

INVENTAIRE ARCHÉOLOGIQUE SUBAQUATIQUE (2019)
PLANIFICATION DU NOUVEAU PONT DE L'ÎLE D'ORLÉANS ENTRE
QUÉBEC ET SAINT-PIERRE-DE-L'ÎLE D'ORLÉANS (Projet 154-15-1112)

Direction générale des grands projets du 3^e lien et du pont de l'Île-d'Orléans



Photo couverture : Zone à l'étude en amont du pont actuel de l'Île d'Orléans (IRHMAS 2018-PIO-04-NUM2-46, Delmas 2019)

INVENTAIRE ARCHÉOLOGIQUE SUBAQUATIQUE (2019)

PLANIFICATION DU NOUVEAU PONT DE L'ÎLE D'ORLÉANS ENTRE QUÉBEC ET
SAINT-PIERRE-DE-L'ÎLE D'ORLÉANS (Projet 154-15-1112)

Direction générale des grands projets du 3e lien et du pont de l'Île-d'Orléans

N° de dossier, ministère des Transports : 7121-18-AD01

Février 2020

Rapport préparé par :

IRHMAS

8266B rue Saint-Denis
Montréal (Québec) H2P 2G6

Téléphone :
438-886-2197

Courriel : info@irhmas.com
Site web : <https://www.irhmas.com/>

Rapport préparé pour :

Ministère des Transports
Direction de l'environnement
Direction générale de la gestion des projets routiers et de l'encadrement en exploitation

800, place d'Youville, 11^e étage
Québec (Québec) G1R 3P4

Permis de recherche archéologique délivré à l'IRHMAS

Numéro de permis
18-IRHM-02

Résumé

Le Ministère des Transports du Québec a mandaté l'IRHMAS afin de réaliser les expertises archéologiques en milieu subaquatique infratidal et intertidal dans le cadre des études préalables au projet de planification et de travaux de construction d'un nouveau pont à l'Île d'Orléans (projet 154-15-1112), reliant cette dernière à Québec, incluant des inventaires archéologiques. La zone d'intervention est située sur le territoire des municipalités de la ville de Québec, de Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans et du TNO aquatique de la MRC de l'Île d'Orléans, dans les municipalités régionales de comté (MRC) de Québec et de l'Île d'Orléans. Ces municipalités font partie des circonscriptions électorales provinciales de Montmorency et de Charlevoix-Côte-de-Beaupré, de la région administrative de la Capitale-Nationale.

Le mandat confié à l'IRHMAS comprend une recherche documentaire et une évaluation du potentiel maritime et subaquatique dans la zone d'étude, visant à compléter les études existantes et couvrant un rayon d'un kilomètre autour du centre de la zone d'intervention. Il inclut également un inventaire archéologique subaquatique par télédétection au moyen de trois instruments géophysiques: le sonar à balayage latéral, le sondeur multifaisceaux et le magnétomètre. À la suite de cette première phase terrain, une anomalie a fait l'objet d'une vérification en plongée non autonome. Celle-ci a démontré que l'anomalie en question est une accumulation de débris et structures récentes entre autres de dalles de béton de différentes dimensions et positions, de poutres en acier de type H-Beam, d'une pièce de bois et d'un tronc d'arbre.

Le mandat a été réalisée en trois phases, soit la recherche documentaire et l'évaluation du potentiel archéologique maritime et subaquatique à l'hiver 2019, l'inventaire en télédétection du 13 au 16 mai 2019, et enfin l'inventaire en plongée les 22 et 23 août 2019 sous le permis de recherche 18-IRHM-02 accordé par le MCCQ et l'autorisation d'accès du domaine hydrique.

Dans le cadre de ce mandat, aucune recommandation de travaux complémentaires n'est formulée pour la zone à l'étude dans le cadre de la planification de la construction d'un nouveau pont à l'Île d'Orléans. Néanmoins, en vertu du fort potentiel archéologique maritime et subaquatique qui subsiste dans le chenal nord, de l'incertitude d'une épave à proximité du secteur et d'anomalies indéterminées en aval de la zone d'étude, il est recommandé de procéder à un inventaire archéologique exhaustif en cas d'élargissement de celle-ci.

Table des matières

Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xi
Liste des participants	xiii
1. Introduction	1
1.1 Objectifs du projet	1
1.2 Aire d'étude	1
1.3 Contenu du rapport	2
2. Méthodologie	5
2.1 Système de provenance	5
2.2 Méthodologie et équipements	5
2.3 Déroulement des travaux	9
3. État des connaissances	10
3.1 Caractérisation du milieu naturel	10
3.1.1 Environnement actuel et hydrographie	10
3.1.2 Bathymétrie et nature du fond marin	12
3.2 L'occupation humaine de la région de Québec et de l'île d'Orléans	12
3.2.1 Période préhistorique	12
3.2.2 Régime français (1608-1760)	13
3.2.3 Régime anglais (1760-1867)	18
3.2.4 Le XIX ^e siècle et la période moderne	20
3.3 Interventions archéologiques antérieures	25
4. Résultats des travaux archéologiques	26
4.1 Évaluation du potentiel archéologique maritime et subaquatique	26
4.1.1 Corpus à l'étude	27
4.1.2 Liste des navires ayant coulé ou fait naufrage dans ce secteur maritime	28
4.1.3 Relevé 3D d'une épave inconnue	33
4.2 Inventaire archéologique subaquatique par télédétection	35
4.2.1 Sondeur multifaisceaux	35
4.2.2 Sonar à balayage latéral	39
4.2.3 Magnétomètre	43
4.3 Vérification de cibles en plongée non autonome	46
5. Conclusion et recommandations	50

Annexe 1 : Catalogue des photographies

Annexe 2 : Rapport de bathymétrie du CIDCO

Liste des figures

Figure 1 Localisation générale de l'aire d'étude	3
Figure 2 Embarcations de travail : FJ Saucier du CIDCO (IRHMAS 2018-PIO-04-NUM1-120, Mercier Gingras 2019) pour la télédétection (gauche) et le zodiac Milpro de WSP pour les opérations de plongée non autonome (droite) (Néron 2019)	7
Figure 3 Sonar à balayage latéral (gauche, IRHMAS 2018-PIO-04-NUM1-101, Mercier Gingras 2019) et magnétomètre (droite, CIDCO 2019)	7
Figure 4 Équipement de plongée non autonome (Gauche : Néron 2019. Droite : IRHMAS 2018-PIO-04-NUM2-75, Néron 2019)	8
Figure 5 Localisation spécifique de l'aire d'étude (MTMDET 2018)	11
Figure 6 Plan du cadastre de la région de Québec et de l'Ile d'Orléans en 1709 (Cartothèque de l'Université de Montréal)	14
Figure 7 Vue de la chute Montmorency et de l'attaque du Général Wolfe près de Beauport, le 31 juillet 1759 (Hervey Smith, 1761)	15
Figure 8 Plan anonyme du siège de Québec dressé par ordre de l'amiral Saunders, publié en 1810 chez Rd. Philips à Londres (Cartothèque de l'Université de Montréal)	16
Figure 9 Plan de Québec et du pays adjacent durant le siège du Général Wolfe en 1759 (John Melish, Philadelphie 1815)	17
Figure 10 Vue du fleuve Saint-Laurent et de la chute Montmorency depuis l'Ile d'Orléans avant l'industrialisation du secteur, 1795 (Georges Bulteel Fischer 1795, Musée McCord)	18
Figure 11 Vue prise de la Citadelle de Québec 1840 (W.H. Bartlett, Musée des beaux-arts du Canada No.15025. Cartothèque Université de Montréal)	19
Figure 12 Vue panoramique du chantier Davie et du fleuve. Georges Seton, vue panoramique de Québec depuis la pointe de Lévis, 17 septembre 1849 (Bibliothèque et Archives Canada/ C-096435)	21
Figure 13 Photographie du chantier Davie. Jean-Georges Garneau, vue à Saint-Joseph-de-Lévis, 1885 (Bibliothèque et Archives nationales du Québec. Fonds Sir Georges Garneau, p90, D1, P77)	22
Figure 14 Chantier François-Xavier Lachance à l'Ile d'Orléans (Collection privée Jean Guy Lachance, LHNC 2019, https://www.manoirmauvidegenest.com/blank-opj3u)	22
Figure 15 Vue aérienne de St-Laurent, Ile d'Orléans prise à l'été 1963. Le chantier maritime se trouve en haut à gauche. (Gouvernement du Québec / Photo Q63308-12-12)	23
Figure 16 Chantier maritime Fillion Saint-Laurent, Ile d'Orléans 1949 (Collection René Beauchamp. http://www.goelettesduquebec.ca/annexe1.html)	24

Figure 17 Lancement à 45 degrés de la goélette Orléans à Saint-Laurent, Ile d’Orléans en 1946 (Collection Benoît Lavoie. Source: Bélanger 1984).....	24
Figure 18 Carte Marine royale française. Le cours du fleuve Saint-Laurent en 1761 (Cartothèque de l’Université de Montréal).....	28
Figure 19 Carte marine de Grosse-Île à Québec. Après 1935 (Cartothèque de l’Université de Montréal).....	29
Figure 20 Carte marine de Grosse-Île à Québec. Avant 1935 (Cartothèque de l’Université de Montréal).....	29
Figure 21 Relevé au sonar à balayage latéral de l’épave inconnue (Philip Courchesne, Msi3D).....	34
Figure 22 Localisation de l’épave inconnue à proximité du pont de l’Île d’Orléans (Philip Courchesne, Msi3D).....	34
Figure 23 T-MBES-01 (gauche) et T-MBES-02 (droite)	36
Figure 24 Carte synthèse des anomalies relevées au sondeur multifaisceaux, résolution 20 cm (CIDCO 2019).....	36
Figure 25 Anomalies a) T-MBES-03, b) T-MBES-04, c) T-MBES-05, d) T-MBES-06, e) T-MBES- 07, f) T-MBES-08	37
Figure 26 Anomalies a) T-MBES-09, b) T-MBES-10, c) T-MBES-11.....	38
Figure 27 Lignes de levés au sonar à balayage latéral (CIDCO 2019).....	40
Figure 28 Mosaïque de l’ensemble des anomalies relevées au sonar à balayage latéral à une résolution de 50 cm (CIDCO 2019).....	40
Figure 29 Anomalies a) T-S32, b) T-S35, c) T-S37, d) T-S39, e) T-S44, f) T-S47	41
Figure 30 Anomalies a) T-S49, b) T-S50, c) T-S51, d) T-S55	42
Figure 31 Lignes réalisées au magnétomètre (CIDCO 2019).....	44
Figure 32 Isolignes magnétiques selon leur gradient magnétométrique (CIDCO 2019).....	44
Figure 33 Synthèse des anomalies magnétiques relevées au magnétomètre (CIDCO 2019)	45
Figure 34 Synthèse des anomalies magnétiques relevées au magnétomètre (CIDCO 2019)	45
Figure 36 Cible T-MBES-01 vérifiée en plongée en amont de la pile centrale nord du pont actuel de l’Île d’Orléans. (gauche : IRHMAS 2018-PIO-NUM2-81, droite : CIDCO 2019).....	46
Figure 37 Cible T-MBES-01. Présence de dalle de béton (haut) et d’un cadre en métal (bas) (IRHMAS 2018-PIO-04-NUM2-16 et 18).....	48
Figure 38 Cible T-MBES-01. Présence de poutre en métal H-Beam (haut) et d’une pièce de bois moderne (bas) (IRHMAS 2018-PIO-04-NUM2-21 et 14).....	49

Liste des tableaux

Tableau 1 Liste des épaves potentielles autour de l'Ile d'Orléans.....	30
Tableau 2 Synthèse des anomalies relevées au sondeur multifaisceaux	35
Tableau 3 Synthèse des anomalies relevées au sonar à balayage latéral.....	39
Tableau 4 Synthèse des anomalies relevées au magnétomètre.....	43

Liste des participants

Ministère des Transports

Ghislain Gagnon

Archéologue, Direction de l'environnement

Hélène Michaud

Gérante de projets, Direction générale des grands projets du 3^e lien et du pont de l'Île-d'Orléans

IRHMAS

Daniel LaRoche

Chargé de projet, archéologue subaquatique, révision

Aimie Néron

Responsable d'intervention, archéologue subaquatique et plongeuse professionnelle, rédaction et édition

Olivier Barthell-Mailhot

Plongeur professionnel, technicien en archéologie subaquatique

Vincent Delmas

Archéologue subaquatique, recherche historique et archivistique

Luc Garand

Plongeur professionnel, technicien en archéologie subaquatique

Mathieu Mercier Gingras

Archéologue subaquatique, technicien en télédétection

Archéo-CAD

Marie Fournier

Cartographe

CIDCO

Sylvain Gauthier

Hydrographe, superviseur

Papa Médoune Ndir

Hydrographe

Quentin Beauvais

Assistant de recherche géophysique

Alain St-Pierre

Capitaine

1. Introduction

1.1 Objectifs du projet

La Direction générale des grands projets du 3^e lien et du pont de l'Île-d'Orléans du Ministère des Transports du Québec (MTQ) réalise des études préalables incluant des inventaires archéologiques dans le cadre du projet de planification et des travaux de construction du nouveau pont de l'Île d'Orléans reliant cette dernière à Québec (projet 154-15-1112). Une intervention terrestre a eu lieu au cours de l'été 2018 et un inventaire archéologique subaquatique a été réalisé au printemps et à l'été 2019. Il s'agissait d'établir ou non la présence de vestiges submergés pouvant être perturbés par la construction du nouveau pont. Le cas échéant, il convenait de les identifier et les consigner adéquatement, et de proposer des recommandations conformes à leur valeur patrimoniale.

Le MTQ a donc mandaté l'IRHMAS afin de réaliser les expertises archéologiques en milieu subaquatique infratidal et intertidal. La zone d'intervention est située sur le territoire des municipalités de la ville de Québec, de Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans du TNO aquatique de la MRC de l'Île d'Orléans, dans les municipalités régionales de comté (MRC) de Québec et de l'Île d'Orléans. Celle-ci fait partie des circonscriptions électorales provinciales de Montmorency et de Charlevoix-Côte-de-Beaupré, de la région administrative de la Capitale-Nationale (figure 1).

Le mandat comprend une recherche documentaire et une évaluation du potentiel archéologique maritime et subaquatique dans la zone d'étude. Ces travaux visent à compléter les études existantes et couvrent un rayon d'un kilomètre autour du centre de la zone circonscrite. L'intervention sur le terrain englobe un inventaire archéologique subaquatique par télédétection au moyen de trois instruments géophysiques: le sonar à balayage latéral, le sondeur multifaisceaux et le magnétomètre. Elle comprend en outre la vérification d'une anomalie en plongée non autonome.

1.2 Aire d'étude

L'aire d'intervention est une zone du fleuve Saint-Laurent près de la pointe ouest de l'Île d'Orléans, et pratiquement en face de l'embouchure de la rivière Montmorency. Elle totalise une superficie de 705 903 mètres² parallèle au pont existant, incluant ce dernier dans son emprise, et est toujours immergée même à marée basse. Dans la zone visée, la profondeur du fond marin varie entre 1,2 mètres vis-à-vis la batture nord jusqu'à une profondeur au maximum de 20 mètres au centre du chenal. Selon les forages géotechniques réalisés antérieurement (MTMDET 2018), le fond marin est composé de limons et d'argiles marines reposant sur un roc schisteux.

1.3 Contenu du rapport

Suivant cette introduction, le chapitre 2 présente une description méthodologique des procédés de recherche archéologique et de l'équipement employés lors des différentes étapes de l'intervention. La section 3 s'attarde, quant à elle, à brosser un état des connaissances relatives à l'aire d'étude. Dans cette partie, une chronologie de l'occupation du territoire dans le contexte de l'étude du patrimoine archéologique maritime est aussi décrite. Par la suite, les résultats de l'intervention sont présentés, incluant l'évaluation du potentiel archéologique maritime et subaquatique du secteur, les différentes anomalies observées lors de la télédétection dans la zone du futur pont de l'Île d'Orléans et le résultat de la vérification d'une cible en plongée non autonome. Enfin, la dernière section présente une conclusion concernant spécifiquement la zone à l'étude et des recommandations pour le secteur à proximité selon l'évaluation du potentiel.

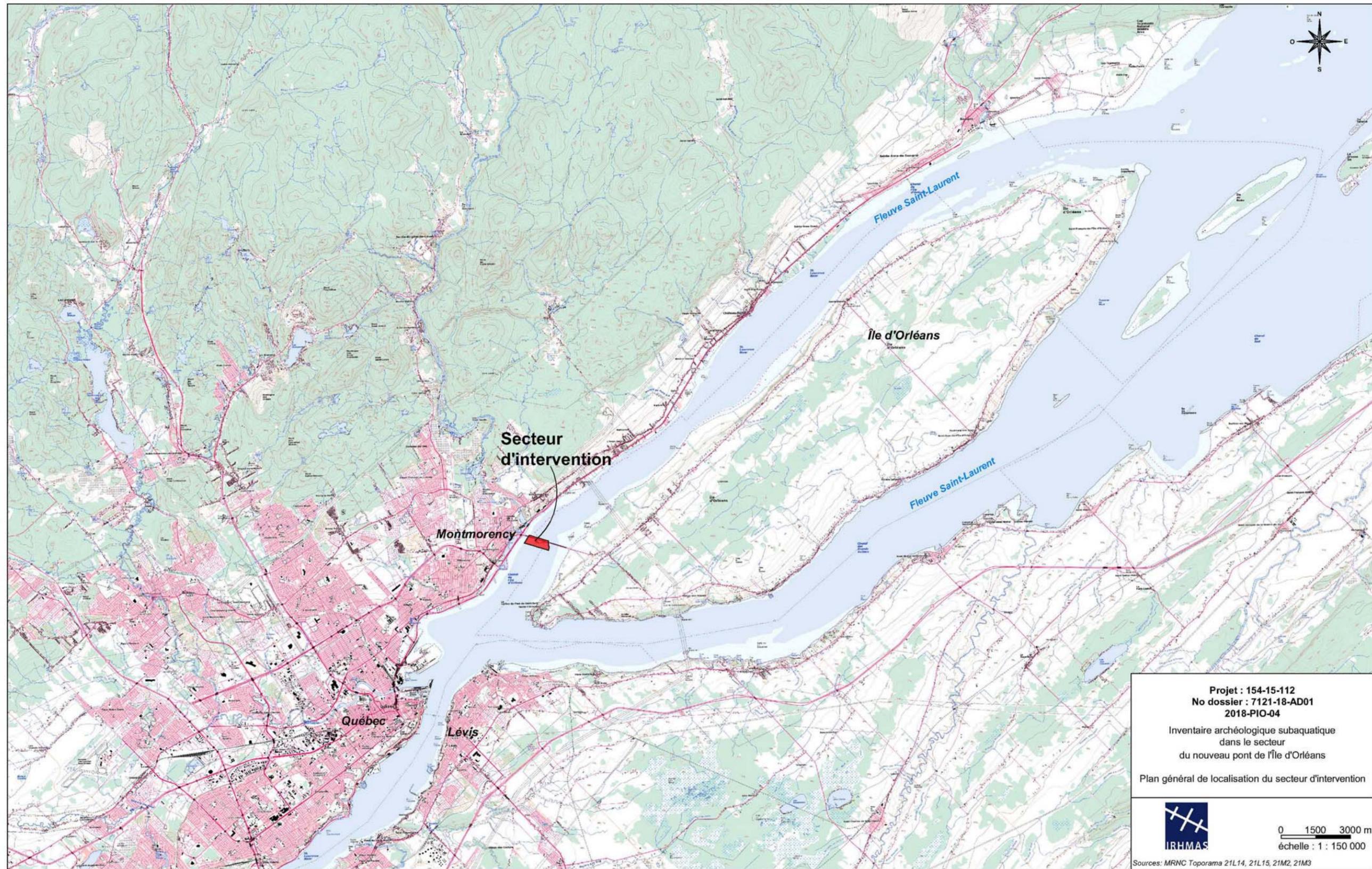


Figure 1 Localisation générale de l'aire d'étude

2. Méthodologie

2.1 Système de provenance

Les données archéologiques sont normalement consignées selon le mode d'enregistrement en vigueur en archéologie historique au Québec, soit le système de Tikal (opération, sous-opération et lot). Dans le cadre de ce mandat, aucun site ou vestige archéologique n'a été répertorié, ce mode n'a donc pas été appliqué. Les données sont consignées sous le code temporaire 2018-PIO-04. Pour l'inventaire par télédétection, les anomalies ont été identifiées selon leur type d'instrument. Ainsi, les cibles relevées au sondeur multifaisceaux se nomment T-M1, celles au sonar à balayage latéral T-S1 et celles au magnétomètre T-MAG1. Les anomalies présentées dans ce rapport ne portent pas toujours des numéros successifs puisque certaines cibles ont été discriminées directement sur le terrain, les autres ont fait l'objet d'une analyse plus poussée post-terrain et sont mentionnées dans la section des résultats.

2.2 Méthodologie et équipements

ÉVALUATION DU POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE SUBAQUATIQUE

L'étude de potentiel terrestre réalisée préalablement aux travaux de terrain en 2016 ne présentait aucune réelle composante maritime historique. Pour cette raison, il n'était pas possible d'évaluer le potentiel archéologique maritime et subaquatique susceptible d'être encore en place dans la zone d'intervention. Une revue documentaire à partir des études historiques et archéologiques déjà existantes a été effectuée, tout comme une recherche archivistique et iconographique afin de compléter les données spécifiques sur le fleuve à cet endroit. Elle couvrait l'histoire de la navigation, de la construction navale, des occupations côtières, les naufrages et les conflits navals connus ainsi qu'une consultation des banques de données de données, notamment, sur les naufrages répertoriés, les sites d'épaves et de quais connus et supposés. Cette recherche a permis de compléter le potentiel archéologique maritime du secteur Boischatel, Montmorency et de Saint-Pierre-de-l'île-d'Orléans.

Voici en résumé les diverses sources qui ont été utilisées :

- Les études de potentiel archéologiques commandités par des organismes provinciaux;
- Les monographies concernant l'histoire de l'île d'Orléans, conservées à l'Université de Montréal;
- Les monographies, les articles et les sites web accessibles en ligne associés à l'histoire navale et fluviale de la ville de Québec et de l'île d'Orléans;

- Une reconstitution des naufrages et des épaves du secteur grâce à la compilation des bases de données suivantes : Naviresnouvellefrance.net; The Wreck Site; Navigating the Lower St. Lawrence in the 19th Century; Les enquêtes sur les naufrages de Bibliothèque et Archives Canada et la liste des épaves du service d'archéologie subaquatique de l'Agence Parcs Canada;
- Le relevé 3D de l'épave inconnue localisée à l'ouest du pont de l'Île d'Orléans par la firme MSi3D;
- Un inventaire cartographique élargi de la zone d'étude à l'aide des cartes marines anciennes de la cartotheque de l'Université de Montréal.

L'étude de potentiel de 2014 aborde tout de même le sujet du potentiel d'occupation autochtone résultant d'un épisode de baisse du niveau du fleuve vers 7000 A.A et laissant à découvert les berges actuelles du secteur qui sont aujourd'hui immergées ou semi-immersées. Dans l'état des connaissances actuelles, les données géomorphologiques du secteur ne permettent pas de documenter le potentiel archéologique de cette période. De plus, l'inventaire subaquatique réalisé dans le cadre du présent mandat ne permet pas non plus de déterminer s'il y a des traces d'activités autochtones les battures puisque les outils de prospection au sonar ne peuvent pas les détecter d'une part, et d'autre part, les conditions environnementales du secteur et les dynamiques fluviales, incluant les marées, les courants et les mouvements des glaces ne semblent pas être favorables à la préservation d'un potentiel aussi fragile à si faible profondeur, sans oublier une visibilité réduite à cause de la nature des fonds marins qui ne permettrait pas une prospection visuelle optimale ou un inventaire par sondages sans porter atteinte à l'intégrité de traces d'occupation autochtone.

NAVIGATION ET POSITIONNEMENT

L'inventaire au sonar a été réalisé à partir de l'embarcation *FJ Saucier* du CIDCO, un bateau d'une longueur de 8,2 mètres équipé d'un système de navigation inertielle Ixblue Hydrins, alors que l'inventaire en plongée non autonome a été effectuée à partir d'un Milpro loué à WSP, un zodiac de plongée de 7,6 mètres monté d'un sonar Humminbird pour la navigation (figure 2). Les données géomatiques acquises sont en format de projection Universel Transverse de Mercator (UTM, zone 19), selon le système de référence NAD83 afin d'être intégrées à un système d'information géographique (SIG).



Figure 2 Embarcations de travail : FJ Saucier du CIDCO (IRHMAS 2018-PIO-04-NUM1-120, Mercier Gingras 2019) pour la télédétection (gauche) et le zodiac Milpro de WSP pour les opérations de plongée non autonome (droite) (Néron 2019)

TÉLÉDÉTECTION

L'inventaire par télédétection a été réalisée à l'aide de trois instruments de prospection du CIDCO. Le sondeur multifaisceaux Teledyne Reson 7125 SV2 est monté fixe au travers de la coque du bateau. L'acquisition des données brutes a été effectuée par le logiciel d'hydrographie QINSy à l'aide d'une fréquence de 400 kHz. Le sonar à balayage latéral Edgetech 272-TD a quant à lui été tracté à l'arrière de l'embarcation et la capture des données a été réalisée au moyen du logiciel Discover 4100 à une fréquence de 500 kHz en suivant des lignes de levé prédéfinies espacées aux 25 mètres. Enfin, le magnétomètre de l'ISMER de marque Seaspay Marine Magnetics, également tracté, a mesuré l'intensité du champ magnétique du secteur à haute précision (0.1 nT) sur des lignes espacées au 12 mètres à une fréquence de 4Hz à l'aide du logiciel BOB de Marine Magnetics (figure 3).



Figure 3 Sonar à balayage latéral (gauche, IRHMAS 2018-PIO-04-NUM1-101, Mercier Gingras 2019) et magnétomètre (droite, CIDCO 2019)

TRAVAIL EN PLONGÉE NON AUTONOME

Les plongées effectuées à partir d'un bateau suivent les procédures de plongée scientifique non autonome établies dans le *Manuel de plongée archéologique* de l'IRHMAS, respectant les normes de plongée scientifique de l'Association canadienne des sciences subaquatiques (ACSS/CAUS), les normes ACNOR/CSA CAN3-Z275.2-M 2004 sur les équipements et méthodes d'intervention en plongée professionnelle, et la CSA-Z275.4-12 concernant les travaux réalisés en plongée et la compétence des plongeurs, ainsi que la partie XXVI.I sur les travaux sous-marins du *Règlement sur la santé et sécurité du travail* du Québec. À chaque plongée, l'équipe se compose d'un plongeur, d'un assistant du plongeur, d'un superviseur de plongée et d'un plongeur de sécurité en surface. Les archéologues et plongeurs professionnels de l'IRHMAS ont utilisé un équipement de plongée non autonome conventionnel avec des casques KM 37, munis d'ombilicaux pour l'alimentation de surface et d'un système de communication Amron (figure 4).

ENREGISTREMENT VISUEL ET AUDIO

L'enregistrement vidéo et audio en continu des plongées a été réalisé par une caméra HD et une lumière montées sur le casque, composantes du système Axsub, alors qu'un appareil Canon dans un caisson submersible et des stroboscopes ont été employés dans la prise de photos sous-marine.

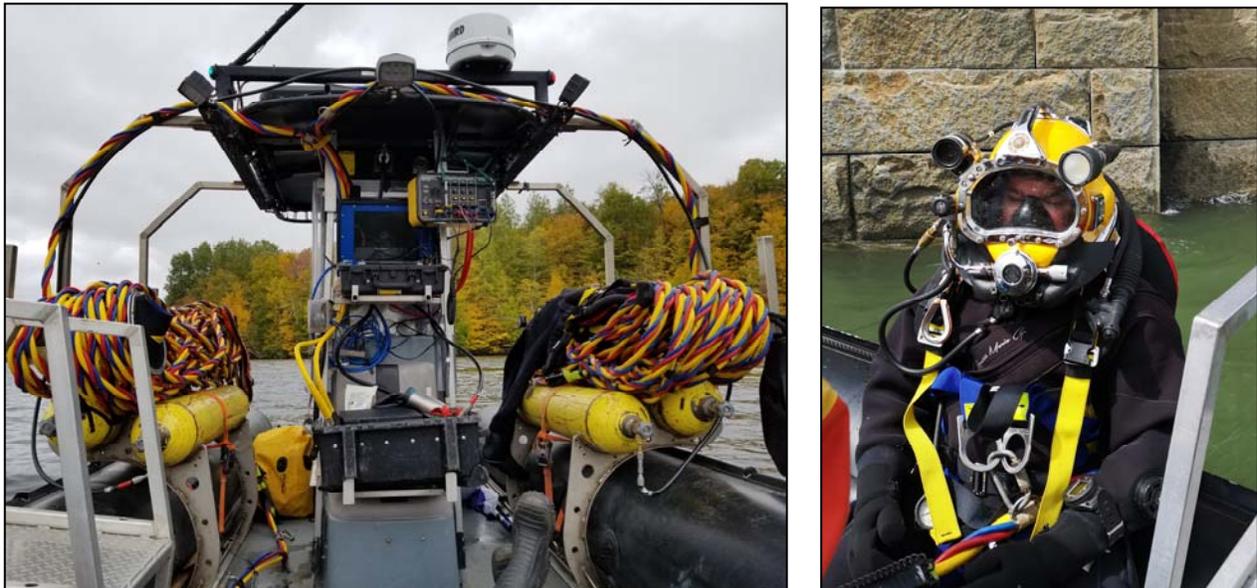


Figure 4 Équipement de plongée non autonome (Gauche : Néron 2019. Droite : IRHMAS 2018-PIO-04-NUM2-75, Néron 2019)

2.3 Déroulement des travaux

Le mandat a été réalisé en trois phases, soit la recherche documentaire et l'évaluation du potentiel archéologique maritime et subaquatique à l'hiver 2019, l'inventaire en télédétection du 13 au 16 mai 2019, et enfin l'inventaire en plongée les 22 et 23 août 2019 sous le permis de recherche 18-IRHM-02 accordé par le MCCQ et l'autorisation d'accès du domaine hydrique.

La prospection au sonar s'est étalée sur 5 jours par le CIDCO sous supervision archéologique incluant la mobilisation, le transport, la calibration des instruments et la prise de données, alors que l'inventaire en plongée a été réalisé en 3 jours. La zone à l'étude a été couverte en totalité par le sondeur multifaisceaux, ce qui n'a pu être le cas pour les deux autres instruments tractés puisque même à marée haute, une hauteur d'eau de moins de 2 mètres dans la zone de l'estran n'a pu permettre le passage du bateau de façon sécuritaire et l'utilisation des sonars sans risque d'atteinte à leur intégrité. Une seule anomalie a été vérifiée en plongée autonome sur 2 plongées, totalisant un travail en immersion de 73 minutes à un maximum de 13 mètres en suivant les tables de plongée Standard à l'air no.1 de DCIEM. Un problème du système Axsub est survenu lors de la deuxième plongée qui n'a pu être enregistré, mais un enregistrement audio a pu être réalisé. Les plongées fluviales dans la région de Québec sont limitées lors de l'étalement haute, sinon la force du courant dépasse le 1 nœud maximum sécuritaire pour des opérations de plongée. Il n'a pas été possible de sécuriser l'embarcation sur la pile en raison des forts vents et des vagues lors des journées de plongées, il a donc fallu quelques tentatives pour arriver à ancrer le zodiac à proximité de l'anomalie en fonction des dynamiques du fleuve à cet endroit.

Les données générées par l'inventaire archéologique ont été enregistrées dans des carnets de notes et sur des fiches de plongée lors des différentes phases de l'intervention. La vérification d'anomalie a bénéficié d'une couverture photo et vidéo limitée, et des plans et des cartes ont été produits dans une phase post-terrain pour représenter les différentes anomalies détectées.

3. État des connaissances

Cette section décrit le cadre naturel du secteur à l'étude notamment l'hydrographie régionale, ainsi que la bathymétrie de la zone spécifique et la nature du fond marin. Les études préalables réalisées dans le cadre du projet du MTQ, soit l'étude historique (Roy 2014) et l'étude de potentiel archéologique terrestre (Pintal 2014) confirment qu'aucun site archéologique connu n'est inscrit à l'*Inventaire des sites archéologiques du Québec* (ISAQ) pour la zone d'étude (Figure 5).

La recherche réalisée dans le cadre du présent mandat s'est attardée principalement à des événements et lieux historiques de type maritime spécifiques et l'impact de leur relation au fleuve, incluant notamment la navigation, les conflits et les chantiers de construction navals.

3.1 Caractérisation du milieu naturel

3.1.1 Environnement actuel et hydrographie

La zone à l'étude se situe dans l'estuaire fluvial, à la jonction entre les Appalaches et les Basses-Terres du Saint-Laurent, dans un domaine climatique de type tempéré. L'estuaire du Saint-Laurent à la hauteur de l'île d'Orléans est caractérisé par une zone de contact entre l'eau douce et le front salin spécifique à la pointe est de l'île. Ce secteur du fleuve comprend une haute concentration de matières en suspension influençant une zone de turbidité élevée en fonction du courant du fleuve. Le rétrécissement du fleuve à cet endroit soumet également le Saint-Laurent à une marée deux fois par jour dont le marnage moyen est d'environ quatre mètres¹. Les variations importantes de ces conditions favorisent une grande diversité de faune et de flore marines dans la région. L'île d'Orléans présente à sa pointe ouest deux rivières partiellement canalisées, la Petite et la Grande, qui drainent les replats supérieurs dans le fleuve du côté de la rive nord. La rive sud de l'ouest de l'île est plutôt un havre naturel, moins soumis aux conditions changeantes du fleuve. C'est d'ailleurs à cet endroit que d'anciens chantiers navals ont été construits. La marina actuelle de Saint-Laurent se situe également dans cette zone.

Quant au secteur du bassin versant de la rivière Montmorency jusqu'à la chute éponyme se jetant ultimement dans le fleuve Saint-Laurent comprend également le ruisseau de la Dame Blanche, issu d'eaux souterraines, qui s'écoule le long d'une falaise abrupte portant le nom officieux de la chute du Voile de la Mariée. Ce secteur a été exploité pour son potentiel hydroélectrique à la fin du

¹ Ceci exclut les périodes de grandes marées.

