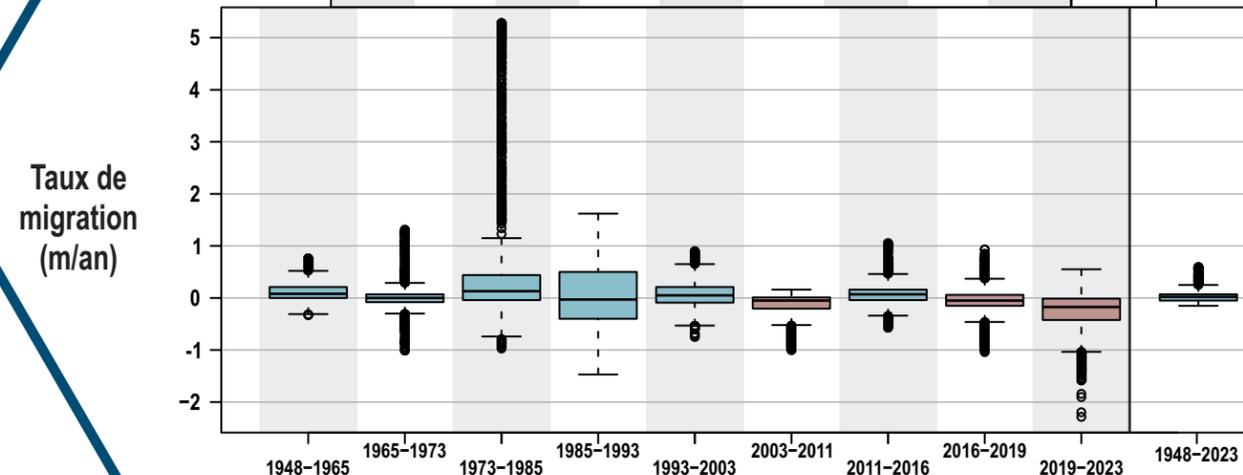
des données qui expriment la totalité du secteur puisque plusieurs segments du parc ont été très modifiés ou rapidement réparés au courant de son histoire, ce qui participe à maintenir des valeurs moyennes très près de la stabilité dans ce type d'analyse.

- Comme pour les autres plages, la croissance d'EFMS depuis 2016 semble être à l'origine de la hausse des mouvements négatifs récents, mais, comparativement aux autres sites, les valeurs demeurent globalement faibles.

- Malgré ces valeurs, les remblais installés le long du site demeurent hautement sensibles aux processus de transport sédimentaire. Cette observation justifie également les nombreuses réfections que le trait de côte de nature artificielle a nécessitées depuis la création du parc.

Statistiques sur les mouvements latéraux

	48-65	65-73	73-85	85-93	93-03	03-11	11-16	16-19	19-23	Total
TM* \bar{x}	-0,11	0,02	0,46	0,04	0,05	-0,21	0,07	-0,07	-0,26	0,08
MNTC* \bar{x}	1,88	0,16	5,53	0,32	0,52	-1,68	0,36	-0,20	-0,97	6,08
Max recul	-5,62	-8,07	-11,60	-11,80	-7,55	-8,55	-2,85	-3,13	-8,71	-7,13
Max accrétion	12,89	10,51	63,39	12,99	9,00	3,32	5,26	2,80	2,10	58,34



