



GUIDE DU SHOM POUR LA REALISATION DES LEVES HYDROGRAPHIQUES

Table des matières

1	Introduction.....	5
1.1	Rôle de l'hydrographie	5
1.2	Levés en mer	5
1.2.1	Levés hydrographiques	6
1.2.2	Campagne d'océanographie	6
1.2.3	Levés géophysiques	7
1.3	Recommandations pour la réalisation des levés.....	7
1.3.1	« Publication S-44 » de l'OHI	7
1.3.2	La norme Shom.....	8
1.3.3	Autres normes.....	8
1.4	Types de levés hydrographiques	9
1.4.1	Levé de zone critique	11
1.4.2	Levé de zone d'intérêt particulier	11
1.4.3	Levé côtier.....	11
1.4.4	Levé grands fonds pour l'hydrographie générale	11
1.4.5	Levé en transit.....	11
1.4.6	Levé de reconnaissance.....	11
1.4.7	Levé avant dragage	11
1.4.8	Levé de contrôle	12
1.4.9	Levé d'infrastructure	12
2	Organisation et conduite d'un levé	13
2.1	Etapas d'un levé	13
2.2	Documents rédactionnels.....	13
2.2.1	IT (ou cahier des charges).....	13
2.2.2	IP	14
2.2.3	Rapport	14
3	Application des normes.....	15
3.1	Comment atteindre les objectifs des normes ?	15
3.2	Détermination des incertitudes horizontale et verticale	15
3.2.1	Rappels sur les erreurs de mesure	15
3.2.2	Incertitude horizontale	17
3.2.3	Incertitude verticale.....	18
3.3	Maîtrise des incertitudes horizontales et verticales.....	18
3.3.1	Etalonnages et ajustages	19
3.3.2	Détermination des bras de leviers	19
3.3.3	Ajustage du SMF	20
3.4	Exploration complète	20
4	Préparation du levé.....	22
4.1	Références horizontales et verticales	22
4.2	Marée.....	22
4.2.1	Rappels.....	22
4.2.2	Réduction de la marée	23
4.2.3	Marée cinématique (ou « marée GPS »)	24
4.3	Positionnement	25
4.4	Détermination du réseau de profils (ou lignes).....	25
4.5	Choix des matériels « annexes ».....	26
4.5.1	Sonar latéral	26
4.5.2	Magnétomètre	27
4.5.3	Système de prélèvement de sédiment	27
4.6	Reconnaissance sur zone.....	29
5	Réalisation du levé.....	31

5.1	Temps réel	31
5.1.1	Cahier de quart	31
5.1.2	Célérité	31
5.1.3	Filtrage.....	31
5.1.4	Immersion des antennes du sondeur	32
5.1.5	Attitude.....	32
5.1.6	Suivi de profil.....	32
5.1.7	Imagerie	33
5.1.8	Réalisation de cible.....	33
5.2	Traitement en temps peu différé.....	33
5.2.1	Hauteurs d'eau.....	33
5.2.2	Validation de la navigation	33
5.2.3	Validation de l'attitude et du cap.....	33
5.2.4	Examen de la bathymétrie	34
5.2.5	Contrôle de la couverture.....	34
5.3	Planification et réalisation des recherches.....	34
6	Traitement des données.....	36
6.1	MNT.....	36
6.2	Localisation	37
6.3	Célérité	37
6.4	Attitude et le cap	38
6.5	Marée.....	38
6.6	Traitement de la bathymétrie	39
6.6.1	Détection et élimination des erreurs systématiques.....	39
6.6.2	Traitement des erreurs ponctuelles.....	43
6.6.3	Traitement automatique	44
6.7	Contrôle qualité (QC-test)	44
6.7.1	Qualification verticale	44
6.7.2	Qualification horizontale	45
6.7.1	Autres QC-test.....	45
7	Information nautique.....	46
7.1	Sécurité de la navigation.....	46
7.2	Fourniture de la donnée au Shom.....	46

GLOSSAIRE

AFHy	Association francophone d'hydrographie
GNSS	Global navigation satellite system - Système de navigation par satellite
CEI (ou IEC)	Commission électrotechnique internationale
COI (ou IOC)	Commission océanographique intergouvernemental
IHT	Incertitude horizontale totale
IMCA	International marine contractors association
IP	Instructions particulières
IT	Instructions techniques
IVT	Incertitude verticale totale
Lidar	Light detection and ranging - télédétection par laser
MNT	Modèle Numérique de Terrain
OHI (ou IHO)	Organisation hydrographique internationale
OMI (ou IMO)	Organisation maritime internationale
QC	Quality check - Test de qualité
RAM	Références altimétriques marines
REFMAR	Réseau de référence des observations marégraphiques
RSM	Renseignements sur la sécurité maritime
SH	Service hydrographique
SMF	Sondeur multifaisceau
UIT (ou ITU)	Union internationale des télécommunications
UNESCO	Organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture
ZH	Zéro hydrographique

1 INTRODUCTION

1.1 Rôle de l'hydrographie

L'hydrographie, la cartographie marine, les aides à la navigation et la diffusion des RSM sont des facteurs clés pour la sécurité maritime et la protection du milieu marin. Ce sont également des éléments essentiels pour le développement de l'infrastructure d'un pays, impliquant non seulement les ports et le transport maritime mais également l'exploitation des ressources marines et la protection de l'écologie marine. Chaque pays maritime est responsable de la cartographie de ses zones maritimes ainsi que de la circulation des renseignements nautiques appropriés.

La définition de l'hydrographie établie par l'OHI associe étroitement l'hydrographie à la sécurité de la navigation :

« L'hydrographie est la branche des sciences appliquées traitant du mesurage et de la description des éléments physiques des océans, des mers, des zones côtières, des lacs et des fleuves, ainsi que de la prédiction de leur changement dans le temps, essentiellement dans l'intérêt de la sécurité de la navigation et à l'appui de toutes les autres activités maritimes, incluant le développement économique, la sécurité et la défense, la recherche scientifique et la protection environnementale ».

L'OHI reconnaît également que l'hydrographie joue un rôle vital dans toutes les autres activités maritimes. L'hydrographie sous-tend les activités humaines dans, sur et sous la mer incluant :

- la sécurité de la navigation ;
- le commerce maritime et la maîtrise d'un transport efficient et sûr ;
- la défense et la sécurité maritime ;
- la gestion et le développement de la zone côtière ;
- l'exploration et l'exploitation des ressources marines : minéraux et pêche ;
- le tourisme maritime ;
- la protection et la gestion environnementale ;
- la recherche et le sauvetage ;
- les frontières et la politique maritime ;
- les sciences de la mer ;
- les infrastructures de données spatiales maritimes ;
- la modélisation des tsunamis et des risques d'inondations ;
- les loisirs nautiques et la navigation de plaisance.

1.2 Levés en mer

On appelle de manière générale « levé » toute campagne d'acquisition de données à la mer.

En pratique, on distingue :

- les levés hydrographiques qui sont destinés à la cartographie marine et à la sécurité de la navigation ou orientés principalement autour de la bathymétrie ;
- les campagnes d'océanographie qui sont axées sur l'étude des phénomènes physiques ou biologiques dans la colonne d'eau ;
- les levés géophysiques dont les études portent sur les phénomènes physiques terrestres.

1.2.1 Levés hydrographiques

Les levés hydrographiques sont axés sur la détermination de la profondeur dans la zone levée, la détection des relèvements du fond dangereux pour la navigation, et la mise à jour de l'information nautique environnante pour l'entretien ou la création des documents nautiques (cartes, instructions nautiques, livre des feux, etc.) traitant de la zone levée.

Un levé hydrographique comprend :

- des travaux préparatoires :
 - travaux de géodésie : positionnement de stations de référence GNSS pour la localisation précise des porteurs, mesures de nivellement pour le contrôle des observatoires de marée ;
 - mesures de marée : mise en place et exploitation de marégraphes permanents ou d'observatoires de marée temporaires.
- le levé hydrographique à proprement parler :
 - levés bathymétriques : mesure de la profondeur (sondage) au SMF ou sondeur vertical, mise en œuvre de sonar latéral pour la détection des relèvements, mise en œuvre de magnétomètres remorqués pour la classification (identification) des épaves, utilisation des techniques du lidar ou satellitaires pour la détermination des profondeurs ;
 - mesures hydrologiques : mesures de température, de conductivité ou de célérité du son nécessaires à la mesure précise de la profondeur par les sondeurs ;
 - plongées : pour cotation et identification précise de relèvements du fond ;
 - étude de la nature des fonds : par l'imagerie, les mesures à l'aide de sondeur (ou pénétrateur) de sédiment et les prélèvements, dans le but d'estimer la tenue des mouillages ou de quantifier les risques en cas d'échouage.
- des mesures complémentaires :
 - géodésie pour le positionnement de points remarquables à terre : amers ou calage de photographies aériennes ou d'images satellites pour la cartographie ;
 - positionnement du balisage fixe et flottant ;
 - mesures de courant au point fixe : installation de courantomètres ;
 - photographies : aériennes ou depuis la mer, pour les instructions nautiques.

À l'issue du levé, les données sont exploitées selon les standards hydrographiques (internationaux ou dérivés). On parle alors de « rédaction » : c'est la mise en forme des données pour intégration dans des bases de données et rédactions de livrables (plans, rapports, etc.).

1.2.2 Campagne d'océanographie

Les campagnes d'océanographie sont dédiées à l'étude des phénomènes physiques (température, salinité, courants, clarté de l'eau essentiellement), chimiques (oxygène dissout, sels nutritifs, etc.) ou biologiques (teneur en plancton végétal ou animal) dans la colonne d'eau.

Les mesures sont réalisées le long de radiales, destinées à obtenir une « coupe » de l'océan pour le phénomène étudié, ou en station, de sorte à observer la variation des conditions hydrologiques en un point donné au cours d'une période suffisamment longue pour observer la totalité des variations.

Les campagnes comprennent en général la mise à l'eau de flotteurs, de mouillage ou d'appareils de mesure autonomes restituant leurs données par satellite ou lors de leur relevage plusieurs mois après leur installation.

La diversité des capteurs mis en œuvre au cours des campagnes d'océanographie est telle qu'il n'est pas réaliste d'en établir une liste exhaustive.

1.2.3 Levés géophysiques

Les levés géophysiques ont pour objectif l'étude des phénomènes physiques terrestres qui expliquent la nature et la morphologie du fond, ou en découlent. Ils mettent en œuvre des techniques similaires à celles des levés hydrographiques, complétés par des capteurs spécifiques.

Les mesures réalisées sont :

- mesures bathymétriques à haute résolution (SMF) pour détermination de la morphologie des fonds ;
- mesures d'imagerie acoustique (SMF ou sonar latéral) : aide à la détermination de la nature des sédiments de surface ;
- prélèvements du fond : en surface (carottier interface, bennes de prélèvements) ou en profondeur (carottage) pour la détermination précise des natures de sédiment ;
- mesures au sondeur pénétrateur de sédiment (basse fréquence) : détermination de la nature et de la profondeur des différentes couches sédimentaires et rocheuses ;
- mesures au sondeur classificateur de sédiment : estimation de la nature des sédiments de surface ;
- mesures de champ de pesanteur : gravimétrie marine. Le champ de pesanteur est fortement corrélé à la morphologie du fond et à la nature de la croûte terrestre.
- mesures du champ magnétique terrestre par magnétomètre remorqué. Le champ magnétique est corrélé à la nature de la croûte terrestre.

1.3 **Recommandations pour la réalisation des levés**

1.3.1 « Publication S-44 » de l'OHI

La norme hydrographique de référence internationale, connue sous le nom « publication S-44 », est publiée et maintenue à jour par l'OHI¹. Elle en est à sa 5^{ème} version², publiée en février 2008. Cette norme décrit les exigences minimales en termes de qualité et d'incertitudes concernant les levés hydrographiques.

Les différents chapitres de la « publication S-44 » traitent :

- de la classification des levés ;
- du positionnement ;
- des profondeurs ;
- des autres mesurages ;
- d'assignation d'attribut aux données ;
- de l'élimination des données douteuses.

Y figurent également des directives relatives au :

- contrôle qualité ;
- traitement des données.

¹ Téléchargeable sur le site de l'OHI (www.iho.int).

² Une 6^{ème} version de la « publication S-44 » est en cours de rédaction.

En particulier, la « publication S-44 » définit 4 ordres (de l'ordre spécial – le plus exigeant – à l'ordre 2) en fonction de différents critères :

Ordre	Spécial	1a	1b	2
Description des zones	Zones où la hauteur d'eau sous quille est critique	Zones de fonds inférieurs à 100 mètres où la hauteur d'eau sous quille est moins critique mais où il existe des <i>éléments</i> pouvant engager la sécurité de la navigation de surface	Zones de fonds inférieurs à 100 mètres où la hauteur d'eau sous quille n'est pas considérée comme un problème pour le type de navigation de surface attendu dans la zone	Zones de fonds généralement supérieurs à 100 mètres où une description générale du fond est considérée comme suffisante
IHT maximum admissible à un niveau de confiance de 95%	2 mètres	5 mètres + 5 % de la profondeur	5 mètres + 5 % de la profondeur	20 mètres + 10 % de la profondeur
IVT maximum admissible à un niveau de confiance de 95%	a = 0.25 mètre b = 0.0075	a = 0.5 mètre b = 0.013	a = 0.5 mètre b = 0.013	a = 1.0 mètre b = 0.023
<i>Exploration complète du fond</i>	Exigée	Exigée	Non exigée	Non exigée
<i>Détection d'éléments</i>	<i>Eléments</i> cubiques > 1 mètre	<i>Eléments</i> cubiques > 2 mètres, jusqu'à 40 mètres de fond ; 10 % du fond au-delà de 40 mètres	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas
Espacement maximum recommandé entre profils	Non défini, dans la mesure où une <i>exploration complète du fond</i> est exigée	Non défini, dans la mesure où une <i>exploration complète du fond</i> est exigée	La plus grande des deux valeurs : 3 x la profondeur moyenne ou 25 mètres Pour le LIDAR bathymétrique : un espacement des points de 5 x 5 mètres	4 x la profondeur moyenne
Positionnement d'aides à la navigation fixes et de la topographie significative pour la navigation (niveau de confiance de 95 %)	2 mètres	2 mètres	2 mètres	5 mètres
Positionnement du trait de côte et de la topographie moins significative pour la navigation (niveau de confiance de 95 %)	10 mètres	20 mètres	20 mètres	20 mètres
Position moyenne des aides à la navigation flottantes (niveau de confiance de 95 %)	10 mètres	10 mètres	10 mètres	20 mètres

extrait de la « publication S-44 » de l'OHI.

Pour l'IVT, la formule est donnée par : $\sqrt{[a^2 + (b.P)^2]}$ avec P, la profondeur.

1.3.2 La norme Shom

La « publication S-44 » de l'OHI est une norme minimale ; aussi certains services hydrographiques ont élaborés des normes complémentaires afin de la préciser et compléter. Ainsi, la norme Shom a pour objectifs :

- de définir des types de levés bathymétriques à partir des critères de la « publication S-44 » ;
- de définir les normes à respecter sur chacun des critères qui influencent la qualité du levé ;
- d'indiquer les principales étapes du traitement et de la rédaction ;
- de décrire les procédures de contrôle de la qualité au niveau des producteurs de données.

Les levés concernés sont ceux réalisés à l'aide de sondeurs acoustiques monofaisceau ou SMF avec la mise en œuvre en parallèle de capteurs annexes, ainsi que les levés réalisés par lasers aéroportés. Les données de topographie acquises dans le but de compléter les levés bathymétriques ainsi que les mesures de profondeur réalisées par des plongeurs au moyen d'un profondimètre entrent également dans le cadre de cette norme.

Remarque : dans la suite de ce document, seule la norme Shom est considérée.

1.3.3 Autres normes

L'industrie off-shore a développé, à partir de la « publication S-44 », sa norme (IMCA S 003) pour ses levés. En effet, les tâches spécifiques de ce type de travaux peuvent inclure des levés géophysiques et hydrographiques à haute résolution pour le tracé d'un pipeline et des levés géotechniques afin de concevoir les fondations des structures à installer sur le fond marin.

Divers équipements complexes sont utilisés pour ces travaux, comme les ROV et les AUV, ainsi que des techniques de pointe, notamment l'acoustique, les levés sismiques, magnétiques et électriques.

L'AFHy a également publié ses recommandations (basées sur la « publication S-44 ») pour la réalisation des levés bathymétriques.

De nombreux services hydrographiques établissent également leur propre norme dérivée de la « publication S-44 », pouvant introduire de nouveaux critères ou créer de levés plus contraignants que ceux définis par l'OHI.

Autres textes importants du domaine :

- arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'Etat, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte ;
- décret n°2006-272 du 3 mars 2006 modifiant le décret n° 2000-1276 du 26 décembre 2000 relatif aux conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics.

Il est difficile de faire un état des lieux complet pour ce qui concerne les normes en lien avec l'hydrographie car il en existe pour chaque type de matériel, chaque type d'utilisation voire chaque pays. Ainsi par exemple concernant uniquement le système de positionnement GNSS, il existe plusieurs normes de performance, définies soit par l'UIT, l'OMI, la CEI ou l'IMCA (S 015).

1.4 Types de levés hydrographiques

La norme Shom définit différents types de levés hydrographiques :

Légende :

* L'environnement en question est à considérer dans un rayon égal à la profondeur moyenne du lieu.

** L'espacement peut être élargi dans le cas d'un levé au SMF lorsque la fauchée est plus large que l'espacement préconisé, tant que le recouvrement entre deux fauchées consécutives reste assuré.

*** Les critères de recherches déterminent les relèvements détectés devant faire l'objet d'une caractérisation. Ils n'imposent pas systématiquement de levés de recherche spécifique.

Type de levé	Zone critique (hauteur d'eau sous quille minimale et conditions de navigabilité critiques)	Zone d'intérêt particulier (conditions de navigabilité moins critiques qu'en zone critique)	Levé côtier (conditions de navigabilité non critiques)	Levé grands fonds pour l'hydrographie générale	Levé en transit
Gamme de profondeur	De la côte à 40 mètres	De la côte à 100 mètres	De la côte à 200 mètres	A partir de 100 mètres	-
Incertitude horizontale maximale	Celle préconisée par l'ordre spécial S-44	Celle préconisée par l'ordre 1a S-44	Celle préconisée par l'ordre 1b S-44	Celle préconisée par l'ordre 2 S-44	Celle préconisée par l'ordre 2 S-44
Incertitude verticale maximale	Celle préconisée par l'ordre spécial S-44	Celle préconisée par l'ordre 1a S-44	Celle préconisée par l'ordre 1b S-44	Celle préconisée par l'ordre 2 S-44	Celle préconisée par l'ordre 2 S-44
Ecartement entre profils de bathymétrie	Choisi de sorte à obtenir l'exploration complète au sens de la S-44, au regard des systèmes d'acquisition mis en œuvre	Choisi de sorte à obtenir l'exploration complète au sens de la S-44, au regard des systèmes d'acquisition mis en œuvre	Conforme aux recommandations de l'ordre 1b S-44 ou plus si couverture bathymétrique totale **	Conforme aux recommandations de l'ordre 2 S-44 ou plus si couverture bathymétrique totale **	Non spécifié. Routes à choisir en fonction de la connaissance hydrographique de la zone traversée.
Exploration complète	Requise Conforme aux capacités de détection prescrites par l'ordre spécial S-44	Requise Conforme aux capacités de détection prescrites par l'ordre 1a S-44	Non requise	Non requise	Non requise
Critère de recherche ***	Relèvements détectés dépassant le fond environnant* d'au moins 0,5 m et d'au moins 5% de sa profondeur et relèvements de dimensions supérieures ou égales à 1x1x1 m.	Relèvements détectés dépassant le fond environnant* d'au moins 1 m et d'au moins 5% de sa profondeur et relèvements de dimensions supérieures ou égales à 2x2x2 m jusqu'à 40 m et à 10% de la profondeur au-delà.	Pas de recherche	Pas de recherche	Pas de recherche

1.4.1 Levé de zone critique

Ce type de levé est prescrit pour les zones caractérisées par un trafic maritime régulier où les fonds présentent un danger potentiel et/ou des profondeurs critiques vis-à-vis des navires fréquentant ces zones. Il s'applique en particulier dans les ports, les chenaux d'accès, zones de mouillage et les voies recommandées, avec profondeur sous quille minimale ou par fonds potentiellement dangereux et par fonds inférieurs à 40 mètres.

Ce type de levé découle des prescriptions de l'ordre spécial de la « publication S-44 ».

1.4.2 Levé de zone d'intérêt particulier

Dans certaines zones (jusqu'à des profondeurs pouvant comporter des relèvements de fond inférieurs à 40 mètres) où les conditions de navigabilité sont moins critiques, les contraintes du levé peuvent être moins fortes : ports, chenaux d'accès, zones de mouillage et voies recommandées ne rentrant pas dans les critères du §1.4.1.

Ce type de levé correspond généralement à des profondeurs en deçà de 100 mètres.

Ce type de levé découle des prescriptions de l'ordre 1a de la « publication S-44 ».

1.4.3 Levé côtier

Les levés côtiers sont les levés de la côte jusqu'à l'isobathe des 200 mètres ne rentrant pas dans les catégories précédentes.

Ce type de levé, pour lequel l'exploration complète des fonds n'est pas requise, doit être limité aux zones pour lesquelles une connaissance générale des fonds est suffisante.

Ce type de levé découle des prescriptions de l'ordre 1b de la « publication S-44 ».

1.4.4 Levé grands fonds pour l'hydrographie générale

Levés destinés à la navigation de surface dans des zones où les profondeurs sont suffisamment importantes pour qu'une description générale des fonds soit considérée comme suffisante.

Type de levé à limiter aux fonds supérieurs à 100 m. Passé cette profondeur, l'existence de relèvements de fond artificiels ou naturels pouvant engager la sécurité de navigation de surface devient en effet peu probable.

Ce type de levé découle des prescriptions de l'ordre 2 de la « publication S-44 ».

1.4.5 Levé en transit

Lors des trajets de ralliement aux zones de travail, les instruments de mesures peuvent être en fonction. L'objectif est alors d'améliorer la connaissance hydrographique des zones traversées.

1.4.6 Levé de reconnaissance

Dans certaines régions incomplètement ou non hydrographiées, des levés de reconnaissance peuvent être réalisés afin de déterminer si la zone sondée est potentiellement navigable (et nécessitera éventuellement des travaux hydrographiques ultérieurs) ou au contraire si elle présente des dangers qui justifient de sa définition comme zone non navigable.

Les spécifications à adopter pour la réalisation des levés sont fonction de l'objectif final du levé (définition d'une voie recommandée, levé côtier,...). Elles seront donc définies en se rapportant à l'un des cas décrits ci-dessus.

1.4.7 Levé avant dragage

L'objectif de ce type de levé n'est pas d'assurer directement la sécurité de la navigation mais de fournir une estimation correcte de la quantité de matériaux à enlever lors d'un dragage. Il ne

donne pas lieu à une rédaction aussi poussée que les autres levés puisque les informations recueillies sont amenées à devenir rapidement caduques.

Dans la mesure où les relèvements dangereux doivent disparaître au cours du dragage, les travaux de détection et de cotation systématiques de l'ensemble des relèvements ne sont pas requis. Les spécifications peuvent être ajustées au besoin réel du client.

1.4.8 Levé de contrôle

Contrôle de levés antérieurs :

L'objectif du levé est de vérifier, sur un échantillonnage réduit des sondes, que la bathymétrie n'a pas évolué par rapport aux informations connues et portées à la connaissance des usagers. Le levé de contrôle peut alors conduire à devoir programmer un nouveau levé si l'évolution observée impacte la sécurité de la navigation.

Un levé de contrôle doit être réalisé avec des critères d'incertitude horizontale et verticale similaires ou meilleurs que le levé de référence (concerne en particulier les zones fortement évolutives).

Contrôle après dragage :

L'objectif du levé est de contrôler la qualité du dragage, d'une part pour assurer la sécurité de la navigation, et d'autre part éventuellement pour contrôler que les relèvements dangereux ont bien été supprimés et calculer ultérieurement le volume dragué. Les spécifications d'un levé de zone critique devront alors être respectées.

Dans certains cas, le contrôle après dragage n'a pas pour objectif la sécurité de la navigation (dragage avant implantation d'infrastructures sous-marines...). Les spécifications à respecter pourront alors être assouplies et viser des objectifs moins contraignant.

1.4.9 Levé d'infrastructure

Les levés d'infrastructures ne visent pas à garantir la sécurité de la navigation mais sont utilisés pour les inspections d'ouvrages (port, pont, barrage, fondation de structures pour l'industrie offshore, etc.) afin d'en estimer l'état, anticiper les dégradations et prévoir éventuellement des travaux d'entretien.

Les techniques utilisées peuvent être similaires à celles de l'hydrographie « classique » (SMF, caméras, LIDAR, etc.). Les conditions d'utilisation des matériels sont souvent très différentes de l'hydrographie « classique » (visée des sondeurs plus proches de l'horizontale) et il faut alors faire face à des effets perturbateurs importants tels que des trajets multiples avec la surface ou bien une grande variabilité de la célérité.

Ce type de levé n'est pas traité dans ce document.

2 ORGANISATION ET CONDUITE D'UN LEVE

2.1 Etapes d'un levé

Les différentes étapes d'un levé sont :

- recensement du besoin : IT (ou cahier des charges) ;
- préparation du levé ;
- définition précise des travaux à effectuer (IP) ;
- administration du levé ;
- acquisition à la mer ;
- validation des mesures ;
- recherches de hauts fonds et d'obstructions ;
- exploitation rapide des dangers nouveaux ;
- rédaction du levé ;
- établissement du rapport du levé (rapport particulier) ;
- envoi des données et du rapport.

Le déroulement d'un levé est représenté schématiquement par l'organigramme donné en annexe 1.

2.2 Documents rédactionnels

2.2.1 IT (ou cahier des charges)

Les IT du levé constituent la spécification client d'un levé en réponse aux besoins hydrographiques dans une zone donnée. L'ensemble des éléments utiles à la réalisation des levés (zones, spécifications, livrables, etc.) doit y être intégré :

- objectifs des levés en les priorisant ;
- type de levé ;
- emplacement ;
- surface à sonder ;
- profondeurs moyennes ;
- variabilité des fonds ;
- observations océanographiques ;
- capacité de détection ;
- normes à respecter ;
- délai à respecter : date de livraison du levé à respecter, contrainte de temps ;
- particularités (conditions météorologiques, densité des sondes, ...) ;
- résultats et documents attendus : signaler toute particularité ou dérogation aux normes dans la stratégie de rédaction ;
- exploitation : indiquer quelle exploitation principale est prévue à l'issue des levés (mise à jour des documents nautiques, modélisation, production de MNT, livraison d'une prestation, etc) et le niveau de protection;

- transmission des résultats : documents à transmettre (papier, numérique), notamment qui est responsable de l'envoi aux états souverains en cas de levés dans des eaux sous juridiction étrangère. Fourniture de documents intermédiaires ou provisoires etc.

Théoriquement les IT ne définissent pas les moyens à mettre en œuvre, ni les paramètres à appliquer pour parvenir aux spécifications requises.

Un exemple d'IT est donné en pièce jointe 1.

2.2.2 IP

L'IP est un document fondamental qui définit les objectifs précis pour la conduite du levé :

- les généralités précisent le contexte général, les objectifs à atteindre (scientifiques, opérationnels, durée, le personnel, etc.) ;
- détaillent les opérations à la mer, les zones géographiques, l'organisation des travaux, les stratégies de mesures et aménagements possibles, les réglages des différents systèmes, la chronologie de principe, les contraintes spatio-temporelles et les priorités éventuelles ;
- les procédures et systèmes à utiliser (en faisant référence aux normes, guides techniques, procédures, etc.), les produits à fournir à l'issue, ainsi que la répartition des responsabilités entre intervenants internes et externes pour toutes les tâches d'acquisition et traitement de données, et de rédaction des rapports ;
- toute information de nature à aider à la conduite générale du levé.

Un exemple d'IP est donné en pièce jointe 2.

2.2.3 Rapport

Les levés, et de manière plus générale tous les ensembles cohérents de travaux ou d'activités donnent lieu à l'établissement de rapports particuliers décrivant :

- les objectifs des travaux et les résultats essentiels obtenus ;
- les travaux effectués ;
- les incertitudes verticales et horizontales et les résultats (ordre du levé...) ainsi que les limites de ces résultats ;
- les méthodes employées ;
- les moyens utilisés ;
- les données fournies ;
- les documents communiqués ;
- les éventuels travaux complémentaires à envisager ;
- les renseignements nécessaires à une reprise ultérieure des travaux ;
- les éléments permettant d'exploiter les documents et fichiers établis, en particulier les décisions sur les informations nautiques anciennes à conserver ou à supprimer et l'appréciation du degré d'urgence de l'exploitation a posteriori.

Les rapports font partie des documents de rédaction et, à ce titre, ils engagent la responsabilité de leurs auteurs et doivent donc être rédigés avec le plus grand soin.

Un exemple de rapport est fourni en pièce jointe 3.

3 APPLICATION DES NORMES

3.1 Comment atteindre les objectifs des normes ?

Les normes décrivent des ordres de levé en fonction du degré de sécurité à assurer. Les ordres sont généralement définis à partir :

- des **incertitudes horizontale et verticale** sur la position du point (la sonde) - s'appliquent aux données de bathymétrie réduites et corrigées. La justification que le levé répond à l'ordre sélectionné s'apporte en :
 - montrant que le bilan du calcul « à priori » des incertitudes permet de respecter les critères de la norme ;
 - prouvant que les mesures ne sont pas biaisées. Par exemple, en réalisant un levé de contrôle sur une zone de référence de profondeurs équivalentes à celles du levé. Si un levé sur une zone de référence n'est pas possible, il faut alors comparer les données du nouveau levé avec celles des anciens levés³ ;
 - prouvant la répétabilité du levé en calculant l'incertitude à postériori à l'aide des QC.
- Remarque : le calcul à priori des incertitudes (incertitudes théoriques) ne sert qu'à prouver que l'installation des matériels à bord du porteur permet d'effectuer un levé à l'ordre demandé. Ce calcul seul ne permet pas de prouver que le levé a été correctement réalisé.
- du **niveau d'exploration** ;
 - du **seuil éventuel** sur la taille des objets qui doivent être détectés.

Par ailleurs, montrer que le personnel en charge de la réalisation et de traitement du levé est correctement formé apporte une garantie supplémentaire vis à vis du respect des normes.

3.2 Détermination des incertitudes horizontale et verticale

Comme indiqué ci-dessus, Il est nécessaire d'établir, en fonction du système mis en œuvre, un bilan des incertitudes « à priori » qui prend en compte **toutes** les incertitudes verticales et horizontales. Toutefois, le respect des spécifications par ce bilan ne peut, sauf cas exceptionnel, être utilisé seul pour justifier la conformité du levé à la norme.

3.2.1 Rappels sur les erreurs de mesure

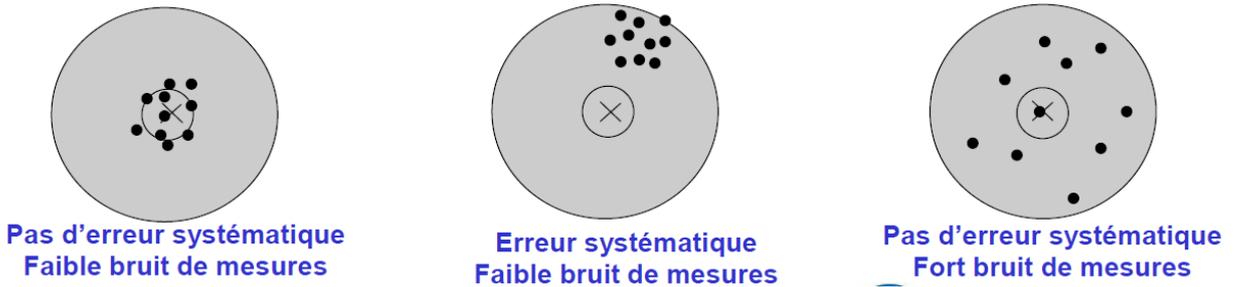
Une erreur de mesure est la différence entre la valeur donnée par la mesure et une valeur de référence (étalon) ou la valeur exacte d'une grandeur (souvent inconnue).

Toute mesure peut comporter :

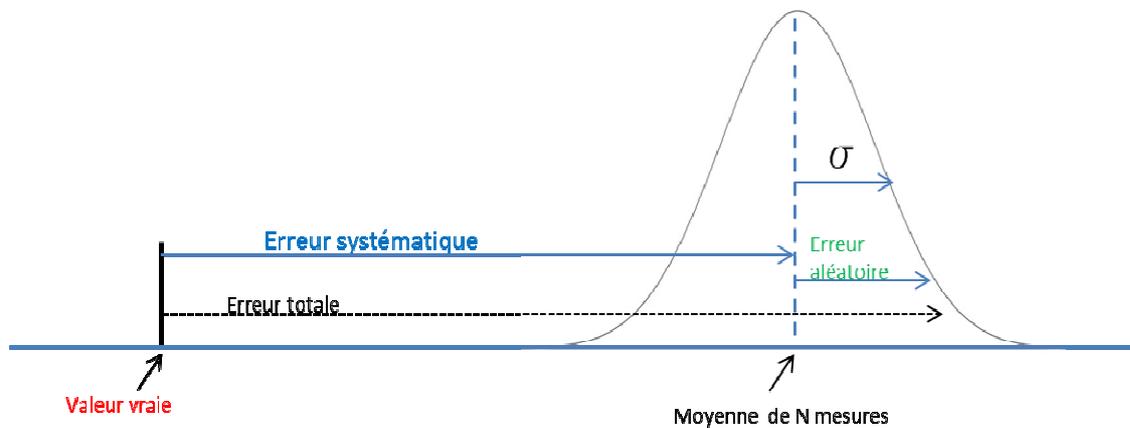
- **des erreurs aléatoires** : la mesure fluctue autour d'une valeur moyenne (probabilité de type gaussien). Un exemple d'erreur aléatoire est la mesure du temps avec un chronomètre. L'erreur vient du temps de réaction de l'expérimentateur au démarrage et à l'arrêt du chronomètre qui n'est pas toujours le même. Souvent appelées bruit sur la mesure, elles correspondent aux limites des capteurs et du processus d'acquisition ;
- **des erreurs systématiques (ou biais)** : la mesure est entachée d'une erreur fixe, éventuellement stable et prédictible. Exemple d'erreur systématique : mesure avec un décimètre auquel il manque le premier centimètre. La mesure sera alors toujours sous-évaluée d'un centimètre. Ces erreurs sont minimisées voire annulées par un étalonnage.

³ Les levés du Shom sont disponibles sur data.shom.fr.

- **des erreurs grossières ou aberrantes** : dues à un dysfonctionnement ponctuel du système ou une mauvaise manipulation ; elles sont identifiées en fonction de leur écart avec les autres mesures et éliminées.



La répartition des mesures permet de détecter le type d'erreur à rechercher.



Représentation des types d'erreur.

