

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

Fiche portrait Mobilité-Trajectoire →



Le cas des archipels du lac Saint-Pierre
et de Verchères



Fait saillant #1 - Modifications hydrodynamiques

Le contrôle des niveaux d'eau et de l'écoulement pour la voie maritime a profondément modifié les conditions hydrodynamiques du fleuve, augmentant la sensibilité des berges par la fragilisation de la végétation riveraine.



Reversoir dans l'archipel
du lac Saint-Pierre

Berge affaiblie par le
processus de dessiccation

Fait saillant #2 - Dessiccation des argiles

La dessiccation des argiles est un processus naturel qui joue un rôle prépondérant dans la dégradation des berges maintenant dénudées de végétation.

Avec le passage de milliers de navires commerciaux annuellement, les berges font face à un climat de vague plus puissant que celui généré naturellement.



Batillage causé par
un navire océanique

Trafic maritime au
niveau de Sorel-Tracy

Les effets cumulés initiés par la voie navigable ont encore aujourd'hui d'importantes implications sur la mobilité riveraine du Saint-Laurent fluvial.

Fait saillant #3 - Batillage

Fait saillant #4 - Effets cumulés de la voie maritime

Les archipels du lac Saint-Pierre et de Verchères

Mise en contexte de l'enjeu



- Le système fluvial du Saint-Laurent (SL) est un axe socio-économique majeur avec un important cadre bâti riverain et de nombreux écosystèmes sensibles. Le tronçon du SL localisé entre Montréal et le lac Saint-Pierre comprend de **nombreux archipels ayant connu diverses modifications en lien avec la navigation commerciale** depuis le 19^e siècle. Parmi ces îles, on retrouve les archipels du lac Saint-Pierre (LSP) et de Verchères.
- Ces secteurs sont de véritables **points chauds de biodiversité** en plus d'être des **éléments marquants de l'identité culturelle des communautés riveraines** à proximité. Or, ces archipels sont **grandement affectés par les activités économiques de la voie maritime**, comme le passage de milliers de navires commerciaux chaque année qui génèrent des **vagues importantes liées au batillage**.
- Une étude basée sur une **approche géomorphologique et géohistorique** portant sur trois îles dans ces archipels a été réalisée afin de mieux comprendre (1) **l'impact de l'établissement de la voie navigable** sur les berges des archipels et (2) **l'importance du batillage** sur la mobilité sédimentaire des îles du tronçon fluvial du SL.

1. L'île des Barques (LSP)

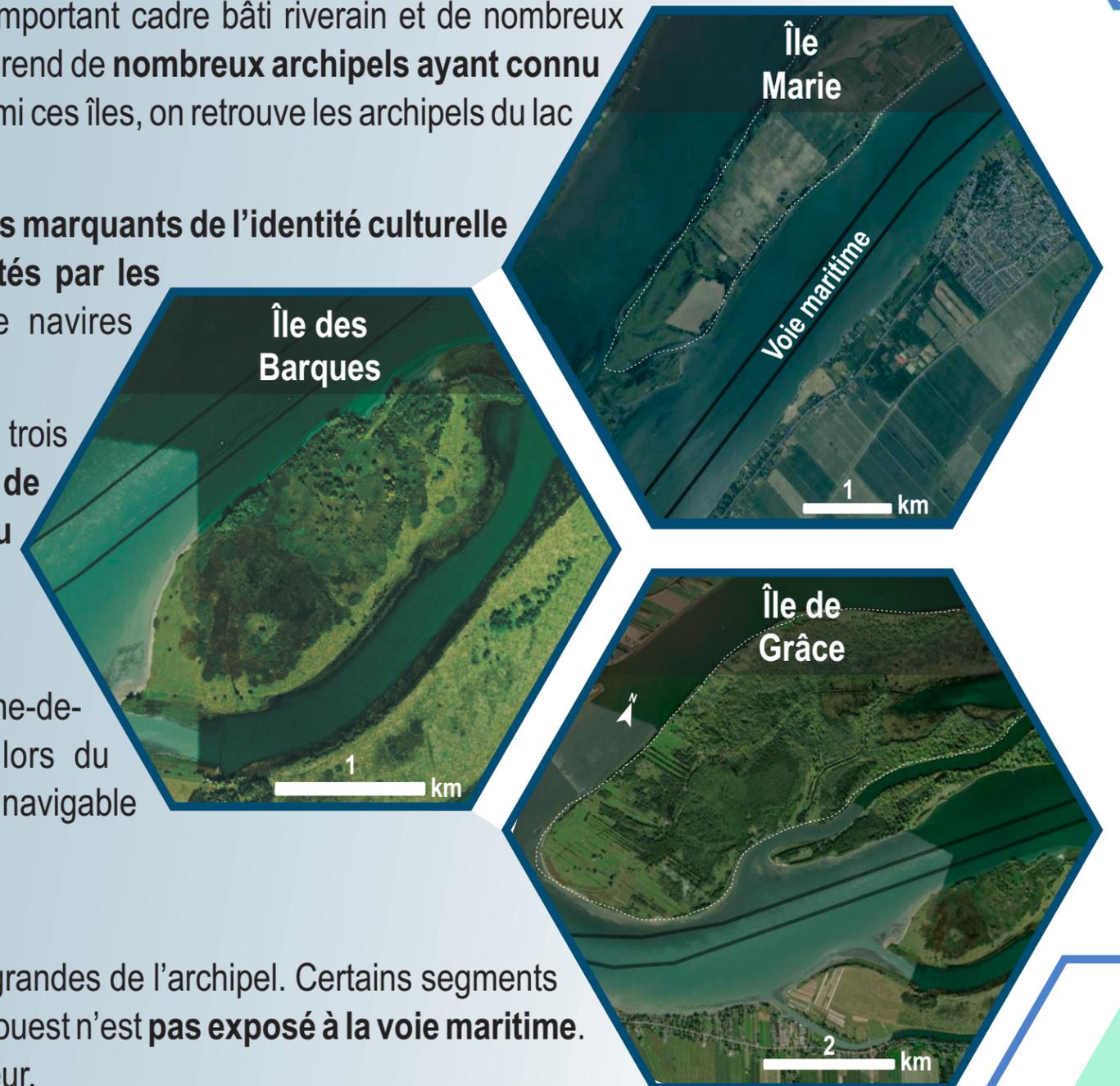
Cette île fait partie de l'archipel du LSP et est localisée dans la municipalité de Sainte-Anne-de-Sorel. Inhabitée, l'île des Barques fut le **chantier d'importantes interventions** lors du développement de la voie navigable du SL au 20^e siècle. Aujourd'hui, le parcours de la voie navigable se trouve à quelques centaines de mètres de l'île.

2. L'île de Grâce (LSP)

Également dans la municipalité de Sainte-Anne-de-Sorel, l'île de Grâce est l'une des plus grandes de l'archipel. Certains segments riverains de cette île sont partiellement exposés au batillage, alors que le site choisi sur la rive ouest n'est **pas exposé à la voie maritime**. Ce site permet donc d'observer l'évolution d'une berge à l'abri de la voie maritime dans le secteur.

3. L'île Marie (Verchères)

Située face à la municipalité de Verchères, l'île Marie est exploitée pour l'agriculture depuis plusieurs décennies et abrite certaines espèces de plantes protégées. La **dynamique sédimentaire de l'île varie de manière importante d'une rive à l'autre**, alors que seule la rive est de l'île fait face à la voie maritime.

