

Levés côtiers pour l'évaluation de la dynamique sédimentaire aux Îles-de-la-Madeleine

Rapport de mission - version 1.0

Client / partenaire

Ministère des Transports du Québec

Référence : 411-0910

Date

Février 2010

TABLE DES MATIÈRES

CONTEXTE	5
INFORMATION GÉNÉRALE	6
CLIENT	6
CIDCO	6
LIVRABLES	7
1. INTRODUCTION	8
2. MATÉRIEL ET MÉTHODE	10
2.1. EMBARCATION.....	10
2.2. SYSTÈMES D'ACQUISITION.....	10
2.2.1. <i>Sonar interferométrique</i>	11
2.2.2. <i>Profileur sismique</i>	14
2.2.3. <i>Centrale d'attitude et de position</i>	14
2.2.4. <i>Profileur de vitesse du son dans l'eau</i>	15
2.2.5. <i>Marégraphe</i>	15
2.3. CALIBRATION.....	15
2.4. PROCESSUS DE TRAITEMENT.....	17
2.4.1. <i>Bathymétrie</i>	17
2.4.2. <i>Sismique</i>	18
3. DÉROULEMENT DES ACTIVITÉS	18
3.1. CHRONOLOGIE DES ACTIVITÉS	18
3.2. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES.....	22
3.3. COLLECTE DE DONNÉES	22
3.3.1. <i>Bathymétrie</i>	22
3.3.2. <i>Vitesse du son dans l'eau</i>	23
3.3.3. <i>Niveaux d'eau et nivellement</i>	23
3.3.4. <i>Sismique</i>	25
3.4. TRAITEMENT DE DONNÉES.....	25
3.4.1. <i>Bathymétrie</i>	25
3.4.2. <i>Sismique</i>	25
3.4.3. <i>Produits dérivés</i>	25
4. RÉSULTATS	26
4.1.1. <i>Bathymétrie</i>	26
4.1.2. <i>Sismique</i>	26
4.1.3. <i>Produits dérivés</i>	26
5. CONCLUSION	26
6. RÉFÉRENCES	27
7. ANNEXE	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Zones d'étude en rouge telles que fournies par le Ministère du Transport du Québec	9
Figure 2 – La vedette hydrographique du CIDCO, le Bec Scie	10
Figure 3 - Principe d'acquisition de données bathymétriques haute-résolution	11
Figure 4 - Résolution longitudinale limitée différemment selon la profondeur	12
Figure 5 - Résolution latérale du SwathPlus-M en fonction de la portée horizontale pour différentes profondeurs.....	13
Figure 6 - Alignement statique du montage du sonar interférométrique SwathPlus-M sur le bras du Bec Scie.....	16
Figure 7 - Biais mesurés à l'issu de l'alignement dynamique	17
Figure 8 – Processus de traitement de données bathymétrique du CIDCO.....	18
Figure 9 – Marégraphe du CIDCO tel qu'installé sur la jetée du port de la Pointe-aux-loups	19
Figure 10 – Chronologie des activités terrain du projet de levés côtiers aux Îles de la Madeleine	21
Figure 11 – Conditions météorologiques aux Îles de la Madeleine pour la période de juillet – août – septembre 2009	22
Figure 12 – Description du repère de nivellement matricule 85L9207 de la Pointe-aux-Loups (station #1989).....	24
Figure 13 – Emplacement du repère de nivellement matricule 85L9207 de la Pointe-aux-Loups	24
Figure 14 – Schéma du nivellement du marégraphe installé à la Pointe-aux-Loups.....	24
Figure 15 – Segmentation du secteur de la Pointe-aux-Loups en sept zones.....	29
Figure 16 - Segmentation du secteur de la Baie de Plaisance en quatre zones.....	30
Figure 17 – Surface bathymétrique de la Pointe-aux-Loups	31
Figure 18 – Surface bathymétrique de la Baie de Plaisance.....	32
Figure 19 – Profils sismiques des secteurs de Pointe-aux-Loups et de la Baie de Plaisance.....	33
Figure 20 – Profil sismique #1 (Baie de Plaisance)	34
Figure 21 – Profil sismique #2 (Baie de Plaisance)	34
Figure 22 – Profil sismique #3 (Baie de Plaisance)	35
Figure 23 – Profils sismique #4 (Baie de Plaisance).....	35
Figure 24 – Profil sismique #6 (Sandy Hook).....	36
Figure 25 – Profil sismique #7 (Sandy Hook).....	36
Figure 26 – Profil sismique #8 (Sandy Hook).....	37
Figure 27 – Profil sismique #9 (Pointe-aux-Loups)	37
Figure 28 - Profil sismique #10 (Pointe-aux-Loups).....	38
Figure 29 - Profil sismique #11 (Pointe-aux-Loups).....	38
Figure 30 - Profil sismique #12 (Pointe-aux-Loups).....	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Spécifications du sonar interférométrique SwathPlus-M (SEA)	12
Tableau 2 : Résolution longitudinale du <i>SwathPlus-M</i> en fonction de la profondeur	13
Tableau 3 : Spécification du profileur sismique Knudsen 320BR	14
Tableau 4 : Spécifications de la centrale d'attitude et de positionnement F180 (source : Coda Octopus) .	14
Tableau 5 : Spécifications du profileur de vitesse du son dans l'eau MiniSVP (source : Valeport).....	15
Tableau 6 : Spécifications du marégraphe portatif 740 Valeport (source : Valeport)	15

CONTEXTE

Le Ministère des Transports du Québec (MTQ) a l'objectif de réaliser une étude de la dynamique côtière sur deux secteurs des Îles-de-la-Madeleine afin de proposer des solutions d'adaptation à l'érosion et à la submersion côtière et de protéger les infrastructures routières. Dans le cadre de cette étude, la collecte de données bathymétriques haute-résolution est nécessaire. Le Centre Interdisciplinaire de Développement en Cartographie des Océans (CIDCO) a été mandaté pour procéder à la collecte de données bathymétriques depuis l'isobathe des 2m jusqu'à celui des 15m (par rapport au zéro des cartes). Ces travaux d'acquisition se sont déroulés entre le 2 juillet et le 12 septembre 2009. Au cours de la campagne de terrain, le CIDCO a également procédé à la collecte de données sismiques afin d'évaluer l'épaisseur de sédiments meubles sur le fond marin. Le CIDCO a procédé au traitement des données bathymétrique issues de la campagne de terrain au cours de l'automne 2009. Ces données ainsi que des produits dérivés seront transmis à la Chaire de recherche en géoscience côtière de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) qui les interprétera afin d'en extraire une meilleure compréhension des processus de transport sédimentaire aux Îles-de-la-Madeleine.

INFORMATION GÉNÉRALE

CLIENT

Compagnie/Ministère	Gouvernement du Québec Ministère des Transports Direction du développement durable, de l'environnement et de la recherche Service de l'environnement et des études d'intégration au milieu (SEÉIM)
Chargé de projet	Michel Michaud
Coordonnées	930, chemin Sainte-Foy, 6e étage Québec (Québec) G1S 4X9 Téléphone : (418) 643-7828, poste 4161 Courriel : michel.michaud@mtq.gouv.qc.ca

CIDCO

Chargés de projet	Martin Lapointe (administration); Jean-Guy Nistad (terrain)
Équipe terrain	Jean-Guy Nistad (hydrographe) Mathieu Rondeau (hydrographe) Sylvie Mercier (hydrographe) Jocelyn Proulx (capitaine) Adrien Bénard (capitaine)
Équipe traitement	Sylvie Mercier Yanick Larue Mathieu Rondeau Jean-Guy Nistad

LIVRABLES

Rapport papier

Levés côtiers pour l'évaluation de la dynamique sédimentaire aux Îles-de-la-Madeleine 5 copies

DVD

\Baie de Plaisance\Bathymétrie

Surface bathymétrique de la Baie de Plaisance à un mètre de résolution spatiale aux formats GeoTIFF et CARIS CSAR

\Baie de Plaisance\Profils sismiques

Profils sismiques de la Baie de Plaisance au format Bitmap

\CARIS EasyView

Logiciel de visualisation des surfaces bathymétriques au format CARIS CSAR. Ce logiciel doit être installé sur un ordinateur avant d'être utilisé.

\Pointe-aux-Loups\Bathymétrie

Surface bathymétrique de la Pointe-aux-Loups à un mètre de résolution spatiale aux formats GeoTIFF et CARIS CSAR

\Pointe-aux-Loups\Profils sismique

Profils sismiques de la Pointe-aux-Loups au format Bitmap

\Rapport

Rapport du projet en format Doc et Pdf

1. INTRODUCTION

Le recul du trait de côte dans l'archipel des Îles-de-la-Madeleine est déjà bien documenté. L'accentuation prévisible de ce phénomène dans un contexte de changement climatique, quant à elle, fait l'objet d'études scientifiques (Pélouas, 2009). La hausse du niveau marin, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes, la diminution du couvert de glace ainsi que le déficit sédimentaire sont parmi les causes importantes d'érosion du littoral des Îles-de-la-Madeleine. Les conséquences de ces phénomènes sont encore peu documentées, mais on suppose qu'ils favoriseront le déficit sédimentaire des plages, entraînant ainsi une vulnérabilité accrue des infrastructures côtières dont la route 199 qui assure le lien entre les îles de l'archipel des Îles-de-la-Madeleine.

La route 199 franchit d'étroites flèches sableuses (tombolos) et constitue le seul lien routier permettant le passage d'une île à l'autre. Des structures rigides; enrochements ou murets de bois protègent la route contre l'érosion, mais leur maintien nécessite un entretien coûteux. Des solutions de protection alternatives, adaptées à la dynamique côtière actuelle et à celles appréhendées par les changements climatiques pour des sites ciblés par le Ministère des Transports du Québec (MTQ) sont nécessaires.

Le MTQ réalise avec la Chaire de recherche en géoscience côtière de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) une étude de caractérisation géomorphologique et sédimentologique du littoral le long de la route 199 dans les secteurs respectifs de la Baie de Plaisance et de la plage de la Pointe-aux-Loups [figure 1] (Michaud, 2009). Ces deux secteurs couvrent respectivement une superficie de 76 et 47 km². Dans le cadre de cette étude, la collecte de données bathymétriques à haute résolution est nécessaire. Le Centre Interdisciplinaire de Développement en Cartographie des Océans (CIDCO) a été retenu pour effectuer les travaux d'acquisition et de traitement de données bathymétriques.

Étant donné la superficie considérable à cartographier et la nécessité d'effectuer un levé bathymétrique de haute-résolution, un échosondeur à fauchée s'est avéré nécessaire. Deux types d'échosondeurs à fauchée existent : les échosondeurs multifaisceaux et interférométriques. Les deux systèmes se basent sur les principes de l'acoustique pour mesurer la profondeur d'eau sous-jacente. Dans tous les cas, la création de profils bathymétriques transversaux nécessite d'estimer une série de couples angle d'incidence vs temps de propagation. Le temps de propagation est converti en distance en connaissant la vitesse du son dans l'eau¹. La différence principale entre les sonars multifaisceaux et interférométriques réside dans la méthode d'estimation de ces couples. Des études récentes (Gosnell, 2005) prouvent que la solution bathymétrique des sonars interférométriques est compatible avec les standards hydrographiques internationaux (IHO-S44) mais présente un écart-type plus élevé que celui des sonars multifaisceaux. Toutefois, un avantage indéniable des échosondeurs interférométriques est leur capacité de couvrir pratiquement 7 à 10 fois la profondeur d'eau, minimisant ainsi la durée des campagnes de collecte de données. Cet avantage, à lui seul, justifie amplement l'utilisation de l'échosondeur interférométrique dans le cadre de ce projet.

¹ Voir section 2.2 pour de plus amples détails.

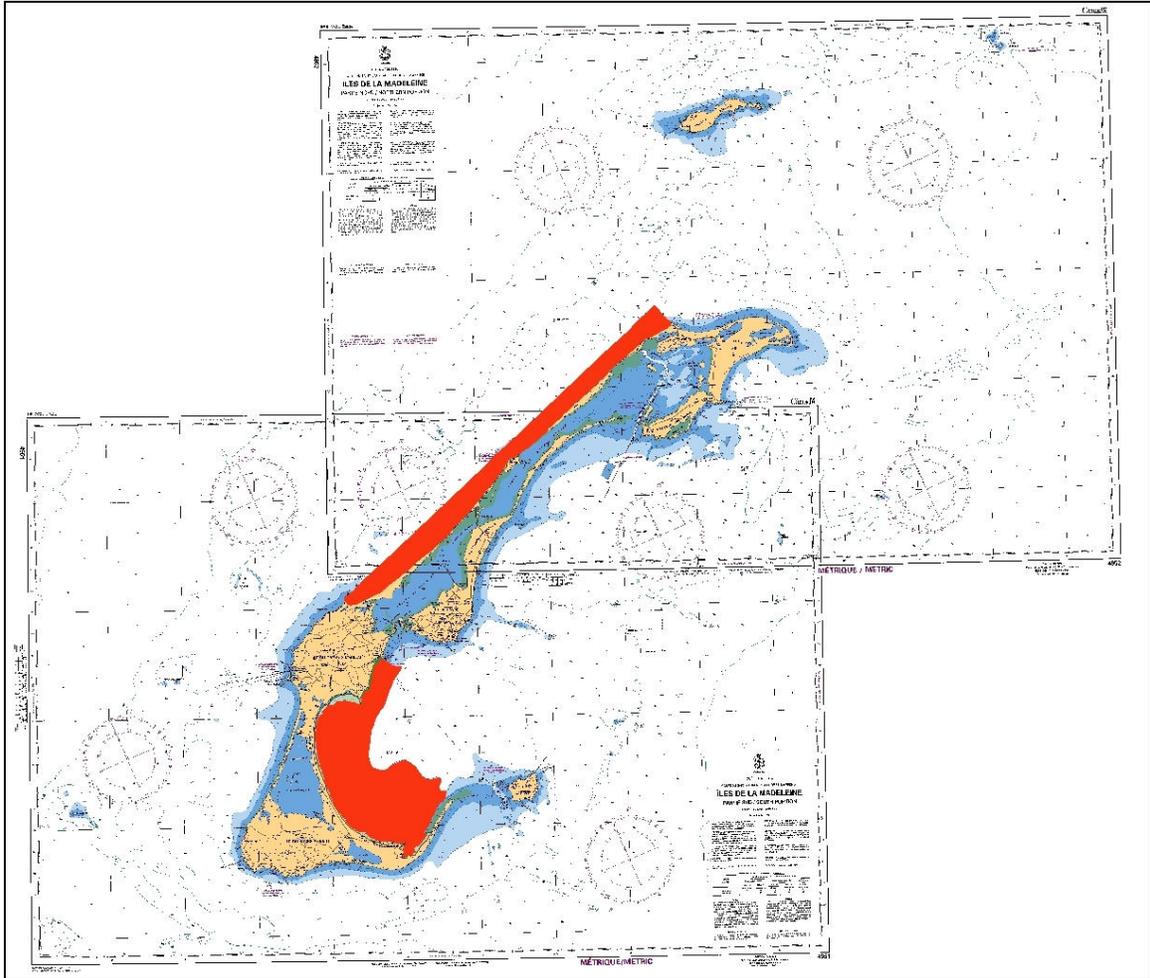


Figure 1 – Zones d'étude en rouge telles que fournies par le Ministère des Transports du Québec

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1. EMBARCATION

L'ensemble des équipements utilisés lors du présent sondage a été embarqué à bord de la vedette hydrographique du CIDCO : le « Bec Scie » [figure 2].



