



PORTRAIT



CONSEIL DU SAINT-LAURENT
TCR SUD DE L'ESTUAIRE MOYEN

MISE EN CONTEXTE :

Cette fiche a été produite dans le cadre du processus d'élaboration du Plan de gestion intégrée régional (PGIR) touchant le territoire de la Table de Concertation Régionale (TCR) du Sud de l'estuaire moyen. Elle fait partie du portrait du territoire.

Pour en apprendre davantage sur l'ensemble de la démarche, visitez notre site internet : tcrsudestuairemoyen.org. Un résumé est également disponible en introduction de la [version conviviale du Plan d'action 2018-2023](#) (pages 6 à 11).

REMERCIEMENTS :

L'équipe de coordination du Conseil du Saint-Laurent tient à remercier tous les membres, partenaires et collaborateurs de la Table de concertation du Sud de l'estuaire moyen qui ont participé à l'élaboration et à la vérification des fiches du portrait du territoire.

CITATION RECOMMANDÉE :

Conseil du Saint-Laurent. (Année). Titre de la fiche. Fiche du portrait | Plan de Gestion Intégrée Régional du Conseil du Saint-Laurent.

La complexité mouvementée de l'estuaire moyen du Saint-Laurent

RÉSUMÉ

Le territoire de la Table de concertation régionale (TCR) correspond à l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Il s'agit de la section du Saint-Laurent où les eaux douces du fleuve se mélangent avec les eaux salées en provenance du golfe, une véritable zone de transition entre le milieu d'eau douce et marin. L'estuaire moyen présente un environnement extrêmement dynamique caractérisé par une topographie sous marine accidentée, des fluctuations du niveau de l'eau de grande amplitude et une forte variabilité des conditions environnementales.

Les principales variables qui régissent l'hydrodynamisme dans l'estuaire moyen sont, par ordre d'importance, la marée et les apports d'eau douce. Le régime des vents (qui induit les vagues) joue un rôle de second plan dans ce secteur. L'action combinée de ces différentes forces (marée, courant, vagues) est modulée par la bathymétrie et par le régime des glaces en hiver. Les conditions hydrodynamiques résultantes affectent le régime sédimentaire et expliquent le gradient longitudinal des conditions physico-chimiques de l'eau.

Bathymétrie

La bathymétrie de l'estuaire moyen est très variable. Une série d'îles et de hauts-fonds le sépare en une partie nord et une partie sud. Le chenal Nord, plus étroit et profond, est caractérisé par une série de fosses (d'au plus 183 m de profondeur) séparées par des seuils. La portion sud ne dépasse généralement pas les 30 mètres de profondeur et se divise en deux canaux distincts, le chenal Sud (ou Beaujeu) et le Chenal du Milieu. Entre la côte et le chenal Sud se trouve une large plateforme peu profonde (moins de 10 mètres). Ce secteur est aussi caractérisé par la présence de nombreuses îles et îlots (Biorex, 1999; Simons, 2004; St-Onge, 2010).

