

S-44 Édition 6.2.0



Normes de l'Organisation hydrographique internationale pour les levés hydrographiques



MAGNETIC

VAR 14° 45'W

DECLIN. DECREASE 4'

IHO



International
Hydrographic
Organization

Publié par
Organisation hydrographique internationale
4b quai Antoine 1^{er}
Principauté de Monaco
Tél : (377) 93.10.81.00
Fax : (377) 93.10.81.40
info@iho.int
www.iho.int

© Copyright Organisation hydrographique internationale 2024

Cet ouvrage est protégé par le droit d'auteur. À l'exception de tout usage autorisé dans le cadre de la Convention de Berne pour la protection des œuvres littéraires et artistiques (1886) et à l'exception des circonstances décrites ci-dessous, aucune partie de cet ouvrage ne peut être traduite, reproduite sous quelque forme que ce soit, adaptée, communiquée ou exploitée à des fins commerciales sans autorisation écrite préalable du Secrétariat de l'Organisation hydrographique internationale (OHI). Le droit d'auteur de certaines parties de cette publication peut être détenu par un tiers et l'autorisation de traduction et/ou de reproduction de ces parties doit être obtenue auprès de leur propriétaire.

Ce document, dans son intégralité ou en partie, peut être traduit, reproduit ou diffusé pour information générale sur la base du seul recouvrement des coûts. Aucune reproduction ne peut être vendue ou diffusée à des fins commerciales sans autorisation écrite préalable du Secrétariat de l'OHI ou de tout autre détenteur du droit d'auteur.

Au cas où ce document, dans son intégralité ou en partie, serait reproduit, traduit ou diffusé selon les dispositions décrites ci-dessus les mentions suivantes devront être incluses :

« Le matériel provenant de la publication [référence de l'extrait : titre, édition] est reproduit avec la permission du Secrétariat de l'OHI (Autorisation N°/...), agissant au nom de l'Organisation hydrographique internationale (OHI), qui n'est pas responsable de l'exactitude du matériel reproduit : en cas de doute le texte authentique de l'OHI prévaut. L'inclusion de matériel provenant de l'OHI ne sera pas interprétée comme équivalant à une approbation de ce produit par l'OHI. »

« Ce [document/publication] est une traduction du [document/publication] [nom] de l'OHI. L'OHI n'a pas vérifié cette traduction et en conséquence décline toute responsabilité quant à sa fidélité. En cas de doute la version source de [nom] en [langue] doit être consultée. »

Le logo de l'OHI ou tout autre signe identificateur de l'OHI ne seront pas utilisés dans tout produit dérivé sans autorisation écrite préalable du Secrétariat de l'OHI.

CONTENU

PRÉFACE	v
INTRODUCTION	vi
GLOSSAIRE	viii
CHAPITRE 1 CLASSIFICATION DES LEVÉS POUR LA SÉCURITÉ DE LA NAVIGATION	1
CHAPITRE 2 POSITIONNEMENT HORIZONTAL ET VERTICAL	3
CHAPITRE 3 PROFONDEUR, COUVERTURE BATHYMETRIQUE, ÉLÉMENTS ET NATURE DU FOND..	5
CHAPITRE 4 HAUTEURS D'EAU ET COURANTS.....	11
CHAPITRE 5 LEVÉS AU-DESSUS DU NIVEAU DE RÉFÉRENCE VERTICAL.....	12
CHAPITRE 6 MÉTADONNÉES	14
CHAPITRE 7 TABLEAUX ET MATRICE DE SPÉCIFICATION	16
ANNEXE A GUIDE D'UTILISATION DE LA MATRICE.....	24
ANNEXE B DIRECTIVES RELATIVES AU CONTRÔLE DE LA QUALITÉ	31
ANNEXE C ORIENTATIONS POUR LE CONTRÔLE DE QUALITÉ <i>A PRIORI</i> ET <i>A POSTERIORI</i>	33
ANNEXE D CONSIDÉRATIONS SUR LA BATHYMÉTRIE MAILLÉE	34

Note: Les annexes [B](#), [C](#) et [D](#) seront supprimées du présent document lorsque les informations qu'elles contiennent seront entièrement incluses dans la publication C-13 de l'OHI, *Manuel d'hydrographie*

Page laissée intentionnellement vide

PRÉFACE

Cette publication (S-44) définit la norme applicable aux levés hydrographiques et s'insère parmi les autres publications de l'Organisation hydrographique internationale (OHI), destinées à améliorer la sécurité de la navigation, la connaissance et la protection de l'environnement marin.

Les discussions officielles sur l'établissement de normes pour les levés hydrographiques ont débuté lors de la 7^{ème} Conférence hydrographique internationale (CHI) en 1957. La 1^{ère} édition de la norme S-44 intitulée « Normes de précision recommandées pour les levés hydrographiques » a été publiée en janvier 1968. Depuis lors, l'OHI s'est efforcée de mettre régulièrement à jour cette norme afin de suivre les technologies et les méthodes existantes. Quatre éditions successives ont ainsi été publiées depuis l'édition originale de 1968 : la 2^{ème} édition a été publiée en 1982, la 3^{ème} en 1987, la 4^{ème} en 1998 et enfin la 5^{ème} en 2008. Le but de ces éditions étant de maintenir la continuité de l'idée originale à travers les changements successifs.

Par la lettre circulaire (LC) 68/2016 du 20 décembre 2016, l'OHI a créé une équipe de projet sur les normes pour les levés hydrographiques (HSPT), chargée d'actualiser la norme. La composition de l'équipe a ensuite été définie dans la LC 26/2017. Les tâches de l'HSPT poursuivaient trois objectifs : mener une évaluation de la 5^{ème} édition de la norme ; préparer une 6^{ème} édition de la norme S-44 ; et enfin, si nécessaire, mettre en place un groupe de travail permanent chargé de traiter de toutes les questions relatives aux levés hydrographiques. L'équipe HSPT était composée de représentants d'États membres de l'OHI, d'observateurs issus d'organisations internationales (IFHS et FIG), d'autres intervenants à titre d'experts et du secrétariat de l'OHI.

Les technologies dans le domaine de l'hydrographie évoluent constamment, et les besoins et la communauté de ses utilisateurs sont en pleine expansion. Alors que les hydrographes suivent naturellement ces changements, la norme S-44 doit continuer à s'adapter afin de rester la référence internationale pour les levés hydrographiques.

Lors de la création de cette édition, l'équipe de projet sur les normes pour les levés hydrographiques de l'OHI a assuré la liaison avec la communauté hydrographique et a reçu les contributions des parties prenantes de l'OHI, y compris des industriels du secteur. Ces contributions ont été cruciales pour prendre en compte les besoins de la communauté et guider les mises à jour de cette norme, tout en restant fidèle au mandat établi par l'OHI.

Par la lettre circulaire (LC) 36/2020 du 9 novembre 2020, l'OHI a créé le groupe de travail sur les levés hydrographiques (HSWG). L'un des principaux objectifs du HSWG est de revoir régulièrement la présente norme afin de la tenir à jour. Le groupe a ainsi établi un cycle régulier de révision de deux ans.

INTRODUCTION

La publication S-44 vise à fournir un ensemble de normes pour les levés hydrographiques et un outil de classification d'autres jeux de données bathymétriques, utilisés principalement pour compiler les cartes de navigation essentielles à la sécurité de la navigation, à la connaissance et à la protection de l'environnement marin. Elle précise les **normes minimales** à atteindre en fonction de l'utilisation prévue. Si nécessaire, les services ou organisations hydrographiques sont encouragés à définir des exigences plus strictes ou spécifiques en tant que réalisations nationales ou régionales de la norme. Cette publication ne contient pas de procédures pour l'installation de l'équipement, la conduite d'un levé ou le traitement des données qui en résultent. Il convient de consulter la publication C-13 de l'OHI, *Manuel d'hydrographie*, pour obtenir des informations sur ces sujets (téléchargeable sur le site internet de l'OHI : www.ihp.int).

Dans cette édition, un nouvel ordre plus strict, l'Ordre Exclusif, a été introduit. L'utilisation de l'ordre exclusif doit être limitée aux régions dans lesquelles les conditions sont exceptionnelles et les exigences spécifiques. Les autres ordres des levés pour la sécurité de la navigation ont conservé les mêmes appellations, mais leur interprétation a été modifiée par rapport à l'édition précédente en raison de l'introduction du concept de [couverture bathymétrique](#). L'ordre spécial exige désormais explicitement une [couverture bathymétrique](#) complète. En outre, les exigences des ordres ont été différenciées selon que l'on se situe au-dessus ou en dessous du référentiel vertical.

Cette édition vise à encourager l'utilisation de la S-44 à des fins autres que la seule sécurité de la navigation. Elle introduit le concept d'une [matrice](#) de paramètres et de types de données pour définir les réalisations des normes et spécifications de levé. Cette [matrice](#) n'est pas en elle-même une norme. Elle doit être considérée comme une référence pour spécifier des levés particuliers, le cas échéant, et pour fournir un outil de classification plus large des levés. Elle est, par conception, extensible et pourra évoluer dans les futures versions de la S-44. L'[annexe A](#) fournit des indications sur la manière dont la matrice peut être utilisée pour la spécification et la classification des levés.

Le vocabulaire de la norme S-44 a été révisé afin de mieux s'aligner sur les références généralement utilisées en métrologie (par exemple : le Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure). Les normes de positionnement horizontal des aides à la navigation ont été révisées et des normes sur leur positionnement vertical ont été ajoutées. L'accent a été mis sur les principales composantes des levés hydrographiques tout en restant indépendant de la technologie utilisée.

Bien que l'hydrographe puisse avoir une certaine marge de manœuvre dans la conduite des opérations de levé, il appartient à l'autorité responsable de statuer sur l'atteinte des critères des normes. De plus, l'hydrographe est un élément essentiel du processus de levé et doit posséder des connaissances et une expérience suffisante pour pouvoir opérer le système pour atteindre la norme requise. Il peut être difficile de quantifier cet aspect, même si les qualifications des hydrographes et les schémas d'accréditations professionnelles peuvent servir de base à cette évaluation. L'offre d'enseignement dans ce domaine comprend, entre autres, les programmes d'enseignement de catégorie A et/ou B reconnus par le Comité international sur les normes de compétence pour les hydrographes et les spécialistes en cartographie marine (IBSC), l'Organisation hydrographique internationale (OHI), la Fédération internationale des géomètres (FIG) et l'Association cartographique internationale (ACI).

Les informations contenues dans les annexes [B](#), [C](#) et [D](#) fournissent quelques conseils sur le contrôle de la qualité, le traitement des données ainsi que des considérations relatives à la bathymétrie maillée. Ces annexes ne font pas partie intégrante des normes S-44 et elles seront supprimées lorsque les informations qu'elles contiennent seront intégrées en totalité dans la publication C-13 de l'OHI, *Manuel d'hydrographie*.

Les principaux changements de cette version 6.2.0 concernent l'ajout des *incertitudes a priori* et *a posteriori* au glossaire ainsi qu'une clarification de ces termes dans l'annexe C, des clarifications sur les termes d'*incertitudes horizontales totales*, une révision de la section 3.8 Nature du fond et des paramètres associés dans la Matrice. Ce travail a été réalisé par le HSWG.

Note : La publication de cette nouvelle édition de la norme n'invalide pas les levés effectués conformément aux éditions précédentes, ni les produits destinés à la sécurité de la navigation issus de tels levés.

GLOSSAIRE

Note : Les termes définis ci-dessous sont les plus pertinents pour cette publication. Une sélection beaucoup plus large de termes est définie dans la publication spéciale S-32 de l'OHI (Dictionnaire hydrographique) et celle-ci devrait être consultée lorsqu'un terme n'est pas listé dans ce glossaire. Si un terme figurant dans la liste ci-dessous a une définition différente dans la publication S-32, la définition donnée ci-dessous est à privilégier dans le cadre des présentes normes.

Pour les besoins de cette publication :

- doit** : indique une exigence à respecter obligatoirement ;
- devrait** : indique une exigence à laquelle il est recommandé de se conformer, mais qui n'est pas obligatoire ;
- peut** : indique une autorisation ou une possibilité.

Les termes qui ne sont utilisés que dans les annexes ne sont pas inclus dans ce glossaire ; ils sont définis dans les annexes.

Correction : quantité appliquée à une donnée pour compenser un effet systématique estimé.

Couverture bathymétrique : quantification de la zone qui a été levée en utilisant une méthode systématique de mesure de la profondeur ou dérivée. Elle résulte de la combinaison du schéma de levé et de la surface théorique de détection de l'instrumentation mise en œuvre.

Détection d'éléments : capacité d'un système à détecter des [éléments](#) d'une taille définie.

Élément : tout objet naturel ou artificiel qui se détache du fond environnant.

Élément significatif : [élément](#) qui présente un danger potentiel pour la navigation, ou un objet que l'on s'attend à voir représenté sur une carte marine ou décrit dans un produit nautique.

Erreur : différence entre la valeur d'une quantité issue d'un mesurage et la valeur réelle de cette quantité. Les [erreurs](#) peuvent être séparées en [erreurs systématiques](#) et en [erreurs aléatoires](#).

Erreur aléatoire : bruit dans un mesurage causé par des facteurs qui varient d'une mesure à l'autre. Ce bruit ne peut pas être compensé mais peut être quantifié par des moyens statistiques.

Erreur systématique : composante de l'[erreur](#) de mesurage qui reste constante ou varie de manière prévisible.

