

## **Banc de test AxSub-CRÉ**

Rapport final Version 1

### **Client / partenaire**

Axsub

Référence : 1213-405

### **Date**

Février 2014



## TABLE DES MATIÈRES

<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>2</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>3</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>2. MATÉRIEL ET MÉTHODE</b> .....	<b>4</b>
2.1. OBJECTIF MARKETING.....	4
2.2. OBJECTIF CONTRÔLE-QUALITÉ .....	4
2.2.1. <i>Simulateur</i> .....	4
2.2.2. <i>Acquisition</i> .....	5
2.2.3. <i>Traitement</i> .....	6
2.2.4. <i>Analyse</i> .....	6
<b>3. RÉSULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>7</b>
3.1. OBJECTIF MARKETING.....	7
3.2. OBJECTIF CONTRÔLE-QUALITÉ .....	8
<b>4. CONCLUSION</b> .....	<b>9</b>
<b>RÉFÉRENCES</b> .....	<b>9</b>
<b>ANNEXE A : RAPPORT D'INSPECTION D'AXSUB</b> .....	<b>10</b>
<b>SECTION 1- GÉNÉRALITÉS</b> .....	<b>14</b>
CONTEXTE DE RÉALISATION DES TRAVAUX.....	14
PORTÉE DU MANDAT .....	14
ÉQUIPE ET SPÉCIALISATION .....	15
ÉQUIPEMENT UTILISÉ .....	15
MÉTHODOLOGIE D'INSPECTION.....	16
IDENTIFICATION DU SITE .....	16
CONDITIONS MÉTÉO ET PARAMÈTRES DE PLONGÉE .....	17



<b>SECTION 2- RÉSULTATS</b> .....	<b>17</b>
VERTICALITÉS ET PROFIL DE SÉDIMENTS .....	18
<b>SECTION 3- RECOMMANDATIONS</b> .....	<b>20</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Spécifications du sonar multifaisceaux 7125 SV (source : RESON) .....	5
Tableau 2 : Caractéristiques de la centrale d'attitude et de positionnement POS MV 320 (source : Applanix).....	6

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Bec-Scie .....	5
Figure 2 : Comparaison entre le levé sonar et les observations des plongeurs. ....	8
Figure 3 : Performances du système intégré lidar-sonar. ....	9

## 1. INTRODUCTION

Dans l'optique de créer un pôle d'expertise en infrastructures portuaires, le CIDCO a réalisé à l'été 2012 un projet en partenariat avec l'entreprise de plongée professionnelle AxSub. Le projet a été élaboré pour répondre à deux objectifs précis :

1. *Marketing* : Mettre en évidence la pertinence de réaliser un levé sonar-lidar comme premier outil diagnostic en inspection d'infrastructures portuaires
2. *Contrôle-qualité* : Estimer les performances du jeu de données sonar-lidar

Le présent rapport rend compte du déroulement du projet, des résultats obtenus et des prochains travaux à réaliser.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

### 2.1. OBJECTIF MARKETING

Cette partie du projet devait montrer qu'il y a un gain à réaliser un levé sonar-lidar comme premier outil diagnostic afin d'orienter les plongeurs ou un appareil haute résolution sur les zones d'intérêt. Voici la méthodologie qui était proposée :

1. Réaliser une inspection classique par des plongeurs d'expérience sans connaissance *a priori* des zones d'intérêts (AxSub). La partie sud sera inspectée en priorité puisque c'est elle qui présente le plus d'anomalies, suivie des parties est et ouest.
2. Réaliser un levé classique au sonar multifaisceau (CIDCO). Le quai sera levé en totalité.
3. Analyser le jeu de données sonar et identifier les zones qui devraient être inspectées avec plus de précision/résolution (CIDCO/AxSub).
4. Diriger les plongeurs (AxSub) et installer le BV-5000 (Innovation Maritime) sur les zones identifiées en 3.
5. Combiner les observations faites en 2 et en 4 pour produire un rapport d'inspection complet (AxSub/CIDCO/Innovation Maritime).
6. Comparer les rapports produits en 1 et en 5 et conclure sur l'intérêt du levé au multifaisceau comme premier outil diagnostic (CIDCO/AxSub).

Les étapes 1 et 2 de cet objectif ont été réalisées. L'étape 3 a été partiellement complétée. La disponibilité des plongeurs de AxSub (pour la deuxième inspection dirigée et pour la manipulation du BV-5000) est la contrainte majeure à la réalisation de cet objectif.

### 2.2. OBJECTIF CONTRÔLE-QUALITÉ

L'objectif à long terme de cette partie du projet était de valider les performances (densité, résolution, incertitude, exactitude) théoriques des systèmes sonar et lidar individuellement et intégrés. Comme le lidar n'était pas disponible pour ces premiers tests, les efforts ont d'abord été concentrés sur le sonar.

#### 2.2.1. SIMULATEUR

Pour le sonar multifaisceau RESON Seabat 7125 SV, un simulateur permettant de prédire la densité, le recouvrement et la résolution en fonction des conditions et des paramètres d'acquisition a été programmé en Matlab par le CIDCO. C'est la validation de ces paramètres



ainsi que la mesure de l'incertitude et de l'exactitude, toutes deux difficiles à simuler, qui étaient visées par le projet.

### 2.2.2. ACQUISITION

L'acquisition du jeu de données sonar a été fait le 2 août 2012. Le levé a été réalisé selon plusieurs scénarios de paramètres d'acquisition différents (voir [Annexe A](#)). Les portions est, sud et ouest du quai de Rimouski ont été scannées.

La vedette hydrographique du CIDCO, le « Bec-Scie » (voir Figure 1), a été utilisée lors de la campagne de levé. Sa longueur, largeur et tirant-d'eau sont respectivement de 10.3, 2.8 et 0.8 m.