Figure 2 – La vedette hydrographique du CIDCO, le Bec Scie

2.2. SYSTÈMES D'ACQUISITION

Le principe de fonctionnement des sonars interférométriques repose sur la propagation d'une onde acoustique dans l'eau. La figure 3 présente la géométrie classique d'émission et de réception acoustique de ces équipements. Les lobes d'émission et de réception forment une large bande perpendiculaire au bateau et étroite dans le sens de marche du bateau.

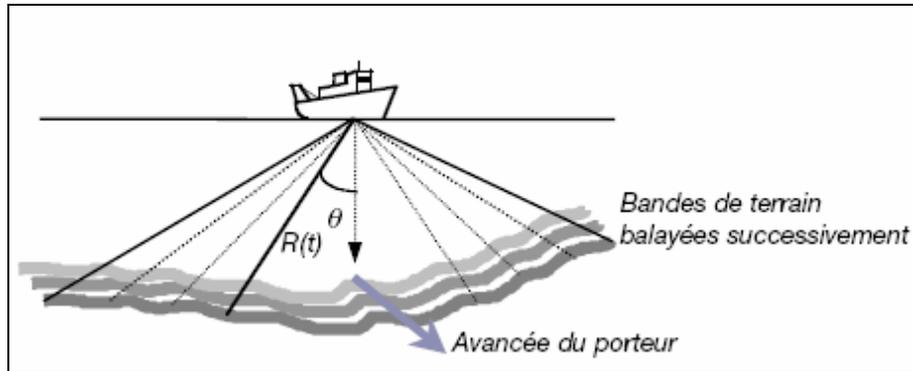


Figure 3 – Principe d’acquisition de données bathymétriques haute-résolution. Des profils transversaux sont créés par l’envoi d’une onde acoustique. Il est nécessaire de connaître les couples distance (fonction du temps de parcours) et angle au nadir afin de fournir des solutions bathymétriques. Le porteur avance et un nouveau profil transversal est créé.

Le captage de la bathymétrie consiste à mesurer précisément l’ensemble des couples temps de propagation (t) et angle de réception (θ) de l’onde acoustique alors que le bateau de sondage se déplace. Le temps (t) mesuré par le sonar correspond au temps nécessaire à l’onde acoustique pour se propager, à partir du sonar, à travers la colonne d’eau, se réfléchir sur le fond marin et revenir au sonar. Cette mesure du temps peut être convertie en distance en connaissant précisément la vitesse de propagation du son dans l’eau ($\sim 1500\text{m.s}^{-1}$). À cet effet, de fréquents profils de la vitesse du son dans l’eau en fonction de la profondeur sont collectés durant le levé. L’angle (θ), quant à lui, est mesuré entre le nadir (vertical du sondeur) et la provenance de l’onde acoustique. À l’aide de ce couple (t , θ) les sondes bathymétriques sont positionnées dans le système de référence du sondeur. Le système de navigation inertielle (mesurant les mouvements du bateau et donc, les mouvements du sonar) et de positionnement permet de référencer ces sondes bathymétriques dans un référentiel géographique. La mesure de la marée à proximité de la zone de levés permet finalement de référencer les sondes bathymétriques par rapport à un référentiel vertical.

En plus de fournir une mesure de la bathymétrie, les sonars fournissent une mesure de l’intensité de la réflexion acoustique sur le fond marin (appelée couramment réflectivité acoustique). Ce paramètre permet de fournir une interprétation qualitative de la nature du fond marin. D’une façon très simplifiée, la réflexion aura tendance à être plus forte sur un sol rocheux et régulier que sur un fond meuble et irrégulier.

2.2.1. SONAR INTERFEROMÉTRIQUE

Les données bathymétriques et de réflectivité acoustique ont été acquises à l’aide du sonar interférométrique *SwathPlus-M* de la compagnie SEA dont les principales spécifications sont données dans le tableau 1.

	Fréquence du sonar	234 kHz
	Ouverture transversale	300°
	Profondeur maximale théorique	100 m
	Portée maximale théorique	12 fois la profondeur d'eau
	Nombre d'échantillons/fauchée	2048
	Ouverture longitudinale	1.1°

Tableau 1 : Spécifications du sonar interférométrique SwathPlus-M (SEA)

La résolution spatiale du sonar interférométrique est contrainte par la plus limitative des deux résolutions longitudinales (dans le sens de la marche du navire) et latérale (perpendiculaire à la marche du navire).

Résolution longitudinale :

La résolution longitudinale est limitée, selon la profondeur, par la plus grande des deux contraintes suivantes : 1) la distance non couverte entre deux impulsions acoustiques (figure 4 a) et 2) la largeur du faisceau (figure 4 b) et c).

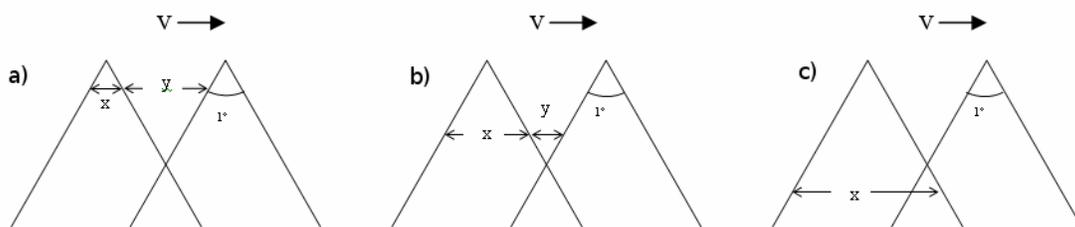


Figure 4 – Résolution longitudinale limitée différemment selon la profondeur

La distance non couverte (y) dépend de la fréquence d'échantillonnage du sonar² et de la vitesse du navire. La largeur du faisceau (x) dépend, de l'angle d'ouverture du sonar suivant la direction longitudinale (1,1° pour le *SwathPlus-M*) et de la profondeur. Le tableau 2 donne la valeur théorique de la résolution longitudinale du sonar interférométrique *SwathPlus-M* en fonction de la profondeur.

² La fréquence d'échantillonnage est le temps entre deux impulsions successives, calculées en fonction de la profondeur et limitées à 20 impulsion.s⁻¹ dans le cas où la valeur calculée serait supérieure.

Constantes : Vitesse du navire = 6 nœuds Vitesse du son dans l'eau = 1500m.s ⁻¹ Angle d'ouverture = 1.1°							
Profondeur (m)	2	5	10	15	20	25	30
Fréquence d'échantillonnage (impulsion.s ⁻¹)	20	20	15	10	7.5	7.5	7.5
Largeur du faisceau (m)	0.04	0.10	0.19	0.29	0.38	0.48	0.58
Distance non couverte (m)	0.27	0.21	0.22	0.33	0.44	0.34	0.25
Résolution longitudinale (m)	0.27	0.21	0.22	0.33	0.44	0.48	0.58

Tableau 2 : Résolution longitudinale du SwathPlus-M en fonction de la profondeur

Résolution latérale :

La résolution latérale d'un sonar interférométrique dépend, de la distance horizontale suivant la fauchée, de la longueur des échos (supposée égale à la longueur de l'impulsion (*transmit length* fixée à 68,3µs) et de la profondeur. La figure 5 donne la valeur théorique de la résolution latérale du sonar interférométrique *SwathPlus-M* en fonction de la portée horizontale suivant la fauchée, pour les profondeurs 2m, 5m, 10m, 15m, 20m, 25m et 30m.

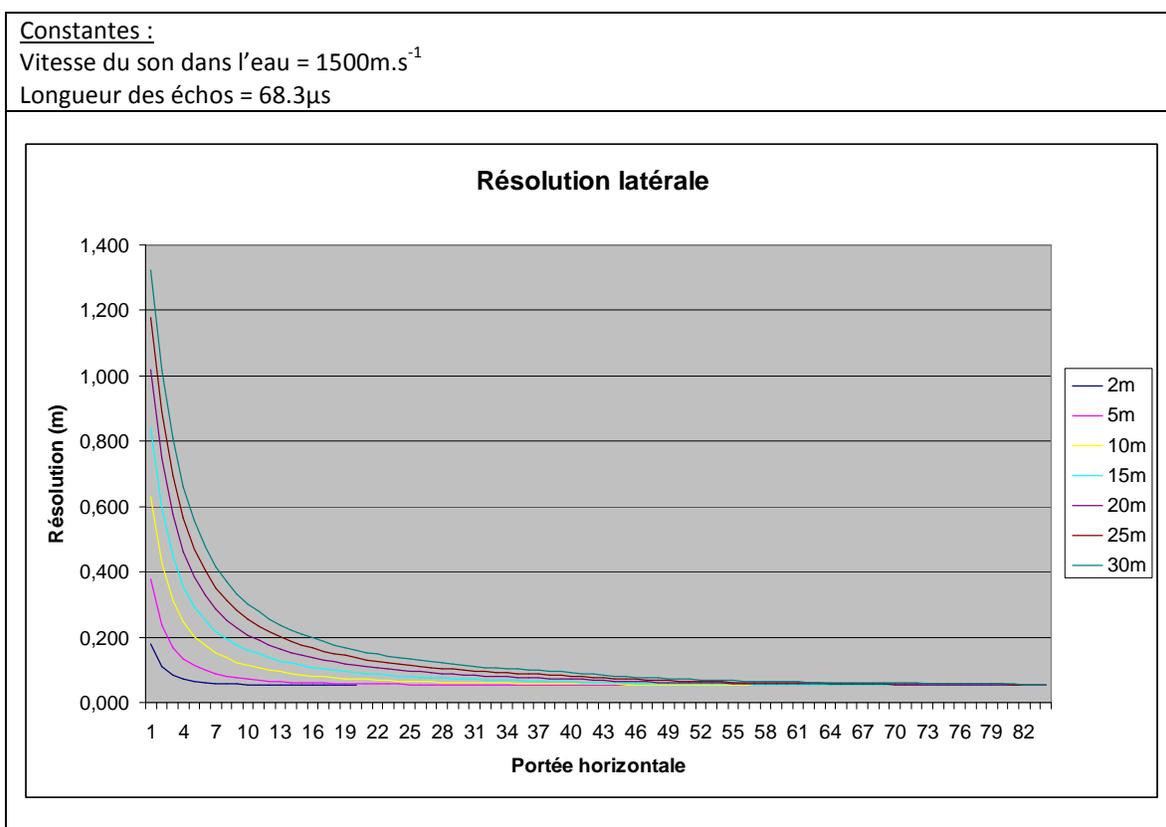


Figure 5 – Résolution latérale du SwathPlus-M en fonction de la portée horizontale pour différentes profondeurs

Il est intéressant de noter que globalement la résolution spatiale du sonar SwathPlus-M est limitée, au nadir par la résolution latérale, puis sur le reste de la fauchée (distance horizontale > 8m) par la résolution longitudinale.

2.2.2. PROFILEUR SISMIQUE

Un profileur sismique est utilisé pour effectuer des opérations de sismique réflexion. Les mesures de sismique réflexion permettent de visualiser la géomorphologie des couches sédimentaires du fond marin et d'obtenir une idée approximative de l'épaisseur de ces couches. Le CIDCO utilise le profileur sismique Knudsen 320BR de type *Chirp* [tableau 3]. La nature de l'impulsion acoustique d'un profileur sismique de type *Chirp* permet une pénétration dans les des couches sédimentaires du fond marin. En présence de contrastes physiques (densité) liés à des variations dans la nature des dépôts sédimentaires, l'onde acoustique est réfléchi. La mesure du temps de propagation de l'onde acoustique à travers les différentes interfaces sédimentaires est convertie en distance par la connaissance de la vitesse de propagation du son dans les dépôts sédimentaires. Cette connaissance étant pour la plupart du temps limitée, une vitesse moyenne de 1500m.s^{-1} est souvent employée ou une vitesse mesurée dans la colonne d'eau.



Fréquences	Centrée sur 3,5 kHz (de 2 à 7 kHz)
Ouverture angulaire	80 degrés
Résolution	15cm

Tableau 3 : Spécification du profileur sismique Knudsen 320BR

2.2.3. CENTRALE D'ATTITUDE ET DE POSITION

Les données d'attitude et de positionnement ont été acquises à l'aide du système intégré *CodaOctopus F180* dont les principales spécifications sont données dans le tableau 4.



Mode d'acquisition	RTK	DGPS - WAAS
Précision (position)	0.02 m	0.5 – 4.0 m
Précision (vitesse)	0.03 m.s ⁻¹	0.03 m.s ⁻¹
Précision (roulis et tangage)	<0.025°	<0.025°
Précision (cap)	0.05°	0.05°
Précision (pilonnement)	5 cm ou 5% de la mesure de l'amplitude de pilonnement (maximum des deux valeurs)	5 cm ou 5% de la mesure de l'amplitude de pilonnement (maximum des deux valeurs)

Tableau 4 : Spécifications de la centrale d'attitude et de positionnement F180 (source : Coda Octopus)

2.2.4. PROFILEUR DE VITESSE DU SON DANS L'EAU

Les données de vitesse du son dans l'eau (qui servent à positionner correctement les sondes bathymétriques en fonction de la profondeur) ont été acquises à l'aide du profileur de vitesse du son dans l'eau MiniSVP de la compagnie Valeport dont les principales spécifications sont données dans le tableau 5.