Incertitude : estimation caractérisant l'intervalle de valeurs dans laquelle la valeur réelle d'une grandeur mesurée est censée se situer, à un [niveau de confiance](#) spécifique. Elle est exprimée sous la forme d'une valeur positive.

Incertitude *a priori* : incertitude basée sur des estimations avant et tout au long du levé, calculée sans examen ou analyse.

Incertitude *a posteriori* : incertitude basée sur les données collectées du levé afin de vérifier que les résultats du levé répondent aux exigences.

Incertitude horizontale totale (THU) : composante de l'[incertitude totale propagée](#) (TPU) calculée sur le plan horizontal. La [THU](#) est une grandeur à 2 dimensions qui inclut toutes les incertitudes de mesure horizontales qui y contribuent.

Incertitude totale propagée (TPU) : [incertitude](#) à 3 dimensions obtenue en utilisant toutes les [incertitudes](#) associées aux grandeurs d'entrée dans un modèle de mesure.

Incertitude verticale totale (TVU) : composante de l'[incertitude totale propagée](#) (TPU) calculée dans la dimension verticale. La TVU est une grandeur à 1 dimension qui inclut toutes les incertitudes de mesure verticales qui y contribuent.

Métadonnées : données décrivant un ensemble de données et un aspect de son usage.

Niveau de confiance : probabilité que la valeur réelle d'un mesurage se situe dans l'[incertitude](#) spécifiée par rapport à la valeur mesurée.

Profondeur d'eau sous quille : distance entre le point le plus bas de la coque d'un navire et le fond de la mer, le lit de la rivière, etc.

Profondeur réduite : profondeur observée comprenant toutes les [corrections](#) relatives au levé, au post-traitement et à la réduction au référentiel vertical employé.

Recherche d'éléments : quantification de la zone qui a été levée en utilisant une méthode systématique d'identification d'[éléments](#).

Page laissée intentionnellement vide

CHAPITRE 1. CLASSIFICATION DES LEVÉS POUR LA SÉCURITÉ DE LA NAVIGATION

1.1 Introduction

Ce chapitre décrit les ordres des levés pour la sécurité de la navigation qui sont considérés comme satisfaisants par les services ou autorités hydrographiques pour générer des produits et services de navigation qui permettent aux navires de surface de naviguer en toute sécurité. Comme les exigences varient en fonction de la profondeur de l'eau, des propriétés géophysiques et des types de navigation prévus, cinq ordres de levés différents sont définis, chacun étant conçu pour répondre à un éventail de besoins.

Les cinq ordres sont décrits ci-dessous avec leur(s) domaine(s) d'utilisation prévu(s). Les normes minimales requises pour réaliser chaque ordre ([tableau 1](#) et [tableau 2](#)) ainsi qu'un outil pour enrichir et personnaliser des spécifications à partir de ces ordres ([matrice de spécification](#)) sont présentés au [chapitre 7](#).

Les services ou autorités hydrographiques chargés de l'acquisition des levés devraient choisir l'ordre de levé le plus approprié aux exigences de la sécurité de la navigation dans la zone. Un seul ordre peut ne pas être approprié pour toute la zone à lever et, dans ce cas, des ordres différents devraient être explicitement définis pour chaque sous-zone de levé. Par exemple : dans une zone traversée par de très grands pétroliers transporteurs de brut (VLCC) et dont la profondeur prévue est supérieure à 40 mètres, un levé de l'ordre 1a peut avoir été spécifié. Cependant, si l'hydrographe découvre des hauts-fonds de moins de 40 mètres de profondeur, il peut alors être plus approprié de les lever, ainsi que les zones environnantes, conformément à l'ordre spécial voire à l'ordre exclusif dans certaines circonstances limitées.

Pour être pleinement conforme à un ordre S-44, un levé hydrographique doit respecter **toutes** les exigences de cet ordre en matière de bathymétrie et de détection d'éléments ([tableau 1](#)) et, le cas échéant, toutes les autres exigences ([tableau 2](#)) pour le même ordre. En outre, les tableaux doivent être lus conjointement avec le texte détaillé des chapitres suivants. Le défi présenté par chaque ordre, en particulier les ordres spécial et exclusif, consiste à établir la méthodologie appropriée de levé pour atteindre les normes spécifiées.

Pour que les levés soient considérés systématiques, même lorsque la [couverture bathymétrique](#) est spécifiée à moins de 100 %, la distance horizontale entre les positions de profondeur enregistrées ne devrait pas être supérieure à 3 fois la profondeur d'eau ou à 25 mètres, selon la plus grande de ces deux valeurs.

1.2 Ordre 2

C'est l'ordre le moins strict et il est destiné aux zones où la profondeur de l'eau est telle qu'une représentation générale du fond est jugée suffisante. A minima, une [couverture bathymétrique](#) uniformément répartie de 5% est requise pour la zone de levé. Il est recommandé d'effectuer les levés à l'ordre 2 dans des zones dont la profondeur est supérieure à 200 mètres. Pour des profondeurs supérieures à 200 mètres, l'existence d'éléments suffisamment grands pour avoir un impact sur la navigation de surface et qui ne seraient toutefois pas détectés par un levé à l'ordre 2 est considérée comme peu probable.

1.3 Ordre 1b

Cet ordre est destiné aux zones dans lesquelles une représentation générale du fond est considérée comme suffisante compte tenu du type de navires de surface qui devraient y transiter. A minima, une [couverture bathymétrique](#) uniformément répartie de 5% est requise pour la zone de levé. Cela signifie que certains [éléments](#) ne seront pas détectés, la distance entre les zones de couverture bathymétrique limitera toutefois la taille de ces éléments non

détectés. Cet ordre de levé n'est recommandé que lorsque la [profondeur d'eau sous quille](#) n'est pas considérée comme problématique. Un exemple serait une zone où les caractéristiques du fond sont telles que la probabilité est faible qu'il y ait un [élément](#) sur le fond qui mettrait en danger le type de navire de surface qui devrait naviguer dans la zone.

1.4 Ordre 1a

Cet ordre est destiné aux zones dans lesquelles les [éléments](#) du fond peuvent devenir une préoccupation compte tenu du type de navires de surface qui devraient y transiter, mais dans lesquelles la [profondeur d'eau sous quille](#) n'est pas considérée comme critique. Une [recherche d'éléments](#) à 100% est requise pour détecter les [éléments](#) d'une taille donnée. Une [couverture bathymétrique](#) inférieure ou égale à 100 % est suffisante à condition que le point haut de tous les [éléments significatifs](#) soit mesuré (brassage) et que la bathymétrie fournisse une représentation appropriée de la nature de la topographie du fond. La [profondeur d'eau sous quille](#) devient moins critique à mesure que la profondeur augmente, de sorte que la taille de l'[élément](#) à détecter augmente avec la profondeur, dans les zones où la profondeur de l'eau est supérieure à 40 mètres. Les eaux côtières, les ports, les zones de mouillage, les voies recommandées et les chenaux sont des exemples de zones pouvant nécessiter des levés à l'ordre 1a.

1.5 Ordre Spécial

Cet ordre est destiné aux zones dans lesquelles la [profondeur d'eau sous quille](#) est critique. Par conséquent, une [recherche d'éléments](#) à 100% et une [couverture bathymétrique](#) de 100% sont requises, et la taille des [éléments](#) à détecter par cette recherche est délibérément plus exigeante que pour l'ordre 1a. Les ports, les zones de mouillage, ainsi que les parties critiques des voies recommandées et des chenaux sont des exemples de zones pouvant nécessiter des levés à l'ordre spécial.

1.6 Ordre Exclusif

Les levés hydrographiques à l'ordre exclusif sont une extension de l'ordre spécial de l'OHI avec des exigences plus strictes en matière d'incertitude et de couverture des données. Ces levés sont destinés à être limités aux zones d'eau peu profonde (ports, abords de quais et zones critiques des voies recommandées et des chenaux), dans lesquelles il y a une utilisation optimisée et exceptionnelle de la colonne d'eau, et dans lesquelles existent des zones critiques spécifiques avec une [profondeur d'eau sous quille](#) minimale et des caractéristiques de fond potentiellement dangereuses pour les navires. Pour cet ordre, une [recherche d'éléments](#) à 200% et une [couverture bathymétrique](#) de 200% sont requises. La taille des [éléments](#) à détecter est délibérément plus exigeante que pour l'ordre spécial.

CHAPITRE 2. POSITIONNEMENT HORIZONTAL ET VERTICAL

2.1 Introduction

Le positionnement est un élément fondamental de toute opération de levé. L'hydrographe doit tenir compte du repère de référence géodésique, systèmes de référence horizontaux et verticaux, de leurs connexions avec d'autres systèmes en usage (par exemple les systèmes de référence des levés topographiques), ainsi que de l'incertitude inhérente aux mesures associées.

Dans cette norme, la position et son incertitude se réfèrent à la composante horizontale de la sonde ou de l'élément, tandis que la profondeur et son incertitude se réfèrent à la composante verticale de la même sonde ou élément.

2.2 Systèmes et repères de référence géodésique

Les positions devraient être rapportées à un repère de référence géodésique, qui peut être la réalisation d'un système de référence global ou régional.

Les positions sont le plus souvent rapportées à un système/repère de référence de coordonnées composite tel qu'un système/repère de référence géodésique, géopotentiel ou d'altitude, elles peuvent donc être séparées dans leurs composantes horizontale et verticale.

2.3 Repère de référence horizontal

Si les positions horizontales sont rapportées à un référentiel local, le nom et l'époque du référentiel devraient être spécifiés et le référentiel devrait être lié à une réalisation d'un système de référence global (par exemple ITRF2018, WGS84(G1762)) ou régional (par exemple ETRS89, NAD83). Les paramètres de transformation entre les repères de référence/époques devraient être pris en compte, en particulier pour les levés d'[incertitude](#) faible.

2.4 Repère de référence verticale

Si la composante verticale des positions est référencée à un référentiel altimétrique local, le nom et l'époque du référentiel devraient être précisés. La composante verticale des positions (par exemple : les profondeurs, les sondes découvrantes) devrait être rapportée à un repère de référence vertical compatible avec le type de données et leur utilisation prévue. Ce repère de référence vertical peut être issu des observations des marées (par exemple PBMA, NMM, etc.), sur un modèle physique (le géoïde) ou un ellipsoïde de référence.

2.5 Rattachement du zéro des cartes à la référence du nivellement général

Pour que les données bathymétriques soient correctement et pleinement utilisées, les rattachements ou rapports entre le niveau de référence des cartes marines et le niveau de référence du nivellement général doivent être clairement déterminés et décrits. La résolution de l'OHI sur les niveaux de référence et repères de nivellement, résolution 3/1919 telle qu'amendée, définit les pratiques qui, le cas échéant, devraient être suivies pour déterminer ces liens entre ces niveaux de référence.

Cette résolution essentielle 3/1919 telle qu'amendée, est disponible dans la publication M-3 de l'OHI, Résolutions de l'Organisation hydrographique internationale, qui peut être téléchargée sur le site internet de l'OHI www.iho.int.

2.6 Incertitude

Cette norme traite de l'[incertitude totale propagée](#) (TPU) à travers deux composantes : l'[incertitude horizontale totale](#) (THU) et [incertitude verticale totale](#) (TVU). Les valeurs de THU et de TVU doivent se comprendre comme étant des intervalles de $\pm$ la valeur indiquée.

Une méthode statistique, combinant toutes les sources d'[incertitude](#) pour déterminer l'[incertitude](#) de positionnement horizontal et vertical, devrait être adoptée pour obtenir respectivement la THU et la TVU. Les incertitudes au [niveau de confiance](#) de 95% doivent être enregistrées avec les données du levé.

Les capacités du système de levé devraient être démontrées par des calculs d'[incertitude a priori](#) (THU et TVU). Ces calculs sont des prédictions et ils doivent être calculés pour l'ensemble du système de levé, en incluant les [incertitudes](#) liées aux instruments, aux mesures et aux conditions d'environnement. Ces estimations devraient être mises à jour pendant le levé pour refléter les changements des conditions environnementales telles que le vent, les vagues, etc., afin de modifier les paramètres du levé en conséquence.

Les valeurs finales d'[incertitude](#) du levé peuvent consister en des calculs *a priori* et *a posteriori*, en des valeurs empiriques explicites (par exemple, estimées à partir de l'écart type des seules mesures verticales), ou en une combinaison de ces valeurs. Les [métadonnées](#) devraient inclure une description des [incertitudes](#) adoptées, à la fois pour les composantes horizontale et verticale (THU et TVU).

Dans le cadre de cette norme, pour en faciliter l'utilisation et en supposant une distribution des erreurs selon une loi normale, l'incertitude horizontale admissible est supposée être égale dans les deux dimensions. L'incertitude de position est exprimée sous la forme d'un nombre unique, décrivant une incertitude radiale.

2.7 Niveau de confiance

Dans cette norme, le terme « [niveau de confiance](#) » n'est pas la définition statistique stricte, mais est équivalent aux termes « niveau de confiance » ou « probabilité », comme précisé dans le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*, JCGM 100:2008, section 6.2.2.