Figure 1 : Bec-Scie

Les données sonar ont été acquises à l'aide du sonar multifaisceaux 7125 SV de la compagnie RESON dont les principales caractéristiques sont données dans le Tableau 1. Il est à noter que le sonar était incliné à 30°.

Tableau 1 : Spécifications du sonar multifaisceaux 7125 SV (source : RESON)



Fréquences du sonar	200 kHz ou 400 kHz
Nombre de faisceaux	256 à 200kHz 256 ou 512 à 400 kHz
Ouverture transversale (par faisceau)	1,1°(± 0,05°) à 200kHz 0.5°(± 0.03°) à 400 kHz
Ouverture longitudinale (par faisceau)	2,2° (± 0,5°) à 200kHz 1° (± 0.2°) à 400 kHz
Ouverture angulaire max	140°
Profondeur maximale théorique	450 m à 200 kHz 175 m à 400 kHz

Les données d'attitude et de positionnement ont été acquises à l'aide du système intégré POS MV 320 d'Applanix dont les principales caractéristiques sont données au Tableau 2.

Il est à noter que la précision sur le positionnement dépend du mode de correction appliqué. Dans le cadre de ce projet, les données de position ont été corrigées par post-traitement cinématique (PPK) en référence à une station de base GPS Z-MAX. Cette méthode garantit une précision suffisante pour mesurer les biais verticaux dus à la marée et au changement de charge de l'embarcation.

Tableau 2 : Caractéristiques de la centrale d'attitude et de positionnement POS MV 320 (source : Applanix)



Mode d'acquisition	PPK - DGPS - WAAS
Précision de la position horizontale	0.02 m - 0,5 m – 2 m
Précision de la position verticale	0.3 cm
Précision du roulis et tangage	0,02°
Précision du cap	0,02°
Précision (pilonnement)	5 cm ou 5% de la mesure de l'amplitude de pilonnement

### 2.2.3. TRAITEMENT

Les fichiers xtf enregistrés ont ensuite subi une rotation de 90° à l'aide d'un programme Matlab développé par le CIDCO. Cette édition a permis de les traiter dans le logiciel CARIS HIPS&SIPS comme s'il s'agissait de données bathymétriques. Des surfaces verticales des façades de quai ont ainsi été créées et exportées. Il est à noter qu'il manque 10-15 m de chaque côté des coins de quai. Cela est dû à la trajectoire utilisée lors des virages qui donne une déviation de plus de 20° par rapport à la trajectoire initiale. Une fois la rotation effectuée, cela se traduit par des angles de tangage trop élevé pour le logiciel qui ignore simplement ces données.

### 2.2.4. ANALYSE

L'exactitude représente le biais systématique d'une mesure et c'est un critère qui est très difficile à simuler. On peut la mesurer expérimentalement en calculant la distance moyenne entre un jeu de données et une surface de référence que l'on considère être la vérité absolue, par exemple une zone scannée à la station totale. Cela n'a pas été fait dans cette phase du projet. Les résultats d'exactitude provenant de tests précédents au Port de Montréal ont plutôt été retenus.

La densité est assez facile à simuler et à mesurer. Il s'agit du nombre moyen de sondes par unité de surface. Ce critère varie en fonction de la profondeur, du mode d'acquisition et de la distance de sondage. Les résultats du simulateur ont pu être comparés à ceux du levé réel.

L'incertitude est un indice de la reproductibilité des données. Donnée à un intervalle de confiance de 95 %, c'est la proportion des mesures qui s'écartent de la moyenne à plus de 2 fois l'écart-type. Le rapport qualité (QC report) de CARIS HIPS permet d'estimer ce critère en regardant la distribution des sondes autour d'une surface de référence et/ou par un calcul d'incertitude totale propagée (TPU). Cet outil n'est cependant disponible que pour les surfaces horizontales. Dans un premier temps, un programme Matlab a donc été utilisé pour analyser la distribution des sondes et ainsi chiffrer l'incertitude. Pour ce faire, l'idéal est d'acquérir plusieurs passes sur une surface verticale plane. Le quai est devait servir à faire ce test, mais une erreur s'est produite à l'acquisition et c'est le quai ouest qui a été scannée à plusieurs reprises avec les bons paramètres d'acquisition. Des plaques de réparation relativement lisses présentes sur le quai ouest ont donc servi à l'évaluation de l'incertitude. Éventuellement, un modèle de TPU pourra être implémenté

pour des surfaces autres qu'horizontales et on pourra voir à quel point les deux approches coïncident.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. OBJECTIF MARKETING

Cet objectif n'a pu être atteint en entier puisque seulement la première plongée et le levé sonar ont été réalisés. Pour bien montrer la pertinence de l'approche, il serait important de réaliser une deuxième inspection avec les plongeurs et le BV-5000, en tenant compte cette fois-ci de ce qui a été observé sur le levé sonar.

Des efforts ont quand même été mis sur l'interprétation des données sonar et leur concordance avec les observations des plongeurs. Suite au rapport d'inspection d'AxSub présenté à [l'Annexe B](#), une analyse comparative des deux types d'inspection a été réalisée et les [résultats ont été présentés](#) lors du Colloque CIDCO 2013, *l'hydrographie appliquée aux infrastructures* (Leblanc and Brodie 2013).

La Figure 2 a montre la surface du quai sud obtenue suite au traitement dans CARIS HIPS des fichiers xtf pivotés. Les objets observés par les plongeurs (grossièrement positionnés) ont été superposés en noir. Les objets visibles sur la surface sonar ont été manuellement extraits et représentés en rose. Ils correspondent à des plaques de protection où du béton a été coulé pour réparer la structure. Notons que la plongée et l'acquisition de données sonar ont été faites de façon indépendante. Les plongeurs ont fait une inspection classique et ne disposait pas de cette carte pour orienter leur inspection. Cela met bien en lumière la précision limitée de l'inspection par plongée. En effet, bien que la taille des objets ait été relativement bien estimé, un décalage de quelques mètres peut être observé dans leur positionnement. Certains objets ont aussi été tout simplement omis et d'autres ont été dédoublés.