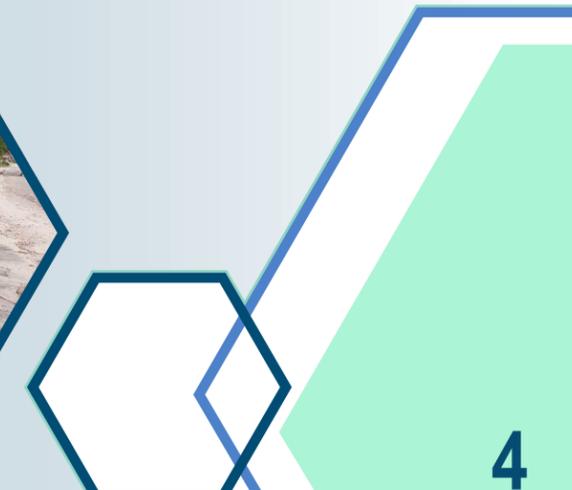
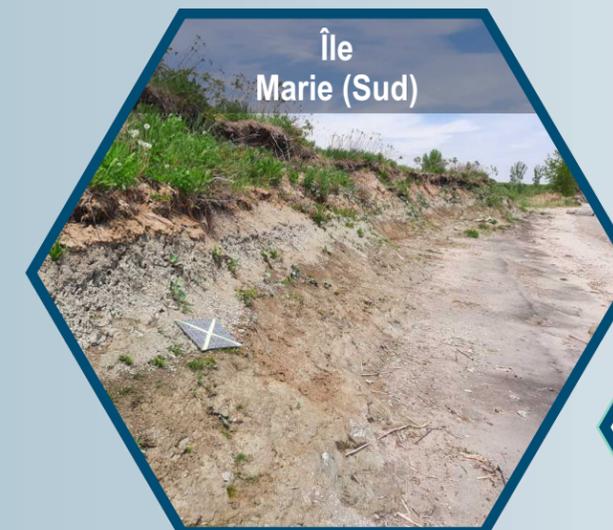
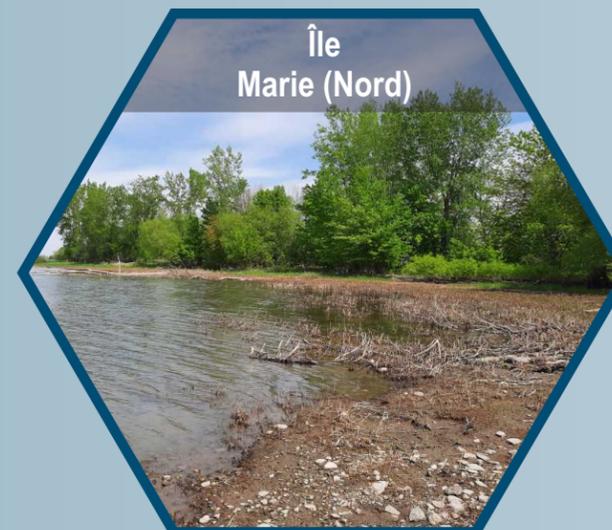
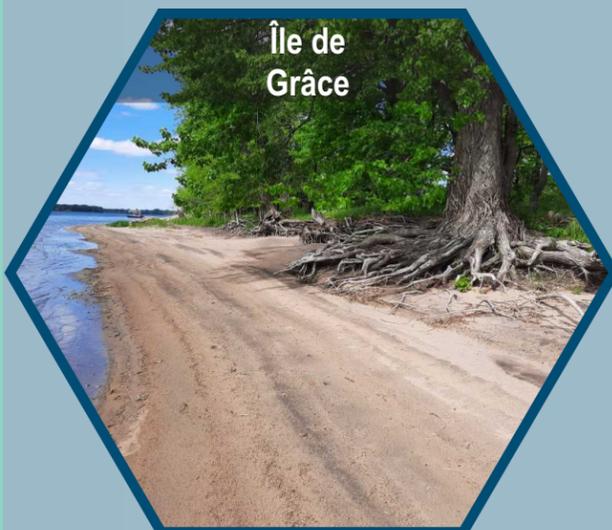
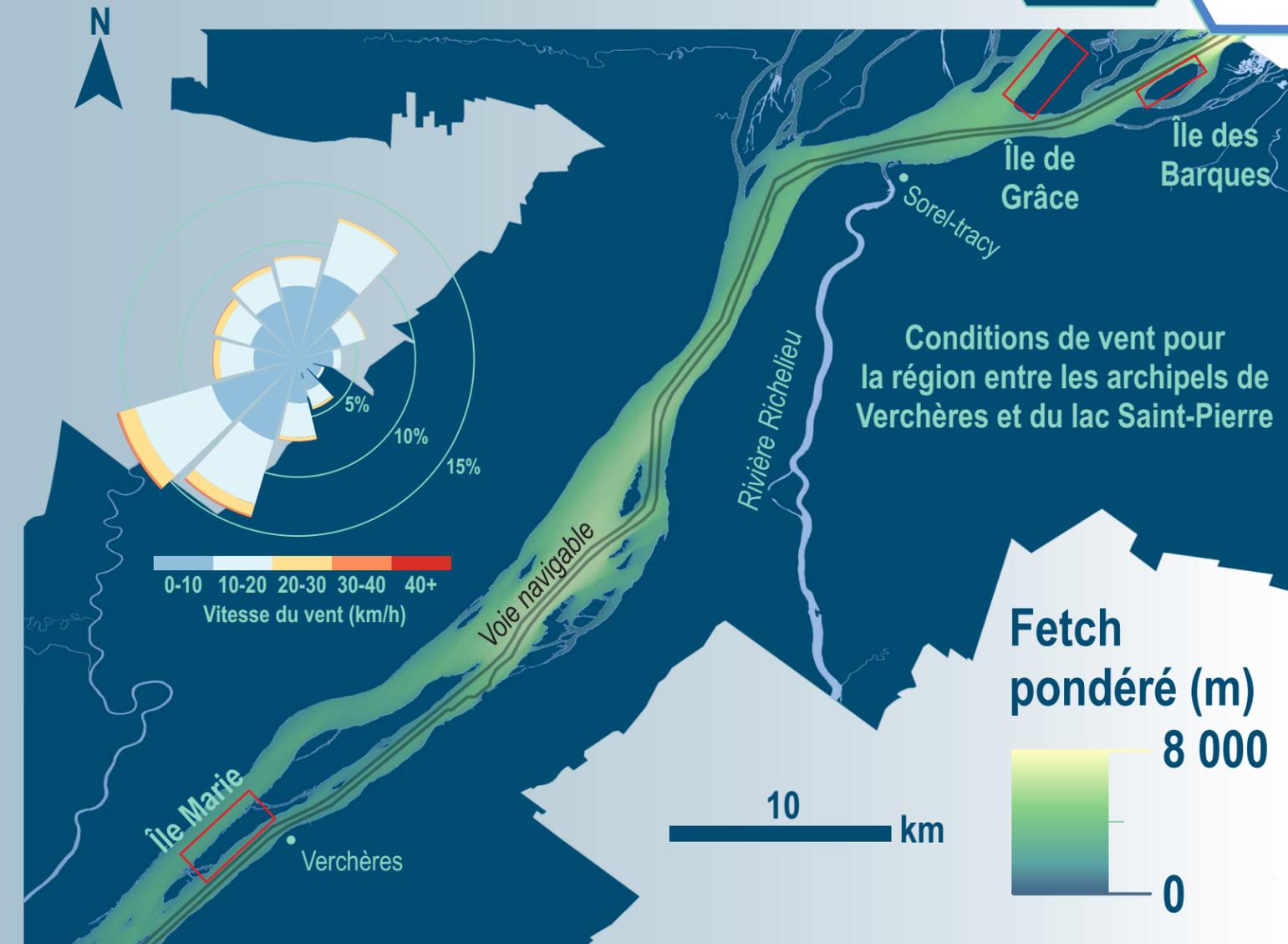


Les archipels du lac Saint-Pierre et de Verchères

Contexte physique



- Les îles du lac Saint-Pierre et de Verchères partagent relativement les mêmes facteurs de contrôle naturels :
 1. Le fleuve a un **régime hydrologique nivo-pluvial** avec deux crues importantes : une au printemps (fonte de la neige) et une plus faible à l'automne (pluies abondantes) ;
 2. Des vents dominants de faible puissance provenant généralement du sud-ouest et du nord-est dans un **environnement riverain avec un fetch très limité**, restreignant la formation de vagues naturelles de grande amplitude ;
 3. La présence de **glace de rive pendant près de 5 mois**, soit de décembre à avril.
- Le tronçon fluvial entre le LSP et Verchères est généralement caractérisé par des **pentés très faibles et une bathymétrie peu profonde** favorisant la **présence de nombreux marais et herbiers**. On trouve aussi de **nombreuses îles composées de sédiments fins** (argile à sable) et remaniés par le fleuve depuis la dernière glaciation.
- La rive ouest de l'île des Barques et la rive est de l'île Marie font face à la voie navigable et contrastent avec les rives non exposées de l'île de Grâce et de l'île Marie. Les **rives exposées** sont caractérisées par des **talus meubles à pente forte** pouvant atteindre plus de 2 m de hauteur, alors que les **rives non exposées** s'harmonisent beaucoup mieux avec la physiographie locale de **marais et d'herbiers à pente faible**.