Mesurer une grandeur n'est pas simplement rechercher la valeur de cette grandeur mais c'est aussi lui associer une incertitude afin de pouvoir qualifier la qualité de la mesure. L'incertitude de la mesure est un nombre qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être attribuées à la grandeur mesurée. L'évaluation de l'incertitude d'une mesure nécessite donc de rechercher toutes les sources d'erreur et d'évaluer l'incertitude associée à chaque source.

Pour les erreurs aléatoires, l'incertitude de mesure est souvent exprimée en tant qu'écart type noté σ ou en variance = σ^2 . Si X_i représente les valeurs prises par N mesures, m la moyenne de ces N mesures, l'écart type se calcule :

$$\sigma^2 = (\sum(X_i - m)^2) / N$$

On montre qu'avec une répartition qui suit une loi normale :

- la probabilité que la valeur absolue de $X - m$ soit inférieure à σ est de 68,3% ;
- la probabilité que la valeur absolue de $X - m$ soit inférieure à $1,96\sigma$ (souvent arrondi dans le langage à 2σ) est de 95% ;
- la probabilité que la valeur absolue de $X - m$ soit inférieure à 3σ est de 99,7%.

L'incertitude sur les mesures de profondeur fournies par le sondeur traduit la qualité d'estimation de la profondeur (incertitude verticale) et de la position des sondes (incertitude horizontale) déterminées par le système.

L'incertitude globale sur les données de profondeur dépend :

- d'une part de l'incertitude sur les mesures effectuées par le sondeur lui-même : incertitude sur les mesures d'angles et de distance ;
- d'autre part de l'incertitude sur les mesures des capteurs auxiliaires : système de positionnement, centrale d'attitude, mesure de marée, de célérité, etc.

3.2.2 Incertitude horizontale

Dans ce qui suit seul le cas du SMF est traité en détail. Les erreurs qui doivent être prises en compte pour un sondeur monofaisceau sont indiquées par un (*).

Pour un SMF, l'incertitude finale sur la position horizontale de la sonde dépend principalement :

- des erreurs sur les rattachements antenne GNSS – antenne sondeur (*);
 - de l'erreur sur la synchronisation système de positionnement - sondeur (*);
 - des erreurs sur l'orientation des antennes du sondeur par rapport à la centrale d'attitude et de cap ;
 - de l'erreur sur le profil de célérité (*);
 - de l'erreur sur la célérité de coque (célérité de surface) ;
 - dans le cas où le résultat du levé est fourni sous forme de MNT et si les sondes sont représentées au centre de la maille (et non à leur position réelle), il faut prendre en compte une erreur supplémentaire sur la position de la sonde (*);
 - du type de centrale inertielle utilisée (erreurs sur le cap, roulis, pilonnement et tangage) ;
 - de la qualité du positionnement du porteur (*);
 - de l'erreur horizontale due au SMF (erreur de mesure acoustique).
- Erreurs systématiques

Erreurs aléatoires

Les explications théoriques concernant les erreurs entrant dans l'incertitude horizontale sont données en annexe 2.

L'incertitude finale sur la position de la sonde $\Delta_{hor}(P)$ à une profondeur P est alors :

$$\Delta_{hor}(P) = \sqrt{X^2 + [Y * P]^2}$$

Avec $X = \sqrt{[\Sigma(\Delta_{ind})^2]}$ et $Y = \sqrt{[\Sigma(\Delta_{dep})^2]}$ où Δ_{ind} représente les incertitudes horizontales indépendantes de la profondeur et Δ_{dep} représente les incertitudes horizontales dépendantes de la profondeur.

Ce calcul est effectué pour la profondeur maximale de la zone sondée afin de vérifier que l'incertitude horizontale respecte bien le critère de l'ordre choisi pour le levé. Cette méthode qualifie théoriquement les données de positionnement des sondes du levé à partir des incertitudes en cap, roulis, tangage (englobe les données constructeur et l'estimation de l'incertitude des calibrations), célérités et l'incertitude du positionnement du porteur.

Les valeurs suivantes, fournies à titre d'exemple, permettent d'avoir une idée sur l'influence des différents paramètres pour le positionnement de la sonde :

- roulis : une incertitude de 0,05° sur le roulis => une incertitude sur le positionnement de la sonde d'environ 0,09% P ;

- tangage : une incertitude de 0,2° sur le tangage => une incertitude sur le positionnement de la sonde d'environ 0,35% P ;
- cap : une incertitude de 0,2° sur le cap => une incertitude sur la position de la sonde d'environ 0,60% P à 120° d'ouverture et 0,96% P à 140° d'ouverture ;
- célérité de coque : une incertitude de 0,2 m/s => une incertitude sur le positionnement de la sonde d'environ 0,02% P à 120° d'ouverture et 0,04% P à 140° d'ouverture ;
- profil de célérité : une incertitude de 2 m/s => une incertitude sur le positionnement de la sonde d'environ 0,23% P à 120° d'ouverture et 0,37% P à 140° d'ouverture.

3.2.3 Incertitude verticale

Dans ce qui suit seul le cas du SMF est traité en détail. Les erreurs qui doivent être prises en compte pour un sondeur monofaisceau sont indiquées par un (*).

Pour un SMF, l'incertitude finale sur la position horizontale de la sonde dépend principalement :

- des erreurs sur la correction de la marée (*);
 - des erreurs sur les corrections de tirant d'eau (*);
 - des erreurs sur l'orientation des antennes du sondeur par rapport à la centrale d'attitude et de cap;
 - de l'erreur sur le profil de célérité (*);
 - de l'erreur sur la célérité de coque (célérité de surface);
- } Erreurs systématiques
- du type de centrale inertielle utilisée (erreurs sur le cap, roulis, pilonnement et tangage);
 - de l'erreur verticale due au SMF (erreur de mesure acoustique).
- } Erreurs aléatoires

Les explications théoriques concernant les erreurs entrant dans l'incertitude horizontale sont données en annexe 3.

L'incertitude finale sur la position de la sonde $\Delta_{vert}(P)$ à une profondeur P est alors :

$$\Delta_{vert}(P) = \sqrt{X^2 + [Y * P]^2}$$

Avec $X = \sqrt{[\sum(\Delta_{ind})^2]}$ et $Y = \sqrt{[\sum(\Delta_{dep})^2]}$ où Δ_{ind} représente les incertitudes verticales indépendantes de la profondeur et Δ_{dep} représente les incertitudes verticales dépendantes de la profondeur.

Les valeurs suivantes, fournies à titre d'exemple, permettent d'avoir une idée sur l'influence des différents paramètres pour le positionnement de la sonde :

- roulis : une incertitude de 0,05° sur le roulis => une incertitude sur la valeur de la sonde d'environ 0,15% P à 120° d'ouverture et 0,24% P à 140° d'ouverture ;
- tangage : une incertitude de 0,2° sur le tangage => une incertitude sur la valeur de la sonde négligeable ;
- célérité de coque : une incertitude de 0,2 m/s => une incertitude sur la valeur de la sonde d'environ 0,04% P à 120° d'ouverture et 0,10% P à 140° d'ouverture ;
- profil de célérité : une incertitude de 2 m/s => une incertitude sur la valeur de la sonde d'environ 0,27% P à 120° d'ouverture et 0,39% P à 140° d'ouverture.

3.3 Maîtrise des incertitudes horizontales et verticales

Les bilans théoriques peuvent être utilisés pour justifier le choix du porteur lors d'un levé ou pour répondre à un appel d'offre. Ils doivent être calculés avant la réalisation du levé afin d'assurer que le porteur est capable d'effectuer le levé à l'ordre requis. La maîtrise de ces

incertitudes s'obtient en effectuant régulièrement des opérations de contrôle sur les capacités du matériel. Certaines doivent être réalisées avant les levés et d'autres pendant les levés.

3.3.1 Étalonnages et ajustages

La maîtrise des incertitudes sur la position et la valeur des sondes lors d'un levé hydrographique nécessite de connaître pour chaque instrument ses limites d'utilisation, les incertitudes de ses mesures et la dérive éventuelle dans le temps de ces incertitudes. Les données fournies par les constructeurs doivent être vérifiées et éventuellement corrigées lors des étalonnages et ajustages.

L'étalonnage est une opération qui consiste à :

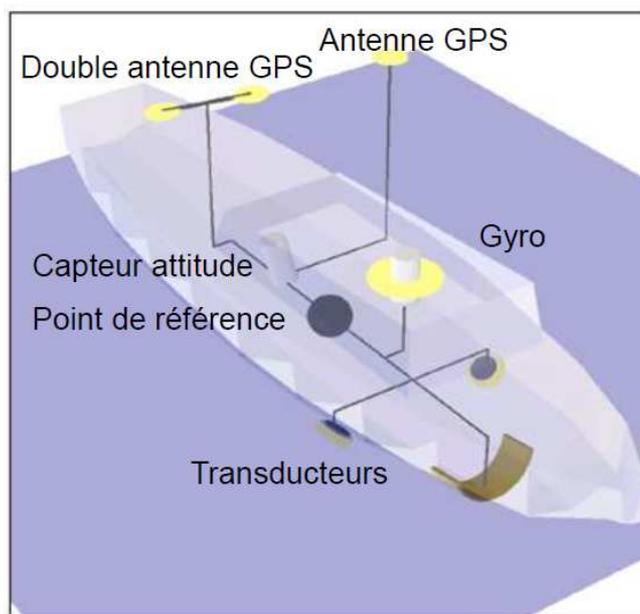
- mesurer une grandeur avec un équipement étalon et un équipement à étalonner ;
- comparer ces mesures et en déduire une relation qui permet de corriger les mesures de l'équipement à étalonner ;
- fournir des incertitudes d'étalonnage.

L'ajustage est une opération (« réglage ») réalisée sur un système de mesures afin qu'il fournisse des résultats qui se situent à l'intérieur de la zone définie par l'erreur maximale tolérée.

Il est préconiser de réaliser ces opérations une fois par an et à chaque fois que du matériel ou du logiciel est modifié à bord.

3.3.2 Détermination des bras de leviers

La détermination des bras de levier est une étape importante dans l'installation d'un système hydrographique (antenne du sondeur, antenne GPS, centrale d'attitude, etc.) et elle doit être réalisée par des équipes spécialisées en métrologie. Tout changement dans le matériel doit également être suivi de mesures de métrologie.



L'objectif est de connaître précisément la position de chaque senseur (antennes GNSS, centrale d'attitude, antennes du sondeur, etc.) par rapport à un point de référence du navire. En effet, les détections des sondes sont positionnées par rapport aux antennes du sondeur et la problématique est de positionner les sondes par rapport au point de référence navire. Pour chaque porteur on définit donc un repère dont l'origine est le point de référence du porteur (généralement le centre de gravité qui est souvent l'endroit où est installée la centrale d'attitude).

Les incertitudes de détermination recherchées sont généralement de l'ordre de $\pm 5\text{mm}$ pour les coordonnées et $\pm 0,02^\circ$ pour les angles.

3.3.3 Ajustage du SMF

L'ajustage du SMF doit être réalisé, de préférence, sur une zone connue. Les étapes de cette opération sont présentées en annexe 4.

3.4 Exploration complète

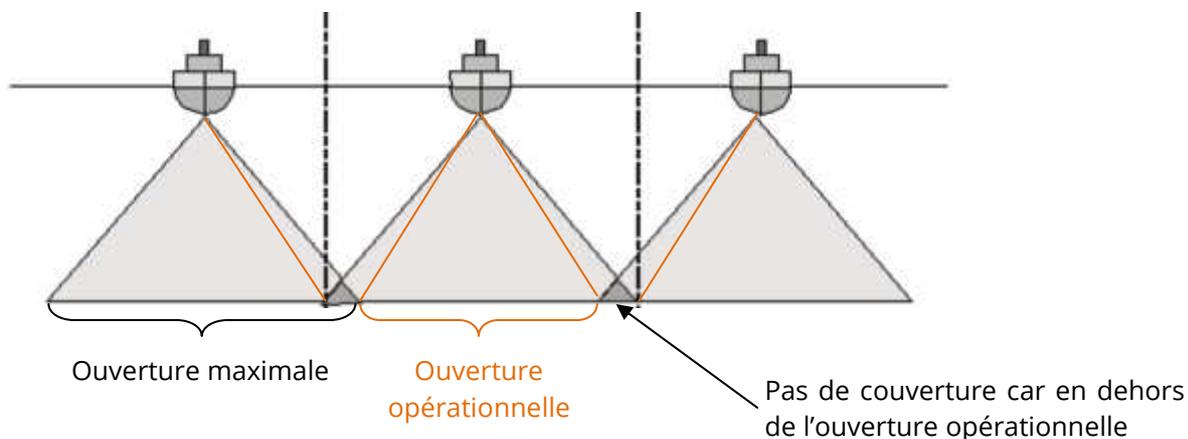
Au sens de la « publication S-44 », l'objectif d'une exploration complète du fond est de garantir la détection effective de la plupart des relèvements dépassant les critères de détection définies.

Pour garantir une exploration complète, il faut s'appuyer sur les études et vérifications périodiques qui permettent de justifier les fauchées utiles, résolutions et capacités de détection des sondeurs.

Remarque : l'exploration complète du fond peut être obtenue en utilisant un sondeur vertical associé à un sonar latéral mais, dans ce cas, la bathymétrie totale n'est pas assurée. Inversement, un SMF peut garantir la bathymétrie totale sans que l'exploration du fond soit complète (par exemple non détection d'un élément cubique de 1 m de côté pour l'ordre spécial ou critère de recherche non respecté).

Dans le cas des SMF, la couverture du levé dépend :

- de la largeur des fauchées : l'incertitude et la résolution des données de bathymétrie se dégradent lorsque l'on s'éloigne de la verticale avec l'augmentation des incertitudes cumulées et du pied de faisceau. L'ouverture angulaire du SMF doit être opérationnelle à l'ordre sélectionné et à la profondeur du levé. Ainsi un levé réalisé avec une ouverture maximale ne garantit pas une couverture complète si la vérification verticale a montré que la fauchée doit être moindre pour respecter l'ordre sélectionné.



- du taux de recouvrement entre les fauchées adjacentes.

Dans le cas où une exploration totale est spécifiée, il est préconisé :

- SMF seul : le recouvrement doit assurer la double insonification de chaque point, à l'exception des SMF de nouvelle génération (multi-swath, multi-ping, haute densité) pour lesquels une simple insonification totale du fond est suffisante. A noter que pour l'ordre spécial de la « publication S-44 », le Shom considère qu'une double insonification du fond est obligatoire indépendamment du SMF utilisé ;
- SMF associé à un sonar latéral : il faut à la fois assurer une insonification totale à l'aide du SMF et une autre à l'aide du sonar latéral.

En plus de ces considérations concernant la surface insonifiée, il faut prendre en compte les problématiques suivantes :

- les interruptions éventuelles d'acquisition ne doivent pas remettre en cause la couverture du levé car elles risquent de créer des « trous dans la couverture » ;
- la vitesse de sondage doit être adaptée en fonction des spécifications du type de levé, des caractéristiques physiques des capteurs mis en œuvre, de l'état de mer et des performances du système navire/sondeur/sonar.

Elle doit assurer le cas échéant une simple insonification ou l'exploration complète du fond, permettre la détection des relèvements avec la résolution spécifiée et assurer la qualité spécifiée aux données bathymétriques.

La vitesse du porteur est donc déterminée en fonction de :

- la couverture longitudinale bathymétrique à obtenir : la cadence d'émission du SMF et son ouverture longitudinale à la verticale doivent être prises en compte pour définir la vitesse de sondage (se fait généralement de manière automatique avec les SMF récents) ;
- la contrainte d'exploration et de détection : une vitesse trop importante diminue les capacités de détection ;
- les limites de mise en œuvre du système qui dépendent de chaque porteur et sont fonction de l'état de la mer (risque de bullage, etc.).

Les opérations qui aboutissent à la détermination des caractéristiques d'un relèvement du fond sont appelées recherches. L'OHI ne définit pas explicitement de critère de recherche mais précise que l'exploration complète du fond doit s'accompagner de la caractérisation précise des relèvements détectés qui respectent les critères de détection fixés.

L'objectif d'une recherche est :

- soit de confirmer la validité / d'affirmer l'inexistence d'un relèvement de fond précédemment signalé ;
- soit de confirmer les caractéristiques d'un relèvement de fond identifié afin de compléter si nécessaire le levé régulier systématique.

Dans la mesure où ils constituent des dangers pour la navigation de surface, la recherche des relèvements du fond doit permettre la détermination de **la position**, du **brassage** et de **la nature** des points hauts du fond. Des critères complémentaires doivent si possible être déterminés : hauteur par rapport au fond moyen, dimension du relèvement, type (épave, roche, etc.), orientation, durabilité.

4 PREPARATION DU LEVE

Etape importante d'un levé, la préparation doit être menée avec soin car, des choix qui seront effectués dépendront la manière de réaliser le levé et de le rédiger. La préparation va dans un premier temps consister à rassembler la documentation (cartes marines, instructions nautiques, guides nautiques, livres de feux, les anciens levés, fiche d'observatoire de marée, liste des épaves, points géodésiques, etc.) utile sur la zone à hydrographier.

4.1 Références horizontales et verticales

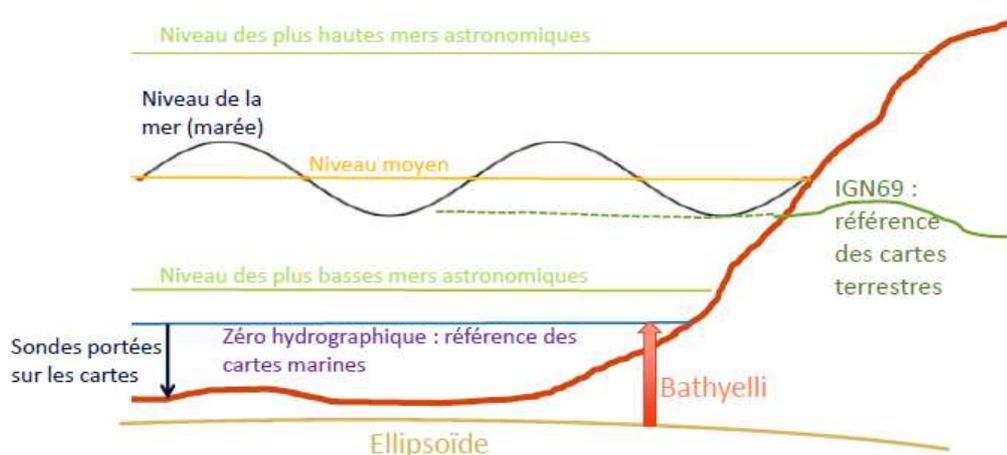
Les références horizontales à utiliser sur les territoires français sont définies dans un arrêté⁴ disponible sur Legifrance.

L'ouvrage « Références altimétriques marines »⁵ (RAM), édité par le Shom, fournit l'ensemble des indications quant aux ZH de chaque zone. En particulier, il indique le rattachement de ces ZH à l'IGN69 et/ou à l'ellipsoïde.

4.2 Marée

4.2.1 Rappels

Le ZH est le niveau de référence commun aux cartes marines et aux prédictions de marée. C'est le niveau de référence à partir duquel sont comptées, positivement vers le bas, les sondes portées sur les cartes marines et, positivement vers le haut, les hauteurs de marée. Il est choisi, en France, au voisinage du point le plus bas que peut atteindre théoriquement le niveau de la mer à un endroit donné (voisin des plus basses mers astronomiques). Ainsi quel que soit le niveau de marée prédite, la hauteur d'eau disponible pour le navigateur est toujours supérieure à la profondeur indiquée sur la carte marine.



En effet, afin de garantir la sécurité des navigateurs, les hydrographes français ont souvent pris une marge de sécurité et ont coté le ZH en dessous des plus basses mers calculées. Les ZH des ports français ont généralement été adoptés indépendamment les uns des autres. Il en résulte que l'écart entre le ZH et le niveau des plus basses mers astronomiques peut varier entre deux zones de marée (exemple : 19 cm à Calais et 39 cm à Boulogne-sur-Mer).

⁴ En vigueur, à la rédaction de ce document : arrêté du 5 mars 2019 portant application du décret n° 2000-1276 du 26 décembre 2000 modifié portant application de l'article 89 de la loi n° 95-115 du 4 février 1995 modifiée d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire relatif aux conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics.

⁵ Le RAM est disponible gratuitement sur diffusion.shom.fr.

Important : C'est pour cette raison qu'il faut toujours bien préciser le ZH utilisé (exemple : ZH de Calais) lorsque l'on fournit les données d'un levé, et non pas une mention du type « zéro des cartes marines ».

Le Shom est le référent national pour le niveau de la mer in situ sur l'ensemble des zones sous juridiction française. À ce titre, il assure dans le cadre de REFMAR différentes fonctions de coordination en matière de collecte et de diffusion des données publiques relatives à l'observation de hauteurs d'eau, de manière à promouvoir leur utilisation dans de multiples applications dans le cadre des recommandations internationales.

Toutefois, les guides qui décrivent la pratique des mesures de marée sont publiés par la COI sous l'égide de l'UNESCO⁶ : « Manual on Sea Level ». De plus le Shom met à disposition des documents sur son site internet⁷.

4.2.2 Réduction de la marée

Il est admis que les sondes doivent être réduites de la marée obligatoirement pour les fonds inférieurs à 200 mètres. Au-delà, la réduction de marée peut être effectuée si les hauteurs d'eau sont connues avec une incertitude suffisante pour améliorer l'incertitude finale des données : cette réduction est réalisée en fonction de la plus-value apportée au levé et si le coût supplémentaire reste acceptable.

L'incertitude de la réduction de marée devra être compatible avec les exigences des spécifications en termes d'incertitude verticale sur les mesures bathymétrique, c'est-à-dire que l'incertitude de la correction de marée, cumulée aux autres incertitudes commises sur la mesure verticale ne devra pas excéder la tolérance admise.

Le choix de la manière dont les sondes seront ramenées au ZH est une étape déterminante de la préparation. Elle peut se faire :

- par des observations in situ à l'aide d'un marégraphe et après adoption d'un zéro de réduction ;
- depuis data.shom.fr (le portail de l'information géographique maritime et littorale de référence) : il propose des fonctions de visualisation et de téléchargement des données relatives à la marée dont le calcul de hauteurs d'eau à un pas de temps donné (5, 10, 15, 30 et 60 minutes) ;
- dans le cas où le levé est situé au large ou dans des régions dans lesquelles il n'est pas possible d'effectuer de mesures de marée in situ, les données pourront être corrigées d'une marée issue d'un modèle numérique⁸ ;
- par utilisation de la marée cinématique : mesure de l'altitude du porteur par rapport à l'ellipsoïde en mettant en œuvre un système de mesure d'incertitude centimétrique sur la verticale. Cette solution ne doit être mise en œuvre que si l'altitude du zéro de réduction des sondes sur la zone du levé par rapport à cet ellipsoïde est connue.

En vue du traitement temps réel des données acquises (contrôle qualité des recouvrements, cotations et recherches...), un modèle de marée temporaire le plus précis possible pourra être employé pendant les sondages pour corriger les sondes de la marée. Il permettra d'utiliser de manière optimale les outils de contrôle du levé en temps réel ou peu différé.

⁶ Voir unesdoc.unesco.org

⁷ Voir www.shom.fr/les-activites/activites-scientifiques/qualification-des-leves/

⁸ Les SH entretiennent des modèles de marée, a minima pour leur zone de responsabilité.

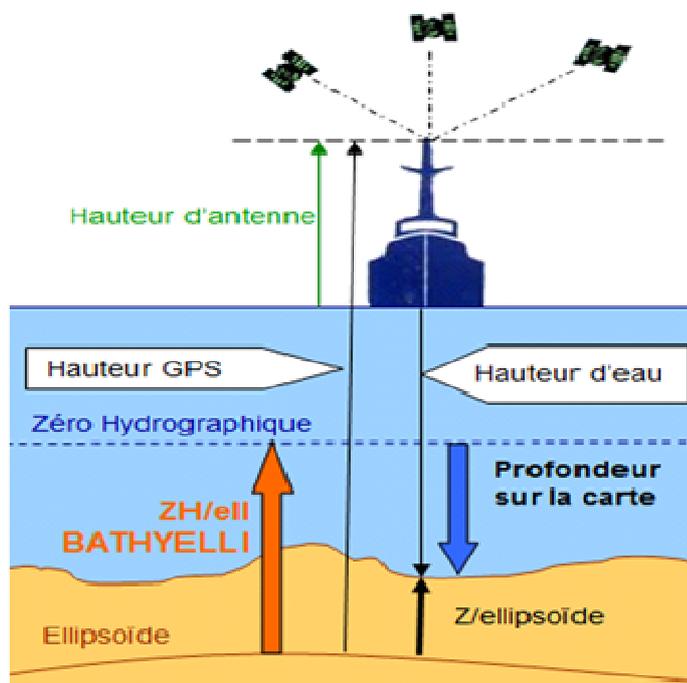
4.2.3 Marée cinématique (ou « marée GPS »)

L'utilisation de la marée cinématique permet de s'affranchir des incertitudes liées à l'utilisation d'un marégraphe et de l'enfoncement dynamique du porteur au moment de la mesure.

Elle nécessite cependant de disposer d'un système fournissant des corrections GNSS temps réel fiable (aucune interruption de service) et ayant une incertitude verticale suffisante (centimétrique) ou bien d'effectuer des opérations de post-traitement sur les mesures GNSS.

Le principe est le suivant :

- à l'instant t , le sondeur fournit une mesure du fond. Le rattachement précis base / antenne du porteur permet de rapporter cette mesure du sondeur au niveau du point de référence de l'antenne GNSS ;
- la mesure GNSS précise permet de rattacher la mesure de hauteur d'eau au niveau de l'ellipsoïde ;
- cette hauteur ellipsoïdale est convertie en sonde par rapport au ZH local⁹.



Il faut naturellement filtrer la hauteur ellipsoïdale des variations à courte période (pilonnement) mesurées par la centrale d'attitude du porteur, si possible en tenant compte des composantes induites par le roulis et le tangage.

Quelle que soit la méthode choisie pour réduire de la marée il est important de toujours bien détailler dans le rapport du levé les choix effectués car, en cas de doute, cela permet de reprendre la rédaction même plusieurs années après sa réalisation.

⁹ Pour ce faire, en France métropolitaine, il peut être utilisé :

- le modèle BathyElli (disponible sur data.shom.fr) qui donne le décalage entre l'ellipsoïde IAG GRS80 et le ZH ;
- la grille de conversion IGN RAF09 qui donne le décalage entre l'ellipsoïde IAG GRS80 et l'IGN69, puis le RAM qui donne le décalage entre l'IGN69 et le ZH aux différents ports de référence (en toute rigueur, cette méthode est valable dans un rayon maximum de 5 km autour du port de référence).

Remarque : les réalisations du « Zéro Hydrographique » fournies par le modèle BathyElli et les réalisations du « Zéro Hydrographique » fournies par le RAM étant produites de manières différentes, des écarts de l'ordre de 15 cm sont possibles. Il est donc important lors de l'utilisation de l'une de ces réalisations de bien préciser celle qui est employée.

4.3 Positionnement

Les systèmes de navigation sont essentiellement basés sur le GNSS. Toutefois, en fonction du mode de fonctionnement adopté (voir annexe 5), les incertitudes horizontales et verticales atteintes vont de quelques millimètres à quelques dizaines de mètres. Il est alors nécessaire de choisir la méthode de positionnement en fonction des objectifs du levé.

En général, les levés côtiers sont réalisés en mode GNSS différentiel tandis que les levés hauturiers utilisent le mode naturel. Toutefois, si le levé nécessite une très grande précision, l'emploi de solution PPP est toujours possible (mais souvent onéreuse).

Quelle que soit la méthode de positionnement adoptée, celle-ci doit être contrôlée fréquemment (idéalement pendant tout le levé). Pour cela, des acquisitions au point fixe (appelé « cible »), le plus proche possible de la zone de travail et de préférence sur des points connus sont réalisées. L'objectif est alors de comparer la position réelle du point stationné avec la position donnée par le système de positionnement.

Dans tous les cas, il est fortement recommandé d'enregistrer la donnée brute du système GNSS afin de pouvoir, si nécessaire, réaliser un post-traitement qui permettra d'améliorer sensiblement les incertitudes horizontale et verticale.

4.4 Détermination du réseau de profils (ou lignes)

Un levé bathymétrique est constitué de profils rectilignes (lignes), parallèles entre eux. L'orientation des lignes est choisie de la manière suivante :

- pour les levés SMF : de préférence parallèle aux isobathes (la fauchée est alors de largeur constante, facilitant la planification du levé) ;
- pour les autres levés : de préférence perpendiculaire aux isobathes (permet un meilleur suivi des gradients de pente) ;
- l'orientation des lignes ne doit pas être face aux dangers pour la navigation ;
- dans la mesure du possible, il faut éviter d'avoir un courant traversier pendant le levé.

L'espacement des lignes dépend :

- des taux de recouvrement entre fauchée adjacentes ;
- de la largeur des fauchées qui est fonction de l'ouverture angulaire opérationnelle du sondeur ;
- de la profondeur : si la zone est de profondeur très variable plusieurs méthodes sont possibles pour définir l'espacement des lignes :
 - utiliser la profondeur moyenne de la zone puis venir ensuite combler les trous dans le levé ;
 - si la bathymétrie est correctement connue il est souvent intéressant de créer des « sous-zones » de profondeur homogènes ;
 - si la zone est mal connue : débiter le levé par les zones les plus profondes de manière à détecter les dangers éventuels à l'aide des extrémités de fauchée et adapter l'espacement des lignes au fur et à mesure de l'avancement du levé.

Ainsi, θ étant l'ouverture angulaire opérationnelle du SMF et P la profondeur, la largeur de la fauchée est $L = P \cdot \tan(\theta)$. Si le taux de recouvrement requis est r, l'espacement maximum des lignes est alors **$E = (2-r) \cdot P \cdot \tan(\theta)$** .

En plus de ce réseau de profil parallèle, des profils sécants (appelés « traversiers ») formant un angle de 45° à 90° avec le réseau de profils réguliers, écartés de 10 à 15 fois l'écartement du levé régulier, sont à réaliser : ils serviront à contrôler et qualifier la donnée bathymétrique.

4.5 Choix des matériels « annexes »

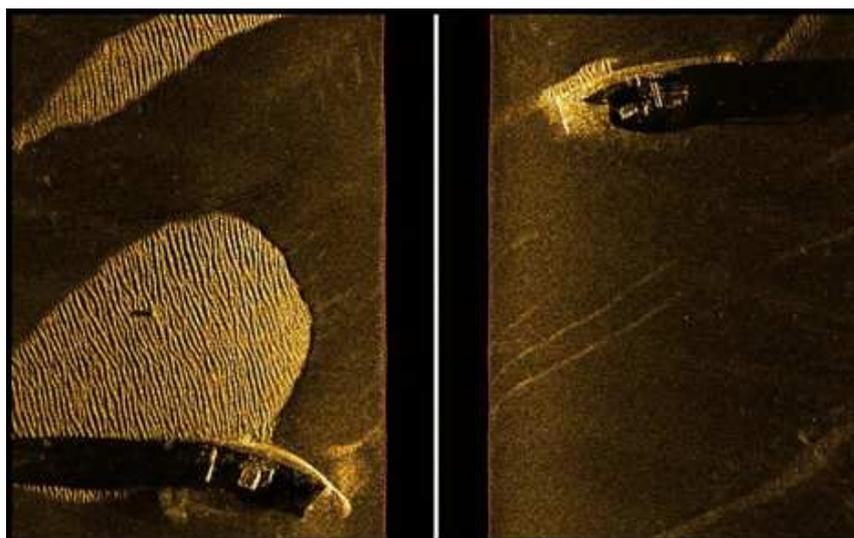
4.5.1 Sonar latéral

Le sonar latéral est un engin généralement tracté à l'arrière du navire et rasant le fond (l'altitude du poisson est de 10 à 15% de la profondeur) qui a pour fonction de constituer des images acoustiques détaillées des fonds marins (voir détail sur son fonctionnement en annexe 6).



L'intérêt de l'utilisation d'un sondeur latéral est double :

- détermination des structures sédimentaires (champ de dunes, mais également homogénéité des sédiments en surface) ;
- détection des accidents sur le fond (dont les obstructions, épaves, ...).



Toutefois, des inconvénients sur la conduite du levé sont à prendre en compte :

- vitesse de levé moindre (afin de pouvoir tracter le poisson en sécurité et pour l'acquisition d'image exploitable) – 3 à 4 nœuds ;
- accroissement du temps de traitement pour exploiter les données acquises ;

- obligation de faire un nouveau passage au SMF sur les objets détectés pour les coter précisément.

A noter que les performances des SMF de dernière génération réduisent fortement l'intérêt de l'utilisation d'un sonar latéral en hydrographie : les capacités de détection des SMF sont, généralement, conformes à la spécification de l'ordre spécial de la « publication S-44 ».

4.5.2 Magnétomètre

Un magnétomètre est un appareil permettant de mesurer la direction et l'intensité d'un champ magnétique. Certains noyaux d'atome (les métaux en particulier) ont des propriétés analogues à celles de microscopiques boussoles et créent donc des champs magnétiques : c'est cette propriété qui est utilisée pour détecter les masses métalliques (et donc certaines épaves ou obstructions).



La vitesse du porteur est déterminée en fonction des objectifs :

- campagne géophysique (amélioration du modèle magnétique) : vitesse constante de 9 nœuds ;
- recherche d'épave (en particulier dans des zones où les objets peuvent être recouverts) : la vitesse recommandée se situe entre 4 et 8 nœuds (dépend de l'immersion recherchée pour le poisson).

Le poisson doit se trouver à une distance minimum de 3 fois la longueur du bâtiment afin que celui-ci ne perturbe pas la mesure.

4.5.3 Système de prélèvement de sédiment

Les observations et les prélèvements renseignent sur la nature des fonds, autant d'un point de vue qualitatif (texture du sédiment) que quantitatif (granulométrie). Plusieurs systèmes peuvent être employés :

- **les systèmes de vidéo sous-marine** ont pour but l'obtention d'images numériques orientées du fond. Ils sont utilisés pour reconnaître les objets et structures de petite taille non décelable par méthode acoustique ou par prélèvement (algues, pierres, bancs de coquilles, rides de sable) ou encore pour calibrer les images acoustiques obtenues par sonar latéral ou SMF ;
- **les bennes** Shipeck ou Van Veen sont des instruments de prélèvement ponctuel de sédiment de surface. L'objectif est de ramener une quantité suffisante de sédiments pour effectuer des analyses granulométriques en laboratoire.