Ensuite, la création d'une surface a permis d'extraire des profils de verticalité aux endroits qui ont été relevés par les plongeurs (Figure 2 b). Dans le premier cas, à 39 m, on observe une bonne correspondance, mais à 57 m, les deux profils divergent. Il n'est pas possible de savoir à cette étape-ci si cela est dû au positionnement imprécis de l'inspection par plongée ou à la difficulté de relever le profil correctement. Chose certaine, cela confirme l'intérêt d'effectuer un premier diagnostic au levé sonar/lidar pour pouvoir bien diriger les plongeurs vers les régions d'intérêt. Effectivement, la perte de verticalité du profil à 57 m est un exemple de problème qui pourrait inquiéter les gestionnaire de port et une inspection plus approfondie serait nécessaire.

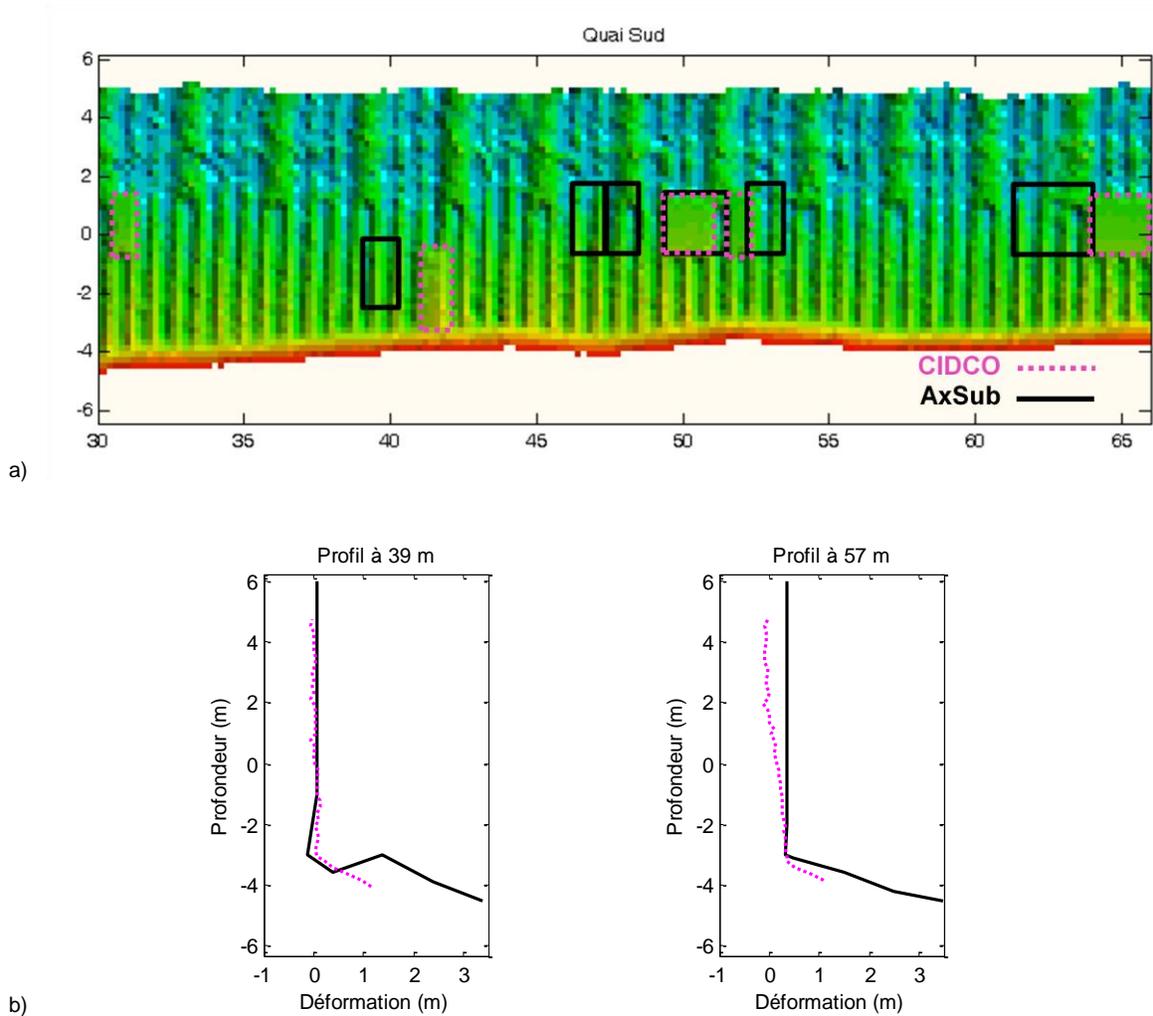


Figure 2 : Comparaison entre le levé sonar et les observations des plongeurs.

a) Surface verticale du quai sud, b) Profils verticaux à 39 et 57 m du coin est. Le sonar est montré en rose pointillé et les observations des plongeurs en noir.

### 3.2. OBJECTIF CONTRÔLE-QUALITÉ

Les résultats sur la densité et l'incertitude ont été exhaustivement présentés dans une [publication du CIDCO pour la conférence ACB 2012](#) (Rondeau, Leblanc *et al.* 2012). En combinant ces nouveaux résultats à ceux obtenus en simulation et lors de tests précédents au Port de Montréal, nous sommes maintenant en mesure de présenter les performances de notre système, tel que montré à la Figure 3.