Les archipels du lac Saint-Pierre et de Verchères

Résumé historique des archipels

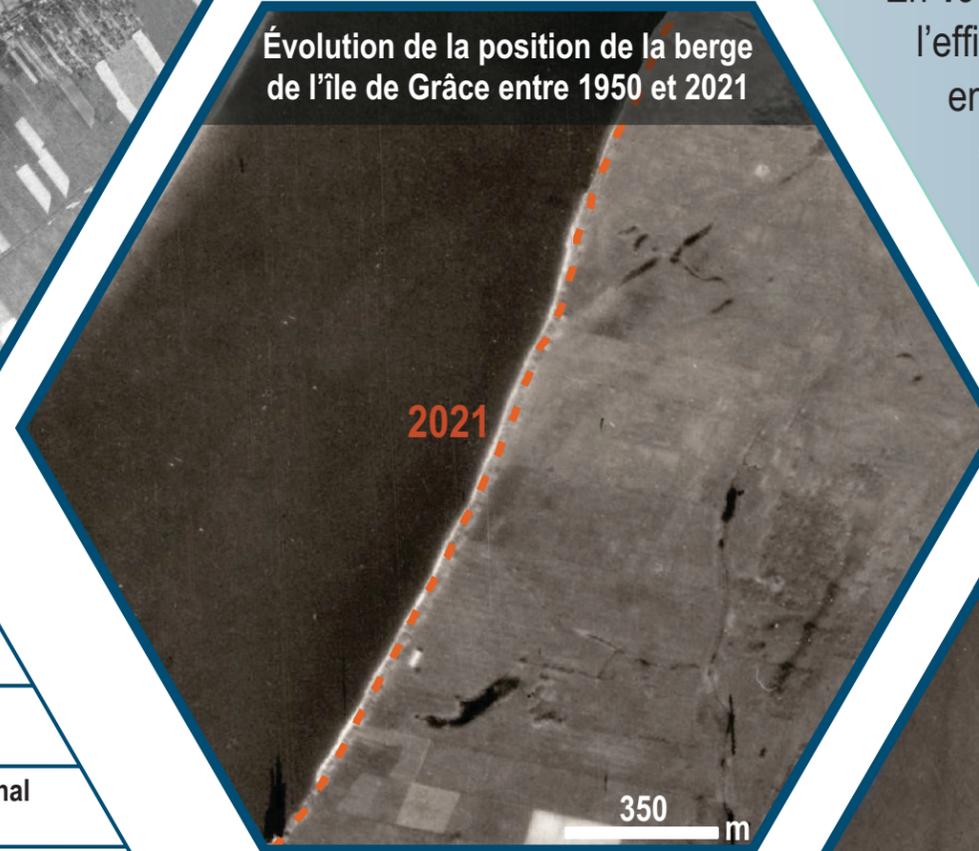


Évolution de la position de la berge de l'île Marie entre 1950 et 2018



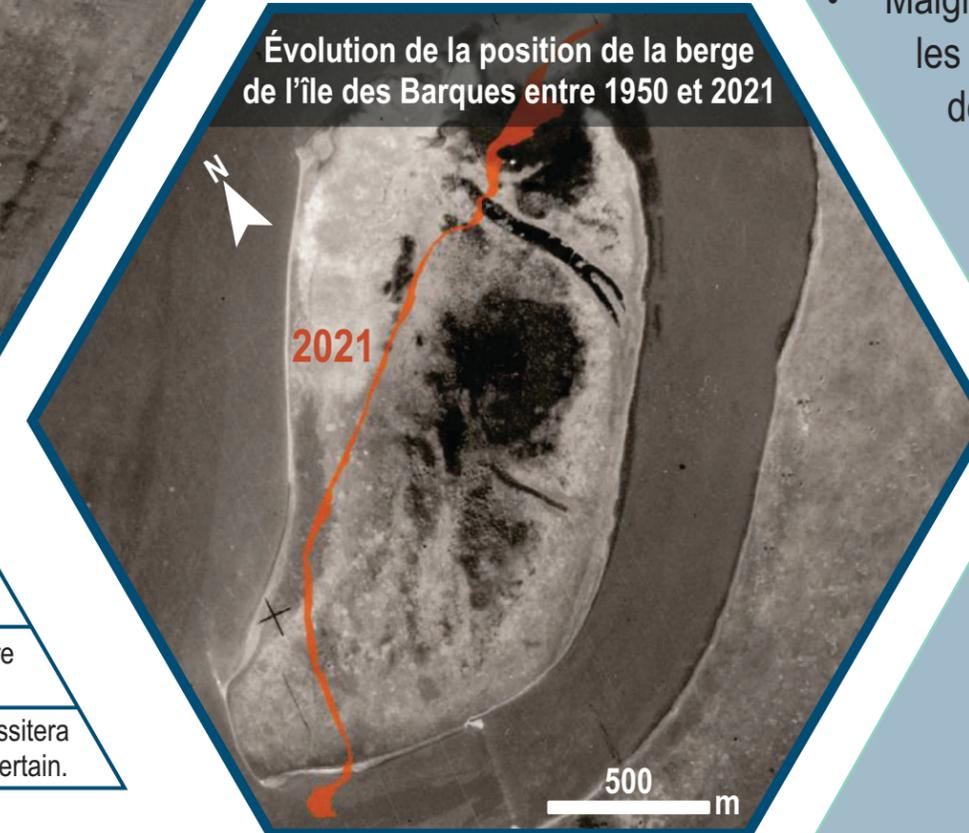
- Le milieu du 19^e siècle marque le début et de nombreuses phases d'agrandissement du chenal maritime. Lors de sa création en 1847, le chenal faisait 4,3 m de profond entre Montréal et Québec pour finalement atteindre 9,1 m en 1907. Cet ouvrage a pour objectif de permettre le passage de grands navires de marchandise à travers les hauts-fonds du tronçon fluviale du SL.
- Malgré ces interventions, il fut décidé en 1930 d'installer des digues et des reversoires afin d'augmenter le niveau d'eau au port de Montréal. Ces structures ont dévié l'écoulement principal du fleuve, qui passait alors dans le Grand Chenal au niveau du LSP, vers le chenal qu'occupe présentement la voie navigable ; le débit est donc passé de 25% à 85% dans ce chenal.

Évolution de la position de la berge de l'île de Grâce entre 1950 et 2021



- En 1950, des travaux visant à rendre le chenal plus rectiligne ont débuté afin d'augmenter l'efficacité de la voie maritime. Ces travaux ont entraîné le découpage de l'île des Barques en 1957, où plus de 400 m de terrain sur le sens de sa largeur ont été retiré. Ces travaux ont modifié le profil de la berge de l'île, exposant un talus vertical composé d'un sable argileux.
- Avec les développements industriels et technologiques, le tonnage et la taille des bateaux de marchandise ont augmenté, permettant ainsi de diminuer le nombre de navires transitant dans la voie maritime.

Évolution de la position de la berge de l'île des Barques entre 1950 et 2021

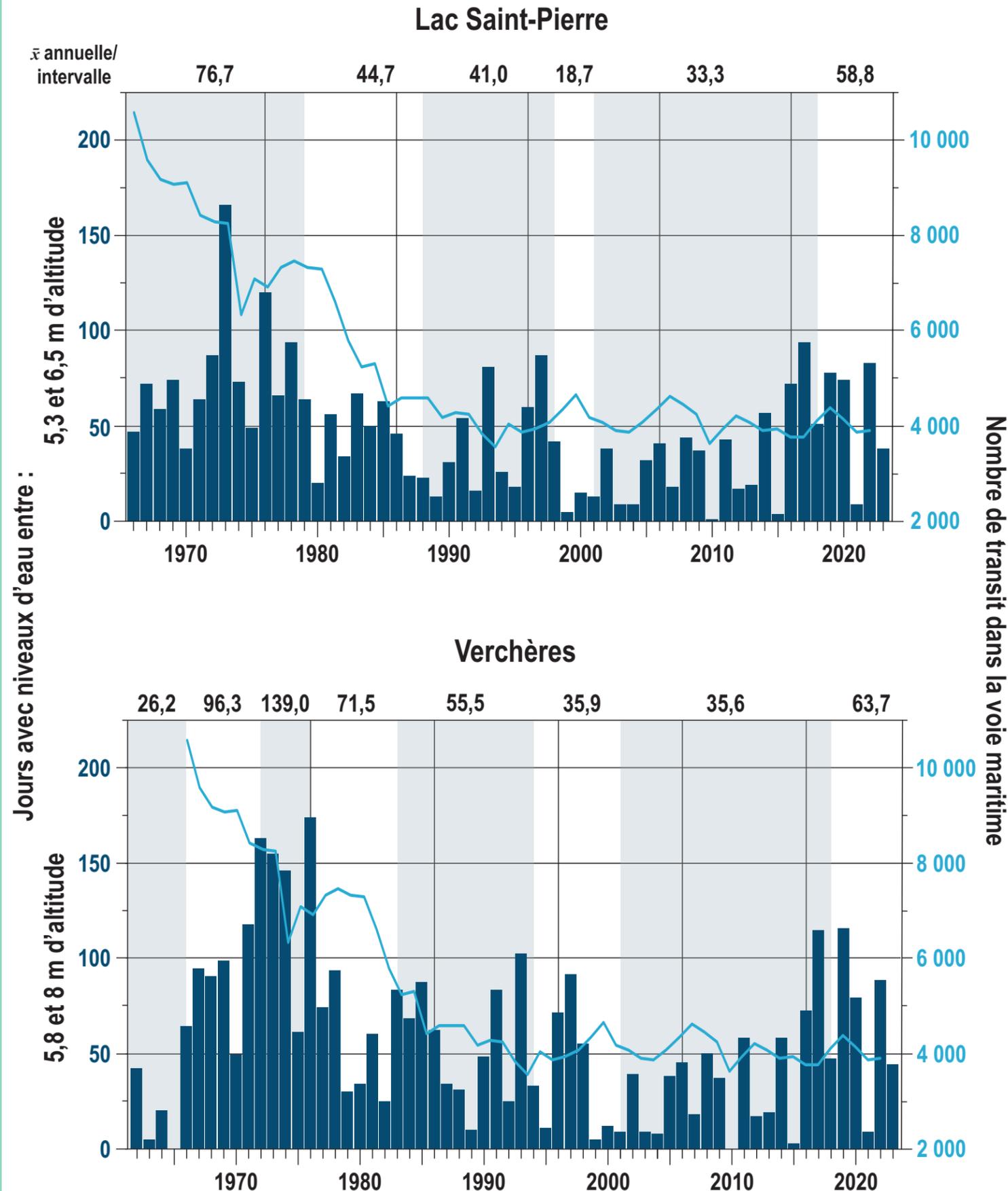


- Malgré la diminution du nombre de transits, les impacts liés aux vagues des navires demeurent majeurs. Afin d'atténuer les effets du batillage, une mesure volontaire de réduction de vitesse a été mise en place à partir de septembre 2000.

Date	Interventions significatives
1847-1907	Dragage de la voie navigable va être réalisé sur de nombreuses années, passant de 4,3 à 9,1 m.
1847-1960	Les dépôts de dragages vont être redistribués sur les berges, sur les bord du chenal ou servir à créer des îles artificielles.
1930	Installation de reversoires dans certains chenaux de l'archipel du LSP afin de dévier le courant du fleuve.
1950	Autre phase importante de dragage pour rectifier le chenal maritime et relier l'Atlantique aux Grands Lacs.
1957	Découpage de l'île des Barques sur 400 m dans l'objectif de rendre le chenal maritime le plus rectiligne possible.
1958-1962	Début du contrôle du débit du SL par l'entremise de barrages, tels que le Moses-Saunders à l'exutoire du lac Ontario et du complexe hydroélectrique dans le bassin versant de la rivière des Outaouais.
1960	Augmentation du tonnage et de la taille des navires entraînant une diminution marquée du nombre de navires transitant dans la voie maritime.
2000	Mise en place d'une mesure volontaire de réduction de vitesse des navires entre l'archipel du LSP et Varennes. Cette mesure incite les navires à maintenir une vitesse maximale de 10 noeuds en montant et 14 noeuds en descendant le fleuve.
2024-202...	L'expansion du port de Montréal à Contrecoeur augmentera de 150 le nombre de navires circulant dans les archipels et nécessitera une nouvelle hausse du niveau d'eau du tronçon fluvial du SL. L'impact de ce projet sur la mobilité des archipels demeure incertain.