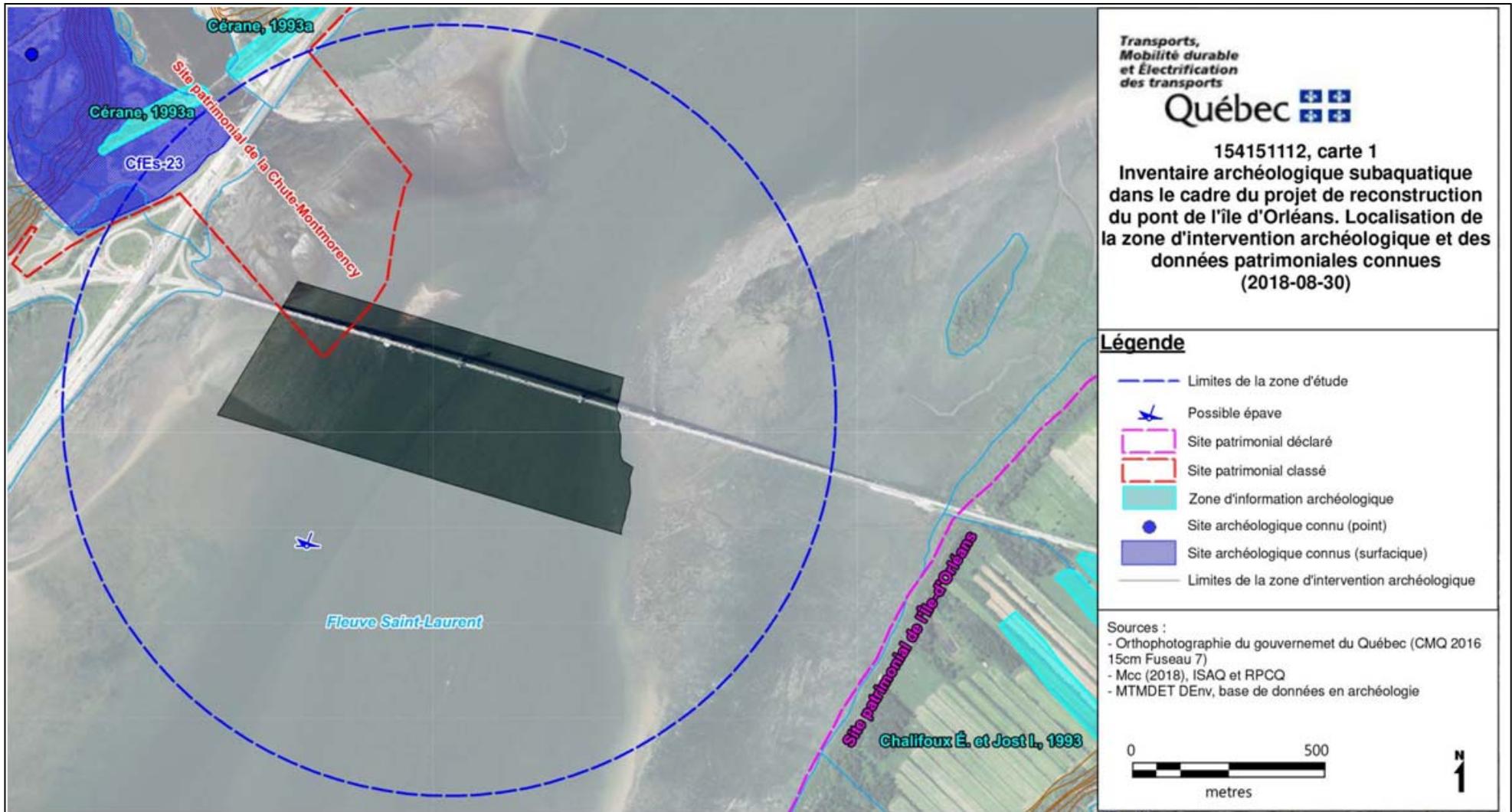


Figure 5 Localisation spécifique de l'aire d'étude (MTMDET 2018)

XIXe siècle jusqu'à la démolition de ses installations en 1974. Le pied de la chute présente avant l'implantation des installations liées à l'exploitation industrielle une abondance de ressources halieutiques.

3.1.2 Bathymétrie et nature du fond marin

Le secteur à l'étude se compose d'un estran, ou d'une zone intertidale, à faible pente qui de part et d'autre du chenal, qui s'étend des berges jusqu'à une dizaine de mètres avant les piles centrales du pont actuel. Le fleuve en son centre possède une profondeur maximale de 20 mètres. Le fond marin a été caractérisé à l'aide de forages géotechniques préalables à l'intervention. Il se compose généralement de limons et d'argiles sur fond de roc schisteux de mauvaise qualité. La zone de plongée présentait davantage de sable ainsi que des pierres et du gravier près de la pile nord.

3.2 L'occupation humaine de la région de Québec et de l'île d'Orléans

3.2.1 Période préhistorique

Il est vraisemblable que l'embouchure de la rivière Montmorency au bas de la chute ainsi que le Nord-ouest de l'île d'Orléans aient été propices à une présence amérindienne, même si pour l'instant les seuls sites archéologiques retrouvés ont été localisés autour des chutes (Pintal 2014 : 21; Roy 2014 : 33). Quant à la navigation précoloniale du secteur, aucune information n'est connue. Il est tout de même plausible d'assumer que le transport fluvial dans cette zone devait essentiellement être local et consister en du cabotage de petites embarcations le long des rives nord et sud ou entre la chute Montmorency et le nord-ouest de l'île d'Orléans par des communautés amérindiennes. Il ne faut donc pas exclure la possibilité de découverte de sites immergés ou semi-immergés, ou encore des traces possibles d'embarcations amérindiennes. En ce qui a trait à cette zone de l'estuaire, une abondance de diversité de ressources halieutiques et de sa consommation est bien répertoriée en Nouvelle-France notamment la chasse aux phoques, la pêche au bar rayé et à l'anguille, il est donc probable que de telles activités se déroulaient avant l'arrivée des premiers européens. Cette région est occupée notamment par des Montagnais, dont la présence est attestée sur la Côte-de-Beaupré jusqu'au début du XIX^e siècle, ainsi que des groupes Hurons/Wendats, originaires de l'Outaouais, qui s'y installeront à partir du XVII^e siècle, certains à Québec et d'autres sur l'île d'Orléans (Pintal 2014).

En ce qui a trait au lit du fleuve Saint-Laurent, une courte période d'environ 1000 ans survenus aux environs de 7 000 ans A.A pendant laquelle le niveau du fleuve s'est abaissé à environ 10 mètres sous son niveau actuel pourrait avoir permis une occupation autochtone préhistorique de la zone d'étude. Toutefois, selon l'état des connaissances actuelles, il est

impossible de déterminer à quel point les berges actives à ce moment ont pu être habitables. On ne peut actuellement pas exclure que la partie profonde du canal nord, situé dans la zone d'étude, ait pu constituer un ancien lac pour une courte période (Pintal 2014).

3.2.2 Régime français (1608-1760)

Quant à la période coloniale, le développement des localités de Boischatel, Montmorency et de Saint-Pierre-de-l'île-d'Orléans restent sommaires durant le Régime français et consistent en un découpage administratif de type seigneurial, soit de vastes superficies de terrain pour l'agriculture et l'élevage, divisées selon l'axe du fleuve Saint-Laurent (figure 6). Comme pour l'époque précoloniale, le chenal nord de l'île d'Orléans devait servir au cabotage à des fins commerciales locales, car la voie maritime principale ayant un meilleur tirant d'eau se trouve sur le côté sud de l'île (Roy 2014 : 34).

Le siège de Québec à l'été 1759 (figure 7) aura un impact sur le territoire du secteur à l'étude. En effet, l'armée française construit des ouvrages défensifs sur une portion de la côte comprise entre la rivière Saint-Charles et l'ouest des Chutes Montmorency tandis que l'armée anglaise installe des camps et des retranchements à l'est des chutes et au nord de l'île d'Orléans. Des manœuvres militaires se déroulent également sur le fleuve dans la nuit du 28-29 juin 1759, l'*Ambassadeur*, l'*Ameriquain*, le *Jaloux*, le *Quatre-Frère* et trois autres navires français sont mis à feu, puis envoyés en tant que brûlots contre la flotte anglaise. Malgré l'effet de surprise et la peur générale qui s'ensuit du côté anglais, les marins britanniques font dériver les brûlots de leur trajectoire, puis les remorquent sur la pointe sud de l'île d'Orléans sans qu'il y ait de conséquences pour leur flotte. Les Français poursuivent dans le même temps la défense de leurs positions et tiennent bon notamment lors de l'attaque de Montmorency, mais ce succès est de courte durée. Avant d'attaquer Québec (figures 8 et 9) et de remporter la guerre, les Anglais en supériorité numérique détruisent les installations militaires et les habitations françaises de part et d'autre du chenal nord de l'île d'Orléans (Roy 2014 : 34; Phaneuf 2016 : 9). Durant ce conflit, plusieurs navires sont probablement coulés, naufragés ou encore endommagés dans le secteur à l'étude sans toutefois que leur localisation soit précise ou vérifiée.

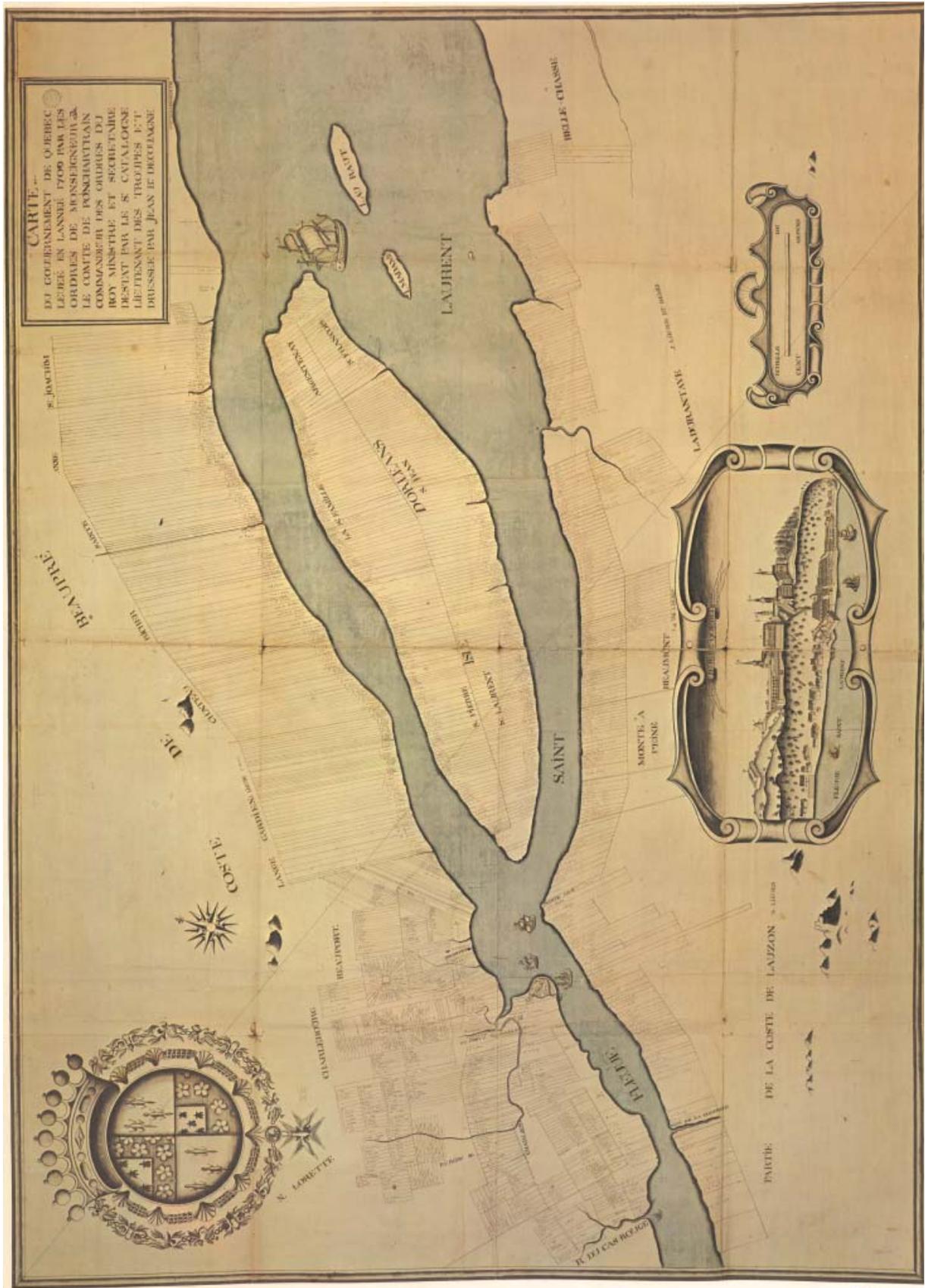


Figure 6 Plan du cadastre de la région de Québec et de l'Île d'Orléans en 1709 (Cartothèque de l'Université de Montréal)



Figure 7 Vue de la chute Montmorency et de l'attaque du Général Wolfe près de Beauport, le 31 juillet 1759 (Hervey Smith, 1761)

3.2.3 Régime anglais (1760-1867)

Au cours du Régime anglais, plus précisément au début du XIX^e siècle, des changements importants s'opèrent quant à la vocation de ce secteur (figure 10). Les localités de Montmorency et de Boischatel se développent au niveau résidentiel et industriel, en particulier par la mise en place d'importantes infrastructures de quais associée à la transformation et au commerce du bois, du textile ou encore de la brique, et de l'hydroélectricité. Quant à Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans, la construction d'habitations aux fonctions résidentielles et agricoles se succèdent jusqu'à la construction du pont en 1935. La probabilité de retrouver différents types de quais et de déchets industriels associés comme des pierres de lest ou de ballast est très forte de part et d'autre du chenal nord, ainsi que des navires de petit tonnage comme des goélettes ayant servi au transport de personnes et des marchandises pendant la belle saison (Pintal 2014 : 117 ; Roy 2014 : 34-36).



Figure 10 Vue du fleuve Saint-Laurent et de la chute Montmorency depuis l'Île d'Orléans avant l'industrialisation du secteur, 1795 (Georges Bulteel Fischer 1795, Musée McCord)



Figure 11 *Vue prise de la Citadelle de Québec 1840* (W.H. Bartlett, Musée des beaux-arts du Canada No.15025. Cartothèque Université de Montréal)

Des mentions de chantiers navals existent depuis le Régime français et le début du Régime anglais sur les rivages de la ville de Québec du côté du fleuve Saint-Laurent et à proximité de l'embouchure de la rivière Saint Charles, notamment autour du Palais de l'Intendant. Malgré de nombreux efforts et l'importance des ressources forestières locales, le commerce d'exportation du bois et de la construction navale stagne tout au long du XVIIIe siècle jusqu'au début du XIXe siècle: les coûts de transport et le temps requis pour que les produits atteignent l'Europe restent trop importants (Dumont 1998 : 20).

Cette situation change au début du XIXe siècle à la suite de deux événements majeurs à l'origine d'un essor sans précédent de la construction navale à Québec: l'épuisement des ressources forestières de l'Angleterre et l'adoption d'un système tarifaire préférentiel favorisant commercialement les territoires britanniques en Amérique du Nord. En effet, à partir de 1805, l'abolition des droits d'entrée sur le bois provenant des colonies vers l'Angleterre entraîne un afflux de capitaux britanniques vers le Haut et le Bas-Canada. De plus, les guerres napoléoniennes et l'expansion constante de l'Empire britannique augmentent considérablement les besoins en bois de l'Angleterre pour la construction navale. Si la mise en place du blocus continental ordonné par Napoléon en 1806 empêche les exportations de bois européen d'atteindre l'Angleterre, cette situation a pour effet

d'augmenter considérablement le trafic maritime sur le fleuve Saint-Laurent et dans le port de Québec pour y chercher du bois et réparer les navires. Tous ces facteurs ont permis entre autres à Saint-Roch de se développer et à la Saint-Charles de gagner en importance lorsque le commerce du bois prend son envol à cette époque. Son estuaire permet de s'approcher de la ville dans une section du fleuve bien abritée, où l'eau demeure profonde à marée haute. L'habitude d'entreposer du bois sur ses rives et la rivière facilitant le transport des autres matériaux, cet endroit devient un lieu idéal pour des chantiers navals qui peuvent répondre à la demande croissante en navires du marché britannique. Lors des grandes marées du printemps et de l'automne, les navires de fort tonnage peuvent être lancés à l'abri des courants et des vagues. Cette activité économique procure du travail à plus d'un millier d'artisans, pour la plupart des scieurs, des charpentiers, des forgerons et des journaliers. Ces ouvriers peuvent facilement habiter près des chantiers où des terres sont peu à peu loties pour les loger (IRHMAS 2019; Dumont 1998 : 22-24; Castonguay 2004: 20; L'Enclume 2019 : 18).

3.2.4 Le XIX^e siècle et la période moderne

Comme le suggère les nombreux documents graphiques anciens témoignant des développements portuaires en contrebas des chutes Montmorency, la région de Québec était au cœur du commerce du bois et par conséquent de la construction navale au cours du XIX^e siècle. Si la ville de Québec s'est plutôt tournée vers la réalisation de gros navires à destination du marché britannique, quelques villages en bordure du fleuve ont construit des navires de petits tonnages comme des goélettes, des sloops ou encore des chaloupes. L'apparition de ces chantiers maritimes artisanaux avec infrastructures répondait bien aux besoins locaux de la population qui ne pouvait parfois se déplacer que par cabotage domestique (Franck 2001; 37-39). Quelques chantiers se situent en effet autour et près de l'Île d'Orléans.

Le chantier le plus ancien s'est ouvert à Saint-Joseph-de-Lévis. L'histoire de ce chantier dit A.C. Davie débute avec l'arrivée du constructeur de navires George Taylor à Québec le 27 mai 1811 avec sa famille. Dès son arrivée, il travaille dans un chantier naval de l'Île d'Orléans, puis en 1817 il ouvre son propre chantier à Québec. Huit ans plus tard, il s'associe à Allison Davie qui épouse sa fille. Allison Davie achète en 1829 un terrain à Pointe-Lévy pour y construire un nouveau chantier qui entre en fonction en 1832 sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent (figures 12 et 13). Ce chantier est transmis de génération en génération jusqu'en 1951. Malgré les rachats successifs, le chantier poursuit ses activités jusqu'en 1989 où il ferme définitivement en raison de l'abandon du cabotage traditionnel et des développements du réseau routier. Le chantier est aujourd'hui un lieu historique

national visitable comprenant encore un grand nombre des installations qui sont les témoignages d'un savoir-faire remarquable (LHNC A.C. Davie 2019).

L'ensemble de l'Île d'Orléans dispose d'une longue tradition maritime, toutefois deux paroisses se sont particulièrement illustrées dans le domaine soit Saint-Jean qui a fourni une pépinière de pilotes et Saint-Laurent qui se spécialisa dans la construction navale. Dès les années 1830, on retrouve de nombreuses chalouperies dans cette dernière dont celle de la famille Jean-Baptiste Dumas. Ces bâtiments sont souvent fabriqués en bois, à voiles, dépourvues de pont et leurs dimensions varient de 4 à 12 mètres. La demande pour ce type d'embarcation décline à partir de 1870. À cette époque, l'utilisation des goélettes, ou embarcations à voiles pontées, se généralise sur le fleuve Saint-Laurent. Au XX^e siècle, certains chaloupiers continuent d'exercer leur métier en construisant des embarcations de plus petite dimension. D'autres chaloupiers travaillent au chantier maritime de François-Xavier Lachance (figure 15), à celui de la famille Coulombe, ou encore au chantier maritime de Saint-Laurent, propriété de la famille Fillion (Bélanger 1989 : 47-49).



Figure 12 Vue panoramique du chantier Davie et du fleuve. Georges Seton, vue panoramique de Québec depuis la pointe de Lévis, 17 septembre 1849 (Bibliothèque et Archives Canada/ C-096435)



Figure 13 Photographie du chantier Davie. Jean-Georges Garneau, vue à Saint-Joseph-de-Lévis, 1885 (Bibliothèque et Archives nationales du Québec. Fonds Sir Georges Garneau, p90, D1, P77)



Figure 14 Chantier François-Xavier Lachance à l'Île d'Orléans (Collection privée Jean Guy Lachance, LHNC 2019, <https://www.manoirmauvidegenest.com/blank-opj3u>)

L'histoire du chantier maritime de Saint-Laurent commence en 1908 avec Philéas Fillion qui achète un terrain à Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans pour y entretenir et y réparer des embarcations (figures 15 et 16). Son fils Ovide y démarre ensuite le Bassin de radoub de Saint-Laurent qui deviendra, en 1911, le Chantier maritime de Saint-Laurent I.O. Itée. Plusieurs membres de la famille Fillion s'impliqueront, au fil des années, dans l'administration de l'entreprise, la plus importante industrie de l'Île d'Orléans, qui compte à son apogée plus d'une centaine de travailleurs. Les activités de construction navale se sont déroulées de 1908 à 1967. La construction, la réparation et l'hivernage des goélettes constituaient ses principales activités. D'abord connu pour ses navires à voiles, le chantier a ajouté au fil des ans la construction de goélettes, puis différents types de navires à propulsion mécanique, en bois ou en acier. Entre 1935 et 1960, les goélettes à moteur remplacent progressivement les grands voiliers (figure 17). Avec le développement du réseau routier, le camionnage remplace peu à peu le transport maritime et l'ouverture de la navigation d'hiver en 1959, met fin graduellement à l'utilisation des petits caboteurs. Faute de demandes, le chantier maritime ferme définitivement ses portes en 1967. Les vestiges de cette activité industrielle, toujours présents sur le site de l'actuel Parc maritime de Saint-Laurent, montrent l'ampleur de ce chantier dirigé durant six décennies par une même famille (Bélanger 1989 : 47-49).



Figure 15 Vue aérienne de St-Laurent, Ile d'Orléans prise à l'été 1963. Le chantier maritime se trouve en haut à gauche. (Gouvernement du Québec / Photo Q63308-12-12)



Figure 16 Chantier maritime Fillion Saint-Laurent, Ile d'Orléans 1949 (Collection René Beauchamp. <http://www.goelettesduquebec.ca/annexe1.html>)



Figure 17 Lancement à 45 degrés de la goélette Orléans à Saint-Laurent, Ile d'Orléans en 1946 (Collection Benoît Lavoie. Source: Bélanger 1984)

3.3 Interventions archéologiques antérieures

Une étude historique (Roy 2014) et une étude de potentiel terrestre (Pintal 2014) ont été réalisées concernant le secteur à l'étude dans le cadre de ce mandat. Quelques interventions archéologiques terrestres ont été effectuées à proximité, mais une seule intervention archéologique terrestre a été réalisée dans la zone à l'étude par Truelle et Co. en 2018. Aucune étude ou intervention archéologique maritime et subaquatique n'a eu lieu avant l'intervention de 2019.

4. Résultats des travaux archéologiques

Cette section présente les résultats de l'évaluation du potentiel archéologique maritime et subaquatique complémentaire réalisée dans le cadre de ce mandat ainsi que ceux de l'intervention archéologique réalisée à l'Île d'Orléans au printemps et à l'été 2019 sur le secteur entourant le tracé présumé du nouveau pont.

4.1 Évaluation du potentiel archéologique maritime et subaquatique

L'utilisation des informations tirées des études de potentiel et le survol historique de quelques chantiers navals locaux décrits précédemment indiquent l'importance du cabotage côtier au Québec plus précisément dans le chenal nord de l'Île d'Orléans. Celui-ci a pris plusieurs formes selon les époques et les évolutions technologiques. Tout d'abord, il faut considérer les canots à écorce amérindiens, les canots de bois ou pirogues jusqu'à la fabrication de la chaloupe québécoise traditionnelle à voile et à rame. Parallèlement aux déplacements continus des grands voiliers européens, apparaissent les goélettes et les caboteurs à voile locaux, à quille, à fond rond ou encore à fond plat. Ce dernier type était souvent privilégié pour l'échouage sur les battures ou estrans. Ces navires ont progressivement été modifiés avec l'ajout du moteur à vapeur à roue latérale ou à aube, puis à essence et au mazout, tout en conservant leur gréement. Enfin, la construction navale locale subit un déclin inéluctable à partir des années 1950, face à la prédominance des navires en métal et le développement du réseau routier terrestre.

Ainsi, il est concevable de trouver des vestiges de ces différents types de bâtiments dans le secteur à l'étude étant donné l'emplacement de l'Île d'Orléans au cœur d'une riche tradition patrimoniale maritime et de la proximité des ports de Québec et de Beauport. À cela, il faut ajouter la complexité de naviguer sur le fleuve Saint-Laurent. En effet, la morphologie et la topographie très variée du fleuve le rendait particulièrement dangereux et nécessitait pour le déplacement des personnes et des biens de l'expérience et des connaissances particulières. Les dangers touchaient particulièrement les navires faisant du cabotage et de nombreux naufrages ont lieu dès le début de la colonisation. Ce phénomène s'accroît à partir du milieu du XIX^e siècle avec la circulation maritime grandissante liée au commerce du bois. Dans le cas de notre secteur à l'étude, la configuration propre du fleuve à cet endroit permet ainsi de mieux comprendre pourquoi tant de naufrages ont été répertoriés dans diverses sources.

4.1.1 Corpus à l'étude

Trois études de potentiel² offrant des résultats complémentaires ont présenté des hypothèses et localisés des secteurs précis à forte probabilité d'y découvrir des sites archéologiques. Pour définir le potentiel du secteur étudié, ces différents travaux ont utilisé plusieurs éléments d'informations dont: les paramètres environnementaux anciens et actuels du secteur, les connaissances archéologiques et historiques de la région, les archives, les monographies, les enquêtes orales, les plans anciens et les travaux récents. Les connaissances sur l'accumulation et la nature des sols de cette zone ont également été passées en revue. Les études pédologiques antérieures comme les données de forage complètent les informations sur les perturbations récentes qui ont pu avoir des impacts sur les ressources archéologiques en place.

Les paramètres environnementaux recensés ont permis de résumer les principales étapes de peuplement de la zone à l'étude. L'état des connaissances archéologiques et historiques connues au Registre du patrimoine culturel du Québec (RPCQ), dans l'Inventaire des sites archéologiques du Québec (ISAQ), et dans la cartographie des sites et des zones du Québec du ministère de la Culture et des Communications du Québec a été mis à contribution.

Lorsqu'elles sont disponibles, des cartes marines et les photographies aériennes anciennes ont été superposées aux cartes actuelles afin de localiser certaines infrastructures, épaves, quais, routes ou cours d'eau qui ont aujourd'hui disparu. Dans le cadre du potentiel archéologique subaquatique, la recherche au sein de bases de données et de centres d'archives joue toujours un rôle déterminant pour localiser un naufrage et identifier une épave. Des sources variées permettent de trouver de précieuses informations telles que le nom du navire, la date du naufrage, sa provenance, sa destination ou encore son lieu de construction. Enfin, la connaissance des changements des fonds marins dans le secteur à l'étude sont des données incontournables pour la planification des futurs travaux.

² PHANEUF, Érik (AECOM). 2016. *Étude de potentiel archéologique subaquatique. Projet d'aménagement d'un quai multifonctionnel en eau peu profonde au port de Québec-Beauport 2020*. Administration portuaire de Québec.
PINTAL, Jean-Yves. 2014. *Étude de potentiel archéologique dans le cadre de l'étude des solutions pour le projet du pont de l'Île d'Orléans : Municipalités de Québec, Boischatel et de Saint-Pierre-de-l'île-d'Orléans*. Direction de la Capitale-Nationale. Ministère des Transports du Québec.
ROY, André. 2014. *Pont de l'Île d'Orléans*. Rapport présenté au : Service de la coordination des affaires autochtones, de l'archéologie et du développement nordique. Direction de la programmation, des ressources et des opérations. Direction de la Capitale-Nationale. Direction générale des territoires. Ministère des Transports du Québec.

4.1.2 Liste des navires ayant coulé ou fait naufrage dans ce secteur maritime

L'ensemble des naufrages survenus à proximité ou même aux abords de l'Île d'Orléans ont été regroupés dans le Tableau 1. La réalisation de cette liste a été rendue possible notamment grâce aux données de l'Équipe d'archéologique subaquatique de Parcs Canada et aux compilations de Gilbert R. Bossé.

À noter que lorsque cela était mentionné dans les archives, il y a eu des incidents autant du côté du chenal nord que du chenal sud et ceci peut s'expliquer de la manière suivante. Passé la ville de Québec et à hauteur de l'Île d'Orléans, le fleuve s'élargit mais pas nécessairement le chenal navigable. Les navires doivent passer au sud de cette île, puis bifurquer par la suite vers le nord et suivre la côte. La voie maritime a une profondeur comprise entre 14 et 30 mètres et la pointe nord-est de l'île est particulièrement dangereuse avec ses hauts-fonds et les courants qui prennent de l'ampleur avec l'élargissement subséquent du fleuve. Quant au chenal nord, tel qu'indiqué précédemment, il était davantage utilisé pour les livraisons et les chargements locaux dans les villages côtiers. Peu profond et assez étroit, ce couloir augmente le risque d'échouage et de bris sur les battures par mauvais temps. Plusieurs cartes marines, reproduites ci-dessous (figures 18 à 20), illustrent bien ces différentes caractéristiques.