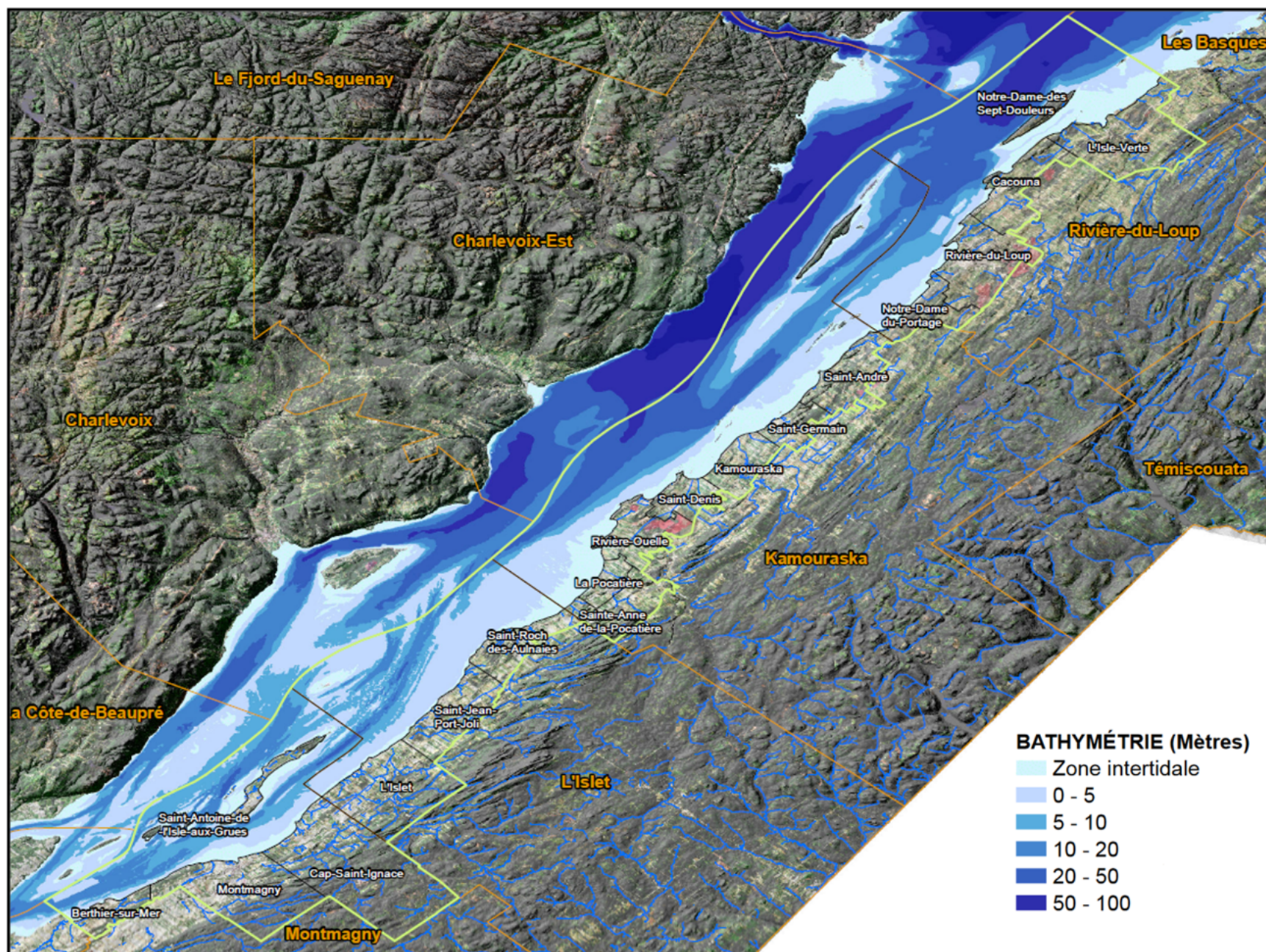


Figure 1. Bathymétrie de l'estuaire moyen du Saint-Laurent.

Fiche du portrait | Plan de Gestion Intégrée Régional du Conseil du Saint-Laurent

Dernières modifications : 2017-08-24

Marée

L'estuaire moyen est caractérisé par des marées de type semi-diurne avec deux hautes mers et deux basses mers quotidiennement. En raison de la diminution de la profondeur et de la largeur de l'estuaire, la marée est amplifiée lors de sa progression vers l'amont (Tableau 1). Le marnage¹ moyen passe de 3,8 mètres à L'Isle-Verte à 4,6 mètres au niveau de Berthier-sur-Mer. L'amplitude maximale de 7 mètres est mesurée entre l'île d'Orléans et l'île aux Coudres (Saucier et Chassé, 2000). Les débits et les courants engendrés par la marée sont substantiels. À la hauteur de Québec, la marée induit un débit impressionnant de l'ordre de 55 000 m³/s (Centre Saint-Laurent, 1996), plus de quatre fois supérieur au débit annuel moyen du fleuve (12 350 m³/s; pour plus d'information, consulter la fiche *Hydrographie du territoire*). La combinaison de ces deux débits (marée et fluvial) peut atteindre des pointes avoisinant les 75 000 m³/s et engendrer des courants capables d'atteindre des vitesses de l'ordre de 3 à 4 m/s (Bourgault, 2001; St-Onge, 2010). À la hauteur de Montmagny, des débits instantanés de 90 000 m³/s ont été estimés (Centre Saint-Laurent, 1996). Les conditions extrêmement dynamiques engendrées par la marée en font l'une des caractéristiques dominantes dans le fonctionnement de l'estuaire moyen (Saucier et Chassé, 2000; Bourgault, 2001; Saucier et al., 2009).

Tableau 1. Évolution des caractéristiques de la marée entre les secteurs amont et aval du territoire.

Station	Localité	Marnage		Hauteur				Niveau moyen de l'eau
				Pleine mer supérieure		Basse mer inférieure		
		Marée moyenne	Grande marée	Marée moyenne	Grande marée	Marée moyenne	Grande marée	
3120	L'Isle-Verte	3,4 m	5,0 m	4,2 m	5,5 m	0,8 m	0,2 m	2,4 m
3200	Berthier-sur-Mer	4,6 m	6,1 m	5,3 m	6,6 m	0,8 m	0,5 m	2,9 m

Source : Service hydrographique du Canada, Pêches et océans Canada, 2015

La marée engendre donc des fluctuations importantes du niveau de l'eau (fluctuation verticale) et des courants (fluctuation horizontale). À partir de l'estuaire moyen, son influence est telle qu'il se produit un inversement du sens du courant lors de la marée montante. Les contraintes qu'elle impose influencent inévitablement la faune, la flore et les habitats tant marins que côtiers.