Les archipels du lac Saint-Pierre et de Verchères

Niveaux d'eau et transits maritimes



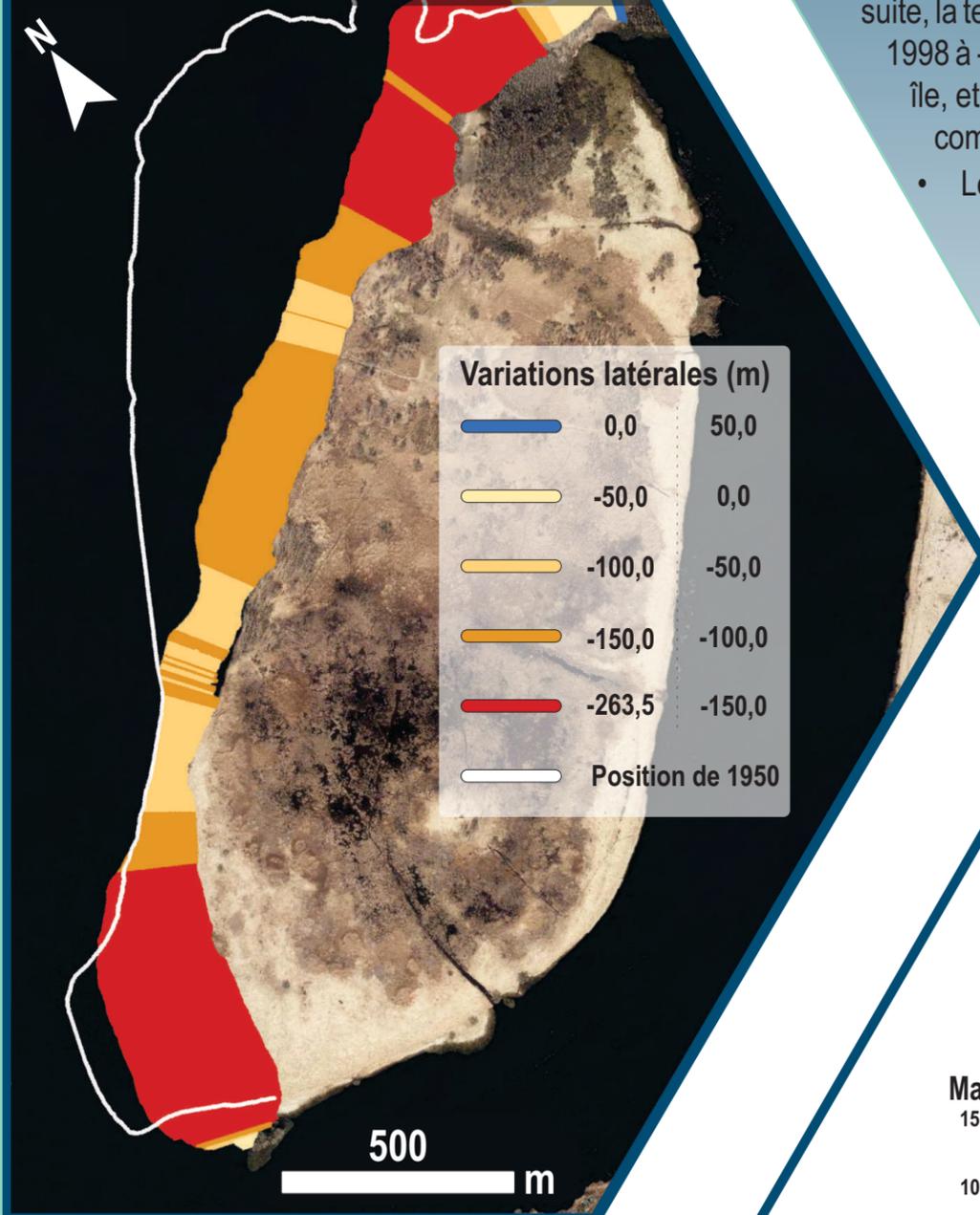
- Des vagues pouvant générer d'importants déplacements sédimentaires dans les archipels sont rares étant donné le fetch très limité du secteur. En revanche, les vagues de batillage ont **une amplitude et une fréquence que les conditions naturelles du secteur reproduisent rarement.**
- Pour générer un déplacement latéral de la rive, les vagues doivent atteindre la berge. **L'impact potentiel des vagues de navire est donc variable tout au long de l'année.** Lors des crues printanières et automnales, **les niveaux d'eau sont plus élevés et permettent à plus de vagues d'atteindre la berge ou de l'inonder.**
- Depuis 1960, le nombre de jours par année où le niveau d'eau était suffisamment haut pour permettre aux vagues d'atteindre les berges du LSP et/ou de Verchères a été comptabilisé et mis en lien avec le nombre de navires ayant transité annuellement dans la voie maritime.
- Bien que les berges soient généralement plus basses dans l'archipel du LSP (5,3 m) que celles de Verchères (5,8 m), on observe **plus de jours avec de hauts niveaux d'eau dans l'archipel de Verchères** (2649 jours) que dans celui du LSP (2183 jours).
- **Les années 1970 et celles suivant 2015** ont été marquées par une **forte concentration de hauts niveaux d'eau**, alors qu'on dénombre pour cette période 1028 événements dans le LSP et 1332 au niveau de Verchères. Cette répartition est liée étroitement au régime hydrologique nivo-pluvial du SL, alors que d'importantes inondations printanières ont été recensées à ces moments.
- **Les années 1970** se distinguent aussi par une **grande quantité de navires** qui transitaient dans la voie maritime, alors qu'**aucune limite de vitesse** n'était en place à l'époque. Les vagues de batillage auraient donc été particulièrement dommageables pendant cette période. À l'inverse, **les années 2000 devraient être moins actives** en terme d'érosion, car le nombre de jours avec des hauts niveaux d'eau ainsi que le nombre de navires sont beaucoup plus faibles.
- Au fil des ans, **le tonnage et la taille des navires commerciaux ont augmenté** de manière significative, permettant ainsi de diminuer le nombre de passage dans le chenal de navigation, ce qui a aussi eu comme conséquence d'**augmenter la hauteur des vagues** de batillage.