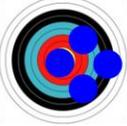
	Faible	Élevée	Sonar	Lidar
Exactitude			-4.5 cm	2.2 cm
Précision			3.9 cm	5.7 cm
Résolution			19x2x15 cm	N/A
Densité			400-600 pts/m <sup>2</sup>	N/A

Figure 3 : Performances du système intégré lidar-sonar.  
N.B. le terme *accuracy* se traduit par *exactitude*.

#### 4. CONCLUSION

Le projet réalisé a permis de bien avancer dans l'évaluation des performances du sonar multifaisceau RESON Seabat 7125 SV. Les résultats ont déjà été publiés ou présentés lors de conférences. Les points suivants devront être abordés dans une phase ultérieure du projet :

1. Faire la deuxième plongée dirigée par les levés sonars et l'inspection au BV-5000 afin de bien démontrer l'intérêt du premier diagnostic par acoustique. Il faudrait cependant s'assurer que le temps écoulé entre les deux plongées ne biaise pas les résultats.
2. Développer un simulateur semblable à celui du sonar pour prédire les performances du lidar.
3. Mesurer la densité et l'incertitude du lidar avec une méthodologie similaire à celle présentée pour le sonar.
4. Mesurer la résolution et l'exactitude des deux systèmes séparés et intégrés. Des structures permettant de mesurer ces deux paramètres devraient être installées au Port de Rimouski à l'été 2014 dans le cadre du pôle d'expertise en infrastructures portuaires.

#### RÉFÉRENCES

Leblanc, E. and D. Brodie (2013). Traitement de surfaces non-horizontales dans les logiciels CARIS. Colloque CIDCO 2013, L'hydrographie appliquée aux infrastructures, Rimouski, QC, June 2013, from [http://www.cidco.ca/images/fichiers/Eli%20Leblanc\\_David%20Brodie.pdf](http://www.cidco.ca/images/fichiers/Eli%20Leblanc_David%20Brodie.pdf).

Rondeau, M., E. Leblanc and L. Garant (2012). Dam infrastructure first inspection supported by an integrated multibeam echosounder (MBES)/lidar system. CDA Annual conference, Saskatoon, SK, Canada, 22-27 sept, from [http://www.cidco.ca/images/publications/1346233565ACB2012\\_Rondeau\\_Leblanc\\_Garant.pdf](http://www.cidco.ca/images/publications/1346233565ACB2012_Rondeau_Leblanc_Garant.pdf).

## ANNEXE A : SCÉNARIOS D'ACQUISITION

			Scénario									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Paramètres de levé	Sonar	Modèle	Seabat 7125									
		Sample rate (éch/s)	34000	34000	34000	34000	34000	34000	34000	34000	34000	34000
	Bateau	Vitesse du bateau (nœuds)	3	3	3	3	5	3	3	3	3	3
		Distance au mur (m, inf si N/A)	10	15	5	15	10	5	10	10	10	10
	Montage	Tirant d'eau du sonar (m)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
		Angle d'inclinaison du sonar (deg)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Site	Profondeur (m)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
		Longueur du mur (m)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		Célérité (m/s)	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
	Acquisition	Fréquence	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		Nombre de faisceaux	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512
		Angle d'ouverture (deg)	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
		Mode d'acquisition	Eq. Ang.	Eq. Dist.	Eq. Ang.	Eq. Ang.	Eq. Ang.	Eq. Dist.	Eq. Ang.	Eq. Ang.	Eq. Ang.	Eq. Ang.
		Pulse length (µs)	33	33	33	33	33	33	33	33	100	300
		Range (m)	25	25	25	25	25	25	10	50	25	25
		Max ping rate (Hz)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
		Angle de beam steering (deg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nombre de passes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

N.B.

Eq. Ang. = équiangulaire

Eq. Dist. = équidistant

Les cellules jaunes montrent le paramètre qui est changé par rapport au scénario 1 jugé optimal *a priori*.



PRÉSENTÉ AUX :

Partenaires du banc d'essai sur la géomatique marine  
appliquée à la gestion d'infrastructures immergées

Inspection d'une section de la jetée Sud du Port  
de Rimouski-Est; Méthode traditionnelle par  
plongeurs

Version finale

Par:



Décembre 2012

## TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>2</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>3</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>2. MATÉRIEL ET MÉTHODE</b> .....	<b>4</b>
2.1. OBJECTIF MARKETING.....	4
2.2. OBJECTIF CONTRÔLE-QUALITÉ .....	4
2.2.1. <i>Simulateur</i> .....	4
2.2.2. <i>Acquisition</i> .....	5
2.2.3. <i>Traitement</i> .....	6
2.2.4. <i>Analyse</i> .....	6
<b>3. RÉSULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>7</b>
3.1. OBJECTIF MARKETING.....	7
3.2. OBJECTIF CONTRÔLE-QUALITÉ .....	8
<b>4. CONCLUSION</b> .....	<b>9</b>
<b>RÉFÉRENCES</b> .....	<b>9</b>
<b>ANNEXE A : RAPPORT D'INSPECTION D'AXSUB</b> .....	<b>10</b>
<b>SECTION 1- GÉNÉRALITÉS</b> .....	<b>14</b>
CONTEXTE DE RÉALISATION DES TRAVAUX.....	14
PORTÉE DU MANDAT .....	14
ÉQUIPE ET SPÉCIALISATION .....	15
ÉQUIPEMENT UTILISÉ .....	15
MÉTHODOLOGIE D'INSPECTION.....	16
IDENTIFICATION DU SITE .....	16
CONDITIONS MÉTÉO ET PARAMÈTRES DE PLONGÉE .....	17
<b>SECTION 2- RÉSULTATS</b> .....	<b>17</b>



VERTICALITÉS ET PROFIL DE SÉDIMENTS .....	18
<b>SECTION 3- RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>20</b>



## SECTION 1- GÉNÉRALITÉS

### CONTEXTE DE RÉALISATION DES TRAVAUX

Dans le contexte québécois actuel, les inspections périodiques des structures immergées sont effectuées par des équipes de plongeurs qui possèdent essentiellement tous une formation de scaphandrier professionnel. Dans le cadre de cette formation peu d'éléments relatifs aux connaissances générales en génie civil sont enseignés ce qui amène une problématique certaine au niveau de la qualité des résultats tirés des méthodes traditionnelles d'inspection par plongeur. Souvent, les mauvaises conditions de visibilité font en sorte qu'une expertise en surface devient complètement inutile puisqu'elle n'est pas en mesure d'apprécier visuellement la condition réelle de la structure.