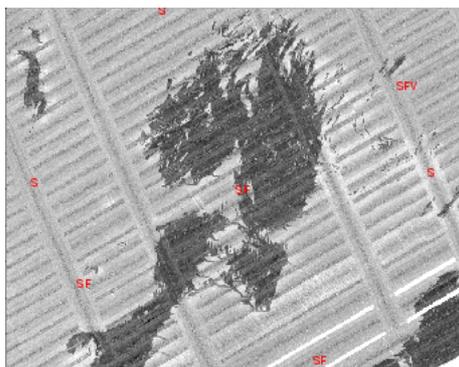
Les bennes sont descendues sur le fond de la mer au bout d'un câble en acier, avec les mâchoires ouvertes. Dès que les mâchoires touchent le fond, le ressort qui maintient les mâchoires ouvertes est relâché. Au moment de la remontée, les mâchoires se referment et emprisonnent une quantité de sable ou de sédiments du fond de la mer.

- **le carottage** permet d'obtenir en un point la connaissance de la variabilité des sédiments sur une épaisseur de plusieurs mètres. Le carottier est schématiquement constitué d'un lest de plusieurs centaines de kg, fixé sur un tube en acier terminé par une ogive en acier traité. Le tube est doublé par une chemise en PVC qui sert d'enveloppe à la carotte.

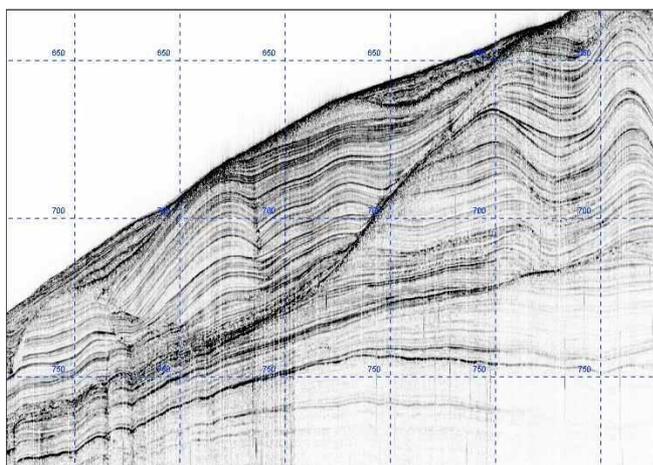


Un piston coulisse à l'intérieur de cette chemise pour assurer le maintien du sédiment dans le tube, qui est bouché à son extrémité par un système de lames en métal empêchant la sortie du sédiment : « peau d'orange ». Un carottier est monté sur un système de largage mécanique constitué d'un bras de manœuvre activant un croc largable, et déclenché par un système de câble lesté par un poids-pilote : le câble du poids pilote est plus long que la longueur du carottier. Lorsque le contrepoids (poids-pilote) touche le fond, le basculement du bras de manœuvre déclenche l'ouverture du croc et la chute libre du carottier. Grâce à sa masse et au lest, celui-ci s'enfonce dans le sédiment, et cela d'autant mieux lorsque ceux-ci sont fins et gorgés d'eau. Le piston remonte dans la chemise, assurant ainsi la tenue de la carotte.

- **les systèmes acoustiques (SMF, sonar latéral,...)** permettent également d'obtenir une imagerie du fond, de cartographier de vastes zones et souvent d'en déduire la nature du fond. Cette dernière doit être confirmée par l'utilisation de systèmes de prélèvement de sédiment.



- **les sondeurs de sédiments** (ou pénétrateurs de sédiments) émettent des ondes acoustiques dans une gamme de fréquence comprise généralement entre 2 et 8 kHz, ce qui donne aux ondes acoustiques une grande pénétration dans le sédiment et ainsi permet la détection des différentes couches. On obtient alors une coupe du fond qui montre les « iso-nature du fond », ce qui permet par exemple de sélectionner les points de carottage (zones où les réflecteurs sont resserrés de manière à obtenir une carotte contenant le maximum de strates).



4.6 Reconnaissance sur zone

S'il est possible de se rendre sur la zone de travail avant le levé, il est fortement conseillé de le faire car une reconnaissance permet de :

- vérifier l'existence de repères géodésiques ou altimétriques ;
- vérifier au besoin le bon fonctionnement du marégraphe et effectuer un nivellement de contrôle ;
- identifier les points géodésiques existants ou en implanter de nouveaux ;
- rechercher, dans le cas d'un levé mettant en œuvre un système GNSS, les différentes anomalies pouvant affecter le système au cours du levé. Dans le cas de levés effectués à proximité de côtes accidentées et élevées, on essaiera d'évaluer les éventuels masquages dus au relief (masquages des satellites ou de la transmission de corrections par voie hertzienne) ;
- prendre contact avec les autorités locales (capitainerie, bureau du port, mairie, etc.) afin d'informer des dates de levé et éventuellement faire déplacer des navires à quai ;
- prendre contact avec les comités des pêches, les associations de plaisanciers, etc. afin d'informer des dates de levé ;

- vérifier que les résultats attendus sont atteignables à priori.

5 REALISATION DU LEVE

Les étapes de réalisation du levé (définition et réalisation des recherches, traitement peu différé, qualité et densité des mesures, etc.) sont primordiales pour assurer que les objectifs du levé seront atteints et que le traitement des données sera optimisé.

Les lacunes dans la préparation ou la réalisation d'un levé ne pourront en aucun cas être comblées par le traitement des données ; c'est pour cette raison que ces opérations doivent être réalisées avec le plus grand soin.

5.1 Temps réel

Pendant l'acquisition, il est impératif de surveiller de nombreux paramètres sous peine de devoir jeter la donnée acquise ou perdre beaucoup de temps dans la phase de traitement.

5.1.1 Cahier de quart

Lors de la réalisation du levé, il est conseillé de tenir un cahier de quart (ou de suivi d'acquisition) dans lequel seront notés tous les réglages adoptés, les pertes éventuelles de localisation, les trous dans la couverture, les détections de dangers potentiels, les informations sur la célérité, la marée, la météorologie etc. De manière générale, en cours d'acquisition, toute anomalie détectée doit être notée sur ce cahier. Toutes ces informations seront très utiles pour la personne qui sera chargée de la rédaction du levé.

5.1.2 Célérité

Les besoins en termes de célérité sont de deux ordres :

- connaissance du profil de célérité sur les lieux du sondage et au moment de la réalisation du levé pour le calcul du trajet de l'onde acoustique ;
- pour le SMF, connaissance de la célérité de surface en temps réel pour la formation des voies et le calcul de la réfraction dans la couche de surface.

Les paramètres concernant la célérité sont critiques et nécessitent une surveillance accrue durant l'acquisition des données. La connaissance du fonctionnement de la correction de célérité par le sondeur (prise en compte ou non de la célérité de coque dans le profil de célérité pour le calcul de la réfraction), de la sensibilité du système aux variations de célérité de surface (dépointage électronique ou non), de la structure de l'antenne (circulaire ou plane) qui influence la sensibilité du système, etc. est essentielle pour une correction correcte des données.

Tout biais anormalement élevé (le seuil admissible est à définir en fonction des sondeurs, plus ou moins sensibles à ce type d'anomalie) entre le célérimètre de coque et la valeur correspondante du profil de célérité doit attirer l'attention de l'opérateur du sondeur. il peut être dû à une variation réelle de la célérité de coque, qui doit attirer l'attention sur la nécessité éventuelle de procéder à une nouvelle mesure du profil de célérité ou bien à un dysfonctionnement des capteurs qui doit faire l'objet d'investigations.

On surveillera également une incurvation éventuelle des faisceaux latéraux du SMF, symptôme fréquent d'un problème de correction de la réfraction. Cette incurvation est cependant délicate à mettre en évidence en temps réel si le fond est perturbé.

5.1.3 Filtrage

Certains SMF permettent de paramétrer des filtres en temps réel sur les données acquises (seuillage ou filtres plus complexes, voire décimation). Le principe général à appliquer est de limiter autant que possible l'utilisation de ce type de filtres qui ne permet en général pas la revalidation des données filtrées en temps réel. On se conformera aux recommandations du constructeur ou à la méthodologie d'emploi du système définie en interne.

Des seuils sur la profondeur sont appliqués par le logiciel d'acquisition temps réel du SMF afin de faciliter le suivi automatique du fond par le sondeur et éliminer les données aberrantes détectées (bulles, échos dans la colonne d'eau, etc.). Ces seuils doivent être paramétrés de manière constante en temps réel, en se basant sur la profondeur locale, en considérant l'ampleur des variations de fond physiquement possibles dans la zone du levé, ainsi que le comportement général du système (bruit, aération, etc.) qui peut générer des mesures aberrantes en grande quantité, pénibles à éliminer en post-traitement. Ces seuils doivent toutefois être utilisés avec la plus grande prudence et paramétrés très largement autour du fond.

5.1.4 Immersion des antennes du sondeur

L'utilisation d'un capteur de mesure de l'immersion de la quille, lorsqu'il existe, est recommandée afin d'assurer un suivi de la variation du tirant d'eau du navire et, si nécessaire, ajuster l'immersion des antennes du sondeur. Si un modèle fiable d'enfoncement dynamique du porteur en fonction de la vitesse et/ou de la charge est disponible (élaboré par des mesures à la mer), il pourra être utilisé pour affiner l'estimation de l'immersion des antennes du sondeur.

5.1.5 Attitude

Le suivi temps réel des données d'attitude doit être réalisé :

- en surveillant les alarmes transmises par le système temps réel du sondeur sur la prise en compte des données d'attitude ;
- en surveillant les indicateurs de qualité des données d'attitude lorsqu'elles sont disponibles sur le logiciel temps réel associé au capteur d'attitude. Les options d'alarme visuelle ou sonore fixées sur un seuil de qualité des données devront être utilisées lorsqu'elles existent ;
- en diagnostiquant en temps réel les éventuelles corrections anormales de la bathymétrie. Ces corrections anormales peuvent être (lorsque le système est bien configuré et calibré) :
 - un positionnement aberrant des données par rapport à la route du navire traduisant des valeurs de cap erronées ;
 - des ondulations dans la bathymétrie, de période assez longue, proche de celle de la houle et perceptibles sur toute la largeur de fauchée : mauvaise correction du pilonnement ;
 - des ondulations dans la bathymétrie, de période courte, nulles sur les voies centrales et de signe opposé sur les voies latérales : correction anormale du roulis.

De manière générale, on portera une attention particulière à toutes les structures bathymétriques périodiques ou permanentes corrélées (perpendiculaires ou parallèles) à la route du navire : elles signalent fréquemment des erreurs systématiques. Les retournements seront mis à profit pour juger de leur existence réelle ou non.

5.1.6 Suivi de profil

Les systèmes SMF permettant une couverture surfacique, il n'est pas rigoureusement nécessaire de suivre très précisément la route théorique prédéfinie. En cas d'écart à cette route, un maintien du cap sans giration brutale, de sorte à assurer le recouvrement avec les fauchées adjacentes, est préférable à un suivi de route précis mais brusque et oscillant autour du profil théorique. Dans le cas où un système automatique de suivi de route est utilisé, on s'efforcera de limiter les accélérations du navire sur profil, et une période de stabilisation en début d'acquisition sera si possible réalisée.

5.1.7 Imagerie

L'acquisition de données d'imagerie peut avoir un impact sur la cadence d'émission du SMF. Elle représente en effet un volume élevé de données à traiter et peut ralentir le processeur du sondeur et ainsi diminuer la cadence d'acquisition. L'imagerie peut également poser des difficultés de stockage ultérieur des données (volume important). Son utilité effective devra être prise en compte avant de décider de son archivage en temps réel.

5.1.8 Réalisation de cible

Pour déterminer l'incertitude de positionnement du porteur nécessaire à la qualification de la donnée, la réalisation de cibles (tout au long du levé ou à défaut lors des escales) sur des points connus, à proximité de la zone levée et dans le même mode de localisation, est nécessaire.

5.2 Traitement en temps peu différé

Certains traitements sur les données doivent être réalisés au fur et à mesure de l'avancement du levé, de sorte à définir au plus vite les travaux de complément (trou de couverture, recherche, etc.). Ceux-ci (principalement des profils de reprise ou des recherches) sont à effectuer avant de quitter la zone de travail.

5.2.1 Hauteurs d'eau

Dans le cas où il n'est pas fait usage d'une marée cinématique, afin de pouvoir effectuer un contrôle qualité en temps peu différé (emploi des recouvrements et traversiers) et coter approximativement les points hauts au cours du levé (pour signalement des hauts fonds potentiellement dangereux), on utilisera si possible une marée prédite pour réduire les mesures de profondeur.

5.2.2 Validation de la navigation

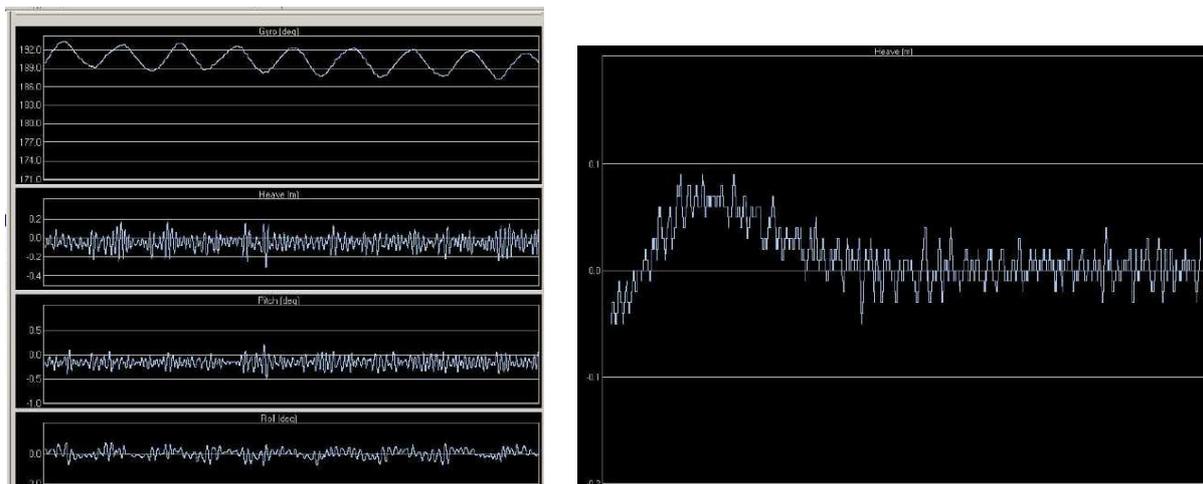
La validation de la navigation consiste à éliminer les données de positions aberrantes avant utilisation pour positionner les sondes, détecter les discontinuités de la route ou de la vitesse fond (saut de localisation, perte du mode différentiel) et décider s'il est possible d'interpoler entre les données invalidées ou bien si des portions de profils doivent être reprises.

Souvent, les écarts recherchés sont de l'ordre de quelques mètres. L'examen des données doit donc se faire à une échelle adaptée à la précision du positionnement recherchée en utilisant les fonctions de zoom.

Dans un temps peu différé, la visualisation des indicateurs de qualité fournies par la centrale inertielle permet d'identifier les changements de mode GNSS et les éventuels sauts. Généralement, lorsque des tops de localisation sont invalidés, ils sont remplacés par le calcul d'une position à l'estime, à condition que l'incertitude sur la position interpolée soit cohérente avec l'ordre du levé.

5.2.3 Validation de l'attitude et du cap

Les données issues de la centrale inertielle doivent être visualisées sous la forme d'un affichage temporel afin de rechercher les valeurs aberrantes (des pics). Une attention particulière doit être portée sur les données de début de ligne.



Si la période d'invalidation des données d'attitude est trop longue pour permettre une interpolation avec une incertitude suffisante au regard des incertitudes recherchées, les données bathymétriques doivent être invalidées également.

5.2.4 Examen de la bathymétrie

Un premier examen de la bathymétrie, en consultant, a minima, les MNT présentant les profondeurs minimales, maximales et moyennes ainsi que les écarts-types sur la profondeur est à faire afin de :

- déterminer les structures du fond pour lesquelles des profils de recherche sont nécessaires ;
- éliminer les données les plus aberrantes et définir des lignes de complément sur les trous de couverture éventuellement générés par cette opération.

5.2.5 Contrôle de la couverture

Si l'exploration complète du fond est demandée, il est primordial de mettre en évidence les trous de couverture dans la donnée bathymétrique (et sonar latéral s'il a été mis en œuvre). Si la double insonification est requise, il faut contrôler la double couverture en affichant la surface couverte par un profil sur deux. Dans le cas où le bruit de mesures est très important, un premier traitement doit être réalisé avant de faire ce contrôle de couverture.

Les recouvrements entre fauchées sont également à examiner afin de mettre en évidence des problèmes de répétabilité dans les données. La vue 2D géoréférencée de la bathymétrie, si possible ombrée et réduite de la marée prédite, est à utiliser.

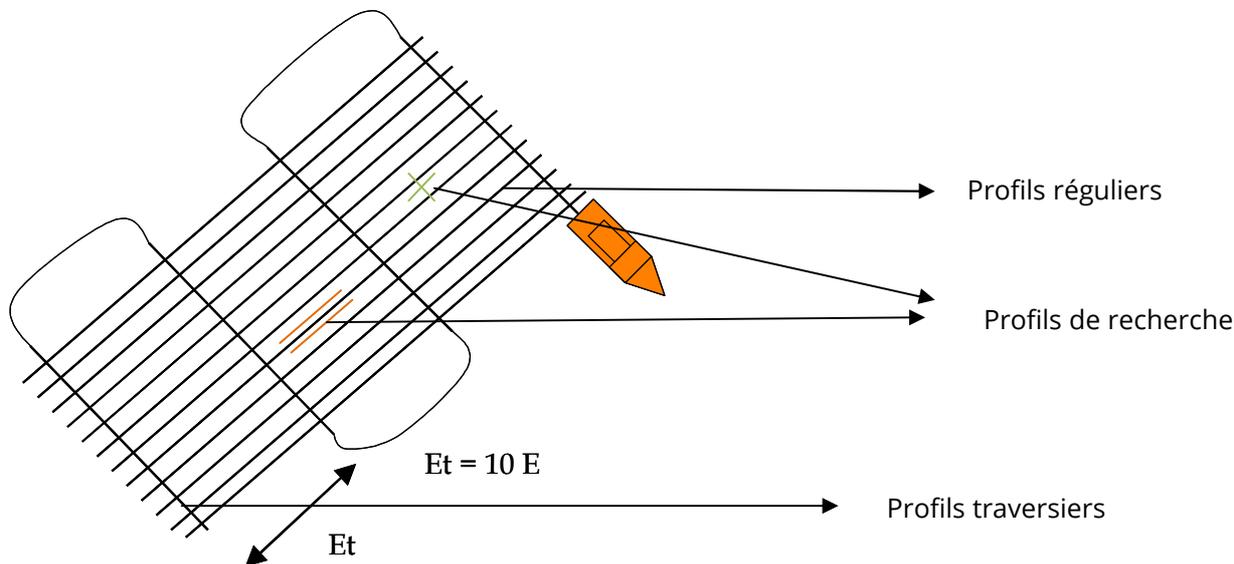
5.3 Planification et réalisation des recherches.

Tout paquet de sondes (agrégat de sondes) pouvant potentiellement être une structure réelle doit faire l'objet d'un examen particulier afin de trancher sur l'existence ou non de la structure. Une valeur communément utilisée, au Shom, pour distinguer un agrégat suspect de sondes invalidées du bruit est située entre 5 et 9 sondes ou bien détecté par au moins deux profils différents. Cet examen des sondes doit être réalisé chaque jour afin de planifier les recherches.

Si une inspection par plongeur est possible cette solution sera privilégiée pour effectuer les recherches. Elle permet de vérifier la bonne détection du point haut, de déterminer une cotation et d'identifier la nature de l'objet. La sonde validée la plus courte obtenue par acoustique (faisceaux jugés précis) ou plongeur sera conservée.

Dans le cas contraire, l'ensemble des équipements acoustiques, répondant aux critères de résolution nécessaires pour le levé, sera mis en œuvre afin d'estimer la cotation de l'épave. La sonde la plus courte obtenue sera conservée, et une estimation de son incertitude sera fournie. Dans ce cas, la cotation peut être effectuée par sondage au SMF, avec une résolution optimale et

une insonification de l'ensemble de la structure. Le ou les points hauts de la structure devront alors être cotés par les voies les plus précises du SMF, établies lors des essais. Si le SMF le permet, la fauchée sera réduite (ouverture de $2 \times 30^\circ$) de manière à concentrer les faisceaux et ainsi obtenir le maximum de pings sur le relèvement du fond. Si la fauchée ne peut être réduite, une autre façon d'augmenter le nombre de pings sur la structure et donc améliorer la caractérisation du relèvement est de réduire la vitesse du porteur (2 à 4 nœuds).



Dans la mesure du possible, il faut déterminer la nature physique du relèvement, qu'il soit artificiel ou non. Dans le cas d'une épave ou d'une obstruction, la profondeur et la nature du fond environnant devront être déterminées et tous les éléments permettant de suivre l'évolution du relèvement devront être archivés.

Il ne faut pas attribuer au relèvement une cotation provenant de la présence d'objets ne présentant pas de danger et dont la présence est saisonnière ou temporaire (comme des algues).

Si l'étude individuelle de chaque relèvement n'a pas été assurée, la mention de cette omission doit apparaître clairement dans le rapport et dans les métadonnées du levé.

6 TRAITEMENT DES DONNEES

A l'issue de la session de sondage, les données brutes acquises doivent être sauvegardées à bord ou à terre sur un serveur d'archivage. Ces données doivent constamment être disponibles au moins sur deux supports de sauvegarde différents dont au moins un qui est conservé au cours de l'intégralité du traitement afin de pouvoir y revenir en cas d'erreur.

6.1 MNT

Le MNT est l'outil de visualisation de la donnée bathymétrique le plus pratique : son paramétrage (création et utilisation) est donc essentiel pour le traitement des données. Plusieurs choix sont importants :

- taille de la maille : elle doit être de l'ordre de la résolution du sondeur à la profondeur du levé pour obtenir une représentation la plus détaillée du relief. Une maille trop grande peut faire disparaître les oscillations parasites et handicaper la détection des dysfonctionnements du sondeur. Une maille trop petite crée des trous dans le MNT ou donne un résultat non représentatif des capacités du sondeur ;
- l'empreinte au sol : elle doit prendre en compte au mieux la surface couverte par le sondeur et ne pas donner de fausse impression de couverture complète (ou inversement) ;
- la méthode de génération du MNT : utilisation d'une valeur moyenne de la maille, de la sonde la plus courte, etc. ;
- l'étendue du MNT doit être compatible avec les capacités informatiques du poste de travail (pas de ralentissement de l'accès aux données).

Le MNT est un outil très important lors des opérations de traitement et de contrôle (en complément d'une vue 3D) :

- le niveau de zoom doit être adapté aux dimensions des relèvements à mettre en évidence ;
- la palette de couleur : sa dynamique doit être adaptée à la profondeur locale de sorte que toute variation suspecte se traduise par un changement de couleur ;
- la modification de l'ombrage permet de mieux appréhender la morphologie ou l'aspect d'une remontée de fond pour la classifier. Il doit pouvoir être orienté parallèlement et perpendiculairement à la route du navire de façon à mettre en évidence les erreurs systématiques ;
- l'exagération verticale permet également d'améliorer la détection des remontées de fond ;
- les différentes couches générées sont à utiliser. Par exemple, les couches « deep » (sondes les plus profondes) ou « shoal » (sondes les plus courtes) permettent rapidement d'identifier des erreurs de traitement (oubli de suppression de sondes aberrantes) tandis que la couche « Std deviation » (écart type) met en exergue les zones nécessitant un contrôle approfondi car présentant une plus grande disparité de profondeurs mesurées.

Pour la suite on considère que les sondes les plus grossièrement erronées sont éliminées. Ces anomalies peuvent être éliminées par seuillage sur la profondeur (les seuils sont choisis de sorte à n'éliminer aucune donnée valide), ou manuellement.

6.2 Localisation

La localisation acquise doit être traitée avant d'être utilisée pour positionner les données.

Le traitement des données de position doit aboutir à un jeu de données dont l'incertitude est au plus égale à l'erreur aléatoire théorique du capteur de position : c'est-à-dire que l'on a procédé à l'élimination des erreurs ponctuelles. Les données invalidées doivent être « flaguées » et non supprimées définitivement du lot de données.

Le principe de validation de la navigation est le suivant :

- la navigation, en l'absence de critères objectifs sur la qualité des points GNSS, doit être validée en utilisant une représentation 2D, en utilisant les compléments d'information disponibles tels que des représentations temporelles de la vitesse, de la route fond, du cap, etc. Un point doit être invalidé s'il s'écarte ponctuellement de la route moyenne d'une distance anormalement élevée compte tenu de la précision attendue sur la navigation et de la vitesse du porteur ;
- l'interpolation dans les données de navigation est autorisée, dans une certaine limite : l'estimation de la position possible du porteur au milieu de l'intervalle d'interpolation ne doit pas excéder une valeur définie par le responsable du levé, en fonction de la précision requise sur la localisation.

Le résultat du traitement de la localisation est :

- un jeu de données de positions datées, dont l'incertitude est compatible avec les objectifs du levé ;
- une qualification de la qualité des positions : incertitude horizontale (et verticale si les données d'altitude sont utilisées) ;
- une description de méthodes utilisées dans le traitement de cette localisation, en vue de leur archivage dans les métadonnées ;
- la méthode de qualification des données employée en vue de son archivage dans les métadonnées.

6.3 Célérité

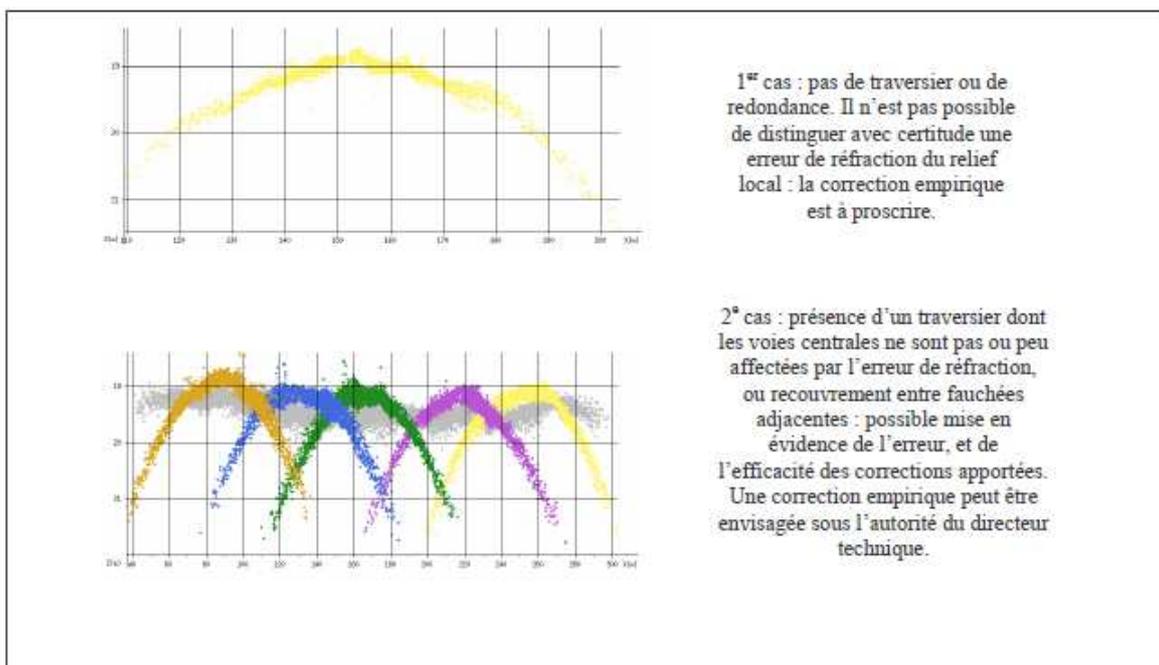
La prise en compte de la célérité est normalement effectuée par le SMF en temps réel.

Le traitement des données de célérité consiste donc à :

- vérifier la cohérence des valeurs de la célérité de surface entre elles, en les visualisant au cours du temps et en recherchant les discontinuités anormales dans ces données ;
- vérifier la cohérence des valeurs de célérité de surface avec celle du profil de célérité utilisé simultanément pour la correction des données ;
- vérifier la qualité du profil de célérité utilisé en temps réel. Ce contrôle doit être effectué en intercomparant des profils proches, ou en comparant le profil courant avec un profil type de la zone sondée (statistiques).

Si une anomalie est détectée dans la célérité de surface et/ou le profil de célérité, les données peuvent généralement être rejouées en temps différé.

La présence d'une erreur de célérité sera détectée lors du contrôle en temps différé, en particulier sur les données provenant des faisceaux latéraux : écarts notables sur ces voies par rapport à des données de référence (faisceaux centraux d'un traversier par exemple), plus réduits sur les voies centrales, incurvation anormale du fond, problèmes de recouvrement sur les voies latérales.



Si une erreur de réfraction est présente dans les données, et que sa cause n'est pas corrigible aisément, deux solutions sont possibles :

- réduire la largeur de la fauchée : solution la plus rigoureuse mais qui peut engendrer des problèmes de couverture ;
- corriger empiriquement l'erreur de réfraction. Solution qui peut être hasardeuse dans certains cas et qui doit être réservée à des situations pour lesquelles il existe des traversiers et lorsque le recouvrement entre fauchées est suffisant pour certifier que la correction apportée supprime un problème de réfraction sans dégrader la représentation du fond.

6.4 Attitude et le cap

Les paramètres d'attitude et de cap doivent être validés, la méthode est identique à celle décrite au §5.2.3. En plus, quelques points à contrôler :

- les périodes des mesures de roulis, tangage et pilonnement doivent être vérifiées ;
- la valeur moyenne du pilonnement doit être observée, en particulier après giration (valeur moyenne normalement nulle).

Un problème de mesure de l'attitude du navire et en particulier du roulis peut également être mis en évidence lors du contrôle des données de bathymétrie (voir §6.6 et annexe 6).

6.5 Marée

La correction de marée en temps différé devra être appliquée pour ramener les mesures de profondeur au zéro de réduction des sondes.

On utilisera selon les cas et les données disponibles :

- un modèle de marée calé sur des observations ;
- des observations de marée ramenées au zéro hydrographique.

La précision du modèle ou des observations utilisées pour réduire les mesures sur l'ensemble de la zone sondée devront être compatibles avec l'incertitude verticale requise.

Dans le cas où le levé a été réalisé par rapport à l'ellipsoïde (marée cinématique) la méthode pour ramener les profondeurs au zéro hydrographique adéquat est détaillée au §4.2.3.

6.6 Traitement de la bathymétrie

Les objectifs du traitement de la bathymétrie sont :

- de détecter, corriger ou supprimer les erreurs systématiques ;
- de minimiser l'impact des erreurs ponctuelles sur la qualité des données tout en assurant la sécurité de la navigation en priorité ;
- de déterminer les incertitudes verticale et horizontale des données de bathymétrie statistiquement à l'issue du traitement ;
- d'assurer que tous les relèvements du fond qui devaient être détectés et cotés l'ont été.

Par contre, le traitement bathymétrique ne doit pas s'apparenter à «dessiner» le fond (invalidation des sondes jusqu'à obtenir un fond plat par exemple, suppression de bruits sans certitude que le fond obtenu est réel, etc.).

A noter que l'expérience de l'opérateur est primordiale dans le traitement de la bathymétrie.

6.6.1 Détection et élimination des erreurs systématiques

Une recherche des erreurs systématiques non corrigées en temps réel doit toujours être réalisée avant la recherche des erreurs ponctuelles.

Les erreurs systématiques sont décelées en :

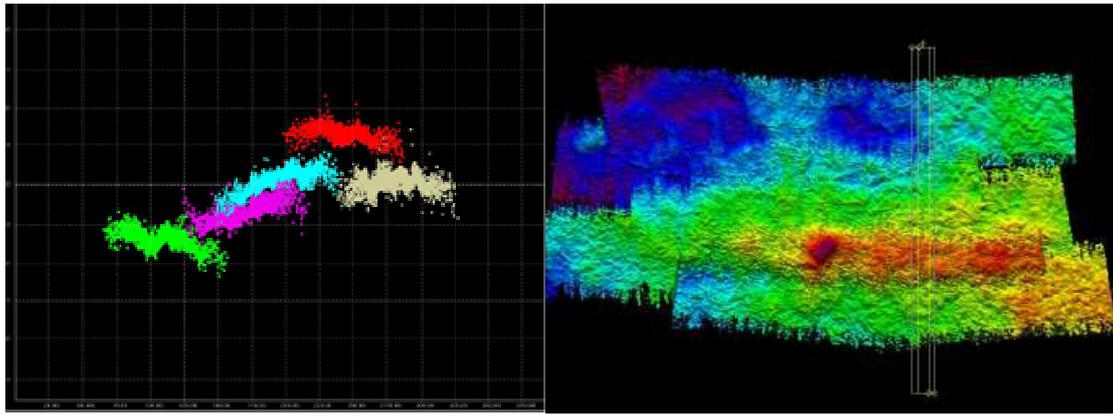
- examinant les zones de recouvrement entre profils ;
- examinant les intersections entre le levé régulier et les traversiers ;
- en créant un MNT et en faisant varier l'incidence et le contraste de l'éclairage ombré. Il faut alors rechercher les structures du relief corrélées avec la route du navire (parallèle, perpendiculaire, ondulatoire).

Biais vertical constant

Les causes possibles de ce type de biais sont :

- une correction de marée inadaptée ou erronée (si ce biais évolue dans le temps de manière corrélée avec l'heure d'acquisition des profils, cette cause est la plus probable) ;
- une variation non maîtrisée de l'immersion de la base entre périodes d'acquisition ;
- une correction anormale du pilonnement.

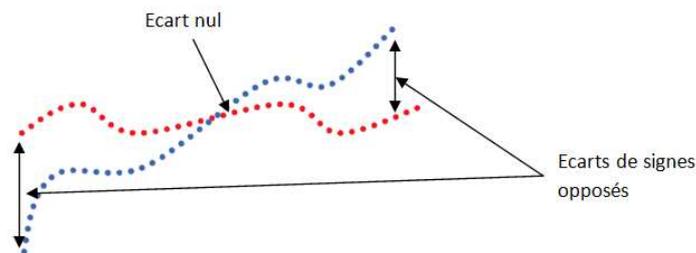
Ce biais se détecte en examinant le croisement entre profils réguliers et profils traversiers ou en examinant les recouvrements en extrémité de fauchée. Les données sont examinées en réalisant une coupe perpendiculaire aux lignes.