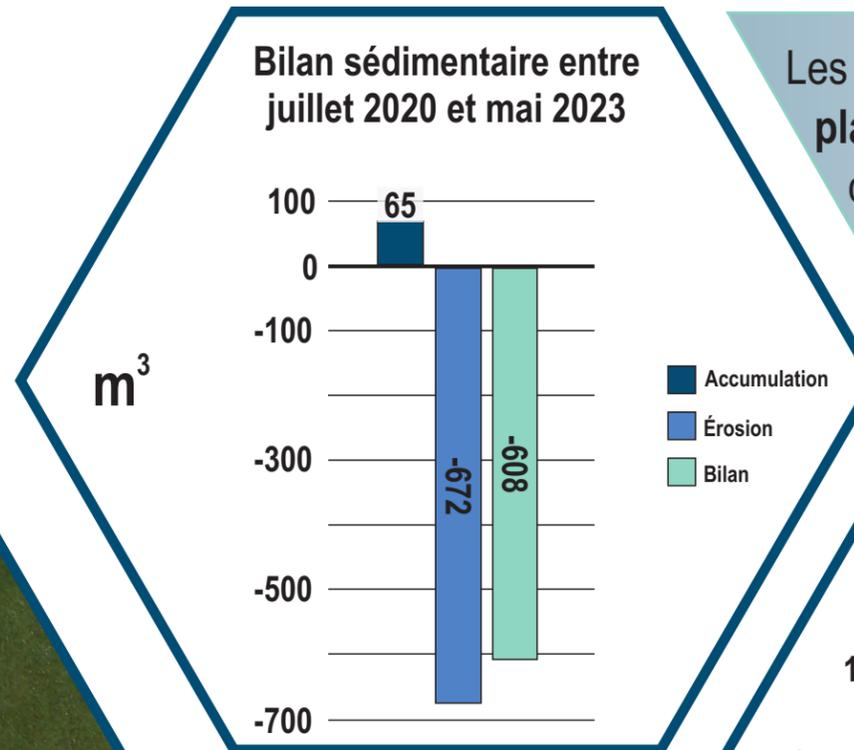
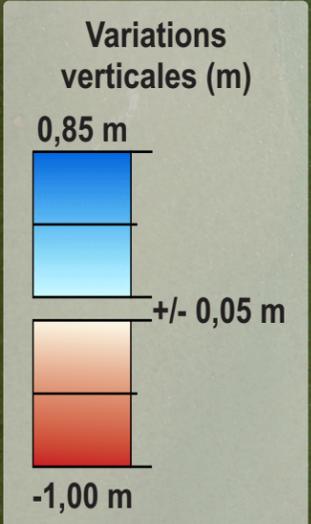
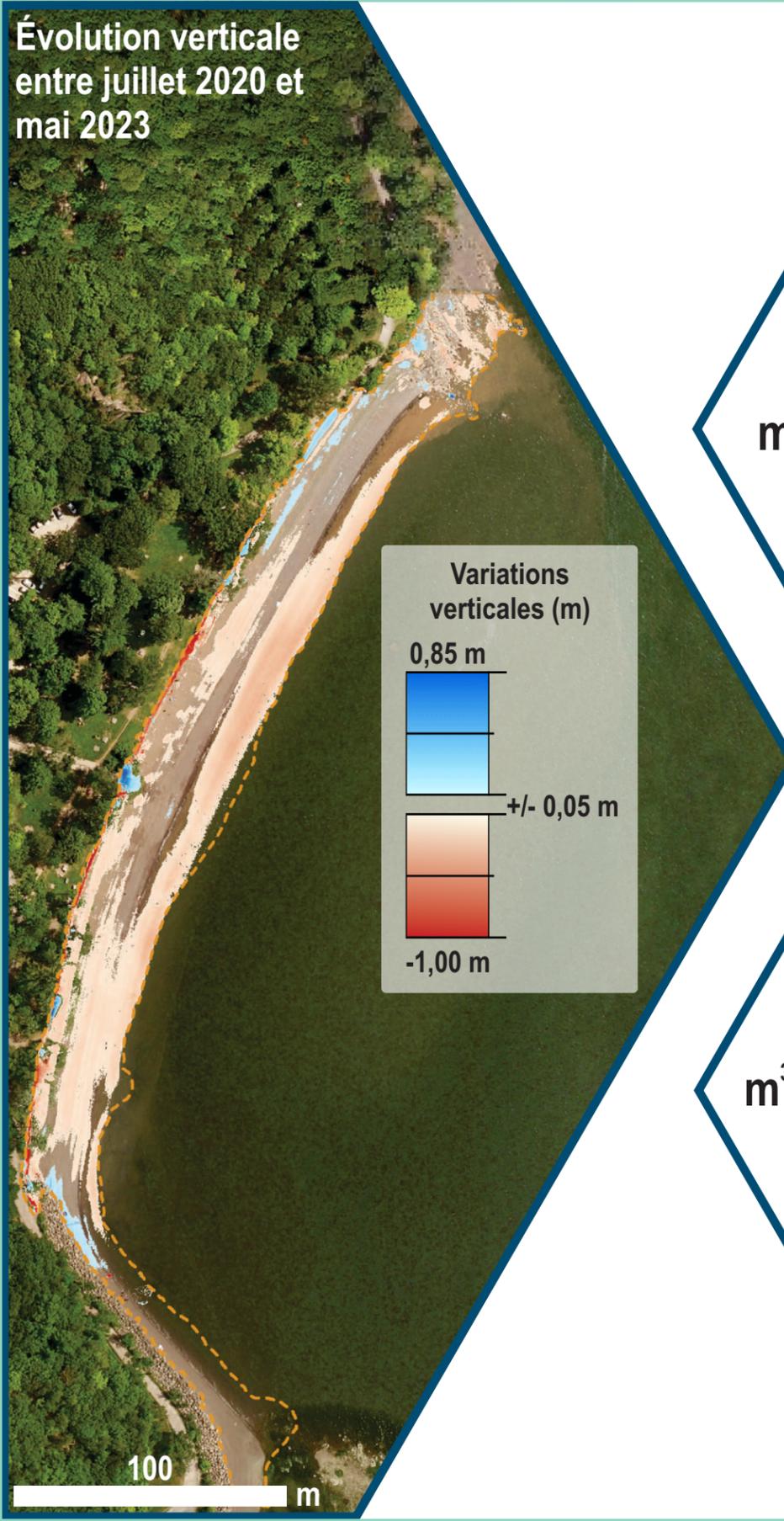
*TM: Taux de migration
 *MNTC: Mouvement net du trait de côte
 \bar{x} : Moyenne