Cette faible qualité des données récoltées par la méthode traditionnelle induit un risque souvent important sur la planification des travaux de réfections recommandés suite à ces inspections. Avec l'accessibilité croissante des technologies acoustiques et les capacités actuelles en traitement de données, il devient essentiel de s'interroger sur la place que peut prendre ces technologies dans l'exécution de mandats d'expertises sous-marines. Par exemple, les technologies acoustiques ne sont pas influencées par la faible visibilité et permettront de voir rapidement des anomalies qu'il serait impossible d'observer en plongée.

Le but de ce projet d'inspection est tracer une ligne démarquant ce qu'il est possible de faire en plongée avec une équipe minimale et en utilisant les règles de l'art actuellement à l'emploi dans l'industrie québécoise. Ce rapport permettra de mettre en relief la précision et la qualité marginale des résultats fournies par le CIDCO (à l'aide d'un sonar acoustique REASON) et par Innovation Maritime (À l'aide d'une station immergée BlueView, BV 5000) sur une même section de quai.

### PORTÉE DU MANDAT

Avec le support technique d'Expertise Maritime Divetech de Ste-Luce, AxSub devait effectuer l'inspection d'une section, la plus longue possible, de la jetée sud. Cette section devait inclure la section déjà inspectée par Innovation Maritime à l'aide du BV-5000. Ainsi, en utilisant un plongeur et des équipements de mesures manuels, l'inspection devait permettre d'obtenir :

1. La prise de verticalités aux 5 mètres;
2. L'identification des salissures marines ainsi que la surface qu'elles couvrent;
3. L'identification et le positionnement des anomalies présentes;
4. L'identification des différents éléments de structures présentant un relief (réparations);
5. Un profil de pente du sédiment aux 5 mètres.

Le mandat inclue la rédaction du présent rapport ainsi que la prise de vidéo sur l'ensemble de la section inspectée, pour références futures;

## ÉQUIPE ET SPÉCIALISATION

L'équipe d'Expertise Maritime Diveteck et d'AxSub était la suivante :

Dany ST-CYR :	Chef de plongée et des opérations de métrologie. Monsieur ST-CYR est technicien scaphandrier gradué de l'INPP de Marseille en France.
Simon PELLETIER :	Assistant de plongée et plongeur de soutien. Technicien Scaphandrier gradué de l'Institut Maritime du Québec.
Luc GARAND :	Plongeur, dessinateur et rédaction du rapport. Technicien scaphandrier gradué de l'Institut maritime du Québec.
Eric GAUDREAU :	Ingénieur, MBA, Chargé de projet technique.
Yan LEVESQUE :	Ingénieur et technicien en Génie Civil. Support technique.
Yanick LARUE :	Technicien en géomatique, Capitaine d'embarcation.

## ÉQUIPEMENT UTILISÉ

Les équipements utilisés sont les suivants :

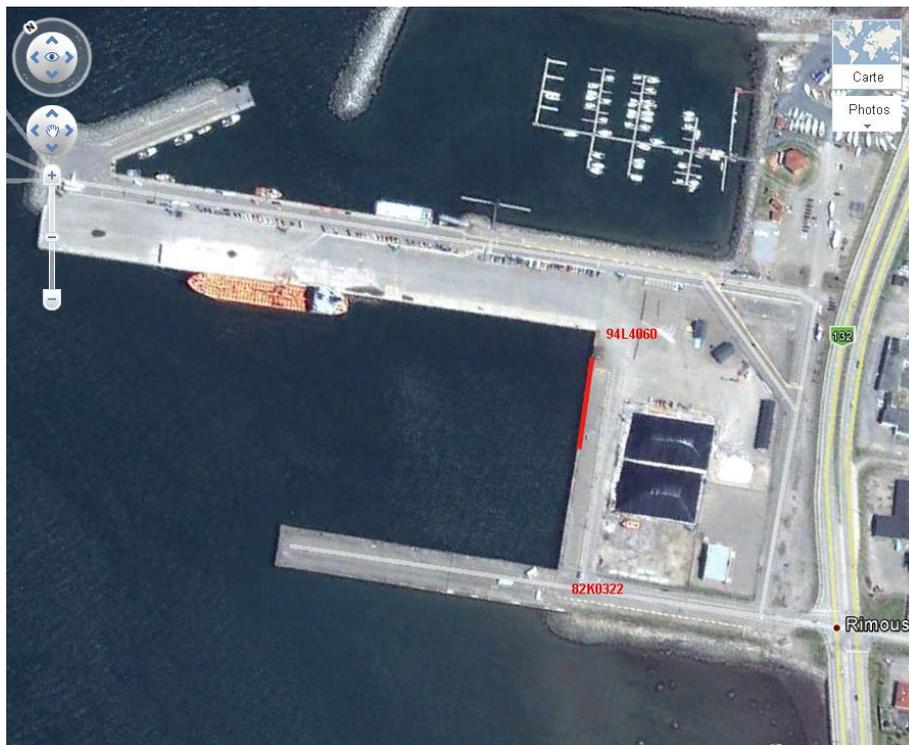
- Remorque de plongée;
- Scaphandre Non Autonome complet :
  - Casques Superlite KM 37;
  - Appareil Respiratoire Autonome de Sauvetage (2267 litres)
  - Harnais à 5 points d'Attaches Barry;
  - Ombilical 50 mètres;
- Costume Sec;
- Système d'air comprimé en Cascades avec Banques Principale et Auxiliaire;
  - Système principal : 880 pieds cubes disponibles;
  - Système secondaire : 880 pieds cubes disponibles;
- Système de communication 4 fils;
- Systèmes d'éclairage au LED AxSub, 1 350 lumens;
- Système Vidéo AxSub avec encodeur numérique et ordinateur portable;
  - 700 lignes de résolution
  - Encodage en format H.264.
- Mât de verticalité gradué selon le zéro des cartes;
- Ruban à mesurer;
- Profondimètre;
- Embarcation Kakawi du CIDCO

