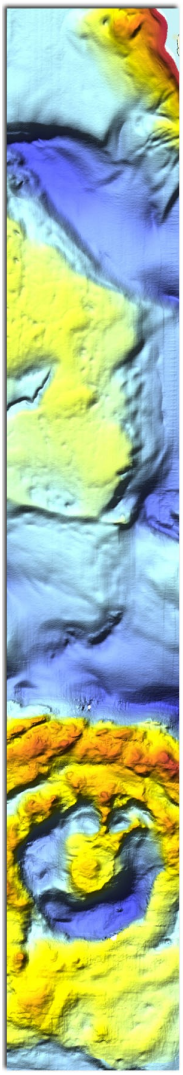
Service hydrographique du Canada

NORMES
POUR LES LEVÉS HYDROGRAPHIQUES



PRÉFACE

Les normes suivantes sont basées sur la plus récente édition de la publication spéciale n°44 (S-44) de l'OHI et sur les anciennes normes du Service hydrographique du Canada (SHC).

Il convient de noter que la publication de nouvelles normes n'invalide pas les cartes et les publications nautiques établies d'après les normes précédentes, mais établit plutôt les normes concernant une future collecte de données afin de mieux répondre aux besoins des utilisateurs. Les bureaux régionaux sont encouragés à procéder à des estimations de la précision en matière de position et de profondeur des levés hydrographiques exécutés antérieurement à la mise en œuvre de ces nouvelles normes.

Cette publication a pour objectif principal de préciser les normes en matière de levés hydrographiques afin que les données hydrographiques recueillies conformément à ces normes soient suffisamment précises et que l'incertitude spatiale des données soit quantifiée de manière adéquate.

Les précédentes éditions des normes du SHC étaient principalement axées sur les procédures et les précisions à atteindre pour les levés hydrographiques en vue de la compilation des cartes marines. Ces nouvelles normes n'incluent pas les procédures qui se retrouvent dans d'autres documents. Le SHC, doit utiliser ces nouvelles normes en conjonction avec les Lignes directrices pour les levés hydrographiques, les procédures du système qualité ISO et les guides de codification. Ces normes fournissent une base permettant aux équipes d'acquisition de données du SHC et aux organismes de collecte de données hydrographiques de connaître les normes à atteindre pour satisfaire les exigences du SHC, en matière de qualité des données hydrographiques.

Préparé par : ***Service hydrographique du Canada***
Pêches et Océans Canada

Février 2021, Édition 4

Liste des changements majeurs

N.	Date	Section	Description
1	2010-03-25	2.4	Un paragraphe a été ajouté pour préciser l'ordre à utiliser lors du positionnement des aides à la navigation et autres entités.
2	2012-02-01	1	Révision du tableau 1. Changer la nomenclature des ordres et les descriptions afin qu'ils correspondent à ceux de OHI S-44, 5ième édition. Toutes les références aux ordres dans le document ont été remplacées.
3	2012-02-01	2.1	Dans le 4ième paragraphe, une clarification sur l'utilisation des références horizontales a été ajoutée.
4	2012-02-01	2.2	La référence aux « Ordres sur les levés GPS du SHC » a été enlevée et remplacée par une référence aux agences géodésiques nationales ou provinciales.
5	2012-02-01	2.3	Dans le 3ième paragraphe, l'exception sur la précision du positionnement des sondages a été enlevée.
6	2012-02-01	2.4	Révision du tableau 1. Changer la nomenclature des ordres et les descriptions afin qu'ils correspondent à ceux de OHI S-44, 5ième édition.
7	2012-02-01	3.1	Enlever les références aux niveaux d'eau astronomiques.
8	2012-02-01	3.2	Enlever les références aux références verticales astronomiques.
9	2012-02-01	4.2.1	Dans la 3ième phrase du 1ier paragraphe, ajout de la clarification suivante : « en accord avec la centrale d'attitude de référence".
10	2012-02-01	4.3.1	La fin de la dernière phrase a été changée pour « Lors de la planification des mesures de profils de vitesse du son, il est important de considérer le type d'instrument acoustique utilisé lors du levé. Les autres utilisations potentielles des données de vitesse du son doivent également être considérées. ».
11	2012-02-01	4.3.3.1	Le dernier paragraphe a été reformulé pour que l'utilisation de senseurs de mesure du son à la surface de l'eau soit obligatoire pour tous les types de transducteurs.
12	2012-02-01	6.1	Ajout d'une référence au document : *CUBE - Traitement et analyse de données – (SHC Février 2012)*
13	2012-02-01	8.3	Remplacer « Erreur totale propagée (ETP) » par « "Incertitude totale propagée (Total Propagated Uncertainty TPU) ».
14	2013-04-04	4.4	Toute la section a été modifiée pour inclure les SEMF.
15	2019-11-22	5.6	Ajout d'une nouvelle sous-section pour la rétrodiffusion.
16	2021-02-02	1.0	Correction des fautes d'orthographe, retrait de la référence à l'édition S-44
17			
18			
19			
20			

INTRODUCTION

L'hydrographie connaît des changements fondamentaux dans le domaine de la technologie des mesurages. L'introduction de systèmes satellitaires de positionnement, de systèmes acoustiques multifaisceaux et multi transducteurs ainsi que de logiciels de traitement de données sophistiqués ont drastiquement changé la façon d'effectuer des levés hydrographiques. Ces avancées technologiques permettent maintenant aux différents organismes d'acquérir des données de plus haute précision et conséquemment le besoin de rafraîchir les normes d'acquisition de données. Il est donc nécessaire d'établir de nouvelles normes en fonction de ces avancements technologiques.

Les précisions de positionnement requises dans les éditions précédentes des Normes du SHC reposaient, dans une grande mesure, sur les limitations pratiques du dessin à une échelle donnée. La gestion automatisée des données permet de représenter ces dernières à toutes les échelles. Par conséquent, les prescriptions relatives à la précision doivent donc être fonction des erreurs apportées par les systèmes de positionnement et de sondage, mais sont principalement basées sur l'utilisation probable des données.

Ces nouvelles normes sont basées sur celles de l'OHI. Le SHC a adopté les conclusions du groupe de travail S44 de cet organisme sur l'évaluation de la technologie des équipements de mesurage à l'effet qu'il est vraisemblable que des levés hydrographiques continueront à être exécutés à l'aide d'échosondeurs simple faisceau ne produisant que des profils discrets du fond de la mer, tandis que les techniques permettant une investigation du fond à 100% sont et seront employées dans des zones critiques et/ou dans des zones pour lesquelles une couverture totale est requise. Cette constatation a amené le SHC à retenir le concept d'espacement des profils bien que celui-ci ne soit plus directement lié à l'échelle du levé.

En ce qui concerne la spécification des précisions relatives à la profondeur, cette norme diffère des versions précédentes et établit des prescriptions relatives à la précision en fonction de l'importance de la sécurité nautique de la zone relevée. Les prescriptions les plus rigoureuses comportent des précisions plus élevées qu'auparavant. Par contre, en ce qui concerne les zones moins critiques pour la navigation, les prescriptions ont été assouplies. En outre, cette version des normes formule une nouvelle prescription, à savoir que les chargés de projet doivent s'efforcer d'attribuer à toute nouvelle donnée une estimation de son erreur probable.

L'équipement et les procédures utilisés pour respecter les normes établies dans le présent document sont expliqués en détail dans le guide de gestion des levés et les procédures du système qualité.