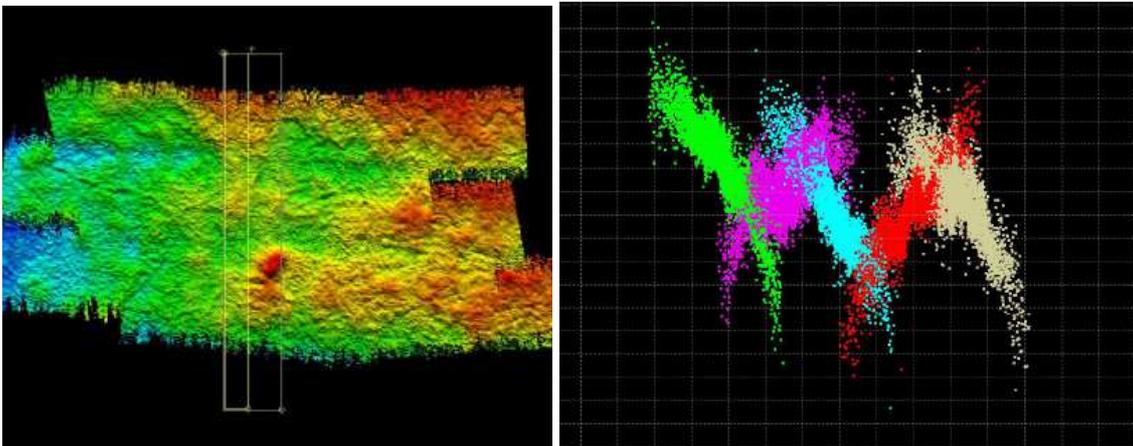
Biais en roulis

Ce biais se repère lorsque les profils présentent une erreur nulle sur les voies centrales et de signes opposés sur les voies latérales. La cause la plus probable est une mauvaise correction du roulis. Ce biais peut être constant (écart sensiblement identique à tous les points de croisement) et être alors corrigé.

Si l'écart évolue dans le temps, il s'agit d'un dysfonctionnement de la centrale d'attitude ou d'un retard mal maîtrisé entre le capteur d'attitude et le sondeur. Dans ce cas le biais est souvent impossible à corriger.



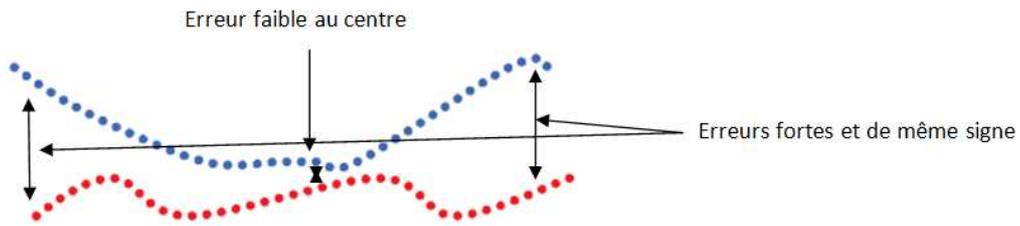
Les données doivent être examinées en réalisant une coupe perpendiculaire aux profils.



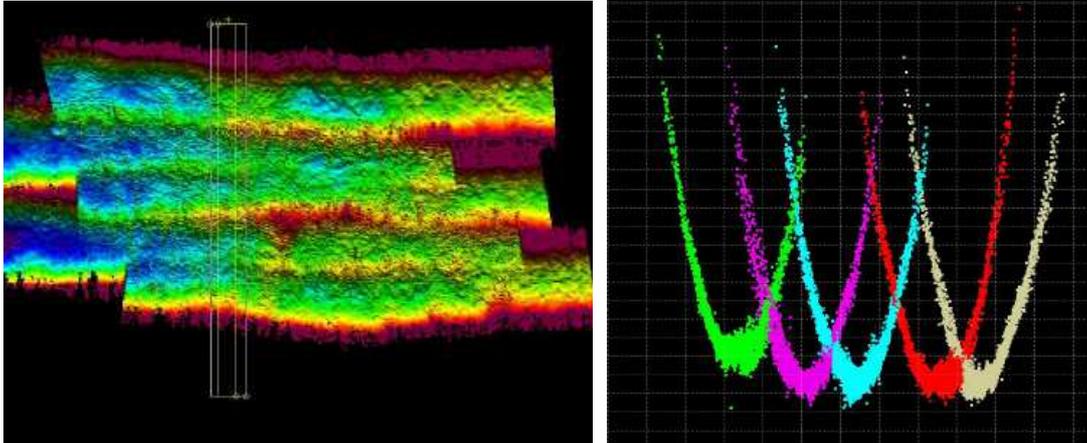
Erreur de réfraction

Ce biais se détecte lorsque les profils présentent une erreur faible sur les voies centrales, plus forte et de même signe sur les voies latérales. La plupart du temps ce biais provient d'une mauvaise connaissance de la célérité soit au niveau de l'antenne soit dans la colonne d'eau. Si des données de célérité correctes sont disponibles il est alors possible de rejouer les données de bathymétrie.

Si la célérité est correcte à tous les niveaux, cette anomalie peut traduire une réfraction mal maîtrisée dans le revêtement de l'antenne.



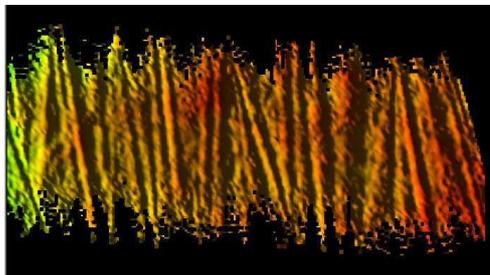
Les données doivent être examinées en réalisant une coupe perpendiculaire aux profils.



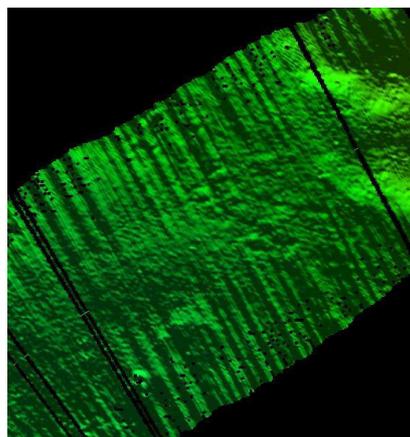
Erreur « tôle ondulée »

L'erreur de type « tôle ondulée » peut avoir plusieurs causes :

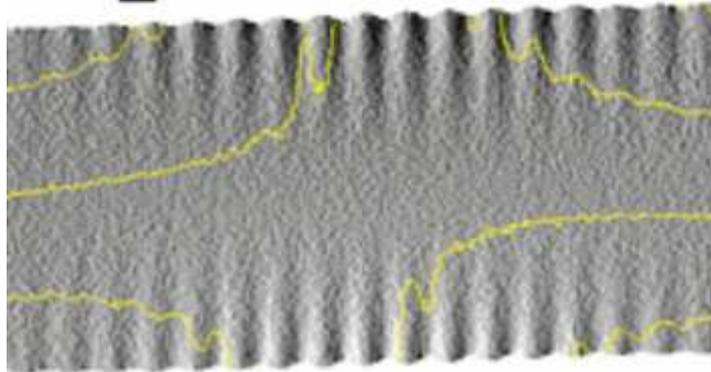
- l'effet « tôle ondulée » est perceptible sur toute la largeur de la fauchée avec une période de quelques secondes : correction anormale du pilonnement ;



- l'effet « tôle ondulée » est perceptible uniquement sur les faisceaux latéraux, une période courte, de signe opposé de part et d'autre, pente transversale apparemment linéaire : correction anormale du roulis ;



- une erreur sur la connaissance de la célérité de coque peut induire des oscillations périodiques corrélées au roulis, en opposition de phase sur les voies latérales. Ce peut être le cas lorsque la thermocline est proche de la surface. Le célérimètre de coque « entre et sort » de la thermocline et délivre alors une valeur moyenne de la célérité qui est alternativement trop forte et trop faible ce qui crée des oscillations en phase sur les voies latérales.

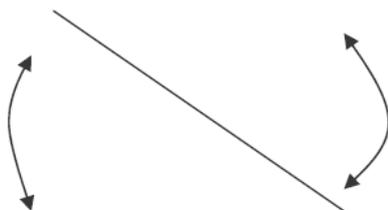


En pratique, il peut être très difficile de séparer ces sources d'erreur :

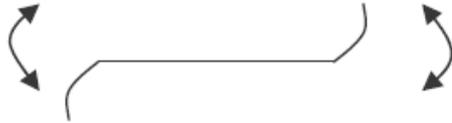
- le roulis et le tangage sont fréquemment en phase ou de fréquences très proches ;
- les oscillations causées par la célérité sont corrélées au roulis ou au tangage et peuvent donc se confondre aisément avec un problème de correction d'attitude ;
- la rugosité du fond s'ajoute aux phénomènes périodiques ;
- les erreurs peuvent se cumuler.

La méthodologie à adopter pour déterminer la source de l'erreur est de :

- favoriser une source d'erreur particulière en cas d'ambiguïté sur la composante d'attitude ;
- adopter une route et une allure minimisant le roulis ou le tangage à l'exclusion de l'autre mouvement ou séparant les fréquences ;
- opérer sur fond plat afin de minimiser l'impact de la rugosité du fond dans l'analyse ;
- extraire la bathymétrie d'un faisceau central et de deux faisceaux latéraux et la comparer avec l'attitude enregistrée en fonction du temps (roulis, tangage, pilonnement). Mettre en évidence les analogies fréquentielles et les différences de phase éventuelles ;
- en cas d'oscillations sur les voies latérales en opposition de phase, observer la coupe transversale du fond :



Si celle-ci est linéaire, l'anomalie s'apparente à une correction de roulis imparfaite (réellement ou en apparence).



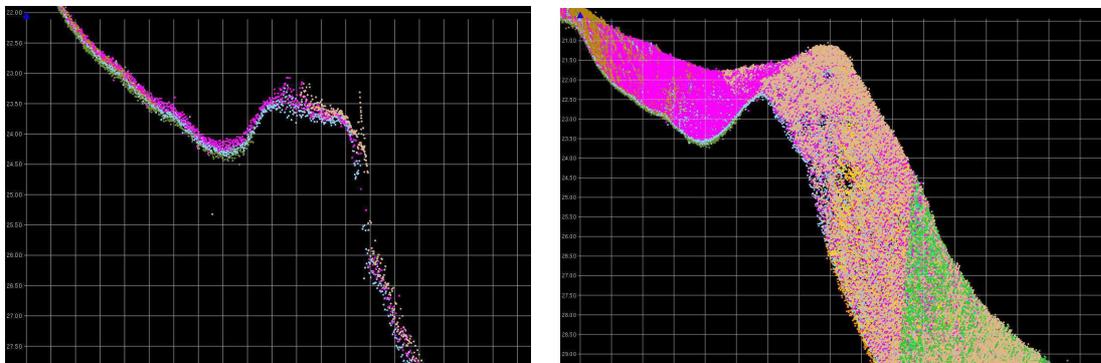
Si elle présente une incurvation qui s'accroît avec l'incidence, de signe opposé sur les voies opposées, l'anomalie est plus probablement corrélée avec la célérité de surface.

L'annexe 6 présente quelques exemples complémentaires de mauvais fonctionnement d'un SMF.

6.6.2 Traitement des erreurs ponctuelles

Le traitement des erreurs ponctuelles s'effectue à l'aide de l'outil de visualisation des données qui doit permettre la réalisation de coupes dans une partie du lot de sondes. L'ensemble des zones balayées en coupe doit être suivi de sorte à passer en revue toutes les données. Ces coupes doivent être :

- perpendiculaires aux lignes ;
- suffisamment fines pour ne pas masquer les erreurs ponctuelles :

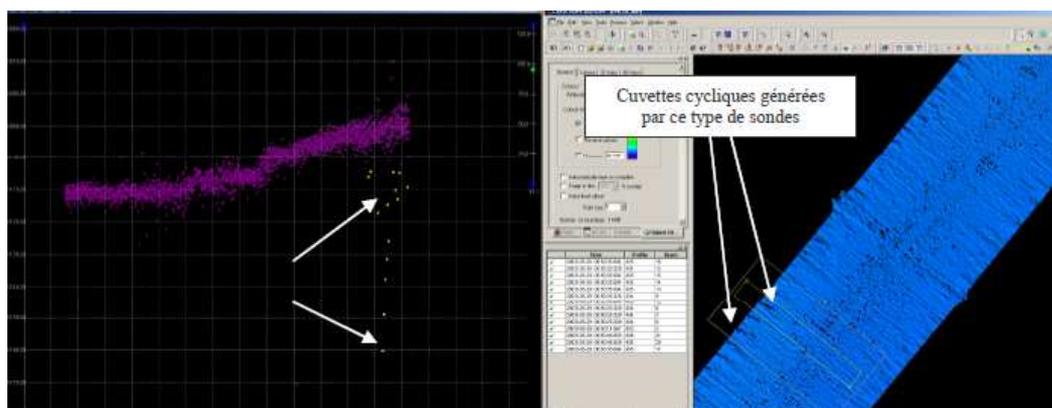


Gauche : coupe fine permettant de discerner les sondes / Droite : coupe large ne permettant pas de discerner le bruit

Lorsque des profils adjacents se touchent ou se recouvrent, il est nécessaire de les inclure dans la coupe de sorte à accélérer le traitement. Il est également important de représenter les sondes en fonction de leur fauchée d'appartenance (utilisation de la couleur).

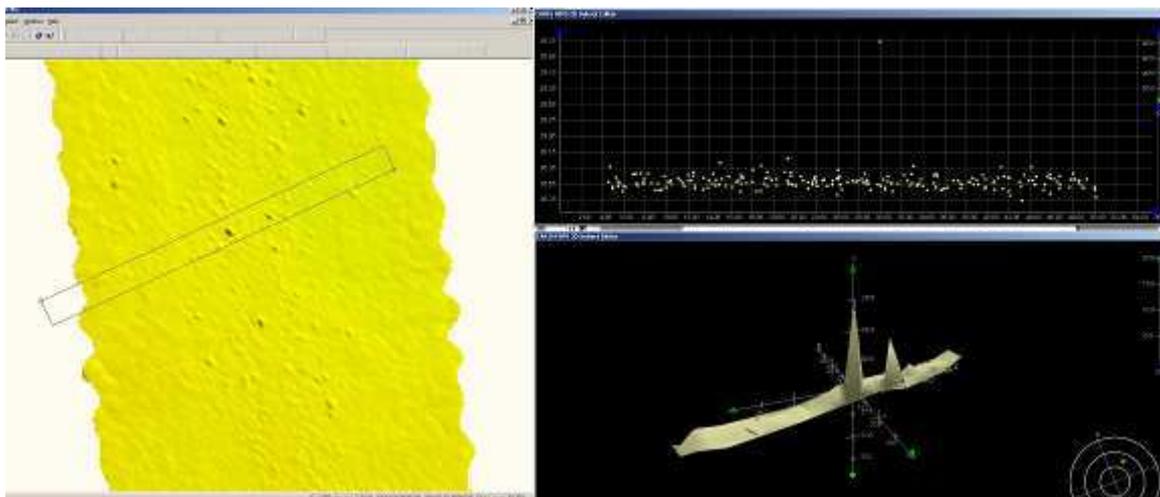
Les erreurs ponctuelles à rechercher sont les sondes qui s'écartent notablement du « matelas de sondes », i.e. d'environ deux fois l'épaisseur de ce dernier. Tout relèvement douteux doit être examiné sous plusieurs angles pour en déterminer au mieux la cohérence géographique.

Les erreurs ponctuelles trop profondes sont éliminées dès qu'elles ne représentent pas le fond avec une probabilité suffisante. Par exemple, les sondes trop profondes, s'écartant notablement du fond, incluses dans un groupe qui présente une continuité géographique et qui décrivent un relief théoriquement possible mais peu réaliste doivent être éliminées



Concernant les erreurs ponctuelles plus courtes que le fond environnant :

- elles seront éliminées si elles ne sont détectées que par une seule fauchée sans avoir de cohérence spatiale et si leur nombre est inférieur au seuil de détection fixé pour le levé ;
- le bruit de mesure est supprimé même s'il est apparent sur plusieurs fauchées ;
- les sondes détectées par des fauchées différentes et ne s'apparentant visiblement pas à du bruit sont conservées ;
- les sondes cohérentes spatialement et en nombre supérieur au seuil de détection sont conservées (sauf si éliminées par une recherche).



6.6.3 Traitement automatique

Des algorithmes de traitement automatique, alternatives au traitement manuel, existent et peuvent accélérer considérablement le temps de traitement. Il existe deux grandes familles :

- « filtre passe haut / passe bas » : il est fortement déconseillé de les utiliser sans vérifier l'ensemble des sondes rejetées. En effet, ces filtres s'appuyant sur des bornes (soit fixe, soit autour de la valeur moyenne du tapis de sonde), ils peuvent supprimer des remontées de fonds ponctuelles dangereuses pour la navigation ;
- « basé sur les incertitudes » : l'emploi de ce type d'algorithme semi-automatique (i.e. l'opérateur doit valider certains choix fait par l'algorithme) est puissant mais suppose un paramétrage très fin et une très bonne connaissance de son fonctionnement sous peine d'obtenir un traitement faux.

6.7 **Contrôle qualité (QC-test)**

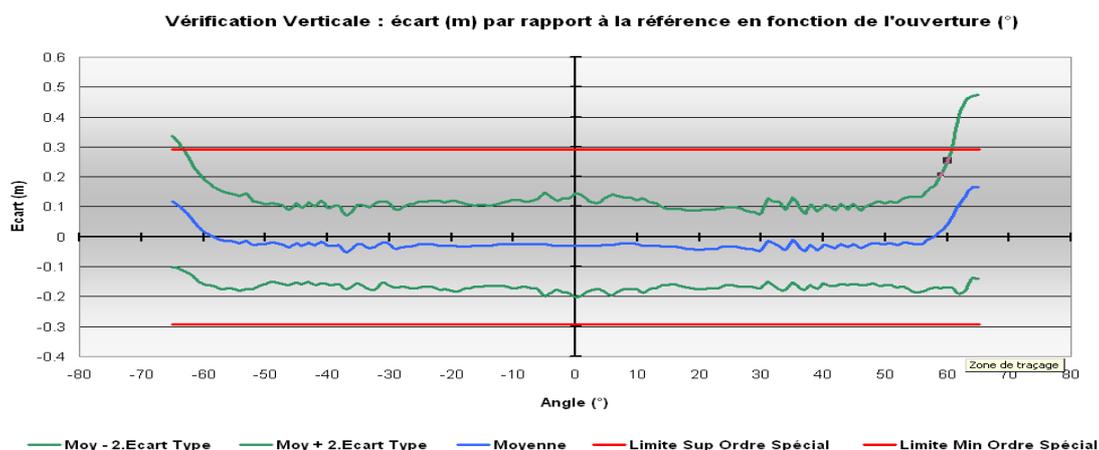
La qualification des données est réalisée si possible en qualifiant statistiquement les sondes en fin de traitement.

6.7.1 Qualification verticale

Le QC-test usuellement utilisé pour la qualification verticale est le suivant (la vérification verticale du sondeur lors de l'ajustage est un prérequis) :

- génération d'un MNT de référence sur une zone plane du levé à l'aide des voies les plus précises des traversiers et une taille de maille proche de la réalité physique du sondeur ;
- calcul de l'écart moyen et de l'écart-type associé par faisceau ou incidence entre les sondes issues du levé régulier et ce MNT.

Une estimation de l'incertitude verticale à 95% est alors donnée par la moyenne ± 2 fois l'écart type. Il est nécessaire, pour obtenir une incertitude totale de ne pas oublier d'ajouter les incertitudes au rattachement à la référence verticale.



Si la rugosité du fond est trop importante pour réaliser un MNT de référence, l'estimation de la précision verticale est faite en visualisant les points de croisement aux traversiers et en quantifiant les écarts entre réguliers et traversiers. Pour cela, il faut réaliser des coupes fines (10% de la hauteur d'eau) et mesurer l'épaisseur du matelas de sondes : cette mesure s'approche de l'incertitude à 95% des sondes (si les sondes aberrantes ont bien été supprimées).

Il est recommandé de comparer ces résultats au modèle d'erreur à priori (voir §3.2.2) si celui-ci est fiable.

6.7.2 Qualification horizontale

La qualification horizontale des sondes par des observations in situ demeurent la méthode la plus fiable : il s'agit alors de comparer la position connue d'un objet à la position mesurée par le levé. Toutefois, ceci suppose de connaître précisément la position d'objets immergés sur la zone de levé, ce qui n'est pas toujours le cas.

Ainsi, souvent, seul un calcul théorique est possible (voir §3.2.3).

6.7.1 Autres QC-test

En plus des qualifications verticale et horizontale, les autres critères à atteindre pour le levé (exploration, etc.) doivent être contrôlés et prouvés.

Des comparaisons avec les connaissances antérieures (levé, carte marine, liste d'obstruction, etc.) sont également pertinentes, en tenant compte des qualifications respectives des données. Ceci permet en particulier de vérifier que :

- la cohérence est bonne entre les données (modulo les évolutions connues sur zone telles qu'un dragage) ;
- le levé réalisé ne présente pas un biais constant (souvent lié à une mauvaise prise en compte du tirant d'eau) ;
- l'opérateur n'a pas supprimé des objets dangereux pour la navigation au traitement (a priori, une épave ne « disparaît » pas).

7 INFORMATION NAUTIQUE

7.1 Sécurité de la navigation

En application de la convention SOLAS (Safety of life at sea), tout élément naturel (banc, roche, récif, affleurement rocheux, etc.) ou artificiel (épave, obstruction, etc.) pouvant représenter un danger imminent pour la navigation (de surface ou sous-marine) doit être signalé sans délai aux services compétents.

Toutes les informations utiles sont données dans la pièce jointe 4.

7.2 Fourniture de la donnée au Shom

Conformément au code minier (article L413-1), au code de la recherche (article L251-3) et au code de la défense (article R3416-6), les données collectées au cours de campagne de recherche, prospection minière, etc. dans les eaux sous souveraineté ou juridiction française doivent être transmises au Shom.

En application de ces dispositions et de l'article L311-6 du code des relations entre le public et l'administration, le Shom est autorisé à garder certaines informations confidentielles (pour une durée allant jusque 15 ans pour la bathymétrie).

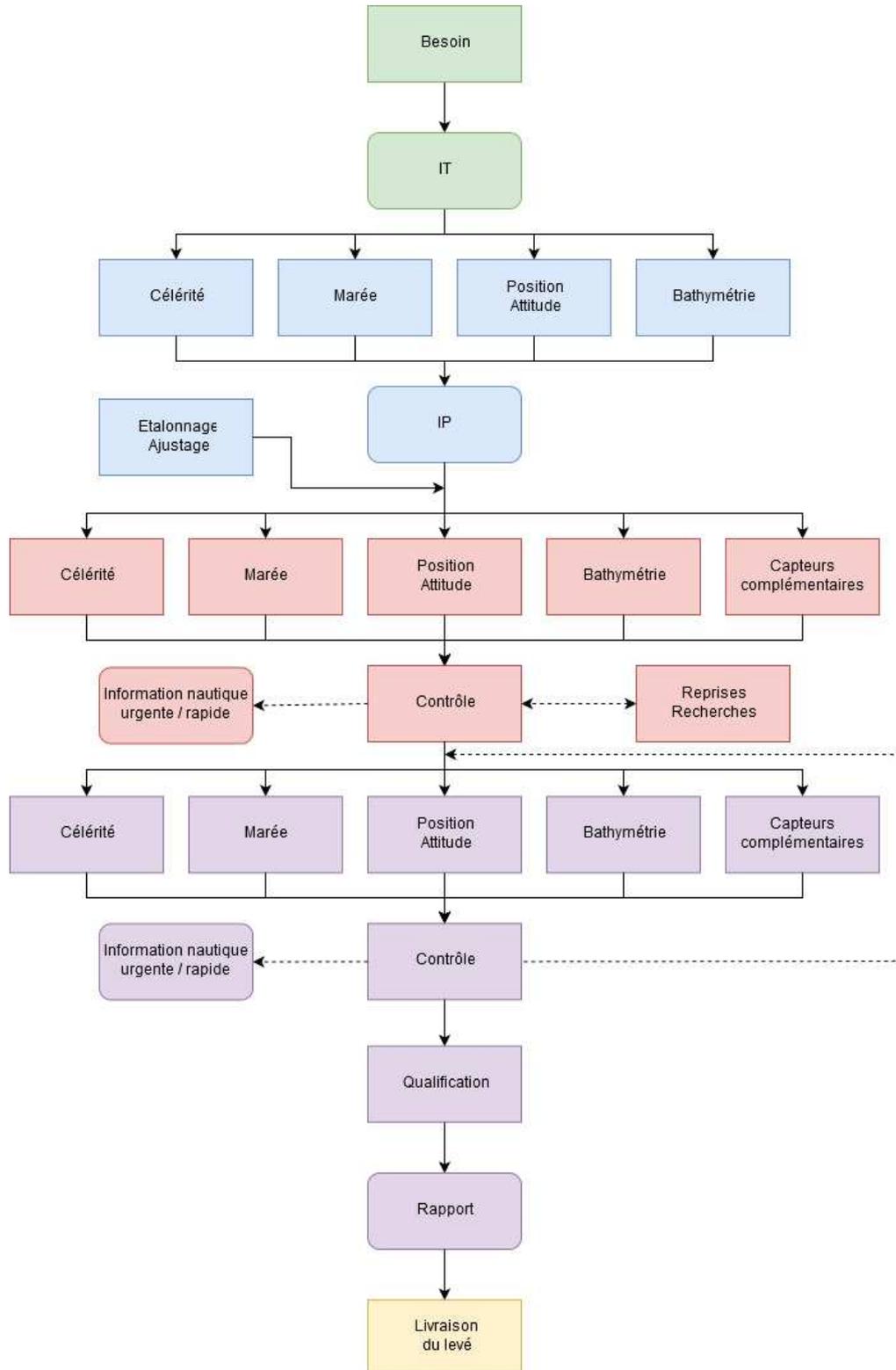
Les informations strictement nécessaires à la navigation de surface, à la sécurité et au sauvetage des vies et des biens à la mer (informations nautiques collectées et diffusées en application des articles 7, 8 et 32 de l'ordonnance 2016-1687 du 8 décembre 2016 relative aux espaces maritimes relevant de la souveraineté ou de la juridiction de la République française et des chapitres I et V de la convention SOLAS) seront diffusées dans la documentation nautique officielle.

Un formulaire de métadonnées¹⁰ est à joindre à toute fourniture de données à l'adresse mail : bri@shom.fr.

¹⁰ Téléchargeable sur le site du Shom : www.shom.fr/les-activites/activites-scientifiques/qualification-des-leves/

ANNEXE 1

Déroulement d'un levé



ANNEXE 2

Incertitude horizontale – Erreurs associées

Erreur sur les rattachements antenne GNSS / antenne sondeur :

Si la **position relative de l'antenne du sondeur** par rapport à l'antenne de positionnement est entachée d'un décalage de D , cela se traduit par la même erreur sur la position de la sonde **$\Delta(\text{pos-ant}) = D$**

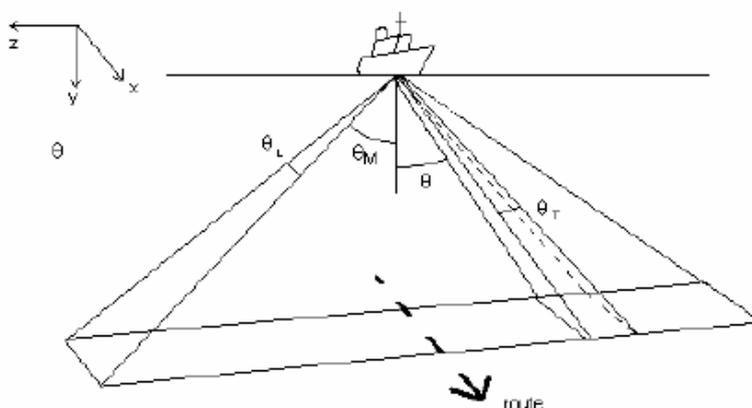
Erreur de synchronisation :

Si Δt est le **décalage de synchronisation** en secondes entre le système de positionnement et le sondeur, si V est la vitesse du navire en m/s, l'erreur faite sur la position de la sonde est alors **$\Delta(\text{sync}) = V \cdot \Delta t$** (ainsi à 10 nœuds un décalage de 1/100 de seconde donne un écart sur la position de la sonde de 10 cm).

Erreur sur l'orientation des antennes du sondeur par rapport à la centrale d'attitude :

Un défaut **d'orientation de l'antenne du sondeur** par rapport à la centrale d'attitude et de cap peut se traduire par (angle en radian) :

- une erreur Δr sur l'angle de roulis qui entraîne une erreur sur la position de la sonde de **$\Delta(\text{roulis}) = \Delta r \cdot P$** ;
- une erreur ΔT sur l'angle de tangage qui entraîne une erreur sur la position de la sonde de **$\Delta(\text{tangage}) = \Delta T \cdot P$** ;
- une erreur sur l'angle de cap Δcap qui se traduit par une erreur sur la position de la sonde de **$\Delta(\text{cap}) = \Delta \text{cap} \cdot p \cdot \tan \theta$** ou θ est l'angle en radians d'incidence, par rapport à la verticale, d'un faisceau dans le plan transversal au navire (voir schéma ci-dessous).



Erreur sur la célérité (généralité)

Pour fonctionner correctement un SMF a besoin de connaître la célérité sous deux formes :

- au niveau de l'antenne de réception du sondeur : permet de calculer avec précision l'angle d'arrivée du signal ;

- dans toute la colonne d'eau : permet le calcul du chemin acoustique.

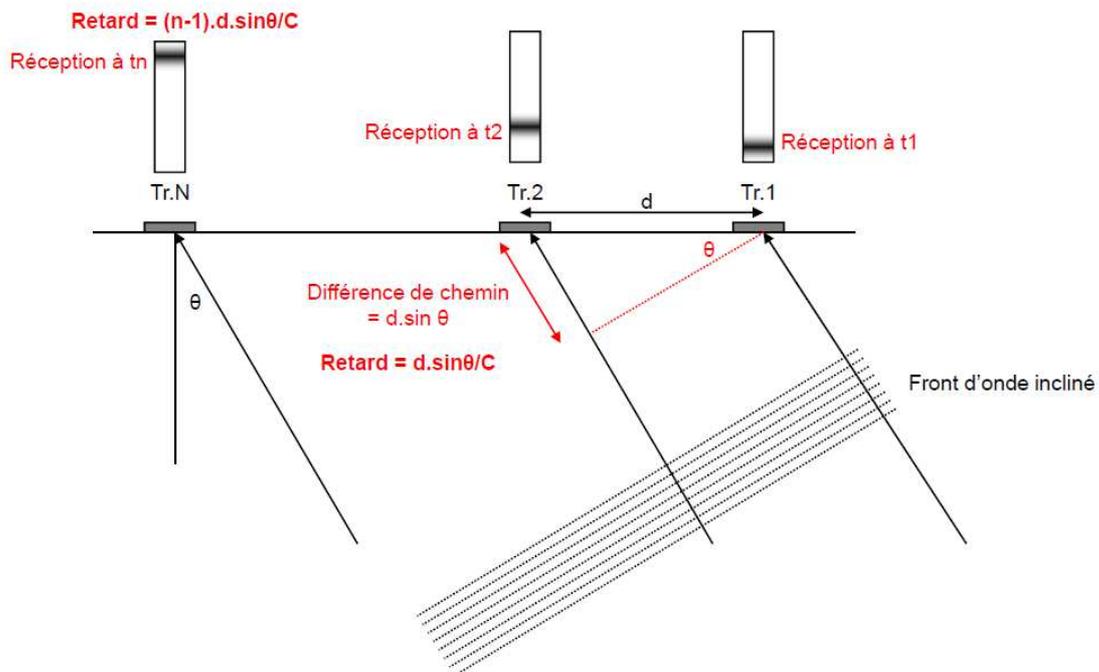
Ces deux données de célérité sont donc indispensables pour fournir une bonne valeur de la sonde et un bon positionnement de celle-ci.

Concernant la célérité on distingue alors les erreurs :

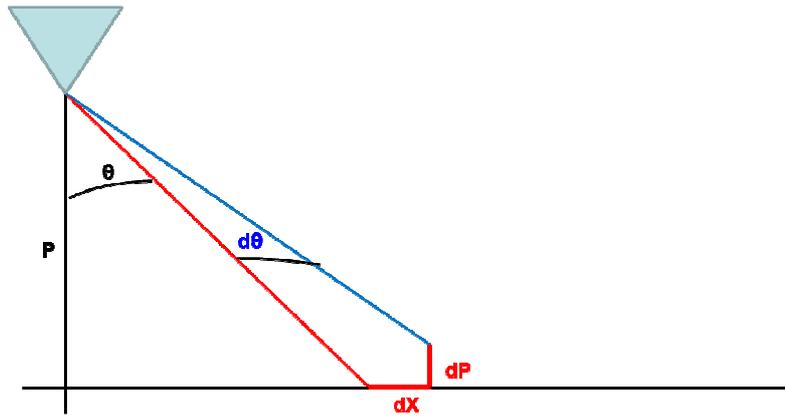
- dues à la célérité de surface fournie par le célérimètre de coque et utilisée pour la formation des voies ;
- dues au profil de célérité fourni par des mesures par bathycélérimètre, tirs sippican, etc. et utilisé pour calculer la profondeur et le trajet des ondes sonores.

Erreur sur la célérité de surface :

Pour écouter dans une direction particulière on peut orienter l'antenne de réception perpendiculairement à cette direction (solution non retenue car elle entrainerait de nouvelles erreurs : jeux pour le déplacement de l'antenne). Sans bouger l'antenne il est possible de dépointer la réception dans une direction θ (angle en radian). Sur le schéma ci-dessous, tout se passe comme si le transducteur élémentaire n° 2 était placé à une distance $d \cdot \sin \theta$. Dans la pratique, le dépointage d'un faisceau consiste à introduire un retard $\Delta t = d \cdot \sin \theta / C_{\text{surf}}$.