## MÉTHODOLOGIE D'INSPECTION

1. Localisation du repère géodésique 94L4060 de la Garde-Côtière et détermination situé à une élévation de 6.404 mètres;
2. Installation du mât de verticalité afin de déterminer la hauteur d'eau qui est de 2,183 m au-dessus du zéro des cartes au début de l'inspection;
3. Chaînage du quai à tous les 5 mètres pour référence rapide. Le chaînage a été effectué sur une distance de 75 mètres.
4. Lors de l'inspection, il y a description des éléments inspectés ainsi qu'une appréciation générale de l'état de la structure. Les bris apparents, les déformations visibles ainsi que la présence de salissures marines et de corrosion sont décrits de façon qualitative. Lorsque possible, une estimation qualitative sera fournie;
5. Les mesures de verticalités sont prises aux 9 mètres afin de fournir un profil général de la structure;
6. L'inspection des éléments de réparation est effectuée afin de connaître leur état général.

## IDENTIFICATION DU SITE

La section de quai inspectée est celle située à l'angle Sud-Est de la structure. Lors de notre présence, plusieurs conteneurs étaient entreposés dans cette section ce qui a réduit considérablement notre capacité de mouvement. De plus, le Relais Nordic était amarré sur la jetée Est et effectuait plusieurs essais de son système de propulsion ce qui nous a obligé à restreindre considérablement la section inspectée. Ainsi, la cette section s'étend d'une distance du chaînage +30m au chaînage +66m à partir du repère géodésique 94L4060 (zone en rouge).



## CONDITIONS MÉTÉO ET PARAMÈTRES DE PLONGÉE

**Température** : Ensoleillé avec passages nuageux, 15°C

**Vents** : Calmes, 0-5 nœuds;

**Mer** : Calme, 0-30 cm de hauteur de houle;

**Courant** : Nul;

**Type de fond marin** : Glaise;

**Visibilité** : Faible 2 mètres

**Température de l'eau** : 9°C

**Entrée à l'eau** : 09 :40

**Sortie** : 11 :29

**Temps de plongée** : 01 :49

**Rendement** : 0,55m linéaire/minute

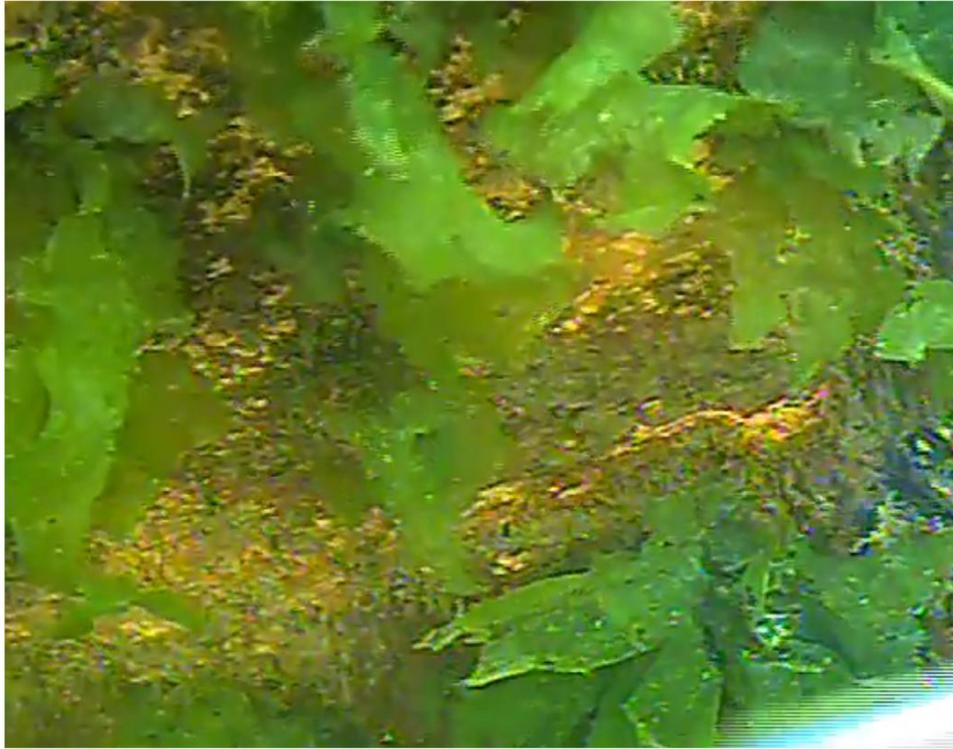
Temps estimé pour l'inspection complète de la jetée Sud : 5h45 minutes

## SECTION 2- RÉSULTATS

La structure présente un état général acceptable. Visuellement, il n'y a pas de bris non réparé et les réparations effectuées par le passé sont en bon état. Les boulons d'ancrages sont tous encore solidement attachés à la structure et le béton injecté derrière les plaques de protection est encore en excellent état. Pour la zone inspectée, les salissures marines couvrent plus de 90% de la surface totale, sur une épaisseur de 50-300 mm en général. Sur les réparations, la densité de cette salissure est moins élevée. Les images suivantes illustrent ces situations.