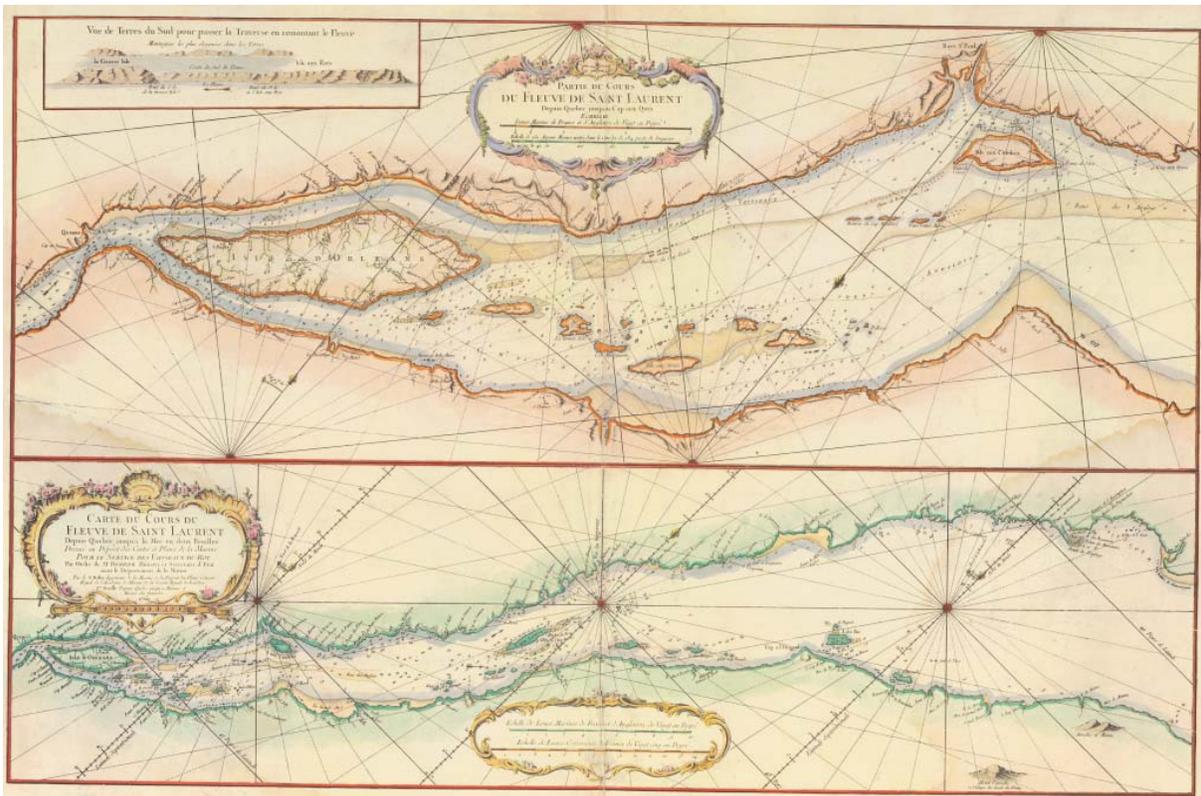


Figure 18 Carte Marine royale française. Le cours du fleuve Saint-Laurent en 1761 (Cartothèque de l'Université de Montréal)



Figure 20 Carte marine de Grosse-Île à Québec. Avant 1935 (Cartothèque de l'Université de Montréal)

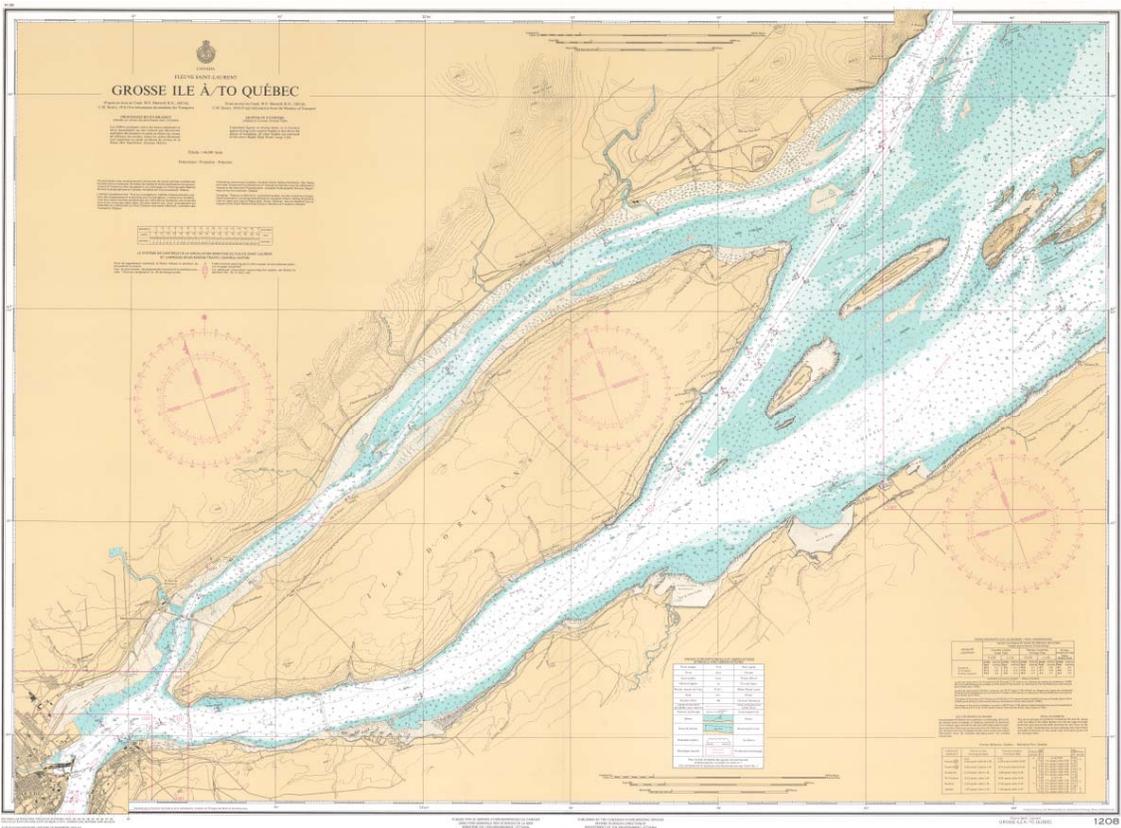


Figure 19 Carte marine de Grosse-Île à Québec. Après 1935 (Cartothèque de l'Université de Montréal)

Tableau 1 Liste des épaves potentielles autour de l'Ile d'Orléans

Navire	Type	Dimensions	Date de construction	Lieu de construction	Date du naufrage	Lieu du naufrage	Commentaires
<i>Saint Nom de Jésus, Ancien Soleil doré</i>	À voile	90- 100 tx		France	1688	Beaumont	Échoué, provenant de la Rochelle
<i>Hollande</i>	À voile	250 t		France	1710	Beaumont	Échoué provenant de La Rochelle
<i>Hirondelle</i>	À voile			France	1757	Beaumont	Échoué
<i>Toison d'or</i>	À voile	300 t		France	25 juillet 1757	Pointe Saint-Laurent	Perdu sur la batture
<i>Nouvelle-Société</i>	À voile	120 t-150 t		France	26 septembre 1757	Beaumont	Perdu sur la batture, provenant de la Rochelle
<i>Richard and Mary</i>	À voile				1758	Île Madame	Coulé
<i>L'Américain, les 4 frères, l'Angélique, l'Ambassadeur, le Jaloux et trois autres navires</i>	À voile				28-29 juin 1759	Ile d'Orléans	Brûlots débarqués côté sud de l'île.
<i>Isaac and William</i>	À voile				1761	Ile d'Orléans	Perdu dans les récifs
<i>Industry</i>	Sloop				1766	Beaumont	Perdu dans des récifs
<i>Little William</i>	À voile			Angleterre	1767	Ile d'Orléans	Échoué à proximité de la paroisse de Saint-Laurent
<i>Ann</i>	À voile				1781	Ile d'Orléans	Échoué
<i>Little George</i>	Brigantin			Angleterre	1803	Ile d'Orléans	Échoué
<i>St-Vallier</i>	?				1815	Pointe de Saint Vallier	Coulé
<i>Dalhousie</i>	?				1821	Ile d'Orléans	Coulé
<i>Union</i>	Brick			Angleterre	1824	Saint-Laurent d'Orléans	Échoué
<i>Miriam and Jane</i>	Barque, recouvrement de cuivre				Août 1826	Ile d'Orléans	Coulé

Navire	Type	Dimensions	Date de construction	Lieu de construction	Date du naufrage	Lieu du Naufrage	Commentaires
<i>Malay</i>	Brick, recouvrement de cuivre	215 t		Angleterre	19 octobre 1831	Île aux Pomes	Échoué
<i>Bachelor</i>	Brick			Angleterre	18 mai 1843	Ile d'Orléans	Perte de la quille pointe ouest de l'île
<i>Tasso</i>	Brick			Angleterre	20 juin 1853	Ile d'Orléans	Pointe ouest de l'île
<i>St. Joseph</i>	Goélette	18 t		Québec	8 novembre 1871	Bellechasse	Collision proche du phare
<i>Strathardale</i>	Barque	297 t		Dundee, Écosse	15 novembre 1871	Saint-Vallier	Échoué
<i>Ardmillan</i>	À voile	987 t		Glasgow, Écosse	29 novembre 1871	Saint Ignace	Échoué
<i>Atlas</i>	À voile	666 t		Gottenberg, Suède	14 octobre 1872	Pointe de Saint-Vallier	Échoué
<i>Harriet</i>	?	36 t	1865	L'Ardoise, NE	23 août 1873	Île Madame	Échoué
<i>James</i>	À vapeur	31 t			16 septembre 1883	Montmorency	Échoué
<i>William</i>	À vapeur à aube	147 pieds 208 t	1870	Lévis	Juin 1890	Bellechasse	Brisé
<i>Campana</i>	à vapeur	241 pieds 1288 t	1873	Glasgow, Écosse	17 juin 1909	Pointe St. Michel	Échoué et perte totale
<i>Muriel</i>	à vapeur	69 pieds 64 t	1902	Ville de Québec	16 octobre 1914	Île Madame	Coulé et perte totale
<i>Christine</i>	à vapeur	126 pieds 140 t	1881	Glasgow, Écosse	Mai 1915	Ile d'Orléans	Coulé
<i>Clara J.</i>	à vapeur	86 pieds 99 t	1921	Ville de Québec	19 avril 1929	Ile d'Orléans	Brûlé à proximité de l'île
<i>Juliette</i>	Goélette?	62 t	1899	Baie-Saint-Paul	5 novembre 1936	Saint-Laurent-d'Orléans	Brisé

<i>Lewis l.</i>	Bateau à moteur	26.14 t	1918	Friendship, Maine, USA	13 septembre 1950	Saint- Laurent- d'Orléans	Brûlé, perte totale
<i>Ragueneau</i>	Goelette à moteur	29,6 m 149 t	1931	Tremblay T et G, Québec	23 octobre 1955	Ile d'Orléans	Coulé au large de Saint-Jean

Le tableau des épaves potentielles ci-dessus rassemble toutes les mentions de naufrages aux abords de l'île d'Orléans pour lesquels le navire n'a pu être sauvé. Il ressort de ce regroupement, un ensemble de 38 épaves, dont 17 datent du XVIII^e siècle, 15 du XIX^e siècle et 7 du XX^e siècle. Quant à la répartition géographique, la majorité d'entre elles, soit 23, serait située de part et d'autre du chenal sud tandis que 8 épaves seraient présentes dans la partie ouest du chenal nord et 7 autres n'ont pas de localisation précise. Si nous considérons à part celles sans positionnement et les accidents ou naufrages qui ne se sont pas toujours référencés, les 7 épaves restantes seraient situées pour 4 d'entre elles, autour de Beaumont, 1 aux environs de Montmorency et 2 à la pointe ouest de l'île. Ces informations permettent de souligner le fort potentiel subaquatique du secteur à l'étude.

4.1.3 Relevé 3D d'une épave inconnue

En juillet 2013, lors de travaux d'inspection de substrat des sols aux abords du pont actuel de l'île d'Orléans, la firme Msi3D, spécialiste en inspection marine 3D, a réalisé des relevés à l'aide d'un sonar à balayage latéral (figures 21 et 22). Au cours du traitement des données, une forme enfouie dans les sédiments a été identifiée comme étant une épave de navire, ce qui fut confirmé plus tard par des archéologues du ministère de la Culture et des Communications du Québec. La localisation de l'épave a été placée ci-dessus sans les coordonnées exactes pour des raisons de protection et de préservation. Aucune intervention archéologique ultérieure n'a été réalisée sur cette épave.

En observant de plus près le relevé bathymétrique, il est possible de distinguer une grande section d'un navire peut être fractionné ou simplement recouvert en partie par les sédiments. D'après l'échelle, les dimensions approximatives seraient d'environ 15 à 20 mètres de longueur visibles par 5 mètres de largeur. Une partie du pont est visible avec des formes longitudinales dont il n'est pas possible de préciser la nature pour l'instant, à savoir s'il s'agit de mâts, de la machinerie ou encore un simple effet visuel du relief des sédiments. La présence d'une épave dans le chenal nord de l'île d'Orléans à proximité du pont prouve la pertinence de réaliser un relevé bathymétrique global du secteur à l'étude.



Figure 22 Localisation de l'épave inconnue à proximité du pont de l'Île d'Orléans (Philip Courchesne, Msi3D)

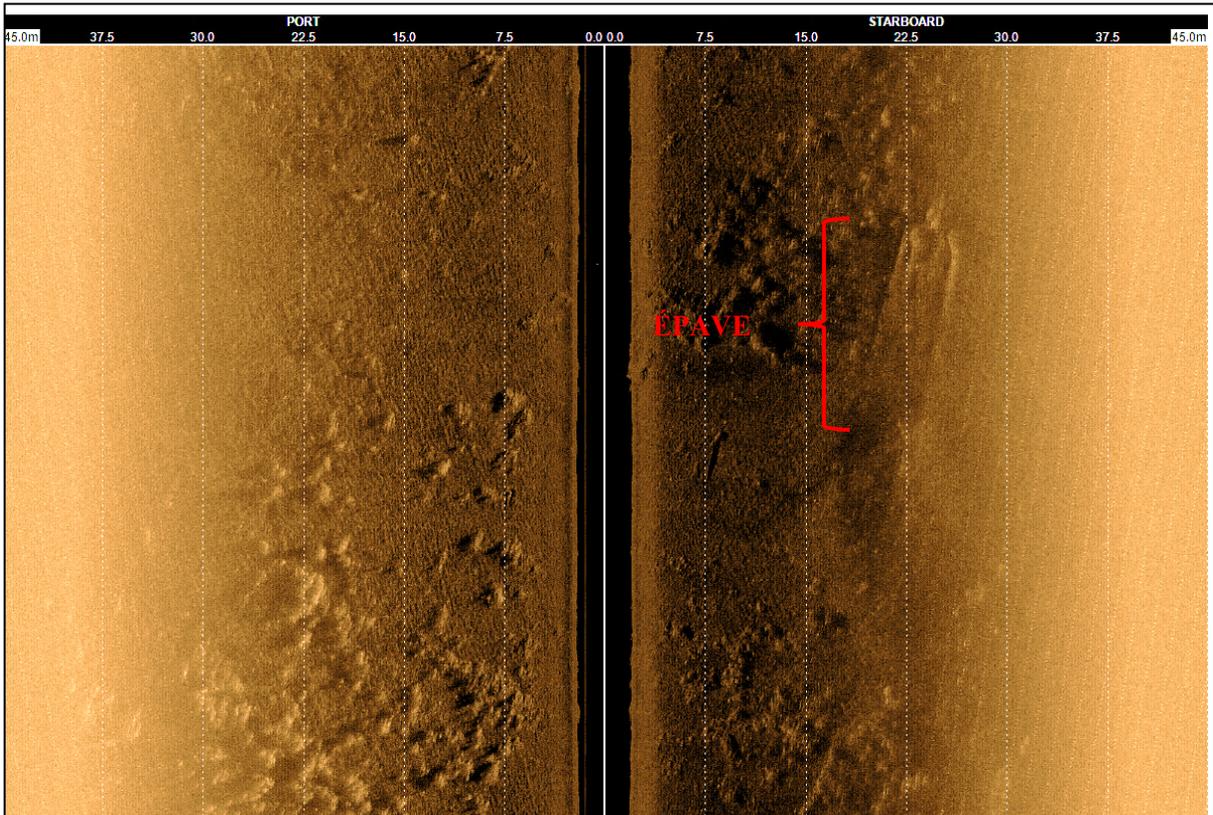


Figure 21 Relevé au sonar à balayage latéral de l'épave inconnue (Philip Courchesne, Msi3D)

4.2 Inventaire archéologique subaquatique par télédétection

L'inventaire archéologique subaquatique réalisé dans le cadre du mandat de la construction du nouveau pont de l'Île d'Orléans s'est effectué par une couverture à l'aide de trois instruments : un sondeur multifaisceaux, un sonar à balayage latéral et un magnétomètre. La section suivante présente les résultats de cet inventaire par type d'instrument. Fait intéressant sur la dynamique du secteur, lors de la calibration des instruments, des passages ont été réalisés à proximité, à l'endroit de l'épave relevée par Msi3D en 2013 et aucune structure n'a été aperçue. Un questionnement est donc soulevé à savoir si elle a été recouverte de sédiments ou encore détruite et/ou emportée. Ce secteur ne faisant pas partie du mandat, aucune action n'a été entreprise à cet effet.

4.2.1 Sondeur multifaisceaux

La prospection au sondeur multifaisceaux a été réalisée le 13 mai 2019. La zone à l'étude a été couverte en totalité et 11 anomalies ont été relevées. Le tableau 2 résume les cibles avec leurs coordonnées géographiques et la figure 23 illustre leur position dans la zone à l'étude. Les figures 24 à 26 présentent les anomalies individuelles. Seule la cible T-MBES-01 a présenté un intérêt et a fait l'objet d'une vérification en plongée non autonome au mois d'août. Ces observations sont traitées dans la section suivante.

Tableau 2 Synthèse des anomalies relevées au sondeur multifaisceaux

Anomalie	Longitude (X)	Latitude (Y)	Description
T-MBES-01	71;08;10.477768W	46;52;46.679642N	Amas de structures (minimum 7) rectangulaires de 12,81m de longueur et 1,54m de largeur, 0,4m de hauteur en amont de la pile principale nord-ouest
T-MBES-02	71;08;15.200765W	46;52;49.042474N	Objet de forme rectangulaire à 6,7 m en aval (nord-est) d'une pile latérale du pont
T-MBES-03	71;08;15.187897W	46;52;43.123346N	Objet formant un angle droit possiblement associé à d'autres anomalies sur une zone de 38,62m
T-MBES-04	71;08;07.639544W	46;52;46.793524N	Deux objets allongés d'environ 0,30m de largeur sur le lit du fleuve, sous la travée centrale du pont
T-MBES-05	71;08;16.135918W	46;52;37.290509N	*Hors de la zone d'étude* ressemble aux objets rectangulaires de T-MBES-01, surface irrégulière à 0,7m au-dessus du lit du fleuve, probablement métallique tordu
T-MBES-06	71;08;05.858962W	46;52;42.624321N	Deux objets allongés d'environ 0,50m de largeur sur le lit du fleuve, perpendiculaires au chenal, effet d'affouillement
T-MBES-07	71;08;03.814516W	46;52;46.117373N	Concentration de huit objets allongés (0,8m de largeur) avec quelques petits objets à l'ouest, sous la travée centrale du pont; troncs d'arbres
T-MBES-08	71;08;01.042592W	46;52;39.626146N	Deux objets allongés d'environ 0,22m de largeur sur le lit du fleuve; tronc d'arbres
T-MBES-09	71;07;56.807066W	46;52;43.604768N	Deux objets allongés d'environ 0,3m de largeur sur le lit du fleuve à 25,4m en amont de la pile principale sud-est; troncs d'arbres
T-MBES-10	71;07;55.789120W	46;52;41.241164N	Trois objets allongés mesurant entre 4,9 et 5,6m de longueur et de 0,4 à 0,7m de largeur
T-MBES-11	71;07;56.931350W	46;52;38.747630N	Un objet allongé reposant sur le lit du fleuve dans l'axe du chenal, tronc d'arbre

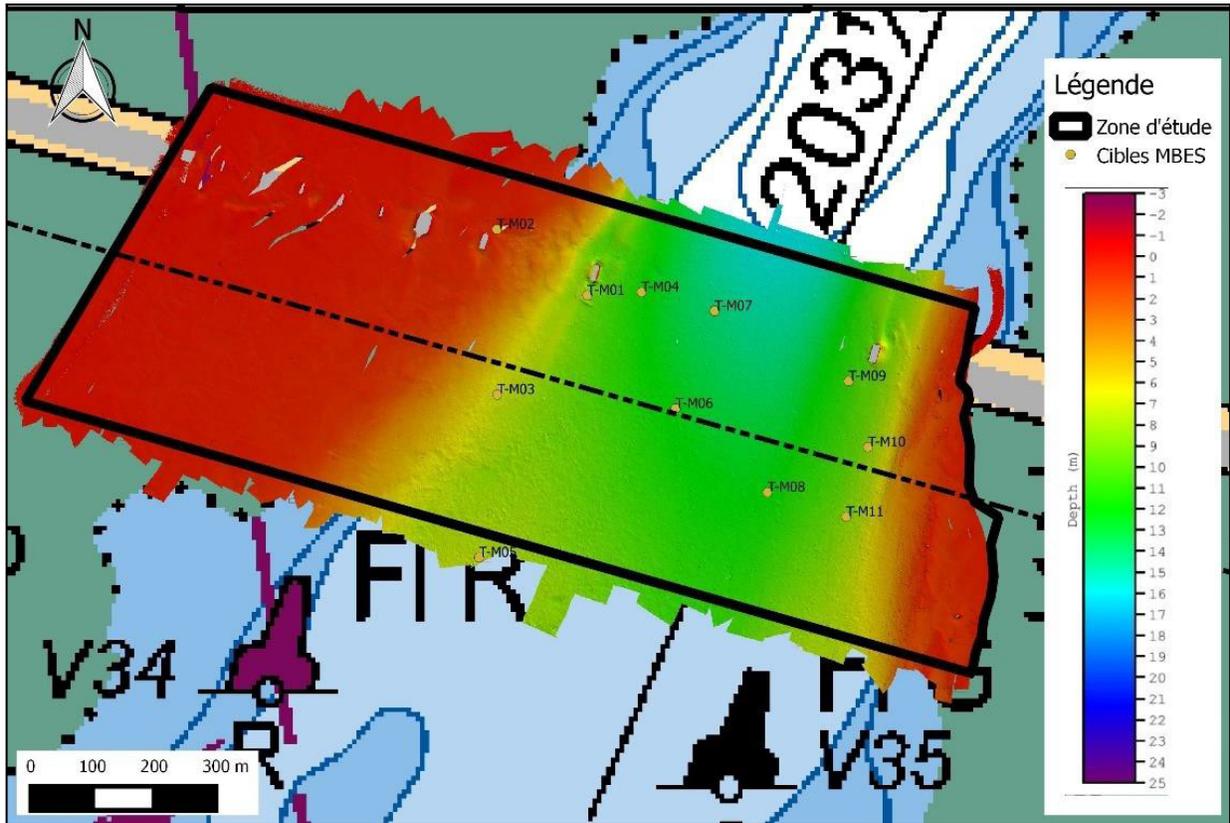


Figure 24 Carte synthèse des anomalies relevées au sondeur multifaisceaux, résolution 20 cm (CIDCO 2019)

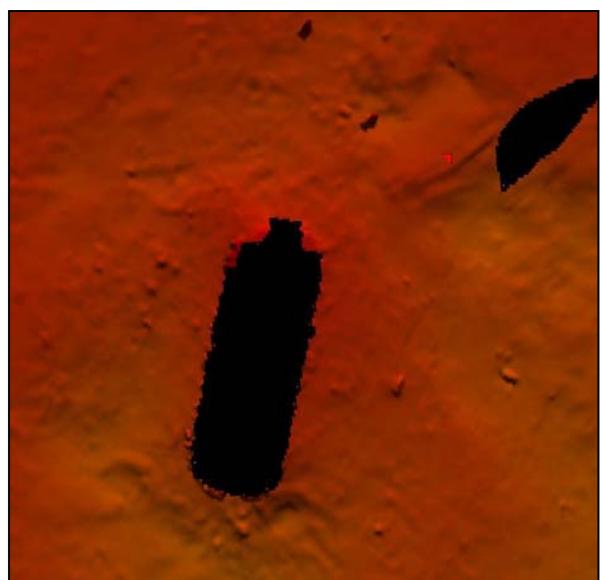
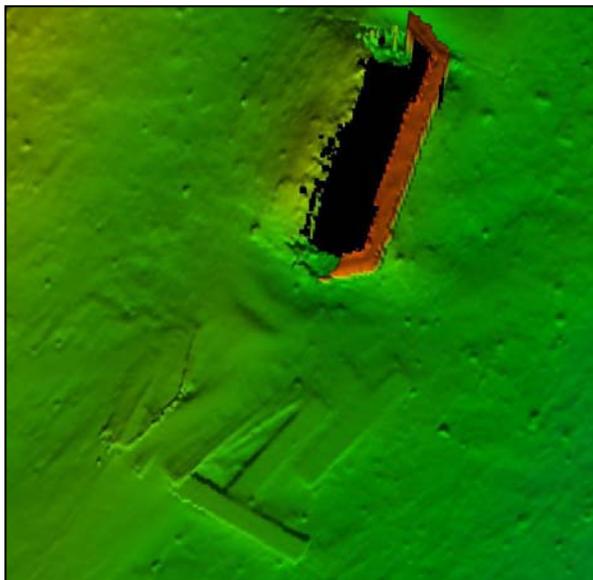


Figure 23 T-MBES-01 (gauche) et T-MBES-02 (droite)

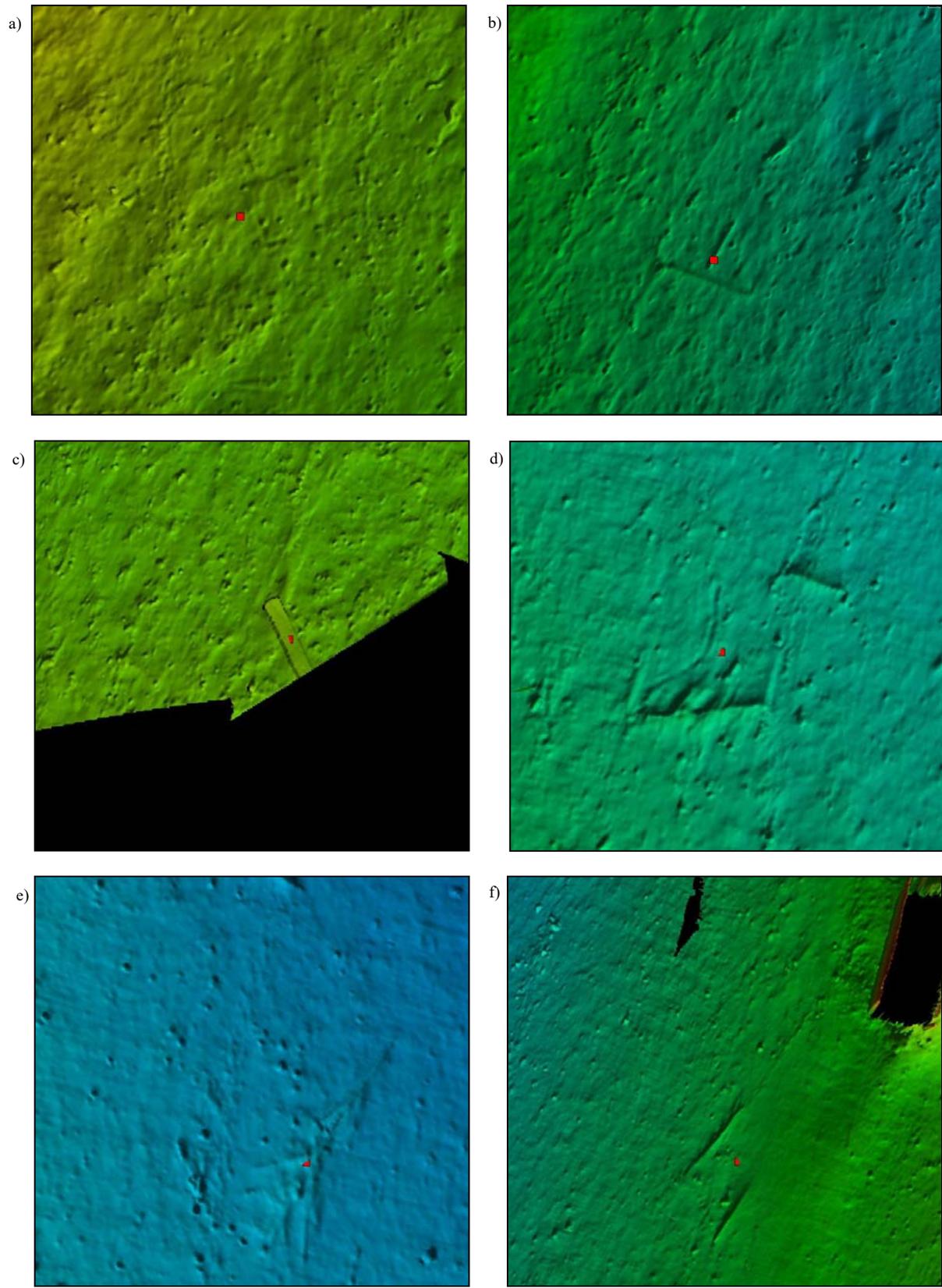


Figure 25 Anomalies a) T-MBES-03, b) T-MBES-04, c) T-MBES-05, d) T-MBES-06, e) T-MBES-07, f) T-MBES-08

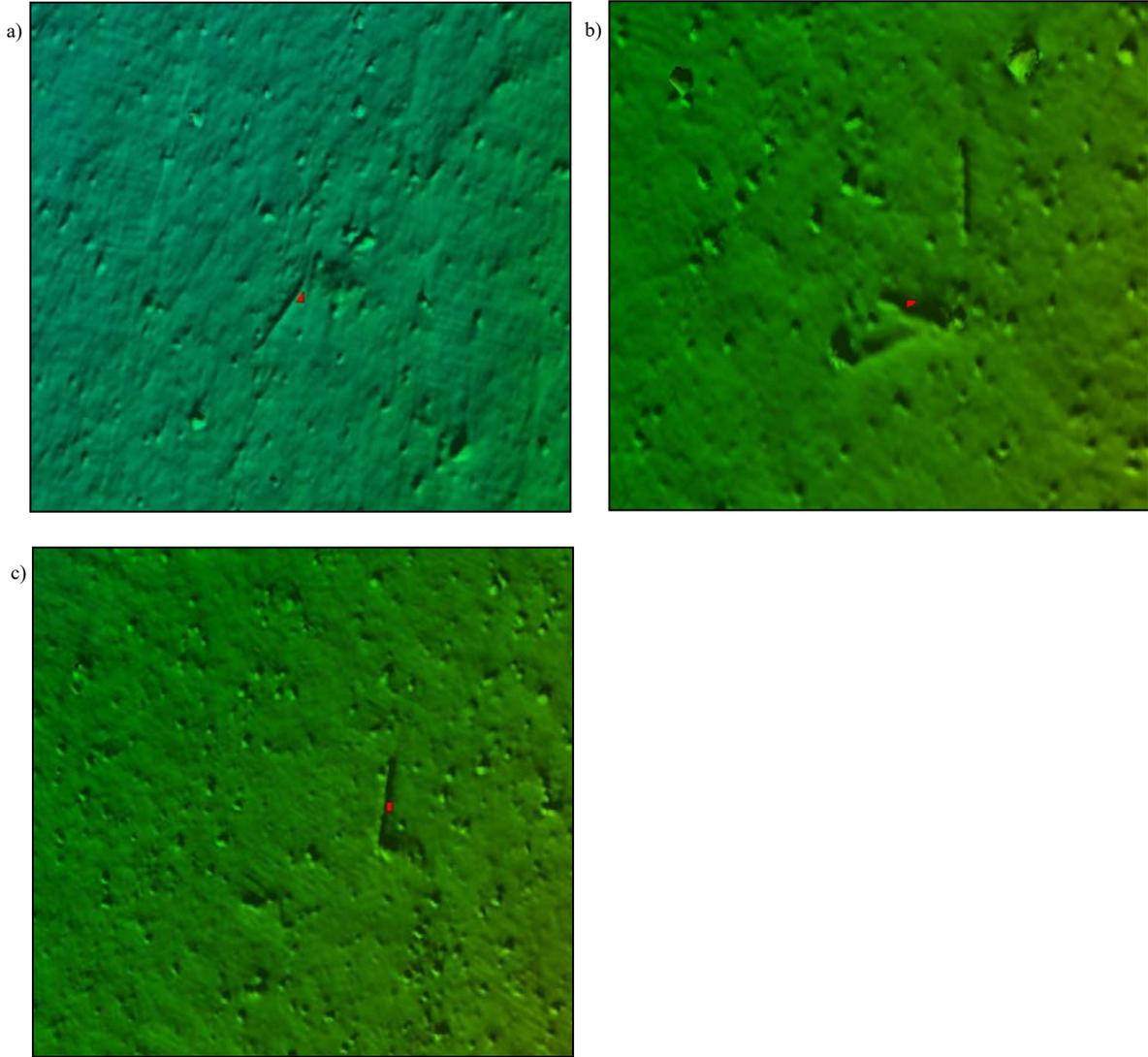


Figure 26 Anomalies a) T-MBES-09, b) T-MBES-10, c) T-MBES-11

4.2.2 Sonar à balayage latéral

La prospection au sonar à balayage latéral a été réalisée le 14 mai 2019. La zone à l'étude n'a pas été couverte en totalité à cause d'une trop faible profondeur au niveau des battures, mais la limite du zéro des cartes à cependant été atteinte dans la majeure partie du secteur. Au total, 10 anomalies ont été relevées dont 3 recourent celles également observées au sondeur multifaisceaux. Le tableau 3 résume les cibles avec leurs coordonnées géographiques. La figure 27 illustre les tracés de navigation suivis, la figure 28, une mosaïque de l'ensemble des cibles dans la zone à l'étude, et les figures 29 et 30, les anomalies individuelles. Les cibles T-S37 et T-S51 demeurent non identifiées, mais se situant hors de la zone à l'étude, aucune action de vérification n'a été entreprise dans le cadre de ce mandat. Il est cependant recommandé de procéder à un inventaire visuel en cas de travaux dans cette portion du chenal nord de l'Île d'Orléans.