Les archipels du lac Saint-Pierre et de Verchères

Évolution latérale des îles du lac Saint-Pierre

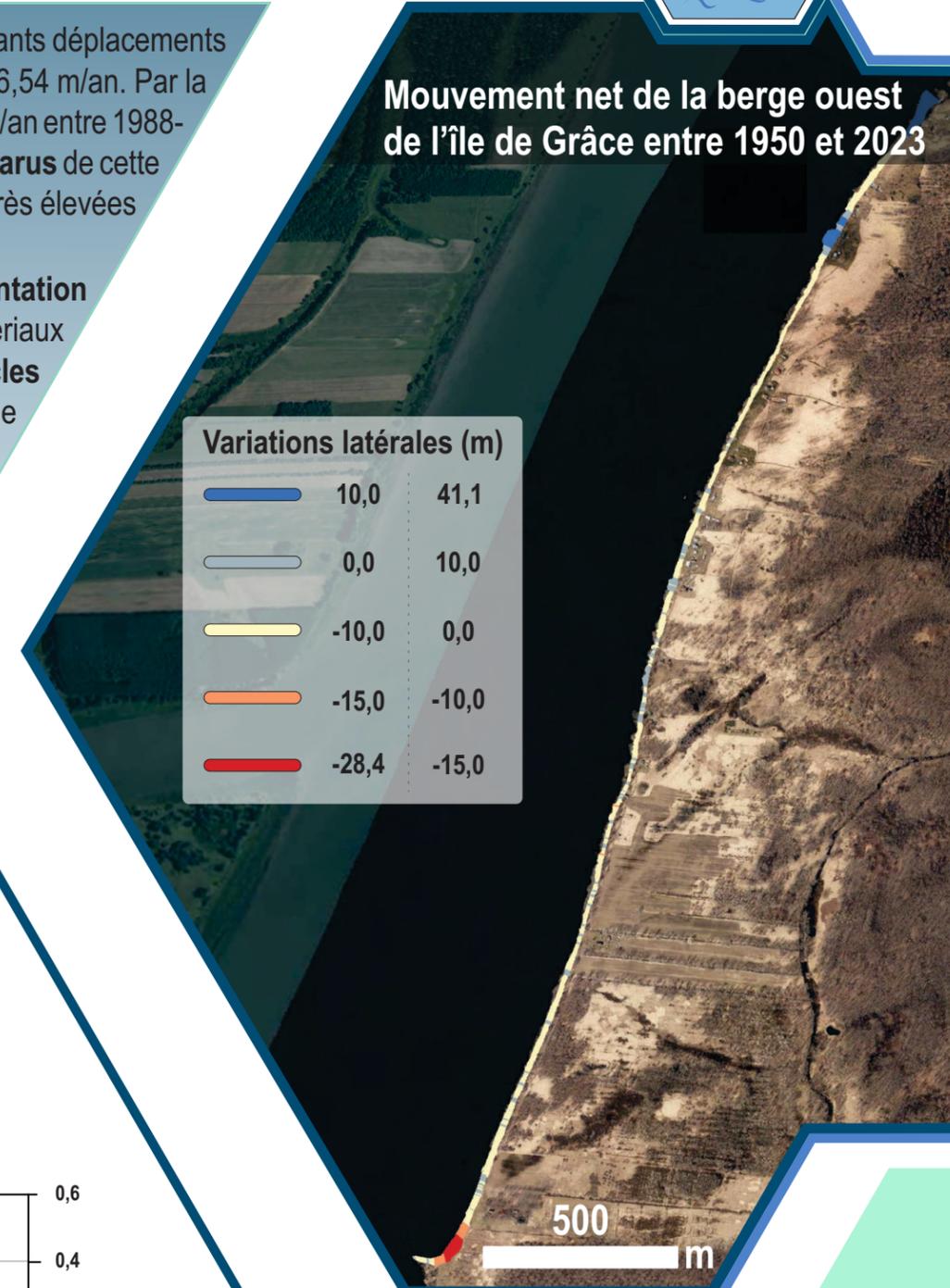


Mouvement net de la berge ouest de l'île des Barques entre 1966 et 2023



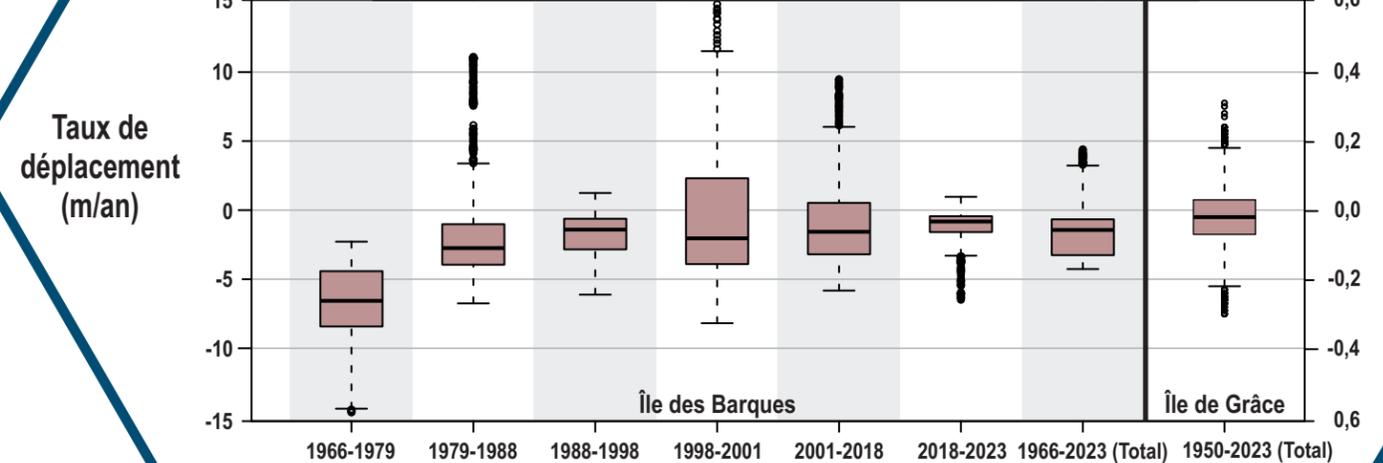
- La première décennie après le découpage de l'île des Barques (1966-1979) affiche d'importants déplacements latéraux pouvant atteindre plus de **185 m en seulement 13 ans**, soit un recul moyen de **-6,54 m/an**. Par la suite, la tendance érosive de l'île des Barques a ralenti graduellement passant de **-1,69 m/an** entre 1988-1998 à **-1,2 m/an** entre 2018-2023. Au total, c'est un **maximum de 263 m qui sont disparus** de cette île, et ce, sans prendre en compte le découpage réalisé en 1957. Ces valeurs sont très élevées comparativement à ce qui est observé ailleurs dans le SL fluvial.
- Les taux de migration observés après cette intervention démontrent une **augmentation de la sensibilité de cette berge** aux conditions hydrodynamiques. Les matériaux fins qui composent la berge se détachent surtout en feuillets suite à des **cycles répétés de dessiccation des argiles**, c'est-à-dire un épisode de séchage des argiles suivant un gonflement préliminaire par humidification.
- Le segment **non exposé de l'île de Grâce** affiche une **tout autre dynamique**, alors que le taux moyen de migration de la rive ouest de l'île est de **-0,02 m/an** entre 1950-2023.

Mouvement net de la berge ouest de l'île de Grâce entre 1950 et 2023



Statistiques sur l'évolution latérale

	66-79	79-88	88-98	98-01	01-18	18-23	Total Barques	Total Grâce
TM* \bar{x}	-6,54	-1,65	-1,69	-0,39	-0,95	-1,20	-2,54	-0,02
MNTB* \bar{x}	-85,00	-14,81	-16,87	-1,16	-16,13	-6,50	-145,82	-1,28
Max recul	-186,91	-59,71	-60,00	-24,13	-97,24	-34,46	-263,46	-28,39
Max avancée	-29,13	98,11	12,19	57,31	158,02	1,79	48,41	41,09



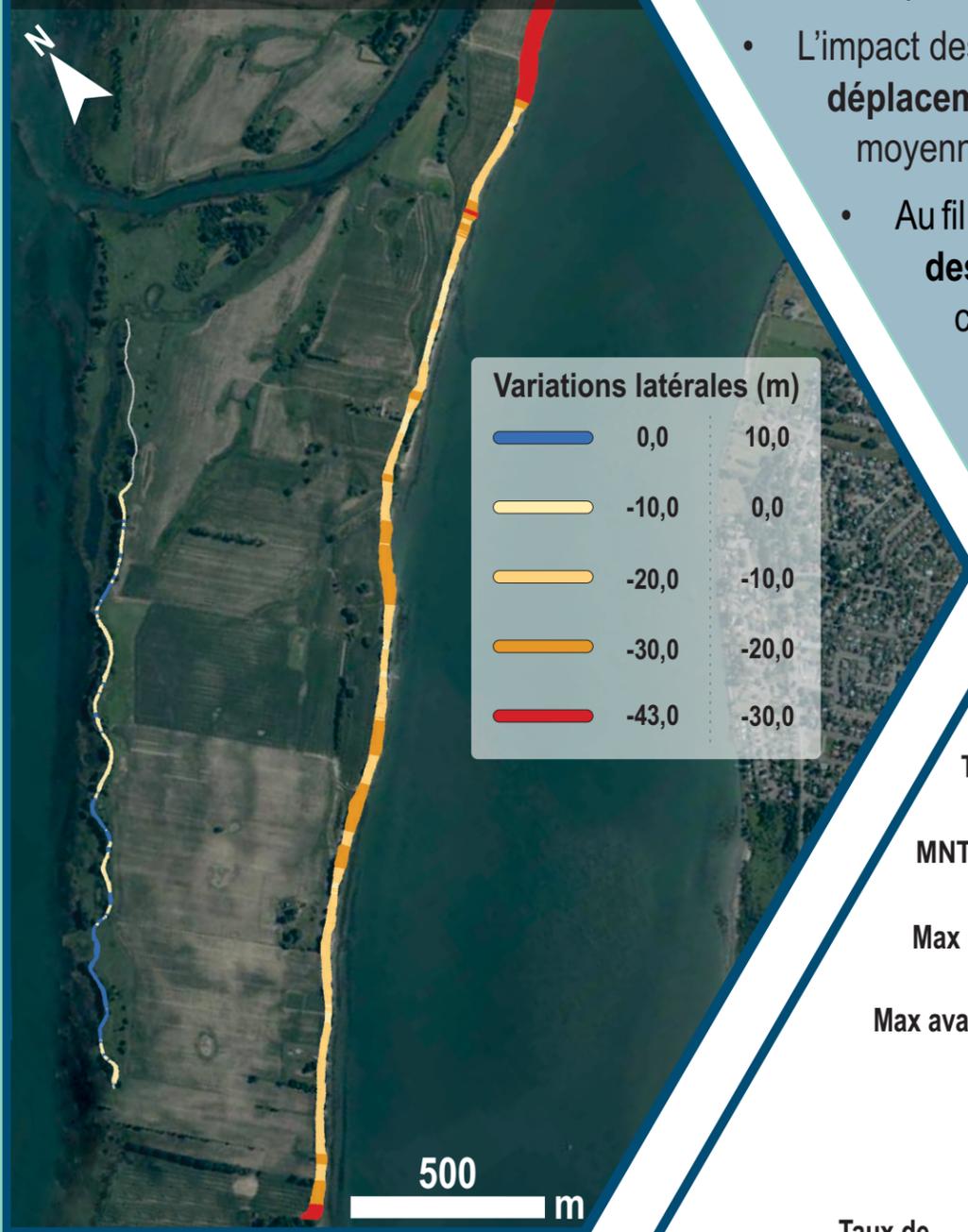
*TM : Taux de migration
 *MNTB : Mouvement net du trait de berge
 \bar{x} : Moyenne