	Temp.	Célérité	Pression
Plage de mesure	-5 à 35 °C	1400-1600 m/s	10, 50, 100, 300 ou 600 Bars
Résolution	0.001 °C	0.001 m/s	0.001 %
Exactitude	0.01 °C	0.03 m/s	0.05 %
Fréquence	1 – 8 Hz	25 Hz	8 Hz

Tableau 5 : Spécifications du profileur de vitesse du son dans l'eau MiniSVP (source : Valeport)

2.2.5. MARÉGRAPHE

Les données de niveau d'eau (qui servent à réduire les sondes bathymétriques au zéro des cartes) ont été acquises à l'aide du marégraphe portatif 740 de la compagnie Valeport dont les principales spécifications sont données dans le tableau 6.



Plage de mesures	10dBar
Exactitude	0.1 dBar
Temps d'un cycle	40s

Tableau 6 : Spécifications du marégraphe portatif 740 Valeport (source : Valeport)

2.3. CALIBRATION

Le défi de l'acquisition bathymétrique consiste à cartographier une surface rigide à partir d'une surface en perpétuellement mouvement, soit la surface de l'eau. Le système d'acquisition doit assurer une répétabilité afin que le fond marin soit mesuré de façon identique quelque soit le cap, la vitesse et les mouvements de la plate-forme d'acquisition. Pour ce faire, les composantes du système d'acquisition doivent être parfaitement alignées en angle et en distance par rapport à un centre de référence commun. L'alignement statique constitue la première étape de la calibration. Il consiste à définir un centre de référence et à procéder à des mesures d'angles et de bras de leviers de la centrale d'attitude et de position et du sonar par rapport au centre de référence. La figure 6 illustre les résultats de l'alignement statique.

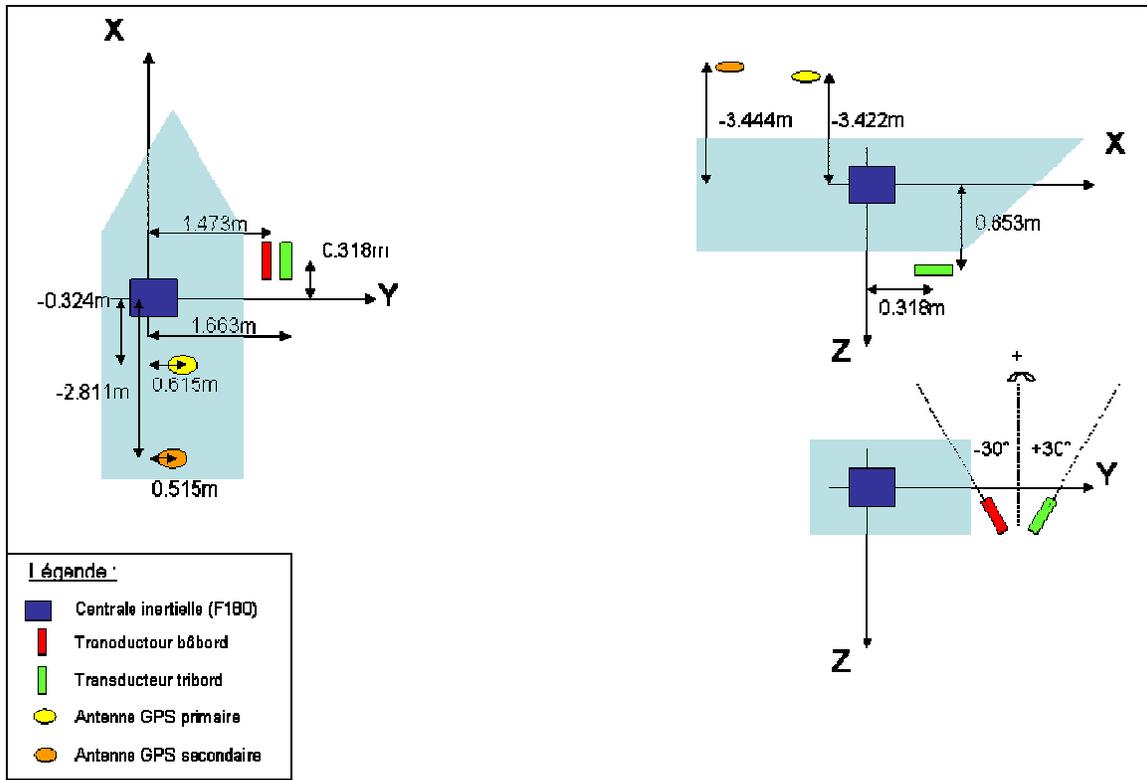


Figure 6 – Alignement statique du montage du sonar interférométrique SwathPlus-M sur le bras du Bec Scie

La difficulté de la mesure des angles nécessite une seconde étape de calibration que l'on nomme l'alignement dynamique (*patch-test*). La méthode couramment utilisée pour l'alignement dynamique nécessite le passage répété, à des vitesses et des directions différentes, sur des objets bathymétriques préalablement identifiés (pente, objet identifiable sur le fond marin). L'alignement dynamique permet également de mesurer le délai de synchronisation entre les données de position reçues par le GPS et les données collectées par le sonar. Un récapitulatif des biais, en lacet, tangage et roulis, mesurés à l'issue de l'alignement dynamique est donné à la figure 7. Le biais en délais temporel a été mesuré à +0.05s, ce qui correspond à une avance du système de positionnement sur le sonar interférométrique.

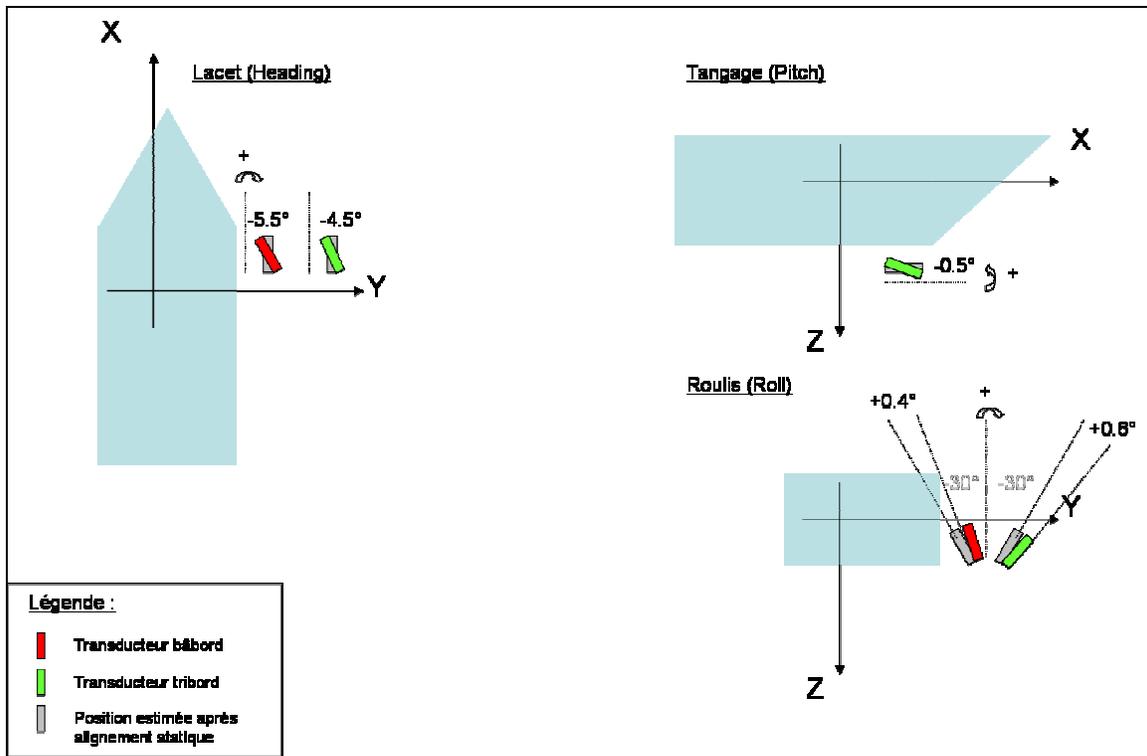


Figure 7 – Biais mesurés à l'issue de l'alignement dynamique

2.4. PROCESSUS DE TRAITEMENT

2.4.1. BATHYMÉTRIE

Le processus de traitement bathymétrique employé au CIDCO est illustré dans le diagramme de la figure 8. Dans le diagramme, les données sont représentées par des ellipses et les processus par des rectangles. La bathymétrie, les données auxiliaires et les données de calibration sont intégrées au sein du logiciel CARIS HIPS-SIPS afin de créer une première bathymétrie géoréférencée à partir des données brutes. Un algorithme statistique semi-automatisé (CUBE) basé sur un modèle de propagation de l'incertitude du système d'acquisition est utilisé pour produire une première surface bathymétrique. Un traitement itératif de filtrage et de calcul de l'algorithme CUBE s'ensuit jusqu'à l'obtention d'une surface bathymétrique répondant aux exigences du client.

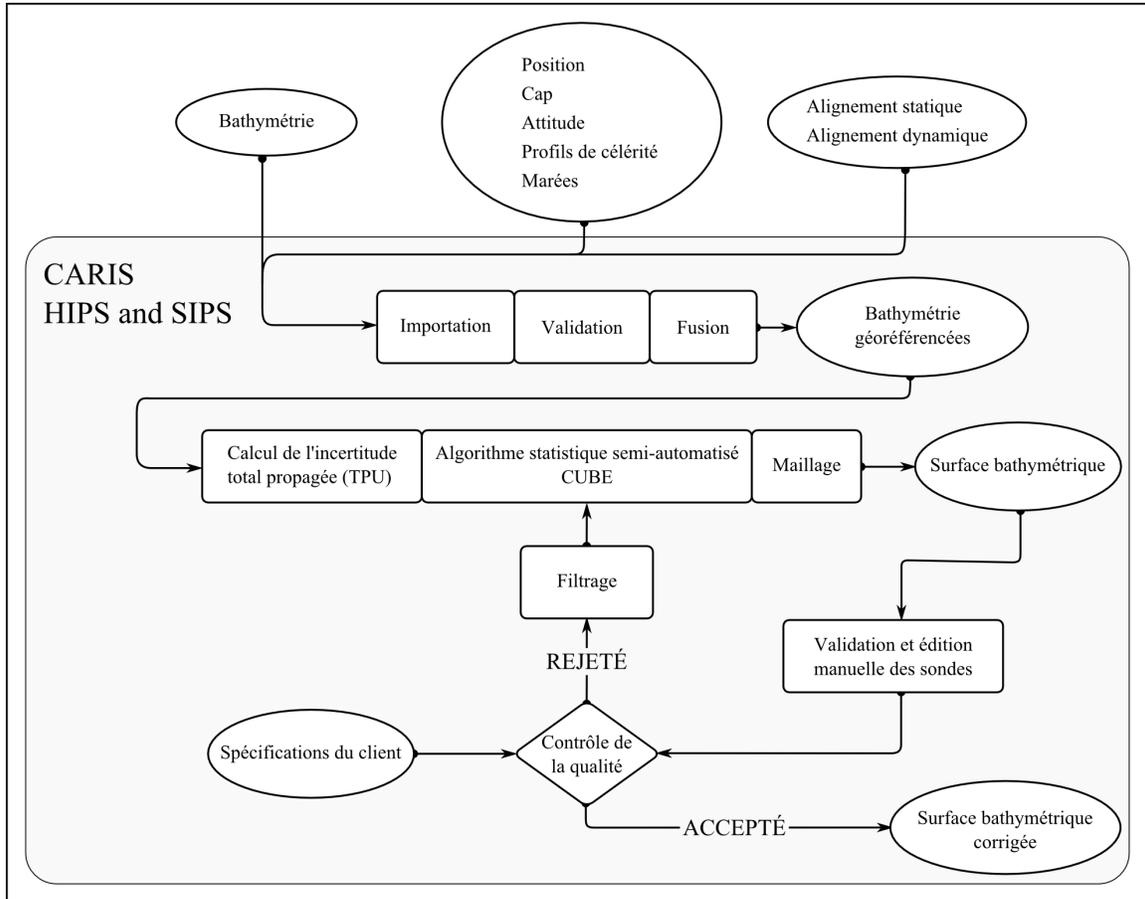


Figure 8 – Processus de traitement de données bathymétrique du CIDCO

2.4.2. SISMIQUE

Les lignes du profileur sismique sont analysées à l'aide du logiciel PostSurvey de la compagnie Knudsen Engineering. Ce logiciel permet une analyse rudimentaire des profils sismiques. Un logiciel de traitement d'images tels Adobe Photoshop ou GIMP est ensuite utilisé pour identifier les points d'intérêts.

3. DÉROULEMENT DES ACTIVITÉS

3.1. CHRONOLOGIE DES ACTIVITÉS

Les activités de terrain liées au projet de levés côtiers se sont déroulées du 25 mai au 15 septembre 2009 [figure 10]. Les opérations de planification comprises entre le 25 mai et le 14 juin se sont déroulées à Rimouski. La planification a compris les opérations suivantes :

- [1] Préparation mécanique et certification du Bec Scie
- [2] Mise à l'eau du Bec Scie
- [3] Installation des équipements de levé

- [4] Alignement statique du système d'acquisition³
- [5] Alignement dynamique (*patch-test*) du système d'acquisition³

Le transit Rimouski – Îles-de-la-Madeleine du Bec Scie s'est effectué en mer. Le transit a compris trois escales (nuitées et ravitaillements) à Sainte-Anne-des-Monts, Rivière-aux-Renards et Sainte-Thérèse-de-Gaspé. Des conditions météorologiques défavorables dans le Golfe du Saint-Laurent ont empêché d'effectuer le dernier tronçon Sainte-Thérèse-de-Gaspé à l'Étang-du-Nord jusqu'au 24 juin. Durant cette période, des tests ont été effectués afin de valider la calibration des instruments scientifiques. Diverses opérations logistiques devaient être effectuées avant le début



Figure 9 – Marégraphe du CIDCO tel qu'installé sur la jetée du port de la Pointe-aux-Loups

des opérations en mer : aménagement des installations de l'équipe terrain, gestion de l'approvisionnement en diesel pour le Bec Scie, rencontre avec les partenaires du projet, évaluation des sites portuaires. Des opérations techniques devaient également être réalisées dont l'installation d'un marégraphe nécessaire à la réduction des sondes au zéro des cartes [figure 9]. Toutes ces opérations n'ont aucunement contraint les opérations en mer, car durant cette période, les secteurs à cartographier étaient exploités pour la pêche aux homards. Environ 27 000 bouées étaient déployées autour des Îles-de-la-Madeleine. Les opérations en mer ont débuté le 5 juillet, soit le lendemain de la fin de la saison de la pêche aux homards. Quelques journées se sont avérées nécessaires pour procéder à des ajustements au système

d'acquisition de même qu'à la méthodologie employée pour effectuer les levés. À partir du 14 juillet, seules des conditions de mer défavorables ont empêché la tenue des opérations en mers. Étant donné la présence habituelle de vents dominants du secteur Ouest à partir de la mi-août, le secteur de la Pointe-aux-Loups a été cartographié en premier lieu. Les ports de l'Étang-du-Nord, Pointe-aux-Loups et Leslie (Grosse-Île) ont été utilisés comme ports d'attache. Le 1er août, la cartographie de ce secteur était complétée. La cartographie du secteur de la baie de Plaisance a commencé le 5 août et s'est poursuivie jusqu'au 8 septembre. Les ports de Cap-aux-Meules, Pointe-Basse et Havre-Aubert ont été utilisés comme ports d'attache. Deux jours ont été nécessaires pour préparer les équipements aux levés de profils sismiques et deux autres journées ont été nécessaires pour effectuer les profils sismiques dans les secteurs de la baie de Plaisance et de la Pointe-aux-Loups. Le transit de retour d'une partie de l'équipe terrain s'est effectué par avion le 15 septembre. Le Bec Scie a été ramené quelques jours plus tard par

³ Voir la section 2.3 pour une description théorique de cette opération.

l'équipe terrain étant restée aux Îles-de-la-Madeleine lorsqu'une fenêtre météorologique propice à la traversée du golfe s'est ouverte.