1 CLASSIFICATION de la bathymétrie

En vue d'une classification systématique des différentes prescriptions en matière de précision pour les zones à relever et pour permettre la classification d'anciens levés, six ordres de levés ont été définis. Ils sont décrits ci-dessous ainsi que dans le Tableau 1 qui résume l'ensemble des prescriptions et constituent, en fait, l'essentiel des normes.

Contrairement à la norme S44 de l'OHI, la couverture totale à 100% n'est pas obligatoire. Le Service hydrographique du Canada recommande très fortement d'obtenir une couverture totale dans les zones critiques, mais dans certaines circonstances (besoin des clients, les coûts, le temps, etc.), il est possible que ce ne soit pas réalisable.

Une autre différence majeure avec la norme S44 de l'OHI est la façon de classifier les levés. La classification est divisée en quatre composantes : la précision horizontale, la précision verticale, la capacité de détection d'objets et le type de couverture. Par exemple, un levé peut atteindre une précision horizontale de l'ordre spécial, une précision verticale et une capacité de détection d'objet de l'ordre 1a et le type de couverture peut être de 1a (couverture complète).

TABLE 1
Normes pour les levés hydrographiques

	ORDRE	Exclusif	Spécial	1a	1b	2	3 (Imprécis)
	Exemples de zones type	Eaux peu profondes dans : Ports, zones d'accostage et chenaux critiques associés avec profondeur d'eau sous quille minimum, levés d'ingénierie	Ports, zones d'accostage et chenaux critiques associés avec profondeur d'eau sous quille minimum.	Zones de fonds inférieurs à 100 mètres où la hauteur d'eau sous quille est moins critique, mais où il existe des éléments pouvant engager la sécurité de la navigation de surface	Zones de fonds inférieurs à 100 mètres où la hauteur d'eau sous quille n'est pas considérée comme un problème pour le type de navigation de surface attendue dans la zone.	Zones de fonds généralement supérieurs à 100 mètres où une description générale du fond est considérée comme suffisante.	Toutes les zones qui ne rencontrent pas les exigences des ordres précédents
H	**Précision horizontale** (Niveau de confiance 95%)	1m	2m	5m + 5% de la profondeur	5m + 5% de la profondeur	20m + 10% de la profondeur	> 20m + 10% de la profondeur
V	**Précision pour les profondeurs réduites** (niveau de confiance 95%) (1)	*a* = 0.15m *b* = 0.0075	*a* = 0.25m *b* = 0.0075	*a* = 0.5m *b* = 0.013	*a* = 0.5m *b* = 0.013	*a* = 1.0m *b* = 0.023	Identique à l'ordre 2
D	**Capacité de détection du système**	Entités > 0.5x0.5x0.5m	Entités > 1x1x1m	Entités > 2x2x2m dans des profon-deurs jusqu'à 40m; 10% de la profon-deur au-delà 40m (3)	Non applicable	Non applicable	N/A

	Type de couverture (M270)	
C	1. Couverture complète	(multifaisceaux, multi transducteurs, balayage acoustique);
	2. Levés systématiques	(Lignes de sondage simple faisceau espacées également suivant un patron prédéfini, systèmes aéroportés);
	3. Couverture éparse	(Levés effectués au plomb de sonde, reconnaissance, Levés en route, sondages ponctuels);
	4. Non levé	

Lignes directrices pour les levés simple faisceau et sondage ponctuel

SBES	**Espacement maximum entre les lignes** (4)	Le plus petit de : 3x la profondeur moyenne ou 25m jusqu'à 10m de profondeur; ou 50m entre 10 et 40m de profondeur; ou 100m pour des profondeurs de plus de 40m. Un espacement de ligne plus serré peut être requis dans les zones douteuses.	Le plus petit de : 3-4x la profondeur moyenne ou 200m.	Le plus petit de : 3x la profondeur moyenne ou 1000m.	N/A

(1) Pour calculer les limites d'erreur en matière de précision de la profondeur, les valeurs correspondantes de *a* et de *b* données dans le tableau 1 doivent être introduites dans la formule :

$$\pm\sqrt{[a^2+(b*d)^2]}$$

ou *a*..... est l'erreur de profondeur constante, c'est-à-dire la somme de toutes les erreurs constantes en mètres
*b*d*.... est l'erreur dépendante de la profondeur, c'est-à-dire la somme de toutes les erreurs dépendantes de la profondeur
b..... est le facteur de l'erreur dépendante de la profondeur
d..... est la profondeur en mètres

(2) Pour des raisons de sécurité de la navigation, l'utilisation d'un balayage mécanique réglé de manière adéquate pour garantir une marge de sécurité minimum dans la zone peut être considérée comme suffisante pour les levés de l'ordre Spécial et de l'ordre 1a.

(3) La valeur de 40m a été choisie en tenant compte du tirant d'eau maximum prévu des navires.

(4) L'espacement entre les profils peut être réduit ou augmenté si des procédures permettant d'assurer une densité de sondage adéquate sont mises en œuvre (voir 4.4.2 Espacement entre profils).

Les différentes lignes du Tableau 1 s'expliquent comme suit :

Ligne 1 "Exemples de zones types" fournit des exemples de zones auxquelles un ordre de levé peut s'appliquer.

Ligne 2 "Précision horizontale" liste les précisions minimales de positionnement pour chaque profondeur devant être atteintes pour répondre à chaque ordre de levé.

Ligne 3 "Précision pour les profondeurs" indique les paramètres à utiliser pour calculer les précisions minimales des profondeurs réduites devant être obtenues pour chacun des ordres de levés.

Ligne 4 "Capacité de détection du système" précise les capacités de détection des systèmes utilisés pour l'investigation du fond lorsque l'investigation du fond à 100% est requise.

Ligne 5 "Type de couverture" spécifie la couverture du fond basée sur le système et la méthodologie utilisée pour réaliser un levé.

Ligne 6 "Espacement maximum entre les lignes" doit être interprété comme :

- espacement entre les lignes de sonde pour les sondeurs simple faisceau, et
- distance entre les limites extérieures des fauchées pour les systèmes de sondage surfacique.

Le tableau ci-dessus donne les différentes précisions requises pour les différentes régions ou zones à sonder tout dépendant de l'ordre du levé hydrographique. L'ordre Exclusif exige le niveau de précision le plus élevé alors que l'ordre 3 exige le niveau de précision le moins élevé.

La détection d'objets implique que le signal sonore couvrira le fond pour la pleine largeur du signal provenant d'un système multifaisceaux ou multi transducteurs et qu'il n'y aura pas de zones sans couverture entre deux lignes de sondage adjacentes. Quand l'objet à détecter est plus petit, une couverture de 200% est recommandée. Ceci implique que la même largeur de surface du fond marin sera couverte au moins deux fois par un minimum de deux fauchées indépendantes d'un système multifaisceaux ou multi transducteurs.

Ceci ne veut pas nécessairement dire que les éléments ou entités cubiques auront tous été détectés. La détection des entités cubiques telle que spécifiée pour les différents ordres de levés dépendra des facteurs suivants :

- la vitesse de la plate-forme de sondage
- la profondeur d'eau (un système multi transducteurs n'assurera pas une couverture totale dans des eaux peu profondes)
- la stabilité de maintenir une navigation en ligne droite
- l'angle du faisceau
- la largeur du faisceau
- la vitesse des impulsions sonores

Bien qu'un échosondeur soit techniquement capable de détecter les entités cubiques telles que définies à la section Capacité de détection du Tableau 1, des efforts devront être faits pour assurer que tous les éléments cubiques aient été détectés lors d'une investigation du fond à 100%.