Les archipels du lac Saint-Pierre et de Verchères

Évolution latérale de l'île Marie

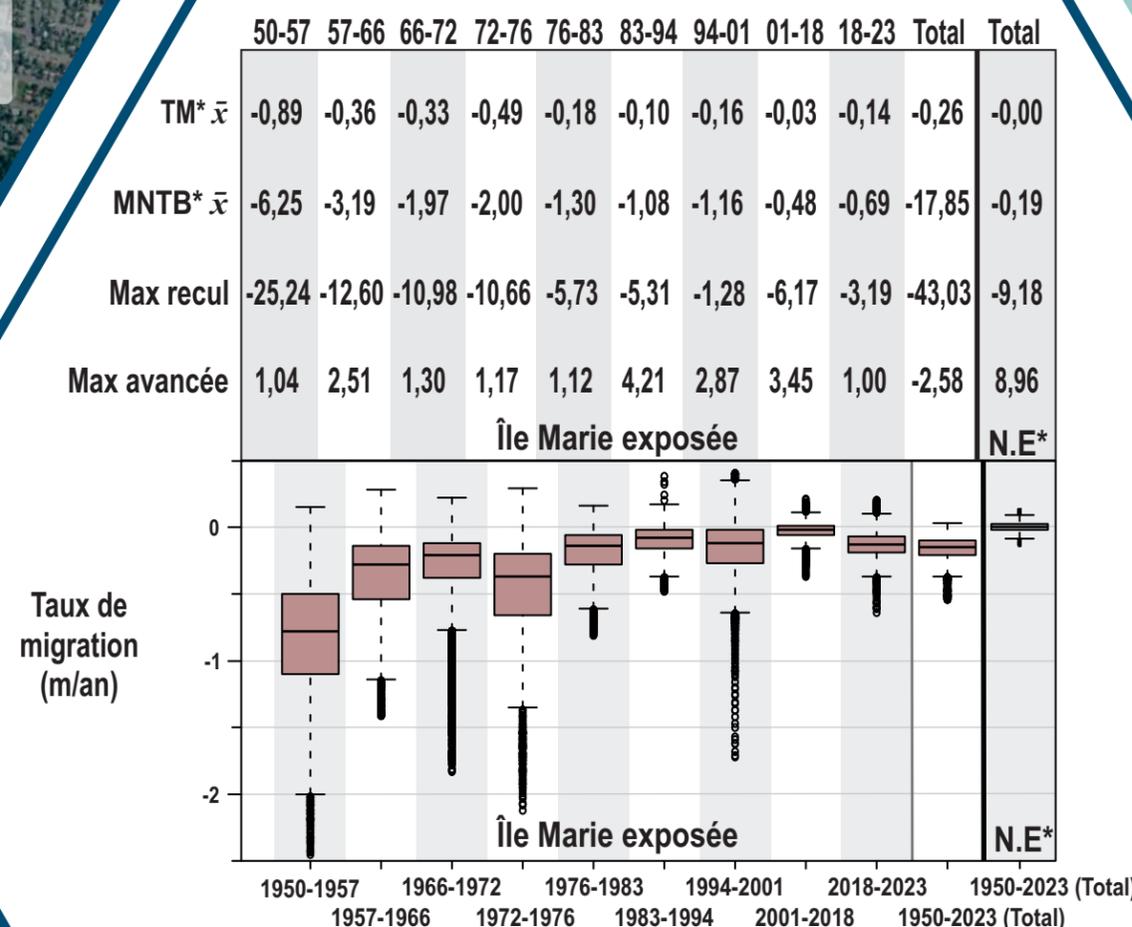


Mouvement net des berges de l'île Marie entre 1950 et 2023



- Depuis 1950, l'évolution latérale de la rive est de l'île Marie est **caractérisée par d'importants reculs**. Le secteur le plus affecté a subi un déplacement maximum d'environ 43 m en 74 ans.
- L'impact des **hauts niveaux d'eau des années 1970** et du **grand nombre de navires** circulant dans le chenal de navigation est **visible sur le déplacement latéral** de la rive est de l'île Marie. En effet, un taux de migration nettement plus haut a été observé entre 1966 et 1976 avec une moyenne annuelle de -0,41 m, alors que le taux de migration est de -0,15 m/année pour la période entre 1976-2023.
- Au fil du temps, cette **tendance à l'érosion s'est atténuée**, en raison d'une **réduction du nombre de passages de navires et de jours avec des niveaux d'eau élevés**, conduisant à une diminution de -0,03 m/an entre 2001 et 2018. Malgré cela, une régression significative a été constatée, avec certains segments enregistrant des reculs de plus de 6 mètres, même si le fleuve a rarement atteint le talus durant cette période. Cependant, **entre 2018 et 2023, l'érosion s'est à nouveau intensifiée**, en corrélation avec une **fréquence accrue des hauts niveaux d'eau** atteignant les berges. Par ailleurs, le **processus de dessiccation des argiles est particulièrement actif sur les talus dénudés de végétation et exposés aux vagues de batillage**, amplifiant ainsi l'érosion causée par les processus hydrologiques sur les talus fragilisés, comme observé sur les berges de l'île des Barques.

Statistiques sur l'évolution latérale



- Suite à la **diminution volontaire de vitesse** à l'automne 2000, **les valeurs extrêmes sont moins élevées**, alors que le recul moyen entre 2001-2018 a diminué à -0,48 m en opposition à -1,16 m entre 1994-2001. Or, l'effet de cette mesure a **été moins important entre 2018-2023**, alors que des inondations importantes ont été enregistrées.
- Les marais et herbiers qui bordaient autrefois la rive est de l'île ont aujourd'hui disparu, bien qu'ils soient toujours présents de l'autre côté de l'île. **La rive ouest de l'île est donc beaucoup plus stable** que son opposé, alors que **très peu de déplacements** ont été identifiés depuis 1950.

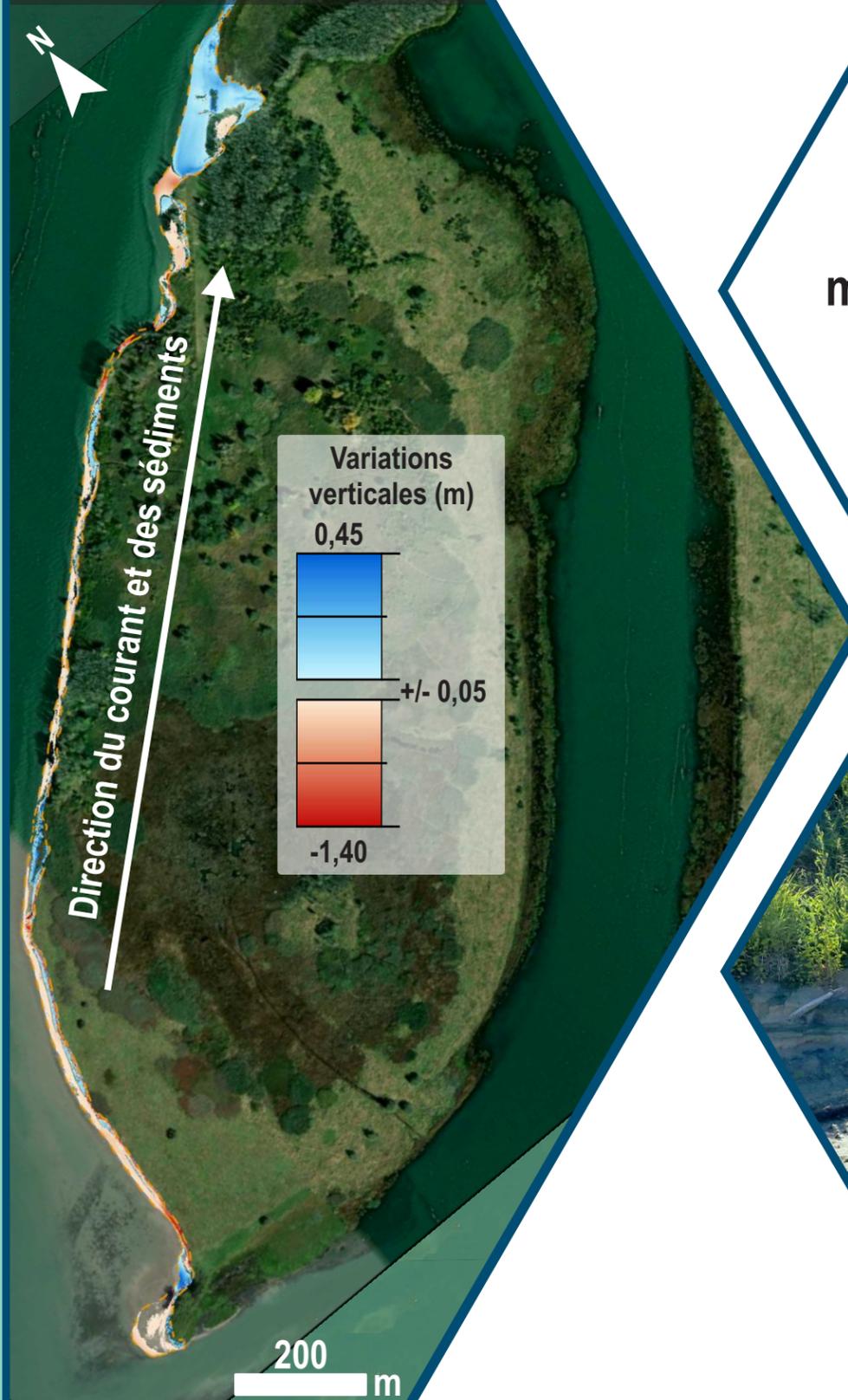
*TM : Taux de migration
 *MNTB : Mouvement net du trait de berge
 *N.E : Non exposée
 \bar{x} : Moyenne

Les archipels du lac Saint-Pierre et de Verchères

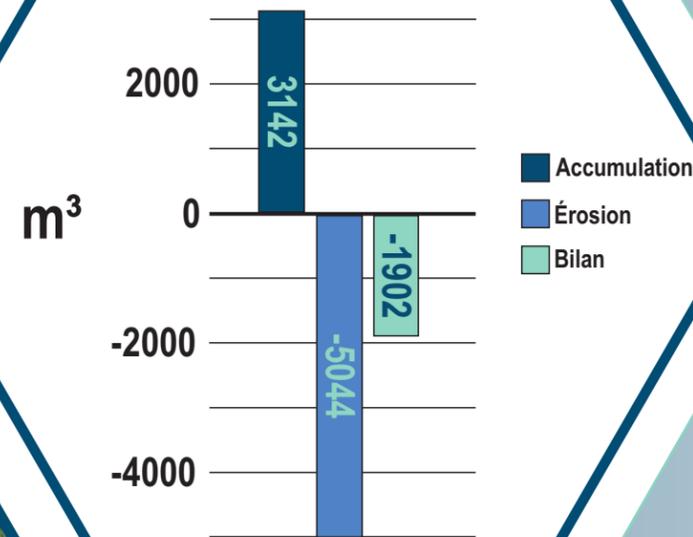
Évolution verticale de l'île des Barques



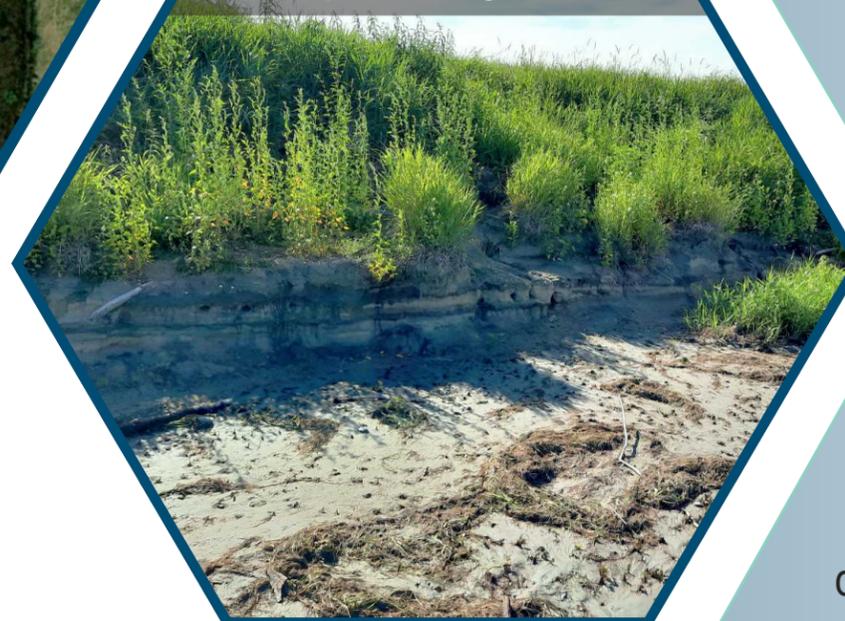
Évolution verticale de
l'île des Barques entre mai
2021 et novembre 2022