Vagues

L'action combinée du vent (vitesse, direction et persistance), du fetch (distance sans obstacle) et de la bathymétrie régit la structure des vagues. Ce sont les vents soufflants dans l'axe longitudinal de l'estuaire (fetch le plus long), soit des secteurs nord-est et sud-ouest, qui produisent les vagues les plus fortes sur la rive sud de l'estuaire moyen. Toutefois, les vagues n'atteignent jamais une hauteur très élevée dans ce tronçon. Le pourcentage des vagues qui atteignent plus de deux mètres de hauteur est inférieur à 5 % (Biorex, 1999). Les hauteurs maximales sont généralement atteintes en décembre, avant la formation des glaces, alors que les plus faibles s'observent au printemps.

¹ Le marnage réfère à la différence de hauteur d'eau mesurée entre une haute mer et une basse mer successive.

Dans l'estuaire moyen, l'amplitude et l'énergie des vagues tendent à diminuer de l'aval vers l'amont, à mesure que le marnage augmente (Drapeau, 1992; Meunier et al., 2009). Cette relation inversement proportionnelle entre l'importance des vagues et la marée démontre que le forçage² tidal (le régime de marée) domine l'hydrodynamisme local à la tête de l'estuaire moyen (donc à l'ouest de la zone d'étude). En se dirigeant vers l'est du territoire, la dynamique liée aux vagues prend de l'ampleur, mais l'environnement reste tout de même dominé par la marée (Drapeau, 1992).

Caractéristiques physico-chimiques des masses d'eau

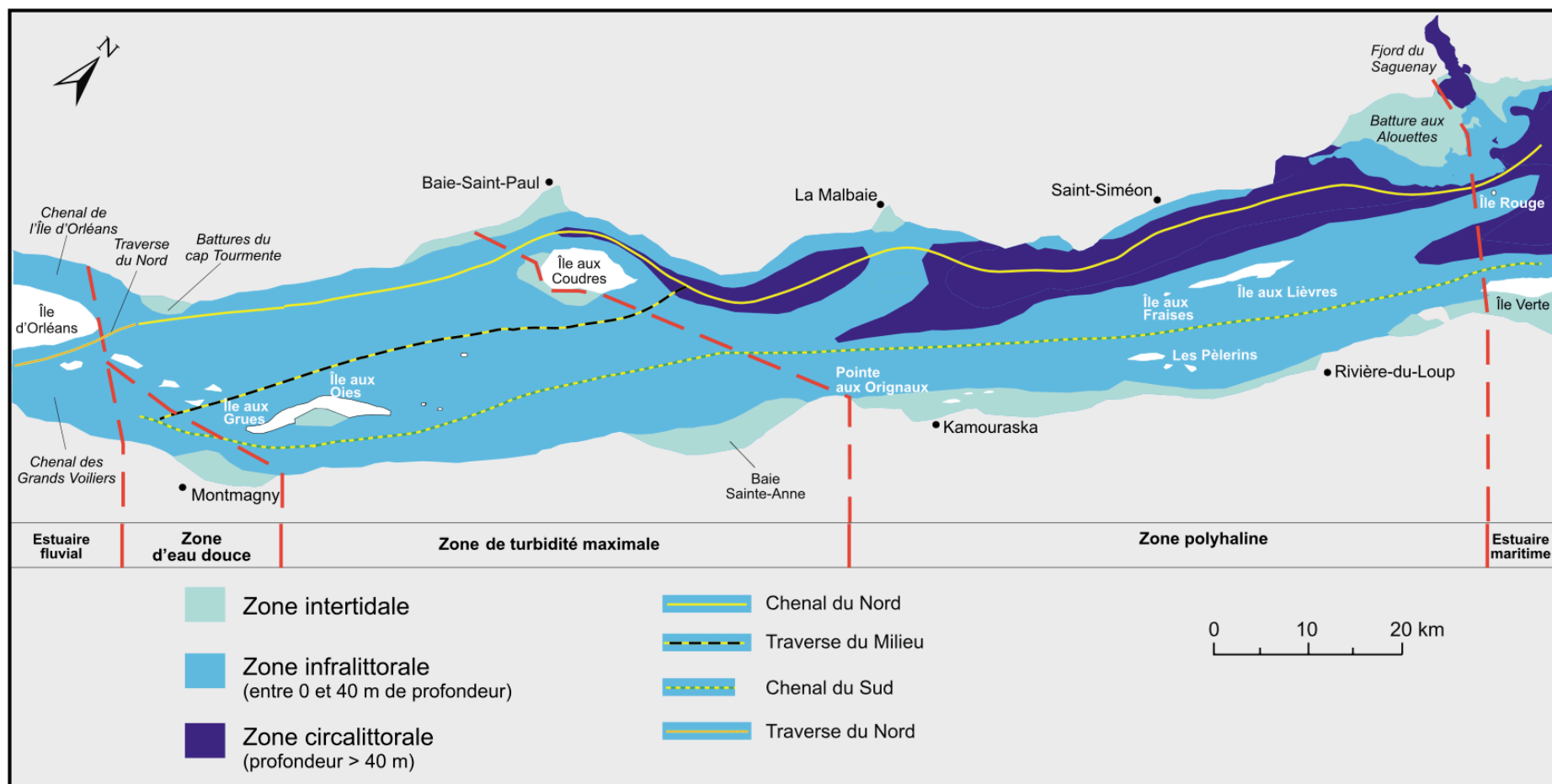
L'estuaire moyen correspond à la zone de transition estuarienne. C'est le lieu d'un intense mélange entre les eaux douces et chaudes en provenance du fleuve et les eaux froides et salées de l'estuaire maritime, mélange provoqué par des marées importantes, le débit fluvial et, dans une moindre mesure, le régime des vents. Il en résulte un gradient longitudinal très marqué des conditions physico-chimiques des eaux (température, salinité, turbidité), permettant une subdivision en trois zones distinctes de l'amont vers l'aval. Ces zones sont : 1) la zone d'eau douce, 2) la zone de turbidité maximale et 3) la zone polyhaline³ (figure 2) (Vincent et Dodson, 1999; Bruaux et al., 2003; Simons et al., 2006; Favier et Winkler, 2014).