Tableau 3 Synthèse des anomalies relevées au sonar à balayage latéral

Anomalie	Longitude (X)	Latitude (Y)	Description
T-S32	71:08.0398 W	46:52.7466 N	Plusieurs objets de forme cylindrique. Tronc d'arbres poss.
T-S35	71:08.1042 W	46:52.7104 N	Amoncellement d'objets cylindriques. Situé sous le pont. Arbre ou structure métallique
T-S37	71:08.0145 W	46:52.8764 N	Objet avec extrémité pointu *Hors de la zone d'étude*
T-S39	71:08.0521 W	46:52.8642 N	Trois objets partiellement enfouis, indéterminés *Hors de la zone d'étude*
T-S44	71:08.1645 W	46:52.6963 N	Troncs d'arbres
T-S47	71:08.1649 W	46:52.7749 N	Voir T-MBES-01
T-S49	71:08.0660 W	46:52.6499 N	Objets ind. Pierres probables
T-S50	71:08.0839 W	46:52.5595 N	Longue dépression. Affouillement
T-S51	71:07.9142 W	46:52.7973 N	Objet anguleux ind. *Hors de la zone d'étude*
T-S52	71:07.9818 W	46:52.7129 N	Voir T-MBES-09
T-S55	71:08;16.135918W	46;52;37.290509N	Voir T-MBES-05

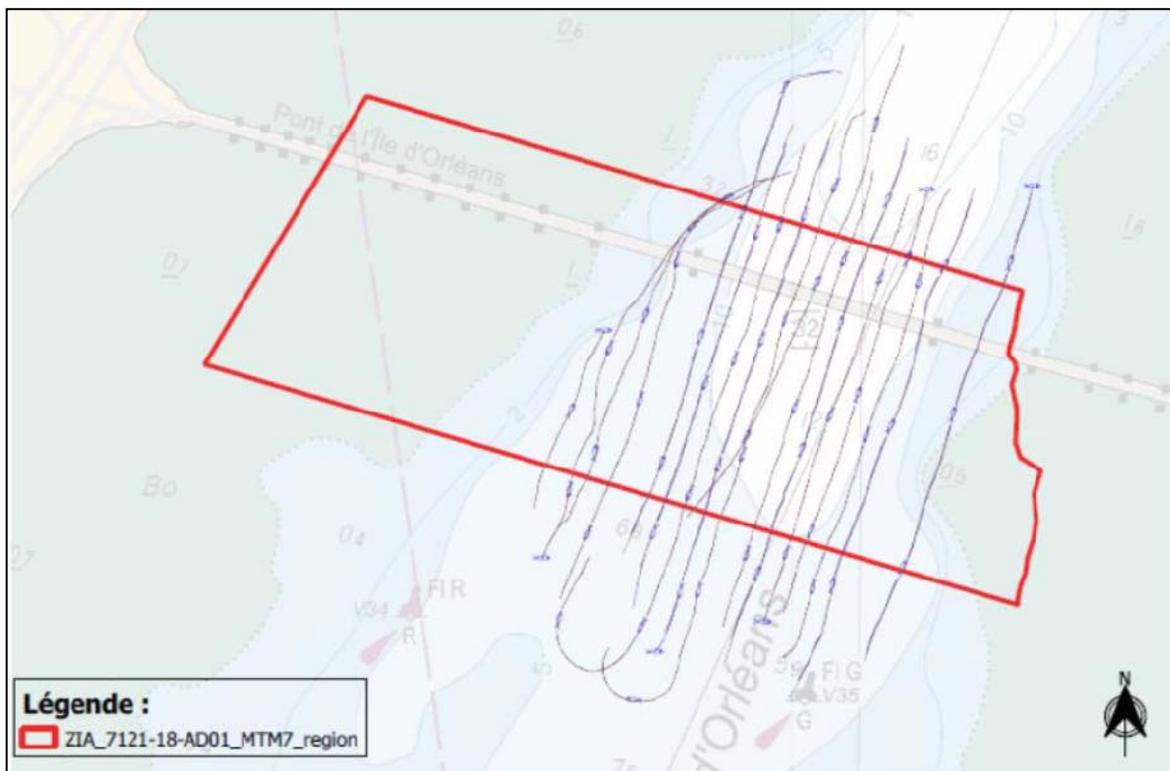


Figure 27 Lignes de levés au sonar à balayage latéral (CIDCO 2019)

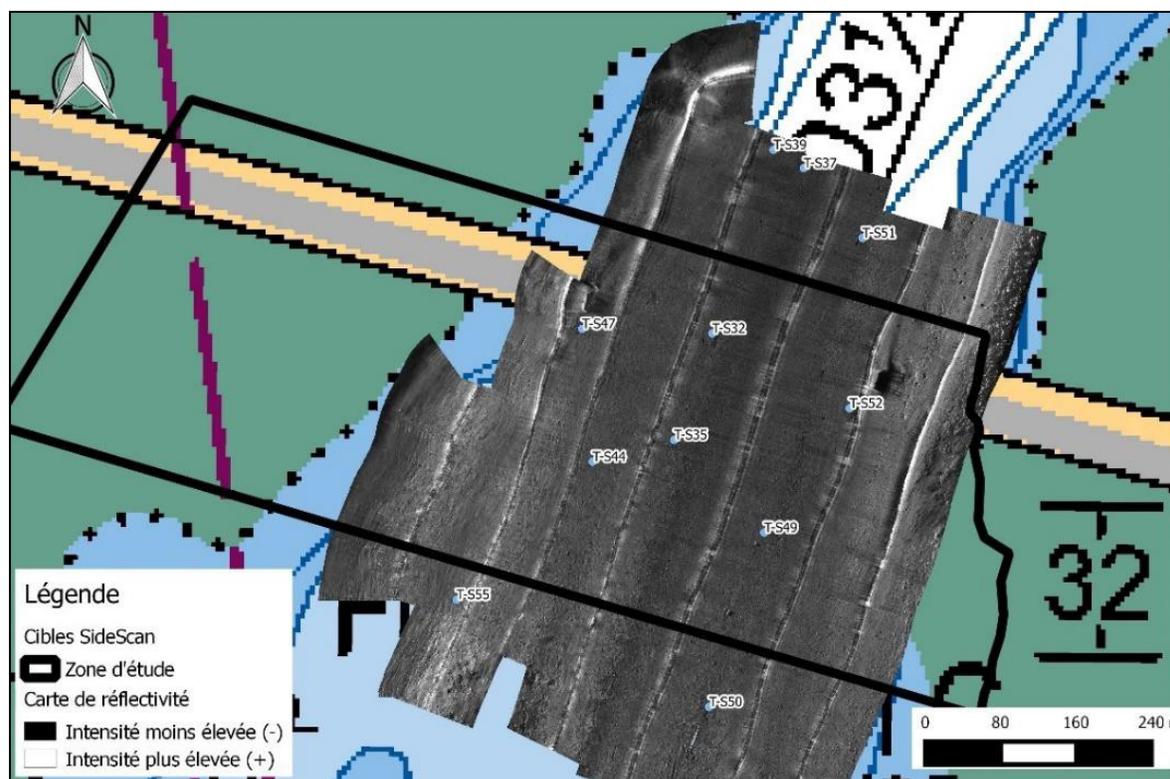


Figure 28 Mosaïque de l'ensemble des anomalies relevées au sonar à balayage latéral à une résolution de 50 cm (CIDCO 2019)

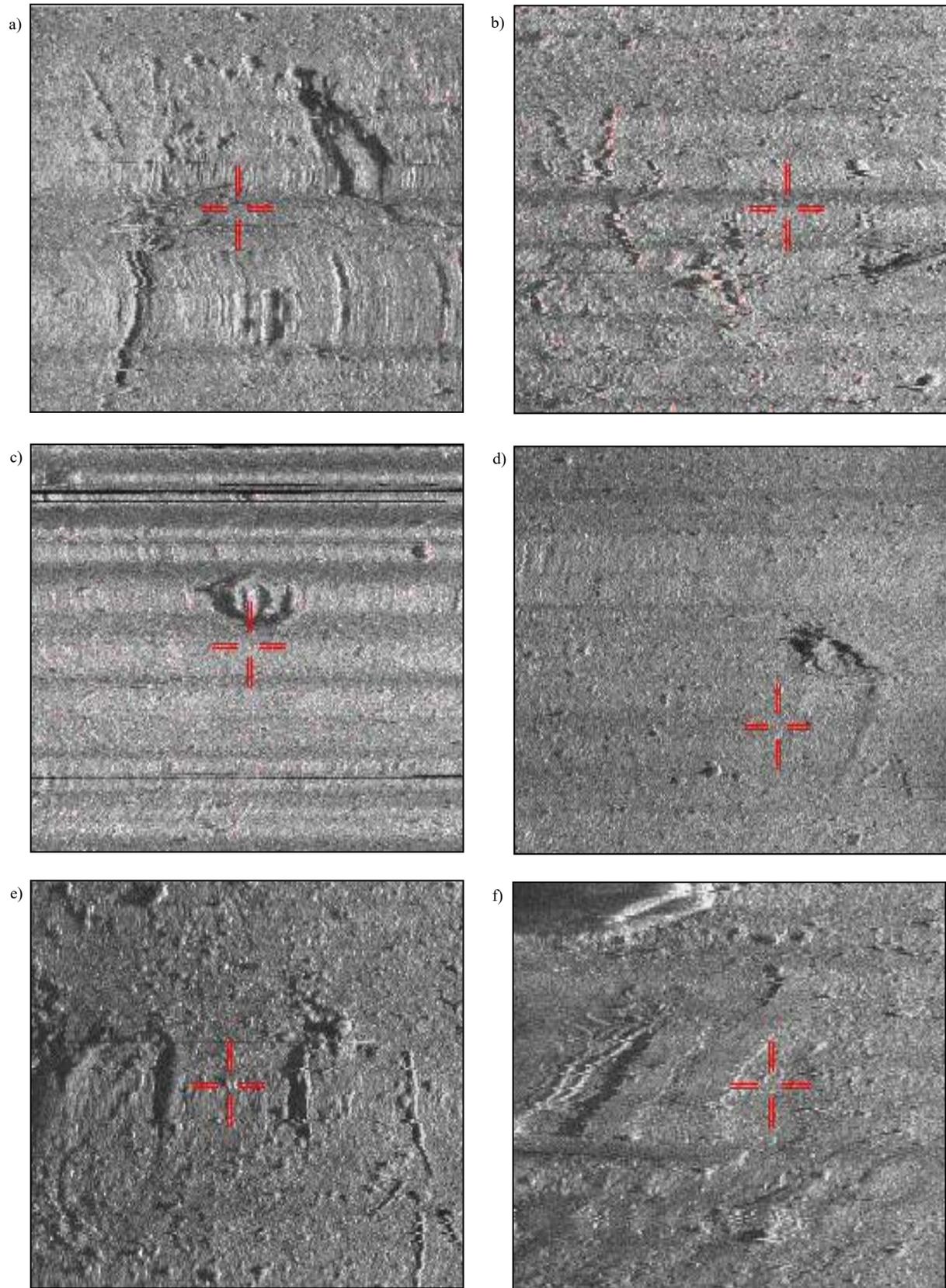


Figure 29 Anomalies a) T-S32, b) T-S35, c) T-S37, d) T-S39, e) T-S44, f) T-S47

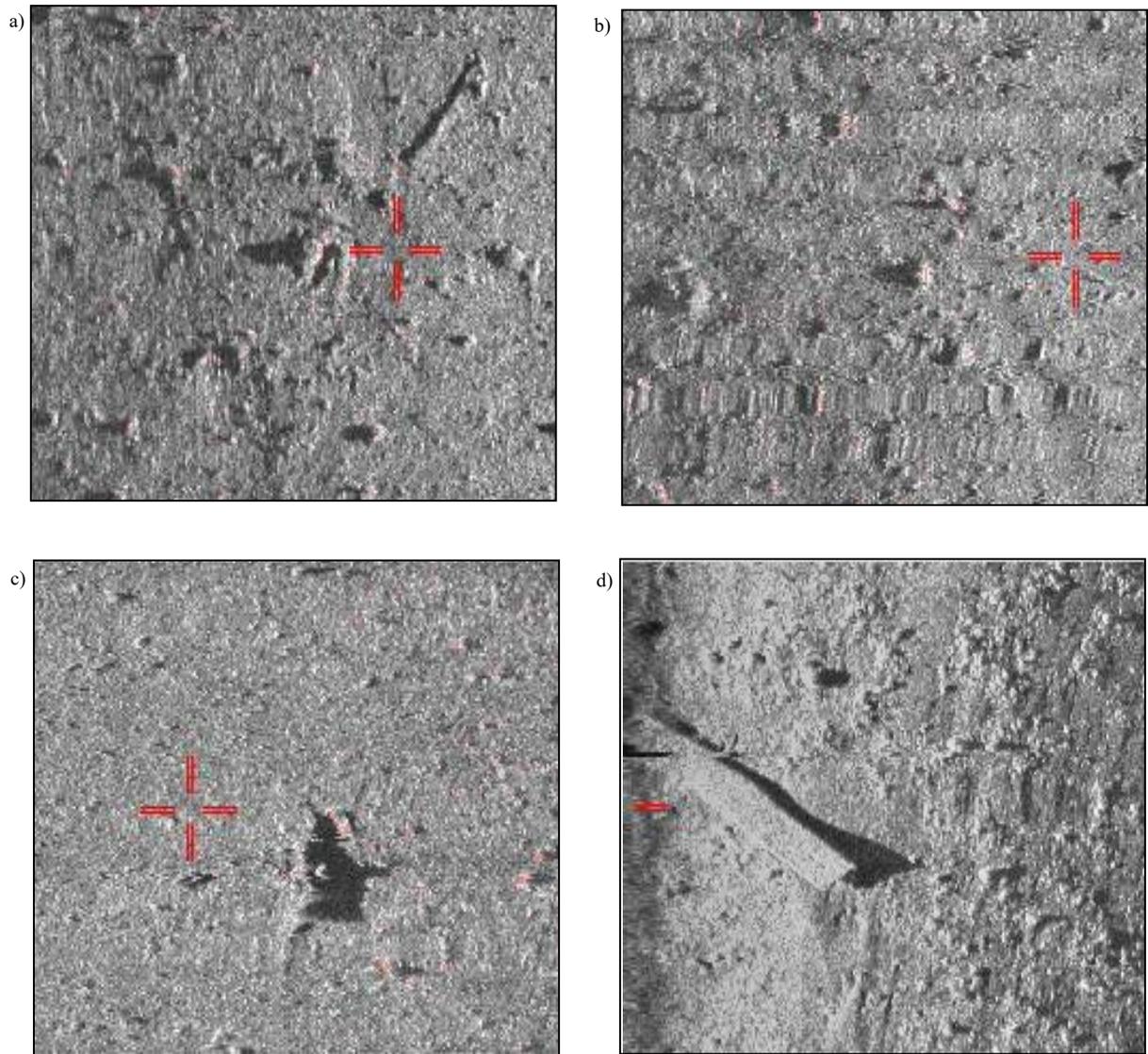


Figure 30 Anomalies a) T-S49, b) T-S50, c) T-S51, d) T-S55

4.2.3 Magnétomètre

La couverture au magnétomètre a été réalisée le 15 mai 2019. Il n'a pas été possible de réaliser les mesures sur les battures au même titre que le sonar à balayage latéral, car la profondeur n'était pas suffisante pour déployer un instrument tracté. Des lignes perpendiculaires ont été effectuées sur chaque anomalie afin d'améliorer leur positionnement, mais la précision des données magnétométriques demeure à plusieurs mètres près. Également, les interférences avec les structures métalliques du pont ont nui à la prise de données ne permettant pas de déterminer la présence d'anomalies sous le pont actuel de l'Île d'Orléans. Au total, 9 anomalies magnétiques ont été relevées. Deux d'entre elles, T-Mag-02 et T-Mag-06, se situent à proximité respective des cibles T-MBES-05 (T-S55) et T-MBES-08 (T-S49), mais ne peuvent y correspondre hors de tout doute. Le tableau 4 présente une synthèse des anomalies magnétiques en fonction de leur gradient d'intensité (nT/m); la figure 31, les lignes réalisées au magnétomètre; la figure 32, les isolignes magnétiques en fonction de leur gradient; ainsi que la figure 33 qui illustre l'ensemble des anomalies magnétiques relevées.

Enfin, la figure 34 synthétise les différentes anomalies observées à l'aide des trois instruments et a permis une certaine correspondance entre les diverses données collectées.

Tableau 4 Synthèse des anomalies relevées au magnétomètre

Anomalie	Valeur maximale de l'anomalie (en nT)	Easting	Northing
T-mag01	14,83	256380.580	5193266.598
T-mag02	115,47	256183.878	5193246.559
T-mag03	26,81	256160.370	5193423.277
T-mag04	15,53	256161.674	5193472.552
T-mag05	43,28	256378.583	5193415.380
T-mag06	10,96	256495.292	5193326.593
T-mag07	18,09	256656.345	5193379.611
T-mag08	3,75	256627.147	5193600.108
T-mag09	3,66	256038.430	5193309.771

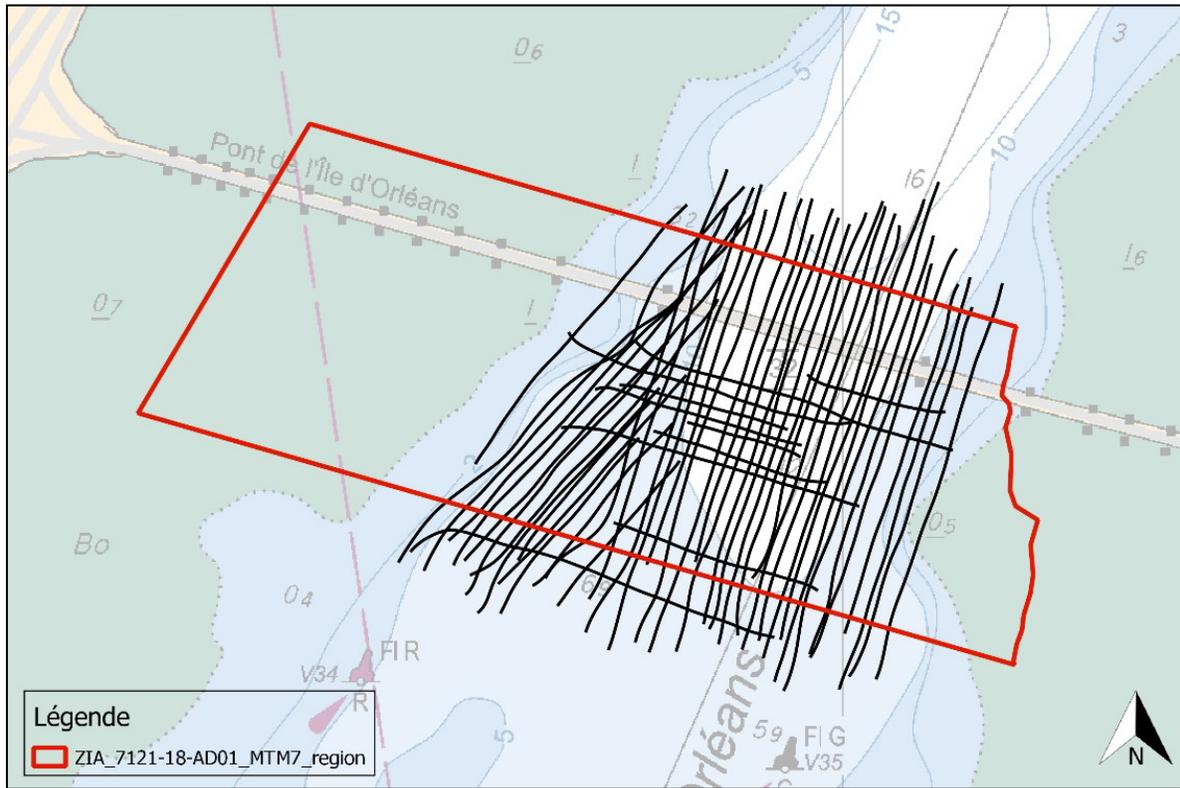


Figure 31 Lignes réalisées au magnétomètre (CIDCO 2019)

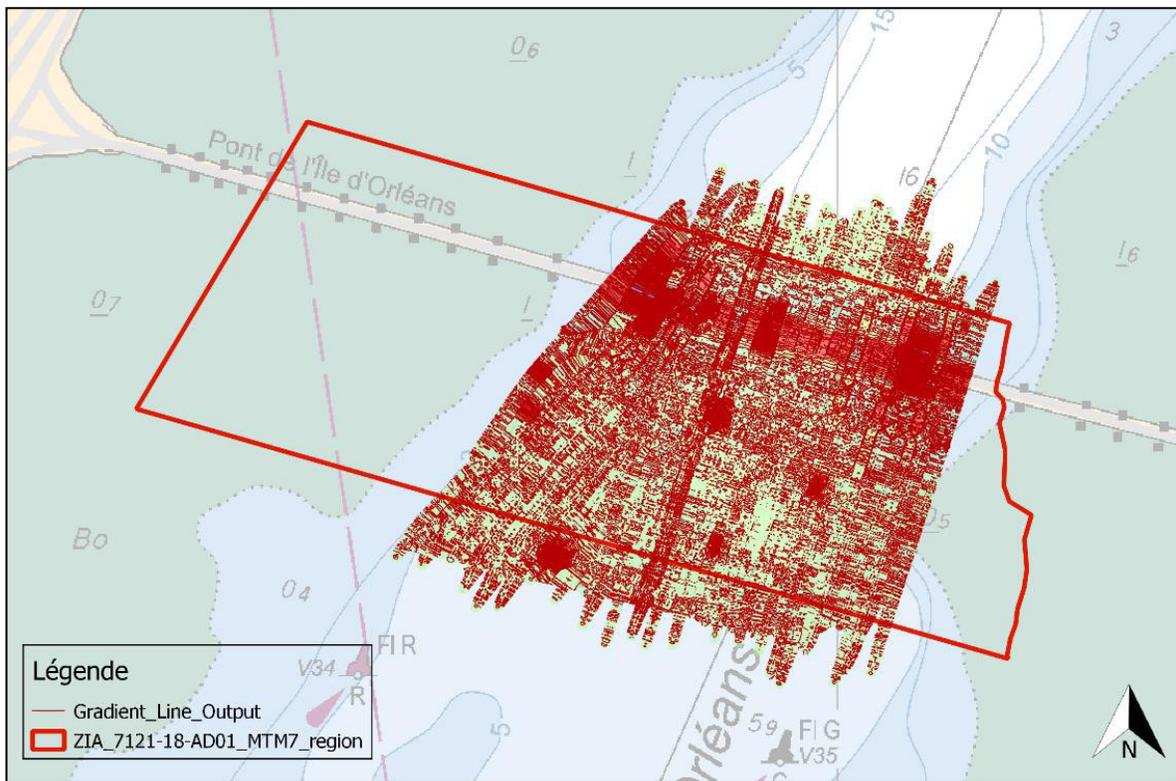


Figure 32 Isolignes magnétiques selon leur gradient magnétométrique (CIDCO 2019)

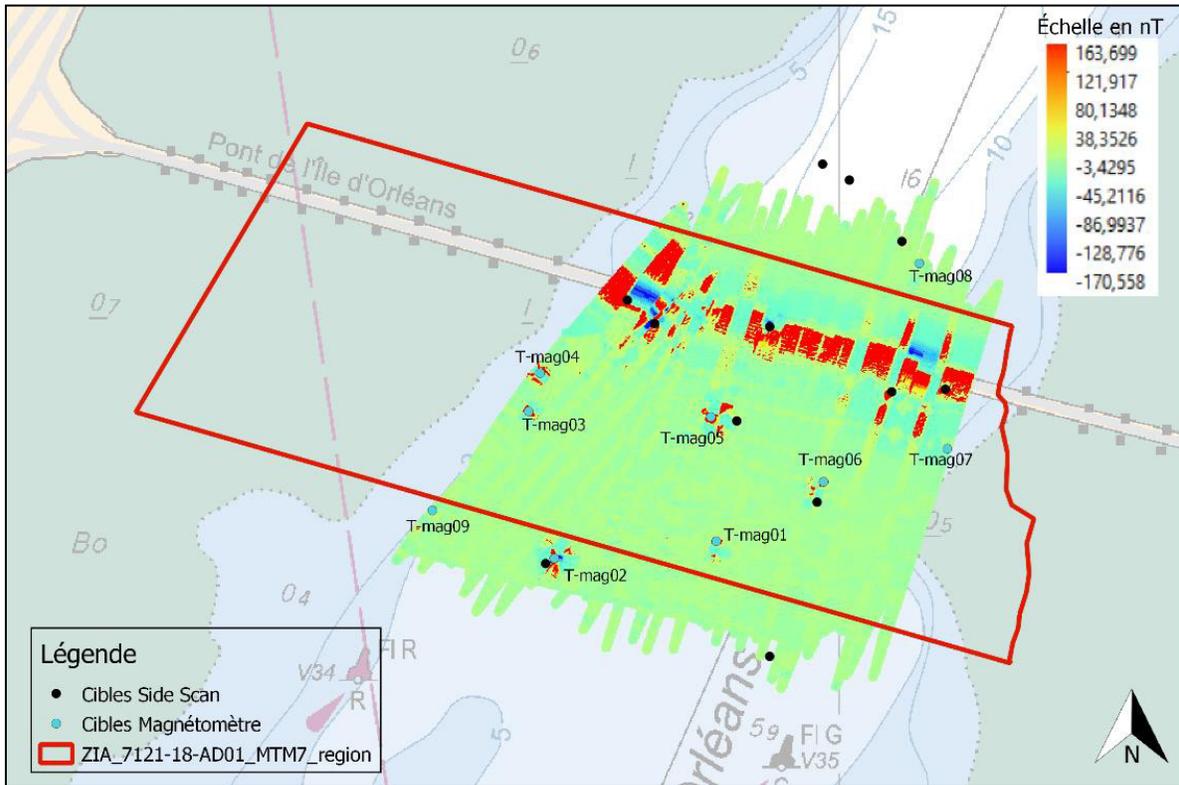


Figure 33 Synthèse des anomalies magnétiques relevées au magnétomètre (CIDCO 2019)

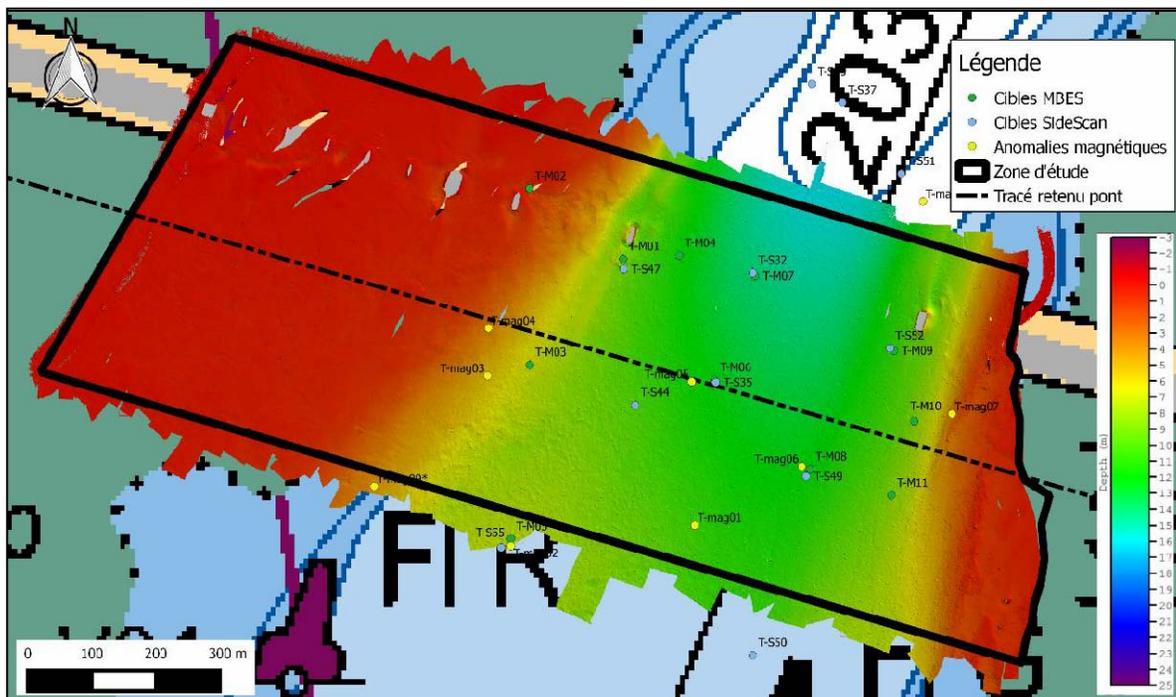


Figure 34 Synthèse des anomalies magnétiques relevées au magnétomètre (CIDCO 2019)

4.3 Vérification de cibles en plongée non autonome

Lors de l'inventaire archéologique subaquatique de la zone à l'étude, une seule anomalie qui se trouvait à proximité du pont actuel de l'Île d'Orléans a été vérifiée en plongée non autonome, soit T-MBES-1 (T-S47). Les plongées ont eu lieu les 22 et 23 août 2019 dans le secteur nord de l'Île d'Orléans, au pied de la pile nord du centre du pont de l'île (figure 35). Le but était de vérifier l'anomalie T-MBES-01 préalablement repérée, à l'aide d'une équipe de plongée en alimentation de surface. La navigation a été effectuée à partir de la marina de Saint-Laurent-de-l'Île d'Orléans. Le plongeur a été mis à l'eau au pied de la pile Nord sur la face Ouest à l'étale montante. Un léger courant d'environ 0,25 nœud était présent en direction d'Est en Ouest. La profondeur au fond marin était d'environ 12 mètres (+- 1 mètre), la visibilité au site était inférieure à 1 mètre et la température de l'eau à 24 degrés Celsius. Le fond marin était principalement recouvert de galet, caillou, gravier et sable. Certaines zones étaient recouvertes d'environ 75% de sable (probablement dû à l'ensablement au pied des piles). Sinon la plupart des zones étaient composées de galets, cailloux, gravier et sable.

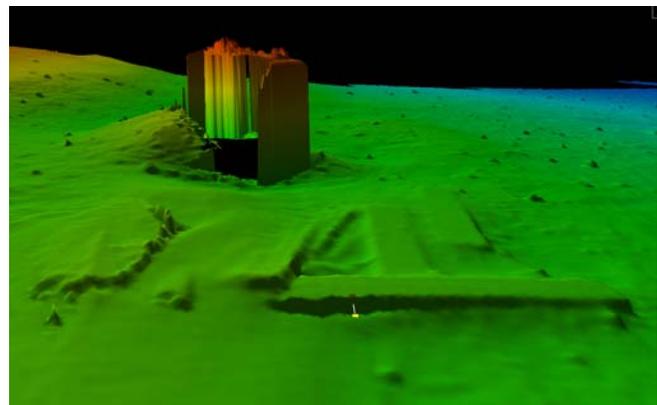
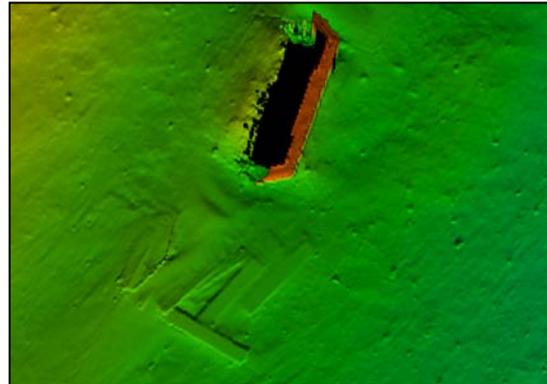


Figure 35 Cible T-MBES-01 vérifiée en plongée en amont de la pile centrale nord du pont actuel de l'Île d'Orléans. (gauche : IRHMAS 2018-PIO-NUM2-81, droite : CIDCO 2019)

La cible T-MBES-01 s'avère être un amas de débris de coffrage et de construction modernes, possiblement liés aux travaux de réparation et/ou de consolidation de la pile centrale nord du pont actuel de l'Île d'Orléans. Les structures se composent de dalles de béton horizontales et de petits « murets » ou dalles de béton posés verticalement, de coffrage et de poutres d'acier de type « H-beam », d'un tronc d'arbre et d'une pièce de bois récente 4 x 8 pouces.

Ainsi, la portion nord-ouest de la cible apparente rencontrée est composée de sections de dalles de béton (80-100 cm de largeur par 150 mm d'épaisseur) en position debout qui sortent du fond sur une hauteur variant de 60 cm à 1 m en orientation est-ouest (figure 36). L'agencement vertical est aléatoire alors qu'il est triangulaire en plan et prend une orientation est-ouest. Les dalles dépassent du fond sur environ 60 cm et disparaissent vers le nord après environ 1,8 m. Perpendiculaire à l'agencement, une dalle de 3,5 m de longueur par 150 mm d'épaisseur est disposée en position debout selon l'axe nord-sud. Plus au sud, elle dépasse du fond sur une hauteur d'environ 60 cm pour disparaître sous les sédiments 3,5 mètres plus loin en direction est.

Quant à la portion sud-est de T-MBES-01, elle comprend des poutres de métal et un cadrage en métal ferreux (figures 36 et 37). On y observe la présence de corrosion et de moules zébrées. Le cadre s'élève de 1,20 m de hauteur du fond marin, dont une poutre de large d'environ 20 cm vient s'appuyer sur un petit muret de béton s'élevant environ 1 m du fond marin et enfoncé perpendiculairement dans le sol, très ensablé. S'y ajoute une pièce de bois moderne de 4 x 8 pouces déposée sur le fond marin (figure 37), mais non en place. Aucun clou ou autre fixation sur la pièce n'a été remarqué. Des fragments de poutres H-Beam corrodées, des tiges et fragments de métal tordus ainsi qu'un tronc d'arbre font également parties de l'assemblage observé.

À la lumière des données colligées, il semble que la cible T-MBES-01 soit un mélange d'amas de débris liés à la construction ou à la réparation du pont actuel et d'un ouvrage de consolidation de la zone pour assurer l'intégrité de la pile centrale nord. Aucune recommandation n'est formulée quant à la suite des travaux concernant la cible inventoriée.



*Figure 36 Cible T-MBES-01. Présence de dalle de béton (haut) et d'un cadre en métal (bas) (IRHMAS 2018-PIO-04-
NUM2-16 et 18)*



2019-08-22
13:12:18
2018-PIO-03...
T-MBES 1

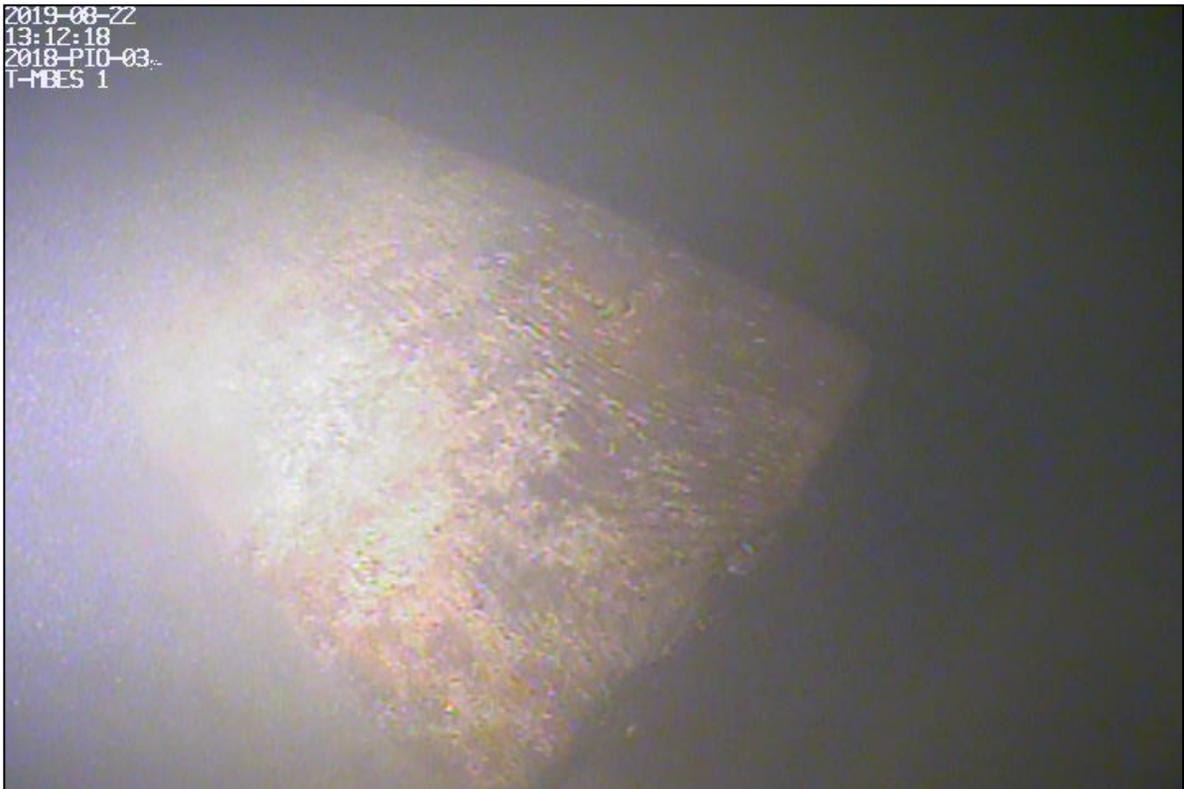


Figure 37 Cible T-MBES-01. Présence de poutre en métal H-Beam (haut) et d'une pièce de bois moderne (bas) (IRHMAS 2018-PIO-04-NUM2-21 et 14)

5. Conclusion et recommandations

Le Ministère des Transports du Québec a procédé aux études préalables d'inventaires archéologiques dans le cadre de la planification et d'éventuels travaux de construction d'un nouveau pont reliant l'Île d'Orléans à Québec. L'intervention menée par l'IRHMAS consistait à compléter de l'évaluation du potentiel archéologique maritime et subaquatique du secteur, une prospection au sonar à l'aide de trois instruments, et d'un inventaire en plongée non autonome pour la vérification d'une cible enregistrée.

Lors des activités de télédétection réalisées en mai 2019, les premiers traitements des données sur le terrain au sondeur multifaisceaux et au sonar à balayage latéral n'ont pas indiqué la présence de structures archéologiques complexes significatives dans la zone à l'étude. Elle ne semblait pas nécessiter d'intervention en plongée pour la suite de l'inventaire. À la suite du traitement des données ainsi que celles du magnétomètre, la plupart des anomalies ont été discriminées, mais dans le cas d'une anomalie, ses caractéristiques n'ont pas permis de se prononcer définitivement. Il a donc été convenu de procéder à une vérification en plongée. L'inventaire en plongée non autonome du mois d'août 2019 a démontré que l'anomalie en question est une accumulation de débris et structures récentes de dalles de béton de différentes dimensions et positions, de poutres en acier de type H-Beam, d'une pièce de bois et d'un tronc d'arbre. Il s'agit possiblement de débris laissés après la réparation des piles ou du tablier de l'actuel pont. Aucune valeur archéologique ou patrimoniale n'a donc été accordée à cette anomalie.