Bilan sédimentaire entre
mai 2021 et novembre 2022



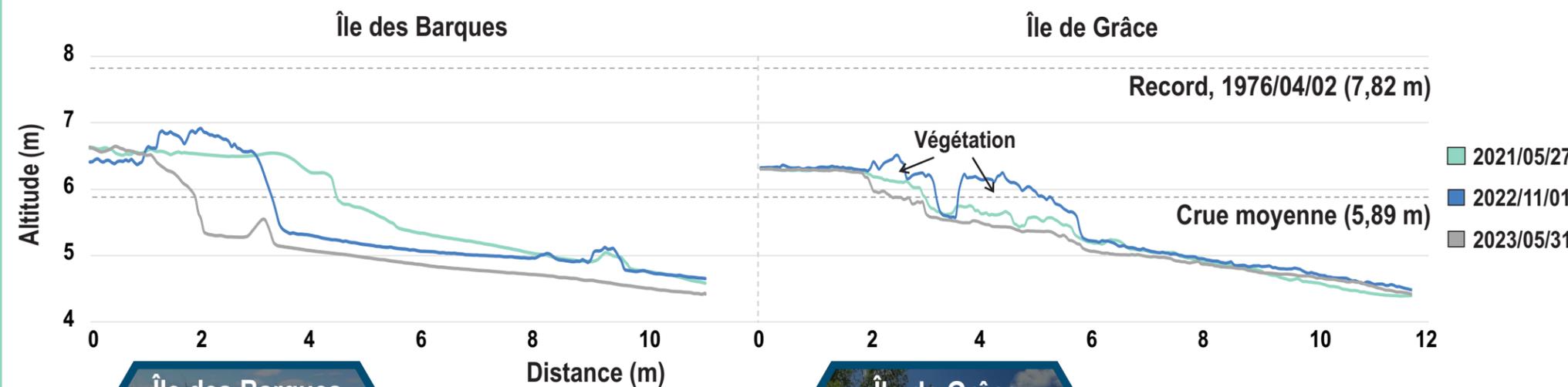
Rive ouest de l'île des Barques
montrant plusieurs signes d'érosion



- Une perte sédimentaire verticale d'environ 1900 m³ a été enregistrée pour l'île des Barques entre mai 2021 et novembre 2022. Cette **perte verticale est principalement observée en amont de l'île, alors que la portion en aval accumule majoritairement des sédiments sableux.**
- Les données recueillies permettent d'identifier les déplacements sédimentaires de l'île. En effet, **les sédiments érodés des berges en amont de l'île se déplacent vers la pointe en aval** et engendrent un **déplacement de l'île des Barques** dans le sens de l'écoulement du fleuve.
- Cette accumulation sédimentaire a **permis à un marais de se développer** à cet endroit, en captant les sédiments en suspension provenant de l'érosion du reste de l'île.
- Malgré tout, la majorité des sédiments érodés est **transportée ailleurs dans le fleuve ou captée par la voie maritime**. Ce phénomène contribue probablement à **augmenter la fréquence des opérations de dragage dans ce secteur de la voie maritime** afin de maintenir une profondeur adéquate (11,3 m) pour le passage des navires.
- Étant donné la végétation dense surplombant les berges de l'île de Grâce et de l'île Marie, il a été impossible d'obtenir une évaluation satisfaisante de leur évolution verticale par l'entremise de la méthode de suivi par drone identifiée dans le cadre de ce projet.

Les archipels du lac Saint-Pierre et de Verchères

Profils de pente

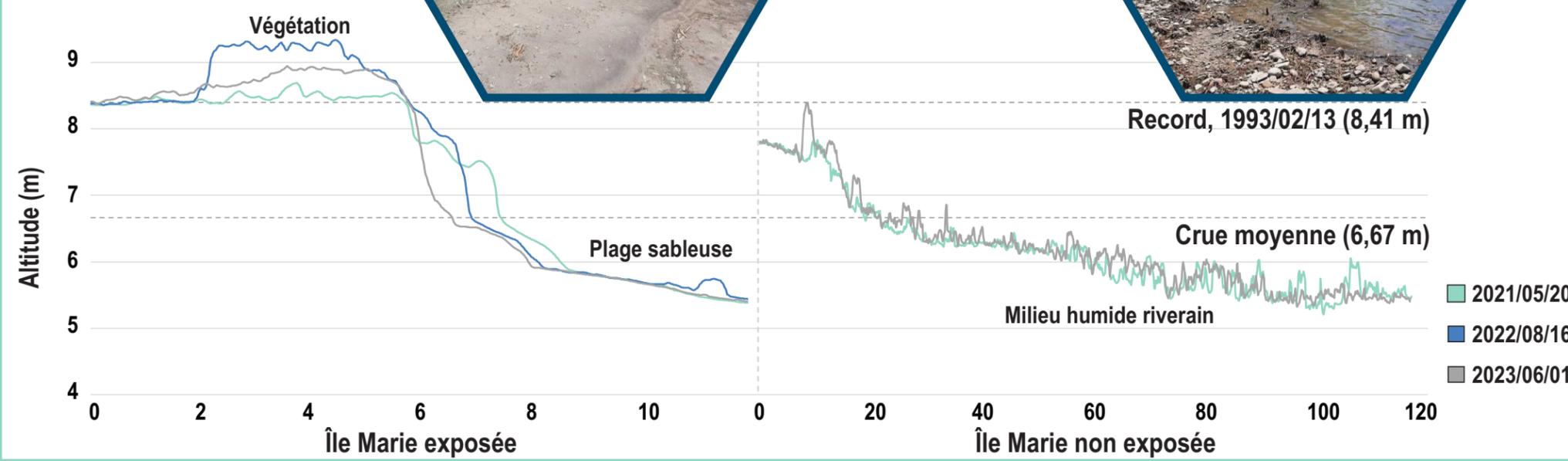


- L'érosion verticale et latérale observée sur l'île des Barques et sur la rive exposée à la voie maritime de l'île Marie se produit en plusieurs étapes. D'abord, les vagues viennent **saper le bas du talus** vertical qui s'est développé suite aux modifications hydrodynamiques du secteur, formant ainsi des structures en **porte-à-faux**. Avec le temps, ces structures s'écroulent et les sédiments qui les constituent, s'accumulent au pied du talus avant d'être remobilisées par les vagues, les courants ou la glace.



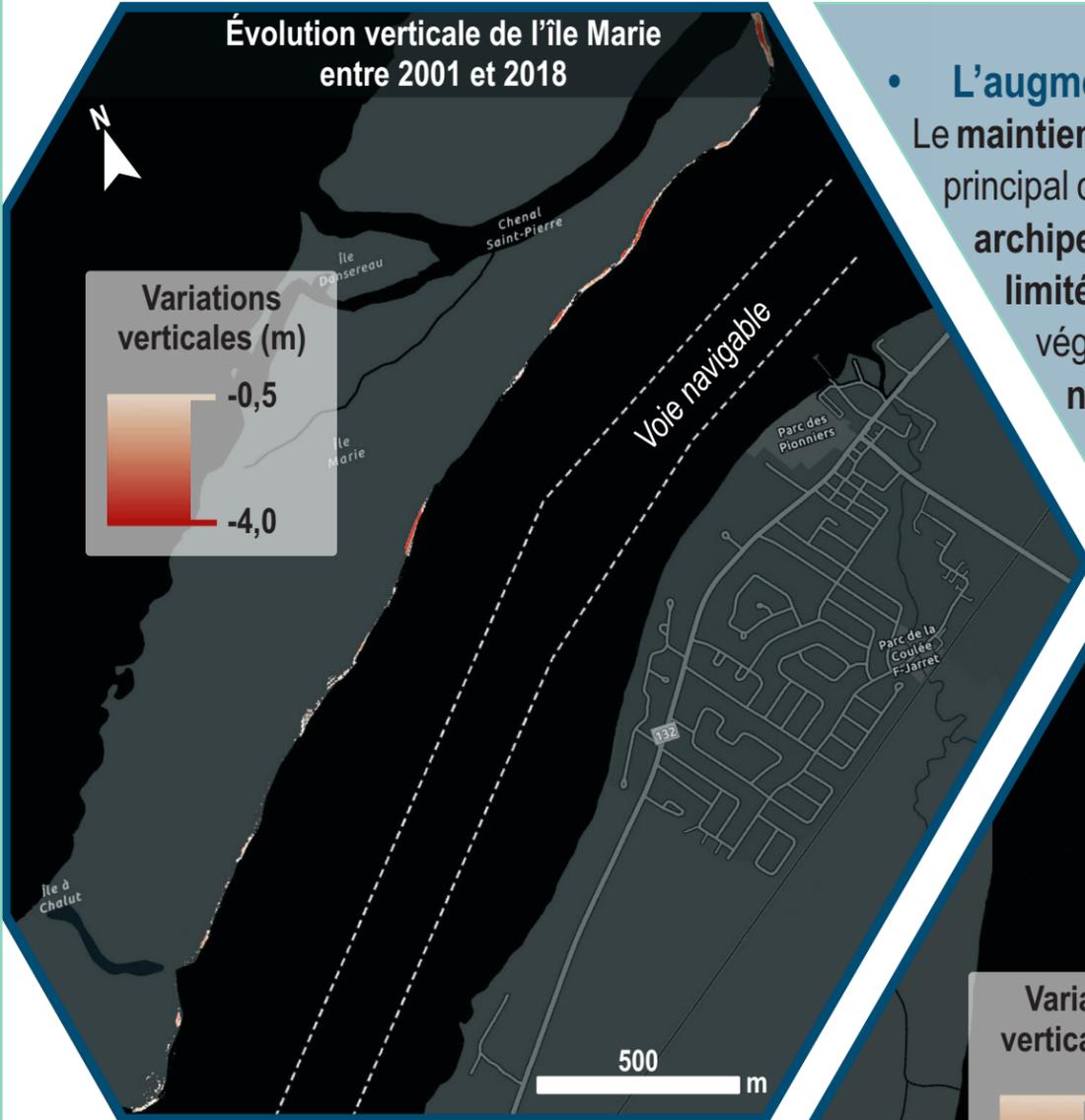
- Lorsque la végétation riveraine est composée d'arbres, il est aussi possible d'observer des systèmes racinaires complets en porte-à-faux à cause des vagues qui **lessivent les sédiments sous les arbres**. Ultimement, ces arbres basculent et peuvent arracher une grande portion de la berge lors de leur chute.