## Salissure marine sur la structure



Salissure marine sur les plaques de réparation

## VERTICALITÉS ET PROFIL DE SÉDIMENTS

Avec une telle épaisseur de salissures marines, il devient excessivement difficile de déterminer la verticalité sans préalablement nettoyer la structure afin de prendre des mesures. Le tableau suivant présente les verticalités prises lors de l'inspection. Les distances indiquées sont celle mesurées en référence à un plan vertical composé d'une cordelette attachée à un contrepoids. Puisque le courant était nul, nous pouvons considérer que la cordelette était relativement verticale.

Chaînage	Élévations						
	+2m	+1m	0m	-1m	-2m	-3m	-4m
+30m	330mm	340mm	340mm	400mm	540mm	600mm	
+39m	320mm	320mm	320mm	320mm	420mm	520mm	

+48m	170mm	170mm	170mm	180mm	230mm	280mm	
+57m	120mm	120mm	120mm	140mm	140mm	180mm	
+66m	130mm	130mm	140mm	150mm	190mm	190mm	

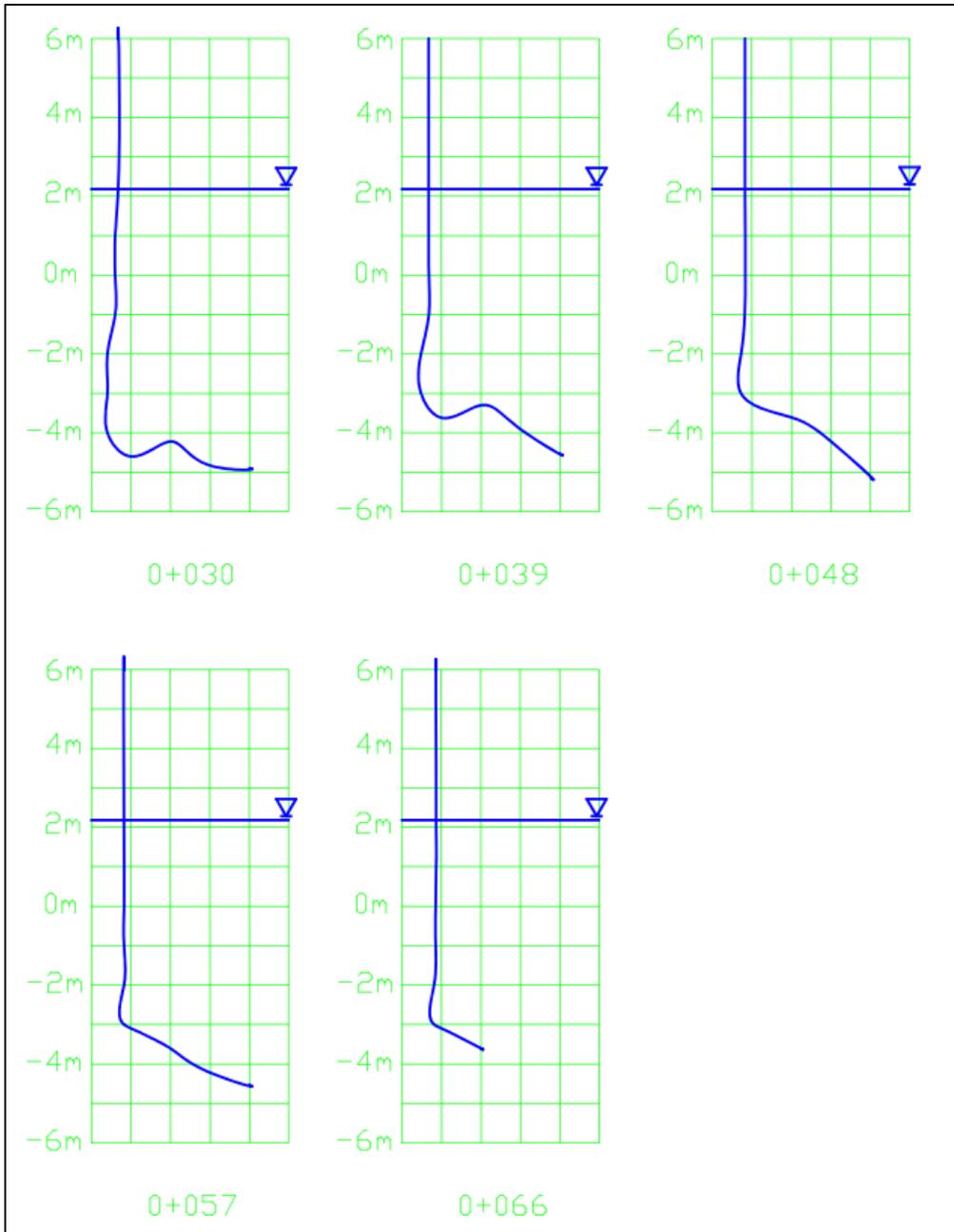
Tableau1- Verticalités

Ces résultats semblent indiquer que la structure n'est pas parfaitement verticale et qu'elle est très légèrement déportée vers l'avant dans la zone de -2m à -3m. Le tableau suivant présente le profil du sédiment aux mêmes chaînages que pour les verticalités. Les profondeurs sont rapportées au zéro des cartes.

Chaînage	Distance de la structure			
	0m	1m	2m	3m
+30m	4.60m	4.22m	4.83m	4.90m
+39m	3.62m	3.00m	3.91m	4.53m
+48m	3.00m	3.61m	4.22m	5.14m
+57m	3.10m	3.61m	4.22m	4.53m
+66m	3.10	3.61	---	---

Tableau 2- Bathymétrie aux chaînages

Les graphiques suivant illustrent les données présentées précédemment sous forme de profil.