Dans le cadre de ce mandat, aucune recommandation de travaux complémentaires n'est formulée pour la zone à l'étude dans le cadre de la planification de la construction d'un nouveau pont à l'Île d'Orléans. Néanmoins, en vertu du fort potentiel archéologique maritime et subaquatique qui subsiste dans le chenal nord, de l'incertitude d'une épave à proximité du secteur et d'anomalies indéterminées en aval de la zone d'étude, il est recommandé de procéder à un inventaire archéologique exhaustif en cas d'élargissement de cette dernière ou en cas de l'entreprise d'autres travaux dans le chenal nord de l'Île d'Orléans.

Bibliographie

Base de données Parcs Canada.

Bibliothèque et Archives Canada [en ligne] <http://www.bac-lac.gc.ca/>

Bibliothèque et Archives nationales du Québec [en ligne] <http://www.banq.qc.ca/>

BÉLANGER, Danièle, 1989. *Des insulaires tournés vers le large : Pilotage et construction navale*. Cap-aux-Diamants 5 (1) :47–49.

BÉLANGER, Diane, 1984. *La construction navale à Saint-Laurent Ile d'Orléans*. Saint-Laurent : Bibliothèque David Gosselin.

BOSSÉ, Gilbert. R. 2013. *Navigating the St. Lawrence*. Métis-sur-mer.

CAMPEAU, Charles Vianney 2002. *Navires venus en Nouvelles-France. Gens de mer et passagers. Des origines à 1699*. [en ligne] <http://naviresnouvellefrance.net/html>

Cartothèque Université de Montréal [en ligne] <http://www.bib.umontreal.ca/cartotheque/>

CIDCO, 2019. *Inventaire subaquatique par télédétection, pont de l'Ile d'Orléans*. Rapport inédit présenté à l'IRHMAS, Rimouski.

DESGAGNÉS, Michel, 1977. *Les goélettes de Charlevoix*. Montréal : Léméac Éditions.

DESJARDINS, Robert, 2012. *Les voitures d'eau. Le cabotage artisanal sur le Saint-Laurent*. [en ligne] <http://www.goelettesduquebec.ca>

FAUTEUX, Agidius, 1922. *Journal du Siège de Québec du 10 mai au 18 septembre 1759*. Québec.

FRANCK, ALAIN, 2001. *Les chantiers maritimes traditionnels : Il était de petits navires...* *Continuité* (89) : 37–39.

HARVEY, Gérard, 1974. *Marins du Saint-Laurent*. Montréal : Éditions du Jour.

IRHMAS, 2019. *Étude de potentiel archéologique. Marina Saint-Roch et parc Gilles-Lamontagne*. Ville de Québec, rapport inédit.

LAFRANCE, Jean, 1972. *Les épaves du Saint-Laurent (1650-1760)*. Montréal : Éditions de l'Homme, 1972.

LHNC A.C. Davie 2019. « L'exposition virtuelle ». *Lieu historique national du Canada du chantier A.C. Davie*. [en ligne] <http://www.acdavie.com/fr/visite/expositions-virtuelles/>

MARX, R. F., 1971. *Shipwrecks of the Western Hemisphere 1492-1825*. New York.

MTMDET 2018. *Rapport de sondage. Projet du pont de l'Ile d'Orléans*. Rapport inédit, Québec.

Musée McCord [en ligne] <http://www.musee-mccord.qc.ca>

NOEL, Dave, 2005. La guerre de la Conquête et les populations civiles canadienne : le cas de l'Île d'Orléans. Québec : Mémoire de Maitrise Université Laval.

PHANEUF, Érik (AECOM), 2016. *Étude de potentiel archéologique subaquatique. Projet d'aménagement d'un quai multifonctionnel en eau peu profonde au port de Québec-Beauport 2020*. Administration portuaire de Québec.

PINTAL, Jean-Yves, 2014. *Étude de potentiel archéologique dans le cadre de l'étude des solutions pour le projet du pont de l'Île d'Orléans : Municipalités de Québec, Boischatel et de Saint-Pierre-de-l'île-d 'Orléans*. Direction de la Capitale-Nationale. Ministère des Transports du Québec.

ROY, André. 2014. *Pont de l'Île d'Orléans*. Rapport présenté au : Service de la coordination des affaires autochtones, de l'archéologie et du développement nordique. Direction de la programmation, des ressources et des opérations. Direction de la Capitale-Nationale. Direction générale des territoires. Ministère des Transports du Québec.

Annexe 1 : Catalogue des photographies

PROJET : 2018-PIO-04 Inventaire subaquatique

Archéologue : Mathieu Mercier Gingras

Film n° : NUM 1

Type de film : Canon 7D

Date	Cliché	No photo	Identification	Description	Orient.
13-05-2019	1	DSC6014	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	2	DSC6015	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	3	DSC6016	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	4	DSC6017	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	5	DSC6018	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	6	DSC6019	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	7	DSC6020	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	8	DSC6021	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	9	DSC6022	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	10	DSC6026	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	11	DSC6037	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	12	DSC6038	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	13	DSC6039	2018-PIO-04	Mise à l'eau du FJ Saucier et mobilisation	—
13-05-2019	14	DSC6040	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	15	DSC6041	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	16	DSC6042	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	17	DSC6043	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	18	DSC6044	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	19	DSC6045	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	20	DSC6046	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	21	DSC6047	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	22	DSC6048	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	23	DSC6049	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	24	DSC6050	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
13-05-2019	25	DSC6051	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
14-05-2019	26	DSC6054	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
14-05-2019	27	DSC6055	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
14-05-2019	28	DSC6057	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
14-05-2019	29	DSC6058	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
14-05-2019	30	DSC6059	2018-PIO-04	Préparation du sondeur multifaisceaux	—
14-05-2019	31	DSC6064	2018-PIO-04	Navigation vers le secteur à l'étude	—
14-05-2019	32	DSC6065	2018-PIO-04	Navigation vers le secteur à l'étude	—
14-05-2019	33	DSC6067	2018-PIO-04	Navigation vers le secteur à l'étude	—
14-05-2019	34	DSC6073	2018-PIO-04	Navigation vers le secteur à l'étude	—
14-05-2019	35	DSC6076	2018-PIO-04	Navigation vers le secteur à l'étude	—
14-05-2019	36	DSC6077	2018-PIO-04	Sondeur Multifaisceaux	—
14-05-2019	37	DSC6078	2018-PIO-04	Navigation vers le secteur à l'étude	E
14-05-2019	38	DSC6079	2018-PIO-04	Navigation vers le secteur à l'étude	E
14-05-2019	39	DSC6080	2018-PIO-04	Navigation vers le secteur à l'étude	E
14-05-2019	40	DSC6081	2018-PIO-04	Navigation vers le secteur à l'étude	E
14-05-2019	41	DSC6084	2018-PIO-04	Sonde de calibration	E
14-05-2019	42	DSC6085	2018-PIO-04	Sonde de calibration	E
14-05-2019	43	DSC6086	2018-PIO-04	Sonde de calibration	E
14-05-2019	44	DSC6087	2018-PIO-04	Sonde de calibration	E
14-05-2019	45	DSC6088	2018-PIO-04	Sonde de calibration	W
14-05-2019	46	DSC6090	2018-PIO-04	Sonde de calibration	N
14-05-2019	47	DSC6091	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	NE
14-05-2019	48	DSC6092	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	NE
14-05-2019	49	DSC6093	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	N
14-05-2019	50	DSC6094	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	N
14-05-2019	51	DSC6095	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	N
14-05-2019	52	DSC6096	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	E
14-05-2019	53	DSC6097	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	E
14-05-2019	54	DSC6098	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	N
14-05-2019	55	DSC6099	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	N
14-05-2019	56	DSC6100	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	S
14-05-2019	57	DSC6101	2018-PIO-04	Levés au sondeur multifaisceaux	S

16-05-2019	120	DSC6212	2018-PIO-04	FJ Saucier à quai	
16-05-2019	121	DSC6220	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	122	DSC6221	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	123	DSC6222	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	124	DSC6223	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	125	DSC6287	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	126	DSC6288	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	127	DSC6289	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	128	DSC6290	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	129	DSC6291	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	130	DSC6293	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	131	DSC6294	2018-PIO-04	Levés au magnétomètre	
16-05-2019	132	DSC6295	2018-PIO-04	Démobilisation	
16-05-2019	133	DSC6296	2018-PIO-04	Démobilisation	
16-05-2019	134	DSC6297	2018-PIO-04	Démobilisation	
16-05-2019	135	DSC6298	2018-PIO-04	Station de géoréférencement	



_DSC6014.JPG



_DSC6015.JPG



_DSC6016.JPG



_DSC6017.JPG



_DSC6018.JPG



_DSC6019.JPG



_DSC6020.JPG



_DSC6021.JPG



_DSC6022.JPG



_DSC6026.JPG



_DSC6037.JPG



_DSC6038.JPG



_DSC6039.JPG



_DSC6040.JPG



_DSC6041.JPG



_DSC6042.JPG



_DSC6043.JPG



_DSC6044.JPG



_DSC6045.JPG



_DSC6046.JPG



_DSC6047.JPG



_DSC6048.JPG



_DSC6049.JPG



_DSC6050.JPG



_DSC6051.JPG



_DSC6054.JPG



_DSC6055.JPG



_DSC6057.JPG



_DSC6058.JPG



_DSC6059.JPG



_DSC6064.JPG



_DSC6065.JPG



_DSC6067.JPG



_DSC6073.JPG



_DSC6076.JPG



_DSC6077.JPG



_DSC6078.JPG



_DSC6079.JPG



_DSC6080.JPG



_DSC6081.JPG



_DSC6084.JPG



_DSC6085.JPG



_DSC6086.JPG



_DSC6087.JPG



_DSC6088.JPG



_DSC6090.JPG



_DSC6091.JPG



_DSC6092.JPG



_DSC6093.JPG



_DSC6094.JPG



_DSC6095.JPG



_DSC6096.JPG



_DSC6097.JPG



_DSC6098.JPG



_DSC6099.JPG



_DSC6100.JPG



_DSC6101.JPG



_DSC6102.JPG



_DSC6103.JPG



_DSC6104.JPG



_DSC6105.JPG



_DSC6106.JPG



_DSC6107.JPG



_DSC6108.JPG



_DSC6109.JPG



_DSC6110.JPG



_DSC6111.JPG



_DSC6112.JPG



_DSC6113.JPG



_DSC6114.JPG



_DSC6115.JPG



_DSC6116.JPG



_DSC6117.JPG



_DSC6118.JPG



_DSC6119.JPG



_DSC6120.JPG



_DSC6121.JPG



_DSC6122.JPG



_DSC6123.JPG



_DSC6124.JPG



_DSC6125.JPG



_DSC6126.JPG



_DSC6127.JPG



_DSC6128.JPG



_DSC6129.JPG



_DSC6130.JPG



_DSC6131.JPG



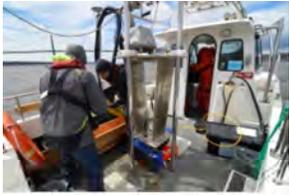
_DSC6132.JPG



_DSC6133.JPG



_DSC6134.JPG



_DSC6135.JPG



_DSC6136.JPG



_DSC6137.JPG



_DSC6138.JPG



_DSC6140.JPG



_DSC6141.JPG



_DSC6142.JPG



_DSC6143.JPG



_DSC6144.JPG



_DSC6145.JPG



_DSC6146.JPG



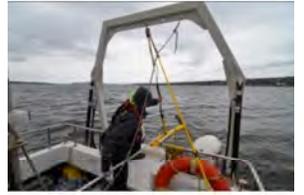
_DSC6153.JPG



_DSC6154.JPG



_DSC6155.JPG



_DSC6156.JPG



_DSC6157.JPG



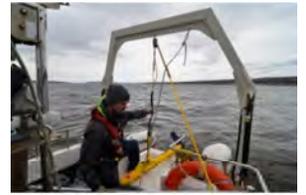
_DSC6158.JPG



_DSC6160.JPG



_DSC6161.JPG



_DSC6162.JPG



_DSC6163.JPG



_DSC6164.JPG



_DSC6165.JPG



_DSC6166.JPG



_DSC6167.JPG



_DSC6168.JPG



_DSC6169.JPG



_DSC6170.JPG



_DSC6171.JPG



_DSC6212.JPG



_DSC6220.JPG



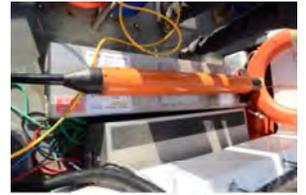
_DSC6221.JPG



_DSC6222.JPG



_DSC6223.JPG



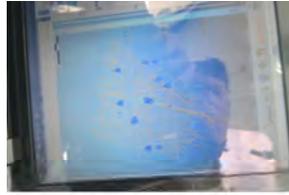
_DSC6287.JPG



_DSC6288.JPG



_DSC6289.JPG



_DSC6290.JPG



_DSC6291.JPG



_DSC6293.JPG



_DSC6294.JPG



_DSC6295.JPG



_DSC6296.JPG



_DSC6297.JPG



_DSC6298.JPG

PROJET : 2018-PIO-04 Inventaire subaquatique				Archéologue : Aimie Néron/Vincent Delmas	
Film n° : NUM 2			Type de film : Vidéo: Caméra HD AxSub Photo: Canon		
Date	Cliché	No photo	Identification	Description	Orient.
22-08-2019	1	12h50m53s_Diver	2018-PIO-04	Vidéo Plongée	—
22-08-2019	2	12h53m14s_Diver	2018-PIO-04	Vidéo Plongée	—
22-08-2019	3	12h53m40s_Diver	2018-PIO-04	Vidéo Plongée 1	—
22-08-2019	4	13h16m09s_Diver	2018-PIO-04	Vidéo Plongée 1	—
23-08-2019	5	Voice010	2018-PIO-04	Audio Plongée 2	—
22-08-2019	6	AxSub1	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure H-Beam métal	—
22-08-2019	7	AxSub2	2018-PIO-04	T-MBES-1 Poteau de métal	—
22-08-2019	8	AxSub3	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure H-Beam métal	—
22-08-2019	9	AxSub4	2018-PIO-04	T-MBES-1 Fond marin	—
22-08-2019	10	AxSub5	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal et muret de béton	—
22-08-2019	11	AxSub6	2018-PIO-04	T-MBES-1 muret de béton	—
22-08-2019	12	AxSub7	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal et muret de béton	—
22-08-2019	13	AxSub8	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal, cadre de coffrage	—
22-08-2019	14	AxSub9	2018-PIO-04	T-MBES-1 Pièce de bois	—
22-08-2019	15	AxSub10	2018-PIO-04	T-MBES-1 Débris de métal (et de bois?)	—
22-08-2019	16	AxSub11	2018-PIO-04	T-MBES-1 muret de béton	—
22-08-2019	17	AxSub12	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal, cadre de coffrage	—
22-08-2019	18	AxSub13	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal, cadre de coffrage	—
22-08-2019	19	IMG_6365	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal, moules zébrées	—
22-08-2019	20	IMG_6366	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal	—
22-08-2019	21	IMG_6367	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal, H-Beam	—
22-08-2019	22	IMG_6368	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal, H-Beam	—
22-08-2019	23	IMG_6369	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal, H-Beam	—
22-08-2019	24	IMG_6370	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal, H-Beam	—
22-08-2019	25	IMG_6371	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal, H-Beam	—
22-08-2019	26	IMG_6372	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal et muret de béton	—
22-08-2019	27	IMG_6373	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal et muret de béton	—
22-08-2019	28	IMG_6374	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal et muret de béton	—
22-08-2019	29	IMG_6375	2018-PIO-04	T-MBES-1 Structure métal, H-Beam	—
22-08-2019	30	IMG_6376	2018-PIO-04	T-MBES-1 Pièce de bois	—
22-08-2019	31	IMG_6377	2018-PIO-04	T-MBES-1 Pièce de bois	—
22-08-2019	32	IMG_6378	2018-PIO-04	T-MBES-1 Pièce de bois	—
22-08-2019	33	IMG_6379	2018-PIO-04	T-MBES-1 Pièce de bois	—
22-08-2019	34	IMG_6380	2018-PIO-04	T-MBES-1 Pièce de bois	—
22-08-2019	35	IMG_6381	2018-PIO-04	T-MBES-1 Pièce de bois	—
22-08-2019	36	IMG_6382	2018-PIO-04	T-MBES-1 muret de béton	—
22-08-2019	37	IMG_075025	2018-PIO-04	Mobilisation du zodiac de plongée	E
22-08-2019	38	IMG_075027	2018-PIO-04	Mobilisation du zodiac de plongée	E
22-08-2019	39	IMG_075121	2018-PIO-04	Mobilisation du zodiac de plongée	E
22-08-2019	40	IMG_075308	2018-PIO-04	Mobilisation du zodiac de plongée	E
22-08-2019	41	IMG_094715	2018-PIO-04	Mise à l'eau du zodiac de plongée	E
22-08-2019	42	IMG_094728	2018-PIO-04	Mise à l'eau du zodiac de plongée	E
22-08-2019	43	IMG_094732	2018-PIO-04	Mise à l'eau du zodiac de plongée	E
22-08-2019	44	IMG_094748	2018-PIO-04	Mise à l'eau du zodiac de plongée	E
22-08-2019	45	IMG_100755	2018-PIO-04	Navigation vers la zone de plongée	W
22-08-2019	46	IMG_111844	2018-PIO-04	Pont actuel de l'Île d'Orléans, zone de plongée vue générale	N
22-08-2019	47	IMG_111849	2018-PIO-04	Pont actuel de l'Île d'Orléans, zone de plongée vue générale	NE
22-08-2019	48	IMG_111901	2018-PIO-04	Pont actuel de l'Île d'Orléans, zone de plongée vue générale	NE
22-08-2019	49	IMG_111915	2018-PIO-04	Pont actuel de l'Île d'Orléans, zone de plongée vue générale	N
22-08-2019	50	IMG_112049	2018-PIO-04	Pont actuel de l'Île d'Orléans, zone de plongée vue rapprochée	N
22-08-2019	51	IMG_112052	2018-PIO-04	Pont actuel de l'Île d'Orléans, zone de plongée vue rapprochée	N
22-08-2019	52	IMG_112158	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	E
22-08-2019	53	IMG_112200	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	E
22-08-2019	54	IMG_112214	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	N
22-08-2019	55	IMG_112221	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	N
22-08-2019	56	IMG_112249	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	S
22-08-2019	57	IMG_112252	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	S

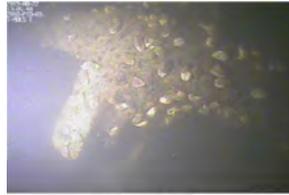
22-08-2019	58	IMG_112349	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	S
22-08-2019	59	IMG_112400	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	S
22-08-2019	60	IMG_112405	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	S
22-08-2019	61	IMG_112556	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	N
22-08-2019	62	IMG_112558	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, zone de plongée rapprochée	N
22-08-2019	63	IMG_112605	2018-PIO-04	Pilier central nord du pont actuel, vue sous le pont	N
22-08-2019	64	IMG_114138	2018-PIO-04	Ancrage et préparation à la plongée 1	S
22-08-2019	65	IMG_123218	2018-PIO-04	Ancrage et préparation à la plongée 1	NW
22-08-2019	66	IMG_123223	2018-PIO-04	Ancrage et préparation à la plongée 1	NW
22-08-2019	67	IMG_123325	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	NW
22-08-2019	68	IMG_123340	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	NW
22-08-2019	69	IMG_123632	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	NW
22-08-2019	70	IMG_123705	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	NW
22-08-2019	71	IMG_123707	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	NW
22-08-2019	72	IMG_123709	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	NW
22-08-2019	73	IMG_123752	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	N
22-08-2019	74	IMG_123817	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	N
22-08-2019	75	IMG_123947	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	N
22-08-2019	76	IMG_124038	2018-PIO-04	Zone de plongée	W
22-08-2019	77	IMG_124146	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	N
22-08-2019	78	IMG_132202	2018-PIO-04	Sortie du plongeur	N
22-08-2019	79	IMG_132206	2018-PIO-04	Sortie du plongeur	N
23-08-2019	80	IMG_114627	2018-PIO-04	Ancrage et préparation à la plongée 2	E
23-08-2020	81	IMG_121323	2018-PIO-04	Zone de plongée	E
23-08-2021	82	IMG_123910	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	S
23-08-2022	83	IMG_123911	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	S
23-08-2023	84	IMG_123952	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	S
23-08-2024	85	IMG_123959	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	S
23-08-2025	86	IMG_124318	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	S
23-08-2026	87	IMG_124337	2018-PIO-04	Mise à l'eau du plongeur	S



AxSub-1.jpg



AxSub2.png



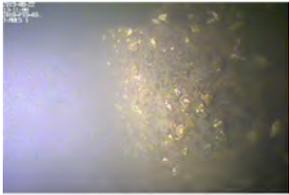
AxSub3.jpg



AxSub4.png



AxSub5.jpg



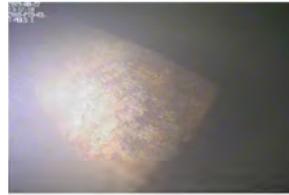
AxSub6.png



AxSub7.jpg



AxSub8.png



AxSub9.jpg



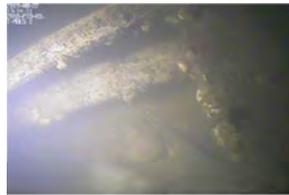
AxSub10.png



AxSub11.jpg



AxSub12.jpg



AxSub13.jpg



IMG_6365.JPG



IMG_6366.JPG



IMG_6367.JPG



IMG_6368.JPG



IMG_6369.JPG



IMG_6370.JPG



IMG_6371.JPG



IMG_6372.JPG



IMG_6373.JPG



IMG_6374.JPG



IMG_6375.JPG



IMG_6376.JPG



IMG_6377.JPG



IMG_6378.JPG



IMG_6379.JPG



IMG_6380.JPG



IMG_6381.JPG



IMG_6382.JPG



MG_20190822_075025.jpg



MG_20190822_075027.jpg



MG_20190822_075121.jpg



MG_20190822_075308.jpg



MG_20190822_094715.jpg



MG_20190822_094728.jpg



MG_20190822_094732.jpg



MG_20190822_094748.jpg



MG_20190822_100755.jpg



MG_20190822_111844.jpg



MG_20190822_111849.jpg



MG_20190822_111901.jpg



MG_20190822_111915.jpg



MG_20190822_112049.jpg



MG_20190822_112052.jpg



MG_20190822_112158.jpg



MG_20190822_112200.jpg



MG_20190822_112214.jpg



MG_20190822_112221.jpg



MG_20190822_112249.jpg



MG_20190822_112252.jpg



MG_20190822_112349.jpg



MG_20190822_112400.jpg



MG_20190822_112405.jpg



MG_20190822_112556.jpg



MG_20190822_112558.jpg



MG_20190822_112605.jpg



MG_20190822_114138.jpg



MG_20190822_123218.jpg



MG_20190822_123223.jpg



MG_20190822_123325.jpg



MG_20190822_123340.jpg



MG_20190822_123632.jpg



MG_20190822_123705.jpg



MG_20190822_123707.jpg



MG_20190822_123709.jpg



MG_20190822_123752.jpg



MG_20190822_123817.jpg



MG_20190822_123947.jpg



MG_20190822_124038.jpg



MG_20190822_124146.jpg



MG_20190822_132202.jpg



MG_20190822_132206.jpg



MG_20190823_114627.jpg



MG_20190823_121323.jpg



MG_20190823_123910.jpg



MG_20190823_123911.jpg



MG_20190823_123952.jpg



MG_20190823_123959.jpg



MG_20190823_124318.jpg



MG_20190823_124337.jpg

Annexe 2 : Rapport de bathymétrie du CIDCO

Inventaire subaquatique par télédétection, pont de l'île d'Orléans

Rapport

Client / partenaire

IRHMAS

Référence : 1718-431

Date

Juillet 2019



115, rue Saint-Germain Ouest, local 1
Rimouski (Québec) Canada G5L 3B6
Téléphone: 418-725-1732

www.cidco.ca

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	2
LISTE DES FIGURES	3
LISTE DES TABLEAUX	4
INFORMATIONS GÉNÉRALES	6
CLIENT.....	6
CIDCO	6
1. INTRODUCTION	7
2. MATÉRIEL	8
3. MÉTHODES	10
3.2 CALIBRATION CAPTEURS HYDROGRAPHIQUE	10
3.3 ACQUISITION DES DONNÉES	10
3.3.1 <i>Bathymétrie</i>	10
3.3.2 <i>Attitude et positionnement</i>	10
3.3.3 <i>Vitesse du son dans l'eau</i>	11
3.3.4 <i>Reflectivité des fonds marins</i>	11
3.3.5 <i>Anomalies Magnétiques</i>	11
3.4 TRAITEMENT DES DONNÉES	12
3.4.1 <i>Traitement de la bathymétrie</i>	12
3.4.2 <i>Traitement de la reflectivité</i>	12
3.4.3 <i>traitement de la magnétométrie</i>	13
3.5 CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES DONNÉES BATHYMÉTRIQUES	14
3.5.1 <i>Précision Verticale</i>	14
4. RÉSULTATS	15
4.1.1. <i>Bathymétrie</i>	15
4.1.2. <i>Sonar à balayage latéral</i>	16
4.1.3. <i>Magnétomètre marin</i>	18



4.1.4. Synthèse.....	21
5. CONCLUSION	23
6. ANNEXE A – CALIBRATION DU SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE	25
7. ANNEXE B - CIBLES MULTIFAISCEAU.....	29
8. ANNEXE C- CIBLES SIDE SCAN	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Zone d'étude.....	7
Figure 2. Le F.-J. Saucier, vedette hydrographique du CIDCO,	10
Figure 3. Variabilité de la profondeur du magnétomètre en cours du levé.	13
Figure 4. Rapport de contrôle de la qualité des données selon l'ordre de levé exclusif de l'IHO provenant des données acquises lors des levés du 14 et 15 mai	14
Figure 5. Surface d'écart-type (en mètre) des données.....	15
Figure 6. Carte multifaisceau de la zone d'étude. La résolution du produit final est de 20cm. Les cibles détectées sur le modèle numérique de terrain ont été positionnés sur la carte et numérotés de 1 à 11. La ligne en trait-tillé représente la position retenue du nouveau pont. 16	
Figure 7. Mosaïque de la réflectivité des fonds marins à une résolution de 50cm.	17
Figure 8. Lignes réalisées au sonar à balayage latéral.....	17
Figure 9. Carte représentant les anomalies magnétiques dans la zone d'étude.	18
Figure 10. Isolignes magnétiques, gradient magnétométrique (nT/m).....	19
Figure 11. Lignes réalisées au magnétomètre marin.....	19
Figure 12. Tracé Logarithmique de la diminution du pic d'anomalie magnétique avec l'altitude croissante pour un objet de forte densité ferrique (Camidge K. et al).....	20
Figure 13. Carte synthèse des artéfacts rencontrés autour du pont de l'île d'Orléans.	23
Figure 14. Schéma d'insonification d'un sondeur multifaisceau.....	25
Figure 15: Résultat de la calibration verticale entre les données du CIDCO et la surface de référence du SHC.....	27
Figure 16. Rapport de contrôle de la qualité des données selon l'ordre de levé exclusif de l'IHO entre la surface de référence du Service hydrographique du Canada et les données acquises avec le système du CIDCO	28
Figure 17. T-M01	29
Figure 18. T-M02	29



Figure 19. T-M03	30
Figure 20. T-M04	30
Figure 21. T-M05	31
Figure 22. T-M06	31
Figure 23. T-M07	32
Figure 24. T-M08	32
Figure 25. T-M09	33
Figure 26 T-M10	33
Figure 27. T-M11	34
Figure 28. T-S32	35
Figure 29. T-S35	35
Figure 30. T-S37	35
Figure 31. T-S39	36
Figure 32. T-S44	36
Figure 33. TS-47	36
Figure 34. T-S49	37
Figure 35. T-S50	37
Figure 36. T-S51	37
Figure 37. T-S55	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Spécifications des instruments utilisés	8
Tableau 2. Caractéristiques du F.-J. Saucier	9
Tableau 3. Coordonnées géodésiques en NAD83 SCRS du repère géodésique utilisé	11
Tableau 4. Tableau des valeurs maximales de magnétométrie de certaines cibles incluant le positionnement de ces valeurs en coordonnées projetés (MTM7)	20
Tableau 5. Bras de levier mesurés à l'issue de l'alignement statique Convention NWU	26
Tableau 6. Biais angulaire mesurés à l'issue du <i>patch test</i> du sondeur multifaisceau monté sur le F.-J. Saucier	26





INFORMATIONS GÉNÉRALES

CLIENT

Compagnie/ministère/Organisme	IRHMAS - Institut de recherche en histoire maritime et archéologie subaquatique
Nom du responsable	Aimie Néron, MSc Archéologue subaquatique et scaphandrière
Coordonnées	info@irhmas.com 438.886.2197

CIDCO

Coordonnées	CIDCO, 115, rue Saint-Germain Ouest, local 1 Rimouski, Québec. G5L 4B6 418-725-1732 info@cidco.ca
Superviseur de projet	Sylvain Gautier
Acquisition	Papa Médoune Ndir (Hydrographe) Sylvain Gautier (Hydrographe) Quentin Beauvais (assistant de recherche géophysique) Alain St-Pierre (Capitaine)
Traitement	Papa Médoune Ndir Ali Chouaer Quentin Beauvais Sylvain Gautier
Rédaction du rapport	Papa Médoune Ndir / Ali Chouaer / Quentin Bauvais / Sylvain Gautier



1. INTRODUCTION

L'IRHMAS sollicite les services du Centre Interdisciplinaire de Développement en Cartographie des Océans (CIDCO) pour une assistance technique relative à un levé bathymétrique,



Figure 1. Zone d'étude

magnétométrique et au sonar à balayage latéral pour un inventaire subaquatique autour du pont de l'île d'Orléans, à la suite de l'obtention du contrat mandaté par le Ministère des Transports du Québec (MTQ). Pour ce faire, CIDCO travaille en partenariat avec l'ISMER pour la partie détection des anomalies magnétiques. L'objectif est de définir une procédure de travail entre spécialistes en géomatique marine, en géophysique marine et en archéologie afin de faire l'inventaire des artefacts potentiellement anthropiques en élévation au-dessus du fond et les artefacts ferreux enfouis dans le sédiment.

2. MATÉRIEL

Les levés bathymétriques pour l'inventaire subaquatique ont été réalisés à l'aide d'un levé acoustique au sondeur multifaisceau. Le système utilisé était un échosondeur R2Sonic 2026 couplé à une centrale d'attitude et de positionnement IXblue HYDRINS. Le positionnement des levés était effectué par un récepteur GNSS Septentrio AsteRx-U. Une station de base GNSS Hemisphere S321 était installée à 1km de la zone de travail. Un profileur de vitesse du son dans l'eau AML Oceanographic Base-X a été utilisé afin d'obtenir des profils de célérité dans la colonne d'eau. Une sonde de célérité AML Oceanographic Micro-X était installée à la tête du sondeur pour la formation des faisceaux. Les levés de réflectivité des fonds marins ont été effectués à l'aide du sonar à balayage latéral edgeTech 272TD et les relevés magnétométriques à l'aide d'un magnétomètre SeaspY de Marine Magnetics.

Le tableau 1 présente les spécifications des instruments utilisés.

Tableau 1. Spécifications des instruments utilisés

<p>ÉCHOSONDEUR MULTIFAISCEAU TELEDYNE RESON 7125 SV2</p> <p>Fréquence: 90 à 450 kHz Nombre de faisceaux: jusqu'à 1024 Ouverture transversale (par faisceau) : 0.45° (au nadir) Ouverture longitudinale des faisceaux : 0.45° Ouverture angulaire maximale: 160° Profondeur maximale théorique: 800m Stabilisation du roulis et du tangage</p>	
<p>SYSTEME DE NAVIGATION INERTIELLE IXBLUE HYDRINS</p> <p>Mode d'acquisition: RTK Précision sur la position: Précision du GPS*0,3 Précision du cap: 0,01° de latitude sécante RMS Précision du pilonnement: 5 cm ou 5% (Smart Heave: 2,5 cm ou 2,5%) Précision du roulis et du tangage: 0,01° (0.005° en post-traitement)</p>	
<p>RÉCEPTEUR GNSS SEPTENTRIO ASTERX-U (MOBILE)</p> <p>Exactitude sur la position (RTK): Horizontal: 0,6cm + 0,5 ppm Vertical: 1 cm + 1 ppm</p>	
<p>RÉCEPTEUR GNSS Novatel Propak 6 (BASE)</p>	

<p>Exactitude sur la position (RTK): Horizontal: 0,8cm + 1 ppm Vertical: 1,5 cm + 1 ppm</p>	
SONDE DE CÉLÉRITÉ AML OCEANOGRAPHIC MICRO X	
<p>Gamme de mesure: 1375 à 1625 m/s Exactitude: ± 0.025 m/s Résolution: 0.001 m/s</p>	
PROFILEUR DE VITESSE DU SON AML OCEANOGRAPHIC BASE X	
<p>Gamme de mesure célérité/pression: 1375 à 1625 m/s / jusqu'à 100 dBar Exactitude célérité / pression: ± 0.025 m/s / $\pm 0,05\%$FS Résolution célérité / pression: 0.001 m/s / 0,02%FS</p>	
SIDE SCAN EDGETECH 272-TD TOW FISH	
<p>Profondeur de 1000 m et distance de swath de 25 à 500 m Bi-fréquences 100 kHz et 500 kHz Correction d'image et capture de cibles...</p>	
MAGNÉTOMÈTRE MARIN- SEASPY MARINE MAGNETICS	
<p>Fréquence de mesure de 0.1 à 4 kHz Résolution de 0.001 nT Échelle de détection de 18 000 à 120 000 nT</p>	
STATION DE BASE GEOMETRICS	
<p>Fréquence de mesure de 1.5 secs minimum Résolution de 0.1 gamma en condition moyenne Capacité de mémoire de 12 000 mesures</p>	

Les instruments utilisés dans le cadre de ces travaux étaient installés à bord du F.J. Saucier, la vedette hydrographique du CIDCO. Les principales caractéristiques de celle-ci sont présentées au tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques du F.-J. Saucier

F.J. Saucier		
Longueur (m) = 8.2	Largeur (m) = 2.7	Tirant d'eau (m) = 0,7



Figure 2. Le F.-J. Saucier, vedette hydrographique du CIDCO,

3. MÉTHODES

3.2 CALIBRATION CAPTEURS HYDROGRAPHIQUE

Avant de procéder au levé bathymétrique par sondeur multifaisceau, trois principales étapes de calibrations ont été réalisées afin d'assurer la qualité des données, soit la calibration statique, la calibration dynamique et la calibration verticale. Voir en Annexe A.