Le long de la rive nord, la limite d'intrusion saline se situe à la pointe est de l'île d'Orléans. La bathymétrie combinée à l'impact de la force de Coriolis⁴ déplace cette limite plus en aval dans la partie sud (St-Onge, 2010). Il en résulte une petite zone d'eau douce limitée à la portion sud et située entre la limite amont de l'estuaire moyen et l'archipel de Montmagny. Les conditions physico-chimiques de l'eau sont similaires à celles rencontrées dans l'estuaire fluvial (eaux douces et plus chaudes).

² Action ou force extérieure qui agit sur (qui «force») le milieu et provoquent des mouvements ou des changements d'état.

³ Une zone polyhaline est caractérisée par une eau dont la salinité est supérieure aux eaux saumâtres (plus de 18 usp), mais moindre que les eaux marines (plus de 30 usp).

⁴ La force de Coriolis est le nom donné au phénomène de déviation des courants entraînée par la rotation de la Terre



Source : Adapté de CSL et Université Laval, 1991.

Figure 2. Subdivision longitudinale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent en fonction du gradient de salinité (adapté de Centre Saint-Laurent, 1996).

La zone de turbidité maximale, qui porte également le nom de bouchon vaseux, s'étend sur environ 100 km, entre l'île d'Orléans et l'île aux Coudres. Il s'agit d'un secteur particulièrement dynamique où les courants de marée puissants induisent un mélange turbulent intense (Saucier et al., 2009; Simons et al., 2010; St-Onge, 2010). Il en résulte un gradient longitudinal marqué pour plusieurs variables environnementales, dont la salinité qui varie de 0 usp (unité de salinité pratique) en amont à 18 usp près de l'île aux Coudres. Dans cette zone de brassage intense, les sédiments sont remis en suspension, ce qui augmente la turbidité et, conséquemment, réduit la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau (Winkler et al., 2003; Simons et al., 2006; St-Onge, 2010). La photo satellitaire de l'estuaire moyen présentée à la figure 3 permet de bien visualiser la zone turbidité maximale.



Figure 3. Photo satellitaire illustrant le panache de turbidité visible dans le secteur du secteur amont de l'estuaire moyen du Saint-Laurent et caractéristique de la zone de turbidité maximale (NASA, avril 2011).

En aval de l'île aux Coudres, la zone polyhaline présente une salinité de surface variant entre 18 usp et 25 usp, mais pouvant atteindre jusqu'à 30 usp en profondeur (Saucier et al., 2009). Ce secteur, surtout du côté nord, est influencé par l'apport d'eau froide et très salée en provenance de l'estuaire maritime.