Les activités de traitement de données ont été effectuées en parallèle aux opérations de collecte de données à partir du 22 juillet et ont été complétées au début du mois de février. L'essentiel du traitement a été effectué à partir des bureaux du CIDCO à Rimouski.

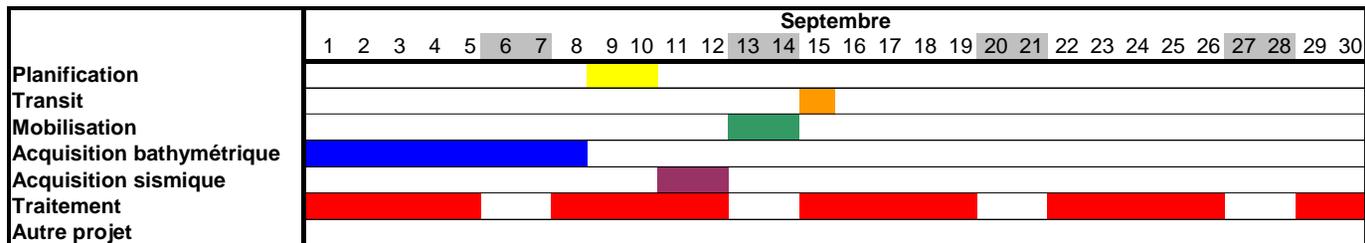
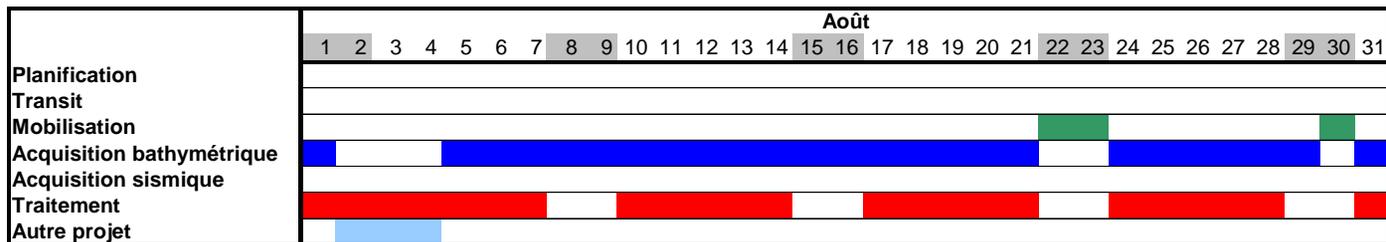
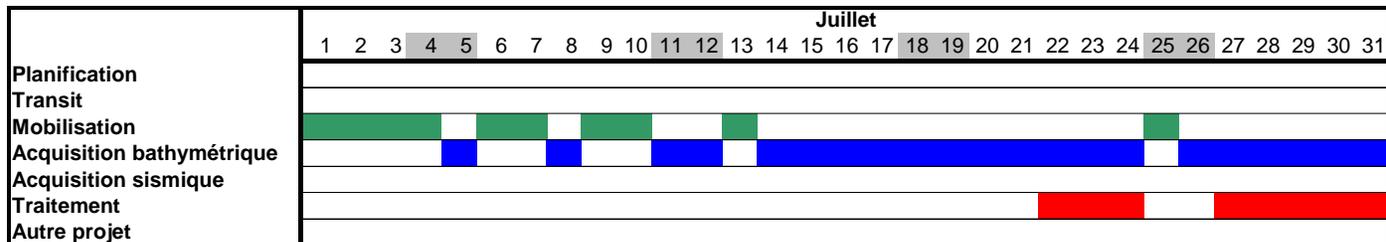
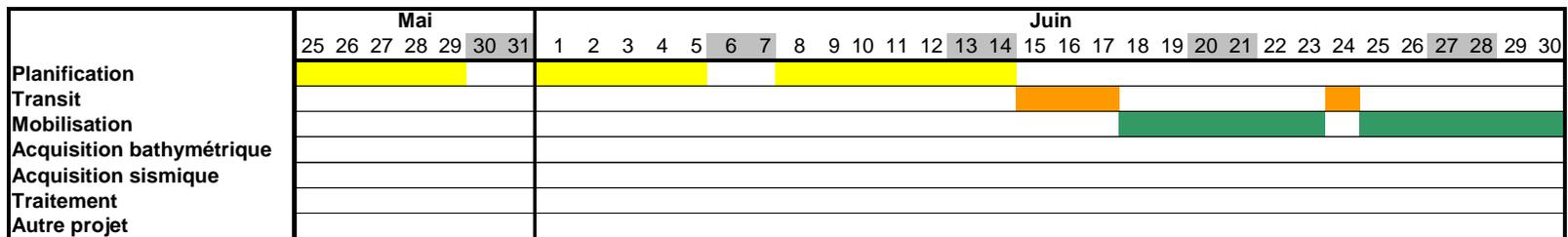


Figure 10 – Chronologie des activités terrain du projet de levés côtiers aux Îles-de-la-Madeleine. Les dates grisées représentent des fins de semaine. Pour chaque date, une couleur illustre l'activité principale durant la journée. Si aucune couleur n'est présente, la journée est un congé.



3.2. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

La figure 11 illustre les variations de la vitesse des vents pour la période de juillet à septembre 2009.

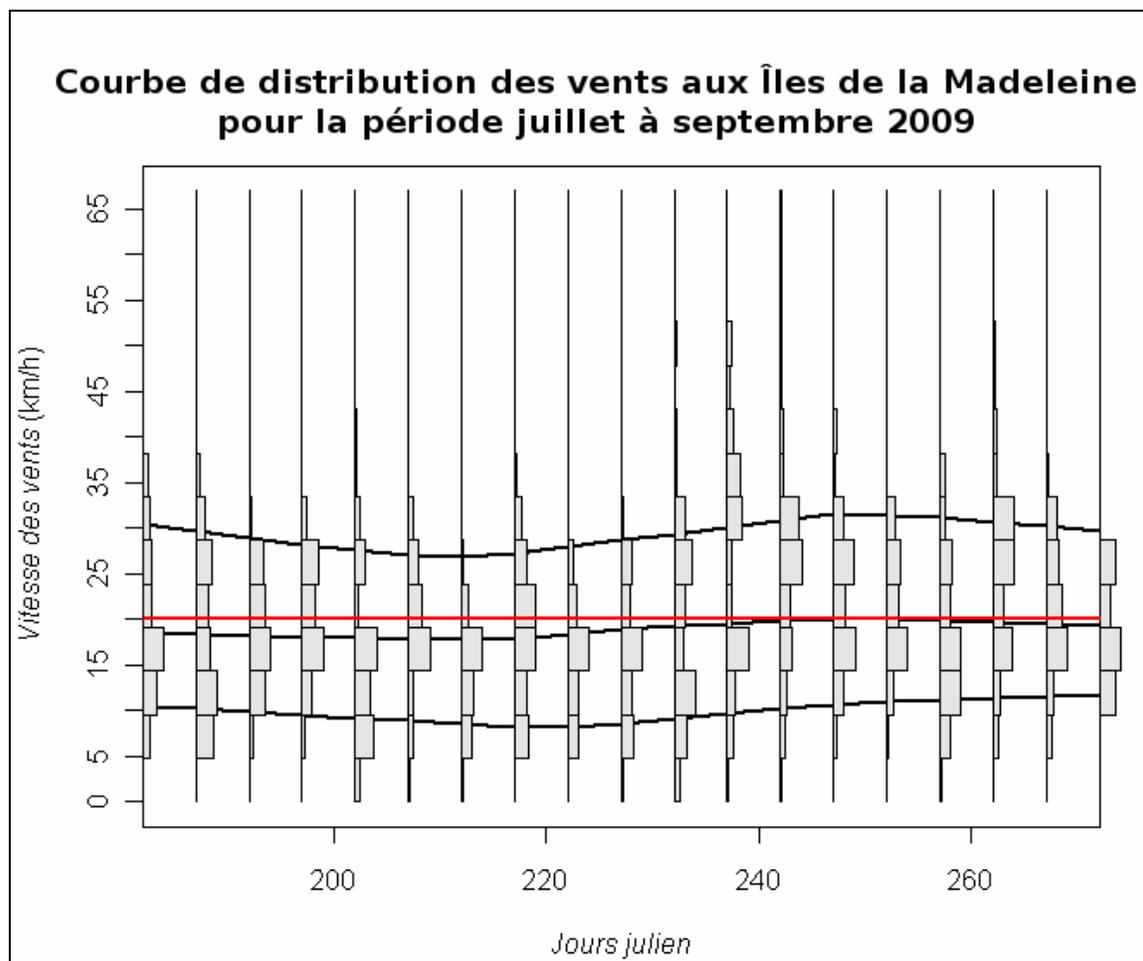


Figure 11 – Conditions météorologiques aux Îles-de-la-Madeleine pour la période de juillet – août – septembre 2009

Pour chaque groupe de 5 jours consécutifs, un histogramme des vents est calculé à partir des données horaires et est représenté. Les courbes en noir représentent respectivement l'écart-type 10%, la moyenne et l'écart-type 90% de la distribution des vents. La ligne rouge indique la vitesse des vents équivalente à la limite inférieure du rang de force 4 de l'échelle de Beaufort. Au-delà de cette limite, la collecte de données en mer est sérieusement compromise. La collecte de données dans le cadre de ce projet a donc été possible pratiquement tous les jours.

3.3. COLLECTE DE DONNÉES

3.3.1. BATHYMÉTRIE



La figure 15 et la figure 16 présente respectivement la segmentation des secteurs de levés en différentes zones pour les secteurs de la Pointe-aux-Loups et de la baie de Plaisance. Le choix de cette segmentation relève d'une stratégie adoptée afin d'optimiser le temps d'acquisition. En effet, afin de minimiser le temps de transit, le port d'attache du Bec Scie était choisi en fonction de la zone à cartographier. De plus, cette stratégie a pour effet d'optimiser la qualité des données, car il existe une forte corrélation spatiale entre les paramètres physiques de la colonne d'eau (température, salinité) de zones contiguës. Effectuer de longues lignes de levés aura pour effet de se déplacer dans des zones dont les paramètres physiques de la colonne d'eau diffèrent.

Une erreur de paramétrage de la centrale d'attitude et de positionnement a été découverte au début de la campagne de levé. Cette erreur de paramétrage a nécessité une validation de la procédure de calibration décrite dans la section 2.3. Ceci a eu pour effet de retarder le processus de traitement de données.

3.3.2. VITESSE DU SON DANS L'EAU

La relative homogénéité des profils de vitesse du son dans les eaux entourant les Îles-de-la-Madeleine a facilité la collecte de données. En effet, d'une zone à l'autre et d'un moment de la journée à l'autre les facteurs qui affectent la vitesse du son dans l'eau (pression, salinité, température) variaient peu. Le nombre de mesures de profils de vitesse a donc été restreint à 4 ou 5, tout au plus.

3.3.3. NIVEAUX D'EAU ET NIVELLEMENT

Aucun marégraphe d'observation n'étant disponible à proximité du secteur de la Pointe-aux-Loups, il s'est avéré nécessaire d'installer le marégraphe du CIDCO. En raison de son emplacement mitoyen sur le secteur, le port de pêche de la Pointe-aux-Loups a été choisi comme endroit d'installation du marégraphe. Le marégraphe a été installé le long de l'échelle située au bout du quai. Le nivellement du marégraphe par rapport au zéro des cartes a été effectué en référence au repère de nivellement 85L9207 [figure 13] dont la description est faite à la figure 12. Une équipe terrain du SHC a réalisé le nivellement de la planche à marée [figure 14]. Cette équipe faisait des travaux aux Îles-de-la-Madeleine afin de vérifier l'exactitude des repères de nivellement. Un fait important à noter est que certains doutes existaient quant à l'exactitude des repères de nivellement de la Pointe-aux-Loups. Le SHC a informé le CIDCO qu'une erreur de quelques centimètres pouvait exister entre un repère de nivellement de la Pointe-aux-Loups et le zéro de cartes. Toutefois, le CIDCO a choisi d'installer le marégraphe à la Pointe-aux-Loups en raison de :

- [1] L'emplacement stratégique du port de la Pointe-aux-Loups
- [2] La qualité du repère 85L9207 par rapport aux autres repères de nivellement de la Pointe-aux-Loups
- [3] Le fait que les données acquises ne seront pas utilisées dans des publications nautiques visant la sécurité de la navigation
- [4] La possibilité d'appliquer un correctif global ultérieurement, une fois les corrections appliquées par le SHC aux repères de nivellement de la Pointe-aux-Loups.



Figure 13 – Emplacement du repère de nivellement matricule 85L9207 de la Pointe-aux-Loups. Source : Service hydrographique du Canada

Matricule	Numéro de la station	Nom de la station	Nom du repère
85L9207	1989	Pointe-aux-Loups	85L9207
Latitude	47° 31' 50.8"	Disposition	VERTICAL
Longitude	61° 42' 47.4"	Type	Permanent Agency Marker
Établi	1985	Agence	CHS
État du repère	Good	Dernière inspection	2009
Repère de référence	Nom de la référence	Élévation (mètres)	
YES	CD	9.368	
YES	CD	9.368	
Description			
Repere d'aluminium du SHC, marque "85L9207" et ancre horizontalement sur la glaciere du cote sud.			