Les plages urbaines de la région de Québec

Évolution verticale du parc de la Plage-Jacques-Cartier

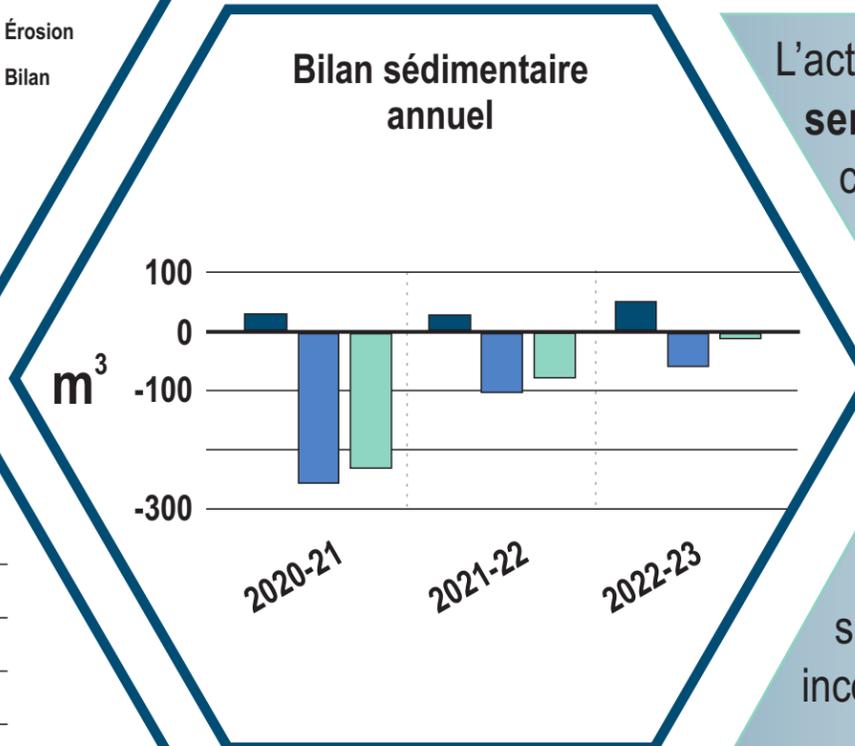
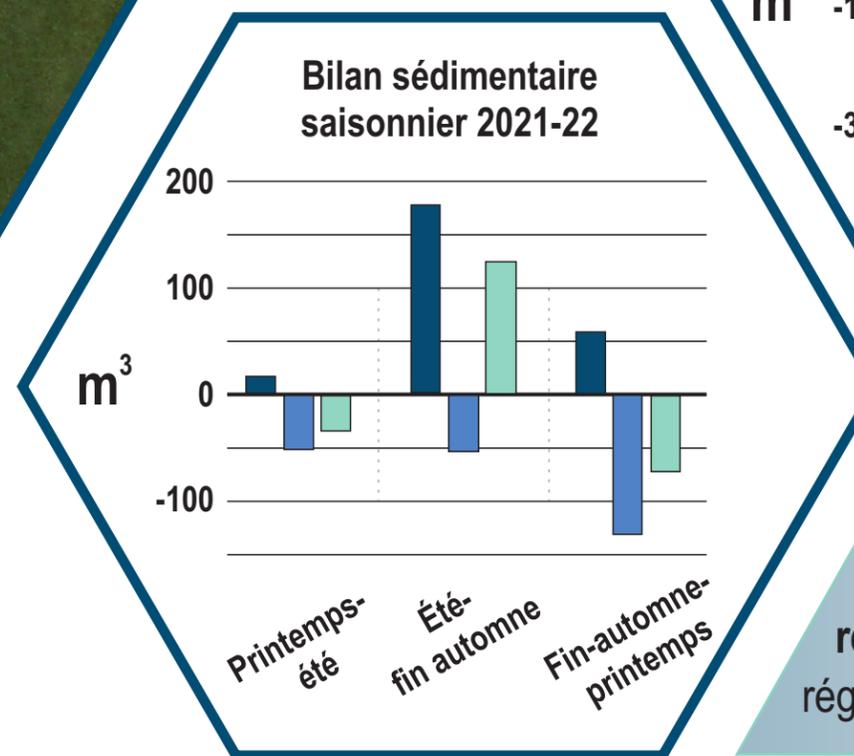