Il convient de noter que les [niveaux de confiance](#) (par exemple 95%) dépendent de la distribution statistique supposée des données et sont calculés de manière différente pour les quantités à une dimension (1D) et à deux dimensions (2D). Dans le contexte de cette norme, qui suppose une distribution des [erreurs](#) selon une loi normale, un [niveau de confiance](#) à 95% pour les quantités 1D (par exemple la profondeur) est défini comme 1,96 x l'écart type. Le [niveau de confiance](#) à 95% pour les quantités 2D (par exemple la position) est défini comme 2,45 x l'écart type en utilisant la composante d'écart-type la plus grande des axes x ou y.

CHAPITRE 3. PROFONDEUR, COUVERTURE BATHYMETRIQUE, ÉLÉMENTS, ET NATURE DU FOND

3.1 Introduction

La navigation des navires de surface nécessite une connaissance précise de la profondeur et des [éléments](#). Lorsque la [profondeur d'eau sous quille](#) est potentiellement un problème, la [couverture bathymétrique](#) doit être au moins de 100%, la [détection d'éléments](#) doit être appropriée et les incertitudes sur la profondeur doivent être rigoureusement contrôlées et comprises.

Pour personnaliser ou enrichir des spécifications d'un ordre garantissant la sécurité de la navigation ou pour d'autres applications, les critères de levé peuvent être sélectionnés parmi les valeurs de critères requis dans la [matrice](#) (voir [section 7.5](#) et [annexe A](#)).

3.2 Profondeur

3.2.1 Mesure de la profondeur

Les profondeurs doivent être comprises comme des [profondeurs réduites](#) dans un repère de référence vertical bien défini. La profondeur d'un [élément](#) est exprimée comme étant la profondeur minimale (brassage) de cet [élément](#).

Dans les eaux très turbides, par exemple dans les estuaires, cette profondeur minimale peut être déterminée sur la base de la densité de sédiments en suspension dans l'eau.

Dans des circonstances exceptionnelles, pour des objectifs de sécurité de la navigation, une méthode alternative de haute précision, jugée capable de confirmer la profondeur de sécurité dans une zone ou au-dessus d'un élément/d'une épave par le service ou l'autorité hydrographique, peut être utilisée pour certifier un seuil de navigation. Dans ce cas, l'incertitude de la mesure verticale définira l'ordre du levé.

3.2.2 Sondes découvrantes

Dans les régions à fort marnage, l'estran est parfois navigable à marée haute, les élévations dans l'estran doivent également faire l'objet d'un levé rigoureux. En fonction de la situation et des équipements disponibles, les sondes découvrantes peuvent faire l'objet d'un levé bathymétrique ou d'un levé topographique. Toutefois, quelle que soit la méthode de levé, les incertitudes maximales dans les zones où l'estran est navigable ne doivent pas dépasser celles spécifiées pour la zone immergée alentours.

3.2.3 Incertitude verticale maximale admissible

Considérant que les mesures des profondeurs sont affectées d'[erreurs](#) dont la source peut être dépendante de la profondeur ou indépendante de la profondeur, la formule ci-dessous est utilisée pour calculer l'incertitude de mesure verticale maximale admissible.

Les paramètres « a » et « b », ainsi que la profondeur « d », doivent être introduits dans la formule ci-dessous afin de calculer la [TVU](#) maximale admissible :

$$TVU_{max}(d) = \sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$$

Où

- a** représente la portion de l'[incertitude](#) qui ne varie pas avec la profondeur
- b** est un coefficient qui représente la portion de l'[incertitude](#) qui varie avec la profondeur
- d** est la profondeur

Le [tableau 1](#) fournit les paramètres « a » et « b » nécessaires au calcul de la [TVU](#) maximale admissible des [profondeurs réduites](#) pour chaque ordre de levé. Les [incertitudes verticales totales](#) des mesures de profondeur calculées avec un [niveau de confiance](#) à 95% ne doivent pas dépasser cette valeur.

3.3 Détection d'éléments

Les normes minimales pour la [détection d'éléments](#) sont spécifiées dans le [tableau 1](#). La forme basique de référence utilisée pour définir la capacité de détection d'élément d'un système est un [élément](#) cubique, soit une forme symétrique en 3D composée de six côtés carrés égaux.

Pour évaluer la capacité de [détection d'éléments](#) d'un système de levé, l'ensemble du système de levé doit être pris en compte, en incluant l'équipement, les méthodologies, les procédures et le personnel. Il est de la responsabilité du service ou de l'autorité hydrographique qui recueille les données d'évaluer la capacité de tout système de levé destiné à détecter des [éléments significatifs](#).

Les capacités de [détection d'éléments](#) spécifiées ne sont pas des déterminations implicites de ce qui constitue un danger pour la navigation. Dans certains cas, des [éléments significatifs](#) de taille plus réduite que celles définies dans le [tableau 1](#) peuvent être considérées comme des dangers potentiels pour la navigation. Le service ou l'autorité hydrographique peut alors juger nécessaire de détecter des [éléments significatifs](#) plus petits afin de minimiser le risque de ne pas détecter un potentiel danger pour la navigation. Toutefois, aucun système de levé ne peut garantir la détection de tous les éléments. Si l'on craint qu'une zone puisse receler des dangers pour la navigation qui pourraient ne pas être détectés par le système de levé, il devrait être envisagé d'utiliser un système de levé différent.

3.4 Recherche d'éléments

Les normes minimales pour la recherche d'éléments sont spécifiées dans le [tableau 1](#).

Pour l'ordre 1a, une [recherche d'éléments](#) à 100% peut être réalisée à l'aide d'un système de levé qui ne mesure pas la profondeur. Dans ce cas, des mesures de brassage issues d'un système bathymétrique indépendant seront requises pour chaque [élément significatif](#) détecté. Dans la mesure du possible, il est recommandé d'effectuer une [recherche d'éléments](#) à 100% couplée avec une [couverture bathymétrique](#) de 100%.

Une [recherche d'éléments](#) supérieure ou égale à 100% doit être planifiée et réalisée dans le but de détecter tous les éléments de taille spécifiée dans la présente norme. Lorsqu'une [recherche d'éléments](#) supérieure à 100% est nécessaire, y compris 200% pour l'ordre exclusif, elle peut être obtenue en assurant un recouvrement suffisant des acquisitions ou en acquérant plusieurs jeux de données indépendants dans le cadre d'un levé.

3.5 Couverture bathymétrique

Le concept de [couverture bathymétrique](#) a été introduit dans cette édition du S-44, afin de rendre la norme indépendante des technologies mises en œuvre. L'acquisition d'une [couverture bathymétrique](#) nécessite l'utilisation d'un capteur qui mesure ou dérive des profondeurs. Le [tableau 1](#) précise la [couverture bathymétrique](#) minimale à atteindre pour chaque ordre de levé.

3.5.1 Couverture bathymétrique de 100%

Une [couverture bathymétrique](#) de 100 % devrait être interprétée comme une [couverture bathymétrique](#) « complète ». Une [couverture bathymétrique](#) de 100% ne garantit pas des mesures de profondeur « en continu », puisque ce sont des mesures discrètes soumises par définition aux limitations de la physique et de l'instrumentation du levé.

3.5.2 Couverture bathymétrique inférieure à 100%

Une [couverture bathymétrique](#) inférieure à 100% doit suivre un schéma de levé systématique afin de maximiser une distribution uniforme des données de profondeur dans la zone de levé ; elle ne doit pas être inférieure à 5%. En outre, la nature du fond (par exemple : rugosité, type, pente) et les pratiques de navigation dans la zone doivent être prises en compte au départ et régulièrement réévaluées afin de déterminer si le schéma de levé devrait être adapté pour répondre aux exigences en matière de sécurité de la navigation dans la zone, tout en respectant les exigences minimales du [tableau 1](#). Pour que les levés soient considérés systématiques, même lorsque la [couverture bathymétrique](#) est spécifiée à moins de 100 %, la distance horizontale entre les positions de profondeur enregistrées ne devrait pas être supérieure à 3 fois la profondeur d'eau ou à 25 mètres, selon la plus grande de ces deux valeurs

Pour l'ordre 1a, une [couverture bathymétrique](#) inférieure ou égale à 100 % est suffisante à condition que le point haut de tous les [éléments significatifs](#) soit mesuré (brassage) et que la bathymétrie fournisse une représentation appropriée de la nature de la topographie du fond. Le paramètre [couverture bathymétrique](#) (exprimé en pourcentage), indépendant du système mis en œuvre, est utilisé pour tous les ordres. Dans la 5^{ème} édition, l'espacement entre profils était utilisé comme paramètre pour les ordres 2 et 1b. Pour passer d'un écart entre profils à une mesure en pourcentage pour la [couverture bathymétrique](#), une référence réaliste a été choisie en considérant un faisceau acoustique d'une ouverture de 8 à 12° et un espacement entre profils de 3 à 4 fois la profondeur d'eau¹. Cinq pour cent est ainsi la valeur retenue pour l'exigence de [couverture bathymétrique](#) des ordres 2 et 1b.

3.5.3 Couverture bathymétrique supérieure à 100%

Une [couverture bathymétrique](#) supérieure à 100 %, y compris 200% pour l'ordre exclusif, peut être obtenue en assurant un recouvrement suffisant des acquisitions ou en acquérant plusieurs jeux de données indépendants dans le cadre d'un levé.

¹ Exemple : Pour un sondeur monofaisceau avec une ouverture de faisceau de 8°, en considérant un espacement de 3 fois la profondeur pour les profils réguliers et de 10 fois l'espacement des profils réguliers pour profils traversiers, la formule donnant la couverture bathymétrique est : % de couverture = surface levée / surface totale = (diamètre de l'empreinte*longueur totale du profil) / surface totale = $2 \cdot \tan(8^\circ/2) \cdot (1/3 + 1/(3 \cdot 10)) = 0,051 = 5,1\%$.

Cette formule est fournie à titre d'illustration et ne fait pas partie de cette norme.

3.6 Dangers pour la navigation

Les services et autorités hydrographiques doivent tenir compte du trafic local attendu (par exemple, le tirant d'eau des navires) ainsi que de la configuration générale des fonds lors de l'évaluation des dangers potentiels pour la navigation.

Des données suffisantes doivent être acquises sur les [éléments](#) qui constituent des dangers potentiels pour la navigation (par exemple, une épave ou autre obstruction) pour garantir que le brassage et les positions sont déterminées par des méthodes appropriées, tout en respectant les exigences minimales du [tableau 1](#) pour l'ordre considéré.

Compte tenu des spécifications actuelles des navires, les [éléments](#) dont le brassage est supérieur à 40 m ne constituent probablement pas un danger pour la navigation de surface. Toutefois, cette déclaration devrait être constamment réévaluée en fonction des conditions locales et de leurs changements potentiels.

Le service ou l'autorité hydrographique, responsable de la qualité des levés, peut définir une limite de profondeur au-delà de laquelle une investigation détaillée du fond, et donc un examen des [éléments](#), n'est pas nécessaire.

3.7 Confirmation / infirmation d'un objet porté sur une carte

Dans le cas d'un objet qui a déjà été enregistré/représenté sur une carte, dans un document, une publication électronique ou une base de données, il est recommandé de confirmer ou d'infirmier l'existence de ces objets cartographiés tels que roches, épaves, obstructions, aides à la navigation et données douteuses. Les conclusions devraient être présentées dans le rapport du levé.

Les données douteuses comprennent, entre autres, les données généralement indiquées sur les cartes par PA (Position approchée), PD (Position douteuse), ED (Existence douteuse), SD (Sonde de profondeur douteuse) ou comme danger « signalé, mais non confirmé ». Les objets cartographiés doivent être confirmés ou infirmés par rapport à leur position sur la carte.

Aucune formule empirique pour définir la zone de recherche ne peut couvrir toutes les situations. Pour confirmer ou infirmer l'existence d'un objet, il est recommandé d'adopter un rayon de recherche au moins trois fois supérieur à l'[incertitude](#) sur la position du danger signalé. Si un objet cartographié n'a pas été positionné ou détecté à l'intérieur du rayon de recherche, il peut alors être recommandé de le supprimer.

Il est de la responsabilité du service ou de l'autorité hydrographique qui recueille les données d'évaluer si l'existence d'un objet cartographié a été infirmée de manière suffisamment claire pour pouvoir supprimer cet objet de la carte.

3.8 Nature du fond

3.8.1 Méthodes de caractérisation

La nature du fond devrait être déterminée dans les zones de mouillage potentielles, dans d'autres zones critiques ainsi que dans les zones où l'on soupçonne que les caractéristiques du fond ont une influence importante sur la [détection des éléments](#) requise. Les éléments constitutifs des techniques de caractérisation du fond comprennent : les prélèvements physiques (PHY), les analyses visuelles/optiques (VIS), les analyses en laboratoire (LAB) et les techniques indirectes (INF) déduites à partir des données de capteurs (par exemple, la rétrodiffusion).

Les échantillons du fond (PHY, VIS) devraient être réalisés à un espacement approprié pour le produit visé (par exemple, la carte), pour caractériser la nature du fond marin et, le cas échéant, pour apporter une vérité terrain (GT) aux techniques indirectes. La vérité terrain

(PHY/VIS/LAB) des techniques indirectes ne nécessite pas de suivre un maillage régulier ni d'être régulièrement espacée. Si des zones spécifiques telles que des zones de mouillage ou toute autre zone d'intérêt du levé ont fait l'objet de prélèvements de fond, les limites extérieures de ces zones d'échantillonnage devraient être enregistrées.