Il est à noter que les limites de ces différentes zones ne sont pas fixes et varient dans l'espace et le temps. Puisque les conditions de forçage (cycle de marée, débit fluvial, régime des vents et autres conditions atmosphériques) sont cycliques et variables dans le temps, les conditions hydrodynamiques fluctuent conséquemment, affectant ainsi les caractéristiques physico-chimiques des masses d'eau. Par exemple, il est généralement convenu que la limite d'intrusion d'eaux salées se situe à l'extrémité est de l'île d'Orléans. Cependant, cette limite peut se déplacer sur près de 30 km selon le moment de la marée (étiage vs jusant ou flot) et du débit du fleuve (débâcle printanière vs étiage) (Simons, 2004).

Circulation et stratification

Typiquement, les zones de transition estuarienne présentent une circulation longitudinale à deux couches. Ce patron de circulation s'explique par la différence de densité entre une masse d'eau douce à saumâtre qui se superpose à une masse d'eau salée s'écoulant en sens inverse.

Le portrait est toutefois plus complexe dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. À partir de la pointe est de l'île d'Orléans, les processus turbulents combinés à la bathymétrie induisent le mélange progressif entre les eaux douces du fleuve et les eaux salées provenant de l'estuaire maritime. À cet endroit, la colonne d'eau est généralement homogène (non stratifiée) et un transport net s'effectue vers l'aval (figure 4). C'est ce processus de mélange qui est à l'origine de la couche superficielle saumâtre retrouvée plus en aval. Le secteur amont (jusqu'à la hauteur de l'île aux Coudres) se définit donc comme un système bien mélangé (verticalement homogène) à partiellement stratifié, avec une stratification intermittente fortement influencée par le cycle de marée (Simons, 2004; Simons et al., 2010).

Stratification et circulation des eaux du Saint-Laurent

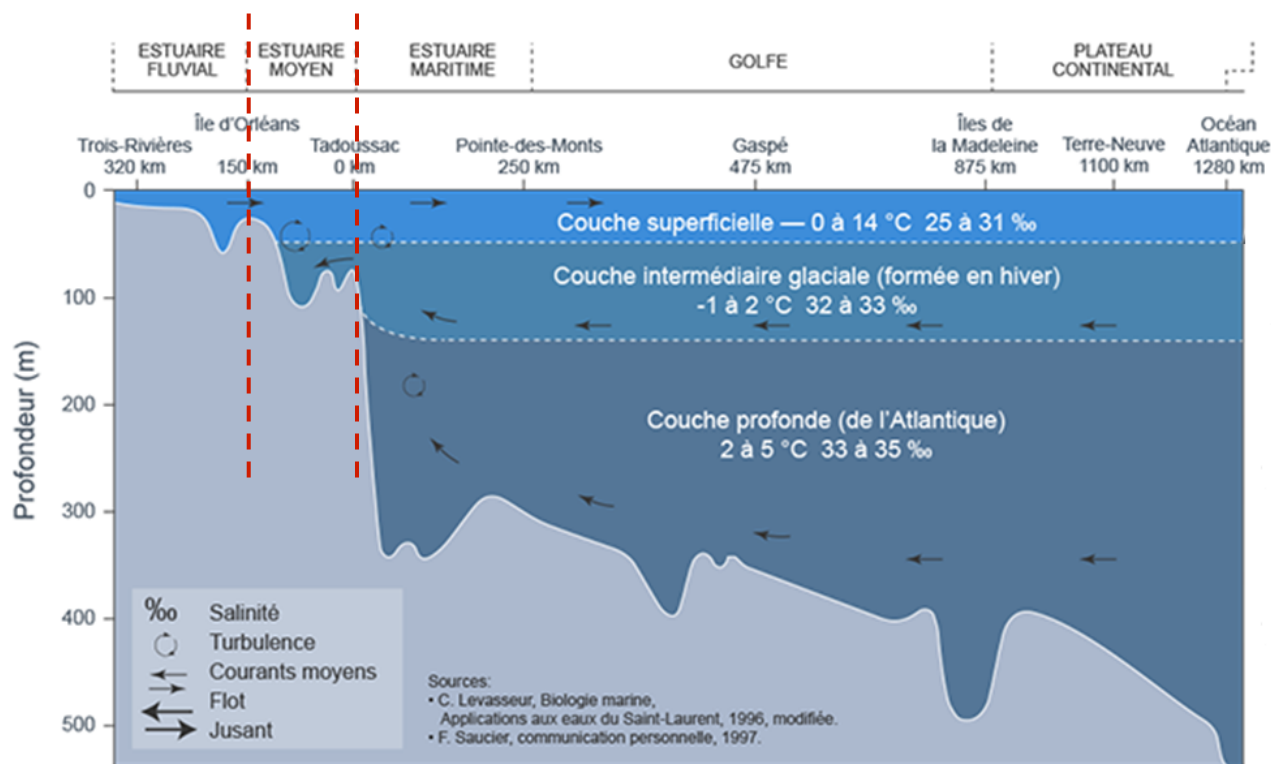


Figure 4. Schéma illustrant la stratification et la circulation des eaux à l'intérieur du Saint-Laurent. Les lignes hachurées rouges identifient le secteur de l'estuaire moyen pour lequel les processus de mélanges turbulents en amont résultent en une circulation à une couche d'eau unique s'écoulant en direction du Golfe. Avec l'augmentation de la profondeur, une circulation stratifiée à deux couches s'écoulant en sens inverse s'installe.