Si la célérité de surface est entachée d'une erreur ΔC_{surf} , le retard de dépointage est modifié en conséquence et le dépointage initial θ devient $\theta + \Delta \theta$ et cela entraîne une erreur sur la position de la sonde et sa valeur :

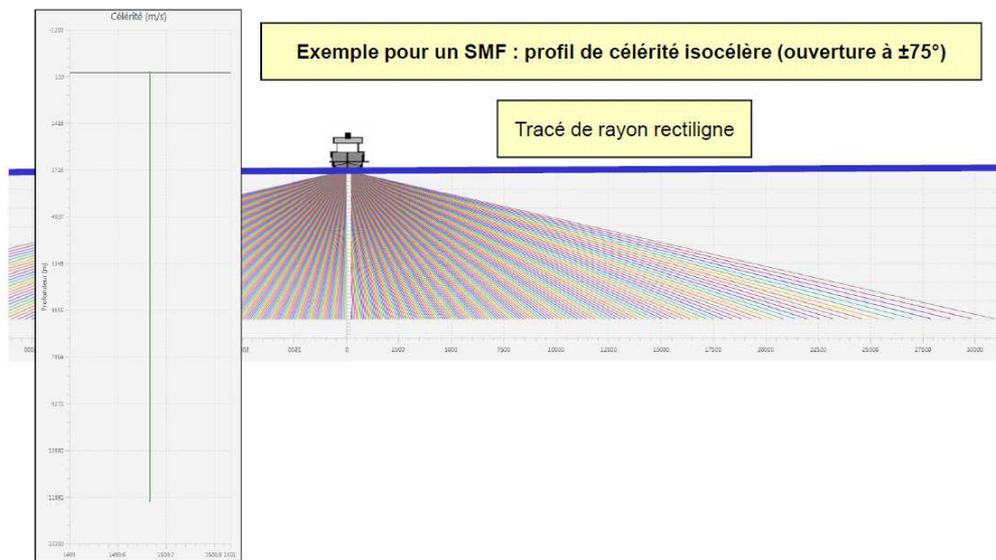


L'erreur sur la position horizontale de la sonde due à la mauvaise célérité de surface est alors :

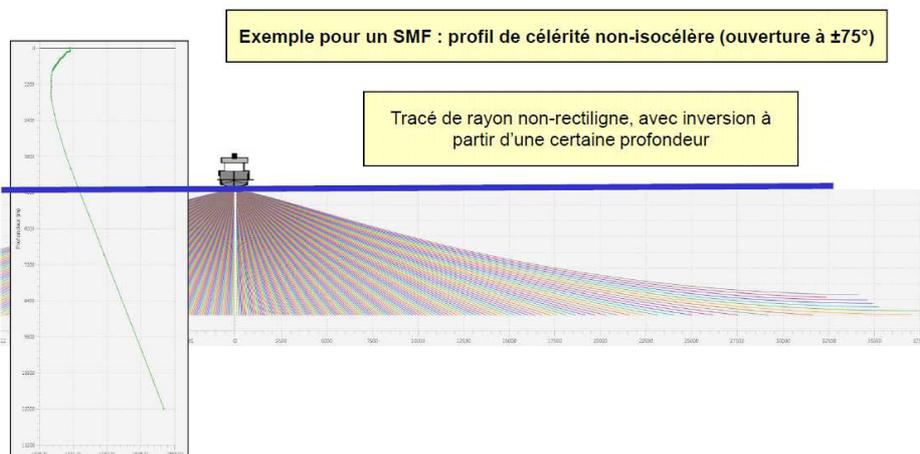
$$\Delta C_{\text{surf}} = P \cdot \tan \theta \cdot \Delta C / C$$

Erreur sur le profil de célérité :

Le profil de célérité sert à reconstruire le trajet des ondes acoustiques sous l'eau.

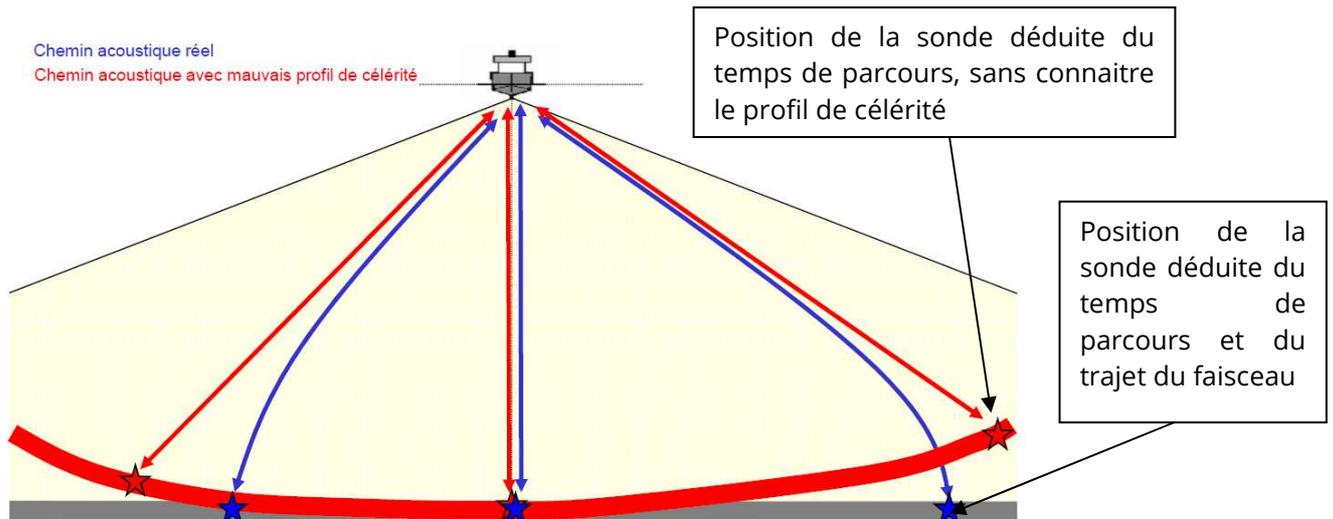


Trajet des ondes sonores avec une célérité constante.



Trajet des ondes sonores avec une célérité variable.

Donc si le profil de célérité est entaché d'une erreur la valeur et la position des sondes seront également affectées d'une erreur :



Erreur liée à la centrale inertielle :

La centrale inertielle mesure le roulis, le tangage, le cap et le pilonnement. Les incertitudes sur chacune de ces grandeurs sont déterminées à partir de la documentation du constructeur. Un ordre de grandeur des valeurs courantes de ces incertitudes figurent dans le tableau suivant :

Incertitude en cap	Incertitude en roulis	Incertitude en tangage
0,2°	entre 0,04° et 0,1°	0,2°

- l'incertitude sur le positionnement de la sonde $\Delta(\text{roulis})$ due à l'incertitude sur la mesure du roulis (σ_r) vaut : $\Delta(\text{roulis}) = \sigma_r \cdot P$;
- l'incertitude sur le positionnement de la sonde $\Delta(\text{tangage})$ due à l'incertitude sur la mesure du tangage (σ_t) vaut : $\Delta(\text{tangage}) = \sigma_t \cdot P$;
- l'incertitude sur le positionnement de la sonde $\Delta(\text{cap})$ due à l'incertitude sur la mesure du cap (σ_c) vaut : $\Delta(\text{cap}) = \sigma_c \cdot P \cdot \tan\theta$.

Erreur liée à la localisation:

Une erreur sur position du porteur se répercute directement sur la position de la sonde. **$\Delta(\text{posit})$ = incertitude sur la localisation.**

Erreur de mesure acoustique :

Un SMF détermine la position et la valeur d'une sonde à partir d'une mesure de distance et d'une mesure d'angle. Les constructeurs proposent un modèle permettant de déterminer les écarts types sur ces deux mesures en fonction de l'incidence, de la profondeur et des caractéristiques du SMF (durée d'impulsion, type de détection, largeur des faisceaux, etc.).

ANNEXE 3

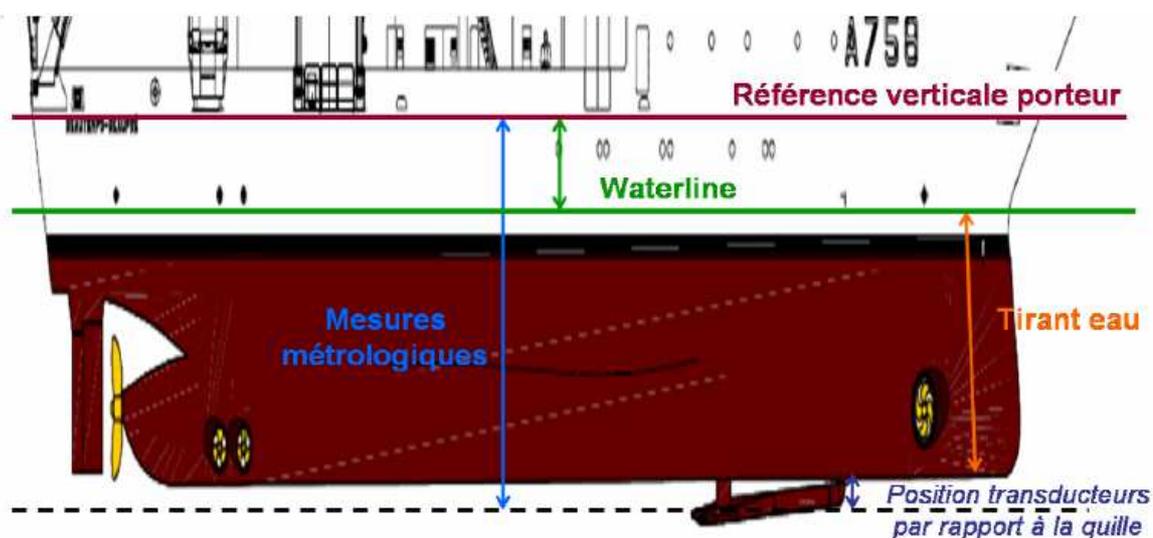
Incertitude verticale – Erreurs associées

La marée : (les levés effectués par rapport à l'ellipsoïde ne sont pas concernés)

L'incertitude de la hauteur d'eau adoptée pour la réduction des sondages est souvent difficile à quantifier, qu'elle soit directement issue de mesures d'un marégraphe ou obtenue par la mise en œuvre d'un modèle de marée. En effet, l'incertitude des mesures peut être impactée par de nombreux paramètres (type de marégraphe, proximité de la zone de levé, variabilité de la marée, qualité des prédictions, décotes/surcotes, nivellement, etc.). La valeur adoptée pour l'incertitude de la marée dépend de chaque chantier et elle est déterminée par le responsable du levé.

Le tirant d'eau : (les levés effectués par rapport à l'ellipsoïde ne sont pas concernés)

La problématique de connaître précisément la position des antennes du sondeur par rapport à la surface de l'eau est importante car, suivant le porteur, les variations en fonction de la charge peuvent être conséquentes.



De plus, il faut distinguer :

- le tirant d'eau statique qui correspond au tirant d'eau mesuré lorsque le navire est à vitesse nulle ;
- le tirant d'eau dynamique qui correspond à la composante liée à l'enfoncement du navire en lien avec sa vitesse (en général, plus le navire va vite, plus il se cabre).

Remarque : plus le porteur est gros, plus ces variations peuvent être importantes et difficiles à évaluer. Un navire de 60 m de longueur peut avoir des variations de tirant d'eau de plusieurs dizaines de cm alors qu'une embarcation de 8 m atteindra à peine 10 cm de variation.

Erreurs lors de l'utilisation de la marée cinématique

Des erreurs sont à prendre en compte lors de l'utilisation d'une marée cinématique :

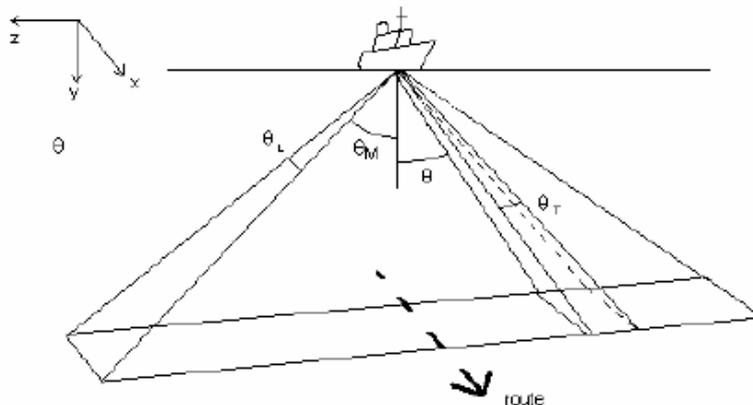
- l'incertitude sur la mesure de la composante verticale avec le système GNSS ;
- l'incertitude du rattachement de l'ellipsoïde au ZH :

- modèle direct (type BathyElli) : incertitude du modèle¹¹ ;
- passage par une référence terrestre (type grille RAF09) puis de cette référence au ZH : incertitude de la grille de rattachement à la référence terrestre ajoutée à celle du rattachement du ZH à cette même référence terrestre.

Erreur sur l'orientation des antennes du sondeur par rapport à la centrale d'attitude :

Un défaut **d'orientation de l'antenne sondeur** par rapport à la centrale d'attitude et de cap peut se traduire par (angle en radian) :

- une erreur Δr sur l'angle de roulis qui entraîne une erreur sur la profondeur de **$\Delta P(\text{roulis}) = \Delta r \cdot P \tan\theta$** ;
- Une erreur Δt sur l'angle de tangage se traduit par une erreur sur la profondeur de **$\Delta P(\text{tangage}) = \Delta t^2 \cdot P/2$** ;
- Une erreur sur l'angle de cap n'a pas d'influence sur la profondeur.



Erreur sur la célérité de surface (célérité de coque) :

Une erreur ΔC sur la célérité de surface entraîne une erreur sur la profondeur de **$\Delta P(C_{\text{surf}}) = P \cdot \tan^2\theta \cdot \Delta C/C$** (angle en radian).

Erreur sur le profil de célérité :

L'incertitude verticale due à un mauvais profil de célérité se traite de la même manière que l'incertitude horizontale (voir annexe 2).

Erreur liée à la centrale inertielle :

La centrale inertielle mesure le roulis, le tangage, le cap et le pilonnement. Les incertitudes sur chacune de ces grandeurs sont déterminées à partir de la documentation du constructeur. Un ordre de grandeur des valeurs courantes de ces incertitudes figurent dans le tableau suivant :

Incertitude en cap	Incertitude en roulis	Incertitude en tangage
0,2°	entre 0,04° et 0,1°	0,2°

¹¹Dans le cas d'une utilisation du modèle BathyElli disponible sur data.shom.fr, cette incertitude est donné en chaque point.

- le pilonnement est le mouvement de translation vertical du navire. Il se répercute directement sur la mesure de la profondeur donc : $\Delta(P) = \Delta(\text{pilonnement})$;
- l'incertitude sur le positionnement de la sonde $\Delta(\text{roulis})$ due à l'incertitude sur la mesure du roulis (σ_r) vaut : $\Delta(\text{roulis}) = \sigma_r \cdot P \cdot \tan\theta$;
- l'incertitude sur le positionnement de la sonde $\Delta(\text{tangage})$ due à l'incertitude sur la mesure du tangage (σ_t) vaut : $\Delta(\text{tangage}) = \sigma_t^2 \cdot P/2$;
- une erreur sur la mesure de cap n'a pas d'impact sur la valeur de la profondeur.

Erreur due au sondeur (erreur acoustique) :

Un SMF détermine la position et la valeur d'une sonde à partir d'une mesure de distance et d'une mesure d'angle. Les constructeurs proposent un modèle permettant de déterminer les écarts types sur ces deux mesures en fonction de l'incidence, de la profondeur et des caractéristiques du SMF (durée d'impulsion, type de détection, largeur des faisceaux ...).

ANNEXE 4

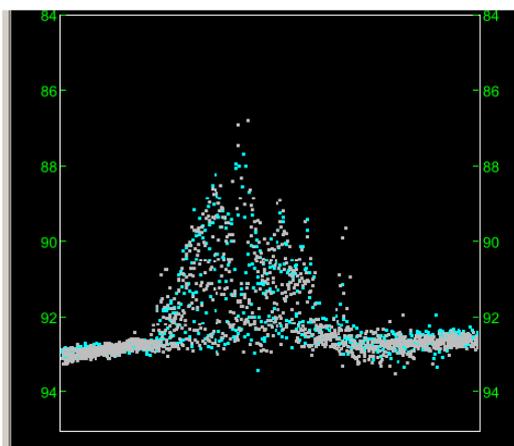
Ajustage d'un SMF

Les étapes d'un ajustage d'un SMF sont les suivantes (à faire impérativement dans l'ordre indiqué pour les 4 premières étapes) :

Contrôle de la synchronisation :

Les informations délivrées par le système de positionnement et celles issues du sondeur doivent être calées sur la même base temporelle.

Une méthode pour réaliser la synchronisation est de suivre deux fois la même ligne au même cap sur une épave ou une pente (visualiser le début et la fin de la pente) à des vitesses différentes (4 noeuds et 8 noeuds par exemple). Le contrôle s'effectue sur les faisceaux centraux : en théorie les deux lots de sondes obtenus ne doivent pas être décalés ; s'il y a décalage il faut alors déterminer le retard temporel.



La ligne réalisée à 4 noeuds (pixels bleus) et celle réalisée à 8 noeuds doivent être identiques. C'est le cas ici donc pas de correction

Contrôle du tangage :

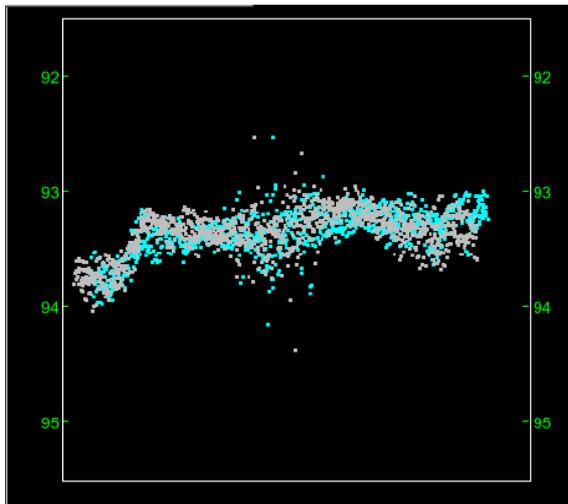
L'objectif est de déterminer un biais éventuel, non maîtrisé, en tangage.

Une méthode pour réaliser ce contrôle est de suivre deux fois la même ligne, à la même vitesse mais avec des caps opposés, sur une épave ou sur une pente (visualiser le début et la fin de la pente). Le contrôle s'effectue sur les faisceaux centraux : en théorie les deux lots de sondes obtenus ne doivent pas être décalés ; s'il y a décalage il faut alors déterminer le biais en tangage.

Contrôle du roulis :

L'objectif est de déterminer un biais éventuel, non maîtrisé, en roulis.

Une méthode pour réaliser ce contrôle est de suivre deux fois la même ligne à la même vitesse mais avec des caps inverses. Le fond doit être relativement plat et l'ouverture du SMF la plus large possible. Le contrôle se fait par comparaison des fauchées sur les deux lots de sondes et en particulier sur les faisceaux extrêmes.

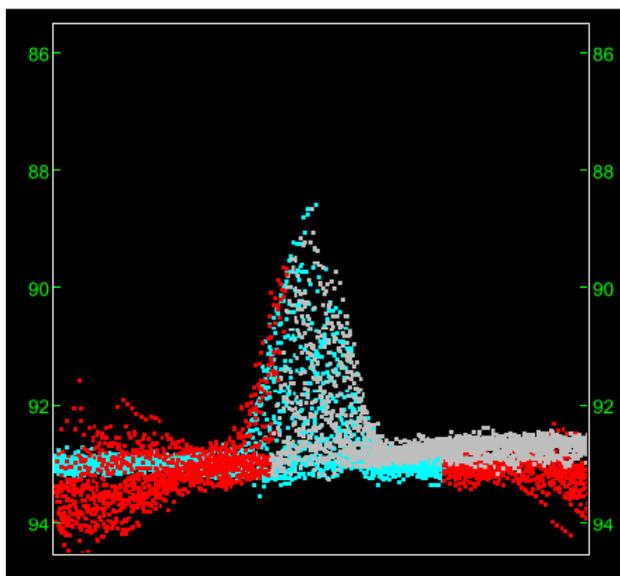


La ligne en bleu et celle en gris présentent un décalage visible en bout de fauchée (gris plus profond que bleu à droite). Correction déterminée ici : 0,08°.

Contrôle du cap :

L'objectif est de déterminer un biais éventuel, non maîtrisé, en cap.

Une méthode pour réaliser ce contrôle est de suivre deux lignes parallèles de part et d'autres d'une épave ou d'une remontée. Les cap et vitesse sont identiques durant ces lignes. Le contrôle s'effectue en superposant les sondes bâbord d'une ligne avec les sondes tribord de l'autre ligne au niveau de l'épave. Aucun décalage ne doit être visible sur l'épave.

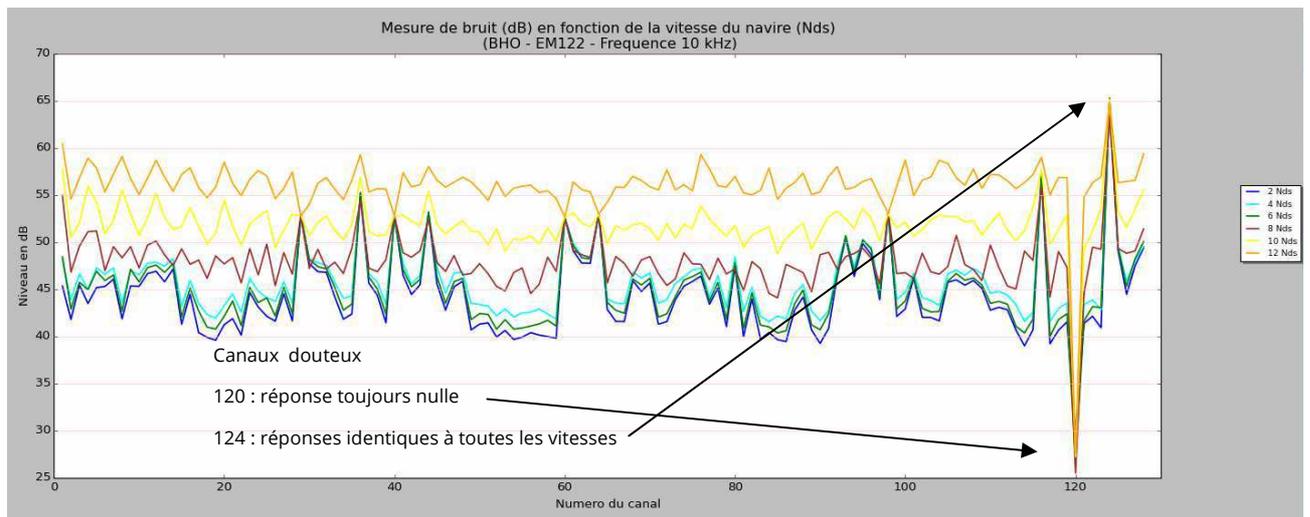


Au niveau de l'épave aucun décalage entre les sondes en bleu et celles en gris donc pas de correction pour le cap.
En rouge : sondes bâbord ou tribord non utilisées pour le contrôle du cap

Mesures de bruit :

Elles permettent de vérifier la sensibilité de chaque transducteur élémentaire en réception, pour différentes vitesses. Si un transducteur est défaillant, cela se traduit par une réponse faible ou identique quelle que soit la vitesse. Si des transducteurs sont défaillants, une action corrective est à envisager (changement des transducteurs).

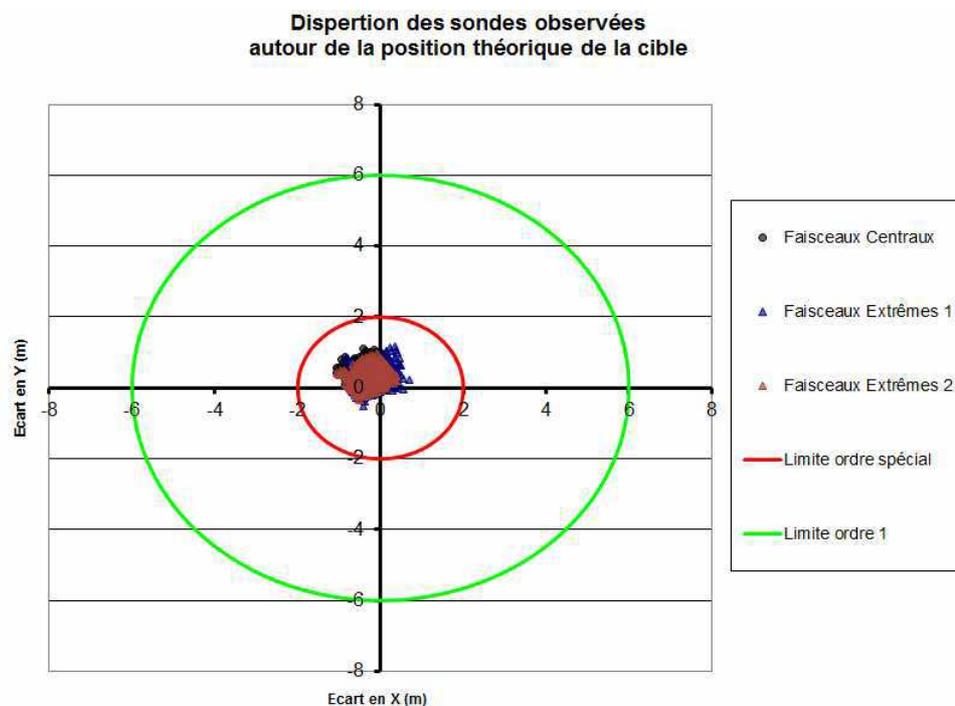
Les mesures de bruit se font en transit à différentes vitesses (de 0 à vitesse maximale de levé), l'émission du sondeur est stoppée et on enregistre les retours (bruit rayonné par le navire) au niveau de chaque transducteur.



Vérification horizontale :

Elle permet de contrôler les performances horizontales du système SMF dans son ensemble, de garantir l'absence de biais horizontal et valide le système. Cette opération permet la qualification du porteur car elle prend en compte l'ensemble des sources d'erreur. Elle se réalise suivant le protocole :

- réaliser plusieurs lignes au-dessus d'un objet ou d'une structure dont la position est connue (la cible doit être insonifiée par les faisceaux centraux et extrêmes) ;
- extraire les sondes sur une cible en coordonnées projetées ;
- analyser la dispersion des sondes en X et Y autour de la valeur théorique et comparaison aux exigences de la norme.

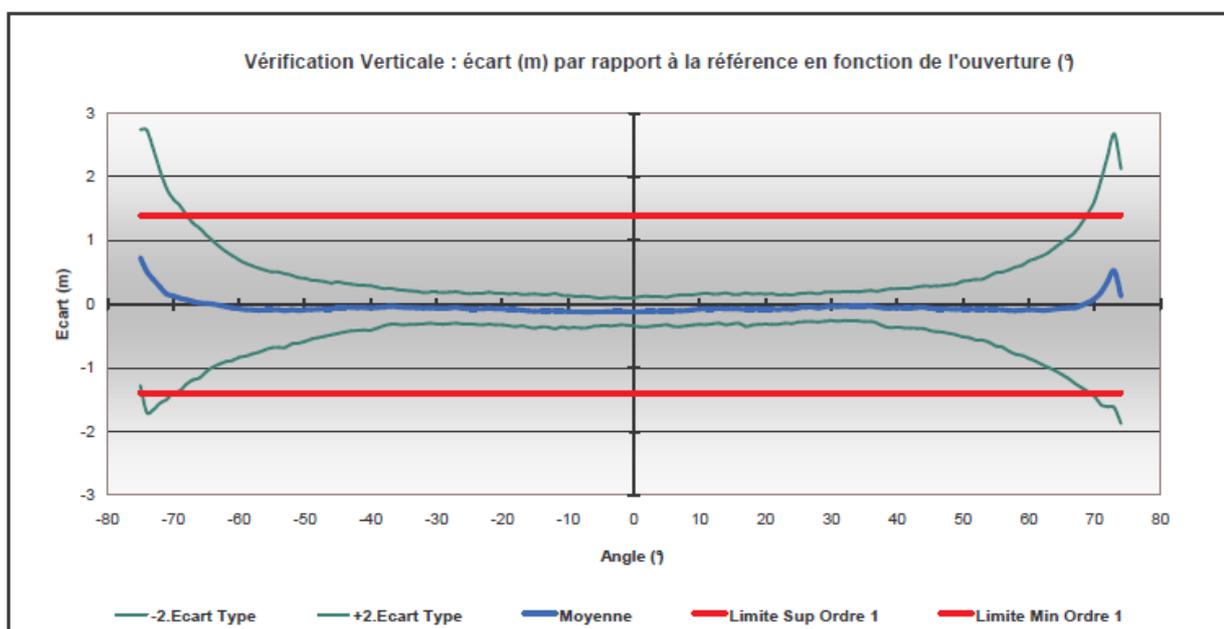


Vérification verticale :

Elle permet de contrôler les performances verticales du système SMF dans son ensemble, de garantir l'absence de biais vertical et valide le système. Cette opération permet la qualification du

porteur car elle prend en compte l'ensemble des sources d'erreur. Elle se réalise suivant le protocole :

- réalisation d'un levé sur une zone de référence¹² ;
- les sondes aberrantes sont enlevées (le pourcentage de sondes rejetées doit rester inférieur à 1%) ;
- comparaison du levé réalisé avec le modèle de référence (module du logiciel de traitement) ;
- évaluation des écarts verticaux pour chaque angle de dépointage entre la référence et le levé ;
- validation de l'ouverture utile du SMF en fonction de l'ordre choisi pour le levé en vérifiant que la moyenne des écarts ± 2 fois l'écart type reste entre des limites de l'ordre sélectionné.



Capacité de détection :

Il s'agit de contrôler si le système est capable de détecter un objet dont la taille correspond aux spécifications (par exemple : objet cubique de taille 1 m pour l'ordre spécial) à la plus grande profondeur d'emploi prévu. Il se réalise suivant le protocole :

¹² Pour définir une zone de référence, il faut :

- la proximité d'un marégraphe ou une bonne connaissance de la marée dans la zone ;
- que la zone ait été sondée plusieurs fois par des porteurs et/ou sondeurs différents ;
- que l'analyse statistique des différences entre les surfaces montrent que :
 - pour chaque porteur, les écarts moyens entre les levés d'un même porteur restent dans l'ordre de grandeur de l'incertitude des mesures ;
 - les écarts moyens entre les surfaces générées par les sondes issues de porteurs différents restent dans l'ordre de grandeur de l'incertitude des mesures.

Les écluses et les bassins de radoub dont la profondeur est connue précisément à tout moment (jauge de profondeur...) peuvent servir de zone de référence bien que dans ce cas les mesures se fassent en statique.

Si aucune zone de référence n'est disponible, une comparaison avec les levés précédents ou cartes marines est indispensable (dans une zone où les fonds sont stables) afin de garantir de l'absence d'un biais vertical.

- réaliser une ligne au-dessus d'un objet ou d'une structure dont la taille est connue et compatible avec les spécifications ;
- vérifier au traitement que l'objet est parfaitement identifiable.

Autres vérifications :

- test de portée : Il s'agit de déterminer occasionnellement les limites du système (portée, fauchée) et de les comparer avec les spécifications du constructeur ;
- contrôle d'interférence : permet d'identifier d'éventuelles interférences créées par d'autres systèmes acoustiques, par un phénomène de bullage (des bulles d'air passent sous le transducteur) ou par des perturbations électriques ;
- contrôle de la cadence d'acquisition : il s'agit de contrôler occasionnellement la cadence d'acquisition du sondeur et de la comparer avec les spécifications du constructeur.

ANNEXE 5

Rappel sur le fonctionnement d'un système GNSS

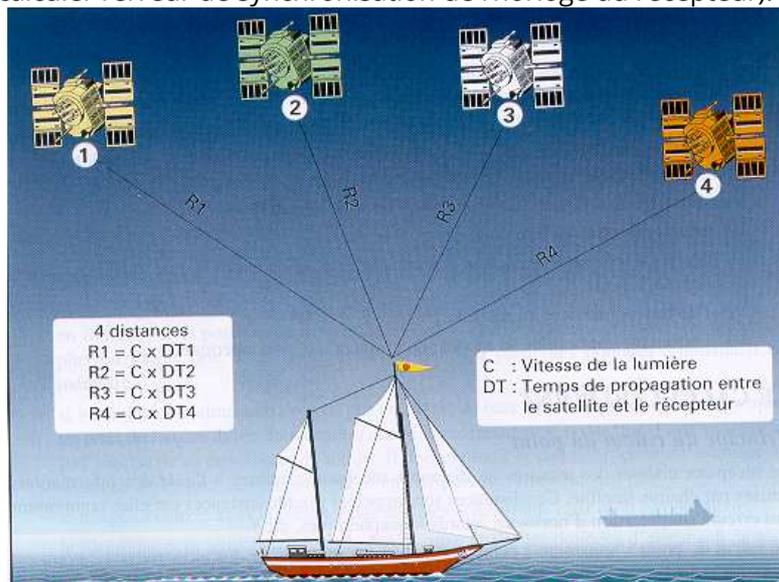
Un système GNSS permet aux utilisateurs de disposer d'une information de positionnement décimétrique quasiment partout sur la surface terrestre. Parmi ces systèmes avec une couverture globale on peut citer : le GPS (USA), GLONASS (Russie), Galileo (Europe), Compass (Chine), Beidou (Chine), IRNSS (Inde) et QZSS (Japon). Certains systèmes d'augmentation et de fiabilisation de portée régionale ou mondiale, gratuits ou payants, permettant de fiabiliser et d'améliorer encore l'incertitude disponible.

Principe de fonctionnement :

Le récepteur mesure les distances le séparant des satellites à l'aide du code (ou de la phase du signal) puis calcule sa position à l'intersection des sphères centrées sur les satellites (lieux de l'espace se situant à une distance donnée de chaque satellite).

Les satellites ont une position connue grâce aux éphémérides : connaissant les instants d'émission des codes par les satellites et de réception par l'utilisateur, on en déduit le temps de propagation du signal, et donc la distance entre la position des satellites à l'instant d'émission et celle du récepteur au moment de la réception.

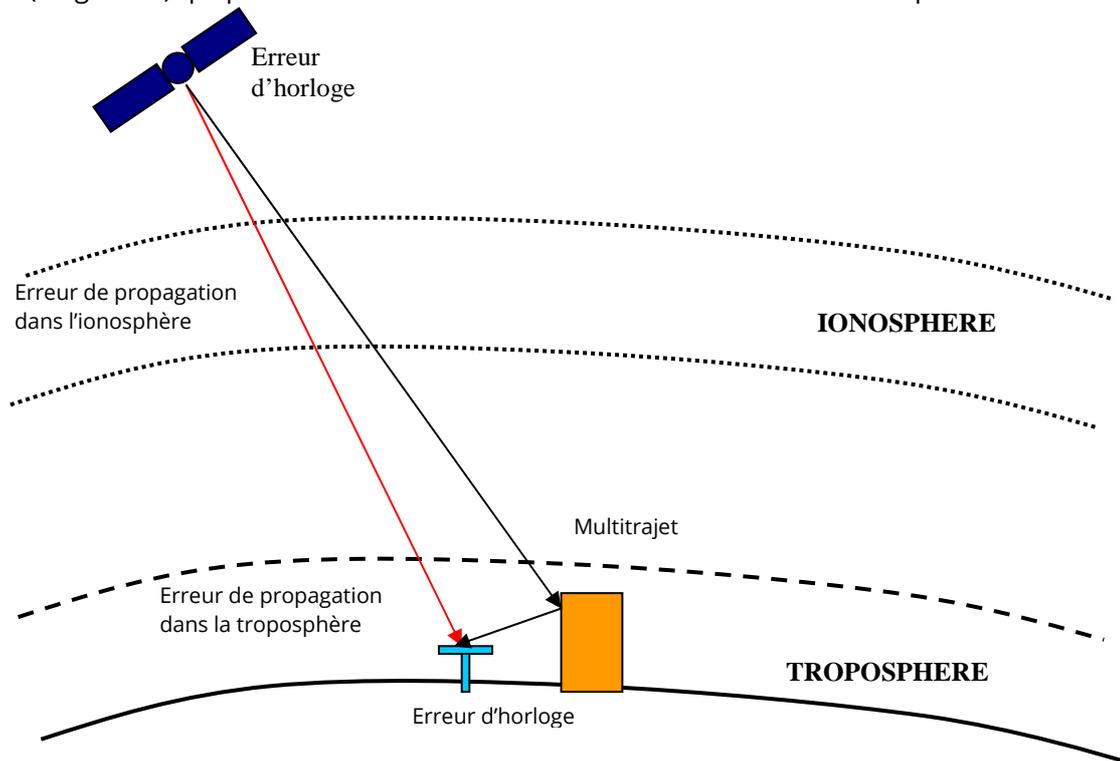
La détermination du point nécessite au moins 4 satellites (3 pour les dimensions x, y, z et 1 pour le temps afin de calculer l'erreur de synchronisation de l'horloge du récepteur).