Figure 12 – Description du repère de nivellement matricule 85L9207 de la Pointe-aux-Loups (station #1989). Source : <http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca>

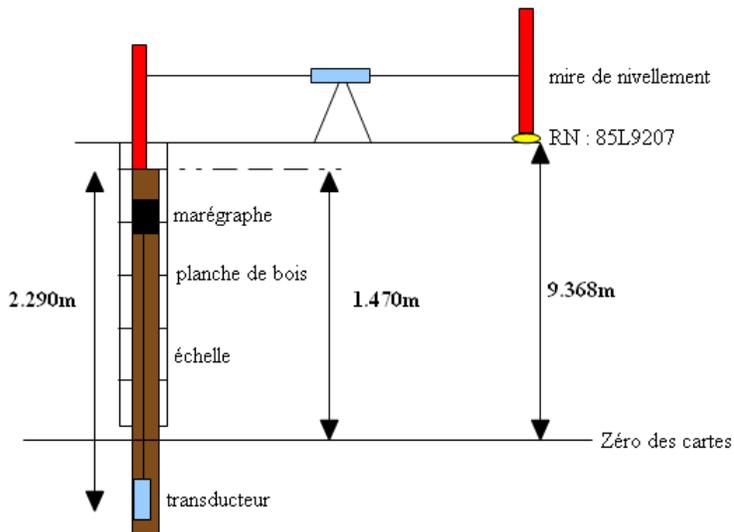


Figure 14 – Schéma du nivellement du marégraphe installé à la Pointe-aux-Loups. Noter que le schéma n'est pas à l'échelle.

Dans le secteur de la baie de Plaisance, aucun marégraphe n'a été installé. Tous les jours de levés, les données marégraphiques d'observations enregistrées par le marégraphe de Cap-aux-Meules (station #1970) étaient téléchargées sur le site des marées du SHC (<http://www.marees.gc.ca>)

3.3.4. SISMIQUE

La figure 19 illustre l'emplacement des profils sismiques effectués aux Îles-de-la-Madeleine dans le but d'évaluer l'épaisseur de sédiments meubles sur le fond marin. Les premiers échogrammes non-traités ont révélés la présence d'un fond sablonneux (connaissance *a priori*) assez compact, car la pénétration du profil sismique n'était pas très grande. De plus, l'intensité du retour acoustique sur l'interface eau-fond engendrait des échos multiples de forte intensité. Dans les zones de faible profondeur, la présence de ces échos multiples rendait la pénétration dans le fond marin encore moindre, car ils venaient masquer l'écho provenant des plus grandes profondeurs.

3.4. TRAITEMENT DE DONNÉES

3.4.1. BATHYMÉTRIE

La procédure de traitement de données bathymétriques décrite à la section 2.4.1 a été utilisée pour la première fois dans le cadre de ce projet. Antérieurement, le CIDCO utilisait une autre procédure qui nécessitait une phase de traitement préliminaire avec le logiciel SwathProcessor de la compagnie SEA suivie d'une phase de traitement plus fine à l'aide du logiciel HIPS-SIPS de la compagnie CARIS. Les avantages de cette méthode étaient la capacité de produire des surfaces bathymétriques de haute qualité et complètement validées par l'intervention de l'hydrographe affecté au traitement. Par contre, les inconvénients étaient un temps de traitement excessivement long et l'appel à l'expérience de l'hydrographe quant à la validation.

Les premières évaluations du temps nécessaire au traitement de données dans le cadre de ce projet ont rapidement révélé qu'il serait beaucoup trop long de traiter les données bathymétriques avec l'ancienne procédure en raison de l'ampleur de la couverture bathymétrique. La procédure décrite à la section 2.4.1 a donc été développée dans cette optique. L'usage de cette nouvelle procédure a démontré qu'il est possible de produire des surfaces bathymétriques validées beaucoup plus rapidement tout en introduisant au minimum la subjectivité de l'interprétation de l'hydrographe.

3.4.2. SISMIQUE

La procédure de traitement telle que décrite dans la section 2.4.2 a été utilisée.

3.4.3. PRODUITS DÉRIVÉS

Afin de faciliter l'intégration de données topographiques aux données bathymétriques, des lignes de contours et des profils bathymétriques ont été générés à partir des surfaces bathymétriques. Puisque les données topographiques sont référencées au niveau moyen des mers (NMM-CGVD28) et que les données bathymétriques sont référencées au zéro des cartes, un ajustement vertical doit être effectué. Suite à cela, des lignes de contours au 50cm de profondeur sont produites et exportées au format Shapefile. Les profils bathymétriques sont également produits à partir de la surface bathymétrique référencée au niveau moyen des mers et choisis en

fonction de profils topographiques précédemment mesurés par la Chaire de recherche en géoscience côtière de l'UQAR.

4. RÉSULTATS

4.1.1. BATHYMÉTRIE

Les surfaces bathymétriques générées par le processus de traitement bathymétrique sont présentées en annexe à la figure 17 (Pointe-aux-Loups) et à la figure 18 (Baie de Plaisance). Ces surfaces sont également disponibles en version électronique sur DVD⁴.

4.1.2. SISMIQUE

Les profils sismiques sont présentés en annexe de la figure 20 à la figure 30. Deux facteurs importants ont révélé la limite de l'utilisation du profileur sismique aux Îles-de-la-Madeleine. Tout d'abord, la nature du fond marin (sable compacté) rend la pénétration plus difficile que dans un fond plus argileux ou vaseux. Ceci se note par la force du réflecteur de surface, c.-à-d. à l'interface eau-fond. Deuxièmement, à faible profondeur d'eau, le signal acoustique est réfléchi de multiples fois dans la colonne d'eau. Dès l'arrivée du premier écho multiple (identifié dans les profils sismiques par un pointillé vert) au profileur sismique, le signal acoustique provenant des couches inférieures se trouve masqué. Pour l'interprétation des profils, il faut donc se limiter à la partie au-dessus du pointillé vert.

L'absence de données de validation telles des carottes sédimentaires rend difficile, voire quasi-impossible, l'interprétation de la nature géologique des faciès acoustiques présents dans les profils sismiques. Il est impératif de connaître le contexte géologique dans lequel les profils ont été acquis. Tout de même, la comparaison des profils permet d'interpréter certaines informations. Entre autre, la présence de réflecteurs identifiant des faciès acoustiques différents à des profondeurs similaires (2-3 mètres de profondeur) dans plusieurs profils (#1, #4, #6, #9, #10 et #12) permet de supposer l'existence d'une couche sédimentaire de densité différente à cette profondeur.

Il est important de noter que, dans toutes les figures, les profondeurs mesurées sont approximatives en raison de la vitesse de propagation du son variable selon la nature des couches sédimentaires. De plus, contrairement aux produits bathymétriques, les profondeurs sismiques n'ont pas été réduites au zéro des cartes. Elles sont référencées au niveau d'eau instantané.

4.1.3. PRODUITS DÉRIVÉS

Les produits dérivés ne figurent pas dans ce rapport ni sur DVD. Ils seront fournis directement à la Chaire de recherche en géoscience côtière de l'UQAR.

5. CONCLUSION

Le projet de levés côtiers pour l'évaluation de la dynamique sédimentaire aux Îles-de-la-Madeleine a nécessité la collecte et le traitement de données permettant de caractériser le fond marin dans les secteurs de la Pointe-aux-Loups et de la baie de Plaisance. Une bathymétrie haute-résolution (1m de résolution spatiale) a été produite à l'aide d'un sonar interférométrique,

⁴ Voir section Information générale pour une description du contenu du DVD

de même que des profils sismiques à l'aide d'un profileur sismique. Des lignes de contours et des profils bathymétriques ont été produits à partir des surfaces bathymétriques. Ces produits serviront à une étude de caractérisation géomorphologique et sédimentologique du littoral le long de la route 199 aux Îles-de-la-Madeleine visant à trouver des solutions alternatives à la protection de la route 199.

6. RÉFÉRENCES

Gosnell, C., 2005. Efficacy of an interferometric sonar for hydrographic surveying: Do interferometers warrant an in-depth examination?. *Hydrographic Journal*, 118, pp. 17-24.

Michaud, M., 2009. Devis : Réalisation de levés côtiers pour l'évaluation de la dynamique sédimentaire et l'analyse de solutions d'adaptation aux changements climatiques aux Îles-de-la-Madeleine. , Dossier X005.1, pp. 1-12.

Pélouas, A., 2009. Au Québec, un archipel se mobilise contre l'érosion. *Le Monde*, 17 août 2009.