Pour la caractérisation du fond avec techniques indirectes (INF), les données proviendront généralement des systèmes utilisés pour le levé hydrographique (par exemple, rétrodiffusion acoustique du sondeur multifaisceau, imagerie sonar latéral et rétrodiffusion optique du lidar) ou d'autres sources (par exemple photographie aérienne, satellite). Une attention particulière est à porter aux protocoles d'étalonnage et de paramétrage des capteurs (y compris ceux relatifs aux données de colonne d'eau) pendant l'acquisition des données afin de minimiser les effets induits par les capteurs dans les données, ce qui peut avoir un impact négatif sur la caractérisation du fond.

Il n'existe actuellement aucune norme de l'OHI concernant la sécurité de la navigation sur les méthodes de caractérisation du fond. Toutefois, il existe des recommandations sur la rétrodiffusion acoustique ou optique et la [matrice](#) peut être utilisée pour spécifier et classer tout travail de ce type. Les valeurs appropriées pour ces paramètres varient grandement en fonction de la nature et de la configuration du fond ainsi que de l'usage prévu de la zone. L'hydrographe doit faire preuve de jugement pour déterminer les méthodes appropriées de caractérisation du fond et l'échantillonnage des prélèvements du fond afin de caractériser correctement la zone.

3.8.2 Rétrodiffusion acoustique

L'amplitude de la rétrodiffusion acoustique du fond est couramment enregistrée puisque ces données peuvent contribuer à caractériser la nature du fond sans moyens supplémentaires pour le levé. La rétrodiffusion est directement liée aux caractéristiques du fond telles que la composition des sédiments (e.g. densité, granulométrie, présence de coquilles), la rugosité (e.g. rides de sable, lits de gravier, substrat rocheux), la vie benthique (e.g. colonies de coquillages, récifs coralliens, herbiers marins, organismes enfouis) ou d'autres composants géologiques (e.g. vase liquide, poches de gaz peu profondes).

En 2015, le groupe de travail « GeoHab Backscatter Working Group » (BSWG, <https://geohab.org/backscatter-working-group/>) a élaboré des recommandations pour optimiser l'acquisition et l'utilisation de la rétrodiffusion acoustique, « Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars. Guidelines and Recommendations » (<https://doi.org/10.5281/zenodo.10089261>). Il est à noter que ces recommandations visent un enregistrement optimal des données de rétrodiffusion et peuvent ne pas être propices à une bathymétrie optimale. Des compromis peuvent être nécessaires en fonction des objectifs du levé.

3.8.3 Rétrodiffusion optique

Pour la caractérisation indirecte des fonds via la rétrodiffusion optique des capteurs passifs (imagerie d'observation de la Terre) ou actifs (Lidar), les caractéristiques cruciales sont la plage de longueur d'onde spectrale de la lumière visible (du bleu au rouge) et la densité de points ou la résolution spatiale. Ceux-ci permettent de quantifier les paramètres qui impactent la rétrodiffusion et facilitent la dérivation de la bathymétrie ou des caractéristiques des fonds marins.

En 2023, l'équipe de projet « [Satellite Derived Bathymetry Project Team](#) » a élaboré des recommandations sur la bathymétrie dérivée par satellite, [B-13](#), intégrant des conseils sur l'analyse de la rétrodiffusion dérivée des satellites.

Les normes concernant l'interprétation de l'intensité lidar sont limitées. L'American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) intègre des conseils sur le format des données lidar, avec diverses publications fournissant des méthodes pour corriger les

intensités affectées par les paramètres instrumentaux et environnementaux. En complément, les normes des services hydrographiques nationaux proposent des recommandations pour des conditions optimales d'acquisition et les formats de données. L'interprétation et l'analyse des images d'intensité lidar nécessitent une attention particulière puisqu'elles mesurent la rétrodiffusion à partir d'une source laser active et non la lumière naturelle du soleil et sont donc affectées par des facteurs tels que l'angle d'incidence et la variabilité de l'étalonnage.

CHAPITRE 4. HAUTEURS D'EAU ET COURANTS

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, les hauteurs d'eau sont considérées comme l'un des paramètres contribuant à la détermination verticale des mesures de profondeur ; les mesures de hauteurs d'eau en tant qu'ensemble de données discrètes destinées à calculer les harmoniques de marée, etc. sont couvertes dans d'autres documents de l'OHI. Les marées et autres évolutions des hauteurs d'eau qui ont un impact sur la [TVU](#) des données de profondeur doivent être prises en compte pour tout levé hydrographique, quelle que soit la technologie utilisée pour effectuer le levé. Des observations de courants seront souvent nécessaires pour assurer la sécurité de la navigation, et lorsque cela est spécifié dans les exigences du levé, ces observations doivent répondre aux paramètres présentés dans cette norme.

Pour les exigences visant à déterminer clairement les rattachements ou les rapports entre le niveau de référence des cartes marines et le niveau de référence du nivellement général, voir la [section 2.5](#).

4.2 Prédictions des hauteurs d'eau (marées)

Les observations de hauteurs d'eau peuvent être nécessaires pour faciliter la génération et la mise à jour des modèles de prédiction de marée et la production des annuaires de marée. La période d'observations de hauteurs d'eau devrait être aussi longue que possible et, de préférence, d'au moins 30 jours.

4.3 Réductions pour les observations de hauteurs d'eau

À chaque fois que les hauteurs d'eau ou les niveaux de marée observés/prédits sont utilisés pour réduire les sondes à un niveau de référence vertical, l'[incertitude](#) associée doit être prise en compte dans les calculs de la [TVU](#). Les valeurs observées sont préférables aux valeurs prédites.

4.4 Observations des courants (courants de marée et autres)

La vitesse et la direction des courants (courants de marée et autres) susceptibles de dépasser 0,5 nœud devraient être observées dans les zones critiques, si elles ne sont pas déjà connues ; par exemple : à l'entrée des ports et des chenaux, à tout changement de direction d'un chenal, dans les zones de mouillage et à proximité des quais. Il est également recommandé de mesurer les courants côtiers et *offshore* lorsqu'ils sont suffisamment forts pour avoir un impact sur la navigation de surface.

Le courant (courant de marée et autres) à chaque position devrait être mesuré à des profondeurs suffisantes pour répondre aux exigences de la navigation de surface habituelle dans la zone de levé. Dans le cas des courants de marée, des observations simultanées de la hauteur d'eau et des conditions météorologiques devraient être effectuées. Il est recommandé que la période d'observation soit d'au moins 30 jours.

La vitesse et la direction des courants (courant de marée et autres) doivent être mesurées avec un [niveau de confiance](#) de 95%, tel que spécifié dans le [tableau 2](#). Lorsque d'autres facteurs (par exemple, la variation saisonnière du débit des fleuves) sont susceptibles d'influencer les courants, les mesures devraient être effectuées de manière à couvrir toute la période de variabilité.

CHAPITRE 5. LEVÉS AU-DESSUS DU NIVEAU DE RÉFÉRENCE VERTICAL

5.1 Introduction

Les levés au-dessus du niveau de référence vertical sont nécessaires pour une navigation et un amarrage sûrs et efficaces. Les mesures topographiques et géodésiques particulièrement importantes pour la navigation sont présentées dans les sections suivantes. Les incertitudes admissibles relatives à ces mesures ([THU](#) ou [TVU](#) selon le cas) sont définies dans le [tableau 2](#).

Des informations supplémentaires, telles que dessins ou photographies de ces [éléments](#), devraient si possible être recueillies pour compléter la mesure.

Pour les exigences relatives au rattachement du niveau de référence des cartes marines au niveau de référence du nivellement général, voir la [section 2.5](#).

5.2 Aides fixes et éléments topographiques importants pour la navigation

Les aides fixes à la navigation comprennent, entre autres, les balises, les amers, les feux et les phares.

Les [éléments](#) topographiques importants pour la navigation sont les [éléments](#) remarquables, les amers et les objets qui facilitent l'amarrage, l'accostage et les manœuvres dans des espaces restreints et/ou qui fournissent une aide à la navigation.

Les [éléments](#) remarquables qui fournissent une aide à la navigation sans être spécifiquement dédiés à cet usage peuvent inclure, entre autres, des détails topographiques naturels ou artificiels remarquables et des amers tels que : cheminées, torchères, sommets de collines ou de montagnes, mâts, monuments, tours, raffineries, édifices religieux, silos, bâtiments isolés, réservoirs, dépôts pétroliers et moulins à vent. Les [éléments](#) de ce type peuvent être plus ou moins importants pour la navigation ([section 5.5](#)) en fonction des caractéristiques propres de l'élément et de ses environs.

Les [éléments](#) essentiels d'un port, d'un poste d'amarrage ou d'un accostage comprennent, entre autres : les épis, les môles, les wharfs et quais, les appontements et jetées, les ducs d'Albe, les piliers, les bollards, les cales, les docks, les portes d'écluses et les brise-lames.

Les [éléments](#) découvrants (y compris les roches) positionnés par des moyens topographiques peuvent être considérés comme des éléments topographiques importants pour la navigation.

Les [THU](#) et [TVU](#) admissibles pour le positionnement de ces aides fixes et [éléments](#) importants pour la navigation sont spécifiées dans le [tableau 2](#).

5.3 Objets et aides à la navigation flottants

Les objets et les aides à la navigation flottants comprennent, entre autres, les bouées, les balises articulées, les bassins de piscicultures et les docks flottants.

Pour les objets flottants, l'[incertitude](#) du positionnement devrait être nettement inférieure à l'évitage (mouvement possible de l'objet). L'évitage dû aux courants, au vent et à la hauteur d'eau doit être pris en compte lors du calcul de la position moyenne de ces objets.

La [THU](#) admissible pour le positionnement de ces objets est spécifiée dans le [tableau 2](#). La [TVU](#) n'est pas applicable à ces mesures.

5.4 Le trait de côte

Le *dictionnaire hydrographique* de l'OHI S-32, définit généralement le trait de côte comme la « ligne portée sur la carte séparant la terre et la mer ». La norme OHI S-4, *Réglementation de l'OHI pour les cartes internationales (INT) et spécification des cartes de l'OHI*, la décrit plus précisément comme la représentation de la laisse de pleine mer, ou la ligne du niveau moyen de la mer là où les variations du niveau de l'eau ou la marée ne sont pas sensibles. Le trait de côte peut également être défini comme étant la ligne de basse mer. La [THU](#) admissible pour le positionnement de ces objets est spécifiée dans le [tableau 2](#). La [TVU](#) n'est pas appliquée à ces mesures dans le cadre de cette norme.

5.5 Éléments d'importance moindre pour la navigation

Les [éléments](#) d'importance moindre pour la navigation sont les [éléments](#) peu visibles qui fournissent un contexte et des informations supplémentaires, mais qui sont peu susceptibles d'apporter une aide à la navigation. Comme indiqué à la [section 5.2](#), les [éléments](#) topographiques du même type peuvent être plus ou moins importants pour la navigation en fonction des caractéristiques propres de l'élément et de ses environs. Les [éléments](#) topographiques d'importance moindre pour la navigation peuvent inclure, entre autres, des amers peu visibles tels que : cheminées, torchères, sommets de collines ou de montagnes, mâts, monuments, tours, raffineries, édifices religieux, silos, bâtiments isolés, réservoirs, parcs de citernes et moulins à vent.

Les [THU](#) et [TVU](#) admissibles pour le positionnement de ces objets sont spécifiées dans le [tableau 2](#).

5.6 Hauteurs libres

Les obstacles aériens tels que les ponts et les câbles peuvent constituer un danger pour la navigation. Les [THU](#) et [TVU](#) admissibles pour le positionnement des hauteurs libres (en incluant les largeurs libres associées) sont spécifiées dans le [tableau 2](#).

5.7 Mesures angulaires

Les mesures angulaires comprennent, entre autres, les limites des secteurs et des arcs de visibilité des feux, les alignements et relèvements de garde (feux et amers). Les [THU](#) admissibles pour le positionnement de ces objets sont spécifiées dans le [tableau 2](#). Les [TVU](#) ne sont pas applicables à ces mesures.

CHAPITRE 6. MÉTADONNÉES

6.1 Introduction

Les [métadonnées](#) sont fondamentales pour garantir que les données du levé soient correctement comprises et utilisées comme il se doit pour la production de cartes ou à d'autres fins. La présente norme identifie les [métadonnées](#) minimales qui doivent accompagner les levés hydrographiques effectués pour la sécurité de la navigation. Lorsque des [métadonnées](#) supplémentaires sont disponibles, elles devraient être incluses afin de faciliter d'autres utilisations des données de ces levés. Des exemples de [métadonnées](#) sont présentées dans le paragraphe 6.2.

6.2 Contenu des métadonnées

Les [métadonnées](#) peuvent être fournies sous des formes diverses, par exemple dans le rapport de levé, ou intégrées dans un fichier de [métadonnées](#) spécifique. Le format choisi devrait permettre leur découverte, leur compréhension claire ainsi que leur interopérabilité. Chaque service ou autorité hydrographique peut adopter des exigences en matière de [métadonnées](#) allant au-delà de celles spécifiées ici et devrait élaborer et documenter une liste de [métadonnées](#) supplémentaires utilisées pour ses données de levé. Le tableau ci-dessous devrait être considéré comme un schéma, et non comme un modèle de données final.