Évolution verticale entre juillet 2020 et mai 2023



Les variations verticales du segment étudié de cette plage sont les **plus faibles des trois plages**, mais elles demeurent négatives avec un abaissement moyen d'environ -1,6 cm/m²/an entre juillet 2020 et mai 2023.

Les pertes sédimentaires se sont principalement produites **sur le bas de plage** et **peu de ces sédiments se sont accumulés** ailleurs sur la plage.



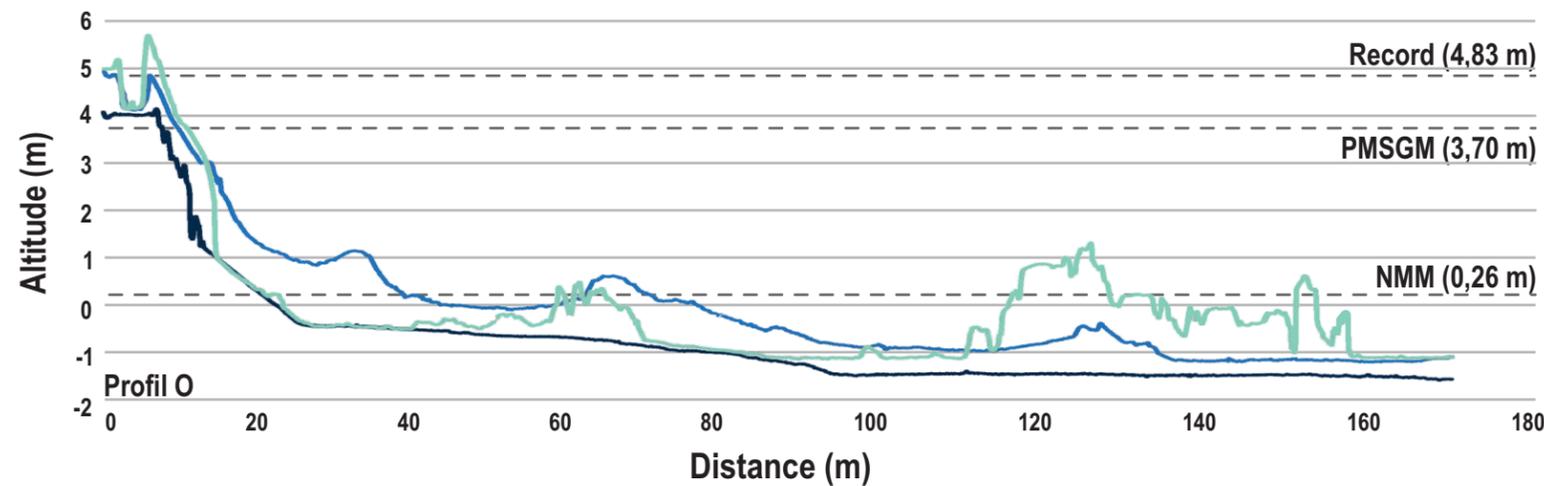
L'activité sédimentaire et l'érosion verticale **semblent ralentir depuis 2021**, mais les causes exactes de ces processus demeurent inconnues ; les identifier nécessiterait une analyse verticale de l'intégralité du site.