3.3 ACQUISITION DES DONNÉES

Les levés bathymétriques se sont déroulés le 14 et le 15 mai 2019. Les levés au sonar à balayage latéral se sont déroulés la journée du 15 mai 2019. Les levés de Magnétométrie se sont déroulés la journée du 16 mai 2019.

3.3.1 BATHYMÉTRIE

L'acquisition des données s'est effectuée par l'intermédiaire du logiciel d'hydrographie QINSy QPS. Ce logiciel a également permis de tracer et de suivre les lignes de sondages lors de l'acquisition.

Les données bathymétriques brutes ont été stockées dans les formats QINSy et XTF. La fréquence d'acquisition lors des levés était de 400 kHz.

3.3.2 ATTITUDE ET POSITIONNEMENT

Lors des levés, les données brutes d'attitude ont été enregistrées sur l'ordinateur d'acquisition pour leur utilisation dans l'éventualité où un post-traitement serait nécessaire. Les données brutes de positionnement du récepteur GNSS mobile et du récepteur GNSS de base ont également été enregistrées.

Les données de positionnement ont été acquises en mode RTK en référence à la station permanente GNSS du MERN (Ministère des ressources naturelles) située à Québec. Le tableau 5 montre les coordonnées du point géodésique sur lequel est installée la station. Durant les levés, la station de base secondaire pour les données de secours a été installée sur la zone de travail (rive sud du fleuve). La hauteur d'antenne en date du 14 mai était de 0 m.

Tableau 3. Coordonnées géodésiques en NAD83 SCRS du repère géodésique utilisé

Repère géodésique	Latitude	Longitude	Altitude géodésique	Altitude au zéro des cartes
95K1219	46° 50' 51,71361"	71° 15' 41,22904"	7,801	-

3.3.3 VITESSE DU SON DANS L'EAU

Des profils de vitesse du son dans l'eau ont été réalisés au 2heures. Au total, cinq profils ont été relevés dans la zone de travail.

3.3.4 REFLECTIVITÉ DES FONDS MARINS

Un levé sonar à balayage latéral permet de détecter la présence d'objets de l'ordre d'une dizaine de centimètre sur le fond. L'acquisition des données au sonar à balayage latéral s'est effectuée par l'intermédiaire du logiciel Discover 4100 de EdgeTech. Ce logiciel a également permis d'appliquer le *layback* (distance entre le point de toué du bateau (poulie installée sur le portique du FJ-Saucier et le poisson). Le bateau était positionné en RTK en référence à la station permanente du MERN (repère géodésique 95K1219) et la distance bateau-poisson mesurée en temps réel par l'opérateur : mesure de la longueur de câble jusqu'au point de toué et mesure de la distance verticale entre le point de toué et le poisson.

Le logiciel Qinsky a été utilisé pour réaliser et suivre les lignes de levé prédéfinies espacées au 25m afin d'obtenir une couverture à 100% des fonds dans la zone du chenal. Le sonar était plongé de manière à rester à une distance d'environ 10 m au-dessus du fond.

Les données de réflectivité brutes ont été stockées dans les formats JSF de EdgeTech et XTF. La fréquence d'acquisition lors des levés était de 500 kHz.

3.3.5 ANOMALIES MAGNETIQUES

Le magnétomètre marin SeaSpy de Marine Magnetics mesure l'intensité du champ magnétique avec une haute précision (0.1 nT). Des lignes espacées au 12m ont été réalisées afin de pouvoir localiser les artéfacts métallique (variation de la susceptibilité magnétique) présent sur le fond ou bien enfoui dans le sédiment. Les données du magnétomètre marin ont été acquises à l'aide du logiciel BOB de Marine Magnetics. Ce logiciel a permis de suivre en temps réel la position du magnétomètre par rapport au navire afin de gérer une couverture optimale de la zone d'étude. Le bateau était positionné en RTK en référence à la station permanente du MERN (repère géodésique



95K1219) et la distance bateau-poisson mesurée en temps réel par l'opérateur (procédure similaire au sonar à balayage latéral, voir paragraphe 3.3.4. Réflectivité).

Le logiciel Qinsky a été utilisé pour réaliser et suivre les lignes de levé prédéfinies afin d'obtenir une couverture optimale des fonds dans la zone du chenal. Le sonar était plongé de manière à rester à une distance entre 5 et 10 m au-dessus du fond et des lignes espacées de 12m.

Les données de magnétométrie ont été stockées dans la base de données du logiciel, ce qui a permis de travailler sur la délimitation de chaque ligne en post-traitement. La fréquence d'acquisition lors des levés au magnétomètre était de 4Hz.

3.4 TRAITEMENT DES DONNÉES

3.4.1 TRAITEMENT DE LA BATHYMÉTRIE

Le processus de traitement a pour but de combiner les données acquises de manière indépendante par les différents capteurs : 1) sondeur multifaisceau, 2) centrale d'attitude et de positionnement, 3) profileur de vitesse du son dans l'eau et 4) base GPS. Les traitements subséquents visent à s'assurer de la qualité de ces données ainsi que d'éliminer les sondes erronées.

Le traitement des données bathymétriques a été réalisé à l'aide du logiciel HIPS&SIPS 10.4 de la compagnie CARIS.

Plus spécifiquement, les données ont été :

- 1) corrigées pour les angles de montage (« patch test »);
- 2) corrigées pour la vitesse du son dans l'eau;
- 3) corrigées pour la marée (GPSTide);
- 4) nettoyées manuellement (suppression des sondes aberrantes);
- 5) fusionnées, étape qui consiste à repositionner les sondes horizontalement dans un système de coordonnées projetées (MTM zone 7) et de réduire les sondes verticalement par rapport au datum vertical choisi (zéro des cartes en l'occurrence);
- 6) les données ont ensuite été projetées sur une grille matricielle, à 0,20 m de résolution, à l'aide de l'algorithme CUBE de CARIS.

3.4.2 TRAITEMENT DE LA REFLECTIVITÉ

Le traitement de la réflectivité a été réalisé avec Caris SIPS 10.4. Les données ont été corrigées en appliquant :

- une correction sur la détection du fond,
- un "*Beam Pattern*"
- un Gain normalisé
- un TVG.

La différence d'intensité dû au changement d'altitude a également été prise en considération lors du traitement.



Enfin, une mosaïque a été générée pour la zone d'étude avec une résolution de 0.5 m.

3.4.3 TRAITEMENT DE LA MAGNÉTOMÉTRIE

Pour le calcul du layback, le logiciel BOB prend uniquement la distance horizontale entre le magnétomètre et le point de toué. La distance horizontale est mesurée en prenant la longueur du câble déroulée et la profondeur du magnétomètre par rapport à l'altitude du point de toué. La distance horizontale a donc été estimée à 30 mètres du bateau (longueur de câble déroulé sur l'ensemble des lignes) avec une imprécision de ± 1 à 2 mètres étant donné que la profondeur du magnétomètre a variée pendant le levé (fig. 3). Il faut rappeler que si le poisson n'est pas situé directement dans l'axe du bateau à cause de courant marins latéraux, une incertitude supplémentaire vient s'ajouter.

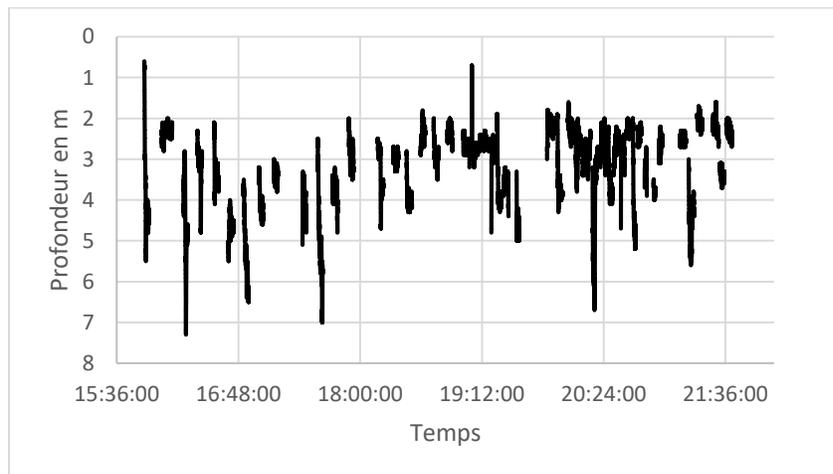


Figure 3. Variabilité de la profondeur du magnétomètre en cours du levé.

Le fichier de lignes extraites a été formaté pour pouvoir être intégré dans ArcGIS qui a été utilisé pour le traitement des données. La toolbox « *Magnetometer Survey* » fournie par Parc Canada a été utilisée pour le traitement des données dans ArcGIS. Le fichier a été exporté avec les informations suivantes : la longitude (easting), la latitude (northing), les données magnétiques brutes et le nom des lignes.

Le magnétomètre ne possédant pas d'altimètre, l'altitude du magnétomètre a donc dû être estimée à 5 mètres au-dessus du fond. La méthode d'interpolation *Kriging* a été utilisée pour ce travail. Cette méthode permet de prendre en compte l'espacement des lignes du levé, dans notre cas 12 mètres. Un traitement du gradient est également fait par un algorithme qui va supprimer les variations géologiques et journalières du magnétisme naturel dans les données.

Ce traitement a permis d'obtenir une carte des anomalies magnétiques liées à des objets ferromagnétiques.

3.5 CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES DONNÉES BATHYMÉTRIQUES

3.5.1 PRÉCISION VERTICALE

Afin de valider la calibration du système de levé, un rapport de contrôle de la qualité a été fait lors des levés après les travaux. Pour ce faire, un carré de contrôle a été effectué sur un fond relativement plat non loin du secteur des travaux. Quatre lignes parallèles ont été faites, puis quatre autres lignes perpendiculaires à ces dernières ont été levés. Le modèle numérique de terrain généré à partir des quatre premières lignes de levé a été comparé aux données des quatre lignes perpendiculaires. Ce rapport de contrôle de la qualité démontre que les levés sont conformes à l'ordre exclusif de l'IHO (figure 6).

Le rapport ci-dessous montre que l'incertitude à 95% de confiance sur l'ensemble des faisceaux du sondeur est inférieure à 16 cm.

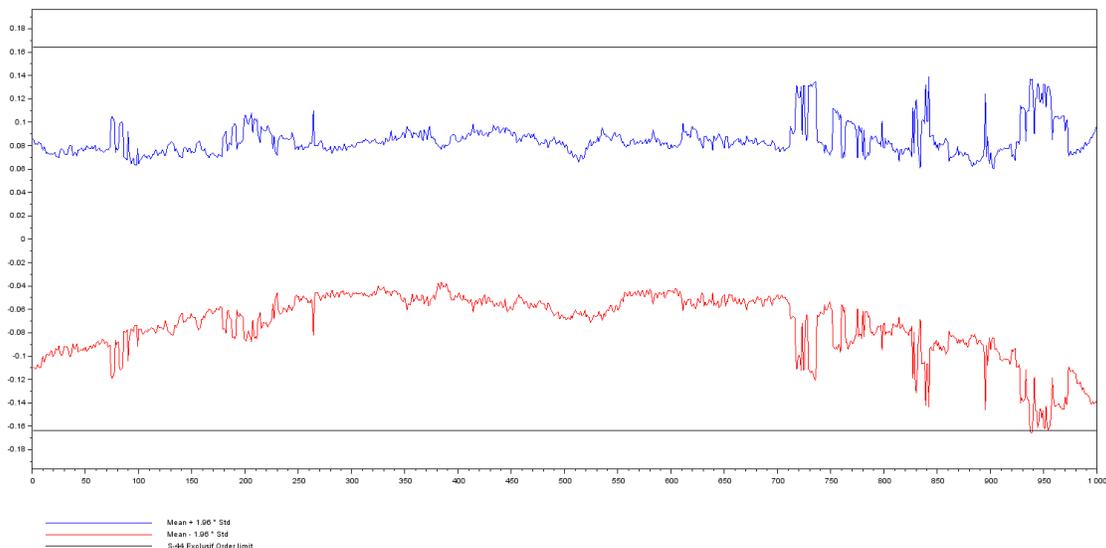


Figure 4. Rapport de contrôle de la qualité des données selon l'ordre de levé exclusif de l'IHO provenant des données acquises lors des levés du 14 et 15 mai

Un second produit qui permet d'évaluer la qualité du levé est la surface d'écart-type (2σ). Celle-ci donne une information sur l'exactitude de la donnée sur la zone de travail. On constate ici que sur la zone de travail la précision verticale est généralement inférieure à 10cm à 95% de confiance sur une grille de 20cm.

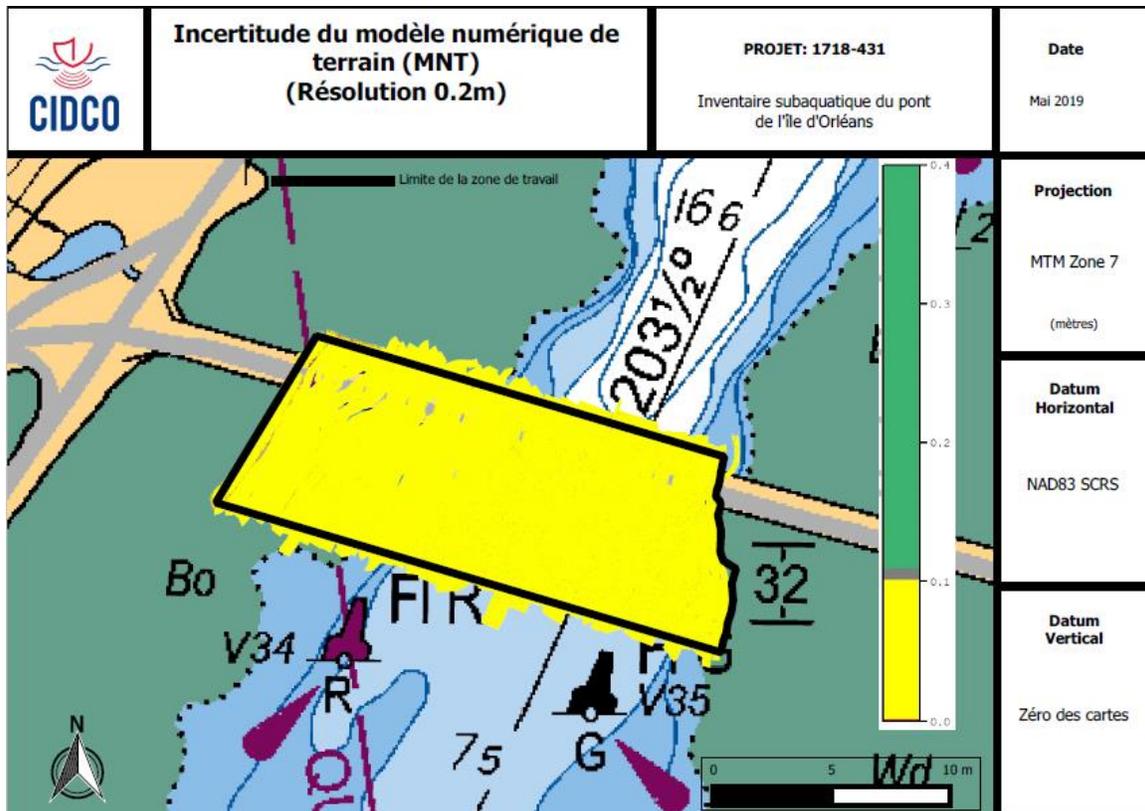


Figure 5. Surface d'écart-type (en mètre) des données

4. RÉSULTATS

4.1.1. BATHYMÉTRIE

La carte ci-dessous montre que le levé réalisé au sondeur multifaisceau respecte les exigences du client en termes de couverture. Les zones non couvertes correspondent aux piliers du pont. Le modèle numérique de terrain résultant du levé a une résolution de 20cm. Les profondeurs dans la zone d'étude varient de 16 m sous le zéro des cartes (couleur bleu) au milieu du chenal et atteint 2 mètres au-dessus du zéro des cartes (couleur rouge) à la périphérie de la zone d'étude sur les battures. Les archéologues ont ainsi pu identifier 11 objets sur le fond devant faire état d'analyse (voir Annexe B). Les artefacts identifiés par les archéologues ont été positionnés sur la carte ci-dessous (fig.5) et numéroté de T-M01 à T-M11. Ensuite les archéologues ont utilisé le MNT haute résolution pour effectuer des mesures planimétriques et d'élévation de chacune des cibles.

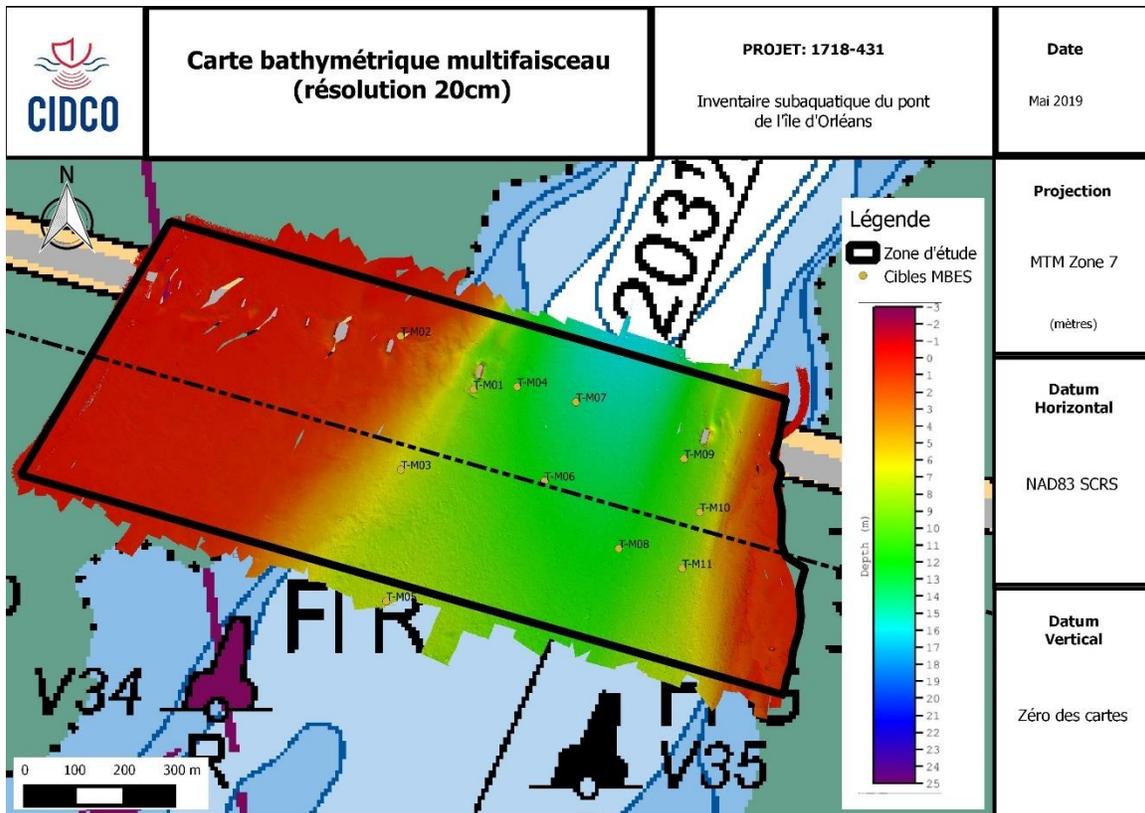


Figure 6. Carte multifaisceau de la zone d'étude. La résolution du produit final est de 20cm. Les cibles détectées sur le modèle numérique de terrain ont été positionnées sur la carte et numérotées de 1 à 11. La ligne en trait-tillé représente la position retenue du nouveau pont.

4.1.2. SONAR À BALAYAGE LATÉRAL

La carte ci-dessous (fig. 6) montre la couverture réalisée au sonar à balayage latéral. Une mosaïque à 50cm de résolution a été produite à partir des données géoréférencées du sonar à balayage latéral. Les battures n'ont pu être scannées en raison d'une profondeur d'eau trop faible pour le déploiement d'un tel équipement. La limite du zéro des cartes a cependant été atteinte dans la majeure partie de la zone d'étude. On constate sur la mosaïque des valeurs aberrantes suivant des lignes orientées Sud-Ouest/Nord-Est. Ce bruit correspond aux zones d'ombre du sonar localisée directement au-dessous du sonar sur chaque ligne d'acquisition. Afin de s'assurer de couvrir à 100% la zone, un espacement de 25m entre chaque ligne a été réalisé. Les lignes parallèles ont ainsi pu sonder la zone d'ombre de la ligne précédente (voir lignes de levé fig. 7). Plus l'intensité du signal de retour est fort (pixels blanc) plus la réflectivité du fond ou de l'objet est important, ce qui donne un indice sur la nature du substrat ou de l'objet rencontré.

Les anomalies identifiées conjointement par les hydrographes et les archéologues ont été identifiées (voir Annexe C) grâce à l'analyse de chacune des lignes de levé indépendamment les unes des autres. Les objets ont ainsi pu être détectés sur différentes lignes d'acquisition ce qui permet d'avoir pour la même cible différents "angle de vue". Les hydrographes ont produit une base de données compilant chacune des cibles détectées. Les cibles ont ainsi pu être localisées sur la carte ci-dessous (Fig. 6). On constate que 6 cibles sur les 11 détectées sont présentes dans la zone d'étude.

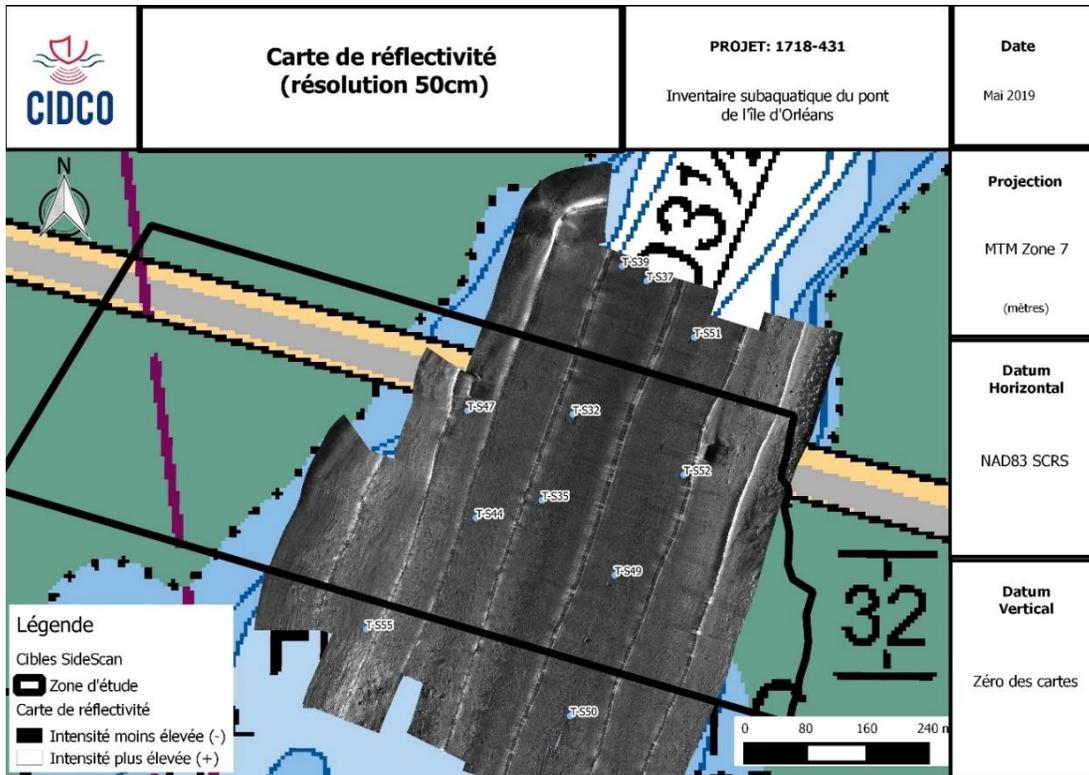


Figure 7. Mosaïque de la réflectivité des fonds marins à une résolution de 50cm.

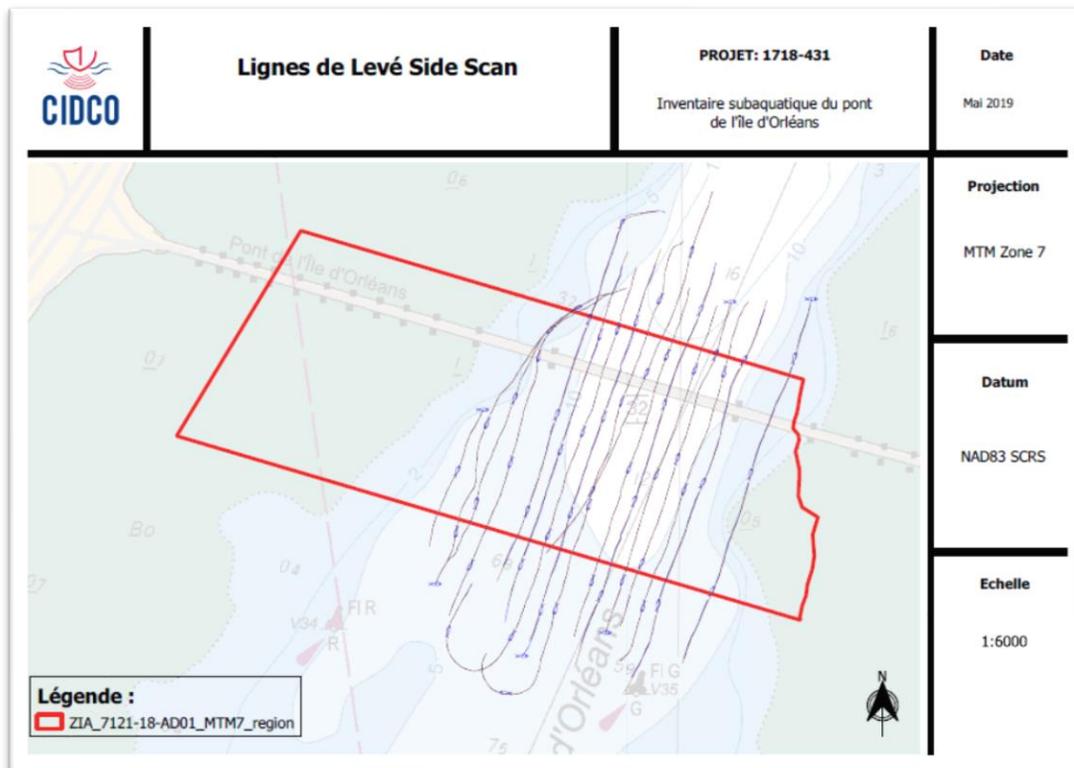


Figure 8. Lignes réalisées au sonar à balayage latéral.

4.1.3. MAGNÉTOMÈTRE MARIN

La couverture du levé magnétométrique, le niveau d'intensité du champ magnétique et la localisation des anomalies est représenté sur la figure 9. Il n'a pas été possible de réaliser les mesures sur les battures car la profondeur n'était pas suffisante pour déployer ce type d'équipement. Le levé a permis de sonder jusqu'à des profondeurs de 2m sous le zéro des cartes. La précision sur le positionnement des cibles est d'une dizaine de mètre près. Des lignes perpendiculaires ont été réalisées sur chaque anomalie afin de confirmer la présence de l'anomalie et afin d'améliorer le positionnement de cette dernière (voir les différentes lignes de levé fig. 11).

On peut noter la présence de plusieurs pics ferromagnétiques dans la zone d'étude grâce aux fortes valeurs de champs magnétique rencontrées (caractérisées par la couleur rouge sur la figure 9). Le fort niveau d'intensité rencontré sous le pont métallique masque la détection potentielle des cibles ferromagnétiques qui pourraient être présentes. Une autre façon de repérer les anomalies est d'analyser le gradient d'intensité (nT/m) (fig.10). Plus les isolignes sont rapprochées plus la variation magnétique locale est forte. On peut ainsi détecter les endroits où il y a une forte variation du champs magnétique local. La figure 9 répertorie les différentes anomalies rencontrées. Le tableau 4 donne la valeur d'intensité de chacune de ces anomalies. Une cible avec une valeur élevée sera en temps normal plus grosse qu'une cible avec un petit rayonnement d'anomalie magnétique (Tableau 4) ou bien elle possédera une densité ferromagnétique plus grande pour un objet de même taille.

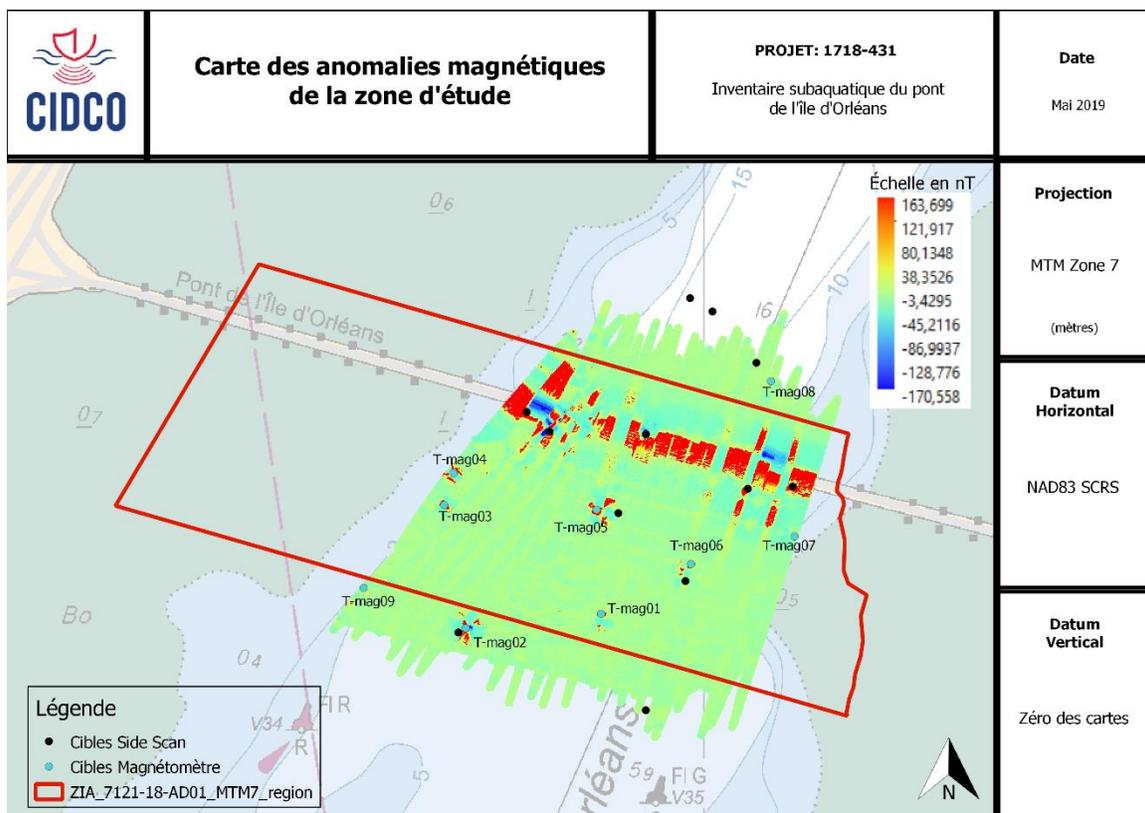


Figure 9. Carte représentant les anomalies magnétiques dans la zone d'étude.

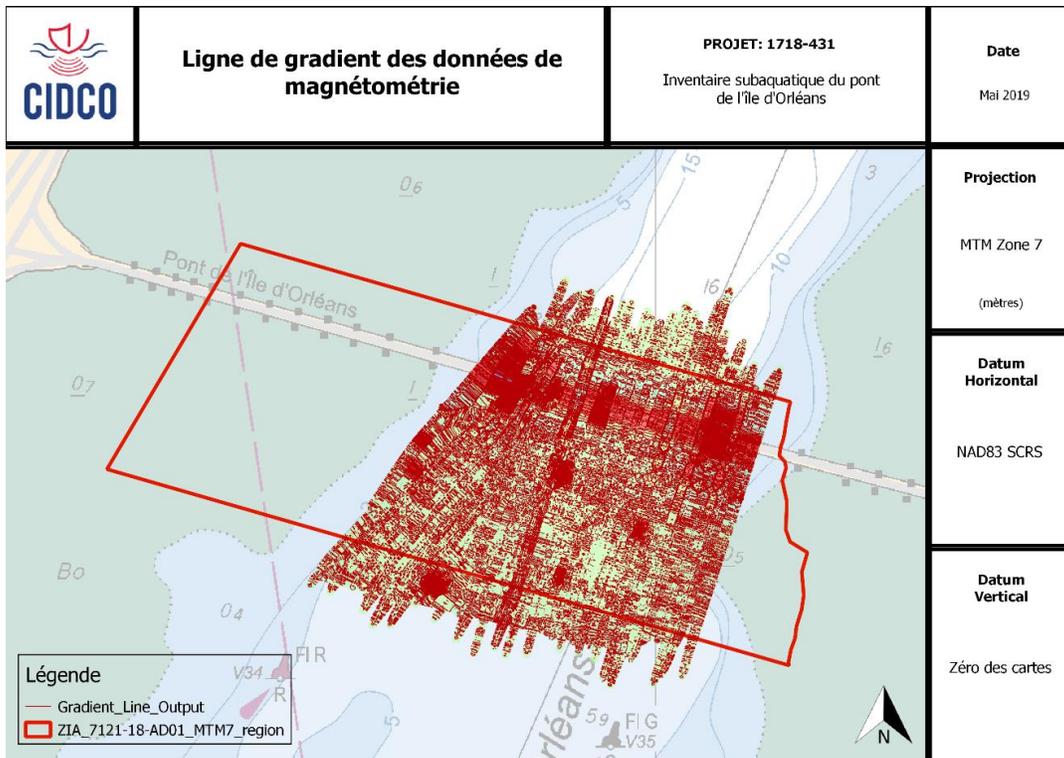


Figure 10. Isolignes magnétiques, gradient magnétométrique (nT/m).