Les [métadonnées](#) devraient être les plus complètes possibles mais devraient contenir, a minima, des informations sur :

Catégorie ou Groupe	Description
Type de levé	Par exemple : sécurité de la navigation, transit, reconnaissance/exploration, contrôle
Technique de mesure verticale / de profondeur	Par exemple : échosondeur, sondeur multifaisceau, plongeur, plomb de sonde, drague hydrographique, photogrammétrie, bathymétrie dérivée des satellites, lidar
Ordre du levé vérifié	Conformément à la norme S-44
Systèmes de référence horizontal et vertical et modèle de séparation utilisés	Y compris les rattachements avec un repère de référence géodésique établi sur l'ITRS (par exemple WGS84) et les informations d'époque, si un système de référence local ou une réalisation locale est utilisé
Incertitudes atteintes (à un niveau de confiance de 95%)	Pour les composantes horizontale et verticale : THU et TVU
Capacité de détection d'éléments	En mètre
Recherche d'éléments	% de la zone de levé ayant fait l'objet d'une recherche

Couverture bathymétrique	% de la zone couverte par le levé
Période de levé	Dates de début et de fin de levé
Levé réalisée par	Hydrographe, société de levé, autorité hydrographique
Propriété des données	Par exemple : organisme financeur, gouvernement
Attributs de la grille	Lorsque le livrable est une grille : résolution, méthode, couches disponibles, incertitude
Densité des données	Description de la densité des données sources, densité moyenne ou intervalle de densité (par exemple : nombre de points valides par unité de surface)
Limitations d'emploi	par exemple aucunes limitations, mention de protection, à ne pas utiliser pour la navigation ou diffusion restreinte

Les [métadonnées](#) devraient de préférence faire partie intégrante des enregistrements numériques du levé et être conformes aux normes de l'OHI sur les [métadonnées](#). Si cela n'est pas possible, des informations similaires devraient être incluses dans la documentation du levé.

CHAPITRE 7. TABLEAUX ET MATRICE DE SPÉCIFICATION

7.1 Introduction

Comme dans les éditions précédentes, cette édition de la S-44 présente sous forme de tableau les éléments clés des spécifications des levés destinés à la sécurité de la navigation. Cette édition comporte deux tableaux (1 et 2) et introduit une nouvelle [matrice](#) de spécifications, permettant une plus grande flexibilité pour des levés hydrographiques réalisés en dehors du cadre de la sécurité de la navigation. La nouvelle [matrice](#) permet de personnaliser et d'enrichir les spécifications de levés destinés à la navigation.

7.2 Normes relatives à la sécurité de la navigation

Les normes minimales pour la bathymétrie sont définies dans le [tableau 1](#). Les normes minimales pour d'autres mesures de positionnement et les mesures de courant sont définies dans le [tableau 2](#). Les deux tableaux doivent être exploités conjointement avec le texte détaillé du présent document.

Comme indiqué ci-dessus, toutes les valeurs des normes définies dans les [tableaux 1](#) et [2](#) sont incluses dans la [matrice](#), parmi une plage de valeurs disponibles pour enrichir et personnaliser les spécifications de levés destinés à la navigation. Bien que la [matrice](#) ait pour objet cette personnalisation, elle ne doit pas amener à réduire les exigences minimales des ordres des levés destinés à la sécurité de la navigation. Voir l'annexe A pour des conseils sur la manière d'utiliser la [matrice](#) de spécifications.

7.2.1 Normes pour la bathymétrie

Le [tableau 1](#) définit les normes minimales de bathymétrie pour les levés destinés à la sécurité de la navigation. Ces normes sont conçues pour être spécifiques à un objectif particulier tout en étant indépendantes de la technologie mise en œuvre. La compatibilité des données bathymétriques à un ordre donné ([tableau 1](#)) peut être évaluée indépendamment de l'ordre atteint pour les autres données de positionnement ([tableau 2](#)) ; cela permet de ne pas dégrader inutilement la représentation de la qualité de la bathymétrie sur les cartes marines et dans les produits nautiques. Le [tableau 1](#) est donné ci-dessous.

7.2.2 Autres normes de positionnement et sur les courants de marée et autres courants

Le [tableau 2](#) définit les normes minimales d'aide à la navigation, de positionnement de détails topographiques naturels ou artificiels pour les levés destinés à la sécurité de la navigation réalisés au-dessus du niveau de référence vertical. Il comprend également des normes minimales pour les mesures angulaires par rapport aux alignements, aux feux à secteurs et aux autres aides à la navigation similaires, utilisées pour une route établie ou à cap constant. Enfin, des exigences sont fixées pour les mesures de direction et de vitesse des courants de marée et autres courants. Ces normes ne s'appliquent que lorsque ces mesures sont nécessaires dans le cadre du levé. Le [tableau 2](#) est donné ci-dessous.

7.3 TABLEAU 1 - Normes minimales de bathymétrie pour les levés hydrographiques concernant la sécurité de la navigation

À exploiter conjointement avec le texte détaillé du présent document, m = mètres, toutes [incertitudes](#) à un [niveau de confiance](#) de 95%, * = [référence de la matrice](#).

TVU: a représente la partie de l'[incertitude](#) qui ne varie pas avec la profondeur

b est un coefficient qui représente la partie de l'[incertitude](#) qui varie avec la profondeur

d est la profondeur

$$TVU_{max}(d) = \sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$$

Référence	Critères	Ordre 2	Ordre 1b	Ordre 1a	Ordre spécial	Ordre exclusif
Chapitre 1	Description des zones (En général)	Zones dans lesquelles une description générale des fonds est jugée suffisante.	Zones dans lesquelles la profondeur d'eau sous quille n'est pas considérée comme problématique compte tenu du type de navires de surface qui devraient y transiter.	Zones dans lesquelles la profondeur d'eau sous quille n'est pas considérée comme critique, mais où des éléments impactant la navigation de surface peuvent exister.	Zones dans lesquelles la profondeur d'eau sous quille est critique	Zones dans lesquelles une profondeur d'eau sous quille minimale stricte et des contraintes de manœuvrabilité s'appliquent
Section 2.6	Profondeurs THU [m] + [% de la profondeur]	20 m + 10% de la profondeur *Ba5, Bb2	5 m + 5% de la profondeur *Ba8, Bb3	5 m + 5% de la profondeur *Ba8, Bb3	2 m *Ba9	1 m *Ba10
Section 2.6 Section 3.2 Section 3.2.3	Profondeurs TVU (a) [m] et (b)	a = 1,0 m b = 0,023 *Bc7, Bd4	a = 0,5 m b = 0,013 *Bc8, Bd6	a = 0,5 m b = 0,013 *Bc8, Bd6	a = 0,25 m b = 0,0075 *Bc10, Bd8	a = 0,15 m b = 0,0075 *Bc12, Bd8
Section 3.3	Détection d'éléments [m] ou [% de la profondeur]	Non demandé	Non demandé	Éléments cubiques > 2 m jusqu'à 40 m de fond ; 10% de la profondeur au-delà de 40 m *Be5, Bf3 au-delà de 40m	Éléments cubiques > 1 m *Be6	Éléments cubiques > 0,5 m *Be9
Section 3.4	Recherche d'éléments [%]	Recommandée mais non obligatoire	Recommandée mais non obligatoire	100% *Bg9	100% *Bg9	200% *Bg12
Section 3.5	Couverture bathymétrique [%]	5% *Bh3	5% *Bh3	≤ 100% *≤ Bh9	100% *Bh9	200% *Bh12

7.4 TABLEAU 2 - Autres normes minimales pour les levés hydrographiques concernant la sécurité de la navigation

A exploiter conjointement avec le texte détaillé du présent document. Les normes pour les types de données du [tableau 2](#) ne s'appliquent que lorsque de telles mesures sont nécessaires dans le cadre du levé.

m = mètres. Toutes [incertitudes](#) à un [niveau de confiance](#) de 95%. * = [référence de la matrice](#).

Référence	Critères	Incertitude par composante	Ordre 2	Ordre 1b	Ordre 1a	Ordre spécial	Ordre exclusif	
Section 5.2	Objets fixes, aides à la navigation, éléments au-dessus du niveau de référence verticale importants pour la navigation	THU [m]	5 m <i>*Pa4</i>	2 m <i>*Pa6</i>	2 m <i>*Pa6</i>	2 m <i>*Pa6</i>	1 m <i>*Pa7</i>	
		TVU [m]	2 m <i>*Pb2</i>	2 m <i>*Pb2</i>	1 m <i>*Pb3</i>	0.5 m <i>*Pb4</i>	0.25 m <i>*Pb5</i>	
Section 5.3	Objets et aides à la navigation flottants	THU [m]	20 m <i>*Pc2</i>	10 m <i>*Pc3</i>	10 m <i>*Pc3</i>	10 m <i>*Pc3</i>	5 m <i>*Pc4</i>	
Section 5.4	Trait de côte (laisses de PM, BM, ligne de NMM, etc.)	THU [m]	10 m <i>*Pd2</i>	10 m <i>*Pd2</i>	10 m <i>*Pd2</i>	10 m <i>*Pd2</i>	5 m <i>*Pd3</i>	
Section 5.5	Éléments au-dessus du niveau de référence verticale moins importants pour la navigation	THU [m]	20 m <i>*Pe2</i>	20 m <i>*Pe2</i>	20 m <i>*Pe2</i>	10 m <i>*Pe3</i>	5 m <i>*Pe4</i>	
		TVU [m]	3 m <i>*Pf1</i>	2 m <i>*Pf2</i>	1 m <i>*Pf3</i>	0.5 m <i>*Pf4</i>	0.3 m <i>*Pf5</i>	
Section 5.6	Hauteurs libres	THU [m]	10 m <i>*Pg1</i>	10 m <i>*Pg1</i>	5 m <i>*Pg2</i>	2 m <i>*Pg3</i>	1 m <i>*Pg4</i>	
		TVU [m]	3 m <i>*Ph1</i>	2 m <i>*Ph2</i>	1 m <i>*Ph3</i>	0.5 m <i>*Ph4</i>	0.3 m <i>*Ph5</i>	
Section 5.7	Mesures angulaires	[degrés]	0,5 degrés					<i>*Pi4</i>
Section 4.4	Direction du courant	[degrés]	10 degrés					<i>*Wa1</i>
Section 4.4	Vitesse du courant	[nœuds]	0,1 nœud					<i>*Wb5</i>

7.5 Description de la matrice

La [matrice](#) de spécification fournit une série de critères sélectionnables pour les paramètres bathymétriques et les autres types de données collectées, rapportées et livrées dans le cadre d'un levé hydrographique. Elle est introduite pour rendre la spécification et l'évaluation des levés hydrographiques flexibles et personnalisables, permettre leur adaptation aux technologies nouvelles et émergentes, et pouvoir inclure des levés hydrographiques effectués à des fins autres que la sécurité de la navigation. Par sa conception, elle est extensible et pourra évoluer dans les futures éditions de la S-44. La matrice peut être utilisée à la fois comme un outil lors de la spécification d'un levé, et comme un outil de classification des données une fois ce levé terminé.

Il est important de noter que la [matrice](#) ne définit pas en elle-même de normes pour les levés hydrographiques. Les normes pour les levés concernant la sécurité de la navigation (telles que définies dans les [tableaux 1](#) et [2](#)) font référence aux critères de la matrice et la [matrice](#) peut être utilisée pour personnaliser et enrichir ces normes minimales. Ce document ne définit pas de normes pour les levés effectués à des fins autres que la sécurité de la navigation (par exemple : levés géophysiques, prospection d'hydrocarbures, levés de dragage ou géotechniques). Cependant, les gammes de précisions présentées dans la [matrice](#) ont été conçues pour inclure ces levés et pour fournir un référentiel commun pour la spécification et l'évaluation de tous les levés hydrographiques.

De plus, avec l'émergence des nouveaux produits nautiques et des spécifications / modèles de données associés (par exemple : les cartes électroniques de navigation (ENC) et la spécification de produit ENC S-101), de nouveaux types d'informations seront mises à disposition du navigateur. La [matrice](#) peut être utilisée pour aider à définir et à catégoriser le nombre croissant de types de données qui seront utilisés dans ces produits en cours d'évolution.

Se rapporter à l'[annexe A](#) pour des conseils et des informations supplémentaires sur la manière d'utiliser la [matrice](#) de spécifications.

7.6 MATRICE

Matrice pour les levés hydrographiques. A exploiter conjointement avec le texte détaillé du présent document, m = mètres, toutes incertitudes à un niveau de confiance de 95%.

	Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
B	BATHYMÉTRIE														
a	Profondeurs <u>THU</u> [m]	500	200	100	50	20	15	10	5	2	1	0,5	0,35	0,1	0,05
b	Profondeurs <u>THU</u> [% de la profondeur]	20	10	5	2	1	0,5	0,25	0,1						
c	Profondeurs <u>TVU</u> « a » [m]	100	50	25	10	5	2	1	0,5	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05
d	Profondeurs <u>TVU</u> « b » <u>Note 1</u>	0,20	0,10	0,05	0,023	0,02	0,013	0,01	0,0075	0,004	0,002				
e	<u>Détection d'éléments</u> [m]	50	20	10	5	2	1	0,75	0,7	0,5	0,3	0,25	0,2	0,1	0,05
f	<u>Détection d'éléments</u> [% de la profondeur]	25	20	10	5	3	2	1	0,5	0,25					
g	<u>Recherche d'éléments</u> [%]	1	3	5	10	20	30	50	75	100	120	150	200	300	
h	<u>Couverture bathymétrique</u> [%]	1	3	5	10	20	30	50	75	100	120	150	200	300	

Note 1 : Pour utiliser le paramètre « b » en pourcentage de la profondeur, il faut le multiplier par 100.

	Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
P	AUTRE POSITIONNEMENT AU-DESSUS DU NIVEAU DE RÉFÉRENCE VERTICALE														
a	Aides fixes, éléments importants pour la navigation THU [m]	50	20	10	5	3	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01		
b	Aides fixes, éléments importants pour la navigation TVU [m]	3	2	1	0,5	0,25	0,1	0,05	0,01						
c	Aides et objets flottants THU [m]	50	20	10	5	2	1	0,5							
d	Trait de côte THU (laisses de PM, BM, ligne de NMM, etc.) [m]	20	10	5	1	0,5	0,25	0,1							
e	Éléments moins importants pour la navigation THU [m]	50	20	10	5	3	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01		
f	Éléments moins importants pour la navigation TVU [m]	3	2	1	0,5	0,3	0,25	0,1	0,05	0,01					
g	Hauteurs libres et hauteurs des feux d'alignement ou à secteurs THU [m]	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01					
h	Hauteurs libres et hauteurs des feux d'alignement ou à secteurs TVU [m]	3	2	1	0,5	0,3	0,1	0,05	0,01						
i	Mesures angulaires [degrés]	5	2,5	1	0,5	0,2	0,1	0,05							

	Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
W	COURANTS														
a	Direction du courant [degrés]	10	7,5	5,0	2,5	1,0	0,5	0,25	0,10						
b	Vitesse du courant [nœuds]	2	1	0,5	0,25	0,10									

	Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N	NATURE DU FOND														
a	Méthode de caractérisation du fond Note 2	PHY - VIS	PHY - LAB	PHY - VIS & LAB	INF	INF w/ GT (VIS)	INF w/ GT (LAB)	INF w/ GT (VIS & LAB)	VIS						
b	Échantillonnage des prélèvements de fond approximatif [m] Note 2	As Req to GT	10 000	5 000	2 500	1 852	1 000	500	250	100	75	50	25	10	5

Note 2 : PHY = prélèvement physique. VIS = analyse visuelle/Optique. LAB = analyse de laboratoire. INF = technique indirecte. w/ = avec. GT = vérité terrain. As Req to GT = selon besoins de validation par vérité terrain pour les techniques indirectes (voir [section 3.8](#)).

Page laissée intentionnellement vide

ANNEXE A GUIDE D'UTILISATION DE LA MATRICE

A.1 Introduction

La [matrice](#), telle que présentée dans la [section 7.6](#), comprend une série de critères sélectionnables pour les paramètres ou types de données des levés hydrographiques. Elle est organisée selon les classes de données suivantes : Bathymétrie, Autre positionnement, Courants et Nature du fond.

Les critères sont dérivés d'une série de codes alphanumériques qui font référence aux cellules de la [matrice](#). Un critère nécessite trois index pour faire référence à une adresse de cellule :

1. Le premier index est une lettre majuscule qui indique la classe de données.
2. Le deuxième index est une lettre minuscule qui renvoie à une ligne de critères prévus.
3. Le troisième index est un nombre qui renvoie à une colonne de valeurs de critères.

La chaîne ne devrait inclure que les paramètres et les types de données nécessaires à la spécification ou à la classification des levés. L'omission d'une référence de cellule indique qu'il n'y a pas d'exigence pour le critère correspondant et que « 0 » doit être utilisé dans les formules requises.

Tableau A1 - Classes de matrices et description

	Classe	Description
B	Bathymétrie	Profondeur et caractéristiques
P	Autre positionnement	Positionnement des éléments au-dessus du niveau de référence verticale
W	Courants	Direction et vitesse des courants
N	Nature du fond	Caractérisation du fond

	Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P	AUTRE POSITIONNEMENT AU-DESSUS DU NIVEAU DE RÉFÉRENCE VERTICALE									
a	Aides fixes, éléments importants pour la navigation THU [m]	50	20	10	5	3	2	1	0,5	0,2
b	Aides fixes, éléments importants pour la navigation TVU [m]	3	2	1	0,5	0,25	0,1	0,05	0,01	
c	Aides et objets flottants THU [m]	50	20	10	5	2	1	0,5		
	Trait de côte THU									

Figure A1 - Exemple: (Pb4) implique une TVU = 0,5 m pour des aides fixes, éléments importants pour la navigation

A.2 Exemples de réalisations de la matrice

A.2.1 Représentations de la matrice

Les réalisations de la [matrice](#) peuvent être représentées sous diverses formes, notamment sous forme de diagrammes, tableaux, chaînes de caractères ou matrices ombrées.

A.2.2 Exemples de tableaux

Le tableau suivant présente deux exemples de réalisations de la matrice : un levé d'ordre 1a, et une spécification personnalisée. Ce tableau comprend les valeurs associées à une cellule de la [matrice](#). Bien qu'il puisse être utile de fournir ces valeurs dans une spécification technique pour un levé, la référence à une cellule suffit en elle-même pour définir l'exigence. Les cellules en couleur mettent en évidence les différences entre l'ordre 1a et la spécification personnalisée, qui est plus exigeante.

B	BATHYMÉTRIE	Valeur Ordre 1a	Réf. matrice	Personn alisation	Réf. matrice
a	Profondeurs THU [m]	5	Ba8	5	Ba8
b	Profondeurs THU [% de la profondeur]	5	Bb3	5	Bb3
c	Profondeurs TVU « a » [m]	0,5	Bc8	---	---
d	Profondeurs TVU « b »	0,013	Bd6	0,010	Bd7
e	Détection d'éléments [m]	2 (≤40m)	Be5 (≤40m)	1 (≤40m)	Be6
f	Détection d'éléments [% de la profondeur]	10 (>40 m)	Bf3 (>40 m)	10	Bf3
g	Recherche d'éléments [%]	100	Bg9	100	Bg9
h	Couverture bathymétrique [%]	≤100	≤Bh9	100	Bh9
P	AUTRE POSITIONNEMENT				
a	Aides fixes, éléments importants pour la navigation THU [m]	2	Pa6	2	Pa6
b	Aides fixes, caractéristiques importantes pour la navigation TVU [m]	1	Pb3	1	Pb3
c	Aides et objets flottants THU [m]	10	Pc3	10	Pc3
d	Trait de côte THU (laises de PM, BM, ligne de NMM, etc.) [m]	10	Pd2	10	Pd2
e	Éléments moins importants pour la navigation THU [m]	20	Pe2	5	Pe4
f	Éléments moins importantes pour la navigation TVU [m]	1	Pf3	1	Pf3
g	Hauteurs libres et hauteurs des feux d'alignement ou à secteurs THU [m]	5	Pg2	5	Pg2

h	Hauteurs libres et hauteurs des feux d'alignement ou à secteurs TVU [m].	1	Ph3	1	Ph3
i	Mesures angulaires [degrés]	0,5	Pi4	0,5	Pi4
W	COURANTS				
a	Direction du courant [degrés]	10	Wa1	5	Wa3
b	Vitesse du courant [nœuds]	0,1	Wb5	0,1	Wb5
N	NATURE DU FOND				
a	Méthode de caractérisation du fond	---	---	INF w/ GT (VIS & LAB)	Na7
b	Échantillonnage des prélèvements de fond	---	---	As Req to GT	Nb1

A.2.3 Exemples de chaînes de caractères

Les chaînes de caractères suivantes présentent des exemples de réalisations de la matrice : levé d'ordre 1a, et un exemple de jeu de données issu de *crowdsourcing*.

Exemple de chaîne de caractères de la matrice pour l'ordre 1a:

Catégorisé selon la matrice S-44 comme :

Ba8, Bb3, Bc8, Bd6, Be5 (≤40m), Bf3 (>40m), Bg9, ≤Bh9, Pa6, Pb3, Pc3, Pd2, Pe1, Pf3, Pg2, Ph3, Pi4, Wa1, Wb5.

Elle peut être divisée en plusieurs parties car il peut ne pas être nécessaire de lever tous les paramètres en fonction de la zone et des exigences de la spécification du levé. Catégorisé selon la matrice S-44 comme :

- Bathymétrie : *Ba8, Bb3, Bc8, Bd6, Be5 (≤40m), Bf3 (>40m), Bg9, ≤Bh9*
- Objets fixes, aides, éléments au-dessus du niveau de référence verticale importants pour la navigation : *Pa6, Pb3*
- Aides et objets flottants : *Pc3*
- Trait de côte : *Pd2*
- Éléments au-dessus du niveau de référence verticale moins importants pour la navigation : *Pe2, Pf3*
- Hauteurs libres et range line, hauteurs des feux à secteurs: *Pg2, Ph3*
- Mesures angulaires : *Pi4*
- Courants : *Wa1, Wb5*

Exemple d'un jeu de données issu de *crowdsourcing* :

Un jeu de données de bathymétrie participative acquises par grands fonds, avec un sondeur monofaisceau et sans correction de célérité du son, pourrait être classé en utilisant la [TVU](#) et la [THU](#) (la couverture bathymétrique n'est pas pertinente ici s'il ne s'agit pas d'un levé systématique) :

Catégorisé selon la matrice S-44 comme : *Ba3, Bc5, Bd3*

Référencement :

L'utilisation de chaînes de caractères pour la classification des jeux de données devrait être faite avec une référence claire à l'[ordre S-44 du levé](#) et/ou à la [matrice](#), en soulignant tout écart par rapport à un ordre de levé.

Par exemple : « *Catégorisé selon la matrice S-44 comme : (Ba8, Bb3...)* » ou « *Catégorisé selon l'ordre de levé et la matrice S-44 comme : Ordre spécial, **Ba12*** » (où Ba12 indique dans ce cas un durcissement supplémentaire de l'ordre spécial).

Remarque : l'utilisation de chaînes de caractères seules a une probabilité plus élevée d'erreur de transcription.

A.2.4 Exemple de matrice

Exemple : Ordre 1b en utilisant la MATRICE DE SPÉCIFICATION

m = mètres, toutes [incertitudes](#) à un [niveau de confiance](#) de 95%, cellules de l'ordre 1b : 

	Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
B	BATHYMÉTRIE														
a	Profondeurs THU [m]	500	200	100	50	20	15	10	5	2	1	0,5	0,35	0,1	0,05
b	Profondeurs THU [% de la profondeur]	20	10	5	2	1	0,5	0,25	0,1						
c	Profondeurs TVU « a » [m]	100	50	25	10	5	2	1	0,5	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05
d	Profondeurs TVU « b » Note 1	0,20	0,10	0,05	0,023	0,02	0,013	0,01	0,0075	0,004	0,002				
e	Détection d'éléments [m]	50	20	10	5	2	1	0,75	0,7	0,5	0,3	0,25	0,2	0,1	0,05
f	Détection d'éléments [% de la profondeur]	25	20	10	5	3	2	1	0,5	0,25					
g	Recherche d'éléments [%]	1	3	5	10	20	30	50	75	100	120	150	200	300	
h	Couverture bathymétrique [%]	1	3	5	10	20	30	50	75	100	120	150	200	300	

Note 1 : Pour utiliser le paramètre « b » en pourcentage de la profondeur, il faut le multiplier par 100.

	Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
P	AUTRE POSITIONNEMENT AU-DESSUS DU NIVEAU DE RÉFÉRENCE VERTICALE														
a	Aides fixes, éléments importants pour la navigation THU [m]	50	20	10	5	3	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01		
b	Aides fixes, éléments importants pour la navigation TVU [m]	3	2	1	0,5	0,25	0,1	0,05	0,01						
c	Aides et objets flottants THU [m]	50	20	10	5	2	1	0,5							
d	Trait de côte THU (laisses de PM, BM, ligne de NMM, etc.) [m]	20	10	5	1	0,5	0,25	0,1							
e	Éléments moins importants pour la navigation THU [m]	50	20	10	5	3	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01		
f	Éléments moins importants pour la navigation TVU [m]	3	2	1	0,5	0,3	0,25	0,1	0,05	0,01					
g	Hauteurs libres et hauteurs des feux d'alignement ou à secteurs THU [m]	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01					
h	Hauteurs libres et hauteurs des feux d'alignement ou à secteurs TVU [m]	3	2	1	0,5	0,3	0,1	0,05	0,01						
i	Mesures angulaires [degrés]	5	2,5	1	0,5	0,2	0,1	0,05							

	Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
W	COURANTS														
a	Direction du courant [degrés] Section 4.4	10	7,5	5,0	2,5	1,0	0,5	0,25	0,10						
b	Vitesse du courant [nœuds] Section 4.4	2	1	0,5	0,25	0,10									

	Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N	NATURE DU FOND														
a	Méthode de caractérisation du fond Section 3.8 Note 2	PHY - VIS	PHY - LAB	PHY - VIS & LAB	INF	INF w/ GT (VIS)	INF w/ GT (LAB)	INF w/ GT (VIS & LAB)							
b	Échantillonnage des prélèvements de fond approximatif [m] Section 3.8 Note 2	As Req to GT	10 000	5 000	2 500	1 852	1 000	500	250	100	75	50	25	10	5

Note 2 : PHY = prélèvement physique. VIS = analyse visuelle. LAB = analyse de laboratoire. INF = technique indirecte. w/ = avec. GT = vérité terrain. As Req to GT = selon besoins de validation par vérité terrain pour les techniques indirectes

ANNEXE B DIRECTIVES RELATIVES AU CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

Note: Cette annexe **ne fait pas** partie intégrante des normes S-44 et elle sera supprimée lorsque les informations qu'elle contient seront intégrées en totalité dans la publication C-13 de l'OHI, *Manuel d'hydrographie*.