- Les profils de l'île de Grâce et du côté ouest de l'île Marie sont complètement différents, ce qui suggère que le **moteur principal de ces processus sont les vagues**. Ces deux secteurs exposent une **pente douce végétalisée** sans talus vertical. Sans batillage, un profil similaire devrait être présent à l'île des Barques et du côté est de l'île Marie.



Les archipels du lac Saint-Pierre et de Verchères

Sommaire et conclusions



- **L'augmentation de la sensibilité des berges causée par les niveaux d'eau artificiels**

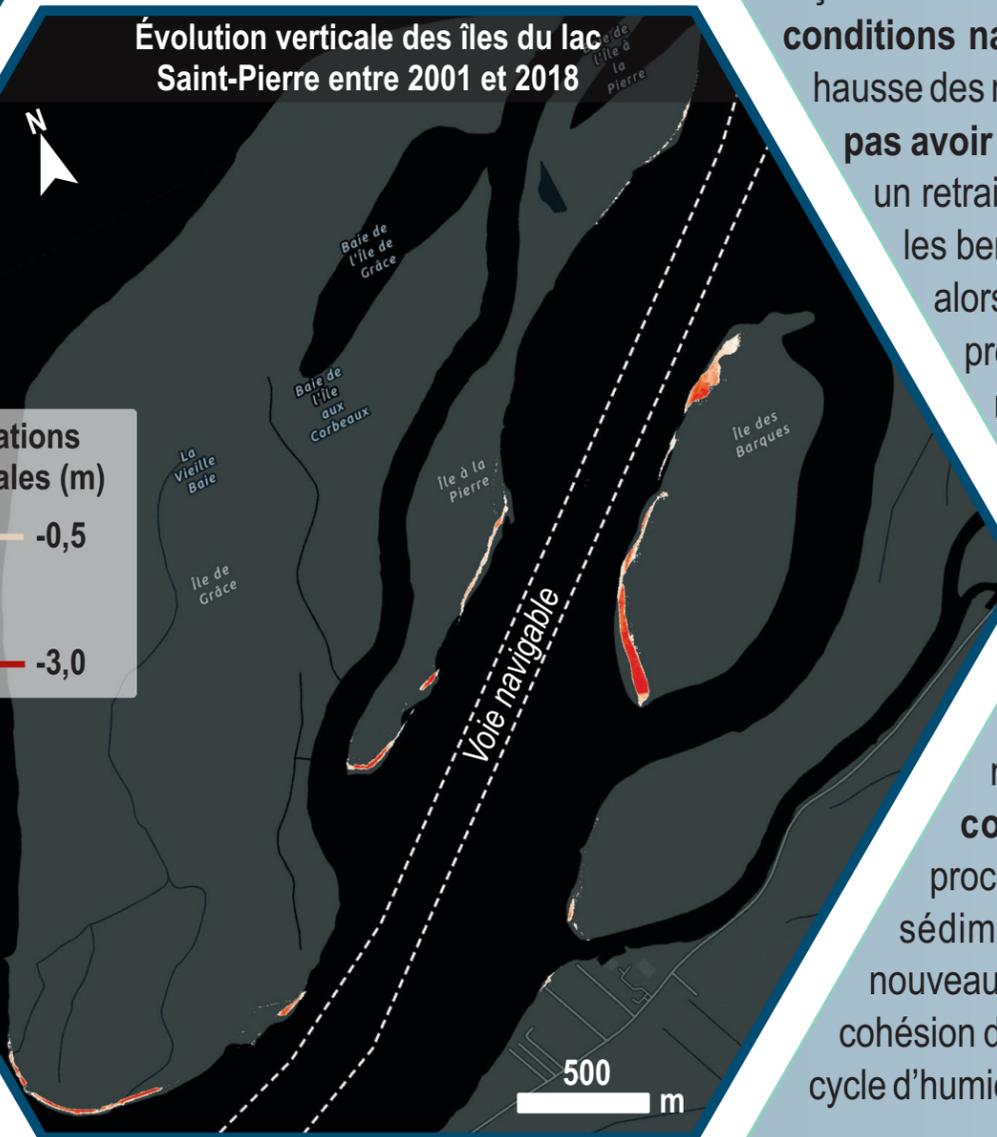
Le maintien d'un niveau d'eau plus élevé et stable, assuré par des infrastructures telles que des digues, des barrages et des déviations du cours principal du fleuve pour permettre une navigation commerciale tout au long de l'année, a forcé une adaptation de la végétation riveraine des archipels. Cette gestion des niveaux d'eau a probablement affaibli la végétation en concentrant les processus érosifs sur une frange limitée de la berge et en prolongeant la période de submersion de la végétation, un élément crucial pour l'établissement des espèces végétales riveraines. Avec cette végétation en phase d'adaptation, la sensibilité des berges a progressivement augmenté face à un nouveau stresser majeur, à savoir les vagues de batillage.

- **L'impact de la modification du régime de vague**

La mise en place de la voie navigable a fortement modifié le régime de vagues du secteur. Cet aménagement a introduit dans le tronçon fluvial des vagues ayant une amplitude et une fréquence que les conditions naturelles du secteur reproduisent difficilement. Affaiblis par la hausse des niveaux d'eau, les systèmes riverains de ces archipels ne semblent pas avoir été en mesure de supporter de nouveaux stressers, générant un retrait de la végétation suivi d'une dégradation des berges. À l'inverse, les berges qui ne sont pas à proximité n'exposent pas la même réponse, alors que les mouvements érosifs importants de la berge sont presque uniquement visibles en bordure de la voie maritime dans la région des archipels.

- **Le rôle de la dessiccation des argiles**

En étant dorénavant dénudées de végétation, ces berges sont maintenant exposées au processus de dessiccation des argiles. Avec l'augmentation de la fréquence du batillage, les berges connaissent davantage de variations d'humidité, ce qui accroît la fréquence et la magnitude de ce phénomène. Une fois que la cohésion des argiles est affaiblie par ce processus, les vagues de batillage érodent les sédiments du talus et exposent à nouveau du matériel qui verra ainsi sa cohésion diminuée à la suite du prochain cycle d'humidification et d'assèchement.



Berge ouest de l'île Marie sans signe d'érosion



Recul de la berge est de l'île Marie





• Un lien entre les crues et l'érosion par batillage

Lors des crues printanières, le niveau d'eau du tronçon fluvial du fleuve augmente rapidement et **modifie l'exposition des berges aux vagues de batillage**. En effet, afin de générer de l'érosion et des structures en porte-à-faux, les vagues doivent atteindre au minimum le pied des talus, afin d'éroder et remobiliser les sédiments. De ce fait, **les vagues de batillage seraient plus dommageables lors des longues crues**, car plus de vagues seraient en mesure d'atteindre les berges pendant une plus longue durée et ainsi engendrer davantage d'érosion.

• Les effets cumulatifs initiés par la voie maritime du Saint-Laurent

La création de la voie maritime du SL a eu dans le passé et continue aujourd'hui d'avoir **d'importants impacts cumulatifs sur la dynamique sédimentaire du tronçon fluvial**. Les interventions réalisées lors de sa mise en place ont grandement modifié les conditions hydrodynamiques du fleuve, en plus d'incorporer un nouvel agent géomorphologique, soit les vagues de batillage. Malgré les mesures instaurées et le ralentissement de la mobilité depuis 2000, **les vagues d'origine humaine engendrent toujours d'importants reculs dans les archipels du LSP et de Verchères** en comparaison à ce qui est observable ailleurs dans le Saint-Laurent fluvial. L'action combinée de ce type de vague avec la hausse artificielle du niveau de l'eau a eu comme conséquence initiale de déstabiliser la végétation et d'augmenter la pente des berges. Cette interaction semble maintenir encore aujourd'hui ce talus généralement dénudé de végétation, lequel est par le fait même **devenu plus vulnérable à l'action des autres processus naturels** (p. ex. : dessiccation des argiles et les crues). L'augmentation de la vulnérabilité des berges s'appuie sur **l'observation des berges non exposées à la voie maritime qui possèdent une pente entièrement végétalisée de faible angle avec peu ou pas de signes d'érosion**.

Laquier transitant dans la voie maritime à proximité de l'île Marie



Niveau d'eau élevé au printemps 2023 à l'île Marie



L'évolution des îles en chiffres



Île des Barques

Entre 1966 et 2023

Taux moyen de migration : -2,54 m/an

Recul maximal : -263,46 m

Île de Grâce

Entre 1966 et 2023

Taux moyen de migration : -0,02 m/an

Recul maximal : -28,39 m

Secteur du lac Saint-Pierre
enregistre entre 2001 et 2018 une perte sédimentaire
de 250 000 m³ soit...

25 000 

Île Marie (exposée)

Entre 1950 et 2023

Taux moyen de migration : -0,26 m/an

Recul maximal : -40,03 m

Île Marie (non exposée)

Entre 1950 et 2023

Taux moyen de migration : -0,00 m/an

Recul maximal : -9,18 m

Secteur de Verchères
enregistre entre 2001 et 2018 une perte sédimentaire
de 27 000 m³ soit...

2 362 