La fin de l'hiver est également le **moment où le plus d'érosion a été constatée** sur une année, mais la plage a subi une importante accumulation d'origine inconnue pendant l'été.

Contrairement aux deux autres sites, la **composition sédimentaire** de cette plage est **en concordance avec la géologie locale**, ce qui pourrait lui conférer une **meilleure résilience** face aux agents hydrogéomorphologiques du régime fluvio-estuarien de la région.

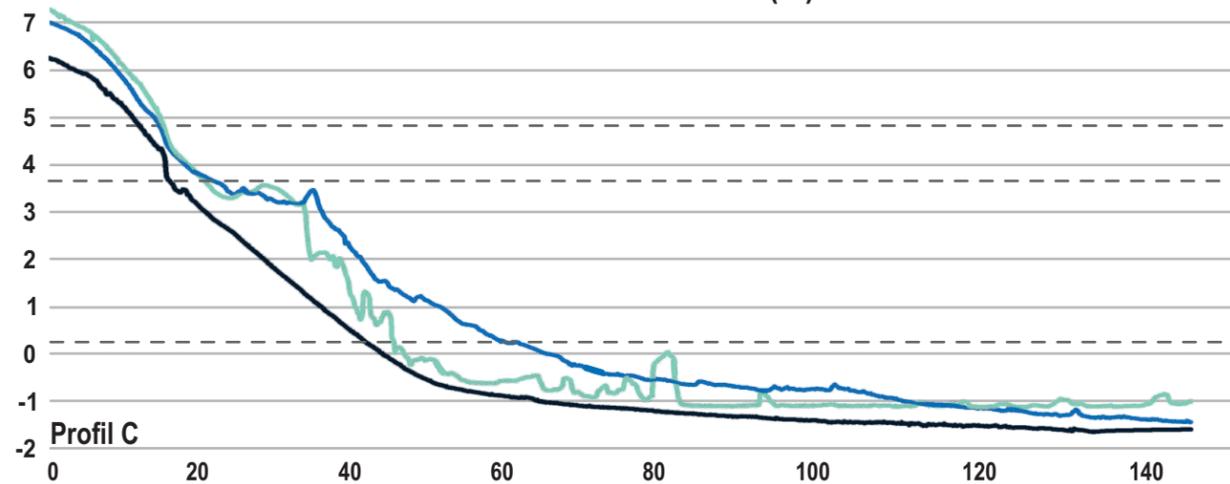
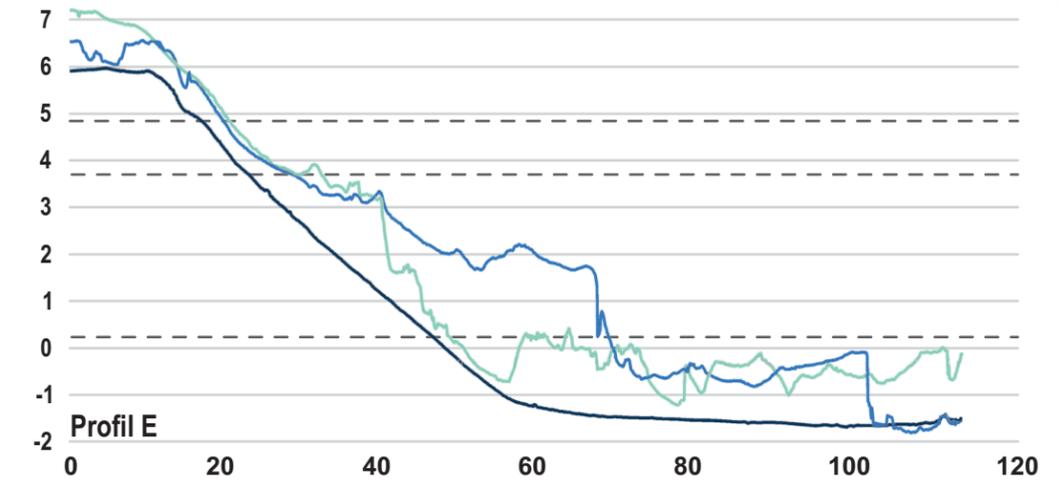
Les plages urbaines de la région de Québec