1.1 Ordre Exclusif

Les levés hydrographiques de l'ordre Exclusif sont basés sur l'ordre Spécial de l'OHI avec une plus grande précision et leur utilisation se limite aux zones en eau peu profonde (ports, zones d'accostage, et chenaux critiques associés) où il y a utilisation optimale de la colonne d'eau disponible, où la profondeur d'eau sous quille est minimum et où les caractéristiques du fond sont

potentiellement dangereuses pour les bâtiments. Cette norme est aussi applicable aux travaux d'ingénierie de grande précision. Toutes les sources d'erreur doivent être minimisées. L'ordre Exclusif requiert, en plus d'un système de positionnement très précis et l'utilisation de lignes de sonde très rapprochées (ou la détection d'objets est requise) et un contrôle rigoureux des tous les aspects des levés.

L'utilisation d'un sonar à balayage latéral, ou des équipements multi transducteurs ou les échosondeurs multifaisceaux à haute résolution est requise afin d'obtenir une investigation du fond à 100%. Il faut s'assurer que les éléments cubiques de plus de 0.5x0.5x0.5m peuvent être discernés par l'équipement et les méthodes de sondage appropriés. L'utilisation du sonar à balayage latéral conjointement avec un échosondeur multifaisceaux ou avec les équipements à multi transducteurs peut s'avérer nécessaire dans les zones susceptibles d'abriter des pinacles et des obstacles dangereux.

1.2 Ordre Spécial

Les levés hydrographiques de l'ordre Spécial se limitent aux zones où la profondeur d'eau sous quille est minimum et où les caractéristiques du fond sont potentiellement dangereuses pour les bâtiments. Ces zones doivent être explicitement désignées par l'agence responsable de la qualité des levés (ports, zones d'accostage, et chenaux critiques associés). Toutes les sources d'erreur doivent être minimisées. L'ordre Spécial requiert l'utilisation de lignes de sonde très rapprochées (lorsque la détection d'objets est requise).

L'utilisation d'un sonar à balayage latéral, ou les équipements multi transducteurs, ou les échosondeurs multifaisceaux à haute résolution est requise afin d'obtenir une investigation du fond à 100%. Il faut s'assurer que les éléments cubiques de plus de 1x1x1m peuvent être discernés par l'équipement et les méthodes de sondage appropriés. L'utilisation du sonar à balayage latéral conjointement avec un échosondeur multifaisceaux peut s'avérer nécessaire dans les zones susceptibles d'abriter des pinacles et des obstacles dangereux.

1.3 Ordre 1a

Les levés hydrographiques de l'ordre 1a sont destinés aux ports, aux chenaux d'approche des ports, aux routes recommandées, aux voies de navigation intérieures et aux zones côtières où la densité du trafic commercial est élevée, où la profondeur d'eau sous quille est moins critique et où les caractéristiques géophysiques du fond sont moins dangereuses pour les navires (fonds sablonneux ou vaseux, par exemple). Les levés de l'ordre 1a doivent se limiter aux zones où la profondeur d'eau est inférieure à 100m. Bien que les prescriptions pour l'investigation du fond soient moins rigoureuses que pour l'ordre Exclusif et l'ordre Spécial, la couverture totale est requise dans certaines zones choisies où les caractéristiques du fond et les risques d'obstructions sont potentiellement dangereux pour les navires. Pour ces zones il convient de s'assurer que l'équipement utilisé permet de discriminer les éléments cubiques de plus de 2x2x2m dans des profondeurs pouvant atteindre 40m ou que, dans les zones plus profondes les obstacles représentant plus de 10% de la profondeur peuvent être détectés.

1.4 Ordre 2b

Les levés hydrographiques de l'ordre 2b sont conçus pour les zones dont la profondeur est inférieure à 200m non couvertes par l'ordre Exclusif, l'ordre Spécial et l'ordre 1a et où une description générale de la bathymétrie suffit pour s'assurer qu'il n'y a pas sur le fond d'obstructions mettant en danger le type de bâtiment supposé transiter ou opérer dans la zone. La couverture totale est requise dans certaines zones choisies où les caractéristiques du fond et les risques d'obstructions sont potentiellement dangereux pour les navires.

1.5 Ordre 2

Les levés hydrographiques de l'ordre 2 sont conçus pour toutes les zones non couvertes par l'ordre Exclusif, l'ordre Spécial, ou par les ordres 1a et 1b, dans des profondeurs supérieures à 200m.

1.6 Ordre Imprécis

Cet ordre a été conçu pour permettre la classification d'anciens levés imprécis excédant les précisions des ordres précédents. Il ne doit pas être utilisé pour déterminer la précision de nouveaux levés.

1.7 Classification par Ordre

Le choix de technologie est normalement fait en fonction de l'ordre spécifique à atteindre. La classification de la bathymétrie s'applique à un ensemble de données et peut inclure plusieurs différents de systèmes et/ou embarcations. L'ordre est déterminé par la moindre précision obtenue dans un ensemble de données. Il est recommandé de séparer les types de levés afin de faciliter l'identification du type de levé. Il est fortement recommandé de classer les levés en utilisant des méthodes statistiques après avoir complété ces levés. Si l'utilisation de méthode statistique n'est pas praticable, les techniques doivent être rigoureusement contrôlées afin d'obtenir les meilleurs résultats.

Notes :

- Pour l'ordre Exclusif, l'ordre Spécial et l'ordre 1a, le chargé de projet peut définir une profondeur au-delà de laquelle une investigation détaillée du fond marin n'est pas requise pour des besoins de sécurité à la navigation.
- Les sonars à balayage latéral ne doivent pas être utilisés pour déterminer la profondeur, mais pour définir les zones requérant une investigation plus détaillée.

2 POSITIONnement

2.1 Introduction

La précision d'une position est la précision de la position d'un élément (sonde, aide à la navigation, par ex.) devant être situé dans un cadre de référence géodésique (voir 2.4 Tableau 3).

Si la précision d'une position est affectée par différents paramètres, il convient de tenir compte de la contribution de tous les paramètres à l'erreur de position totale.

Une méthode statistique, combinant les différentes sources d'erreur, doit être adoptée en vue de déterminer la précision du positionnement. L'erreur de position pour un niveau de confiance de 95% doit être enregistrée conjointement avec les données relatives au levé (voir 8 Assignation d'attributs aux données).

Les positions doivent être rapportées au système géodésique mondial de 1984 (WGS 84) ou le système de référence de l'Amérique du Nord 83 (NAD 83). Il est important de comprendre et de documenter le système de référence utilisé pour tenir compte du fait que ces 2 systèmes de référence ne sont plus considérés comme équivalents.

À chaque fois où les positions sont déterminées au moyen de systèmes terrestres, des lignes de position redondantes doivent être observées. Les techniques usuelles d'étalonnage doivent être appliquées avant, pendant et après l'acquisition des données. Les systèmes à satellites doivent pouvoir poursuivre au moins cinq satellites simultanément et le contrôle de l'intégrité est recommandé pour les levés de l'ordre Exclusif, de l'ordre Spécial et de l'ordre 1a.