Les causes possibles de dégradation du point et sources d'erreur sont les suivantes:

- les erreurs de propagation : effet de l'ionosphère et de la troposphère. Elles interviennent lors de la transformation du temps de parcours en distance entre le récepteur et le satellite. Pour les quantifier, il faut utiliser soit un modèle de l'ionosphère soit un GNSS qui opère avec deux fréquences différentes et qui réagissent donc différemment au passage de l'ionosphère. Les satellites trop bas sur l'horizon doivent être proscrits car les signaux sont alors plus soumis aux phénomènes de réfraction dans les différentes couches de l'atmosphère ;
- erreur de multitrajet : réflexion du signal sur des obstacles réfléchissants près de la station. Ces réflexions sont également reçues par le récepteur et perturbent la mesure du temps de trajet. Pour limiter ces erreurs, il faut éviter de se placer près d'une surface réfléchissante. Il est possible aussi de limiter physiquement l'angle de réception de l'antenne (par exemple, pour ne plus recevoir les signaux venant du bas car ils

- proviennent forcément d'une réflexion) ;
- erreur de synchronisation de l'horloge au niveau du satellite ;
- erreur de synchronisation de l'horloge au niveau du récepteur. Cette erreur est calculée en même temps que la position du récepteur. C'est pourquoi il faut 4 satellites et pas seulement 3 pour se positionner correctement à l'aide du GNSS ;
- effets de masquage près des côtes, obstacles flottants importants ou dans les ports ;
- effets de masquage d'antenne ;
- brouillage intempestif de l'environnement radioélectrique ;
- messages erronés qui peuvent être fournis par un satellite défectueux. Les nouveaux systèmes de navigation par satellite comme GALILEO possèdent un message d'intégrité (diagnostic) qui permettra d'identifier les satellites défectueux et de ne pas les utiliser.



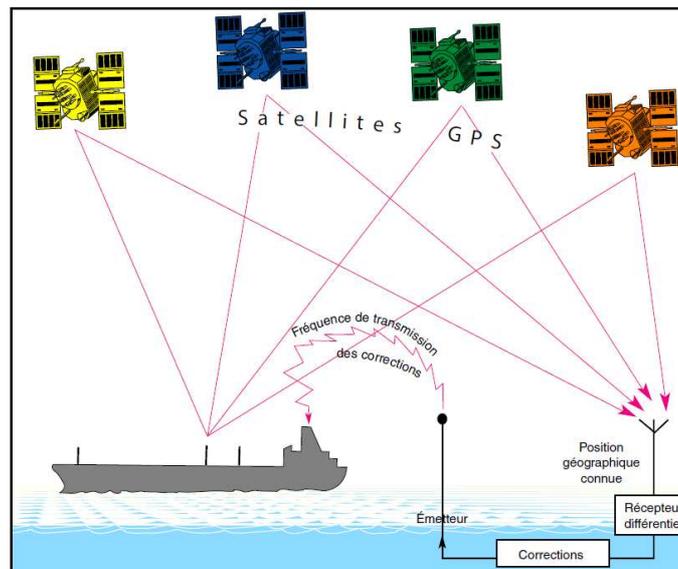
Modes de fonctionnement :

Un système GNSS peut être utilisé en réception de données de positionnement absolu (on parle alors de mode naturel) ou relatif (mode différentiel, statique, cinématique, ...) selon le type de mesures effectuées.

- **Le mode absolu** (ou naturel) : il s'agit de l'établissement d'une position connue à partir des seules informations de la constellation satellitaire (éphémérides) sans aucune correction. Le mode naturel fournit une incertitude meilleure que 20 m en horizontal et 30 m en vertical ;
- **Le mode différentiel** : des services ont été développés en réponse aux limites inhérentes au système présentées précédemment. Le principe est le suivant : les mesures effectuées en un lieu de position connue sont comparées aux valeurs théoriques ; leurs différences fournissent une correction qui est retransmise vers l'utilisateur (par radio, téléphone,...), qui l'intègre dans le calcul de sa position, améliorant ainsi son incertitude de positionnement.

L'hypothèse de base du GNSS différentiel est que l'erreur mesurée à la station de référence est identique à l'erreur au niveau de la station de position inconnue. Les principales sources d'erreur éliminées par le système différentiel sont : les erreurs d'horloge du satellite, les erreurs ionosphériques et les erreurs troposphériques dans une

moindre mesure. Les erreurs subsistantes sont les erreurs de multi-trajets principalement.



Les stations de référence pour du GNSS différentiel sont soit :

- installées en permanence : leurs corrections sont reçues par des récepteurs adaptés ;
- installées par l'utilisateur lui-même sur des points connus (pour la durée d'un levé par exemple).

En fonction de l'éloignement entre le récepteur et la station de référence (et donc du mode de transmission des corrections), le mode différentiel fournit une incertitude comprise entre quelques mm et 5 m en horizontal et vertical.

• **Le mode PPP (Precise point positioning) :**

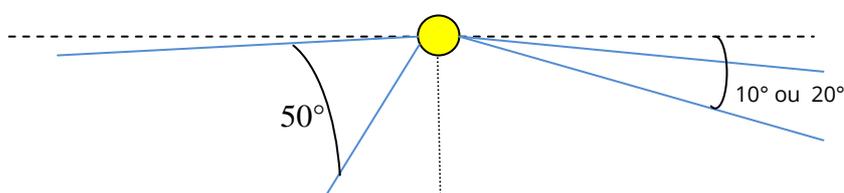
- Le système SBAS (augmentation spatiale) est un système GNSS différentiel amélioré. Au lieu d'utiliser une seule station de référence et de transmettre la correction brute au récepteur, un centre de contrôle centralise les erreurs mesurées sur un réseau de stations de référence réparties sur le globe et calcule par interpolation un modèle de correction. La correction adéquate est ensuite transmise au récepteur DGPS par satellite. Le mode PPP-SBAS fournit une incertitude d'environ 3 m en horizontal et 5 m en vertical.
- Le système RTG (Real Time GIPSY) fonctionne de façon similaire au système SBAS, excepté qu'il n'y a plus d'interpolation dans le modèle car la correction se fait pour une zone géographique précise via l'utilisation d'un satellite géostationnaire. Le mode PPP-RTG fournit une incertitude d'environ 15 cm en horizontal et 30 cm en vertical.

ANNEXE 6

Rappel sur le fonctionnement d'un sonar latéral

Le principe de fonctionnement du sonar latéral est le suivant : un faisceau sonore étroit est émis avec une incidence rasante, et intercepte le fond. L'écho recueilli au cours du temps est une représentation de la réflectivité du fond le long de la fauchée, et surtout de la présence d'irrégularité ou de petits obstacles qui sont « vus » par le signal très résolvant. Ce signal, enregistré perpendiculairement à la direction d'avancée du sonar est juxtaposé aux signaux successifs déjà obtenus pendant son avancée, constituant ainsi, ligne après ligne, une « image acoustique du fond ».

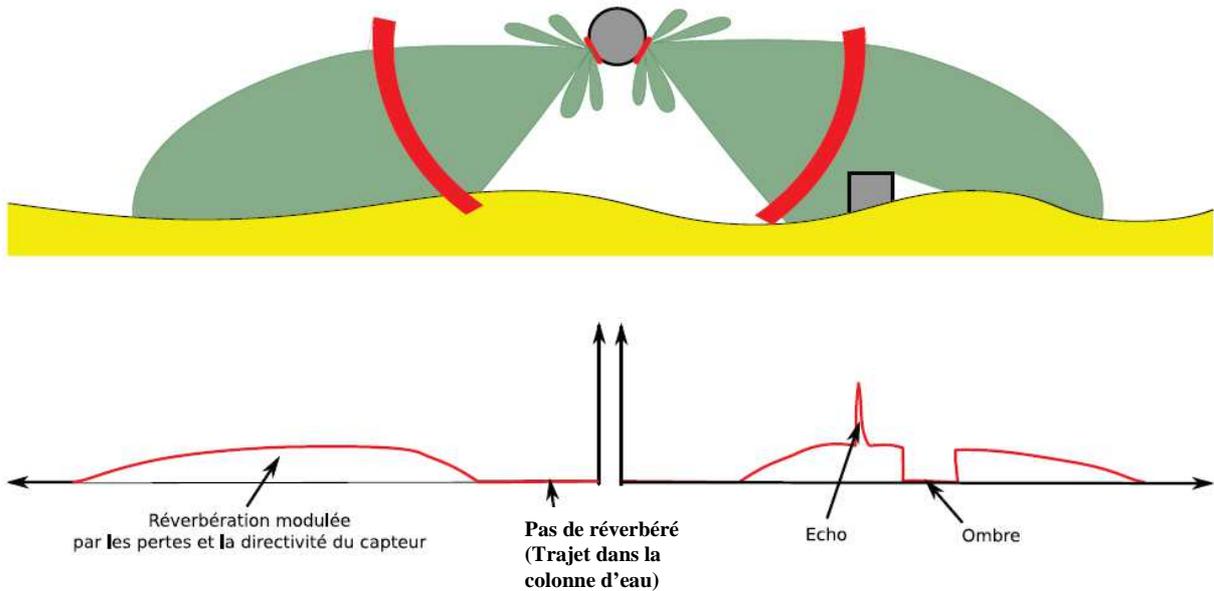
Le sonar latéral possède deux transducteurs latéraux qui émettent chacun une onde dans un faisceau de largeur 50° , incliné de 10° ou 20° par rapport à l'horizontale. Les faisceaux sont très fins dans la direction longitudinale.



L'onde se réfléchit sur le fond et une partie de l'énergie revient vers les antennes du poisson. Le sonar latéral enregistre alors **l'intensité du signal retour en fonction du temps**. Les résultats sont présentés sous forme d'un graphique de type « waterfall ». Chaque ping est juxtaposé au précédent. Au centre du graphique se trouve le signal reçu à partir de l'instant d'émission, puis plus on s'éloigne du centre plus le signal représenté a été reçu tard.

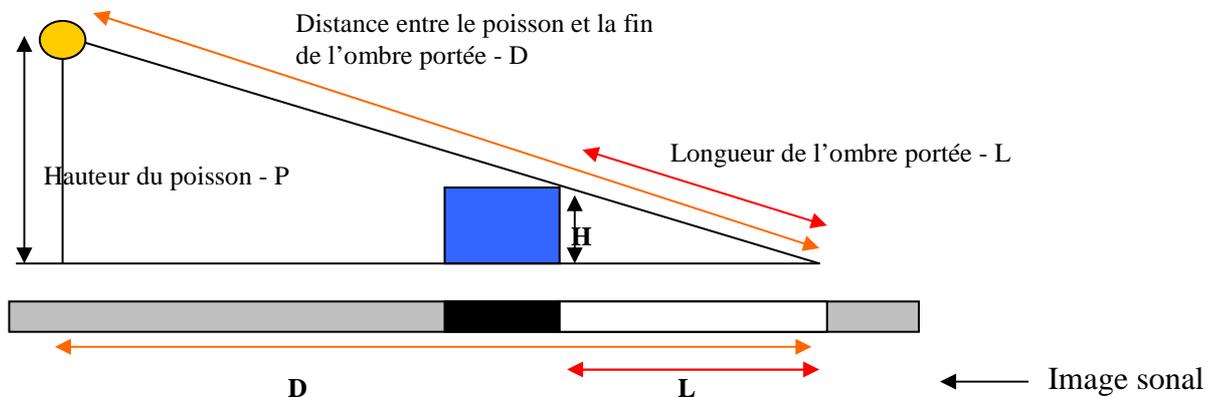
Selon la nature du fond rencontré par l'onde, l'intensité du signal et donc les nuances de couleur varient : en général un substrat dur sera foncé (ex : roche) et un sédiment meuble sera plus clair (ex : vase). Il en résulte une **imagerie** représentant la nature du fond. Le sonar latéral permet une bonne reconnaissance des structures rocheuses et sédimentaires (champ de mégarides, dunes de sable, rubans sableux ...) mais ne permet pas une identification précise de la nature des sédiments.

Le sonar latéral, en plus de produire une imagerie du fond, est utilisé pour ses **capacités de détection**. Etant remorqué près du fond, les faisceaux émis sont plus rasants que ceux émis par un SMF et vont donc se réfléchir plus clairement sur les obstructions, même petites. Une ombre portée importante est également observée du fait de l'inclinaison des faisceaux (rasance). L'imagerie SMF ne permet en général pas de visualiser d'ombres car les faisceaux ne sont pas assez rasants par rapport au fond.



Une obstruction est donc facilement identifiable sur l'imagerie sonar grâce à l'ombre créée par l'objet.

En revanche, les données recueillies par le sonar latéral ne sont pas positionnées précisément (représentation temporelle et engin remorqué en général) et ne permettent pas la cotation et le positionnement corrects de l'obstruction repérée. On peut cependant les estimer.



Une estimation de la hauteur de l'objet au-dessus du fond (H) est : $H = L/D * P$

En utilisant une vitesse de propagation constante en première approximation et avec

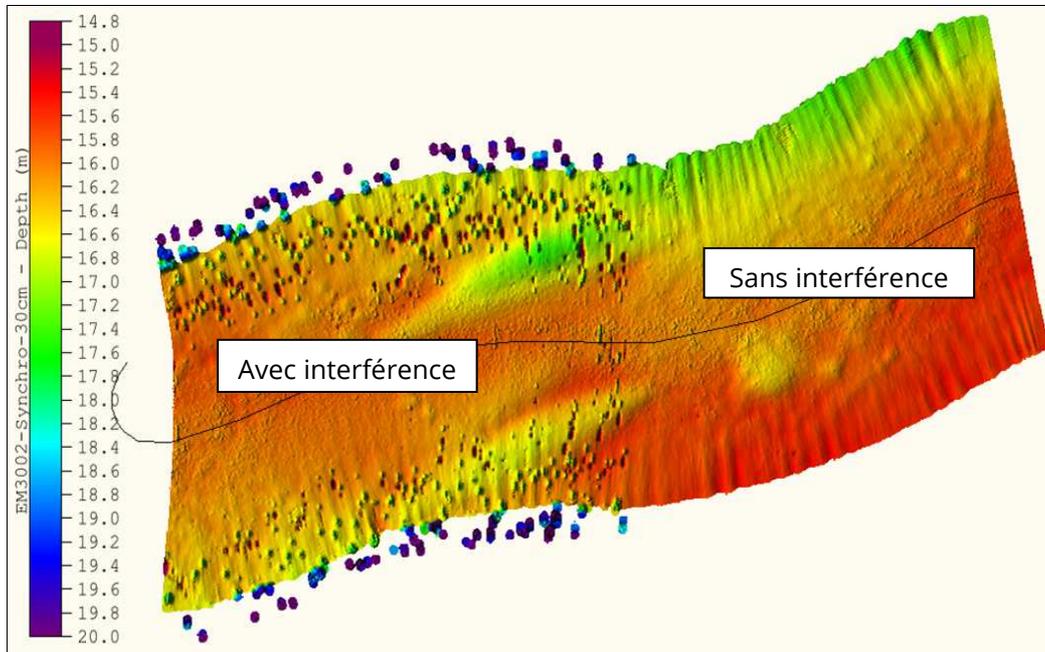
- L : la longueur de l'ombre portée qui peut être mesurée sur l'imagerie (le temps de parcours est transformé en distance) ;
- D : la distance entre le poisson et la fin de l'ombre portée (estimée sur l'imagerie) ;
- P : la hauteur du poisson au-dessus du fond (estimée également).

Cette méthode donne une estimation et non la valeur précise de la hauteur de l'obstruction au-dessus du fond. De même, la position de l'obstruction peut être **estimée** en transformant les temps de parcours du poisson à l'obstruction en distance et en connaissant la position approximative du poisson.

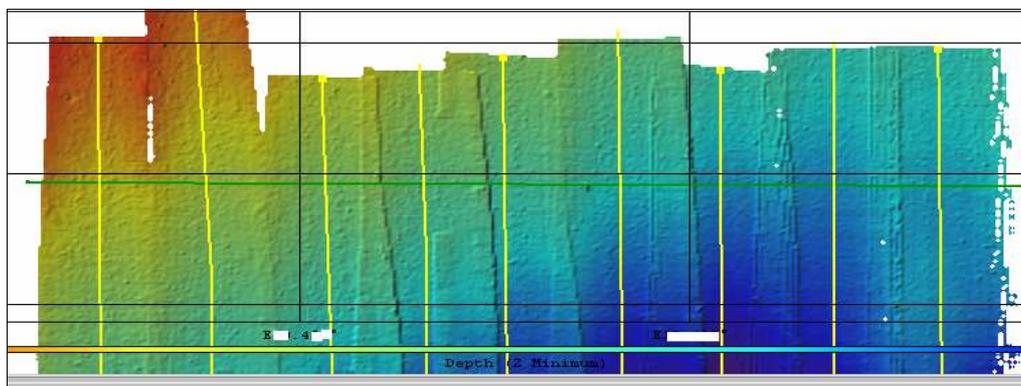
Pour obtenir une position précise et une cotation de l'obstruction il faut utiliser le SMF. Les deux systèmes sont donc complémentaires. Lors d'un levé on les utilise en parallèle. Lors du traitement, les obstructions sont repérées sur l'enregistrement et leur position estimée est reportée dans les données de bathymétrie du SMF. Les données de bathymétrie sont traitées pour obtenir la position et la cotation effective de l'obstruction. Si l'obstruction n'avait pas été identifiée par le sonar latéral, il se peut qu'elle ait été supprimée ou ignorée lors du traitement de la bathymétrie apparaissant comme du « bruit » ou un décrochement du sondeur.

ANNEXE 6

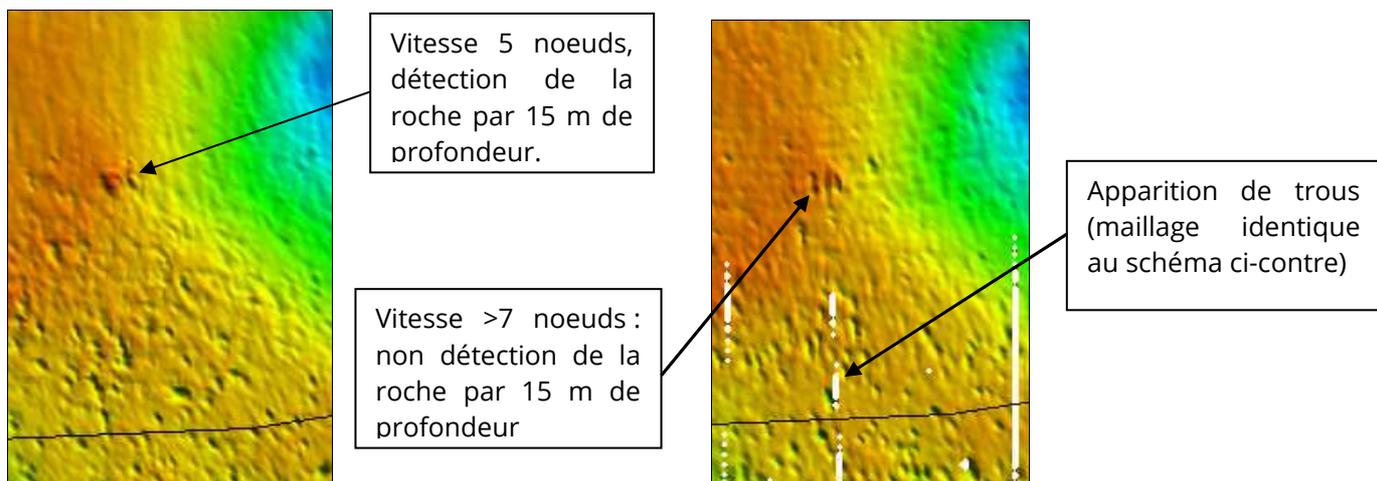
Exemple de mauvais fonctionnement d'un SMF



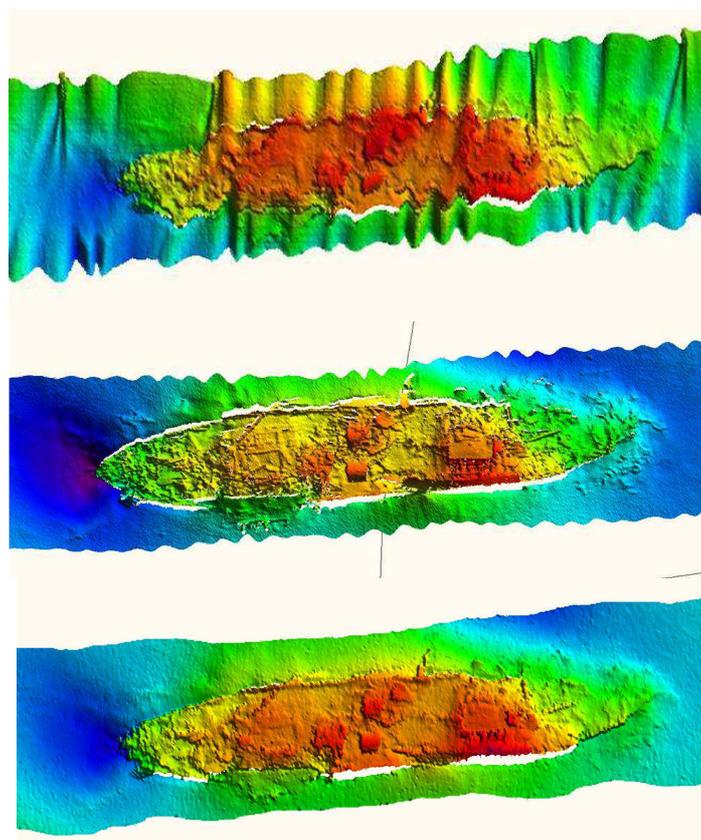
Exemple d'interférence lors de la mise en fonction d'un autre sondeur



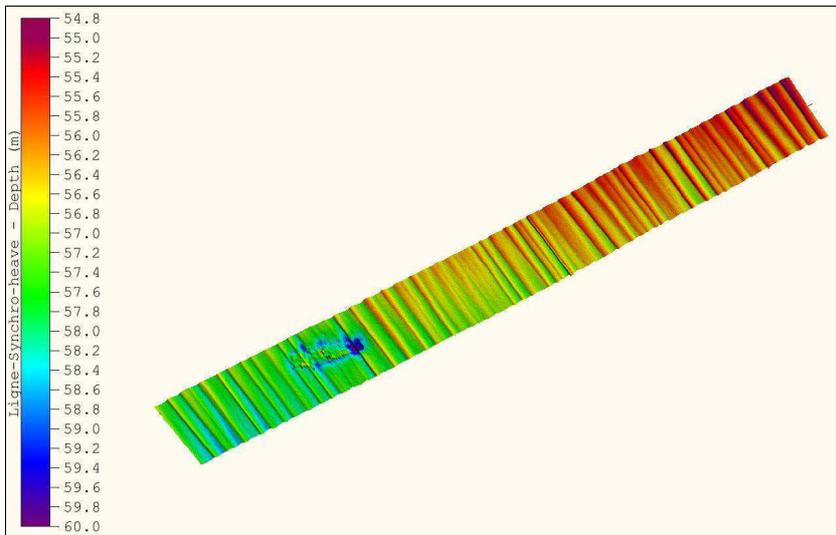
Mauvais profil de célérité



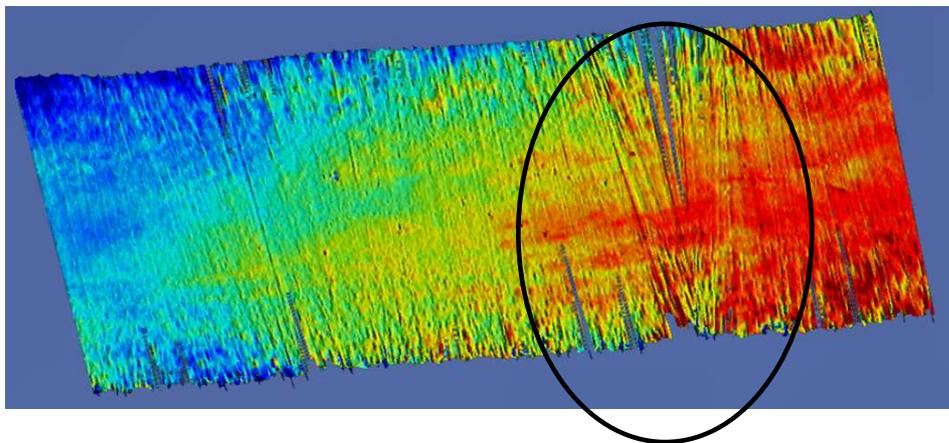
Effet de la vitesse sur la détection et la couverture



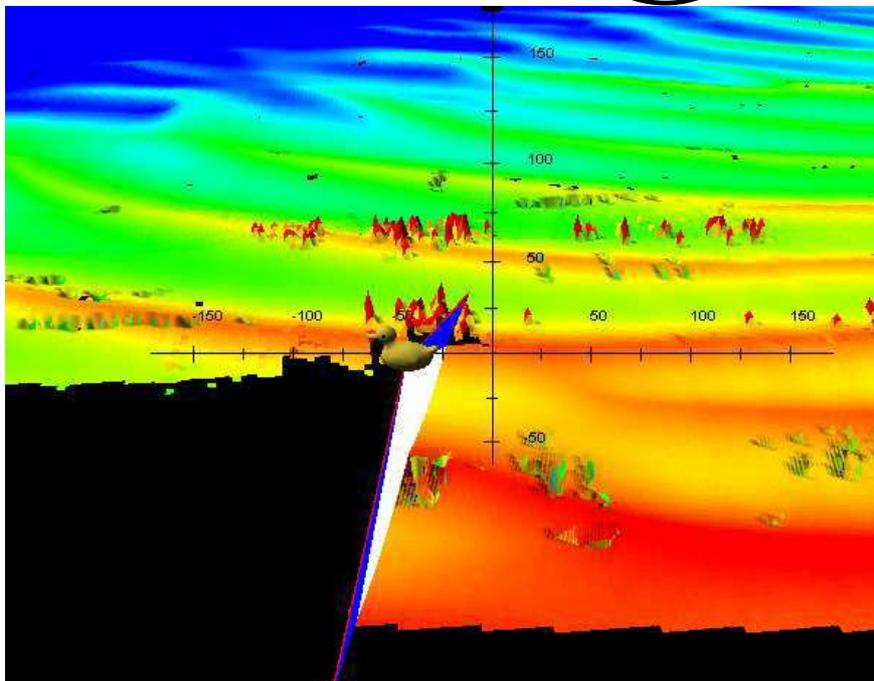
Effet du roulis sur la donnée (non corrigé / corrigé mais pas de compensation / corrigé et compensé)



Pas de prise en compte des mouvements de pilonnement : effet de tôle ondulée.



Pas de correction sur le cap, la couverture n'est pas homogène.



Exemple de perturbation créée par le système d'écholocation des cétacés.

**PIECE JOINTE N°1 :
INSTRUCTIONS TECHNIQUES**

Direction des opérations, de la production
et des services
Division « maîtrise de l'information et
produits mixtes »
Département « hydrographie »

Dossier suivi par xxx
Tél. xxx
Mail : xxx

BREST, le xx
N° xx Shom/DOPS/MIP/HYDRO/NP

Objet : Levé du chenal d'accès à l'île de Molène.

Références :

- a) NR2016-009 : norme sur les levés bathymétriques ;
- b) NR2011-015 : norme de l'OHI pour les levés hydrographiques (S-44) ;
- c) PS2016-054 : diffusion des informations nautiques révélées lors d'un levé ;
- d) NR2013-011 : norme sur les mesures des hauteurs d'eau ;
- e) Courrier électronique de la compagnie maritime Penn Ar Bed du 20 mai 2015 : demande de vérification de sondes dans le chenal d'accès à l'île de Molène ;
- f) Fiche d'exploitation n° 58 SHOM/DOPS/MIP/HYDRO/NP du 9 juin 2015.

Pièces jointes : Annexe 1 : Zones à lever.

1 GENERALITES

1.1 PRESENTATION GENERALE

Les navires de transport de la compagnie maritime Penn Ar Bed empruntent plusieurs fois par jour le chenal d'accès à l'île de Molène. Le 3 septembre 2013, le navire *Fromveur II* s'était échoué sur les roches de la Basse Real. Depuis, les talonnages de navires à passagers dans le chenal sont fréquents, d'où la demande de la compagnie, par le biais du courrier électronique en référence d/, de vérifier les sondes au niveau du chenal.

A l'heure actuelle, le chenal d'accès à Molène est couvert en partie par deux levés récents : la campagne HALAMACOU réalisée en 2011 par l'Ifremer et un levé au laser aéroporté réalisé au profit du Parc Naturel Marin - Iroise (PNMI).

Une exploitation rapide de ces levés a permis de mettre en évidence des sondes plus courtes que celles figurant sur les cartes marines en vigueur ainsi qu'une isobathe des 3 mètres mal positionnée. Ces éléments ont fait l'objet de la FE en référence f).

1.2 OBJECTIFS

L'objectif est d'assurer la sécurité de la navigation dans le chenal d'accès à l'île de Molène et pour ce faire de lever de manière exhaustive une partie du chenal et de vérifier les structures détectées plus au large.

1.3 EXPLOITATION

Les levés serviront à la mise à jour des documents nautiques.

2 COMPTABILITE

Une comptabilité précise de l'utilisation des moyens et de l'emploi des personnels (travaux à la mer, à terre et travaux de rédaction) sera tenue et figurera dans le rapport particulier du levé concerné.

3 GEODESIE - LOCALISATION

3.1 SYSTEME GEODESIQUE, PROJECTION

Les travaux hydrographiques sont à mener dans le système géodésique RGF93.

Si besoin, la projection Lambert 93 sera utilisée pour la rédaction de documents intermédiaires.

Les travaux de géodésie précise sont à mener en RGF93 et dans la dernière réalisation de l'ITRS.

3.2 LOCALISATION

Le système de localisation choisi pour effectuer les levés devra assurer au moins la précision requise pour le type de levé spécifié [cf. référence a)]. Si cette précision ne peut être tenue, mention en sera faite dans le rapport particulier.

4 BATHYMETRIE

Les zones à lever sont représentées en annexe I. Elles sont décrites ci-dessous par ordre de priorité décroissante.

4.1 LEVE DE LA PARTIE SUD DU CHENAL D'ACCES (P1)

Le chenal d'accès ainsi que la zone d'évolution des navires à passager sont à lever sur la zone délimitée par les points suivants (RGF93) :

- 48°24,65'N / 004°57,12'W ;
- 48°24,65'N / 004°57,01'W ;
- 48°24,11'N / 004°57,20'W ;
- 48°24,11'N / 004°57,42'W ;
- 48°24,46'N / 004°57,28'W.

Cette zone devra être levée selon les prescriptions de « zones critiques » au sens de la norme en référence a).

4.2 LEVE DES RELEVEMENTS DETECTES DANS LE CHENAL (P2)

Le levé de l'Ifremer a détecté deux structures dans le chenal (voir annexe I) avec les deux sondes hautes :

- 2,71 m à la position 48°24,69030'N / 004°57,03030'W ;
- 4,58 m à la position 48°24,67020'N / 004°57,06300'W.

Ces structures devront être recherchées et leurs points hauts cotés selon les prescriptions de « zones critiques » au sens de la norme en référence a).

4.3 LEVE DE L'ABRI ET A L'OUEST DE LA ZONE DU CHENAL (P3)

Suivant le temps disponible, l'abri situé au sud de la zone P1 est à lever et la zone P1 est à prolonger à l'ouest (voir annexe I). Ces zones seront jointives de la zone décrite au §4.1.

Elles devront être levées selon les prescriptions de « zones critiques » au sens de la norme en référence a).

5 TOPOGRAPHIE – REVUE D’AMERS – BALISAGE

5.1 TOPOGRAPHIE

Dans le cas où la topographie des ports figurée sur les cartes marines n’est pas cohérente avec celle observée sur zone, des informations sont à rechercher auprès des autorités locales et, le cas échéant, un levé topographique est à réaliser.

5.2 REVUE D’AMERS – BALISAGE

Une revue d’amers sera réalisée sur la zone.

A minima, une mise à jour des ouvrages nautiques (IN, RSX, LdF) doit être faite.

6 OCEANOGRAPHIE

Des mesures de célérités sont à réaliser, avec pour objectif la réduction des sondages.

Des mesures de visibilité optique au disque de Secchi seront réalisées dès que possible et en particulier lors des mesures de célérité.

7 COURANTS

Des mesures sont à effectuer dans les chenaux d’accès levés.

8 MAREE

Les levés seront réduits par modèle ou marée observée selon les possibilités.

Les observations de marée seront réalisées avec comme objectif la réduction des sondages.

9 SEDIMENTOLOGIE

La réflectivité du fond sera mesurée grâce à l’imagerie SMF. Les données brutes du sondeur monofaisceau et du sondeur de sédiment seront également enregistrées.

Des prélèvements de fond seront effectués pour analyse et détermination de leur nature. La densité des prélèvements sera fonction des résultats obtenus par les autres moyens d’observation du fond (SMF) en suivant les recommandations de la norme sur le recueil d’information de sédimentologie marine notamment en déterminant la nature superficielle du fond sur les têtes et creux des structures, et dans les zones de mouillage.

10 GEOPHYSIQUE

Des mesures géophysiques seront réalisées suivant opportunité et moyens disponibles.

11 INFORMATIONS NAUTIQUES

11.1 DOCUMENTATION NAUTIQUE

Les hauts fonds, les engraissements et les changements apportés au balisage découverts pendant le levé, et qui seraient susceptibles d’engager la sécurité de la navigation de surface ou sous-marine, seront signalés sans délai [cf. référence c)].

La documentation nautique (cartes marines, livres des feux, instructions nautiques,...) existante sera critiquée et les éléments permettant sa mise à jour recueillis. La conformité des amers et du balisage avec les cartes sera notamment vérifiée. Dans la mesure du possible, les IN seront montrées aux capitaineries des ports d’escale pour une lecture critique.

Une attention particulière sera portée à la toponymie afin de désigner, le plus en accord possible avec les pratiques locales, les lieux atteints par les nouveaux chenaux de navigation.

11.2 MISE A JOUR DES ELEMENTS DE LA BDGS

Les éléments des thèmes de la BDGS (épaves, obstructions, balisage, etc) situés dans les zones de travaux sont à mettre à jour, notamment leur position. Une attention particulière est à porter sur les éléments engageant directement la sécurité de la navigation (éléments participant à des alignements, marques de danger, etc.).