Impact de la glace au parc de la Plage-Jacques-Cartier



Profils de pente avec et sans pied de glace

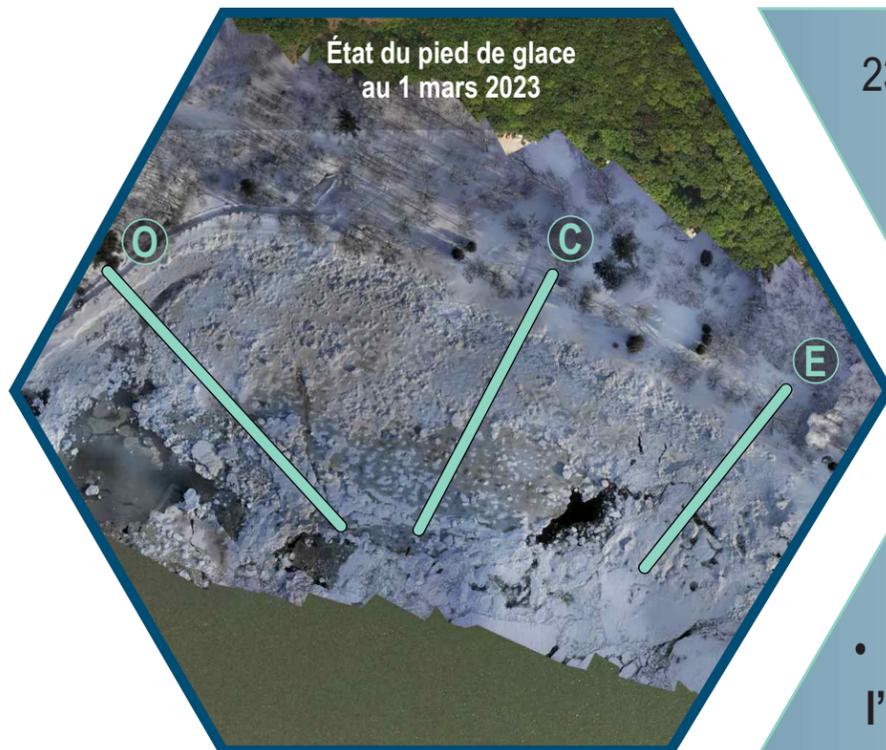
- 2021\11\17
- 2022\03\02
- 2023\03\01



- L'hiver 2022-23 a été très doux comparativement à celui de 2021-22, ce qui a généré d'importantes différences interannuelles dans les propriétés du pied de glace, telles que son épaisseur et sa morphologie de surface.



Concentration élevée de sédiments dans la glace



État du pied de glace au 1 mars 2023

- Contrairement à la plage de la Baie de Beauport, la tempête du 23 décembre 2022 n'a pas contribué, malgré un hiver plus chaud, à la croissance du pied de glace de la plage Jacques-Cartier. Sa position sud-ouest la met plutôt à l'abri des tempêtes hivernales généralement venues du nord-est, telles que celle du 23 décembre, réduisant ainsi l'apport de radeaux de glace qui pourrait servir de base à la formation du pied de glace en début de saison hivernale

- Avec l'absence de vagues importantes, l'intégration des sédiments à la glace lors de l'hiver et leur transport par radeaux de glace à la débâcle deviennent ainsi l'agent naturel le plus constant (annuel) et efficace pour exporter des sédiments. Les tempêtes, quant à elles, demeurent aléatoires et l'intensité de leur impact afin de constituer des agents géomorphologiques efficaces varie beaucoup selon la conjoncture de plusieurs paramètres (p.ex. : force et direction des vents, hauteur de la marée).

- Un suivi réalisé entre novembre 2021 et mai 2022 a permis de constater que le passage de l'hiver a représenté environ 95% des pertes annuelles dans le bilan sédimentaire de la plage.