2.2 Contrôle horizontal

Les points directeurs principaux doivent être positionnés au moyen des méthodes de levés terrestres avec une exactitude relative de 1 partie pour 100 000. Lorsque sont utilisées les méthodes géodésiques de positionnement satellitaire pour l'établissement de ces points, l'erreur ne doit pas dépasser 10cm pour un niveau de confiance de 95% en rapport au WGS84 ou NAD83 (SCRS).

Les stations secondaires pour le positionnement local qui ne seront pas utilisées pour étendre le

canevas doivent être positionnées de telle sorte que l'erreur ne dépasse pas 1:10 000 pour les techniques de levé terrestre ou 50cm pour un niveau de confiance de 95% en utilisant les méthodes géodésiques de positionnement satellitaire.

Pour obtenir plus d'informations sur le positionnement GPS, se référer aux agences géodésiques nationales ou provinciales appropriées.

2.3 Positionnement des sondes

La position des sondes, des dangers ainsi que de tout autre élément immergé important doit être déterminée de telle sorte que la précision horizontale soit celle indiquée dans le Tableau 1.

L'exactitude de la position d'une sonde est celle de sa position sur le fond déterminée dans un système de référence géodésique.

2.4 Aides à la navigation et éléments importants

Les positions horizontales et/ou les élévations des aides à la navigation ainsi que des autres entités remarquables doivent être déterminées avec les précisions énoncées dans le Tableau 2, à un niveau de confiance de 95%.

L'ordre à utiliser pour le positionnement des aides à la navigation et autres entités telles que les piliers de ponts, les murs, les hauteurs libres, etc. devrait être déterminé selon leur l'importance pour la sécurité de la navigation dans la région du levé. À titre d'exemple, les piliers de ponts situés le long d'un chenal critique pour la navigation ont une signification plus grande que ceux situés dans une zone intertidale et devraient donc être positionnés avec une plus grande précision. Les zones types stipulées dans le tableau 1 peuvent être utilisées comme guide.

Tableau 2
Normes pour la détermination de la position des aides à la navigation et des éléments importants

	Ordre Exclusif		Ordre Spécial		Ordre 1a		Ordre 1b		Ordre 2	
	HOR	VER	HOR	VER	HOR	VER	HOR	VER	HOR	VER
Aides à la navigation fixes et éléments importants pour la navigation (amers)	20cm	30cm	50cm	50cm	1m	1m	3m	2m	10m	3m
Position moyenne des aides à la navigation flottantes[1]	5m	S/O	10m	S/O	15m	S/O	20m	S/O	25m	S/O
Lignes de côte naturelles (ligne des basses et hautes eaux)	2m	S/O	5m	S/O	10m	S/O	20m	S/O	75m	S/O
Éléments topographiques (pas importants pour la navigation)	5m	30cm	10m	50cm	15m	1m	20m	2m	25m	3m
Dégagements verticaux	1m	30cm	3m	50cm	5m	1m	10m	2m	10m	3m
Azimut des alignements de route et des feux secteurs	Tous les alignements de route ainsi que les limites des feux secteurs doivent être dérivés afin de confirmer l'azimut théorique. La différence maximum entre l'azimut théorique et celle dérivée est de 0.5°									

3 Référence verticale

3.1 Zéro des sondes

Les profondeurs doivent être réduites à un niveau de référence minimum qui peut être défini comme une référence « si basse que le niveau d'eau ne tombera pratiquement jamais au-dessous durant la saison de navigation ».

Dans les eaux à marées les sondages sont réduits à la basse mer inférieure, grande marée (BMIGM) alors que dans les eaux sans marées les sondages sont réduits à un niveau de basse eaux déterminé à partir d'enregistrements de niveaux d'eau.

Le zéro des sondes doit être rattaché à un minimum de trois repères altimétriques dont les élévations doivent être déterminées avec une précision telle que décrite dans le Manuel canadien des marées.

3.2 Le niveau de référence pour les altitudes

Toutes les altitudes et les hauteurs libres doivent être référées à un niveau de référence spécifique. Dans les eaux à marée les altitudes et les hauteurs libres sont référées à la pleine mer supérieure, grande marée (PMSGM), alors que pour les eaux sans marées elles sont référées aux zéros des sondes (par exemple IGLD' 85).

3.3 Observation des niveaux d'eau

Les observations relatives à la hauteur de marée ou du niveau d'eau doivent être effectuées au cours d'un levé pour :

1 La précision du positionnement des aides flottantes doit tenir compte de la précision du système de positionnement, la distance séparant l'embarcation (antenne) et la bouée, le mouvement de la bouée, etc.

1. fournir des informations relatives à la réduction de la marée et des niveaux d'eau pour les sondes.
2. fournir les données nécessaires à l'analyse des niveaux d'eau et de la marée, à la détermination des constituants de marées et les prédictions. Pour les nouveaux sites ayant peu de données historiques, des observations doivent s'étaler sur la période la plus longue possible, préférablement un minimum de 29 jours.
3. Pour établir une référence verticale (basses et hautes eaux) dans une région. À cette fin, l'observation devrait s'étaler sur la plus longue période possible.

Pour l'établissement de références verticales et l'analyse de marées pour les levés d'ordres Exclusif et Spécial, les hauteurs de marée et des niveaux d'eau doivent être observées de manière à ce que l'erreur totale des mesures au marégraphe, y compris l'erreur de synchronisation, ne dépasse pas ± 5 cm à un niveau de confiance de 95%. Pour les autres ordres une erreur de ± 10 cm à un niveau de confiance de 95% ne devrait pas être dépassée.

Afin que les données bathymétriques soient à l'avenir pleinement exploitées en utilisant les techniques d'observation satellitaire, les observations de marées et des niveaux d'eau doivent être référencées à la fois à un niveau de référence des basses mers (généralement le zéro des cartes) ainsi qu'à un système de référence géocentrique, de préférence l'ellipsoïde du système géodésique mondial 84 (WGS 84) ou le système de référence de l'Amérique du Nord 83 (NAD 83).

Une méthode indépendante de mesure de niveau d'eau doit être utilisée pour vérifier l'étalonnage et le bon fonctionnement des mesureurs de niveaux d'eau. Au minimum, ces mesures devraient être effectuées au début et à la fin de la période de déploiement ainsi qu'aux périodes de hautes et basses marées et plus fréquemment pendant les opérations de sondage.

4 Mesurage des Profondeurs

4.1 Introduction

La navigation des bâtiments commerciaux requiert une connaissance de plus en plus précise et fiable des profondeurs afin d'exploiter en toute sécurité les capacités maximales de chargement. Il est impératif que, dans des zones critiques, et tout particulièrement dans les zones où la profondeur d'eau sous quille est marginale et où existe la possibilité d'obstructions, les normes relatives à la détermination de la précision en matière de profondeur soient plus rigoureuses que celles établies dans le passé et que la question de l'investigation adéquate du fond soit prise en compte.