### SECTION 3- RECOMMANDATIONS

L'inspection a été réalisée avec une équipe expérimentée et avec les outils habituellement utilisés pour effectuer ce genre de travail. Dans les faits, une inspection normale aurait été réalisée beaucoup plus rapidement et avec un niveau de précision bien inférieur. Nous sommes d'avis que les données collectées ici sont représentatives des meilleurs résultats qu'il aurait été possible d'obtenir dans un cas réel. Malgré tout, plusieurs problématiques peuvent être relevées en lien avec cette inspection.



1. L'utilisation d'un mât de verticalité composé d'un filin et d'un poids est peu précise. En effet, en effectuant la mesure entre la structure et le filin avec un mètre, il y a absence de niveau, donc il est impossible de savoir si la mesure prise est bien perpendiculaire à la section du quai et au filin, Il en résulte un erreur assez élevée rendant la valeur de verticalité quasi inutilisable, sauf dans des cas de déformation majeure. Il est recommandé d'utiliser un filin lesté massivement pour éviter l'entraînement par le courant, ou simplement qu'il soit déplacé par le plongeur lors de la prise de mesure. Aussi, on outil de mesure assurant la perpendicularité de la mesure doit être développé ou utilisé.
2. Le positionnement des bris a été effectué à l'aide d'un marquage aux 3 mètres en surface. L'assistant de plongée donnait la position en se servant de l'ombilical du plongeur qui le plaçait de façon à indiquer le début et la fin de la réparation. L'erreur engendrée par cette méthode est relativement élevée et la précision qui résulte de cette méthode pourrait permettre, tout au plus, de localiser le défaut lors d'une plongée subséquente. En aucun cas ces données pourraient permettre un suivi temporel des détériorations. Sachant ceci, une méthode de localisation plus précise, utilisant un mode de retransmission des distances vers la surface devrait être développé.
3. Les structures installées en eau marine sont un lieu de prédilection pour l'établissement d'organismes marins qui, rapidement, colonisent les surfaces de façon importante. Dans le cas présent, l'épaisseur du biofilm atteignait facilement 300 mm à certains endroits. En absence de nettoyage, la prise de mesure devient très imprécise, voire non représentative. Dans cette situation, même l'utilisation d'un système acoustique ou laser ne permettra pas de présenter une image juste de l'état de la structure à moins que des algorithmes de traitement avancés soient développés. En plongée, il est impératif de nettoyer la surface lors de la prise de mesures.
4. Dans le processus d'inspection, la transmission de la donnée, du plongeur jusqu'au bureau du technicien qui rédige le rapport, est très critique. La liste suivante présente les phases critiques ainsi que les facteurs d'erreurs qu'elles comportent :
  - a. Prise de mesure par le plongeur :
    - i. Appareil non précis;
    - ii. Visibilité souvent nulle;
    - iii. Positionnement un plongeur précaire et non confortable;
    - iv. Inconfort relatif au froid et au courant;
    - v. Nécessité d'effectuer le travail rapidement;
    - vi. Manque de connaissance et d'expérience;
  - b. Transmission de la donnée du plongeur au superviseur en surface :
    - i. Système de communication mauvais;
    - ii. Bruits adjacents;
  - c. Transmission des données de l'assistant de plongée vers le superviseur :
    - i. Communication mauvaise (souvent criées ou transmises par radio);
    - ii. Bruits adjacents
  - d. Consigne des données sur média papier :
    - i. Manque de connaissances du superviseur;
    - ii. Difficulté à visualiser ce que le plongeur décrit;
    - iii. Prise de notes défaillante;
    - iv. Calligraphie déficiente;
    - v. Nécessité de gérer plusieurs choses en même temps :
      1. Paramètres de plongée;



2. Demandes clients;
  - vi. Nécessité d'effectuer le travail rapidement;
- e. Rédaction du rapport :
  - i. Souvent rédigé par quelqu'un qui n'était pas présent lors de l'inspection;
  - ii. Le délai entre l'inspection et la rédaction étant souvent long, les données manquantes mémorisées par l'équipe deviennent inaccessibles;
  - iii. Basée uniquement sur la prise de notes du superviseur et sur l'enregistrement audio-vidéo;
  - iv. Souvent peu représentative de la réalité;

Pour pallier à tous ces risques d'erreur, il devient primordial qu'une méthode normalisée d'inspection soit développée, enseignée aux scaphandriers et au personnel affairé aux expertises structurales. Idéalement, cette méthode devrait réduire la probabilité d'erreur humaine et les erreurs d'interprétations découlant des méthodes actuelles. Le développement, l'implémentation et le transfert d'une telle méthode doit impliquer des experts issus de plusieurs disciplines :

1. Géomatique et technologies d'imagerie sous-marines;
2. Superviseurs de plongée expérimentés dans l'inspection de structure;
3. Ingénieur civils avec expertise en ouvrages immergés;
4. Institutions de formation en plongée professionnelle et génie civil;
5. Universités;
6. Firmes spécialisées en intégration des données et en communication;
7. Entreprises en travaux sous-marins pour mise à l'essai et rétroaction.

Le présent rapport démontre de la capacité de réalisation des activités de plongée, dans des conditions presque optimales de réalisation. Par la mise en comparaison de ces résultats avec d'autres méthodes (acoustiques et micro bathymétriques), il sera possible de tracer un portrait du niveau de qualité que pourra vraisemblablement atteindre un banc d'essais régional concerté.



**CIDCO**

Centre interdisciplinaire de développement  
en cartographie des océans

Interdisciplinary Centre for the Development  
of Ocean Mapping