- **Des milieux à environnement possédant un fetch très limité**

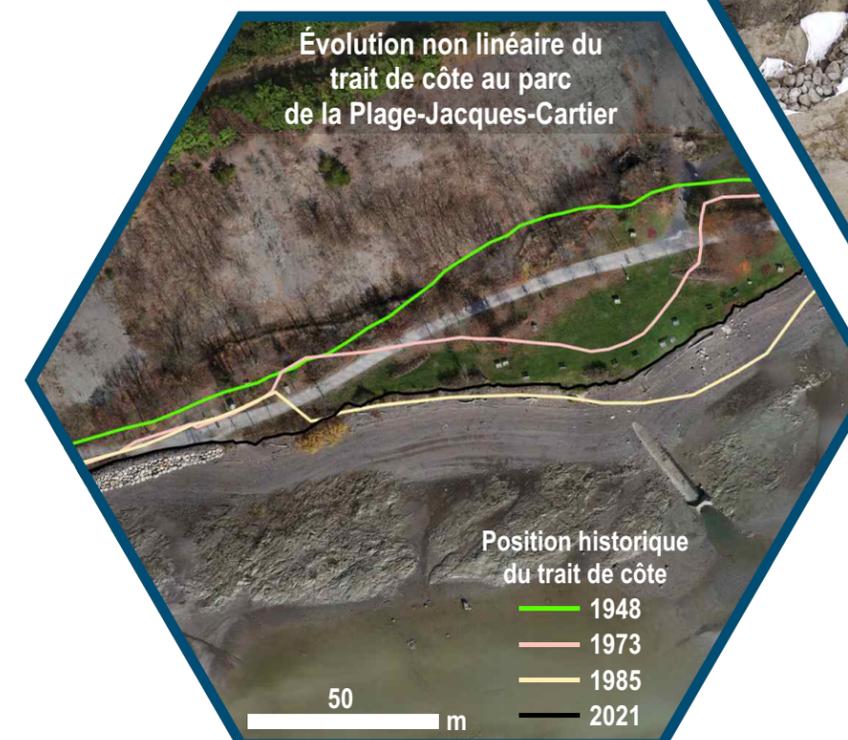
Les trois plages étudiées sont situées dans un environnement à fetch limité, où les conditions sont **peu favorables à la formation de vagues** de grande amplitude. Ce facteur de contrôle environnemental normalement très important dans les milieux côtiers plus ouverts laisse donc sa place à d'autres facteurs avec une **saisonnalité prononcée**, comme la glace de rive et la variation des niveaux d'eau, lesquels semblent dominés dans le **régime fluvio-estuarien froid** de la région de Québec.

- **L'humain comme agent géomorphologique**

Le facteur humain est aussi historiquement très important dans ce secteur du Saint-Laurent fluvial ; il est même devenu **plus dominant que les facteurs naturels**. Une grande quantité d'aménagements ont eu lieu sur les trois secteurs depuis le 19^e siècle. Plusieurs d'entre eux, malgré leur âge et leur état de dégradation, continuent d'avoir une influence majeure sur la dynamique sédimentaire des plages. En fait, la **phase industrielle** que les sites ont connue à un certain moment de leur histoire a été synonyme d'**apports massifs de sédiments sous la forme d'empiétement** sur le littoral. C'est d'ailleurs en bonne partie à cause de la remobilisation de ces **remblais sensibles et exposés** aux processus provenant du régime fluvio-estuarien du Saint-Laurent que ces sites à **forte vocation récréotouristique** existent aujourd'hui.

- **Une évolution non linéaire du trait de côte**

Maintenant, l'évolution de leur trait de côte artificiel est caractérisée par des **migrations non linéaires et chaotiques** dans le temps en raison des diverses interventions qui sont venues modifier l'action des processus géomorphologiques sur les sites. Pour cette raison, il y a pour certains intervalles temporels une **faible causalité entre les taux moyens de migration et la fréquence d'événements hydrogéomorphologiques sévères (EFMS)**. Cependant, l'exposition accrue aux vents forts du nord-est de la plage de la Baie de Beauport fait de cette plage la plus dynamique des trois plages de Québec au niveau sédimentaire.