12 RESULTATS ET REDACTION

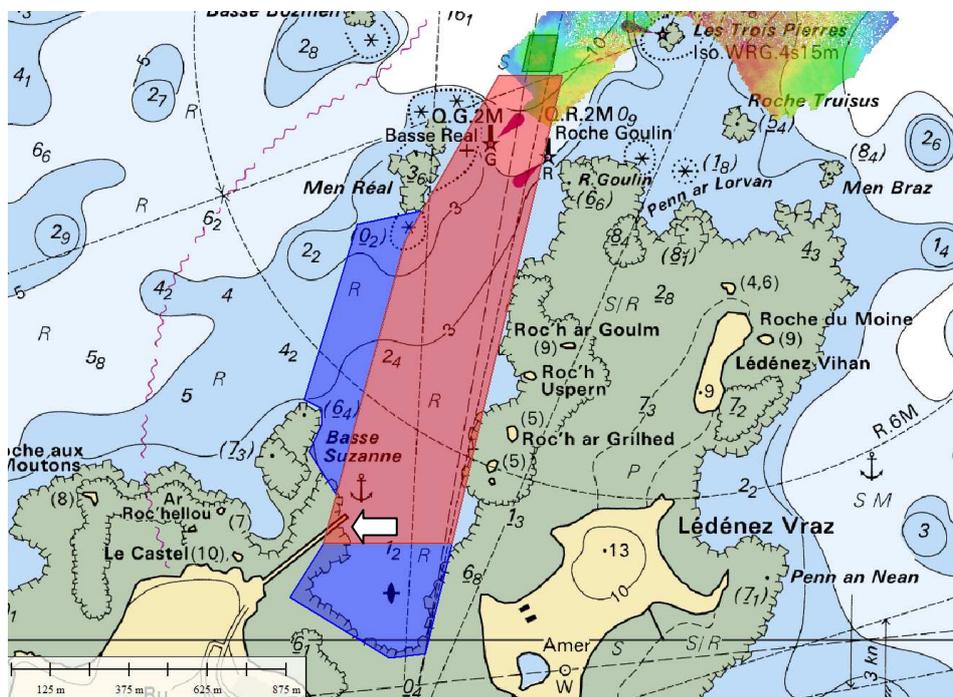
Les données et résultats des levés prescrits dans ces instructions techniques sont à rédiger et livrer selon les normes et procédures en vigueur.

Le levé sera « diffusion libre.

13 TRANSMISSION DES DONNEES

Sans objet.

ZONES A LEVER



Extrait de la CM7123 à jour des corrections 2015-1657

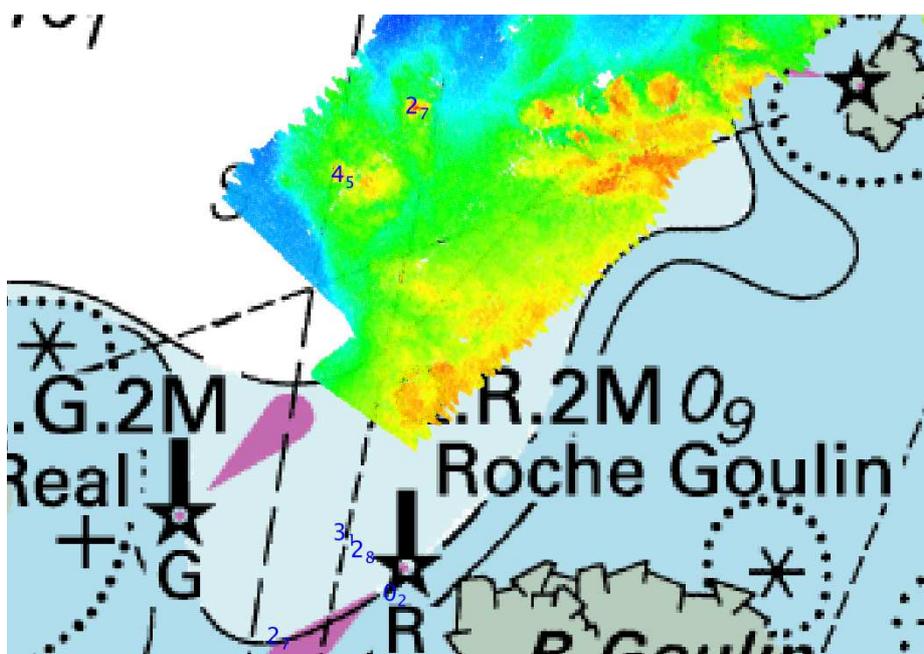
En rouge : zone P1 (§4.1.)

En vert : zone P2 (§4.2.)

En bleu : zone P3 (§4.3.)

Le MNT correspond au levé Ifremer

La flèche blanche désigne la zone d'accostage des navires de la compagnie Penn Ar Bed



Extrait de la CM7123

Le MNT correspond au levé Ifremer

**PIECE JOINTE N°2 :
INSTRUCTIONS PARTICULIERES**

Groupe Hydrographique et océanographique
de l'Atlantique

Dossier suivi par xxx
Tél. xxx
Mail : xxx

BREST, le xx
N° xx Shom/GHOA/NP

Objet : Travaux à effectuer par le BH2c Borda en octobre 2017: levé du chenal d'accès à l'île de Molène.

Références : a) Instructions techniques n° xx Shom/DOPS/MIP/HYDRO/NP du xxx : levé du chenal d'accès à l'île de Molène ;
b) NR2016-009 : norme sur les levés bathymétriques ;
c) NR2011-015 : norme de l'OHI pour les levés hydrographiques (S-44) ;
d) PS2016-054 : diffusion des informations nautiques révélées lors d'un levé ;
e) NR2013-011 : norme sur les mesures des hauteurs d'eau.

Pièces jointes : Annexe 1 : Zones à lever.

1 OBJET DU DOCUMENT

Le BH2c *Borda* et ses vedettes hydrographiques seront mis en oeuvre en octobre 2017 pour effectuer le levé bathymétrique du chenal d'accès à l'île de Molène. Ces travaux sont prescrits par les instructions techniques en référence a).

2 PRESENTATION

2.1 OBJECTIFS ET TRAVAUX A REALISER

Les objectifs de la mission sont par ordre de priorité :

MOLENE			
Priorité	Zones	Objectifs	Moyens
/	Digue du port de Molène	Mouillage et relevage d'un marégraphe Séances de tirant d'air	Terrain + plongée
P1	Partie Sud du chenal d'accès à Molène	Levé hydrographique de type « zone critique »	VH
P2	Relèvements dans le chenal d'accès à Molène	Levé hydrographique de type « zone critique » (recherche de 2 relèvements dans un rayon de 10 m autour des positions 48°24,6903' N / 004°57,0303' W et 48°24,6702' N / 004°57,0630' W).	VH
P3	Abri et zone Ouest du chenal	Levé hydrographique de type « zone critique »	VH

BCRM de Brest – **Shom/GHOA** – CC 61 – 29240 Brest CEDEX 9

N° SIRET : 130 003 981 000 11

www.shom.fr

	d'accès à Molène		
P4	Entre Ouessant et Molène	Levé hydrographique de type « levé en transit » pour contrôle	BH2
P4	Chenal d'accès et port de Molène	Contrôle et positionnement du balisage fixe et flottant	VH - zodiac

Les transits seront mis à profit pour mettre à jour les épaves de brassage inconnu et les sondes « PD » ou « PA » présentes sur les cartes marines.

Une description des zones concernées est présentée en annexe 1.

Ces objectifs seront satisfaits en respectant les méthodes et la documentation du Shom en vigueur au moment des levés.

2.2 PRINCIPAUX MOYENS

Dans le but d'atteindre ces différents objectifs, les moyens suivants pourront être mis en oeuvre à partir du BH2 Borda et des vedettes hydrographique (VH) Macareux et Phaëton :

- sondeur multifaisceau EM2040c ;
- sondeur multifaisceau EM710 ;
- sondeur monofaisceau EA400 ;
- sonars à balayage latéral C-MAX;
- bathycélérimètres SVP 1000 ;
- système de positionnement par satellites GNSS et centrale inertielle POSMV320 ;
- célérimètres de coque Mini-SVS et mini-SVS&T Valeport ;
- benne Van Veen ;
- disque de Secchi ;
- marégraphe SBE 26+.

Les matériels spécifiques du GHOA qui seront embarqués pour ce déploiement figurent en annexe 4. Aucun mouvement de matériel impactant n'est prévu.

2.3 PLANNING

La mission hydrographique se déroulera courant deuxième quinzaine d'octobre 2017. La durée estimée du levé est d'environ une semaine.

3 DESCRIPTION DES TRAVAUX

3.1 REFERENCES.

3.1.1 Références planimétriques.

Le système géodésique RGF93 et la projection Lambert 93 seront utilisés pour les travaux, les calculs, la rédaction des documents et la fourniture de données numériques.

3.1.2 Références verticales.

La référence verticale pour les sondes sera le zéro hydrographique local.

3.2 LOCALISATION.

Le positionnement des VH sera délivré par la centrale inertielle POSMV. Elles exploiteront une solution GNSS en mode différentiel : les corrections différentielles proviendront d'une station de référence GPS en mode RTK/ la station sera installée par le GHOA sur le point créé sur l'île de Molène par un détachement du GHOA en janvier 2017.

En cas de perte de réception RTK, la localisation sera faite par le post-traitement de la navigation grâce aux stations permanentes du RGP.

L'enregistrement des données brutes sera réalisé (pour rejeu éventuel ou référencement à l'ellipsoïde).

En particulier, celles de la POSMV le seront :

- en cliquant sur le bouton « POSPac » dans POSView, tous les groupes nécessaires au fonctionnement de POSPac seront automatiquement sélectionnés, et une fréquence d'enregistrement des données d'attitude à 1Hz devra être définie ;
- pour permettre le post-traitement, un enregistrement continu est nécessaire (ne surtout pas découper par profils, mais enregistrer par période journalière de levé) ;
- le post-traitement des hauteurs ellipsoïdales pourra ensuite être réalisé à terre avec POSPac.

Le contrôle du Qfactor de la donnée de positionnement enregistrée sur les porteurs sera réalisé quotidiennement afin de s'assurer du bon emploi du moyen de positionnement prévu. En cas de dysfonctionnement, le représentant du DT décidera, au choix, de :

- refaire les profils incriminés ;
- post-traiter la navigation avec POSPac.

Pour le référencement à l'ellipsoïde, le module « GPS tide » de CARIS HIPS&SIPS sera employé pour référencer la bathymétrie au zéro hydrographique (ZH).

3.3 BATHYMETRIE.

3.3.1 Calibrage.

Les dossiers particuliers d'intégration et les dossiers de gestion de configuration du porteur sont applicables. Les SMF du BH2 et des VH ont été ajustés. Les paramètres de configuration adoptés lors de ces calibrages seront appliqués (voir les comptes rendus rédigés à l'issue des séances d'ajustage).

3.3.2 Tirant d'eau.

Des mesures de tirant d'air du BH2 seront systématiquement réalisées avant chaque appareillage et après chaque accostage. Le fichier « deltadraft-borda.txt » sera renseigné pour permettre son utilisation ultérieure lors du traitement au moyen du logiciel CARIS HIPS&SIPS.

Le tirant d'eau moyen établi dans le dossier de configuration des VH sera utilisé lors de l'acquisition au moyen du logiciel SIS. Le tirant d'eau moyen sera fixé à l'acquisition et ne sera pas corrigé lors du traitement.

3.3.3 Attitude.

Avant le début de chaque profil, on veillera à se présenter sur l'axe du profil avec un délai suffisant pour permettre à la centrale d'attitude de se stabiliser.

Les paramètres de la centrale d'attitude seront contrôlés avant chaque séance de sondage.

3.3.4 Marée.

Les mesures de marée nécessaires à la réduction des sondages sont listées ci-dessous :

Zone	Marégraphe	Remarque
Molène (digue)	SBE26+ (support ertalon)	/

Les sondes seront réduites directement des marégraphes mouillés sur zone. En cas de défaillance de ce marégraphe, un modèle de marée pourra être utilisé.

Au minimum, des tirants d'air seront réalisés au mouillage et au relevage du marégraphe.

Pendant les levés, les données de pression atmosphériques de la station météo installée sur le BH2 seront archivées et comparées aux mesures de pression atmosphérique récupérées auprès des aéroports et autres organismes.

3.3.5 Célérité.

Pendant les différents levés, des mesures de profils de célérité seront effectuées :

- à chaque séance de sondage (VH) ;
- aux heures synoptiques (BH2) ;
- lorsque l'écart entre la célérité de coque corrigée de l'offset et le profil de célérité à la même immersion est supérieur à 2 m/s ;
- si la bathymétrie est visiblement incurvée vers le haut ou le bas, et ne répond plus aux exigences de précision du levé.

Les numéros de série des bathycélérimètres et des célérimètres de coque utilisés seront systématiquement inscrits dans les cahiers de quart.

Les mesures du profil de célérité seront normalement réalisées à l'aide d'un bathycélérimètre VALEPORT. Toutefois, pour gain de temps, on pourra utiliser des sondes Sippican (à partir du BH2).

Les célérimètres de coque seront régulièrement surveillés et vérifiés (nettoyage). Celui du BH2 sera démonté avant chaque escale pour la durée de celle-ci.

3.3.6 Conduite du levé.

Les différents réglages des SMF seront comme suit :

VH	Réguliers	Traversiers
SMF EM2040c	Ouverture : voir DGC Mode : équidistant high density Fréquence : 300kHz Vitesse : 6 nœuds	Ouverture : 2x45° Mode : équidistant high density Fréquence : 300kHz Vitesse : 6 nœuds

BH2	Réguliers
SMF EM710	Ouverture : voir DGC Mode : équidistant high density Vitesse : 8 nœuds « Yaw compensation » désactivée « Dual swath » activée

L'ouverture des SMF ainsi que la vitesse des porteurs pourront être adaptées sur zone en fonction de la profondeur, de la morphologie des fonds et des conditions de mer.

Recherches :

Les recherches concernent les relèvements détectés au cours des réguliers et les épaves ou obstructions déjà répertoriées dans la zone (BDGS, cartes marines, etc.). Le directeur technique ou son représentant pourra décider de ne pas effectuer de recherche si le levé régulier est suffisant pour assurer la détection et la cotation de l'objet.

Les critères de recherche seront fixés suivant la norme sur les levés bathymétriques en référence.

Si l'application de ces critères conduit à effectuer trop de recherches, un seuil sera adopté par le directeur technique et les limites de travail seront éventuellement revues.

Pendant les recherches, la cote du point haut de chaque objet devra être déterminée à partir des faisceaux centraux du SMF de 2 profils au moins. Le sonar latéral pourra être mis en œuvre si le levé régulier ne suffit pas à décrire complètement la forme et les dimensions de l'objet détecté.

Les réglages des instruments seront comme suit :

VH	Recherches
SMF EM2040c	Ouverture : 2x30° Mode : équidistant Fréquence : 400 kHz Vitesse : 4 nœuds
Sonal C-Max	Mode : HF 780 kHz Portée : 25 m Altitude préconisée : 10 m

En cas de visibilité sous-marine suffisante et de possibilité de plonger sur zone, l'identification et la cotation de certains relèvements pourront également être réalisées par plongeurs. Les profondimètres devront être étalonnés. Le brassage le plus court entre la sonde SMF et la sonde plongeur sera retenu.

3.4 OCEANOGRAPHIE.

3.4.1 Hydrologie.

Voir le paragraphe 3.3.5 pour les mesures de célérité.

Des prélèvements quotidiens d'eau de mer seront réalisés depuis les VH.

3.4.2 Courantométrie.

Un courantomètre sera mouillé sur zone.

3.4.3 Marée.

Voir le paragraphe 3.3.4 pour les mesures de marée.

3.4.4 Visibilité sous-marine.

Des mesures au disque de Secchi et de couleur de l'eau seront effectuées lors des mesures de célérité depuis les VH.

De même, des mesures au disque de Secchi seront réalisées pour chaque prélèvement de sédiments.

3.4.5 Autres.

Sans objet.

3.5 SEDIMENTOLOGIE.

3.5.1 Imagerie SMF.

La fonction imagerie des sondeurs multifaisceaux sera systématiquement mise en œuvre pour l'ensemble du levé.

3.5.2 Prélèvements de sédiments.

Des prélèvements de fonds seront effectués, pour analyse et détermination de leur nature. La densité des prélèvements sera fonction des résultats obtenus par les autres moyens d'observation du fond, en suivant les recommandations de la norme sur le recueil d'information de sédimentologie marine.

En particulier, deux prélèvements de sédiments seront réalisés par faciès identifié au moyen du sonar latéral ou de l'imagerie SMF. Sinon, l'espacement entre les prélèvements de sédiments sera égal à 10 fois l'écartement des profils de bathymétrie en l'absence d'imagerie SMF.

3.5.3 Sondeur de sédiments.

Le SBP ne sera pas mis en œuvre.

3.5.4 Système de classification des fonds.

Des mesures au sondeur EA400 seront faites de manière systématique. On utilisera pour le levé un réglage selon la formule : $\text{Portée} = \text{Fondmax} * 2 + 10\% * P$ (P : profondeur).

La donnée brute des sondeurs monofaisceaux sera archivée systématiquement en vue de la caractérisation des fonds à l'aide du système de classification des fonds.

3.6 MAGNETISME.

Sans objet.

3.7 GRAVIMETRIE.

Sans objet.

3.8 REVUE D'AMERS ET BALISAGES, CONTROLE D'INFORMATIONS NAUTIQUES DIVERSES.

L'information nautique (cartes marines, livre des feux, instructions nautiques, etc.) existante sera vérifiée et les éléments permettant leur mise à jour recueillis (position, photographie, qualification).

En particulier, le balisage flottant et fixe sera repositionné et photographié.

Des photographies des amers et des entrées des ports seront prises.

La toponymie indiquée sur les documents nautiques sera contrôlée. Toute évolution sera signalée à la CTS.

4 DONNEES RECUEILLIES.

Le degré de protection commerciale à utiliser est « Diffusion Libre ».

4.1 TRAITEMENT ET REDACTION.

Toutes les données seront traitées conformément aux procédures en vigueur au Shom avec les logiciels en service.

4.2 INFORMATION NAUTIQUE RAPIDE.

Pendant le levé, les informations nautiques urgentes mettant en cause la sécurité de la navigation seront signalées sans délai, sous forme d'avertissements urgents de navigation de zone (NAVAREA), côtiers (AVURNAV côtiers) ou locaux (AVURNAV locaux). Des fiches d'exploitation seront rédigées dans le cas de l'information nautique rapide.

Les hauts fonds découverts et les modifications de balisage, qui seraient susceptibles d'engager la sécurité de la navigation de surface, seront signalés sans délai.

5 DIVERS.

5.1 AUTORISATIONS DE TRAVAUX.

Un projet d'AVURNAV informant les navigateurs de la présence de travaux hydrographiques sur zone et précisant la mise en œuvre d'appareils remorqués sera adressé à CECLANT, 48 heures avant le début des chantiers.

5.2 ORGANISATION DES TRAVAUX - RESPONSABILITES.

Le commandant du BH2 *Borda* assure la conduite de la mission.

Xxx est le chef de détachement à bord du BH2 *Borda*. A ce titre, il exerce l'ensemble des attributions associées conformément à l'instruction GHOA N° 4.3 du 1er septembre 2015. Il est également le représentant du directeur technique du levé en l'absence de ce dernier. Il est, à ce titre, responsable de la qualité des travaux réalisés. Il propose au commandant les ajustements nécessaires à l'optimisation de la conduite des opérations.

Les consignes de sécurité s'appliquant à bord des embarcations de la marine seront respectées, sous l'autorité du patron d'embarcation.

Les travaux hydrographiques réalisés à terre doivent être exécutés en sécurité. Les mesures adéquates devront être prises (cônes de signalisation, chasubles fluorescentes, etc.).

5.3 COMPTE-RENDU.

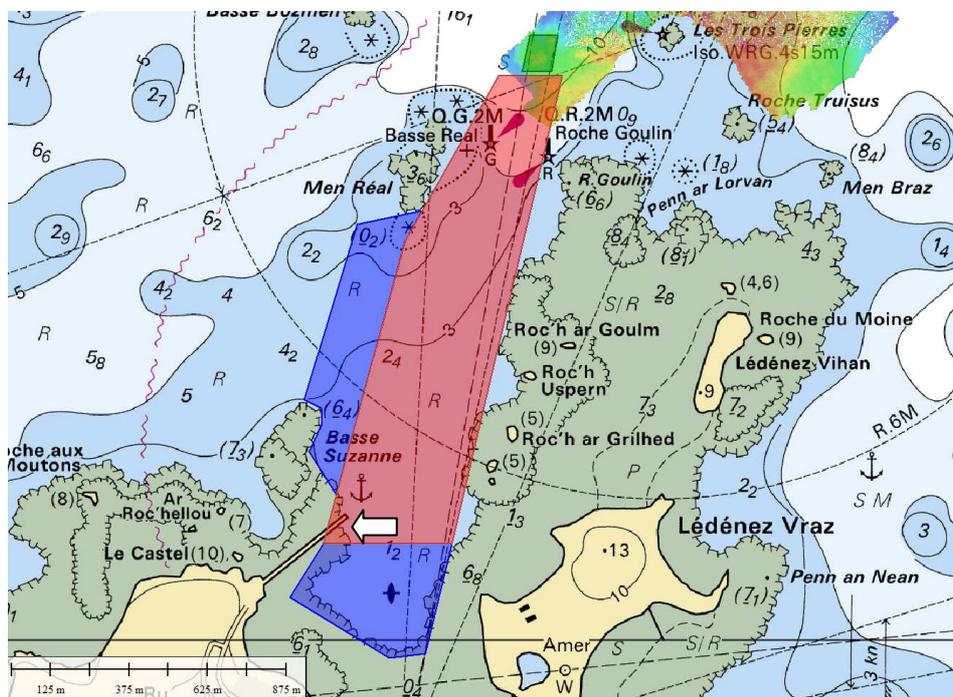
Un compte-rendu quotidien des travaux hydrographiques sera adressé par mail au directeur technique.

6 COMPTABILITÉ ET ECHÉANCES.

Une comptabilité précise de l'utilisation des moyens et de l'emploi des personnels sera tenue.

La date de livraison des levés est fixée au 01/02/2018.

ZONES A LEVER



Extrait de la CM7123 à jour des corrections 2015-1657

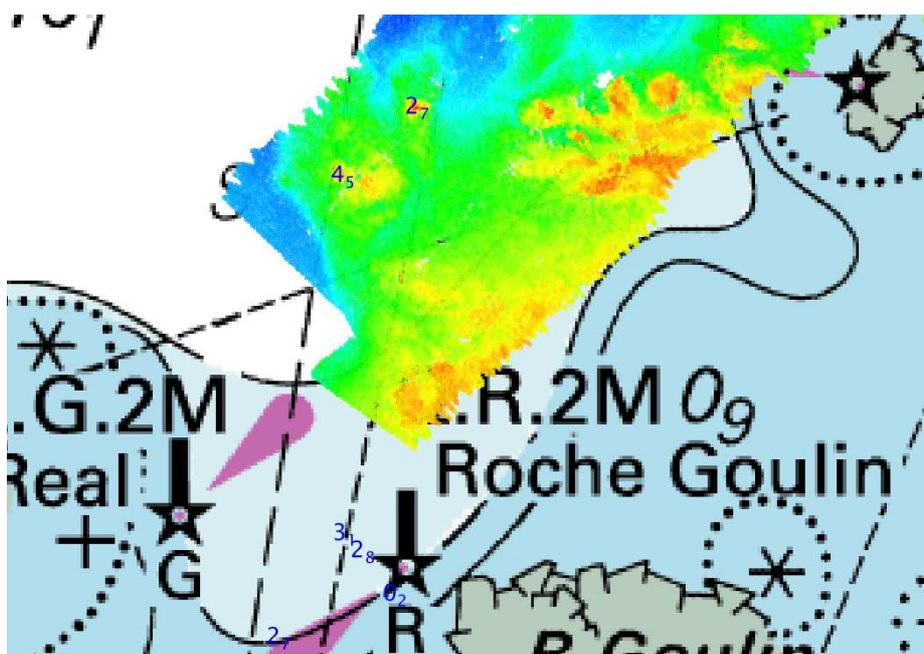
En rouge : zone P1 (§4.1.)

En vert : zone P2 (§4.2.)

En bleu : zone P3 (§4.3.)

Le MNT correspond au levé Ifremer

La flèche blanche désigne la zone d'accostage des navires de la compagnie Penn Ar Bed



Extrait de la CM7123

Le MNT correspond au levé Ifremer

Zone P1	48°24,65'N / 004°57,12'W 48°24,65'N / 004°57,01'W 48°24,11'N / 004°57,20'W 48°24,11'N / 004°57,42'W 48°24,46'N / 004°57,28'W
Zone P2	sonde 2,71 m à la position 48°24,69030'N / 004°57,03030'W sonde 4,58 m à la position 48°24,67020'N / 004°57,06300'W
Zone P3	Abri du port : 48°24,12'N / 004°57,20'W 48°23,98'N / 004°57,25'W 48°23,98'N / 004°57,32'W 48°24,05'N / 004°57,46'W 48°24,12'N / 004°57,42'W Partie ouest du chenal : 48°24,16'N / 004°57,39'W 48°24,22'N / 004°57,44'W 48°24,26'N / 004°57,42'W 48°24,28'N / 004°57,46'W 48°24,48'N / 004°57,33'W 48°24,48'N / 004°57,28'W 48°24,48'N / 004°57,26'W

**PIECE JOINTE N°3 :
RAPPORT**

Groupe Hydrographique et Océanographique de l'Atlantique

Dossier suivi par

xxx
Tél. xxx
Mail : xxx

RAP2018-954

- Objet** : Levé bathymétrique de l'accès au port de Molène.
- Références** : a) Instructions techniques n°xx Shom/DOPS/MIP/HYDRO/NP du xxx : levé du chenal d'accès à l'île de Molène ;
b) Instruction particulière n°xx Shom/GHOA/NP du xxx : levé du chenal d'accès à l'île de Molène ;
c) NR2016-009 : levés bathymétriques ;
d) NR2011-015 : publication S-44 de l'OHI, 5ème édition ;
e) Prélèvements d'échantillons d'eau de mer ;
f) Prélèvements de sédiments.
- Pièces jointes** : Deux annexes.

1. OBJET DU DOCUMENT.

Ce rapport particulier rend compte des travaux hydrographiques effectués en octobre 2018 par un détachement du GHOA à bord du bâtiment hydrographique de 2^{ème} classe (BH2) *Borda* dans le chenal d'accès à l'île Molène.

2. PRÉSENTATION.

2.1. Objectifs – travaux demandés.

L'objectif des instructions techniques (IT) en référence a) est de lever de manière exhaustive une partie du chenal d'accès à l'île Molène et de vérifier les structures détectées plus au large par un levé réalisé par Ifremer. Ces travaux s'inscrivent également dans le plan national d'hydrographie 2017-2020.

2.2. Travaux réalisés.

Le levé a été réalisé du 13 au 18 octobre 2018, avec une interruption durant la période pour cause de tempête. Le marégraphe a été récupéré le 14 novembre 2018.

La chronologie est présentée ci-dessous :

Date	Evènement
13/10/2018	Arrivée sur zone du BH2 <i>Borda</i> Mouillage d'un marégraphe Installation d'une station de référence RTK
14/10/2018	Début du levé hydrographique par VH
15/10/2018	Interruption pour porter assistance à un bateau de pêche en détresse Levé hydrographique par BH2 Démontage de la station de référence en prévision de la tempête
16/10/2018	Interruption pour cause de tempête

18/10/2018	Ré-installation de la station de référence RTK Reprise du levé hydrographique par BH2 et VH Départ sur zone du BH2 <i>Borda</i>
14/11/2018	Récupération du marégraphe

Deux zones ont été levées :

- un levé régulier dans le chenal d'accès à Molène et son ouvert ;
- un levé de contrôle des levés Lidar et Ifremer SMF du parc naturel marin d'Iroise.

La zone de travaux est présentée en annexe I.

Directeur technique : xxxx

Ingénieur : xxxx

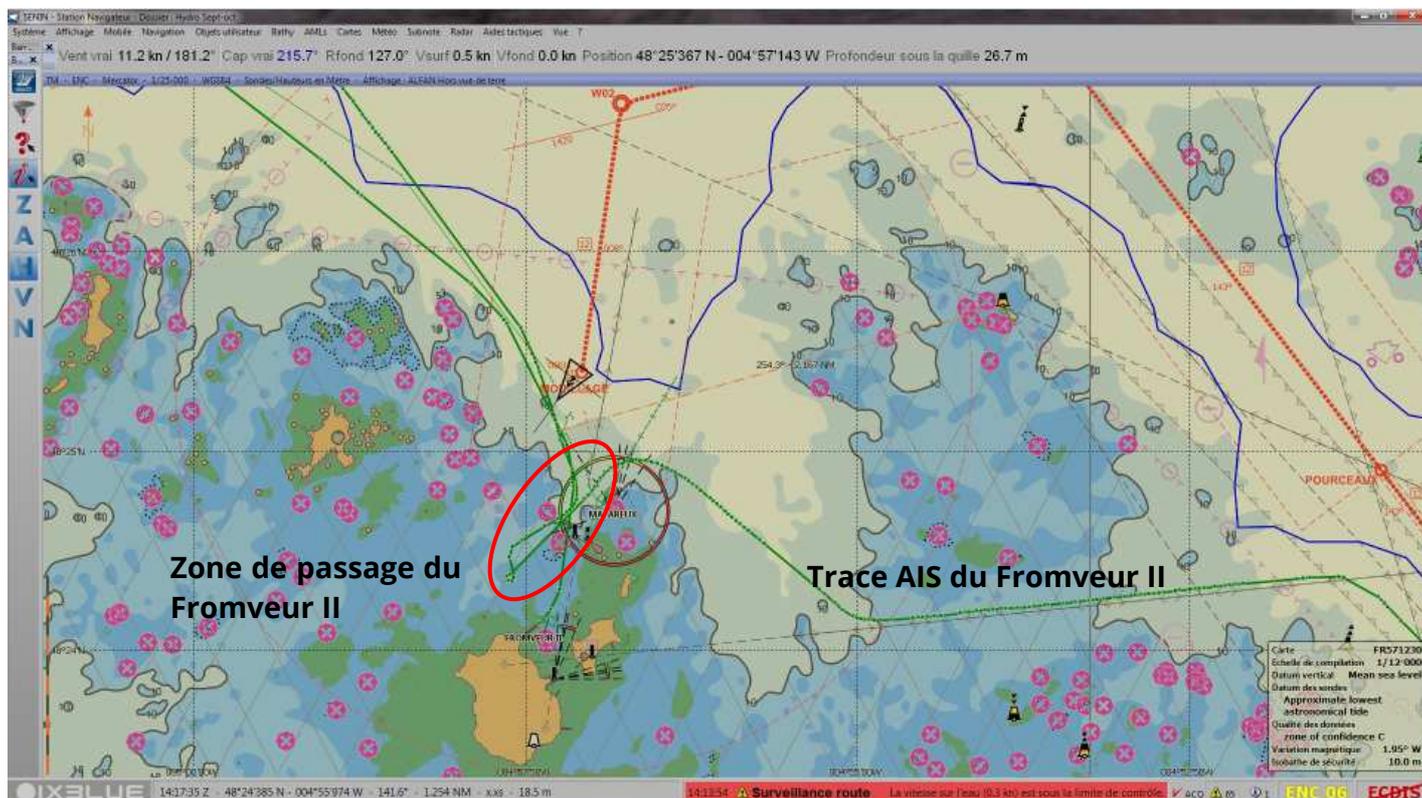
Chef d'équipe : xxxx

Hydrographe : xxxx

2.3. Travaux restant à réaliser.

L'ensemble des travaux bathymétriques prescrits par les IT en référence a) a été réalisé. Du fait de temps suffisant sur zone et afin d'optimiser les périodes de levé par marée haute et basse, une zone complémentaire à l'extérieur du chenal d'accès a été levée.

2.4. Retour d'expérience.



Pendant le levé, à marée basse, la vedette Fromveur II a été observée passant entre la basse Bozmen et Men Réal. Elle est restée stationnée au Nord de Molène le temps de débarquer des passagers. Si ce passage et cette zone sont effectivement fréquentés à marée basse par les vedettes de la Penn-Ar-Bed, il serait utile de prescrire un levé complémentaire afin d'améliorer la qualité des données disponibles sur cette zone.

3. CONTRÔLE DE GESTION.

Nombre d'unité d'œuvre (UO) consommées :

- Acquisition : 30 UO
- Rédaction : 122 UO

4. GESTION DE CONFIGURATION.

4.1. Matériel.

Tous les matériels utilisés sont configurés selon les dossiers d'intégration et de gestion de configuration entretenus et archivés par GHOA/SOUT.

4.2. Logiciel.

Tous les logiciels mis en œuvre pour l'acquisition, le traitement et la rédaction sont gérés en configuration par les programmeurs du GHOA.

5. RÉFÉRENCES.

5.1. Références horizontales.

Les positions sont rapportées au système géodésique RGF93 v2 associé à l'ellipsoïde de référence IAG GRS80. La projection utilisée est la projection Lambert 93.

5.2. Références verticales.

La référence verticale pour les sondes est le zéro hydrographique à Molène. Le zéro hydrographique est situé à 17,032 m au-dessous du repère fondamental N.R.Y3-119 situé sur le mur de la façade Nord-Est de la mairie de Molène.

5.3. Référence magnétique.

Sans objet.

5.4. Référence gravimétrique.

Sans objet.

6. GÉODÉSIE ET LOCALISATION.

6.1. Géodésie.

Une station de référence a été installée sur le repère Shom 14584FR171255-3, au Nord de Molène.

6.2. Systèmes de localisation.

Le positionnement a été délivré par la centrale inertielle POSMV320 exploitant une solution GNSS augmentée par la réception des corrections provenant :

- de la station de référence installée sur Molène (mode RTK dans le système géodésique RGF93 v2) ;
- du système EGNOS (mode DGPS SBAS dans le système géodésique WGS84).

L'écart planimétrique entre le WGS84 et le RGF93 v2 est de l'ordre de 68 cm au Conquet (décalage calculé sur un point connu au Conquet entre le RGF93 v2 et l'ITRF2014@2018.126). Ainsi, au vu de la méthode et de la précision de la localisation, les systèmes géodésiques WGS84 et RGF93 v2 peuvent être assimilés pour les prescriptions d'un levé de type « zone d'intérêt particulier ». Le biais est intégré dans l'évaluation de l'incertitude horizontale.

6.3. Incertitude de la localisation.

La localisation a été validée en temps différé au moyen du logiciel de traitement CARIS HIPS&SIPS 9.1.

Pour la localisation en mode RTK, la qualité du positionnement a été contrôlée quotidiennement via le logiciel POSPAC MMS (visualisation et vérification des RMS du *Solution Status* et du *Real Time Performance Metrics Max* pour chaque porteur). Les valeurs des RMS observées étaient meilleures que 0,60 m, en raison de perte de solutions en Fixed RTK.

L'incertitude sur la localisation du porteur est estimée meilleure que 1,20 m à 95%.