7. ANNEXE



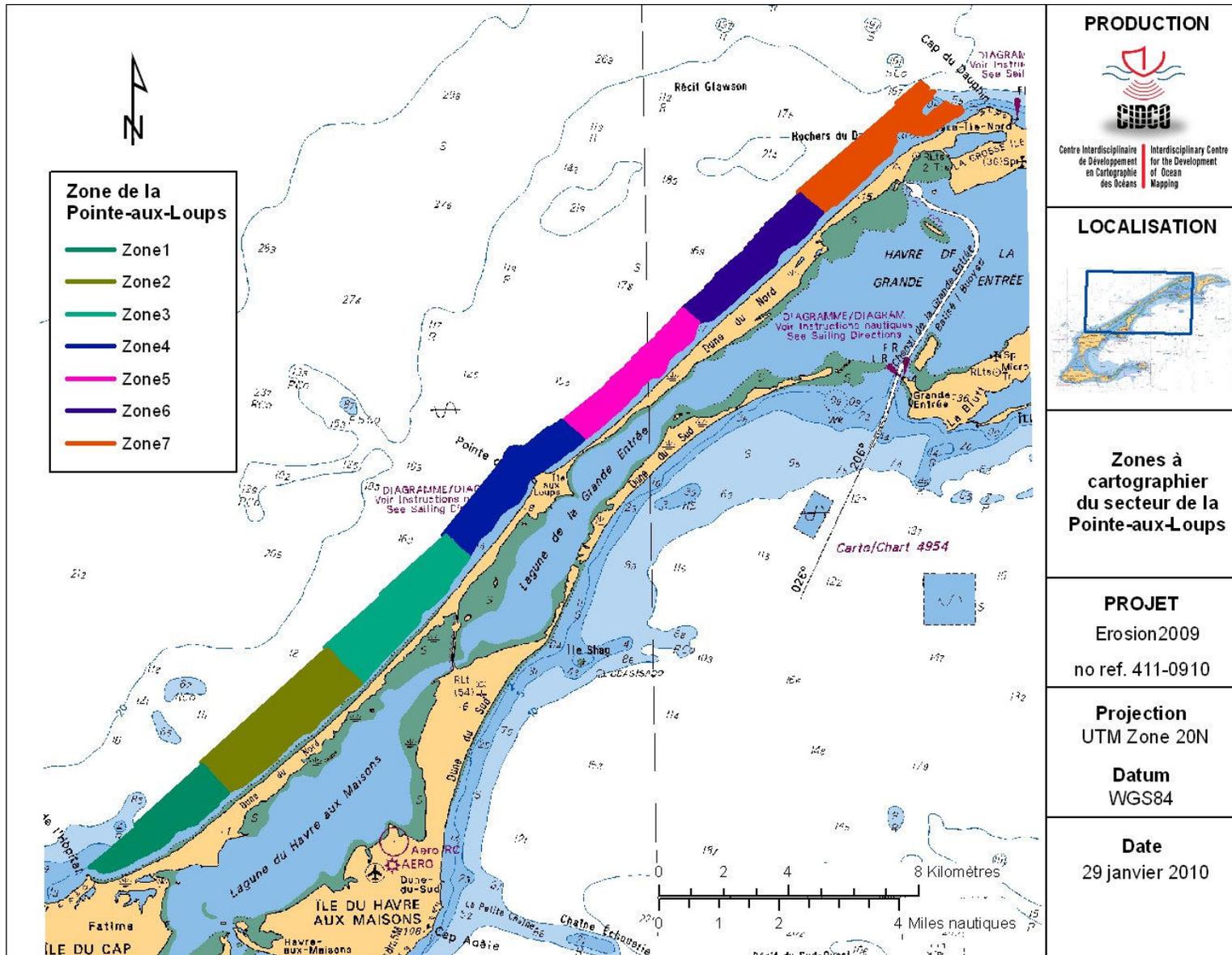


Figure 15 – Segmentation du secteur de la Pointe-aux-Loups en sept zones



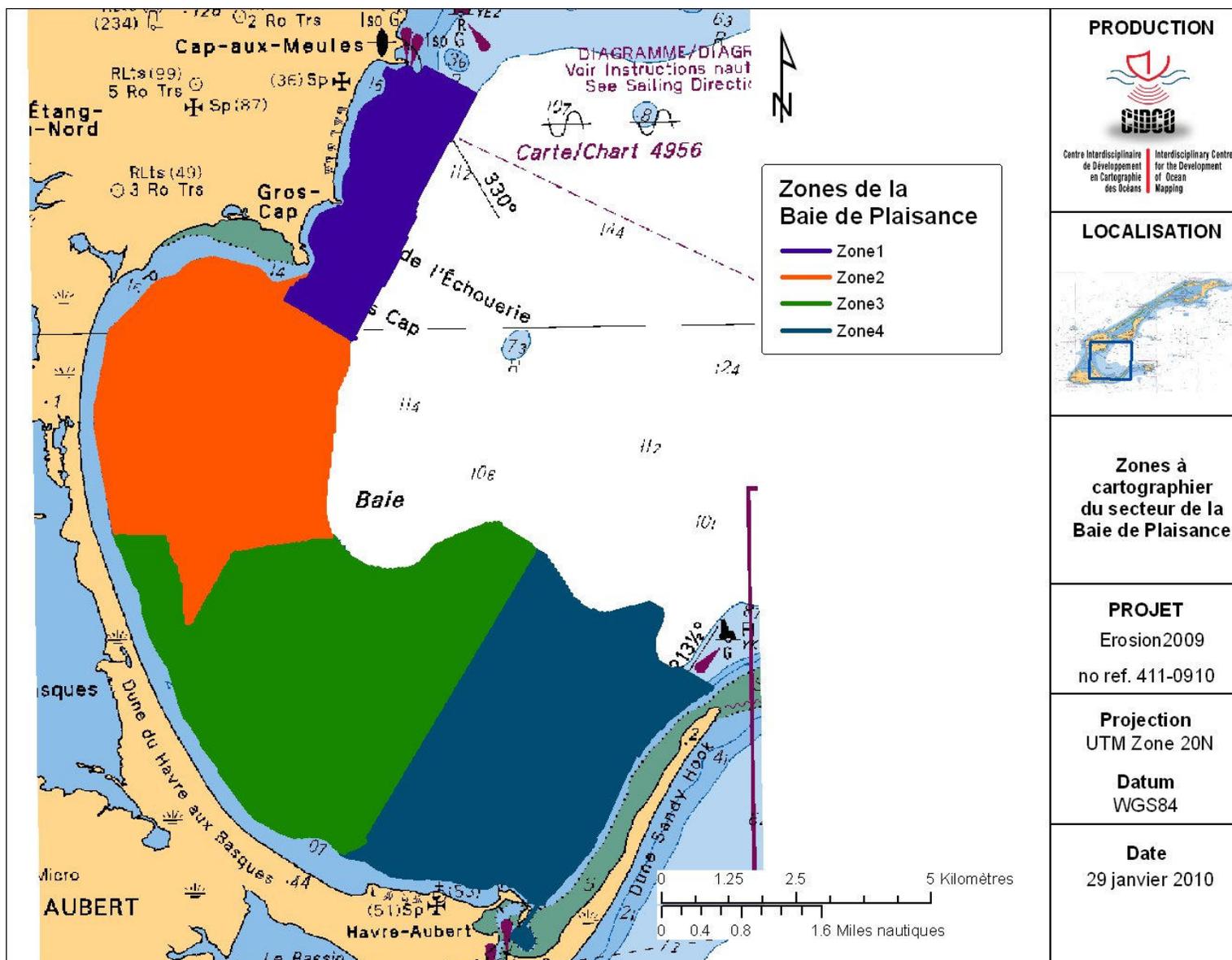


Figure 16 – Segmentation du secteur de la baie de Plaisance en quatre zones



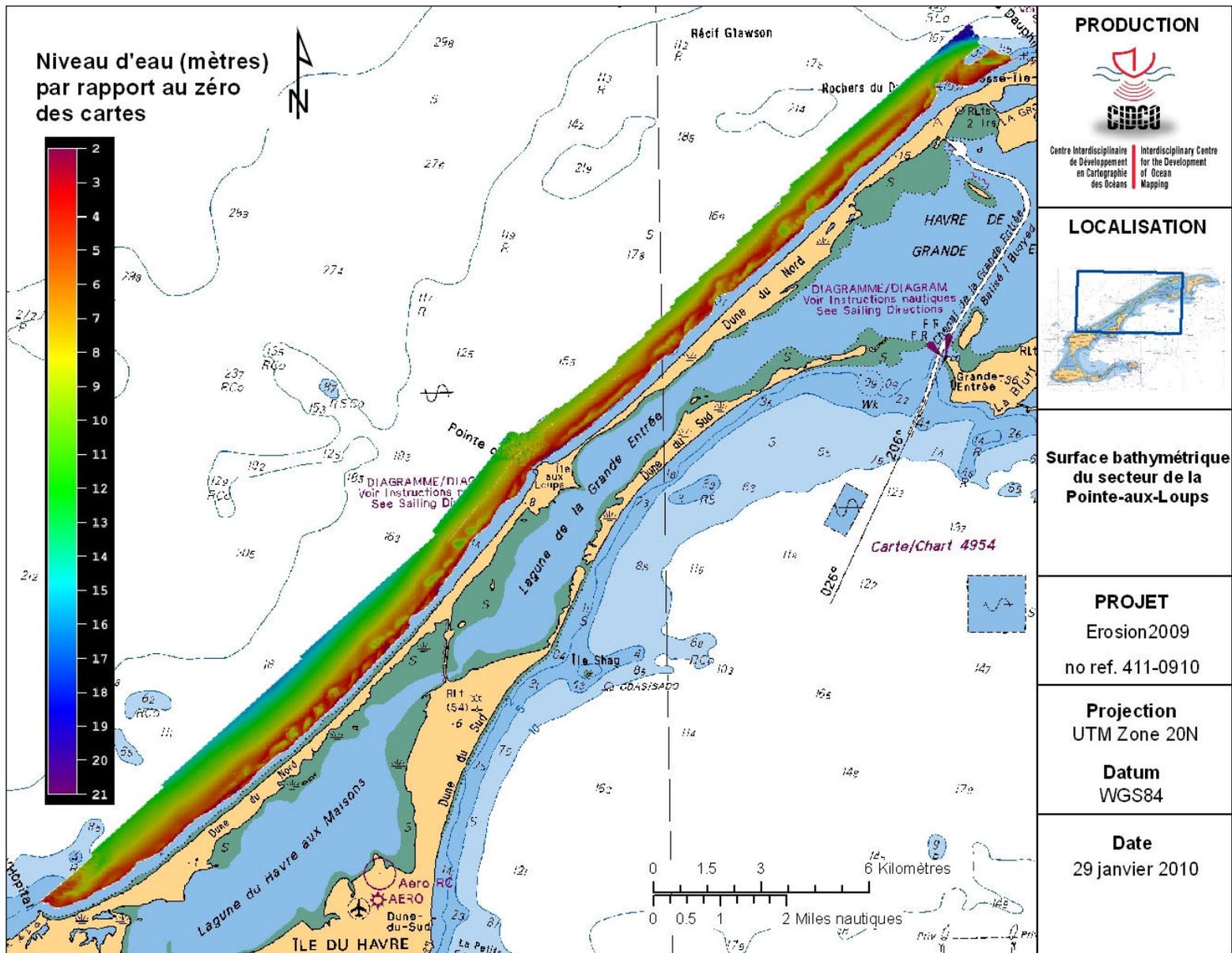


Figure 17 – Surface bathymétrique de la Pointe-aux-Loups



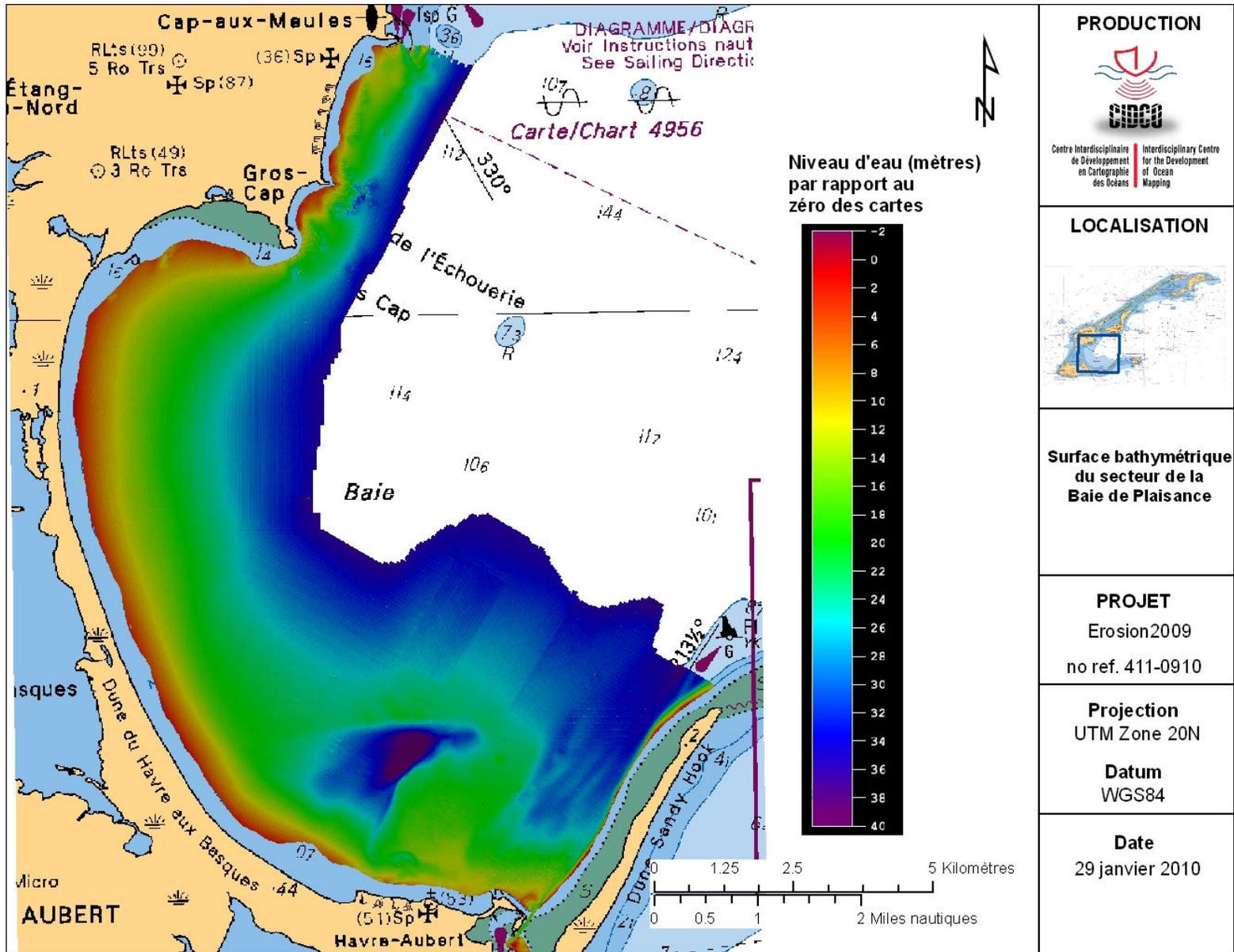


Figure 18 – Surface bathymétrique de la baie de Plaisance



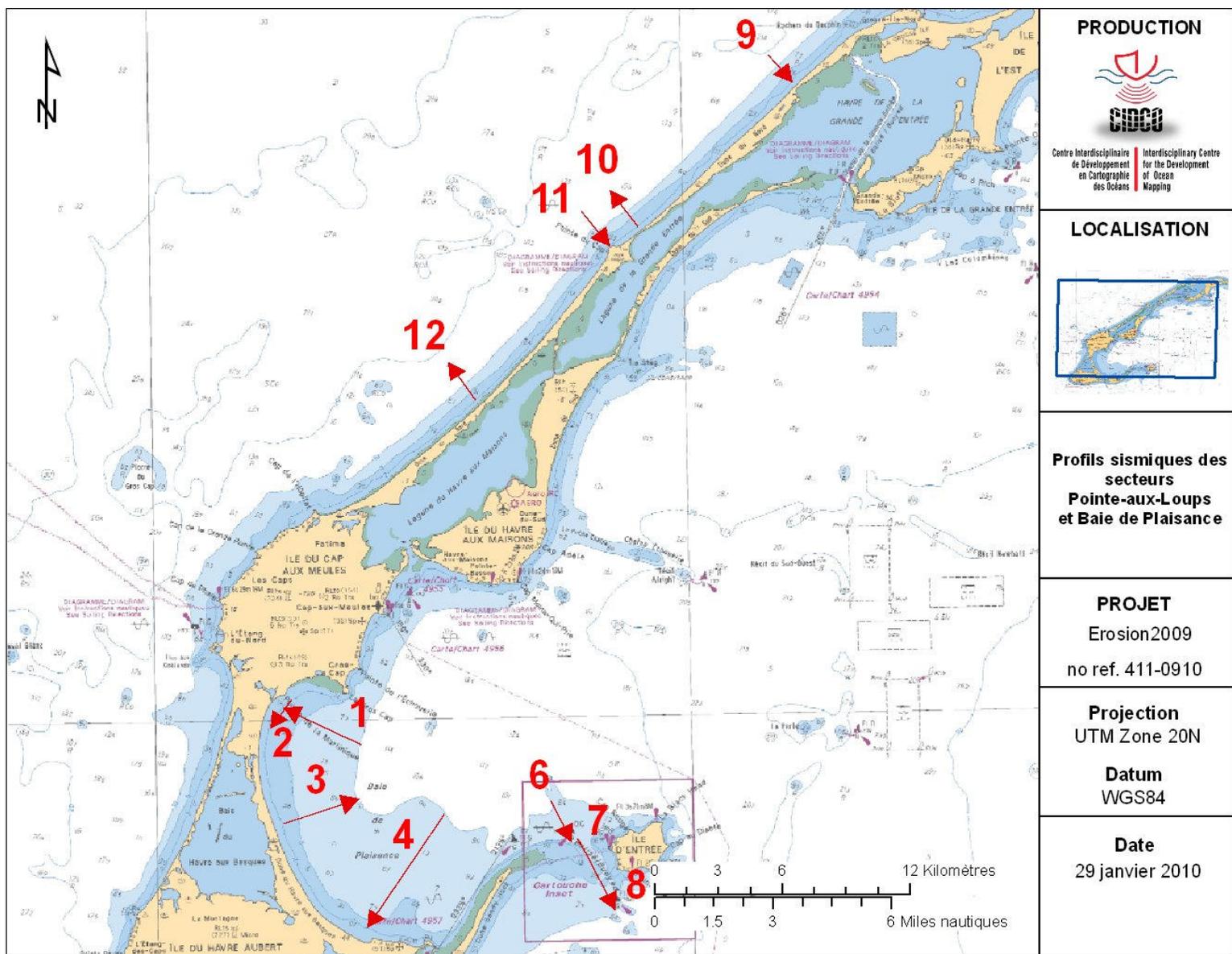


Figure 19 – Profils sismiques des secteurs de Pointe-aux-Loups et de la baie de Plaisance



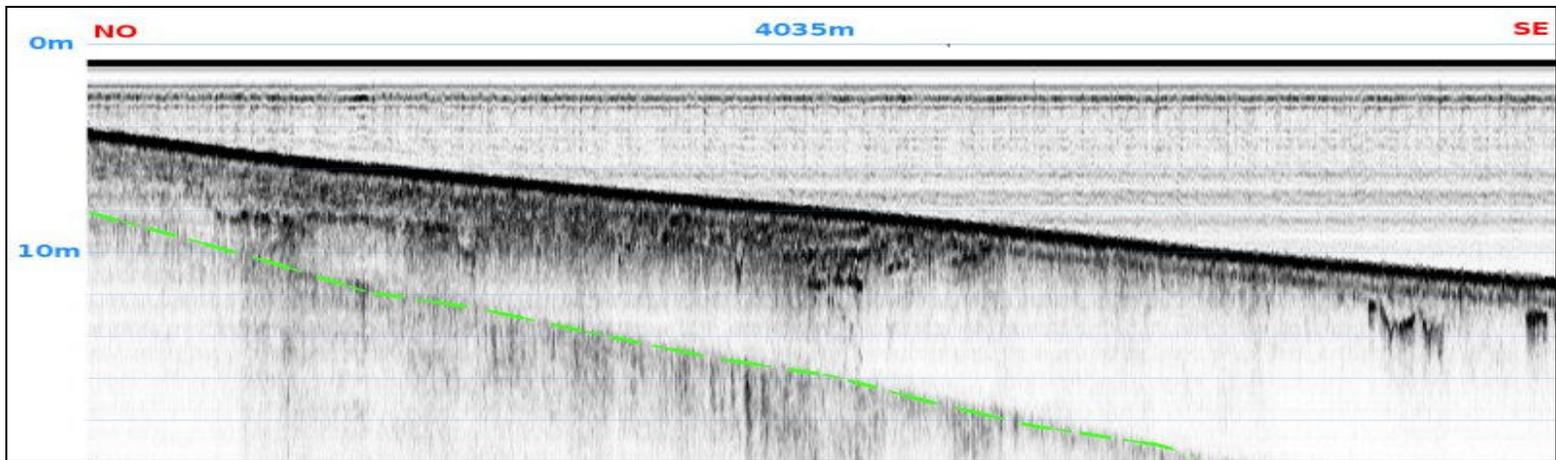


Figure 20 – Profil sismique #1 (Baie de Plaisance) dans la Figure 19. On note la présence de réflecteurs à 2-3m de profondeur. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Les profondeurs sont approximatives.