En se déplaçant vers l'est (de l'île aux Coudres jusqu'à l'île Verte), une circulation typique à deux couches s'installe progressivement (figure 4). Ce système est maintenu la plupart du temps à l'extrémité est du

territoire. Lorsque la stratification se produit, l'écoulement résiduel des eaux saumâtres de la couche de surface s'effectue vers l'estuaire maritime, au-dessus d'une couche profonde, plus salée et plus froide, qui se dirige en sens inverse (vers l'amont) (Simons, 2004; St-Onge, 2010)

L'effet de Coriolis impose une asymétrie transversale (nord-sud) dans ce déplacement des masses d'eau. Ainsi, l'eau saumâtre et chaude s'écoule en surface principalement du côté sud, alors que les intrusions d'eau froide et salée en provenance de l'estuaire maritime remontent en profondeur, surtout par le chenal Nord. Il en résulte un gradient de température et de salinité non seulement longitudinal, mais également latéral (Simons, 2004; Saucier et al., 2009; Simons et al., 2010; St-Onge, 2010). Ainsi, pour une même hauteur le long de l'estuaire moyen, les eaux de la rive nord auront une salinité pouvant atteindre jusqu'à 8 ‰ de plus que celles de la rive sud.

Régime sédimentaire

Le transport et le dépôt des matières en suspension (MES) représentent un phénomène relativement complexe qui fait intervenir divers facteurs tels que la grosseur des particules et les courants (vagues et marée). La majorité des sédiments retrouvés dans l'estuaire moyen proviennent du tronçon fluvial du Saint-Laurent. Sa charge sédimentaire annuelle à la hauteur de Québec serait de l'ordre de 7 millions de tonnes (Rondeau et al., 2000) et près de 70 % de celle-ci pénètre dans l'estuaire moyen lors de la crue printanière. Une grande partie de cette charge sédimentaire est temporairement retenue dans la colonne d'eau du secteur amont de l'estuaire moyen. Cette zone de rétention délimite d'ailleurs la zone de turbidité maximale (aussi appelé le bouchon vaseux, figure 3). Cependant, la quasi-totalité des MES est graduellement lessivée vers l'estuaire maritime et le golfe. En effet, la force des courants observés dans l'estuaire moyen ne semble pas permettre le dépôt de sédiments fins localement de façon permanente. À ce sujet, un projet de cartographie détaillé du relief sous-marin a permis d'imager et de documenter la présence de champs de dunes pouvant atteindre une dizaine de kilomètres de longueur et quelques kilomètres de largeur dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (figure 5). Ces ondulations particulièrement importantes sur le fond marin, appelées mégadunes, suggèrent effectivement un environnement très dynamique ainsi qu'une grande mobilité des sédiments (Bolduc et Duchesne, 2009). Ainsi, les fonds de l'estuaire moyen sont composés de matériau grossier (sables et graviers), d'argile affleurante d'origine glaciomarine ou du socle rocheux affleurant, mais on y retrouve très peu de sédiments récents. Toutefois, les secteurs protégés principalement localisés en zone côtière, tels que les baies ou les battures peu profondes, peuvent séquestrer une partie des sédiments fins en transit (Centre Saint-Laurent, 1996). Certaines constructions humaines le long de la rive causent également une dynamique sédimentaire différente à des endroits bien précis, comme le démontre la problématique de l'envasement des marinas (Drapeau, 1992; Centre Saint-Laurent, 1996; Biorex, 1999).