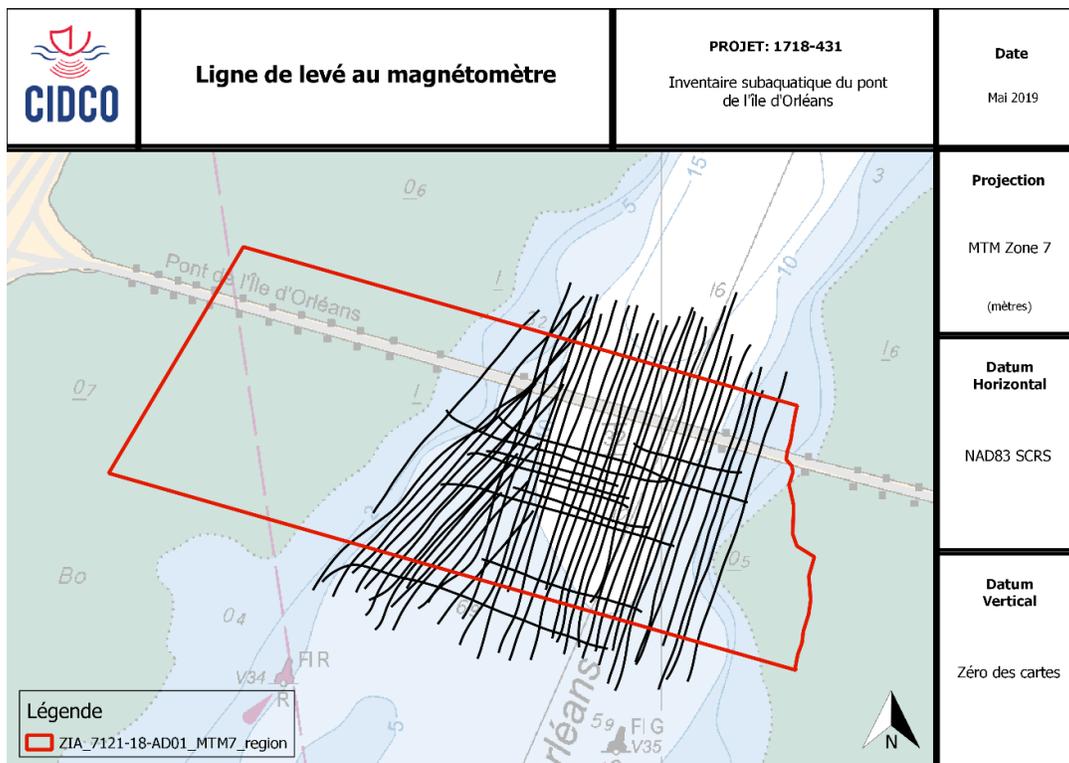


Figure 11. Lignes réalisées au magnétomètre marin.

Tableau 4. Tableau des valeurs maximales de magnétométrie de certaines cibles incluant le positionnement de ces valeurs en coordonnées projetés (MTM7)

Numéro anomalie	Valeur maximale de l'anomalie (en nT)	Easting	Northing
T-mag01	14,83	256380.580	5193266.598
T-mag02	115,47	256183.878	5193246.559
T-mag03	26,81	256160.370	5193423.277
T-mag04	15,53	256161.674	5193472.552
T-mag05	43,28	256378.583	5193415.380
T-mag06	10,96	256495.292	5193326.593
T-mag07	18,09	256656.345	5193379.611
T-mag08*	3,75	256627.147	5193600.108
T-mag09*	3,66	256038.430	5193309.771

*Anomalies de faible intensité ayant été détectées à l'extrémité d'une ligne de levé

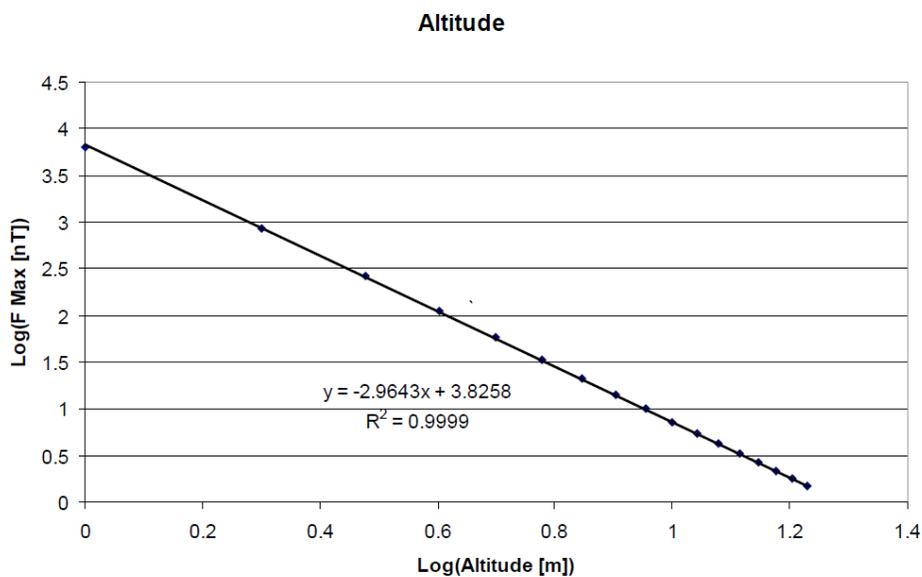


Figure 12. Tracé Logarithmique de la diminution du pic d'anomalie magnétique avec l'altitude croissante pour un objet de forte densité ferrique (Camidge K. et al).

Pour comparer les valeurs d'intensité entre elles, il faut prendre en considération la hauteur du capteur au-dessus du fond. Il existe des courbes de calibration qui permettent de calculer la perte d'intensité en fonction de la distance (fig. 12). La figure 12 nous montre comment le signal de la cible diminue avec l'augmentation de l'altitude du magnétomètre par rapport au fond. Dans ce graphique, on peut voir que plus l'altitude du capteur au-dessus de la cible est importante plus le pic d'anomalie magnétique diminue. Le coefficient de la droite de décroissance du signal en fonction de l'altitude de ce graphique (2.96) correspond à un objet de forte densité ferrique de type canon en fer ou boulet de canon. Ce coefficient peut légèrement changer pour des objets avec des densités ferrique différentes pour des objets de type « vide » (2.93). Il est alors plus difficile d'observer les différentes anomalies magnétiques lorsque le magnétomètre est éloigné du fond.

L'altitude par rapport au fond ne pouvait pas être contrôlé finement car le magnétomètre utilisé ne possédait pas d'altimètre. Il n'a donc pas été possible d'importer les données d'altitudes dans la "toolbox" ArcGIS afin de corriger les données en fonction des variations d'altitudes. La magnétométrie peut être utilisée pour déterminer la densité ferreuse de l'objet mais ne peut donner la dimension de l'objet surtout si celui-ci n'est pas uniquement composée de fer. L'équipement utilisé dans le cadre de cette étude ne permet donc pas d'avoir une estimation précise de la densité ferreuse ou de la dimension de l'objet.

En théorie, il est possible d'estimer la masse ferrique d'une cible ferromagnétique détectée avec le magnétomètre marin en utilisant l'équation de Hall :

$$\Delta M = 10^4 \frac{a w}{b d^3}$$

Avec ΔM correspondant à la valeur de l'anomalie magnétique en nT, a/b étant le ratio entre la longueur et la largeur de la cible, w le poids de la cible en tonnes et d correspondant à l'altitude du capteur au-dessus de la cible en mètres (distance cible-senseur).

En pratique, il est difficile d'appliquer cette équation car plusieurs facteurs de cette équation varient ou ne peuvent être déterminés avec précision. Dans notre cas, l'altitude du magnétomètre au-dessus du fond a varié de façon imprévisible tout au long du levé et la topographie du fond de la zone d'étude était très irrégulière ne permettant pas d'avoir une altitude constante au-dessus du fond. De plus pour le calcul de masse des cibles, il faut intégrer la longueur et la largeur des cibles et nous ne possédions pas ces valeurs.

Dans la plupart des études archéologiques, les levés magnétométriques sont utilisés comme indicateurs de la présence d'objets ferriques et la masse des cibles n'est pas calculée. Les études permettant d'obtenir la masse des cibles se font généralement à l'aide de véhicules sous-marins autonomes permettant d'être au plus proche du fond en contrôlant l'altitude (altitude < 3 mètres) sans risquer de briser l'instrument tracté. De plus, ces levés se font le plus souvent sur des fonds assez uniformes type banc de sable ou plateau continental.

4.1.4. SYNTHÈSE

La figure ci-dessous fait la synthèse des cibles et anomalies détectées à partir des données multifaisceaux, des données sonar latéral et des données magnétiques.

Il faut rappeler qu'il y a une incertitude de ± 3 m sur le positionnement des cibles sonar latéral. Cependant on constate qu'il y a une bonne superposition des données sonar latéral et des données multifaisceaux. Cela permet de confirmer que le positionnement des cibles détectées au sonar



latéral est bien maîtrisé. Les lignes de levé ont été réalisées dans le sens du courant afin d'éviter d'ajouter une incertitude supplémentaire liée au décalage latéral du poisson qui ne peut être pris en compte dans le *layback* à l'acquisition.

Certaines cibles ont été détectées au multifaisceau mais on ne les retrouve pas dans la base de données du sonar latéral. Le point T-M02 par exemple, n'a pas été scanné au sonar latéral car la cible est présente sur la batture et le sonar latéral n'a pas été déployé sur la batture. T-M04 n'a pas été intégré dans la base de données sonar latéral car il a été décrit comme une cible non anthropique. Même constat pour T-M10 et T-M11 (bois).

Les cibles magnétiques ont été positionnées à l'endroit où le signal était le plus fort, ce qui ne veut pas dire que l'on est passé directement au-dessus. La "*cross line*" permet de préciser la position de l'anomalie, cependant les courants latéraux créent une incertitude supplémentaire sur le positionnement du poisson. Les cibles T-mag1, T-mag3, T-mag4, T-mag7 n'ont aucune correspondance avec les cibles sonar latéral ou multifaisceau. Cela signifie fort probablement que l'on a affaire à des objets ferromagnétiques enfouis.

La cible TM-08 est ferreuse. Les données multifaisceau, sonar latéral et magnétométrique concordent parfaitement. Pour TM-06, une distance de 25m sépare les cibles magnétomètres des cibles sonar latéral et multifaisceau. Il se peut que ce soit la même.

T-M09-T-M07 et T-M01 et T-M04 sont des cibles dont il n'est pas possible d'identifier s'ils sont métalliques car le signal est masqué par le pont.

T-S44 est une cible détectée au sonar latéral mais pas au multifaisceau car de trop petite taille. Il n'est pas ferromagnétique non plus.

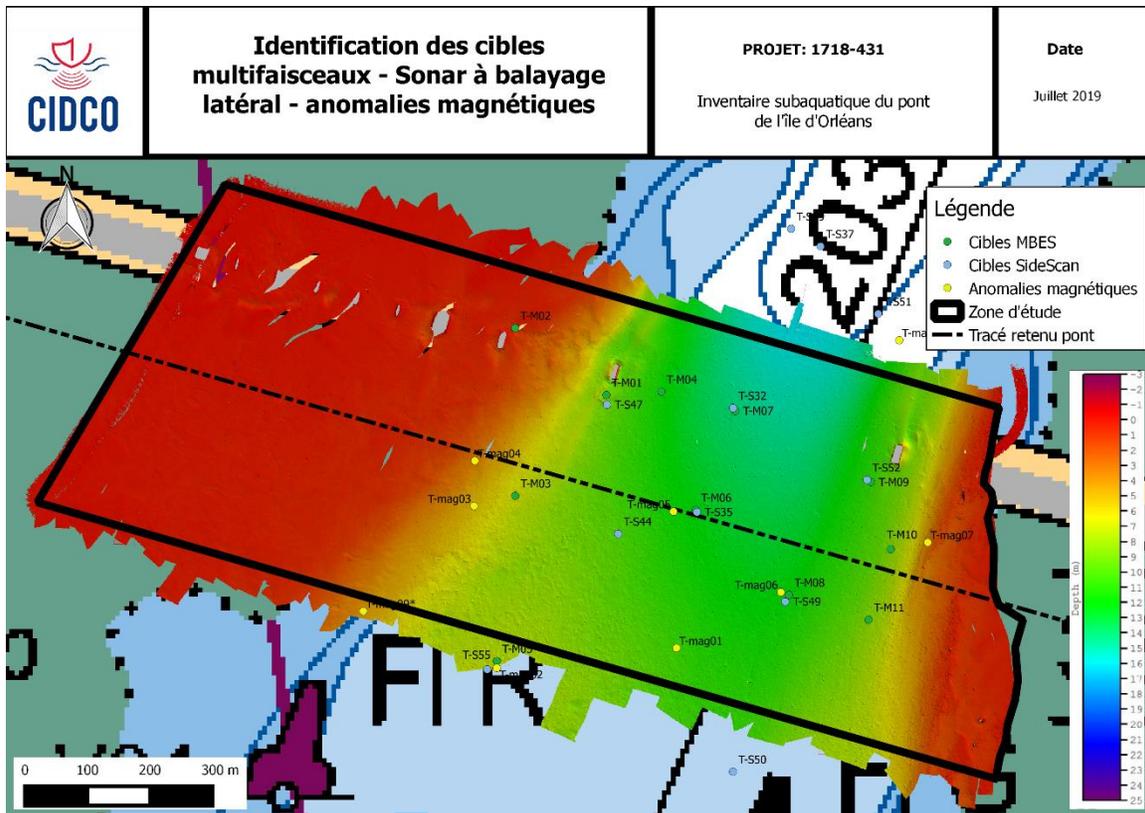


Figure 13. Carte synthèse des artefacts rencontrés autour du pont de l'île d'Orléans.

5. CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en relief l'apport de différentes technologies à des fins d'inventaire subaquatique. Le multifaisceau fournit une position et des mesures précises des anomalies rencontrées; le sonar latéral fournit des images haute-résolution et le magnétomètre informe sur la présence de matière ferromagnétique dans les objets rencontrés ainsi que sur la présence d'objets enfouis ce que les autres équipements ne peuvent faire. Cette étude amène à plusieurs points :

- La mosaïque sonar latéral fournit peu d'information pertinente dans le cadre de cet inventaire subaquatique car nous perdons la haute résolution des objets rencontrés. L'analyse par ligne est mise en avant dans cette étude;
- La présence de sources métalliques comme le pont nuit à la détection d'objet par magnétomètre;
- Le positionnement ainsi que la qualité des données lors d'une acquisition par système tracté (magnétomètre et sonar latéral) est fortement dépendant de l'environnement de travail (courant et état de mer) et des composantes interne au capteur (présence d'un capteur de pression ou non, altimètre, compas magnétique/gyrocompas ou cap estimé à partir de la position du poisson);
- Le multifaisceau est l'outil le plus versatile permettant de concilier capacité de détection, positionnement précis des objets et précision sur la mesure.

- L'analyse de la réflectivité des fonds acquis par les nouveaux sondeurs multifaisceaux pourrait être une composante intéressante pour renseigner sur la composition des anomalies rencontrées si ces dernières sont d'un ordre de grandeur du mètre minimalement. On constate que les systèmes de type 2026 de chez R2Sonic peuvent apporter une information supplémentaire. Il est beaucoup moins vrai pour les anciens systèmes de type 7125 (RESON). Cependant, la qualité et la résolution des données de réflectivité acquis par multifaisceau est inférieure à ce que peut fournir les sonars latéraux car le capteur reste en surface contrairement aux sonars latéraux plongés à 10m du fond. Cependant, l'incertitude sur le positionnement influencée par des conditions environnementales difficiles amène à la création d'une mosaïque sonar latéral qui n'amène pas beaucoup plus d'information qu'une mosaïque de réflectivité acquis par multifaisceau. L'analyse sonar latéral ligne par ligne reste le meilleur outil pour détecter les objets les plus petits. Les sonars interférométriques peuvent devenir des alternatives intéressantes en petit fonds (sonar latéral + multifaisceau en un seul capteur).

Principe

La figure 3 présente la géométrie classique d'émission et de réception acoustique d'un sondeur multifaisceau. Une onde acoustique est émise sur une bande large, perpendiculaire au bateau, et étroite dans l'axe longitudinal du bateau. L'«écoute» est opérée par chacun des faisceaux formés sur toute la bande d'insonification.

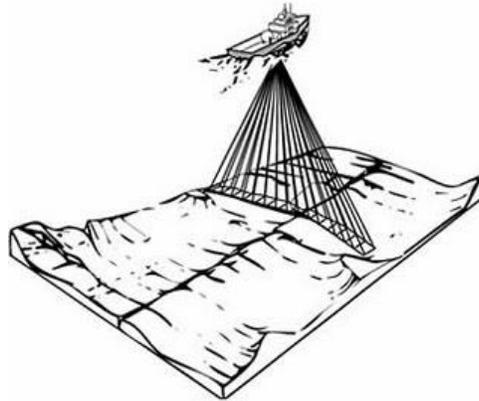


Figure 14. Schéma d'insonification d'un sondeur multifaisceau

La bathymétrie multifaisceau consiste à mesurer précisément, pour chacun des faisceaux ayant un angle connu (α), le temps (t) nécessaire à l'onde acoustique pour se propager jusqu'au fond et revenir au sonar. Cette mesure du temps est convertie en distance en connaissant précisément le profil de célérité du son dans la colonne d'eau. À cet effet, de fréquents profils de célérité du son dans la colonne d'eau sont collectés durant le levé. À l'aide du couple (t , α) et du profil de célérité, les sondes bathymétriques sont positionnées dans le système de référence du sondeur. Le système de positionnement et de navigation inertielle mesure la position et les mouvements du bateau et donc du sondeur. Il permet ainsi de référencer les sondes bathymétriques dans un référentiel géodésique local. La mesure du niveau d'eau à proximité de la zone de levé (à l'aide d'un marégraphe) ou bien la mesure du niveau d'eau par le système de position GNSS du navire permet finalement de référencer les sondes bathymétriques par rapport à un référentiel vertical donné (hauteur ellipsoïdale, niveau moyen des mers ou zéro des cartes). L'ensemble de ces mesures est effectué plusieurs fois par seconde alors que le bateau de sondage se déplace, permettant ainsi d'obtenir un nuage de points géoréférencés et correspondant à la topographie du fond marin.

Calibration Statique

La première étape, aussi appelée alignement statique, consiste à mesurer les bras de levier entre les différents capteurs fixés sur le bateau de sondage. Cette calibration a été réalisée à l'aide d'une station totale afin de mesurer la distance, dans les trois axes, entre les différentes composantes du système et un point de référence. Le centre de la centrale d'attitude (IMU) a été déterminé comme le point de référence (Ref) de ces mesures (tableau 3).

Tableau 5. Bras de levier mesurés à l'issue de l'alignement statique Convention NWU¹.

Bras de levier	X (m)	Y (m)	Z (m)	Notes
Ref to IMU	0.000	0.000	0.000	
IMU to GPS	0.264	1.045	1.913	Centre de phase de l'antenne GPS
Ref to CoG	1.005	-0.012	-0.644	Le centre de gravité du navire est situé au niveau de la ligne d'eau
Ref to acoustic center	0.539	-0.006	-1.518	Centre acoustique moyen du sondeur

Calibration Dynamique

La seconde étape de calibration terrain consiste à mesurer les angles résiduels de l'échosondeur multifaisceau en roulis, en tangage et en lacet par rapport à la centrale d'attitude. Cette étape connue sous le nom de *patch tests* consiste en l'exécution de lignes de levés dans des directions différentes et sur un fond comportant des caractéristiques bathymétriques précises (pente, surface plane, bosse).

Les *patch tests* ont été faits à Rimouski avant la mobilisation au terrain. Le test de roulis a permis de déterminer le biais angulaire vers bâbord ou vers tribord de l'échosondeur multifaisceau par rapport à la centrale d'attitude. L'angle résiduel en roulis a été mesuré en effectuant une paire de lignes réciproques sur un fond plat, à une vitesse normale de levé. Afin de déterminer le biais angulaire vers l'avant ou vers l'arrière de l'échosondeur multifaisceau, un test de tangage a été fait. Ce test a été effectué en exécutant une paire de lignes réciproques perpendiculairement à une bosse à une vitesse normale de levé. Le test de lacet a permis de mesurer l'angle résiduel entre l'orientation de l'échosondeur multifaisceau et la centrale d'attitude. Ce test a été effectué en exécutant deux lignes parallèles dans la même direction de part et d'autre d'une bosse. L'objectif était de superposer les faisceaux externes tribord d'une ligne de levé avec les faisceaux externe bâbord de la deuxième ligne de levé sur la bosse en question. Deux paires de lignes pour chacun des tests ont été faites. Le tableau 4 présente les résultats des *patch tests*.

Tableau 6. Biais angulaire mesurés à l'issue du *patch test* du sondeur multifaisceau monté sur le F.-J. Saucier

	Roulis (°)	Tang. (°)	Lacet (°)	Notes
Angles résiduels	-0.10	0.80	0.05	Convention de signe Caris END

¹ Définition du cadre de référence : l'origine du repère (Xref, Yref, Zref) est confondue avec le centre de l'IMU. Les axes Xref et Yref forment un plan horizontal. L'axe Xref pointe vers la proue. L'axe Yref est perpendiculaire à l'axe Xref et pointe vers bâbord. Zref est perpendiculaire au plan Xref, Yref et pointe vers le haut. Le lacet est positif dans le sens horaire. Le tangage est positif la proue vers le haut. Le roulis est positif côté tribord vers le bas.

Calibration Verticale

La dernière étape a pour objectif d'évaluer l'exactitude des données acquises avec le système complet et de valider la chaîne de mesure permettant d'obtenir la donnée de profondeur.

La calibration verticale a été effectuée par le biais d'une surface de référence fournie par le Service Hydrographique du Canada (SHC). Cette surface est située face au quai de Pointe-au-Père. Les résultats valident la chaîne de traitement et le montage du bateau. Une différence moyenne de +5 cm avec la surface de référence a été obtenue avec les données acquises avec le système du CIDCO (figure 4).

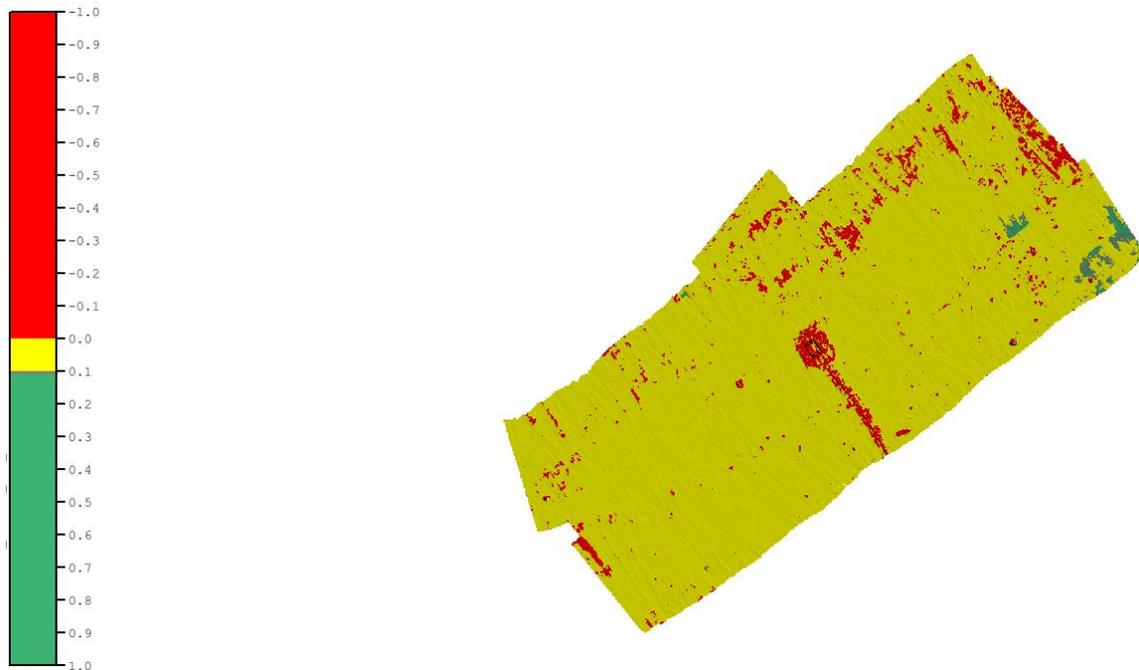


Figure 15: Résultat de la calibration verticale entre les données du CIDCO et la surface de référence du SHC

Un rapport de contrôle qualité a également été fait en utilisant la surface de référence du SHC. Ce contrôle de la qualité des données permet de démontrer la distribution des points mesurés avec le système du CIDCO pour chacun des faisceaux à $\pm 2\sigma$ par rapport à la surface de référence. Le rapport de contrôle de la qualité montre que l'ensemble des points respecte l'ordre exclusif tel que défini par l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI), au sens de la norme S-44 et de son interprétation par le SHC (figure 5).

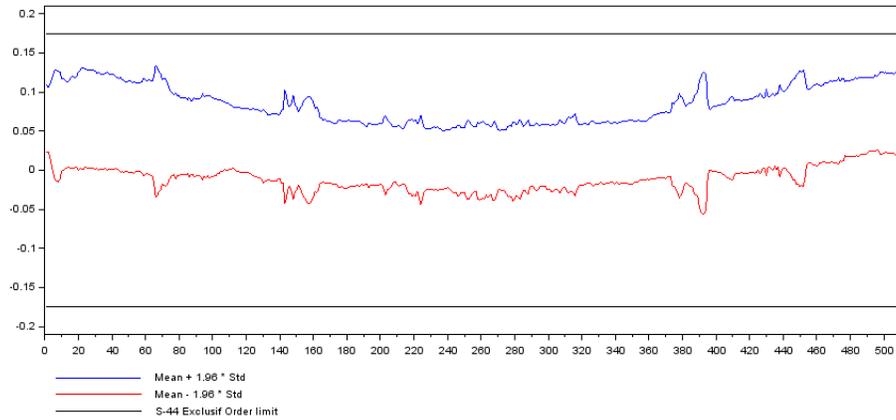


Figure 16. Rapport de contrôle de la qualité des données selon l'ordre de levé exclusif de l'IHO entre la surface de référence du Service hydrographique du Canada et les données acquises avec le système du CIDCO