4.2 Étalonnage des systèmes

4.2.1 Systèmes d'échosondeurs multifaisceaux (SEMF)

Avant d'entreprendre tout levé hydrographique, certaines procédures terrain doivent être effectuées afin de déterminer tous biais résiduels et les corrections qui seront appliquées pour bien étalonner les SEMF. Connu sous le nom de « patch test » cette méthode implique l'enregistrement de différentes données alors que la plate-forme de sondage navigue le long de lignes de sondes prédéterminées ayant différents reliefs bathymétriques et contenant des cibles identifiables; ce travail est exécuté à différentes vitesses et dans des directions réciproques. Le but du « patch-test » est de déterminer tout résiduel des angles de roulis, tangage et azimut ainsi que les différences de temps entre les différents signaux du SEMF en accord avec la centrale d'attitude de référence. Ce même test est effectué à la fin du levé hydrographique afin de confirmer que les paramètres du système n'ont pas changé en cours de route. Ce test doit également être effectué lorsque des modifications majeures ont été apportées tels le remplacement ou la réparation de diverses composantes du système :

mécanique, ordinateurs, logiciels, etc.

Des informations supplémentaires sur l'étalonnage utilisant la méthode du « Patch Test » peuvent être trouvées dans le document « **The Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding Systems » by André Godin**.

4.2.2 Systèmes d'échosondeurs multi transducteurs (SEMT)

Au début de chaque saison sondage, avec un système multi transducteur, il est essentiel d'étalonner toutes les composantes du système. Les hydrographes devront mesurer et positionner les composantes du système sur l'embarcation, comme par exemple : coordonnées xyz des antennes GPS, du senseur de mouvement, des pieds de transducteurs incluant l'enfoncement dans l'eau de chacun des transducteurs. Il faudra par la suite étalonner les différents senseurs (centrale d'attitude, gyro, etc.) en effectuant des relevés sur un secteur connu et en analysant les résultats. L'établissement d'un banc d'essai est recommandé afin de valider le système et comparer l'exactitude des profondeurs obtenues avec d'autres systèmes.

Chaque jour, il est nécessaire d'effectuer un étalonnage avec une plaque d'acier sur au moins un transducteur afin de déterminer la vitesse du son dans l'eau dans la zone de travail. Il est également requis de mesurer la variation du tirant d'eau de l'embarcation (varie en fonction des dépenses d'essence et d'eau et du ravitaillement).

4.2.3 Systèmes simple faisceau (SESF) et multi transducteurs (SEMT)

La procédure terrain pour étalonner les SESF et les SEMT consiste de suspendre une barre, un cône ou une plaque métallique à une série de profondeurs connues, jusqu'à une profondeur maximale de 60 mètres, sous les transducteurs et d'enregistrer la valeur de la barre ainsi que la profondeur mesurée par le du système et par la suite produire une table de corrections qui sera utilisée pour corriger les profondeurs mesurées. Cette méthode, communément appelée « barre d'étalonnage » devrait être utilisée au moins une fois par jour et possiblement en fin de journée pour s'assurer qu'il n'y a pas eu de problème durant la journée

4.2.4 Mesures de profils de vitesse du son

Les senseurs de mesures de vitesse du son doivent être étalonnés à l'usine de fabrication selon les critères et les spécifications du manufacturier ou plus tôt si les données deviennent suspectes.

4.3 Mesurage de la vitesse du son

4.3.1 Introduction

La vitesse de propagation du son dans la colonne d'eau doit être mesurée soit directement en utilisant un senseur de vitesse du son ou calculée indirectement à partir de mesures de conductivité, de température et de pression. Lors de la planification des mesures de profils de vitesse du son, il est important de considérer le type d'instrument acoustique utilisé lors du levé. Les autres utilisations potentielles des données de vitesse du son doivent également être considérées.

4.3.2 Levé hydrographique avec échosondeurs à simple faisceau

La mesure de profils de vitesse du son utilisés lors d'un levé hydrographique avec un échosondeur à simple faisceau est faite pour corriger les différences de propagation causée les changements de vitesses du son dans la colonne d'eau. Ces corrections ne s'appliquent que pour l'axe vertical. Des profils de vitesse du son doivent être mesurés à un intervalle dicté par la variabilité des conditions dans la zone où le levé hydrographique est effectué. Lorsque possible, la totalité des valeurs mesurées du profil de vitesse du son sera utilisée par l'échosondeur pour corriger les profondeurs. Dans le cas où seulement une valeur peut être utilisée, celle-ci proviendra d'un calcul harmonique de la vitesse du son. Une vérification à l'aide d'une « barre d'étalonnage » sera faite à une fréquence suffisante pour valider la vitesse de son utilisée.

4.3.3 Levé hydrographique avec échosondeurs multifaisceaux

Des mesures de profils de vitesse du son utilisées lors d'un levé hydrographique avec échosondeur multifaisceaux sont requises pour corriger les différences de propagation du son ainsi que la variabilité du trajet de l'onde sonore dans la colonne d'eau. Ceci permet de corriger pour l'axe vertical et les erreurs transversales. Les profils de vitesse du son seront mesurés à une fréquence suffisante pour assurer que les précisions horizontales et des profondeurs prescrites par l'ordre du levé hydrographique choisi rencontrent les exigences définies dans le Tableau 1. Si un système de profil de vitesse du son en mode continu (Moving Vessel Profiler MVP) est disponible, des profils seront mesurés à une fréquence la plus rapide possible compte tenu des méthodes de travail et du volume de trafic maritime.

Une surveillance continue doit être faite afin de déterminer tout changement possible de la vitesse du son dans l'eau. Il existe deux moyens principaux pour détecter des changements, l'analyse des données enregistrées et l'observation des conditions de la masse d'eau. La surveillance de données consiste à remarquer les effets de réfraction dans les données. Ceci inclut un décalage des profondeurs dans les zones à recouvrement des lignes de sonde et une tendance vers des profils d'impulsion arqués. L'observation des conditions de la masse d'eau consiste à remarquer les effets qui donnent des indications d'un changement possible dans la vitesse de propagation du son dans l'eau. Ceci inclus, mais n'est pas exhaustif, les observations suivantes : un changement dans la mesure de la vitesse du son à la surface, un débit entrant d'eau fraîche ou d'un panache, l'action du vent causant un mélange des eaux de surface, de fortes chutes de pluie, des courants latéraux, des changements dans la température de l'eau de surface, etc. Si une ou plusieurs de ces conditions sont observées, il sera nécessaire de mesurer à nouveau un profil de vitesse du son.

4.3.3.1 Vitesse de son à la surface

La vitesse du son à la surface de l'eau doit toujours être mesurée et appliquée en temps réel pour tous les systèmes de sondage multifaisceaux, peu importe que le transducteur soit de forme arquée (ex. baril) ou plate (ex. Mills cross).

4.3.4 Besoins océanographiques

Toutes les données obtenues des profils de vitesse du son seront enregistrées ainsi que le temps UTC et la position géographique où la mesure a été prise. Lorsque la vitesse de

propagation est mesurée directement, il est désirable d'également mesurer la température afin de pouvoir calculer la salinité pour des fins océanographiques. Lorsque la vitesse de propagation est calculée à partir des mesures de la conductivité, la température, et la pression, ces valeurs seront incluses dans les valeurs de vitesse du son calculées.

4.4 Densité des sondes

4.4.1 Introduction

Lors de la planification de la densité des sondes, il faut tenir compte aussi bien de la nature du fond dans la zone levée que des besoins des utilisateurs afin d'assurer une investigation adéquate du fond.