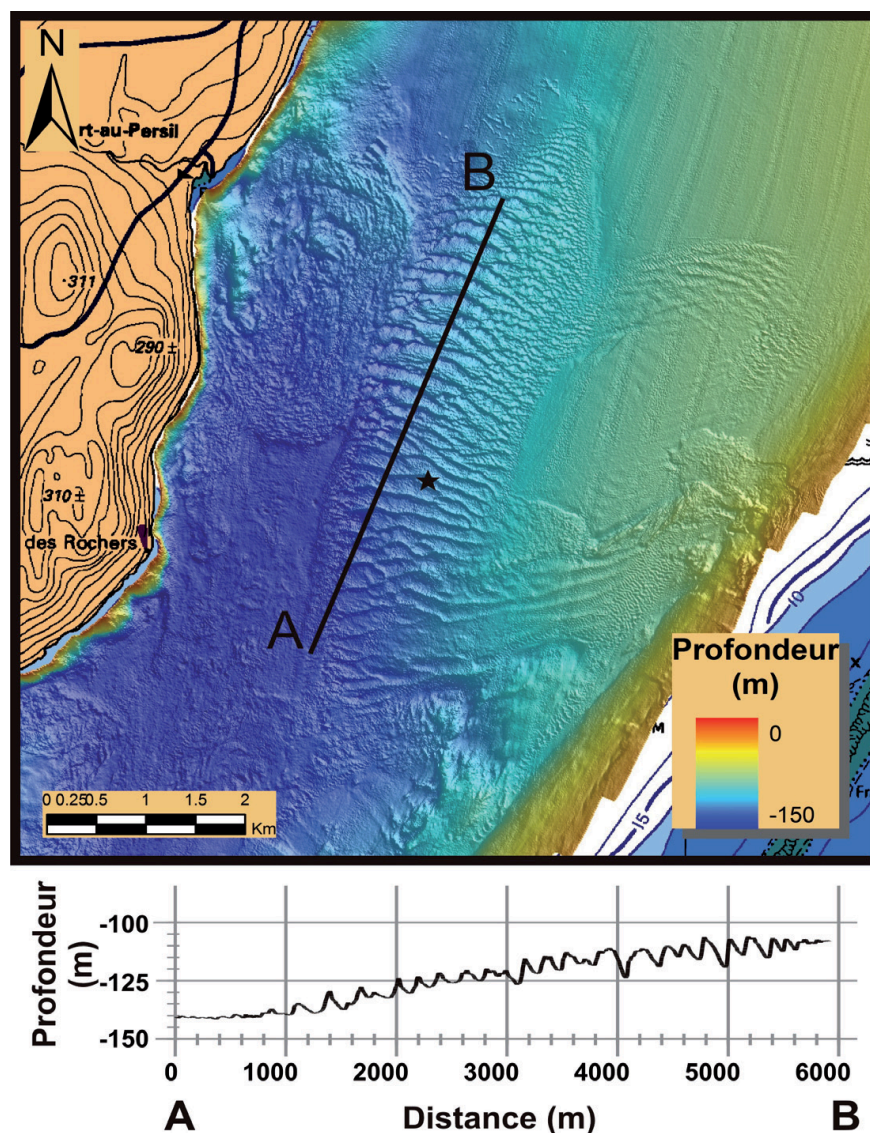


Figure 5. Représentation d'un champ de mégadunes dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent et schéma d'une coupe bathymétrique (profil du champ de mégadunes) (Illustration Bolduc, A.M.; Duchesne, M.J. © Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2009).

La dynamique sédimentaire littorale est aussi grandement influencée par le régime des glaces. La glace possède un double rôle, contribuant tant à l'érosion qu'à la sédimentation des berges. La présence d'un couvert de glace protège les côtes de l'action abrasive des vagues engendrées par les puissants vents d'hiver. Lors de la débâcle cependant, l'inverse se produit. Les glaces dérivantes érodent les zones de faibles profondeurs et les côtes meubles (arrachement glaciaire). Combiné à l'action des vagues et des courants



Figure 6. Glaces sur l'estuaire moyen à la hauteur de Rivière-du-Loup (© tourisme.riviereduloup.ca)

de marée, elles servent alors d'agent de transport de sédiments de dimensions variables, des argiles jusqu'aux blocs de plusieurs dizaines de tonnes, qu'elles libèrent graduellement à mesure qu'elles fondent. La dérive printanière cause un mouvement net de sédiments en direction du golfe. Ce serait plusieurs millions de tonnes de sédiments qui seraient ainsi exportés annuellement (Drapeau, 1992; Bernatchez et Dubois, 2004).

L'activité intensive des oies blanches est un facteur influençant la dynamique sédimentaire côtière. Lors de leurs haltes migratoires automnales et printanières, ce sont des dizaines de milliers d'oies qui envahissent les marais, surtout les marais à scirpes, pour s'alimenter. En broutant la végétation en place, elles favorisaient l'érosion des sédiments accumulés (Dionne, 1985; Drapeau, 1992; Centre Saint-Laurent, 1996). L'explosion démographique de la population d'oies blanches dans les années 80 a probablement participé à accroître ce phénomène. Maintenant, l'impact des oies blanches est probablement restreint suite à une stabilisation de la population et à un changement dans sa distribution. En effet, l'utilisation des marais de l'estuaire à l'automne serait en diminution (Allard, 2008; Girard, 2009). Il n'existe toutefois aucune étude quantifiant leur impact récent sur la dynamique sédimentaire.