7. ANNEXE B - CIBLES MULTIFAISCEAU

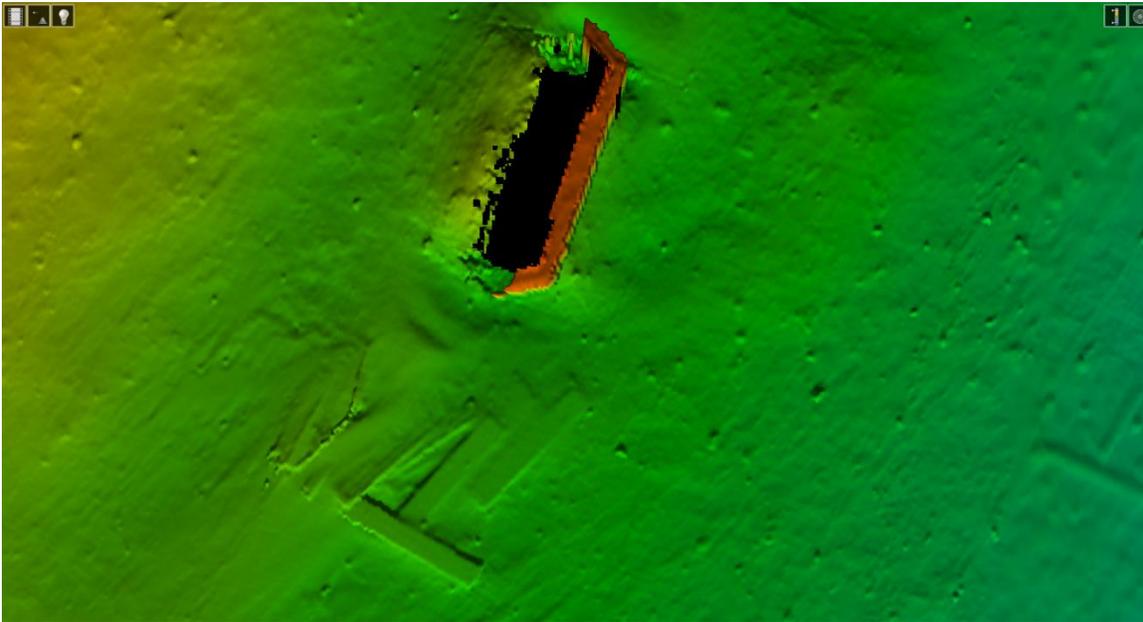


Figure 17. T-M01

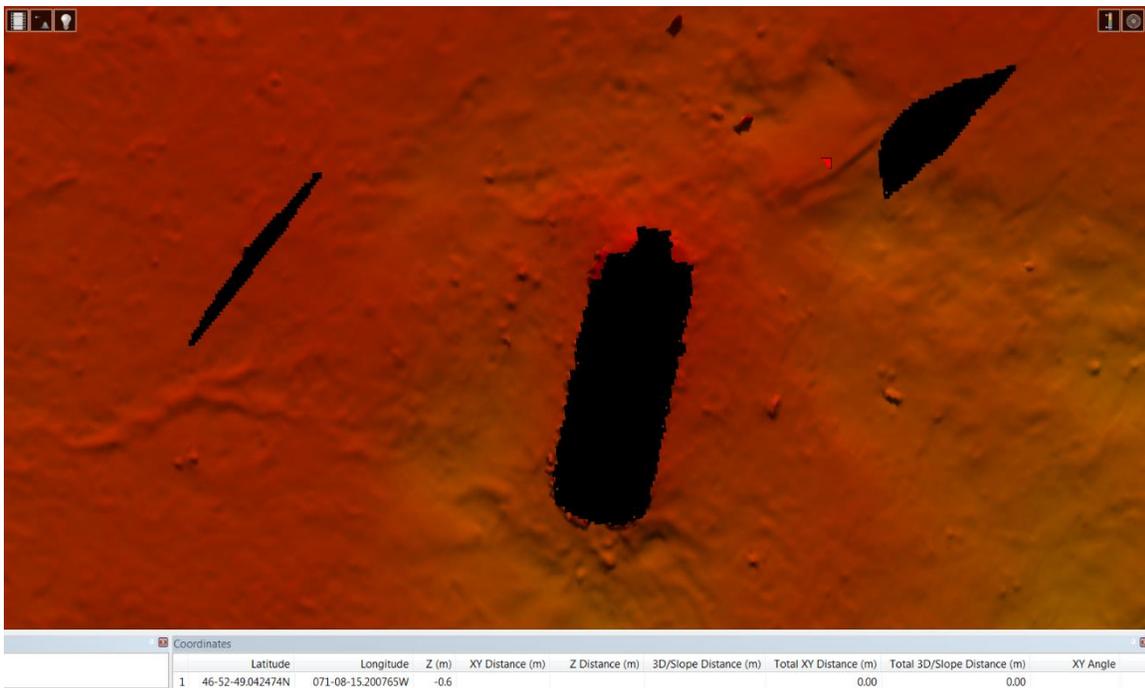


Figure 18. T-M02



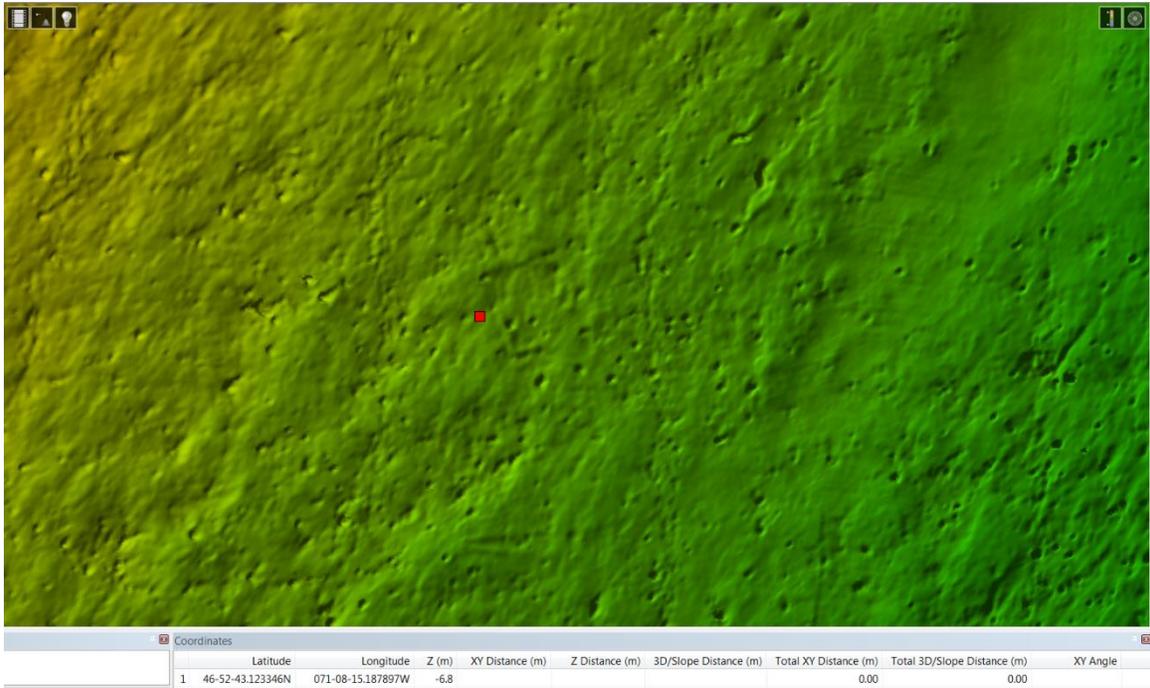


Figure 19. T-M03

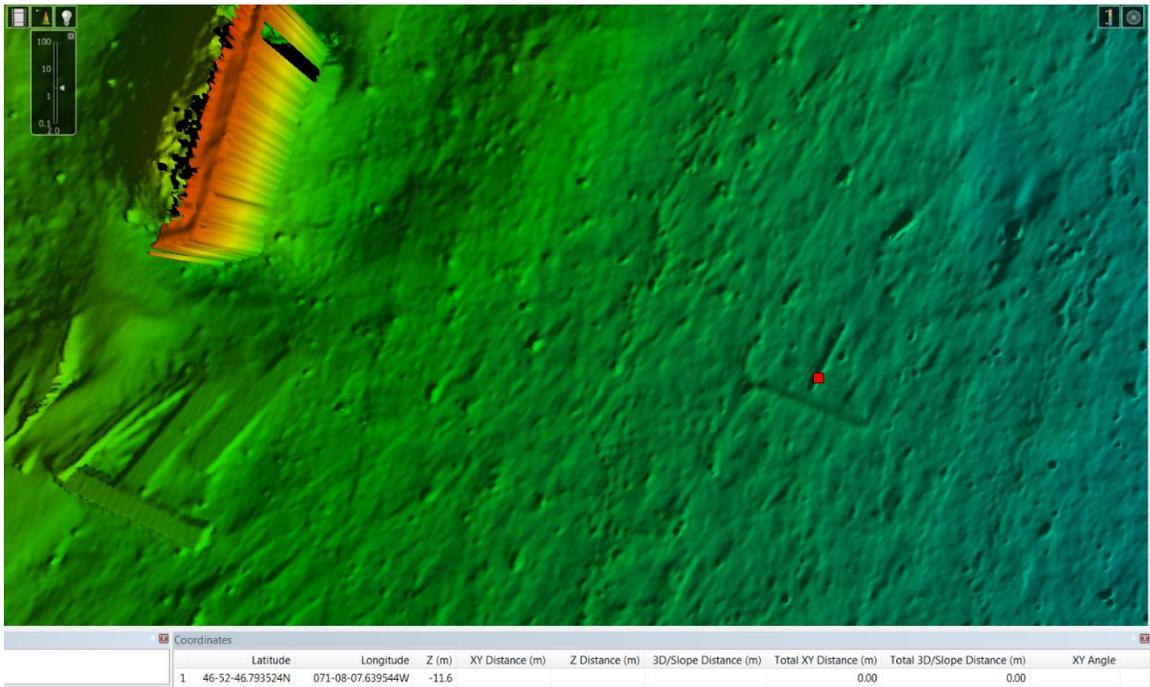


Figure 20. T-M04

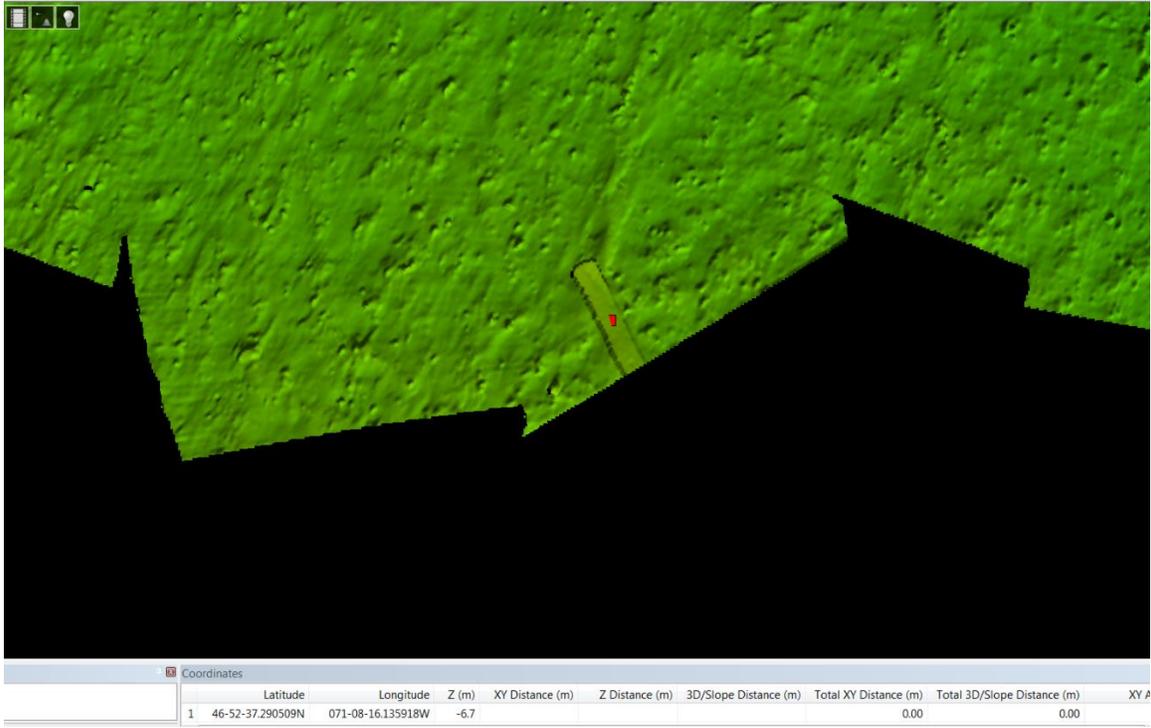


Figure 21.T-M05

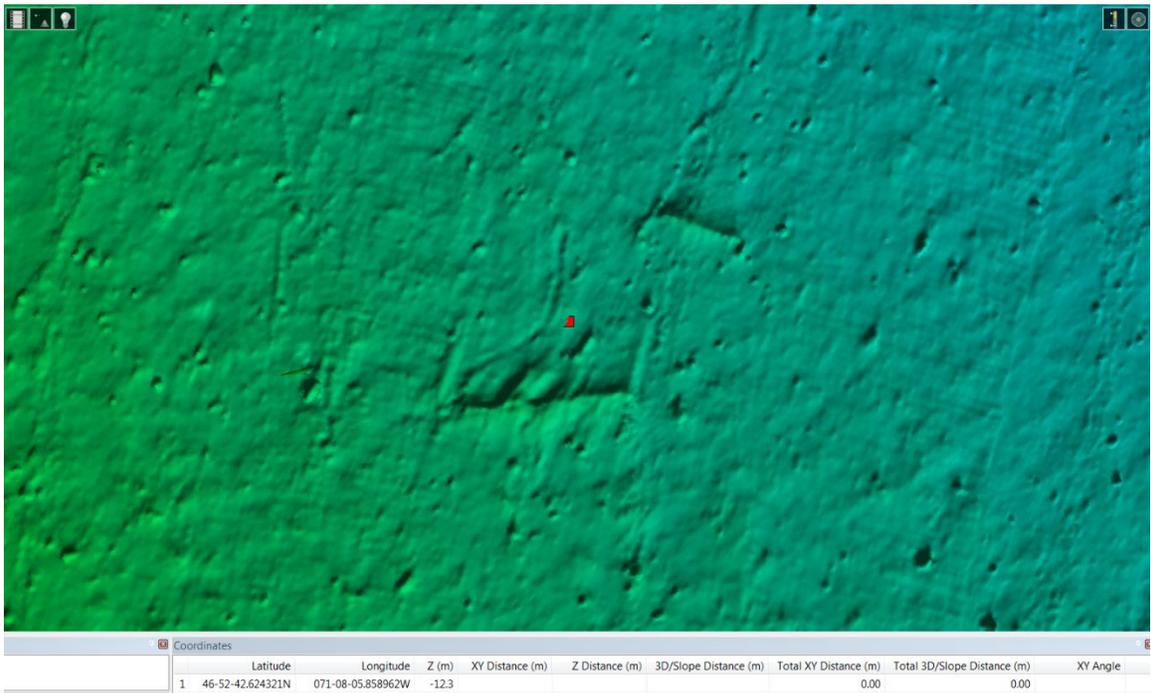


Figure 22. T-M06



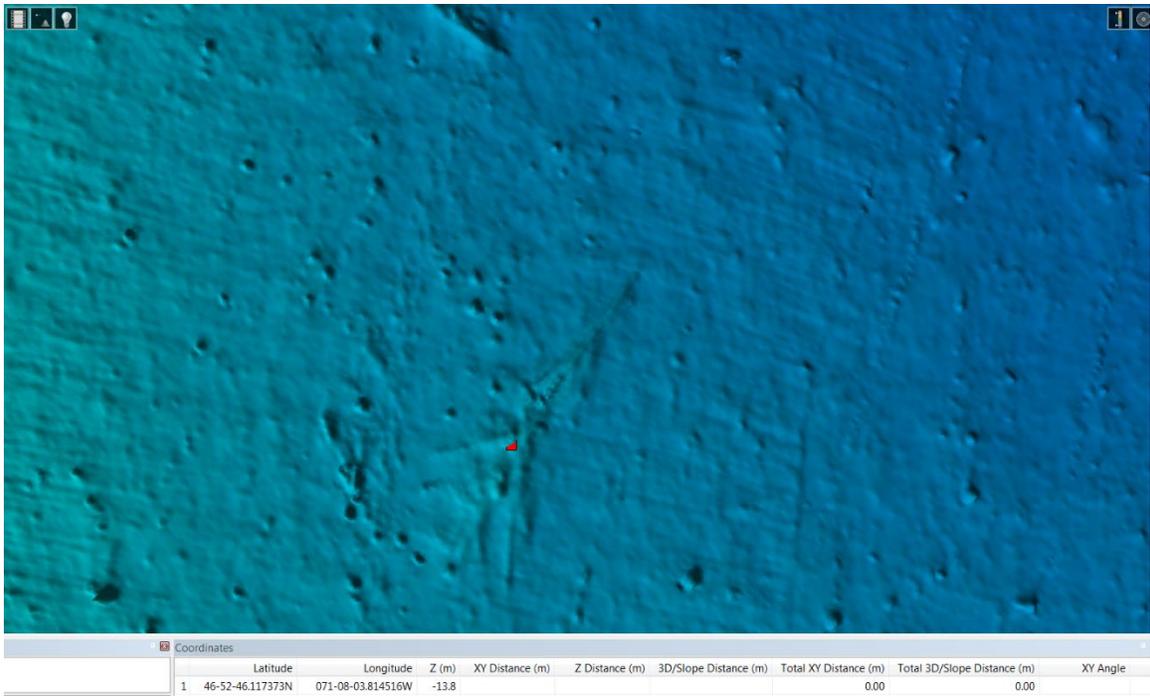


Figure 23. T-M07

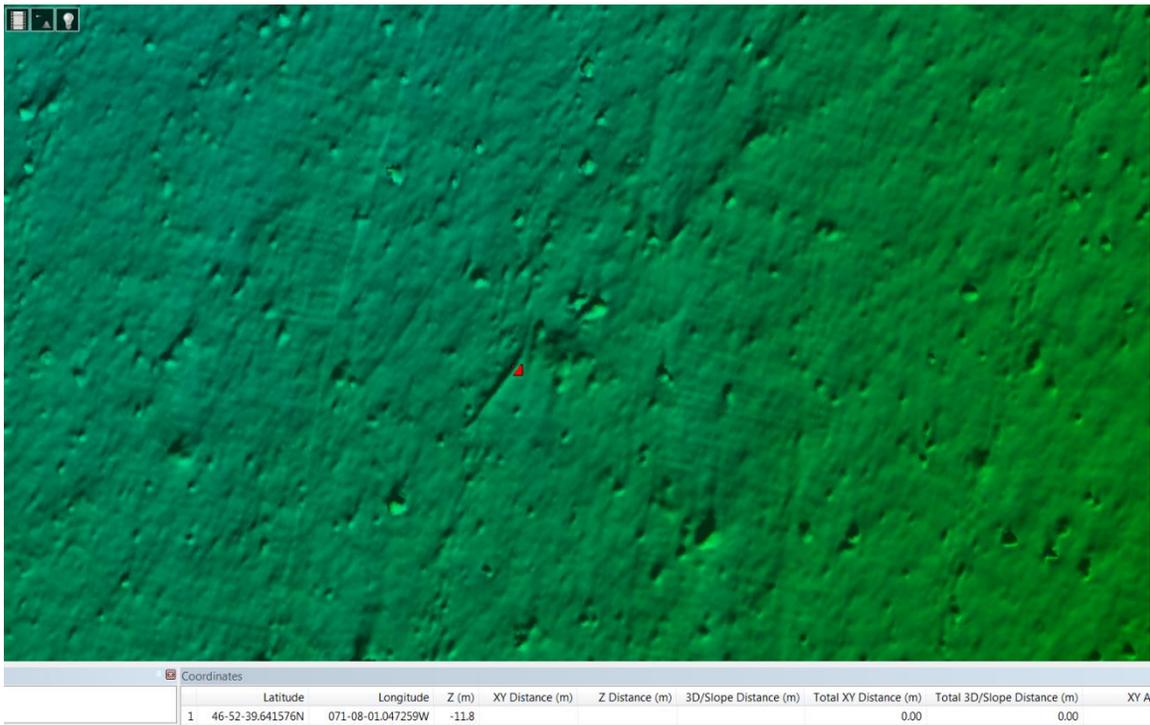


Figure 24. T-M08

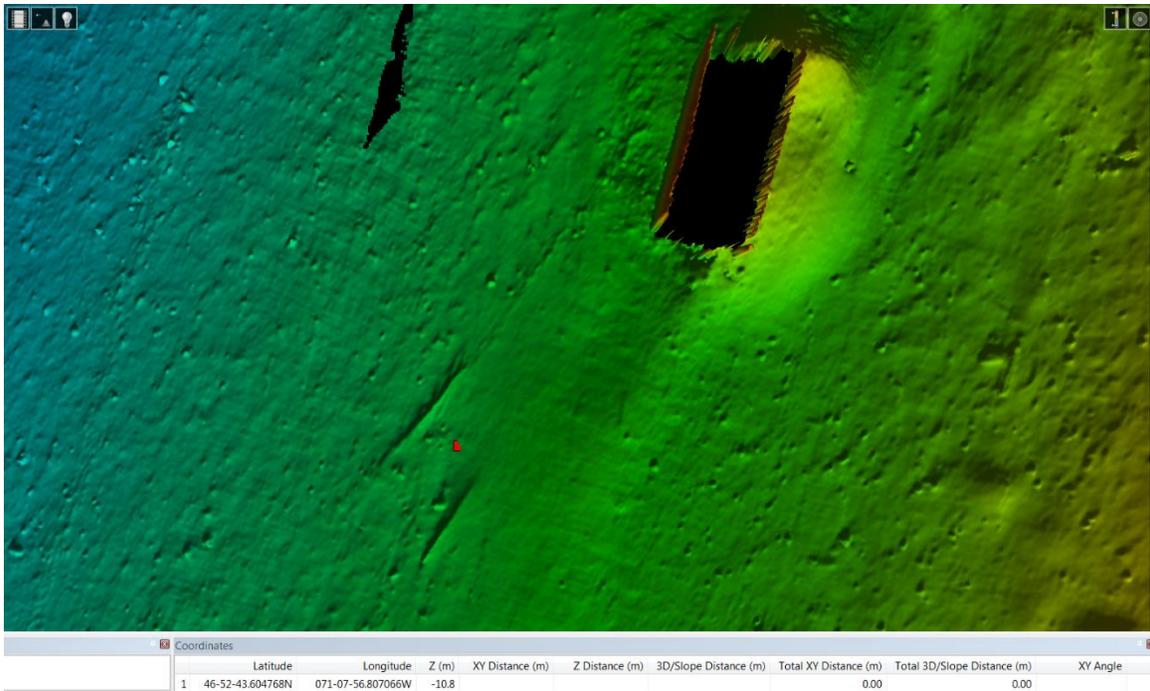


Figure 25. T-M09

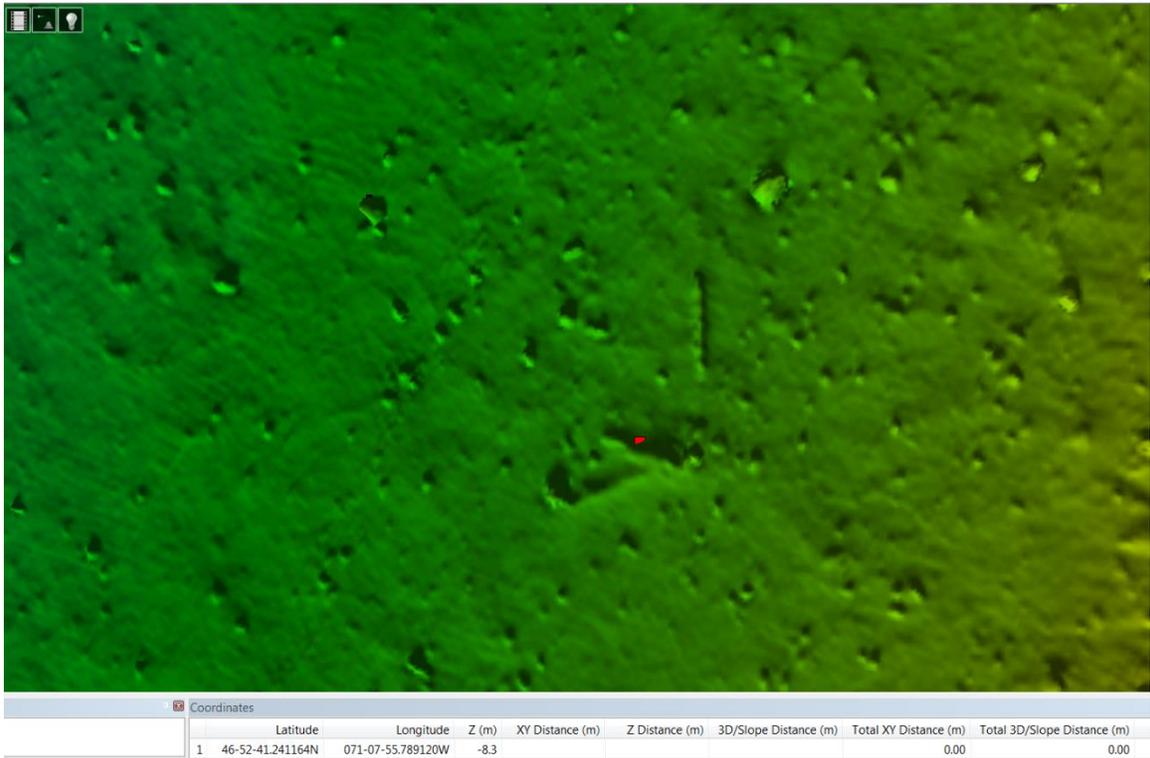


Figure 26T-M10



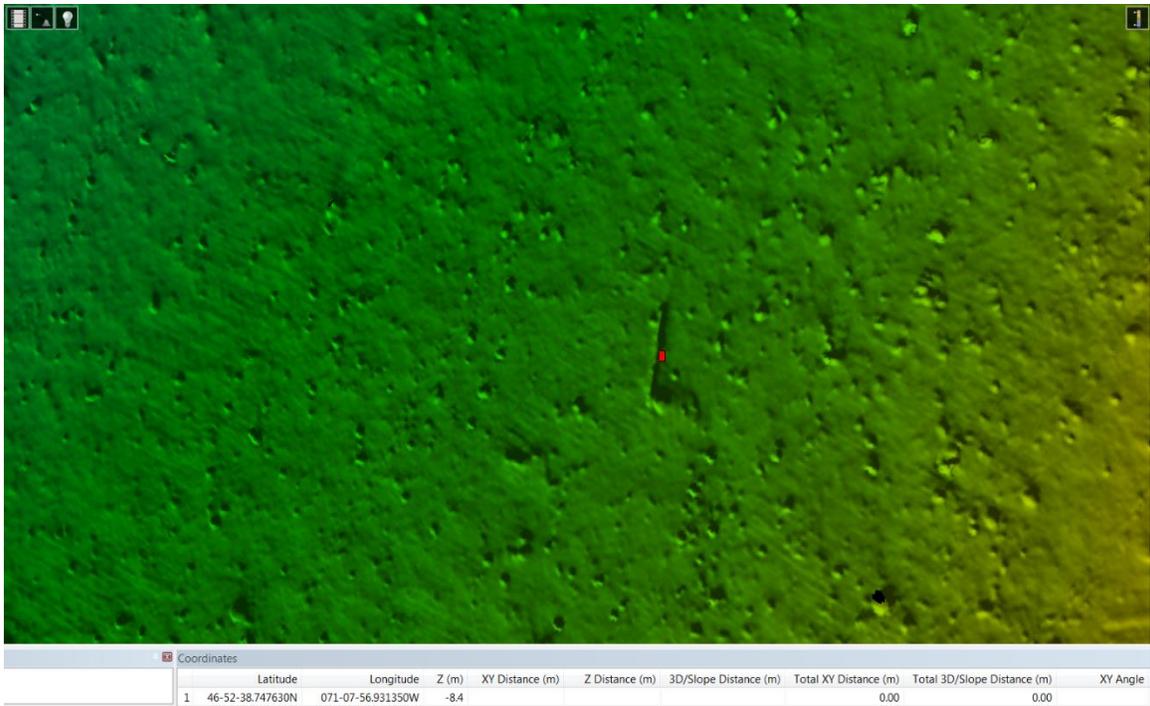


Figure 27.T-M11

8. ANNEXE C- CIBLES SIDE SCAN

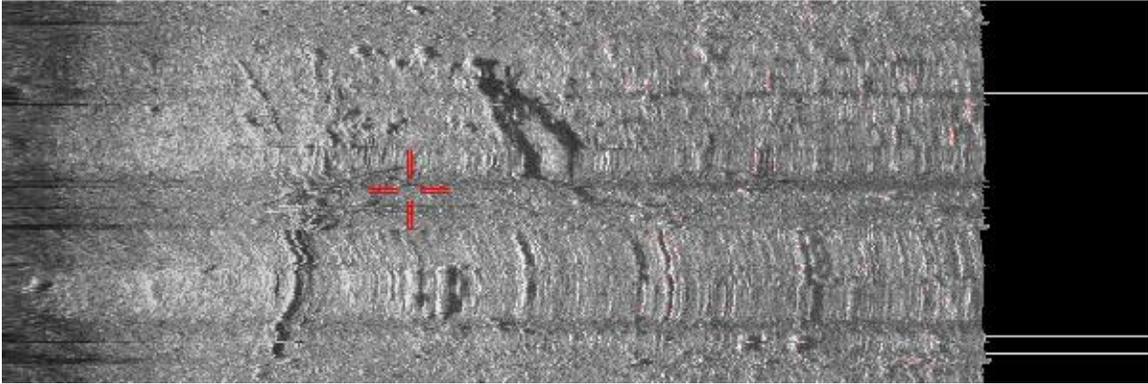


Figure 28. T-S32

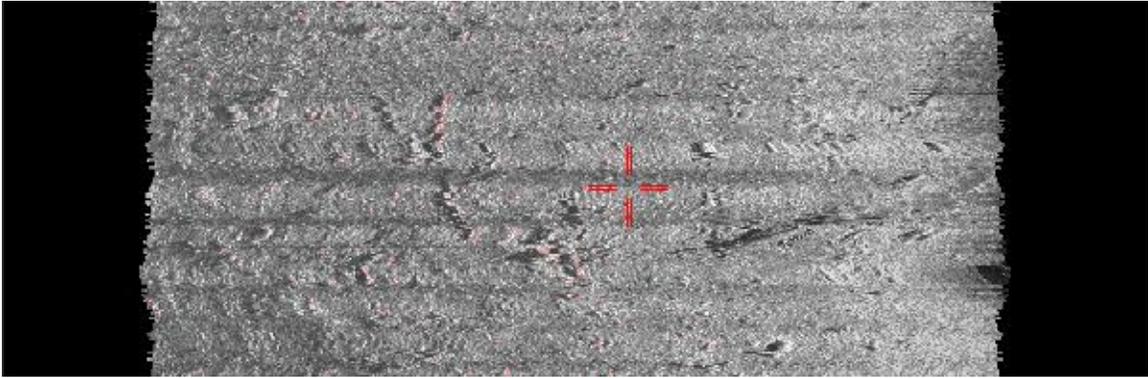


Figure 29. T-S35

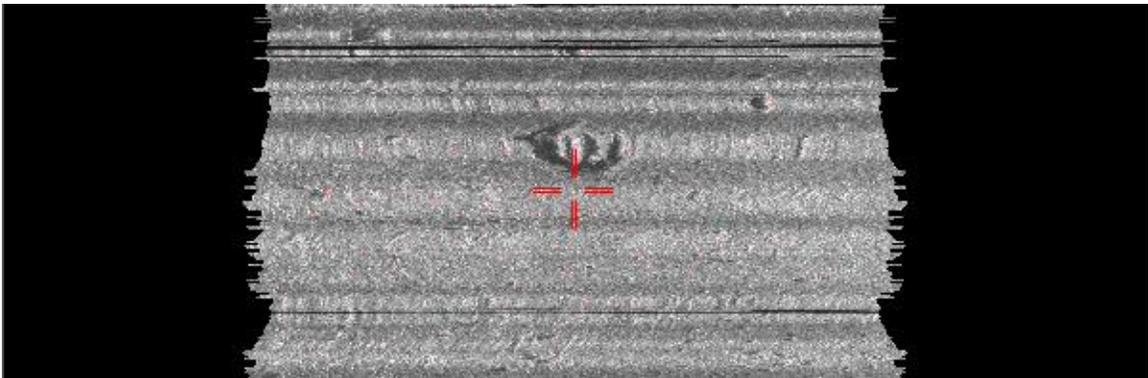


Figure 30. T-S37

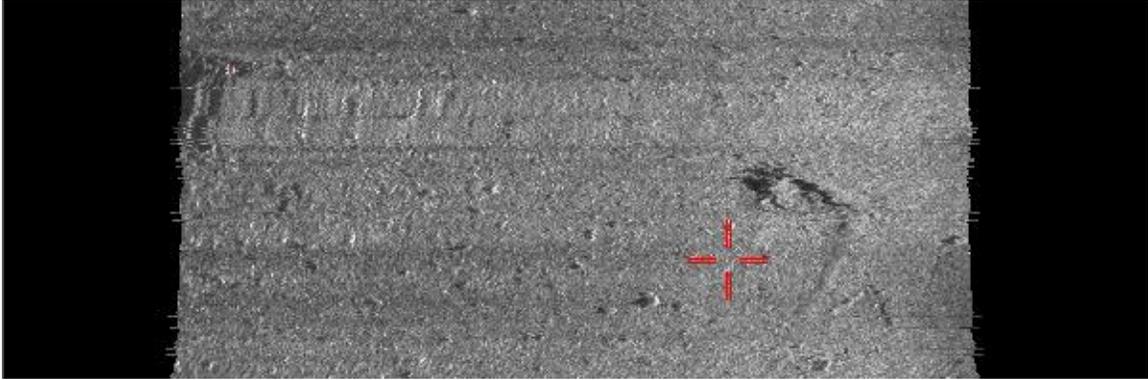


Figure 31. T-S39

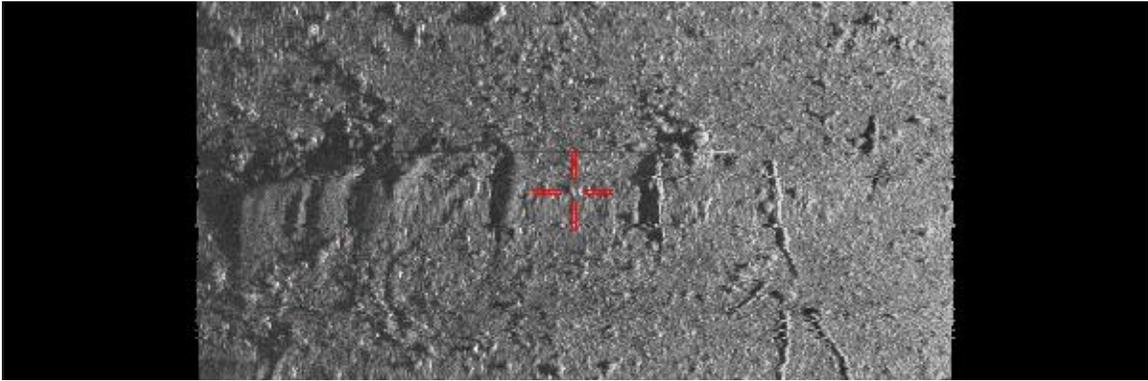


Figure 32. T-S44

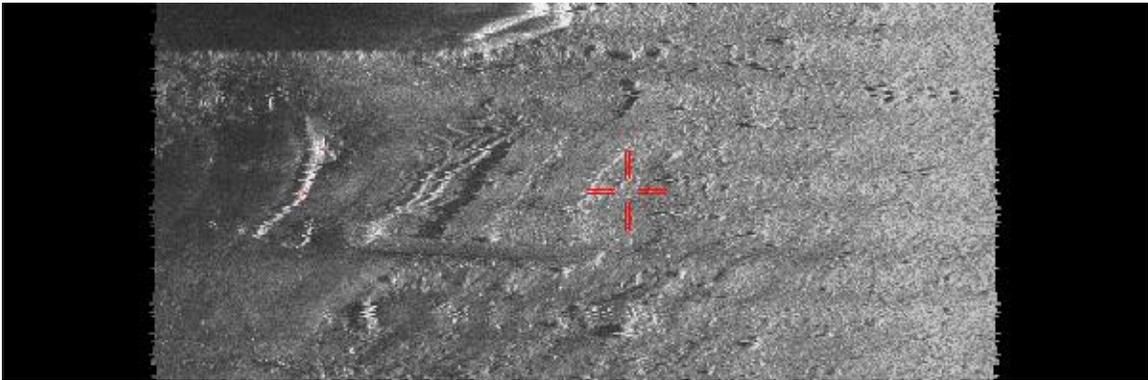


Figure 33. TS-47

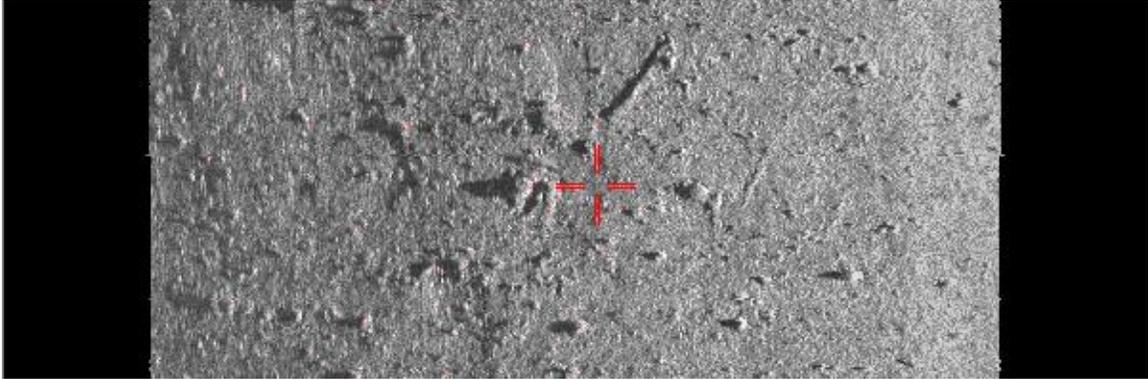


Figure 34. T-S49



Figure 35. T-S50

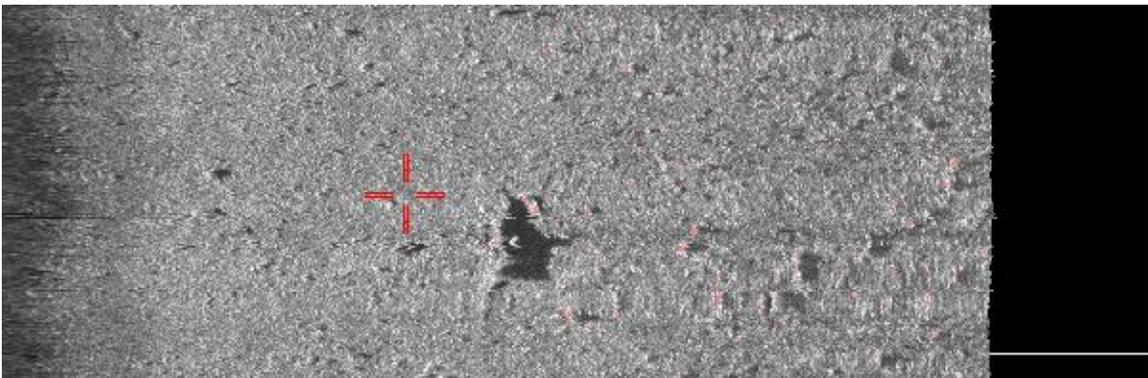


Figure 36. T-S51

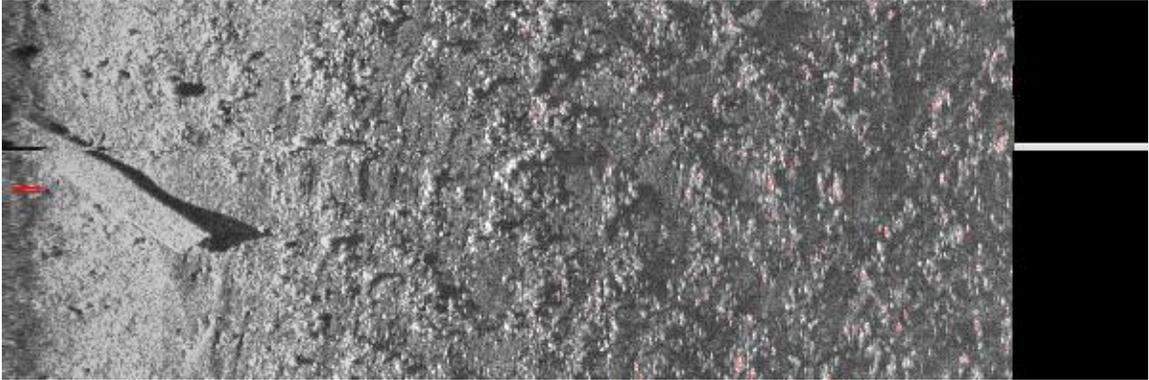


Figure 37. T-S55



CIDCO

Centre interdisciplinaire de développement
en cartographie des océans

Interdisciplinary Centre for the Development
of Ocean Mapping