Contrôle de la qualité : Procédure d'évaluation de la qualité pour assurer l'atteinte des normes dans les produits en comparant le résultat à la spécification.

B.1 Contrôle de la qualité

Le contrôle de la qualité ne se limite pas à prouver que les résultats finaux du levé se situent dans les limites requises par la norme S-44. Pour atteindre la qualité requise, trois domaines importants vont influencer sur la qualité : le matériel, les procédures et le personnel. Tous ces domaines sont essentiels pour le contrôle de la qualité des produits hydrographiques. Le contrôle de la qualité ne se limite pas à des chiffres et à des calculs ; il s'agit plutôt d'une revue exhaustive de tous les facteurs impactant le levé.

B.2 Équipement

L'équipement utilisé doit être capable de produire des données répondant aux normes requises. Premièrement, les incertitudes totales propagées de tous les équipements et des corrections utilisées doivent être incluses pour calculer chaque valeur issue du levé. Les influences temporelles et spatiales du milieu dans lequel les mesures sont effectuées doivent être prises en compte dans ce calcul des [incertitudes totales propagées](#). Par un calcul *a priori* de l'[incertitude totale propagée](#) dans un certain environnement, il est possible de déterminer si la configuration instrumentale est suffisante pour la qualité requise. Si les incertitudes ne peuvent pas être calculées avant le levé, une autre méthode de description des incertitudes réalisées doit être conduite pour vérifier que les normes requises seront respectées.

Deuxièmement, l'équipement utilisé devrait être exempt d'[erreurs \(systématiques\)](#) qui doivent être déterminées par l'ajustage et la qualification.

L'utilisation d'un équipement ajusté permettant d'obtenir la qualité de données requise est la première étape du processus de contrôle de la qualité. Il est préférable de vérifier l'ensemble du système en conditions réelles (*in situ*) avant le levé, et à chaque fois qu'un doute survient pendant le levé.

B.3 Procédures

L'utilisation de procédures normalisées pour l'acquisition et le traitement des données hydrographiques peut réduire le risque d'[erreurs](#). En décrivant l'ensemble des procédures, il est possible d'intégrer, dès les premières phases du processus, des contrôles et des tests sur les [erreurs](#) potentielles. Ceci est important pour les [erreurs](#) qu'il est impossible de détecter par la suite.

Les procédures peuvent comporter des schémas complets des processus qui peuvent servir à l'audit de la chaîne de production et à la standardisation des produits. Dans les procédures, les contrôles de qualité *a posteriori* doivent être inclus.

B.4 Personnel

Toutes les étapes du levé doivent être conduites par du personnel qualifié. Le personnel doit être formé et compétent. Des qualifications formelles, telles que celles acquises dans le cadre de formations reconnues au niveau CAT A et B, sont préférables, mais une expérience professionnelle avérée peut être suffisante. Des systèmes d'accréditation professionnelle des personnes devraient également être envisagés.

ANNEXE C ORIENTATIONS POUR LE CONTRÔLE DE QUALITÉ *A PRIORI* ET *A POSTERIORI*

Note: Cette annexe **ne fait pas** partie intégrante des normes S-44 et elle sera supprimée lorsque les informations qu'elle contient seront intégrées en totalité dans la publication C-13 de l'OHI, *Manuel d'hydrographie*.

Les normes S-44 se rapportent à des normes de qualité définissant des résultats *a priori* et *a posteriori*. Les présentes orientations donnent un bref aperçu de la manière de déterminer les incertitudes *a priori* et *a posteriori*. La détermination des incertitudes est nécessaire quelle que soit la technique utilisée dans les levés hydrographiques. Les méthodes de détermination de l'[incertitude](#) peuvent être très différentes selon la technique de levé utilisée.

C.1 Incertitude *a priori*

L'[incertitude a priori](#) est une valeur prédite résultant de l'estimation, selon les meilleures pratiques, de tous les facteurs affectant les mesures. Chaque instrument utilisé dans la chaîne de mesurage, ainsi que les facteurs environnementaux ajouteront des incertitudes au total général. Le calcul de l'[incertitude](#) totale horizontale et verticale avant le levé pourra confirmer à l'hydrographe que l'équipement mis en œuvre, dans les conditions d'environnement de la zone de levé, permettra d'atteindre les exigences du levé. Si les exigences du levé ne sont pas respectées, d'autres équipements ou techniques de levé peuvent être nécessaires dans ces conditions particulières d'environnement.

Les estimations des incertitudes liées aux équipements et à l'environnement devraient être ajustées ou évaluées. Ce faisant, l'[incertitude a priori](#) est mise à jour au cours du levé.

C.2 Incertitude *a posteriori*

Dans l'absolu, l'hydrographe s'intéresse surtout à l'[incertitude a posteriori](#).

En dehors d'une zone de référence, il n'est pas possible de déterminer l'[incertitude a posteriori](#) à partir du jeu de données. Le jeu de données est le résultat final et contient toutes les [erreurs](#) liées au processus dans sa totalité, mais il ne permet pas de calculer l'[incertitude a posteriori](#). Il existe de nombreuses techniques et procédures pour contrôler un jeu de données hydrographiques et celles-ci peuvent apporter la preuve que les données sont fiables, mais aucun outil ne permet toutefois de calculer l'[incertitude a posteriori](#) d'une zone qui n'est pas déjà parfaitement connue.

Une tâche préliminaire consiste à vérifier l'ensemble du système, afin de s'assurer de sa capacité à répondre aux spécifications horizontales et verticales minimales et à l'exigence de [détection d'éléments](#) de l'ordre spécifié. Des zones de référence parfaitement connues devraient être utilisées pour éviter tout décalage vertical sur les mesures. Une qualification sur ces zones de référence devrait être effectuée régulièrement.

Au cours du levé, la validité du modèle vertical adopté devrait être confirmée en évaluant la répétabilité spatiale et temporelle du système de levé.

ANNEXE D CONSIDÉRATIONS SUR LA BATHYMÉTRIE MAILLÉE

Note : Cette annexe **ne fait pas** partie intégrante des normes S-44 et elle sera supprimée lorsque les informations qu'elle contient seront intégrées en totalité dans la publication C-13 de l'OHI, *Manuel d'hydrographie*.

RÉFÉRENCES : Le contenu (en anglais) des références suivantes a été utilisé dans la composition de la présente annexe.

OHI S-100, *The Universal Hydrographic Data Model – Edition 3.0.0*

OHI S-102, *Bathymetric Surface Product Specification – Edition 1.0.0*

OHI B-11, IHO-IOC *GEBCO Cook Book – September 2018*

ISO 19107:2003 Information géographique - Schéma spatial

ISO 19115:2003 Information géographique - Métadonnées

ISO 19123:2005 Information géographique - Schéma de la géométrie et des fonctions de couverture

Open Navigation Surface Working Group (ONSWG), Requirements Document – Version 1.0

Open Navigation Surface Working Group, Format Specification Document - Description of Bathymetric Attributed Grid Object (BAG) - Version 1.6.3

Open Navigation Surface Working Group, A Variable Resolution Grid Extension for BAG Files – Version 1.2

Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM User's Manual – 3rd Edition

GEBCO - Foire aux questions :

https://www.gebco.net/about_us/faq/#creating_a_bathy_grid

D.1 Introduction

Avec l'augmentation de la densité d'échantillonnage des données provenant des capteurs hydrographiques, les méthodes de représentation des fonds marins sont passées de produits vectoriels tels que des sondes et des contours discrets, à des [modèles bathymétriques](#) maillés. Le résultat d'un levé hydrographique est désormais couramment stocké sous forme d'une grille numérique ou d'une série de grilles à différentes résolutions. Ces grilles comprennent souvent en leurs nœuds des valeurs de profondeur et d'[incertitude](#), et peuvent inclure également des informations complémentaires comme l'écart-type des données contribuant au nœud, la densité de données par maille, la profondeur minimale, voire des informations permettant la conversion entre le niveau de réduction de la marée et un ellipsoïde de référence. Pour de nombreux services hydrographiques, les flux de production se concentrent maintenant sur ces [modèles bathymétriques](#) maillés comme source de données au lieu des fichiers de sondes à pleine résolution. L'exploitation des données bathymétriques maillées peut réduire les délais de production en fournissant un niveau d'information suffisant dans un format numérique plus léger.

Les [modèles bathymétriques](#) maillés sont également utilisés pour des applications à petite échelle telles que la caractérisation régionale des fonds. Dans de nombreux cas, ces grilles sont une combinaison de données observées, de données maillées de levés, de données estimées et de données interpolées. La présente annexe n'abordera pas les considérations relatives à ce type de grilles de compilations, des informations substantielles sur ce sujet sont entretenues par le Comité directeur mixte OHI-COI de la carte générale bathymétrique des océans (GEBCO).

D.2 Définitions

Cellule de grille : Zone définie dans les espaces entre les courbes de la grille.

Grille : Réseau composé de deux ensembles de courbes (ou plus) dans lequel les composants de chaque ensemble coupent les composants des autres ensembles de manière algorithmique. (ISO 19123)

Modèle bathymétrique : Représentation numérique de la topographie du fond par des coordonnées et des profondeurs.

Nœud de grille : Un point de données, doté d'un emplacement géographique exact référencé par la définition et la méthode d'enregistrement de la grille. La valeur contenue dans la grille décrit une sélection d'informations en ce point. (ONSWG)

Nœud de grille au centre de la cellule : Méthode d'enregistrement où les nœuds de la grille sont situés au centre des cellules de la grille. (GEBCO)

Nœud de grille au coin de la cellule : Méthode d'enregistrement où les nœuds de la grille sont centrés sur l'intersection des lignes de la grille. (GEBCO)

Représentation surfacique : Représentation des données maillées où toute la cellule est supposée avoir la même valeur, et où les changements ne se produisent qu'aux frontières entre cellules. (*The DEM User's Manual*)

Représentation surfacique interpolée : Représentation des données maillées où le nœud de la grille représente la valeur de la surface au centroïde de chaque cellule. La zone entre les centres des cellules est supposée être une valeur comprise entre celle des cellules adjacentes. (*The DEM User's Manual*)

Trou de couverture : Zone non sondée involontairement dans le cadre d'un levé hydrographique donné, dans lequel l'espacement entre les profils de sondage ou les levés dépasse les limites maximales admises. (Dictionnaire hydrographique S-32)

Type d'incertitude : type de calcul utilisé pour calculer l'incertitude associée aux nœuds de la grille.

D.3 Considérations sur les grilles

D.3.1 Résolution de la grille

En général, les [modèles bathymétriques](#) maillés sont générés en utilisant une résolution fixe pour une plage donnée de profondeurs. Un compromis est souvent fait lors du choix d'une résolution fixe pour une plage de profondeurs donnée, là où la résolution de la grille ne peut pas être la même pour les profondeurs les plus faibles et les plus profondes.

En complément des résolutions fixes par plage de profondeur, les efforts récents en matière de traitement des données hydrographiques ont permis de générer des [modèles bathymétriques](#) maillés à résolution variable. Ces modèles peuvent être générés en utilisant une résolution fixe par plage de profondeur prédéfinie (comme pour les grilles individuelles) ou des méthodes automatisées prenant en compte la profondeur et la densité des données obtenues.

Lorsque les spécifications du levé exigent la détection d'[éléments](#) de dimensions définies et que les résultats du levé seront fournis sous la forme d'un [modèle bathymétrique](#) maillé, la représentation précise des [éléments](#) au sein de la grille implique une taille de cellule qui ne soit pas supérieure à la taille de l'[élément](#) à représenter ; il est recommandé d'utiliser une taille de cellule de la moitié de celle de l'[élément](#).

La résolution de la grille devrait également être choisie en tenant compte à la fois de l'[incertitude](#) horizontale associée aux mesures et de la façon dont cette [incertitude](#) est prise en compte dans la méthode ou l'algorithme de maillage utilisé.

Enfin, la résolution de la grille devrait être déterminée en fonction de l'utilisation prévue de cette grille et, par conséquent, un levé peut nécessiter des grilles de résolutions différentes pour satisfaire des objectifs multiples.

D.3.2 Densité de données

Il est de la responsabilité du service ou de l'autorité hydrographique de déterminer une densité de données acceptable qui permette une représentation précise des [éléments](#) significatifs du fond et une estimation fiable de la profondeur à proximité des nœuds de la grille sans que les [trous de couverture](#) ne soient masqués par la résolution de la grille. Cette détermination exige des hydrographes qu'ils vérifient les capacités de [détection d'éléments](#) du capteur avant son utilisation, y compris par le choix et l'utilisation de paramètres d'acquisition appropriés.

Si des méthodes statistiques de maillage doivent être employées, des densités de données acceptables devraient être spécifiées avec un seuil minimum d'échantillons valides par zone (par exemple supérieur ou égal à cinq (5) échantillons par nœud). Les exigences en matière de densité des données devraient également décrire le pourcentage de nœuds dans la grille qui doivent atteindre cette densité, par exemple : au moins 95% de tous les nœuds dans la grille doivent être peuplés avec la densité minimale requise.

D.3.3 Couverture de la grille

Il est de la responsabilité du service ou de l'autorité hydrographique de définir les lacunes ou les trous de couverture présents dans les données. Cette définition doit décrire la zone du fond, en indiquant le nombre de nœuds consécutifs sans profondeur associée.