Il convient de noter qu'aucune méthode, pas même l'investigation du fond à 100%, qui est souhaitable, ne garantit par elle-même la fiabilité d'un levé. De plus, elles ne peuvent pas réfuter avec certitude l'existence de dangers pour la navigation, en particulier en égard à l'existence ou la non-existence, entre les lignes de sonde, de risques naturels ou d'objets artificiels isolés (épaves par exemple).

4.4.2 Espacement entre profils

Le Tableau 1 propose un espacement entre profils approprié, pour les divers ordres de levés. Les résultats d'un levé doivent être évalués en utilisant les procédures mises au point par le chargé de projet responsable de la qualité des levés. Sur la base de ces procédures, il convient de décider si l'étendue de l'investigation du fond est adéquate et si l'espacement entre profils doit être réduit ou amplifié.

Ces procédures peuvent inclure une analyse d'erreur statistique appropriée prenant en considération les erreurs d'interpolation ainsi que les erreurs de profondeur et de positionnement des profondeurs mesurées (voir 8.5 Sources et budgets d'erreurs).

Pour les SEMF, l'espacement des lignes est remplacé par le pourcentage de recouvrement ou la densité de sondage par cellule carrée. Pour assurer une densité de sondage adéquate en eaux peu profondes (<50m de profondeur) qui sont jugées critiques pour la navigation, il est recommandé qu'un recouvrement de 200% ou un chevauchement de 100% soit effectué. La densité de sondage devrait être d'au moins 5 sondages par cellule pour atteindre la résolution telle que décrite dans le tableau 1 du document *CUBE - Traitement et analyse de données – (SHC Février 2012)*.

4.4.3 Examen des hauts fonds

Un haut-fond est une élévation distincte du fond marin pouvant être considéré comme un obstacle à la navigation. Considérant le tirant d'eau de certains navires moderne, toute indication permettant de croire que des profondeurs de moins de 50m peuvent exister est suffisante pour justifier l'examen d'un éventuel haut-fond. Une élévation de 10% du fond en fonction de la profondeur, du caractère relatif ou le type de navigation (tirant d'eau maximum, etc.) de la zone environnante peut indiquer l'existence d'un haut-fond ou d'un sérieux obstacle à la navigation et doit être examinée.

Une méthode pour effectuer l'examen d'un haut-fond consiste à effectuer un patron de lignes

de sondage au-dessus de la zone du haut-fond. Le patron de lignes et la densité sont déterminés par les profondeurs environnantes, le système utilisé et le caractère relatif de la zone environnante. Une autre méthode consiste à balayer une zone à 100% soit par méthode mécanique ou système électronique de balayage.

En fonction de la caractéristique du fond, des systèmes et des besoins des clients, le chargé de projet déterminera si la profondeur moindre obtenue sur chaque haut-fond examiné devra être vérifiée par une méthode indépendante et si la nature du fond devra être relevée.

Pour les levés réalisés avec un SEMF, s'assurer qu'il y a suffisamment de données au sommet des hauts fonds pour garantir que la profondeur moindre a été déterminée précisément.

4.4.4 Mesurage de la profondeur au-dessus des obstructions

La détermination de la topographie générale du fond de la mer, la réduction de la marée ainsi que la détection, la classification et le mesurage des dangers présentés par le fond de la mer sont des opérations fondamentales lors de levés hydrographiques. Les profondeurs au-dessus des dangers doivent être déterminées avec, au moins, une précision de profondeur égale à celle spécifiée pour l'ordre 1a du Tableau 1.

Pour les épaves et les obstructions susceptibles d'avoir moins de 50 m de profondeur d'eau au-dessus d'elles et pouvant présenter un danger pour la navigation de surface, la profondeur minimale doit être déterminée soit par examen au sonar haute définition soit par examen physique (plongée). Le balayage mécanique peut être utilisé lorsqu'il garantit une profondeur de brassiage minimum sûre.

Tous les éléments anormaux auparavant signalés dans la zone levée ainsi que ceux détectés au cours du levé devront être examinés en détail et, s'ils sont confirmés, leur profondeur minimale devrait être déterminée. Le chargé de projet responsable de la qualité du levé peut définir une limite de profondeur au-delà de laquelle une investigation détaillée du fond de la mer et, donc, un examen des éléments anormaux n'est pas requis.

5 mesurages divers

5.1 Aides à la navigation

Tous les aides à la navigation (fixes et flottants) ainsi que les objets remarquables utiles à la navigation devront être positionnés selon les précisions horizontales et verticales spécifiées dans le Tableau 2.

Les azimuts des feux d'alignement et les limites des feux secteurs doivent être dérivés afin de confirmer les azimuts théoriques. La différence maximale entre la valeur théorique et la valeur dérivée est donnée dans le Tableau 2.

5.2 Altitudes et hauteurs libres

Les altitudes et hauteurs libres doivent être déterminées selon les précisions données dans le Tableau 2.

5.3 Échantillonnage du fond marin

La nature du fond doit être déterminée par échantillonnage ou à partir d'autres capteurs

(échosondeurs simple faisceau, sonars à balayage latéral, mesureur des profils du sous-sol du fond, vidéo, etc.) jusqu'à la profondeur localement requise pour les opérations d'ancrage ou de chalutage ; dans des circonstances normales, l'échantillonnage n'est pas requis pour des profondeurs supérieures à 200 m. Les échantillonnages doivent être espacés en fonction de la géologie du fond de la mer. Leur espacement devrait normalement être de 10 fois celui de l'espacement entre profils choisi. Dans les zones de mouillage, la densité d'échantillonnage doit être accrue. Toute technique d'inférence (par exemple, la classification des fonds par méthode acoustique utilisant des systèmes simple faisceau, multifaisceaux ou à balayage latéral) doit être vérifiée *in situ* par échantillonnage physique ou en utiliser un catalogue développé pour ces appareils spécifiques.

5.4 Lignes de côte naturelles

Les lignes des basses eaux et des hautes eaux doivent être déterminées selon les précisions données dans le Tableau 2.

5.5 Observation des courants de marée

La vitesse et la direction des courants de marée dont leur force est suffisante pour affecter la navigation de surface (normalement plus de 0.5 nœud) doit être observées aux entrées des ports et des chenaux en tout point où se produit une modification de la direction d'un chenal, dans les zones de mouillage et au voisinage des appontements. Lors de l'exécution d'un levé hydrographique, il sera nécessaire de vérifier l'information concernant les courants indiqués sur les cartes marines et les minutes hydrographiques de la zone de travail. Il est également souhaitable de prendre note des chenaux et les ports où le courant est faible, car ces informations peuvent être transmises aux navigateurs par le biais des Instructions nautiques. Il est également souhaitable de mesurer les courants côtiers et extracôtiers quand leur force est suffisante pour affecter la navigation de surface.

5.6 Rétrodiffusion acoustique

Les levés effectués à l'aide d'échosondeurs multifasceaux ou interférométriques requièrent une connexion à un rétrodiffuseur acoustique qui doit être restitué à la fin du levé.

6 DATA PROCESSING

6.1 Vérification des données

Tous les calculs doivent être vérifiés et contresignés par un hydrographe expérimenté avant que les résultats découlant de ces calculs puissent être utilisés dans l'avancement de l'acquisition de données hydrographiques. Les données bathymétriques doivent être traitées le plus tôt possible après l'acquisition afin de pouvoir analyser et vérifier le travail.

Les meilleures pratiques de traitement sont détaillées dans le document *CUBE - Traitement et analyse de données – (SHC Février 2012)*.