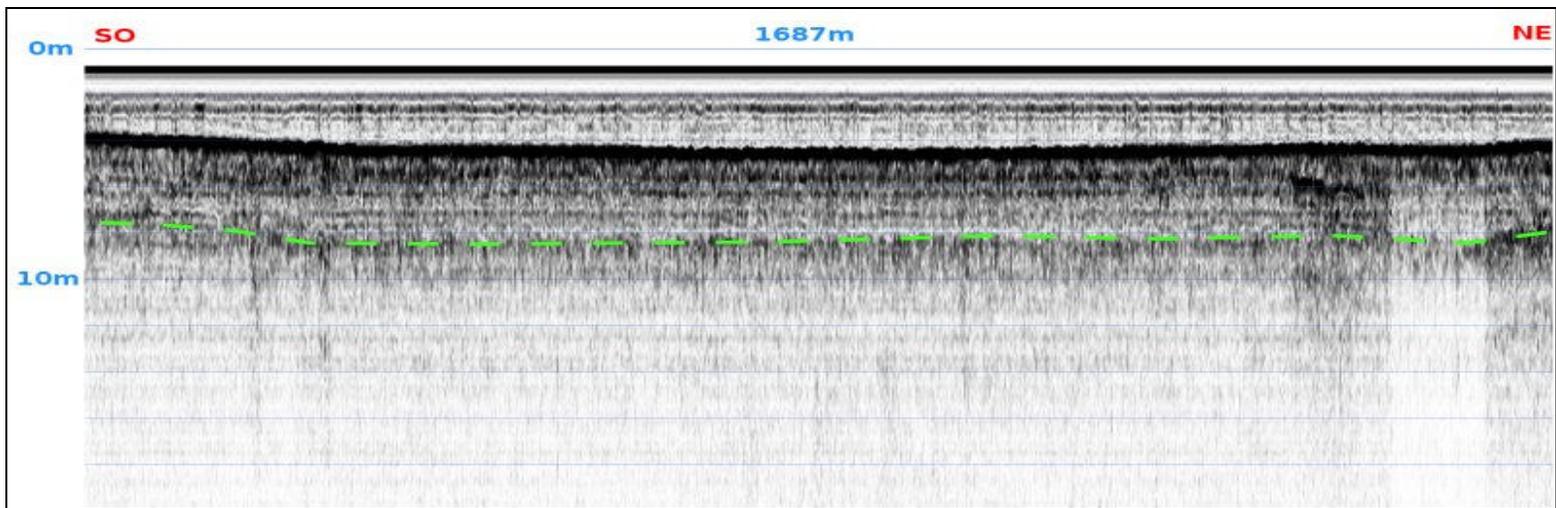


Figure 21 – Profil sismique #2 (Baie de Plaisance) dans le Figure 19. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Les profondeurs sont approximatives.

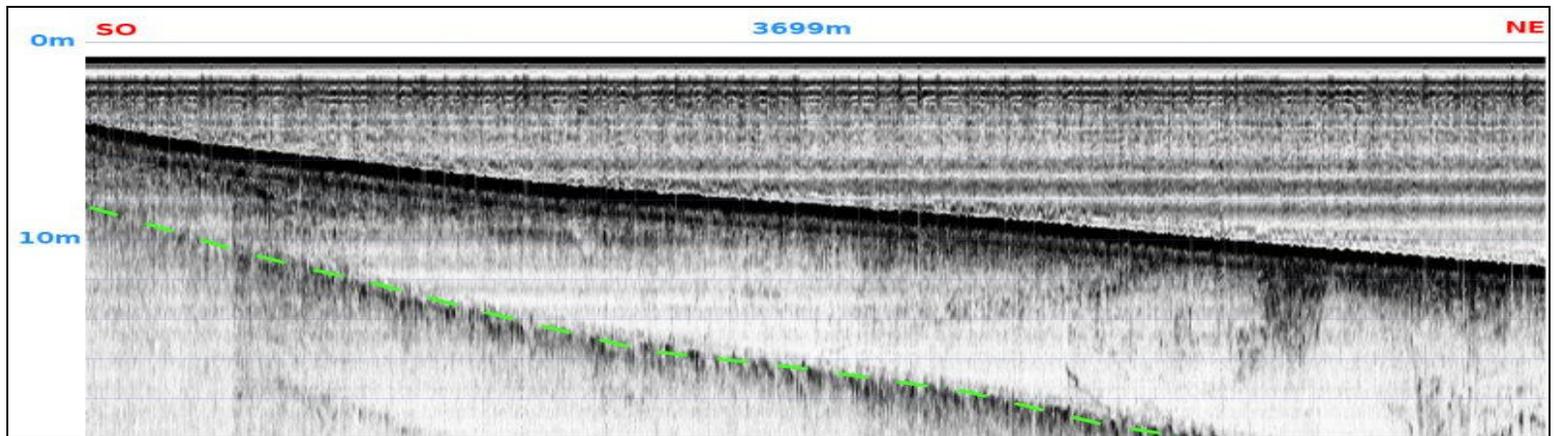


Figure 22 – Profil sismique #3 (Baie de Plaisance) dans la Figure 19. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Les profondeurs sont approximatives.

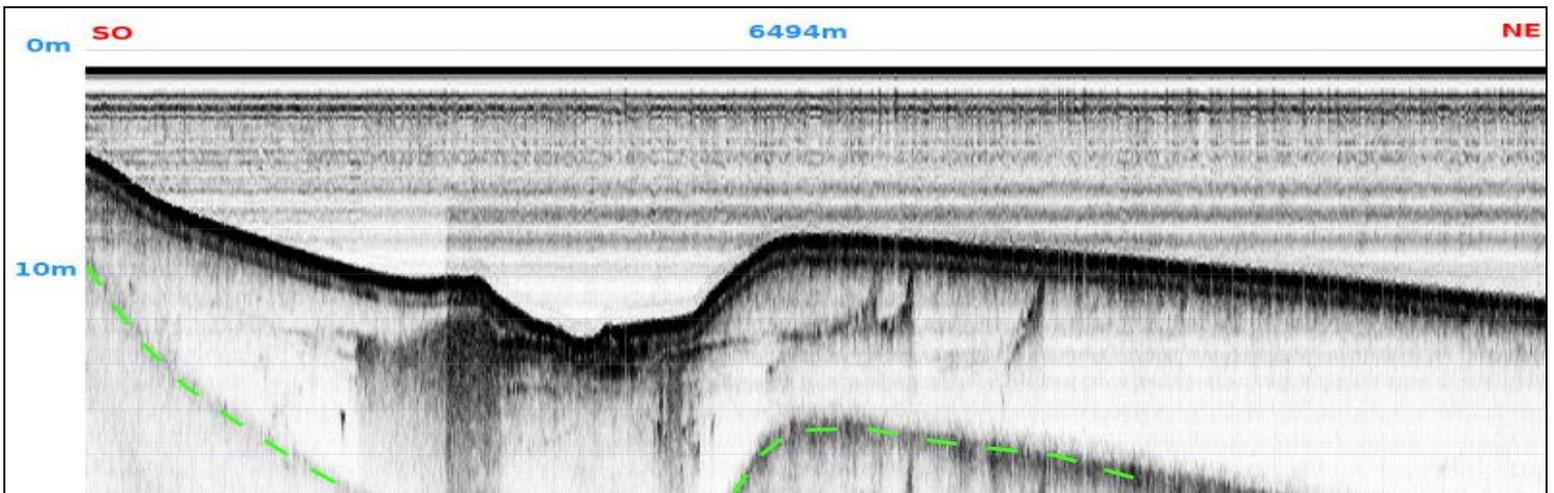


Figure 23 – Profils sismique #4 (Baie de Plaisance) dans la Figure 19. On note la présence d'un fort réflecteur au niveau de la dépression. Le réflecteur se poursuit à 2-3m de profondeur autour de la dépression. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Les profondeurs sont approximatives.

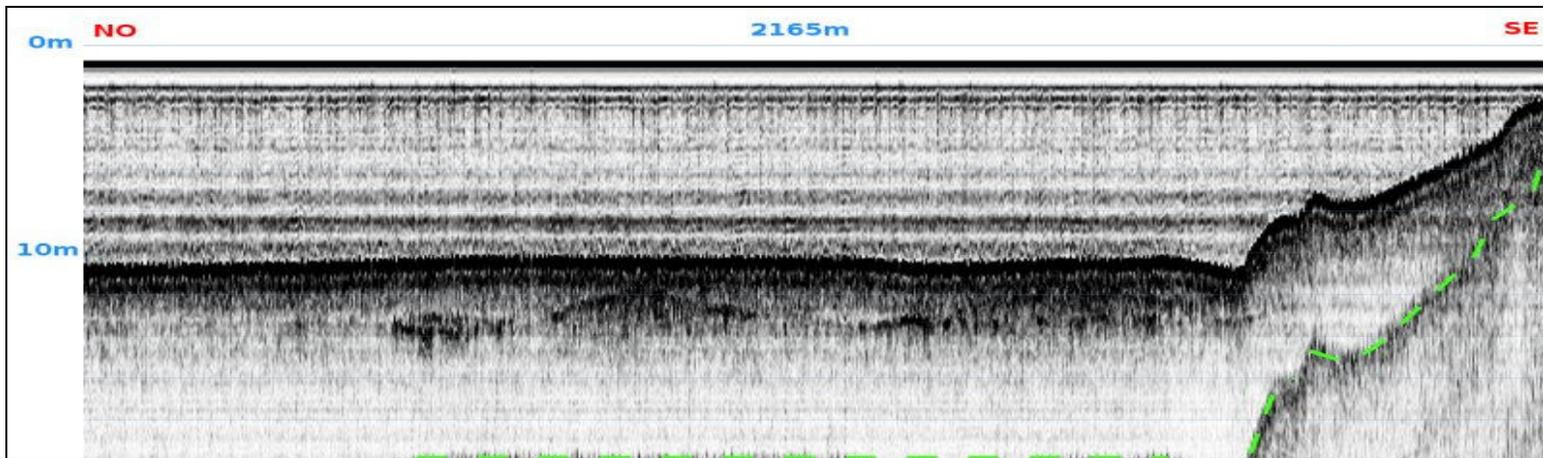


Figure 24 – Profil sismique #6 (Sandy Hook) dans la Figure 19. On note la présence de réflecteurs à 2-3m de profondeur qui semble se poursuivre au-delà de la remontée située au Sud-Est. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Les profondeurs sont approximatives.

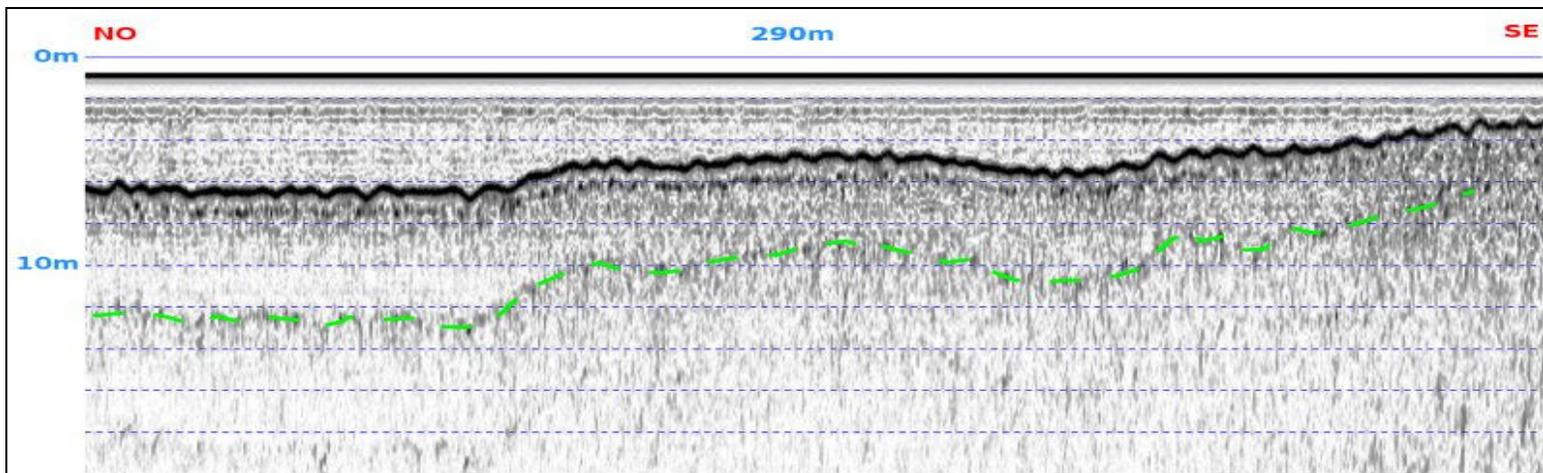


Figure 25 – Profil sismique #7 (Sandy Hook) dans la Figure 19. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Les profondeurs sont approximatives.