Le rôle érosif de la glace côtière

Les suivis topographiques saisonniers des trois plages ont permis de démontrer que les processus liés à la glace de rive correspondaient à l'**agent exportateur de sédiments le plus important dans la région de Québec**. Dans les environnements côtiers plus ouverts, le pied de glace agit généralement comme une protection naturelle aux processus hydrologiques, comme les vagues de tempêtes. Cependant, la **rareté des tempêtes « parfaites »** qui permettent une importante remobilisation sédimentaire dans la région **rend négligeable leur influence** sur le long terme comparativement à l'action des processus glaciels qui est présente à chaque hiver.

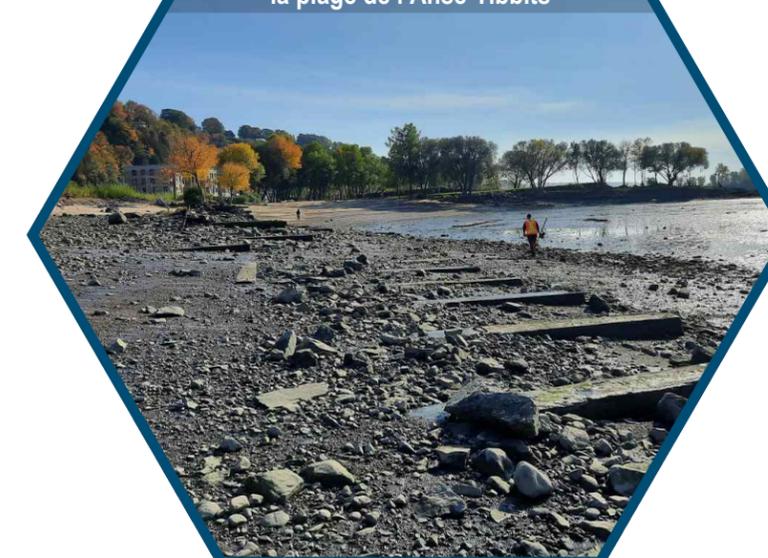
Des systèmes sédimentaires peu résilients

En bref, l'évolution latérale et verticale de ces **trois plages de type hybride ou « socio-naturel »** suggère que (1) leur capacité à maintenir un **équilibre sédimentaire est très difficile** et (2) les **nombreux aménagements que ces sites urbains ont connus sont venus modifier la sensibilité** de leur réponse aux processus naturels. C'est davantage le cas pour les plages de l'Anse-Tibbits et de la Baie de Beauport, où les **sources sédimentaires se limitent uniquement aux sédiments dont les sites sont constitués**, c'est-à-dire des remblais sableux. L'ajout de structures de protection pour empêcher l'érosion de leur trait de côte contribue donc à restreindre l'apport sédimentaire principal leur permettant de maintenir un bilan plus équilibré. Avec des processus glaciels qui exportent des volumes importants chaque année et des sources sédimentaires très limitées, ces systèmes risquent de demeurer **peu résilients à long terme** aux processus géomorphologiques **s'il n'y a pas d'interventions supplémentaires**, telles que des recharges de plage.

Radeau de glace de 4 m d'épaisseur chargé en sédiments



Granulométrie plus grossière causée par l'enrochement de la plage de l'Anse-Tibbits



L'évolution des plages en chiffres

 = 13,3 m³ ou 20 tonnes

Plage du parc de l'Anse-Tibbits

Entre 1950 et 2020

Taux moyen de migration : -0,11 m/an

Recul maximal : -34,66 m

Entre juin 2019 et août 2023

Perte totale : 897 m³ ou 68 

Abaissement moyen : 2,1 cm/m²/an

Plage de la Baie de Beauport

Entre 1985 et 2023

Taux moyen de migration : -0,61 m/an

Recul maximal : -56,83 m

Entre novembre 2021 et juin 2023

Perte totale : 6089 m³ ou 458 

Abaissement moyen : 4,0 cm/m²/an

Parc de la Plage-Jacques-Cartier

Entre 1948 et 2023

Taux moyen de migration : 0,08 m/an

Recul maximal : -7,13 m

Entre juillet 2020 et mai 2023

Perte totale : 607 m³ ou 46 

Abaissement moyen : 1,6 cm/m²/an