Dans les tributaires, la charge sédimentaire transportée vers la côte est influencée par les variations saisonnières des débits. Elle est accrue lors des crues annuelles (au printemps et à l'automne) et minimales en période d'étiage. Le harnachement des rivières ou la construction d'ouvrages modifiant le régime hydrique naturel du cours d'eau limite généralement le transit sédimentaire vers les embouchures. Les sédiments sont trappés en amont de ces ouvrages et ne sont plus disponibles au régime sédimentaire côtier.

Références

- Allard, M. 2008. Analyse spatio-temporelle de l'évolution des marais à scirpe de l'habitat migratoire de la Grande Oie des neiges à l'aide de l'imagerie IKONOS et de photographies aériennes. Mémoire. Université de Sherbrooke. 147 p.
- Bernatchez, P. et J-M. M. Dubois. 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 58 (1) : 45-71.
- Biorex Inc. 1999. Caractérisation biophysique et des usages d'un secteur retenu pour la détermination d'une zone de protection marine dans l'estuaire du Saint-Laurent. Rapport produit pour le ministère des Pêches et des Océans Canada en collaboration avec le Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM) et la Société Duvetnor ltée. Volume 1, 2 et 3. Pagination multiple.
- Bourgault, D. 2001. Circulation and Mixing in the St. Lawrence Estuary. Thèse Dh. D. Department of Atmospheric and Oceanic Sciences and Centre for Climate and Global Change Research McGill University, Montréal.
- Bruaux, F., M. Lavoie et D. Blais. 2003. Plan d'action et de réhabilitation écologique (PARE) de la rive sud de l'estuaire moyen et maritime, Rimouski, Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire. 173 p.
- Centre Saint-Laurent. 1996. Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Volume 1 : l'Écosystème du Saint-Laurent. Environnement Canada-région du Québec, Conservation de l'environnement – Éditions MultiMondes, Montréal. Coll. BILAN Saint-Laurent.
- Dionne, J.-C. 1985. Tidal Marsh Erosion by Geese, St. Lawrence Estuary, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 39 (1) : 99-105.
- Drapeau, G. 1992. Dynamique sédimentaire des littoraux de l'estuaire du Saint-Laurent. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 46 (2) : 233-242.
- Favier, J.-B. et G. Winkler. 2014. Coexistence, distribution patterns and habitat utilization of the sibling species complex *Eurytemora affinis* in the St Lawrence estuarine transition zone. *J. Plankton Res*, vol. 36 (5) : 1247-1261,
- Girard, M. 2009. Impact de la grande oie des neiges sur les marais à scirpe de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec. Mémoire. Montréal (Québec, Canada), Université du Québec à Montréal, Maîtrise en biologie. 80 p.
- Meunier, C., C. Gosselin et R. Hamelin. 2009. Réalisation d'un projet pilote de restauration du marais de Rivière-du-Loup. Étude de faisabilité - Rapport final. Société des traversiers du Québec. 94 p. + Annexes.
- Rondeau, B., D. Cossa, P. Gagnon et L. Bilodeau. 2000. Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada. *Hydrological Processes*, vol. 14 : 21-36.
- Saucier, F.J. et J. Chassé. 2000. Tidal circulation and buoyancy effects in the St. Lawrence Estuary. *Atmosphere-Ocean*, vol. 38 (4): 505-556.
- Saucier, F.J., F. Roy, S. Senneville, G. Smith, D. Lefavre, B. Zakardjian et J.F. Dumais. 2009. Modélisation de la circulation dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en réponse aux variations du débit d'eau douce et des vents. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 22 (2) : 159-176.

Simons, R. D. 2004. Circulation and zooplankton retention in the estuarine transition zone of the St. Lawrence Estuary. Thèse Ph.D., Stanford University.

Simons, R. D., S. G. Monismith, L. E. Johnson, G. Winkler et F. J. Saucier. 2006. Zooplankton retention in the estuarine transition zone of the St. Lawrence Estuary. *Limnology and Oceanography*, vol. 51 (6) : 2621-2631.

Simons, R. D., S. G. Monismith, F. J. Saucier, L. E. Johnson et G. Winkler. 2010. Modelling Stratification and Baroclinic Flow in the Estuarine Transition Zone of the St. Lawrence Estuary. *Atmosphere-ocean*, vol. 48 (2) : 132-146.

St-Onge Drouin, S. 2010. Dispersion lagrangienne dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Mémoire. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER), 139 p.

Vincent W.F. et J.J. Dodson. 1999. The St. Lawrence River, Canada-USA: the need for an ecosystem-level understanding of large rivers. *Jap. J. Limnol.*, vol. 60 : 29-50

Winkler, G., J.J. Dodson, N. Bertrand, D. Thivierge et W. F. Vincent. 2003. Trophic coupling across the St. Lawrence River estuarine transition zone. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 251: 59–73.