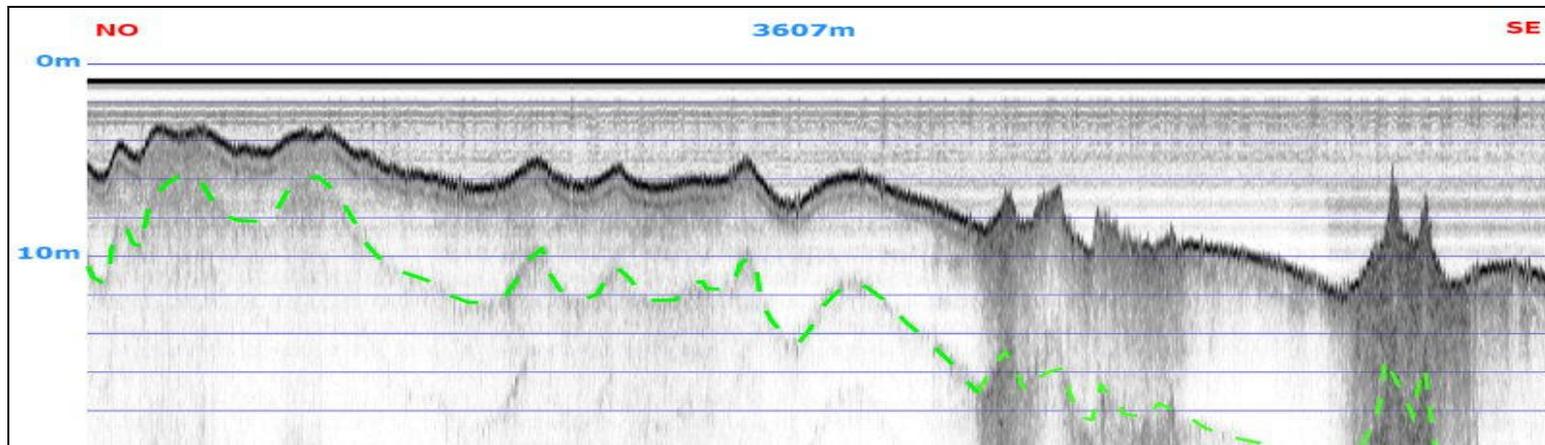


Figure 26 – Profil sismique #8 (Sandy Hook) dans la Figure 19. Les zones plus foncées au Sud-est correspondent à un changement de gain du profileur sismique. On note tout de même une réponse acoustique différente sur l'écho de surface dans ces zones. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Les profondeurs sont approximatives.

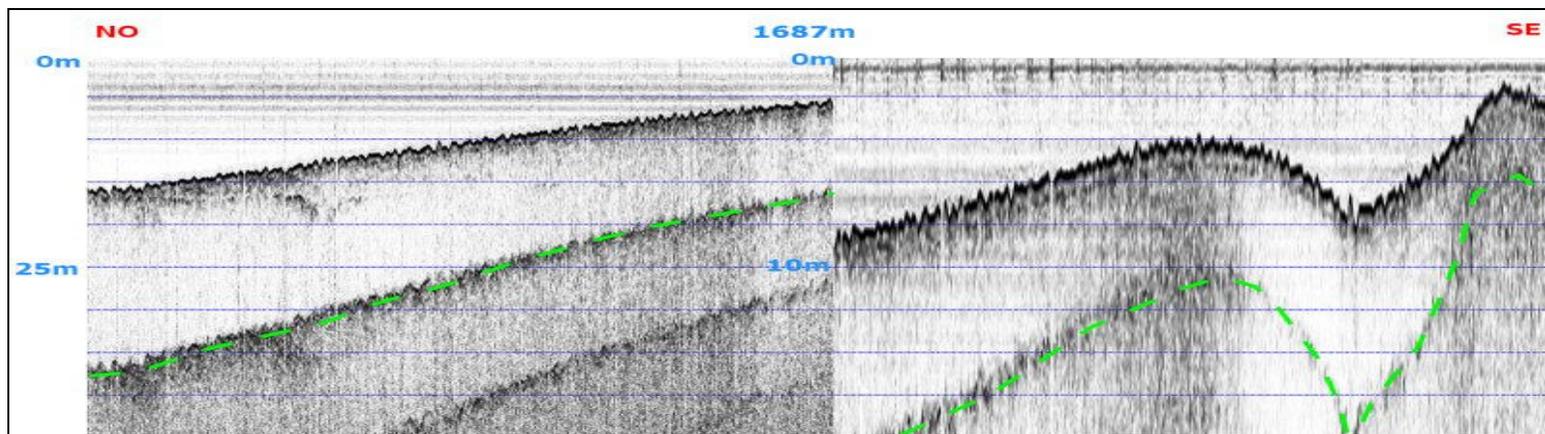


Figure 27 – Profil sismique #9 (Pointe-aux-Loups) dans la Figure 19. Les zones plus foncées au Sud-est correspondent à un changement de gain. On note la présence d'un réflecteur acoustique à 2-3m au Nord-ouest. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Un changement de portée explique le changement d'échelle. Les profondeurs sont approximatives.

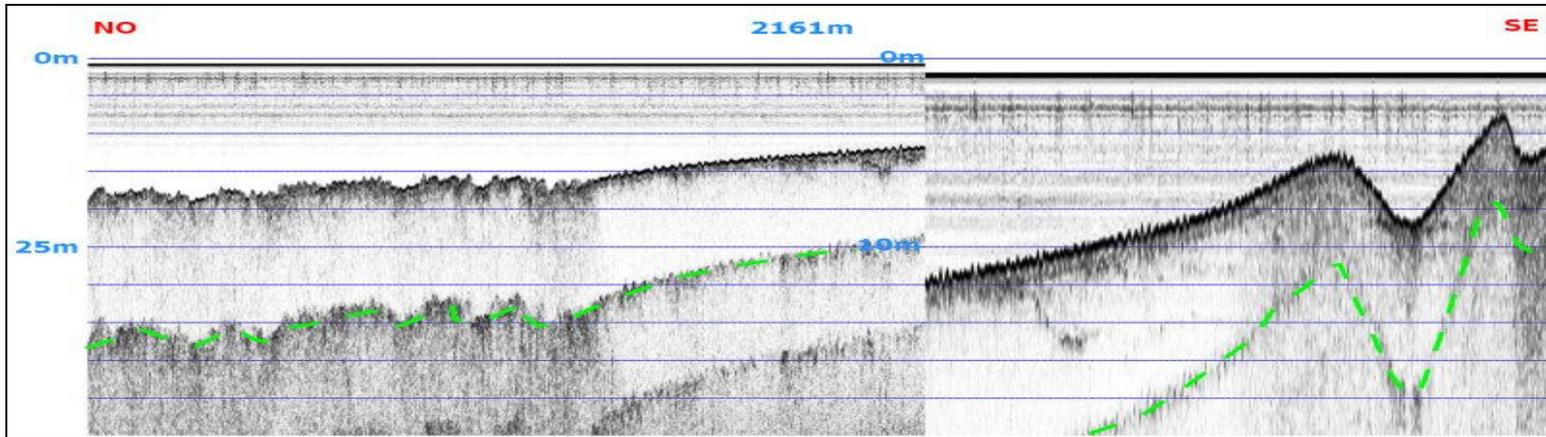


Figure 28 – Profil sismique #10 (Pointe-aux-Loups) dans la Figure 19. Les zones plus foncées au Sud-est correspondent à un changement de gain. On note la présence d'un réflecteur à 2-3m de profondeur au Sud-est. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Un changement de portée explique le changement d'échelle. Les profondeurs sont approximatives.

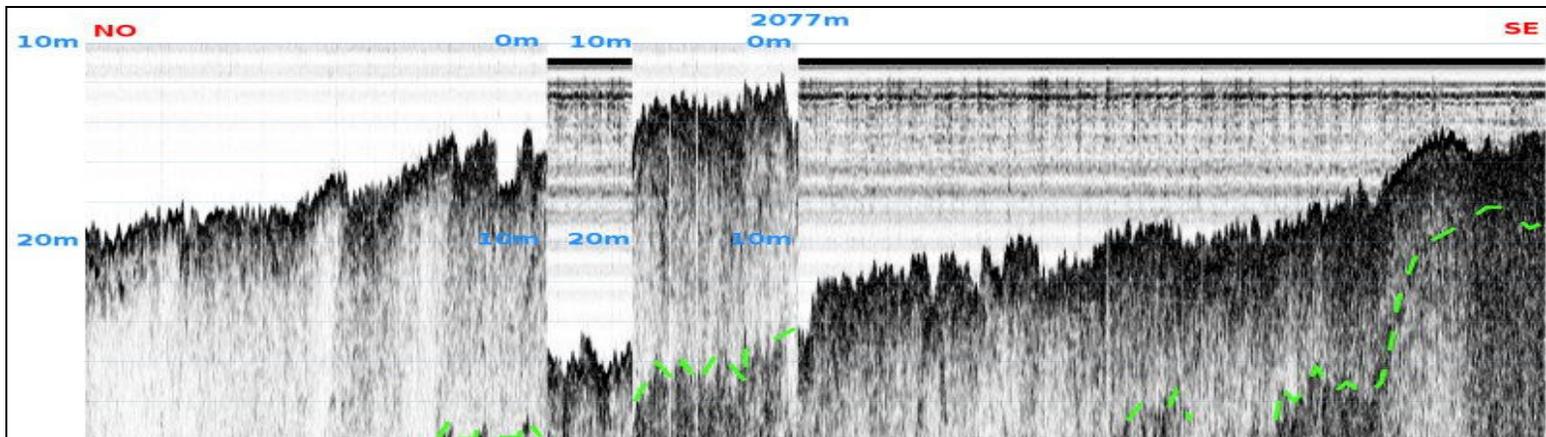


Figure 29 – Profil sismique #11 (Pointe-aux-Loups) dans la Figure 19. Les zones plus foncées au Sud-est correspondent à un changement de gain. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Un changement de portée explique les changements d'échelle. Les profondeurs sont approximatives.

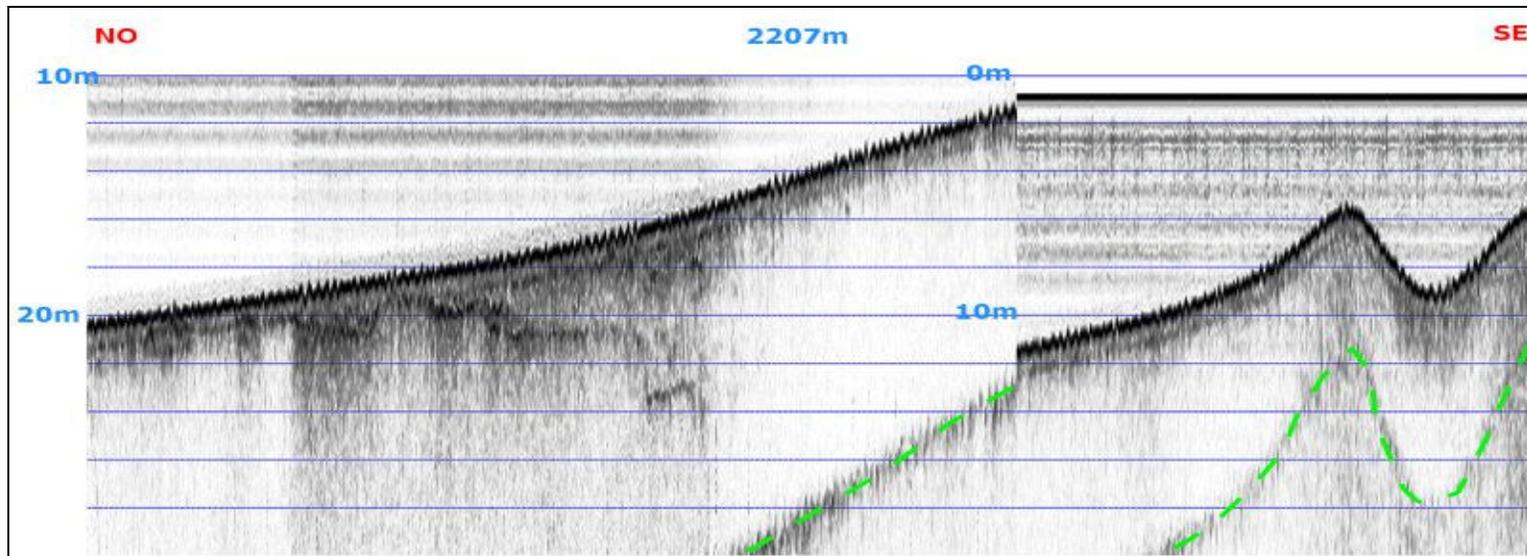
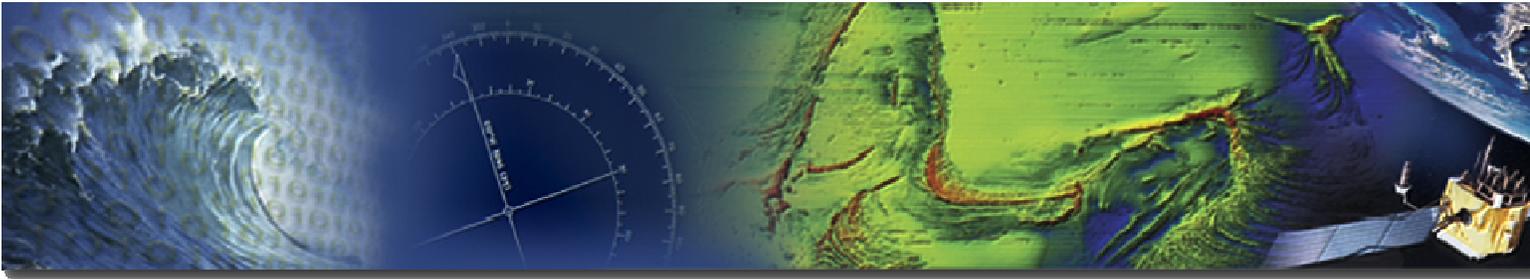


Figure 30 – Profil sismique #12 (Pointe-aux-Loups) dans la Figure 19. Les zones plus foncées au Nord-ouest correspondent à un changement de gain. On note la présence d'un réflecteur à 2-3m qui s'étend jusqu'à 8m de profondeur. Le premier écho multiple est numérisé en pointillés verts. Un changement de portée explique le changement d'échelle. Les profondeurs sont approximatives.



Centre Interdisciplinaire
de Développement
en Cartographie
des Océans

Interdisciplinary Centre
For the Development
Of Ocean
Mapping