6.2 Codification et présentation des données

Toutes les données doivent être codées selon la version des normes de présentation et de codification en vigueur, sinon, les données doivent être séparées en couches et documentées en tant que méta données ou dans un rapport final incluant toutes informations pertinentes qui peuvent permettre au SHC de mieux qualifier les données.

7 Contrôle de qualité

7.1 Introduction

Pour s'assurer que les précisions requises ont été atteintes, il est essentiel de vérifier et mesurer les performances. L'établissement de procédures de contrôle de qualité doit être une priorité. Toute documentation pertinente doit être conservée pour consultation ultérieure.

7.2 Positionnement

Le contrôle de la qualité pour le positionnement implique un contrôle continu des indicateurs de qualité de l'exactitude, la précision, la puissance du signal, le rapport signal / bruit, le suivi du cycle, le type de solution, etc. des divers équipements/logiciels. La position de la plate-forme de sondage doit être comparée et vérifiée contre la position d'un point de contrôle terrestre ou encore d'un point décalé du point de contrôle au début d'un levé hydrographique, périodiquement en cours du levé et une fois une fois le levé hydrographique terminé. Des lignes de position redondantes ou des observations satellitaires redondantes doivent toujours être mesurées. L'utilisation d'une station de poursuite pour contrôler la précision des positions et la performance du système est souhaitable, mais souvent pas pratique ni possible. L'utilisation de deux systèmes de positionnement indépendants ainsi que la possibilité de vérifications contre des positions terrestres serait également souhaitable.

7.3 Profondeurs

Une procédure standard de contrôle de la qualité doit consister à vérifier la validité des sondages en exécutant des mesurages de profondeur supplémentaires. Les différences doivent être analysées de manière statistique afin d'assurer la conformité du levé avec les normes précisées dans le Tableau 1. Les différences anormales doivent faire l'objet d'un examen complémentaire avec analyse systématique des sources d'erreur (y contribuant). Toutes doivent être résolues, soit par l'analyse soit par l'exécution d'un nouveau levé en cours d'exécution des travaux.

7.4 Lignes de vérification

Des lignes de vérification croisant les lignes principales doivent toujours être effectuées pour confirmer la précision du positionnement, de la profondeur et les autres corrections. Elles doivent être effectuées aussi perpendiculairement que possible aux lignes de sonde principales. Les différences entre les lignes principales et les lignes de vérification doivent être incluses à l'intérieur des limites de l'ordre de levé. Si possible, les lignes de vérification doivent être effectuées en utilisant un système indépendant, une plate-forme de sondage différente ou à des temps différents et sur un fond rugueux.

Ces profils de vérification devront être espacés de manière à permettre un contrôle efficace et complet des positions, des sondes principales et les autres corrections. Les lignes de vérifications seront espacées de manière à pouvoir effectuer un contrôle efficace et compréhensible des lignes de sonde principales. À titre indicatif l'on peut assumer que l'intervalle entre profils de vérification ne doit, normalement, pas être supérieur à 15 fois celui qui existe entre les lignes de sondes choisies.

7.5 Densité des sondes

7.5.1 Échosondeurs simple faisceau (SESF)

En fonction des caractéristiques du fond, l'espacement entre profils du Tableau 1 peut devoir être réduit ou, si les circonstances le permettent, augmenté. Les profils de vérification doivent être exécutés à intervalles discrets (voir 7.4 Lignes de vérification).

7.5.2 Sonar à balayage latéral (Side Scan Sonar SSS)

Lorsque le SSS est utilisé conjointement avec un SESF ou un SEMF, l'espacement entre profils suggéré dans le Tableau 1 peut être accru, tout en s'assurant que la couverture de la zone située directement au-dessous du poisson remorqué est adéquate.

7.5.3 Échosondeurs multifaisceaux (SEMF)

Les SEMF ont un grand potentiel en ce qui concerne la couverture précise du fond de la mer s'ils sont utilisés avec les procédures de levés et d'étalonnage qui conviennent. Une évaluation appropriée de la précision du mesurage réalisé avec chaque faisceau est obligatoire quand une couverture complète est requise pour utilisation dans les zones levées conformément aux normes de l'ordre Exclusif, l'ordre Spécial et de l'ordre 1a. Si l'un quelconque des faisceaux extérieurs contient des erreurs inacceptables, les données associées doivent être écartées ou pondérées. Sauf en cas de contraintes géographiques, toutes les fauchées doivent être traversées au moins une fois par un profil de vérification afin de confirmer, par cette méthode, la précision du positionnement, du mesurage de la profondeur et des autres corrections – accroupissement, tirant d'eau, niveau d'eau, vitesse du son. Les précisions peuvent également être confirmées par des mesures redondantes sur une petite cible sur le fond marin.

7.5.4 Échosondeurs multi transducteurs (SEMT)

Les systèmes à balayage à transducteurs multiples constituent une technologie permettant de s'assurer de la précision et de l'exhaustivité lorsqu'une couverture complète est requise pour les levés d'ordre Exclusif, ordre Spécial et Ordre 1a. Il est essentiel que la distance entre chaque transducteur corresponde aux profondeurs mesurées afin d'assurer une investigation complète et d'obtenir une couverture du fond à 100%. À moins d'un empêchement dû à des contraintes géographiques, tous les lignes doivent, une fois au moins, être traversés par un profil de vérification afin de confirmer la précision du positionnement, de la mesure de profondeur et autres corrections – accroupissement (squat), tirant d'eau, niveau d'eau, vitesse du son. Les précisions peuvent également être confirmées par des mesures redondantes sur une petite cible sur le fond marin.

7.5.5 Laser aéroporté

Les systèmes laser aéroportés permettent de mesurer des profondeurs pouvant atteindre 50 m ou davantage à condition que l'eau soit claire. Les dangers pour la navigation détectés par le laser aéroporté doivent être examinés en utilisant une méthode indépendante (voir 4.4.3 Examen des hauts fonds). Toutes les fauchées doivent être traversées, au moins une fois, par un profil de vérification afin de confirmer la précision du positionnement, la mesure de la profondeur et des corrections à apporter aux profondeurs.

8 Assignation d'attributs aux données

8.1 Général

Afin de permettre une évaluation complète de la qualité des données relatives aux levés, il est nécessaire d'enregistrer ou de fournir certaines informations en même temps que les données du

levé. Ces informations sont importantes pour l'exploitation des données du levé par divers utilisateurs dont les besoins sont différents, en particulier lorsque ces besoins ne sont pas connus au moment de l'exécution du levé.

Le processus de documentation de la qualité de données est appelé "assignation d'attributs"; les informations relatives à la qualité des données sont appelées "méta données".

Les métadonnées doivent comprendre au moins des informations portant sur :

- le levé en général (par exemple : date, zone relevée, équipement utilisé, nom de la plate-forme de levé)
- le système de référence géodésique utilisé (horizontal ou vertical) y compris les rattachements au WGS84 ou NAD83 dans le cas où un système local est utilisé
- les procédures d'étalonnage et les résultats
- la vitesse du son
- le zéro des marées / niveaux d'eau et la réduction
- les précisions obtenues ainsi que les niveaux de confiance respectifs.

Les métas donnés doivent préférablement être présentées sous forme numérique et être partie intégrante de l'enregistrement du levé. Si cela n'est pas faisable, des informations similaires doivent être incluses dans la documentation du levé tel que le rapport final.