Lorsque des [modèles bathymétriques](#) maillés sont générés en utilisant une résolution fixe pour une plage donnée de profondeurs, les grilles adjacentes devraient présenter un recouvrement afin de s'assurer qu'aucun trou de couverture n'est généré entre grilles voisines.

D.3.4 Forçage des nœuds de la grille par l'hydrographe

Lorsque des méthodes statistiques de maillage sont employées, il est possible que l'algorithme de maillage omette une profondeur significative faible sur un [élément](#) d'intérêt. Il existe des outils dans de nombreux progiciels de traitement de données hydrographiques pour remplacer les valeurs des nœuds et forcer manuellement le modèle à respecter la profondeur des hauts-fonds. Il est de la responsabilité du service ou de l'autorité hydrographique de définir les seuils à partir desquels de tels forçages sont pertinents. Certains seuils résulteront de l'[incertitude](#) calculée, par exemple : ne remplacer la valeur de profondeur statistiquement significative en un nœud que lorsque la différence entre cette valeur et la mesure de haut-fond la plus proche dépasse l'[incertitude verticale totale \(TVU\)](#) autorisée en ce nœud. D'autres seuils peuvent être définis en fonction de l'échelle du produit pour lequel le jeu de données a été collecté. Des commentaires sur la sélection des [éléments](#) et les méthodes de forçage des nœuds devraient accompagner le [modèle bathymétrique](#) maillé pour permettre aux utilisateurs finaux de déterminer si ce modèle est approprié pour l'utilisation prévue.

D.4 Méthodes de maillage

Il existe plusieurs méthodes de maillage possibles selon que les jeux de données soient denses ou clairsemés. Le service ou l'autorité hydrographique est responsable de la détermination de la méthode appropriée pour l'utilisation prévue des données maillées qui en résulte. Cette détermination doit tenir compte de la mise en œuvre de la méthode ou de

l'algorithme de maillage dans le logiciel utilisé. Cette détermination doit également tenir compte de la méthode de description et de représentation des nœuds de la grille dans le logiciel sélectionné.

La liste suivante présente quelques-unes des méthodes couramment utilisées pour le maillage d'un jeu de données bathymétriques :

- La méthode de la **profondeur la plus courte** examine les estimations de la profondeur dans une zone d'influence spécifique et assigne à la position du nœud la valeur la plus courte. La surface résultante représente les profondeurs les plus faibles dans une zone donnée. L'utilisation des valeurs les plus courtes est souvent utilisée à des fins de sécurité de la navigation.
- La méthode de la **profondeur la plus profonde** examine les estimations de la profondeur dans une zone d'influence spécifique et assigne à la position du nœud la valeur la plus profonde. La surface résultante représente les profondeurs les plus grandes dans une zone donnée. Une surface de profondeurs les plus profondes est souvent utilisée lors du post-traitement pour identifier les valeurs aberrantes dans le jeu de données.
- La méthode de la **moyenne arithmétique** calcule une profondeur moyenne pour chaque nœud de la grille en attribuant le même poids à toutes les sondes dans une cellule.
- La méthode de la **médiane statistique** attribue une profondeur pour le nœud en ordonnant les échantillons contributifs de manière séquentielle et en sélectionnant la valeur médiane.
- La méthode de la **moyenne pondérée par l'inverse de la distance** calcule une profondeur moyenne pour chaque nœud de la grille en affectant à chaque sonde un poids égal à l'inverse de la distance entre la position de cette sonde et la position du nœud. Les estimations de profondeur contributives dans une zone d'influence donnée sont pondérées et moyennées pour calculer la valeur finale attribuée au nœud.
- La méthode de la **moyenne pondérée par l'incertitude totale propagée (TPU)** utilise l'élévation et l'[incertitude totale propagée](#) associée pour chaque estimation de profondeur contributive afin de calculer une profondeur moyenne pondérée à la position de chaque nœud.
- L'algorithme **CUBE (Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator)** utilise l'élévation et l'[incertitude totale propagée](#) associée pour chaque sonde contributive afin de calculer une ou plusieurs hypothèses pour une zone d'intérêt. Les hypothèses qui en résultent sont utilisées pour estimer des profondeurs statistiques représentatives à la position de chaque nœud.
- La méthode du **plus proche voisin** identifie la valeur de profondeur de la sonde la plus proche en distance du point nodal dans une zone d'intérêt. Cette méthode ne prend pas en compte les valeurs des autres points voisins.
- La méthode d'interpolation par **voisins naturels** identifie et pondère (en fonction de l'inverse de la surface du plus petit polygone – diagramme (tessellation) de Voronoï - autour de la valeur de la sonde) un sous-ensemble d'échantillons d'entrée dans la zone d'intérêt pour interpoler la valeur finale du nœud.
- La méthode de maillage par **tendance polynomiale** tente d'ajuster une tendance polynomiale, ou meilleure surface d'ajustement, à un ensemble de points de données d'entrée. Cette méthode peut projeter des tendances dans des zones pour lesquelles il n'existe que peu ou pas de données, mais ne fonctionne pas bien lorsqu'il n'y a pas de tendance discernable dans l'ensemble de données.

- La méthode de maillage par **splines** permet d'estimer les profondeurs en des nœuds à l'aide d'une fonction mathématique afin de minimiser la courbure globale de la surface. La surface finale « lissée » passe exactement par les estimations de profondeur d'entrée qui y contribuent. Cet algorithme des *splines* est considéré comme une méthode de maillage de données clairsemées.
- La méthode de **krigeage** est une méthode d'interpolation géostatistique qui génère une surface estimée à partir d'un ensemble de points dispersés dont la profondeur est connue.

D.5 Incertitude de la grille

L'[incertitude](#) associée à la valeur d'élévation contenue dans les [modèles bathymétriques](#) maillés peut être décrite à l'aide de diverses méthodes, qui peuvent inclure :

L'**écart-type brut** est l'écart-type des échantillons qui ont contribué au nœud.

L'**estimateur d'écart-type** est l'écart type des échantillons issus d'un algorithme d'hypothèse (par exemple : la sortie standard d'[incertitude](#) de CUBE).

L'**incertitude du produit** est un mélange de l'[incertitude](#) de l'estimateur d'écart-type et d'autres mesures qui peuvent inclure l'écart type brut, et de l'[incertitude](#) verticale moyenne du sous-ensemble d'échantillons utilisés pour générer l'hypothèse qui représente le nœud.

L'**écart-type historique** est une estimation d'écart-type calculée à partir des données historiques/d'archives.

D'autres types d'[incertitude](#) peuvent être spécifiés. Les méthodes d'estimation de l'[incertitude](#) devraient être documentées dans les [métadonnées](#) de la grille.

Les types d'incertitude énumérés ci-dessus décrivent l'[incertitude](#) verticale de la profondeur en un nœud. La grille résultante peut présenter une valeur d'[incertitude](#) plus élevée que prévu si le profil bathymétrique n'est pas représenté à une résolution de grille appropriée ; par exemple, une valeur d'[incertitude](#) en un nœud peut être plus élevée que prévu le long d'une bathymétrie à forte pente.

Si nécessaire, l'[incertitude](#) horizontale pour un nœud de grille peut être obtenue en calculant une moyenne simple, ou pondérée par la distance, des valeurs de l'[incertitude](#) horizontale associées aux échantillons qui ont contribué au nœud de grille.

D.6 Applicabilité

Les [modèles bathymétriques](#) maillés sont un produit courant d'un levé hydrographique ; cependant, l'utilité de la représentation par un modèle commence bien avant la finalisation d'un jeu de données de levé : ces données peuvent également être utilisées pour vérifier les exigences du levé hydrographique pendant l'acquisition et pour certifier de la qualité d'un jeu de données pendant les opérations de validation.

D.6.1 Acquisition des données du levé

Des [modèles bathymétriques](#) maillés peuvent fournir des informations précieuses sur la densité des mesures sur le fond en cours de levé et permettre l'identification des [éléments](#) significatifs du fond. Ces modèles peuvent être exploités pour évaluer où et dans quelle mesure la couverture bathymétrique est réalisée, les objets sont identifiés dans le cadre de la détection d'objets, et où des trous de couverture existent. Le suivi de ces informations pendant les opérations de levé est nécessaire pour s'assurer de la complétude des données de terrain avant de quitter la zone de levé.

D.6.2 Validation des données du levé

Les [modèles bathymétriques](#) maillés peuvent servir d'outil de comparaison pour examiner la cohérence des données de profondeur au sein du levé et la présence d'[erreurs aléatoires](#) ou systématiques dans les jeux de données. Ces modèles peuvent également servir d'outil de comparaison entre des levés adjacents ou entre les résultats de différents capteurs de d'acquisition. Des comparaisons entre les données maillées à haute résolution et les données ponctuelles existantes peuvent également être réalisées pour établir des statistiques sur les différences et aider à établir des priorités pour les futures mises à jour des produits. La comparaison de la profondeur en un nœud de la grille et de l'[incertitude](#) associée est une autre méthode courante utilisée pour déterminer si un jeu de données d'un levé est conforme aux seuils d'[incertitude](#) requis.

D.6.3 Livrables du levé

Comme mentionné tout au long de cette annexe, associés à des journaux d'acquisition, rapports de levé et autres [métadonnées](#), des [modèles bathymétriques](#) sont suffisants pour servir de résultat et de livrable définitif d'un levé. Les modèles maillés servent également de données d'entrée directe pour la génération de produits destinés à la sécurité de la navigation ou à des objectifs de protection du milieu marin.

D.7 Métadonnées

Pour garantir que les [modèles bathymétriques](#) maillés soient adaptés à des objectifs qui incluent et vont au-delà de la sécurité de la navigation, un niveau approprié de [métadonnées](#) décrivant le jeu de données est nécessaire. La norme OHI S-102, spécification de produit pour les surfaces bathymétriques, fournit des composants de [métadonnées](#) dérivés de la norme S-100 et des normes ISO 19115 et ISO 19115-2. Les composants décrits dans la norme S-102 comprennent des composants obligatoires, facultatifs et conditionnels. Conformément à cette spécification, les [métadonnées](#) définitives pour les [modèles bathymétriques](#) maillés comprendront des informations décrivant le jeu de données, le type de [correction](#) des profondeurs, les composantes des [incertitudes](#), les informations sur le système de référence et de coordonnées de la grille, ainsi que des descriptions temporelles, les méthodes de construction de la grille et les personnes responsables de la génération du produit.

Le président de l'équipe de projet sur les normes pour les levés hydrographiques, Christophe VRIGNAUD (France, Shom), soutenu par le vice-président Nickolás DE ANDRADE ROSCHER (Brésil, DHN) et le Secrétariat de l'OHI, souhaite remercier les participants suivants (par ordre alphabétique) pour leurs efforts et leur contribution :

Sejin AHN, République de Corée (KHRA)
 Anderson BARBOSA DA CRUZ PEÇANHA, Brésil (DHN)
 Erik BISCOTTI, Italie (IIM)
 Vidar BØE, Norvège (NHS)
 James CHAPMAN, Royaume-Uni (UKHO)
 Andrew COULLS, Australie (AHO)
 Rodrigo DE CAMPOS CARVALHO, Brésil (DHN)
 Cristina MONTEIRO, Portugal (IH)
 David DODD, expert contributeur (IIC Technologies)
 Marco FILIPPONE, expert contributeur (Fugro)
 Maxim FRITS VAN NORDEN, expert contributeur (University of Southern Mississippi)
 Fabien GERMOND, expert contributeur (iXblue)
 Megan GREENAWAY, États-Unis (NOAA)
 Florian IMPERADORI, France (Shom)
 Iji KIM, République de Corée (KHOA)
 Jean LAPORTE, expert contributeur (ARGANS)
 Kwanchang LIM, République de Corée (KHOA)
 John LOOG, Pays-Bas (NLHO)
 Jean-Guy NISTAD, Allemagne (BSH)
 JongYeon PARK, République de Corée (KHOA)
 Hugh PARKER, expert contributeur (Fugro)
 David PARKER, Royaume-Uni (UKHO)
 Stephen PARSONS, Canada (SHC)
 Alistair PHILIP, Royaume-Uni (UKHO)
 Ronan PRONOST, France (Shom)
 Misty SAVELL, États-Unis (NGA)
 Thierry SCHMITT, France (Shom)
 Iain SLADE, expert contributeur (IFHS)
 Diego TARTARINI, Italie (IIM)
 Matthew THOMPSON, États-Unis (NAVOCEANO)
 David VINCENTELLI, expert contributeur (iXblue et IFHS)
 James WALTON, expert contributeur (AML)
 Neil WESTON, États-Unis (NOAA)
 Enrico ZANONE, Italie (IIM)
 Anders ÅKERBERG, Suède (SMA)
 Hans ÖIÅS, Suède (SMA)

Un merci particulier à Richard POWELL (USA, NOAA) pour l'image de couverture.

Traduction de l'anglais de l'édition 6.0.0 par Ronan Pronost (Shom), relecture par David Vincentelli (AFHY) et Richard Sanfaçon (ACH).

Les clarifications de l'édition 6.1.0 à la 6.2.0 ont été effectuées par l'équipe d'édition de la S-44 du HSWG, et traduites en français par le Shom. Le HSWG est mené par David Parker, UK (UKHO), Megan Greenaway, USA (NOAA) et le commandant Carlos R. Videira Marques, Portugal (Instituto Hydrográfico).