8.2 Assignation d'attributs ponctuels

Toutes les sondes devraient se voir assigner des attributs avec une estimation d'erreur statistique à 95% pour la position comme pour la profondeur. Bien que cela doive préférablement être fait pour chacune des sondes, une estimation globale sera faite sur un ensemble de données et cet ensemble de données sera classifié selon le pire cas de cet ensemble.

Dans le cas des positions, celles-ci doivent être qualifiées soit en analysant les lignes de position redondantes (systèmes terrestres) soit via le contrôle de l'intégrité (systèmes satellitaires) ; dans le cas des observations de profondeur, elles pourraient être qualifiées au moyen d'une analyse des profondeurs redondantes observées, par exemple, à l'intersection des profils de vérification.

Il demeure entendu que chaque capteur (positionnement, profondeur, pilonnement (heave), tangage, roulis, cap, capteurs des caractéristiques du fond de la mer, capteurs des paramètres de la colonne d'eau, capteur de réduction de la marée, modèles de réduction des données, etc.) possède des caractéristiques d'erreur particulières. Chaque système de levé doit être analysé séparément de manière à déterminer la (les) procédure(s) adéquate(s) permettant d'obtenir les statistiques spatiales requises. Voir les Lignes directrices sur les levés hydrographiques.

8.3 Précision de la profondeur

La précision de la profondeur doit être comprise comme la précision des profondeurs réduites. En déterminant la précision de profondeur, les sources d'erreurs individuelles doivent être quantifiées. Toutes les sources d'erreur doivent être combinées pour obtenir une Incertitude totale propagée (Total Propagated Uncertainty TPU) résultant de la combinaison de toutes les erreurs y contribuant lesquelles incluent, entre autres :

1. Les erreurs du système de mesurage et de la vitesse du son
2. Les erreurs de mesurage de la marée et de modélisation
3. Les erreurs de traitement des données.

Une méthode statistique doit être adoptée et vérifiée pour déterminer la précision de la profondeur en combinant toutes les erreurs connues. Par exemple, le traitement CUBE peut fournir cette information.

La TPU, déterminée statistiquement pour un niveau de confiance de 95%, est la valeur utilisée pour décrire la précision de la profondeur obtenue. La TPU doit être enregistrée avec la valeur de la sonde.

Reconnaissant que la précision de la profondeur est affectée à la fois par des erreurs constantes

et par des erreurs dépendantes de la profondeur, la formule du Tableau 1 doit être utilisée pour calculer avec un niveau de confiance à 95% les erreurs de profondeur admissibles en utilisant pour *a* et *b* les valeurs de la 3e ligne du Tableau 1.

8.4 Géostatistiques

Lorsque, au cours d'un levé, le fond de la mer n'a pas été exploré en totalité, les sondages ne fournissent qu'un échantillonnage du fond à des points discrets. Dans de tel cas, il est nécessaire d'interpoler les profondeurs dérivées des sondages mesurés afin d'obtenir un modèle bathymétrique fournissant une estimation des informations de profondeur relatives à la totalité du fond.

Les techniques d'interpolation géostatistiques peuvent être utilisées afin d'estimer l'erreur introduite par l'interpolation entre les sondes en tenant compte des précisions des profondeurs réduites ainsi que des positions et de la distribution spatiale des mesurages de la profondeur.

En prenant les valeurs de "a" et de "b" données dans le Tableau 3 ci-dessous, on doit utiliser la formule du Tableau 1 pour calculer les erreurs admissibles du modèle bathymétrique, avec un niveau de confiance de 95%. S'il y a dépassement, la densité des sondes doit être augmentée.

Tableau 3
Précision du modèle bathymétrique

ORDRE	Exclusif	Spécial	1a	1b	2
Précision du modèle bathymétrique (niveau de confiance 95%)	a = 0.02 b = 0.01	a = 0.5 b = 0.01	*a* = 1.0 m *b* = 0.026	*a* = 2.0 m *b* = 0.05	*a* = 5.0 m *b* = 0.05

Ces techniques d'interpolation, basées sur une analyse appropriée des erreurs statistiques et qui quantifient la rugosité du fond de la mer, ne doivent pas constituer le seul moyen d'évaluation de la qualité d'un levé, étant donné qu'elles ne peuvent pas toujours fournir des estimations fiables quant à la précision du modèle bathymétrique, tout particulièrement si les levés ont été exécutés avec un espacement excessif des profils ou s'il est fortement probable que des entités anthropiques existent.

8.5 Sources et budgets d'erreurs

Bien que le texte qui suit traite des erreurs concernant les données acquises avec des systèmes multifaisceaux, il convient de noter qu'il s'applique aussi, en principe, aux données acquises avec un quelconque système d'échosondage.

Avec les systèmes d'échosondage à faisceaux multiples ou à transducteurs multiples, la distance entre les sondages sur le fond et l'antenne du système de positionnement peut être très grande, en particulier dans les eaux profondes avec un système à large fauchée. À cause de cela, l'exactitude de la position des sondes dépend également de la précision du gyrocompas, de l'angle du faisceau (ou de l'emplacement du transducteur pour les systèmes à balayage et de la profondeur d'eau (systèmes à balayage seulement).

Les erreurs dues au tangage et au roulis contribueront également à l'erreur relative de la profondeur obtenue à partir du transducteur. Dans l'ensemble il peut s'avérer très difficile de généraliser la précision de positionnement type pouvant être obtenue en fonction de la profondeur avec certains de ces systèmes modernes. Les erreurs sont fonction non seulement de l'échosondeur, mais également de la plate-forme de sondage ainsi que de la position et de la précision des capteurs auxiliaires.

L'utilisation de faisceaux non verticaux introduit des erreurs supplémentaires dues à la connaissance incorrecte de l'orientation du navire au moment de la transmission et de la réception des échos du sonar. Les erreurs associées au développement de la position d'un faisceau individuel doivent inclure ce qui suit :

a) Erreur du système de positionnement,
b) Erreur de mesurage de la profondeur,
c) Incertitude associée à la modélisation du trajet de l'onde (y compris le profil de la vitesse du son),
d) Précision du cap du navire,
e) Identification précise des erreurs d'orientation du système résultant d'un défaut d'alignement du transducteur tel que mesuré lors d'un « patch test »,
f) Capteur des mouvements du navire (précision en matière de roulis, de tangage et de pilonnement (heave)), et
g) Délais de temps.

Les chargés de projets responsables de la qualité du levé doivent documenter et développer des budgets d'erreur pour leurs systèmes particuliers.

9 Gestion des données

9.1 Sécurité et archivage des données

Le chargé de projet responsable du levé doit s'assurer que les données brutes originales sont archivées sur un média approprié rangé à un endroit sécuritaire et ce immédiatement après la collecte des données. Des copies de sécurité des données traitées doivent être prises quotidiennement sur des médias appropriés et rangées à un endroit sécuritaire.

10 Rapports

10.1 Rapporter les dangers à la navigation

Lors de la découverte de profondeurs ou d'obstructions qui peuvent être considérées comme un obstacle à la navigation, le chargé de projet doit en informer les autorités de la Garde côtière le plus près et un Avertissement de navigation doit être émis.

Toutes les actions doivent être documentées et une copie envoyée au Directeur régional de l'hydrographie ainsi qu'au gestionnaire régional des levés hydrographiques qui initieront les actions appropriées.