Pour les corrections provenant du système EGNOS, la qualité du positionnement a été contrôlée quotidiennement via le logiciel POSPAC MMS (visualisation et vérification des RMS du *Solution Status* et du *Real Time Performance Metrics Max* pour chaque porteur). Les valeurs des RMS observées étaient meilleures que 0,60 m. Le site support d'EGNOS (<http://egnos-user-support.essp-sas.eu>) a également été consulté a posteriori pour contrôler l'incertitude

sur le positionnement du levé, par observation de la précision de la localisation corrigée aux stations CRK et SWA. Les valeurs observées étaient meilleures que 2,0 m.

L'incertitude sur la localisation du porteur est estimée meilleure que 3,0 m à 95%.

7. BATHYMÉTRIE.

7.1. Stratégie et conditions de levé.

Dans le chenal et son ouvert, le levé bathymétrique a été réalisé par les vedettes hydrographiques *Phaéton* et *Macareux* avec les paramètres suivants :

EM2040c	Réguliers	Traversiers	Recherches
Ouverture	2x 60°	2x 45°	2x 30°
Mode	Equidistant high density 300 kHz (400 kHz pour les recherches)		
Vitesse	5 à 6 nœuds		4 nœuds

La réalisation du levé est conforme aux prescriptions de la norme en référence c) pour un levé de type « zone critique » ou de levé de type « zone d'intérêt particulier » suivant la zone. L'exploration complète du fond a été assurée par une double insonification au SMF EM2040c (sauf sur la bordure du levé).

Autour de l'île Molène, le levé de contrôle a été réalisé par le BH2 *Borda* avec les paramètres suivants :

EM710	Réguliers	Recherches
Ouverture	2x 60°	2x 30°
Mode	Equidistant high density	
Vitesse	8 nœuds	6 nœuds

Conformément à la norme en référence c), tous les relèvements n'ont pas fait l'objet de recherche du fait de la densité des sondes suffisante lors du levé régulier pour permettre une exploration complète et la cotation précise du relèvement. Le sonar latéral n'a pas été mis en œuvre.

7.2. Corrections.

7.2.1. Marée.

Un marégraphe à capteur de pression SBE26+ a été mouillé au port de Molène sur une période d'un mois (du 13/10/2018 au 14/11/2018) permettant de réaliser une vérification de concordance avec le port de référence. Le marégraphe a été calé par des mesures de tirants d'air. La durée d'intégration de ce marégraphe était de 4 minutes et la période d'acquisition de 5 minutes.

Les sondes ont été réduites de la marée observée par ce marégraphe. Autour de l'île Molène, une comparaison des écarts aux points de croisement avec la marée déportée en utilisant le modèle « cstlarge_finistere2013 », les constantes harmoniques du site MOLENE_NORD sous MASG2 montre une meilleure réduction avec la marée observée.

Pour le levé du chenal d'accès, l'incertitude sur la réduction des sondages (mesure et calage des hauteurs d'eau – en particulier incertitude des tirants d'air – et variabilité dans la zone de levé) est estimée meilleure que 0,10 m (à 95%).

Pour le levé de contrôle, l'incertitude sur la réduction des sondages (mesure et calage des hauteurs d'eau – en particulier incertitude des tirants d'air – et variabilité dans la zone de levé) est estimée meilleure que 0,20 m (à 95%).

7.2.2. Tirant d'eau.

Les données SMF ont été acquises par le logiciel SIS avec une valeur fixe de tirant d'eau (distance entre l'origine du repère navire et la base du sondeur multifaisceau). Conformément aux dossiers de configuration des porteurs, la *waterline* est de -9,0 cm pour *Phaéton*, -8,0 cm pour *Macareux* et de -0,482 m pour le *Borda*. Pour le BH2, les

données ont été corrigées a posteriori par le logiciel CARIS HIPS&SIPS 9.1 de la variation de *waterline*, interpolée linéairement entre deux escales.

L'incertitude de la mesure du tirant d'eau de la VH est estimée meilleure que 0,05 m (à 95%).

L'incertitude de la mesure du tirant d'eau du BH2 est estimée meilleure que 0,12 m (à 95%).

7.2.3. Attitude et cap.

Les données d'attitude (roulis, tangage et pilonnement) et de cap, mesurées par la centrale d'attitude et de cap POSMV320, leur rattachement au sondeur et le profil de célérité ont été pris en compte en temps réel par le logiciel d'acquisition des données SIS du SMF pour le calcul de la position des sondes.

Les incertitudes des mesures d'angle ont été estimées en tenant compte des incertitudes des calibrages et des données constructeur.

Les incertitudes à 95% adoptées figurent dans les tableaux du paragraphe 7.4.

7.2.4. Célérité.

Les sondes ont été corrigées en temps réel du profil de célérité.

Les profils saisis dans le logiciel SIS ont été obtenus :

- pour le BH2 : à partir de profils de température mesurés à l'aide de sondes Sippican XBT T10 et traités avec la chaîne de traitement DORIS ;
- pour la VH, à l'aide de la mesure par bathycélérimètre Valeport SVP1000 et traités avec la chaîne de traitement DORIS.

L'incertitude sur la mesure des bathycélérimètres Valeport SVP1000 est estimée à 0,10 m/s (à 95%).

L'incertitude sur la mesure des profils Sippican est estimée à 1,0 m/s (à 95%).

Une alarme a été configurée dans SIS pour signaler un écart supérieur à 2,0 m/s entre les mesures temps réel du célérimètre de coque et la mesure du profil de célérité au niveau de la surface. Un nouveau profil de célérité était alors mesuré.

L'incertitude à 95% sur les profils de célérité est ainsi estimée à 2,0 m/s.

La célérité au niveau des transducteurs était mesurée in situ à l'aide d'un célérimètre de coque (pour le BH2, de type Valeport mini SV&T, pour la VH, de type Valeport mini SVS) et fournie en temps réel au sondeur.

L'incertitude des célérimètres de coque est estimée à 0,15 m/s (à 95%).

7.2.5. Paramètres d'installation.

Les données sont corrigées en temps réel des paramètres d'installations (bras de levier et orientations relatives entre transducteur du sondeur, antennes GPS et centrale inertielle) et de calibration du sondeur.

L'incertitude sur les bras de leviers est estimée meilleure que 0,01 m (à 95%) et peut être négligée dans le bilan d'erreur.

7.3. Traitement et validation des sondes.

Les données de bathymétrie ont été traitées à l'aide du logiciel CARIS HIPS&SIPS 9.1. Les sondes ont été :

- géoréférencées après validation de la localisation et de l'attitude ;
- réduites de la marée ;
- corrigées de la variation de tirant d'eau, le cas échéant.

Toutes les sondes ont été visualisées afin de repérer les relèvements caractéristiques. Suivant chaque type de levé, les sondes caractéristiques correspondant aux critères de recherche ont été systématiquement examinées sous CARIS HIPS&SIPS 9.1. Elles ont fait l'objet de recherches au SMF quand nécessaires.

Les sondes ont été examinées par un hydrographe pour invalidation manuelle des sondes aberrantes dans le *subset editor* de CARIS HIPS&SIPS 9.1. Dans certaines zones, la forte densité d'algues, visible depuis les VH, n'a pas permis d'invalider la végétation sous-marine.

7.4. Incertitude, exactitude et contrôle qualité.

Un contrôle des performances des sondeurs EM2040c des VH et EM710 du BH2 a été réalisé en le 01 octobre 2018. A la date du dernier contrôle des sondeurs, la conformité des systèmes par rapport aux ordres de la norme de l'OHI pour les levés hydrographiques (S-44, 5ème édition) a été vérifiée sur une zone de référence.

Les incertitudes théoriques verticale et horizontale des sondes (calculées à partir des incertitudes décrites aux paragraphes précédents) sont données ci-dessous.

7.4.1. Incertitude horizontale.

Le positionnement des sondes a été calculé à partir des rattachements « base-antenne » introduits dans le logiciel d'acquisition SIS et des paramètres d'attitude et de cap délivrés par la centrale inertielle POSMV.

Le bilan d'erreur sur la position horizontale de la sonde résulte de la somme quadratique des erreurs de localisation du porteur, de positionnement relatif porteur/sonde qui dépendent des mesures d'attitude, de cap et de célérité.

- levé avec corrections DGNSS provenant du système EGNOS :

Ce levé correspond au levé de contrôle réalisé par BH2, et au levé à l'ouvert du chenal d'accès.

Paramètres	Incertitude de la mesure à 95%	Incertitude planimétrique sur le positionnement des sondes (à 95%)
Localisation du porteur (§6.3)	/	3,00 m
Cap (§7.2.3)	0,202°	0,61% P
Roulis (§7.2.3)	0,056°	0,10% P
Tangage (§7.2.3)	0,202°	0,35% P
Célérité de coque (§7.2.4)	0,15 m/s	0,02% P
Profil de célérité (§7.2.4)	2 m/s	0,22% P
Incertitude horizontale du SMF	/	EM710 : 1,05% P EM2040c : 1,36% P
Bilan d'incertitude sur la position horizontale de la sonde		EM710 : $\sqrt{[3,00^2+(1,29\% P)^2]}$ EM2040c : $\sqrt{[3,00^2+(1,56\% P)^2]}$
Incertitude horizontale adoptée (majorant pour la profondeur maximale)		3,10 m

Cette incertitude horizontale est **compatible avec l'ordre 1a, a fortiori avec l'ordre 1b** de la norme S-44 de l'OHI.

- levé en mode RTK :

Ce levé correspond au levé du chenal d'accès.

Paramètres	Incertitude de la mesure à 95%	Incertitude planimétrique sur le positionnement des sondes (à 95%)
Localisation du porteur (§6.3)	/	1,20 m
Cap (§7.2.3)	0,202°	0,61% P
Roulis (§7.2.3)	0,056°	0,10% P
Tangage (§7.2.3)	0,202°	0,35% P
Célérité de coque (§7.2.4)	0,15 m/s	0,02% P
Profil de célérité (§7.2.4)	2 m/s	0,22% P
Incertitude horizontale du SMF	/	1,36% P
Bilan d'incertitude sur la position horizontale de la sonde		$\sqrt{[1,20^2+(1,56\% P)^2]}$
Incertitude horizontale adoptée (majorant pour la profondeur maximale)		1,30 m

Cette incertitude horizontale est **compatible avec l'ordre spécial, a fortiori avec l'ordre 1b** de la norme S-44 de l'OHI.

7.4.2. Incertitude verticale.

7.4.2.1. Incertitude verticale a priori.

Le bilan d'erreur théorique sur la position verticale de la sonde résulte de la somme quadratique des erreurs de tirant d'eau, des erreurs de marée, des erreurs de célérité (pris en compte dans le matelas de sondes), des erreurs

de mesures acoustiques (pris en compte dans le matelas de sondes) et des erreurs de positionnement relatif porteur/sonde qui dépendent des mesures d'attitude.

- levé réduit de la marée observée dans le chenal d'accès et à l'ouvert :

Ce levé a été uniquement réalisé par VH.

Paramètres	Incertitude de la mesure à 95%	Incertitude verticale des sondes (à 95%)
Rattachement à la référence verticale (§7.2.1)	/	0,10 m
Tirant d'eau (§7.2.2)	/	0,05 m
Roulis (§7.2.3)	0,056°	0,17% P
Tangage (§7.2.3)	0,202°	0,00% P
Célérité de coque (§7.2.4)	0,15 m/s	0,03% P
Profil de célérité (§7.2.4)	2 m/s	0,26% P
Incertitude verticale du SMF	/	0,10% P
Incertitude verticale des sondes	$\sqrt{[0,12^2+(0,33\% P)^2]}$	
Incertitude verticale adoptée (majorant pour la profondeur maximale)	0,20 m	

Cette incertitude verticale est **compatible avec l'ordre spécial, a fortiori avec l'ordre 1b** de la norme S-44 de l'OHI.

- levé réduit de la marée observée autour de l'île Molène :

Ce levé a été uniquement réalisé par BH2.

Paramètres	Incertitude de la mesure à 95%	Incertitude verticale des sondes (à 95%)
Rattachement à la référence verticale (§7.2.1)	/	0,20 m
Tirant d'eau (§7.2.2)	/	0,12 m
Roulis (§7.2.3)	0,056°	0,17% P
Tangage (§7.2.3)	0,202°	0,00% P
Célérité de coque (§7.2.4)	0,15 m/s	0,03% P
Profil de célérité (§7.2.4)	2 m/s	0,26% P
Incertitude verticale du SMF	/	0,10% P
Incertitude verticale des sondes	$\sqrt{[0,24^2+(0,33\% P)^2]}$	
Incertitude verticale adoptée (majorant pour la profondeur maximale)	0,40 m	

Cette incertitude verticale est **compatible avec l'ordre 1b** de la norme S-44 de l'OHI.

7.4.2.2. Incertitude verticale *a posteriori*.

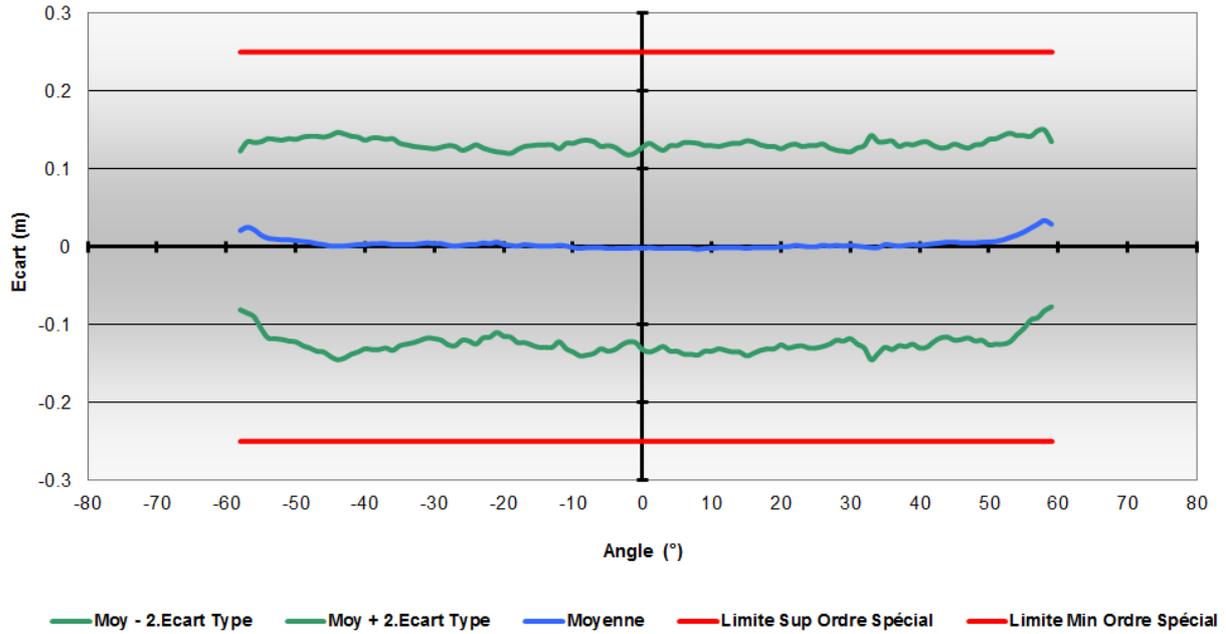
Un contrôle qualité du levé bathymétrique (cohérence interne) a été réalisé en utilisant l'outil *Quality Control* de CARIS HIPS&SIPS 9.1. Les profils traversiers ont été utilisés pour générer une surface de référence.

Les courbes indiquées ci-après présentent les écarts mesurés (moyenne et écarts types à 2σ (95%)) entre les profils réguliers et cette surface de référence, en fonction de l'angle de tir des faisceaux. Figurent également sur ce graphique les exigences de précision de la S-44 (limites supérieure et inférieure) pour l'ordre spécifié à la profondeur moyenne de la zone.

Les résultats sont les suivants :

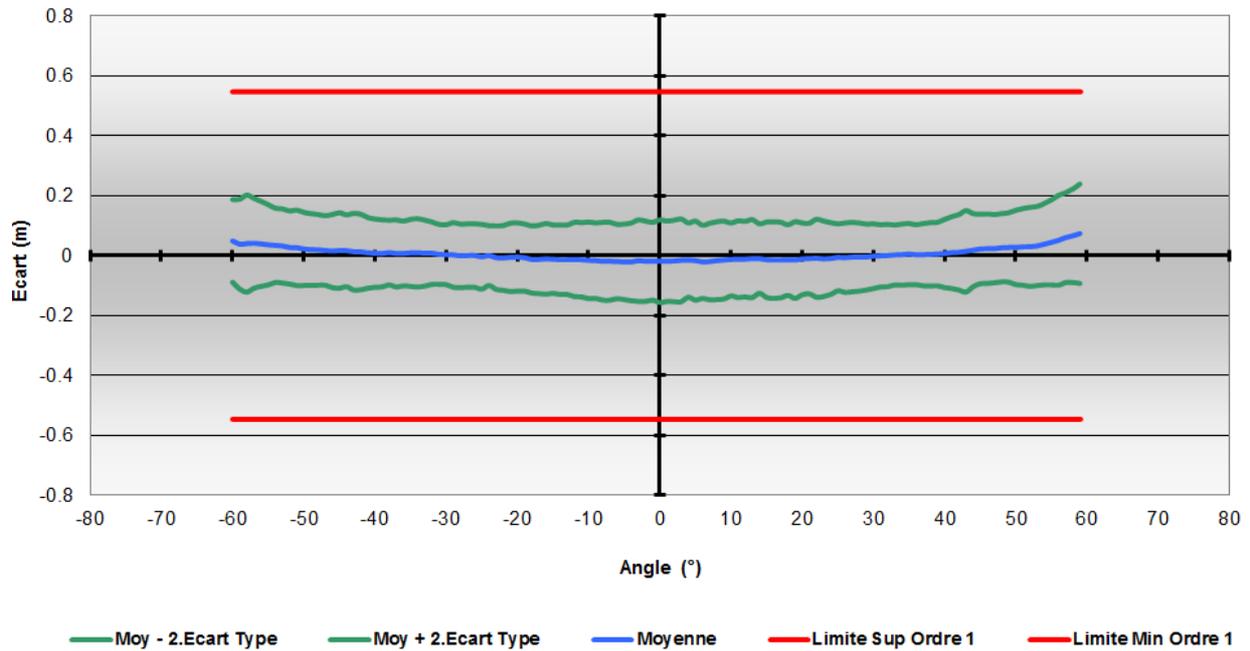
- traversier dans le chenal d'accès par 1m de profondeur : incertitude maximale à 95% de 0,26 m pour l'ordre spécial :

Vérification Verticale : écart (m) par rapport à la référence en fonction de l'ouverture (°)



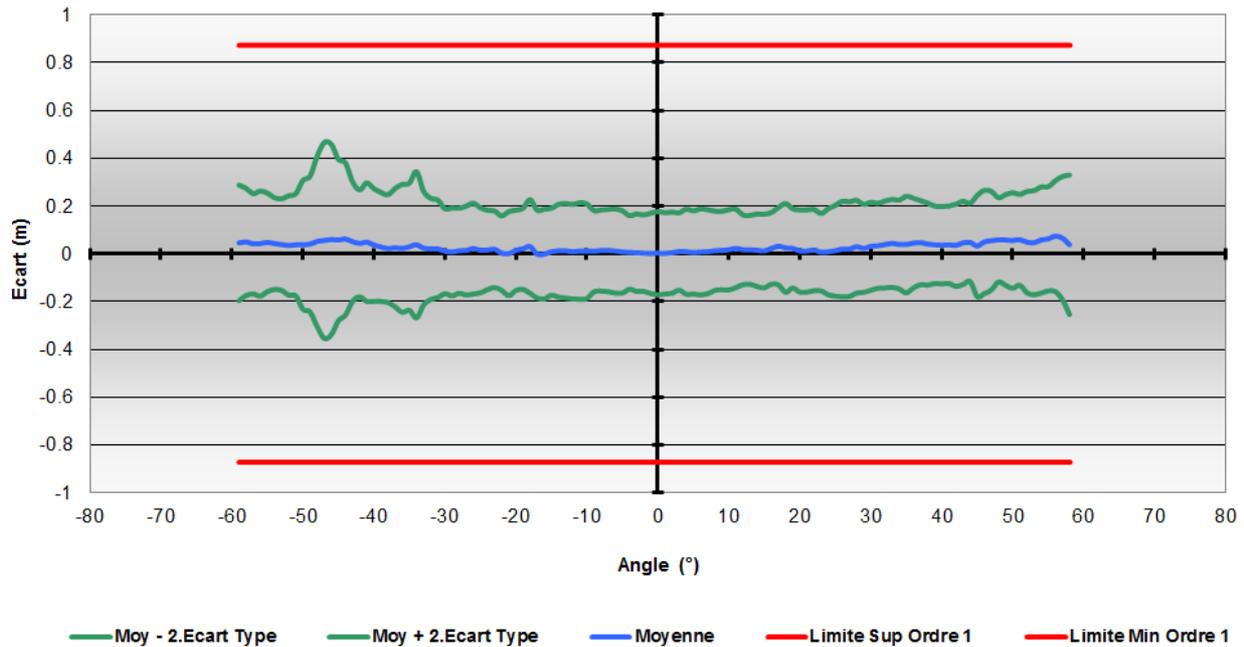
- traversier à l'ouvert du chenal par 17 m de profondeur : incertitude maximale à 95% de 0,55 m pour l'ordre 1a :

Vérification Verticale : écart (m) par rapport à la référence en fonction de l'ouverture (°)



- intersection entre 2 profils réguliers du levé de contrôle, par 55 m de profondeur : incertitude maximale à 95% de 0,88 m pour l'ordre 1b :

Vérification Verticale : écart (m) par rapport à la référence en fonction de l'ouverture (°)



7.4.2.3. Incertitude verticale adoptée.

Au vu de l'incertitude verticale *a priori* calculée et des incertitudes verticales *a posteriori* estimées à partir des écarts aux points de croisement, les incertitudes adoptées sont les valeurs maximales entre la valeur théorique et la valeur *a posteriori*. Elles sont indiquées dans le paragraphe suivant et sont compatibles avec les critères des ordres prescrits de la S-44.

7.5. DONNEES VALIDEES.

Les sondes traitées manuellement, ont été décimées à l'aide du logiciel « ChoixSonde » paramétré avec l'option -s44. Les données sont qualifiées suivant la norme citée en référence c). Quatre lots ont été constitués conformément aux caractéristiques suivantes :

Lot	Zone	Caractéristiques	Ordre S-44	CATZOC	Incertitude horizontale	Incertitude verticale
1	Chenal d'accès	Double insonification EM2040c Positionnement en mode RTK	OS	A1	1,30 m	0,20 m
2	Ouvert du chenal	Double insonification EM2040c Positionnement en mode DGPS	1a	A1	3,10 m	0,30 m
3	Chenal d'accès et ouvert	Simple insonification EM2040c (bordure des lots 1 et 2)	1b	B	3,10 m	0,30 m
4	Abords de l'île Molène	Insonification EM710 Positionnement en mode DGPS	1b	B	3,10 m	0,50 m

Caractérisation du levé

8. RESULTATS DE L'EXPLOITATION BATHYMETRIQUE DU LEVE.

8.1. Thème EPAVES.

Le levé conduit aux évolutions suivantes :

Type d'objet	Création	Modification	Suppression	Déjà signalé
Epaves	0	1	0	0

Obstructions	33	0	0	0
Roches	1	0	0	0

8.2. Thème CABLES.

Au vu du nombre important de chaînes détectées et composant les dispositifs d'ancrage, il a été décidé de ne pas les rédiger.

8.3. BDQH.

Les zones de recherche sont fournies.

Type d'objet	Création	Modification	Suppression
Zone de recherche	2	0	0

9. AIDES À LA NAVIGATION.

9.1. Feux.

Néant.

9.2. Amers.

La revue des amers de la zone conduit à l'évolution suivante :

Type d'objet	Création	Modification	Suppression	Déjà signalé
Marque de jour	1	0	0	0

9.3. Balisage.

L'existence du balisage présent en Base de données et sur les cartes marines a été contrôlée. Des photos du balisage présent dans la zone ont été prises pendant le levé.

10. OCÉANOGRAPHIE.

10.1. Mesures hydrologiques.

Voir paragraphe 7.2.4.

Au cours du levé, des mesures de bathycélérimètres ont été réalisées à chaque séance de sondage et dès qu'une variation notable de la célérité était observée (> 2 m/s).

Des prélèvements d'eau de mer ont été effectués in situ et transmis au Shom pour analyse (réf. g)).

10.2. Courantométrie.

Faute de matériel disponible, aucune observation de courant n'a été réalisée.

10.3. Observations de marée.

Les mesures réalisées pour réduire le levé sont décrites dans le paragraphe 7.2.1.

10.4. Visibilité sous-marine.

Des mesures de visibilité verticale de la colonne d'eau ont été réalisées au disque de Secchi sur la zone de levé.

10.5. Autres.

Sans objet.

11. SÉDIMENTOLOGIE.

11.1. Imagerie SMF.

En complément de la bathymétrie, les mesures de réflectivité du fond ont été enregistrées par les sondeurs multifaisceaux EM710 et EM2040c. Les mosaïques générées ont été fournies avec le fichier de métadonnées.

11.2. Imagerie sonar latéral.

Sans objet.

11.3. Prélèvements de sédiments.

Des prélèvements de sédiment ont été effectués par benne Van Veen depuis la VH et ont été transmis au Shom pour analyse complète (réf. h)). Les points de prélèvement ont été déterminés à partir des faciès identifiés sur l'imagerie SMF. Il s'agit essentiellement de sable et de coquilles brisées. La zone est particulièrement rocheuse.

11.4. Sondeur de sédiments.

Sans objet.

11.5. Système de classification du fond.

Le sondeur monofaisceau EA400 ou EA600 était mis en œuvre en parallèle du levé au sondeur multifaisceau.

12. MAGNÉTISME.

Sans objet.

13. GRAVIMÉTRIE.

Sans objet.

14. CRITIQUE DES DONNÉES ANTÉRIEURES ET DE LA DOCUMENTATION EXISTANTE.

14.1. Information urgente et rapide.

Ce levé n'a fait l'objet d'aucun projet d'AVURNAV.

Une fiche d'exploitation a été transmise concernant de la bathymétrie (fonds moindres dans le port de Molène et sondes critiques). L'exploitation du levé a permis de supprimer et remplacer la sonde 2,7 m à la position approximative 48°24,69' N / 004°57,03'W par une sonde plus profonde. Cette fiche a fait l'objet d'un avis au GAN : avis 18 11 57.

Une 2nde fiche d'exploitation a été transmise concernant la bathymétrie. Cette fiche n'avait pas été exploitée à la date de rédaction du rapport.

Au vu de l'échelle des cartes marines de la zone, les obstructions, pour la plupart correspondant aux crapauds des corps-morts du port de Molène, n'ont pas fait l'objet d'un signalement d'information nautique rapide.

14.2. Information différée.

14.2.1. Impact sur les cartes marines.

L'évaluation de l'apport du levé aux cartes marines est fournie en annexe II.

Plusieurs obstructions ont été détectées dans ce levé. Elles correspondent pour la plupart à des systèmes d'ancrage des corps-morts présents dans le port de Molène.

14.2.2. Autres documents.

L'exploitation du levé n'amène aucune remarque sur les autres documents nautiques.

14.3. Comparaison avec les levés antérieurs.

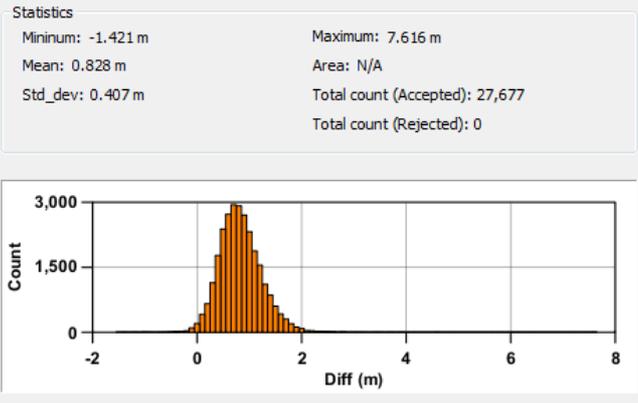
La comparaison avec les levés antérieurs a été réalisée au moyen de CARIS Base Editor 4.1.

- comparaison avec le lot 4 (levé de contrôle) :

Ce lot a été comparé avec les levés antérieurs les plus pertinents (levé régulier) et les deux levés à contrôler.

Levé	Résultats (levé comparé - nouveau levé)
------	---

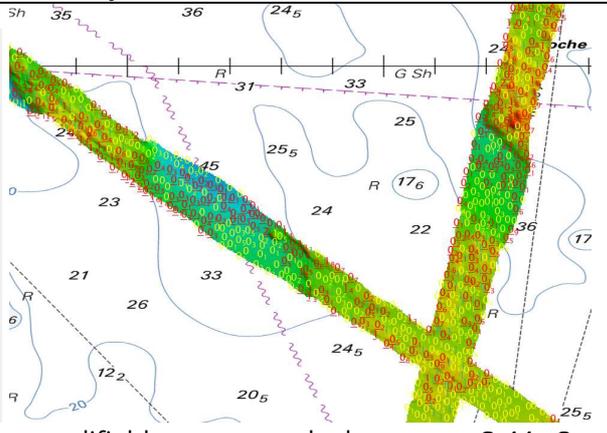
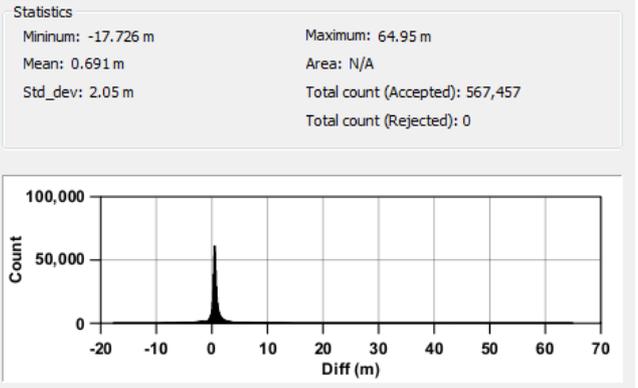
Lidar PNMI



Le levé Lidar est non qualifiable au sens de la norme S-44. Son incertitude verticale est estimée meilleure que 0,5 m à 95%.

Les écarts observés sont supérieurs aux incertitudes annoncées. Il est à noter la présence d'un biais moyen de 80 cm entre le levé comparé et le présent levé. Le présent levé est globalement plus court que le levé Lidar. L'incertitude verticale du levé Lidar est sous-évaluée et devrait se rapprocher de l'incertitude verticale des lots non qualifiables du levé Litto3D de la même zone (cf. levé S201207000). La cohérence entre les deux levés est moyenne.

Ifremer PNMI



Le levé Ifremer est un levé, réalisé au SMF, non qualifiable au sens de la norme S-44. Son incertitude verticale est estimée, suivant les lots à 0,6 m et 0,8 m à 95%.

D'importants écarts sont observés au niveau des reliefs et des pentes. D'autres écarts sont inexplicables et pourraient correspondre à des sondes aberrantes dans le levé comparé.

En particulier, les sondes aux positions suivantes sont fortement douteuses pour des fonds environnants de 40 m :

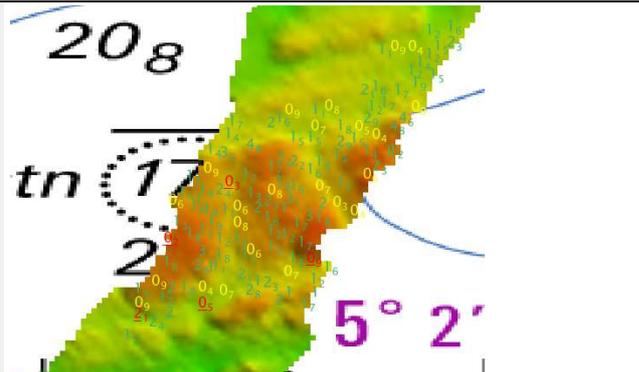
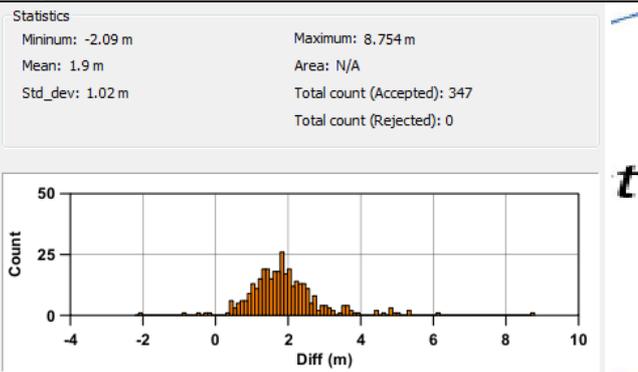
48° 22.8895N / 5° 03.5855 W / 102.84 m

48° 22.9165N / 5° 03.5358 W / 87.16 m

48° 23.0396 N / 5° 03.5250 W / 83.36 m

Dans le Fromveur, la comparaison des levés fait l'état d'une évolution des fonds sableux. Les écarts observés sont supérieurs aux incertitudes annoncées. La cohérence entre les deux levés est moyenne.

S201207000 lots 5 et 13



	<p>Le levé S201207000 est un levé Litto3D non qualifiable au sens de la norme S-44. Son incertitude verticale est estimée meilleure que 1 m + 7% du fond à 95%.</p> <p>La zone de recouvrement des deux levés, située dans le passage du Fromveur, est peu étendue. Les écarts observés sont compatibles avec les incertitudes annoncées. Les deux levés sont globalement cohérents.</p>							
<p>S201306600 lots 1 et 2</p>	<div data-bbox="284 309 884 459"> <p>Statistics</p> <table border="0"> <tr> <td>Minimum: -9.096 m</td> <td>Maximum: 20.161 m</td> </tr> <tr> <td>Mean: 0.607 m</td> <td>Area: N/A</td> </tr> <tr> <td>Std_dev: 2.65 m</td> <td>Total count: 221,107</td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="284 470 884 683"> </div> <div data-bbox="284 683 884 952"> </div>	Minimum: -9.096 m	Maximum: 20.161 m	Mean: 0.607 m	Area: N/A	Std_dev: 2.65 m	Total count: 221,107	<div data-bbox="901 526 1356 683"> </div> <p>Le levé S201306600 est un levé réalisé au SMF EM710 et qualifié aux ordres 1a et 1b au sens de la norme S-44. Son incertitude verticale est estimée meilleure que 0,5 m à 95%.</p> <p>La zone de recouvrement des 2 levés est située dans le passage du Fromveur. Deux zones se distinguent : sur les fonds rocheux, les écarts observés sont faibles et les deux levés sont cohérents ; sur les fonds sableux, les écarts observés sont plus élevés et montrent une évolution des fonds. La cohérence entre les deux levés est moyenne.</p>
Minimum: -9.096 m	Maximum: 20.161 m							
Mean: 0.607 m	Area: N/A							
Std_dev: 2.65 m	Total count: 221,107							

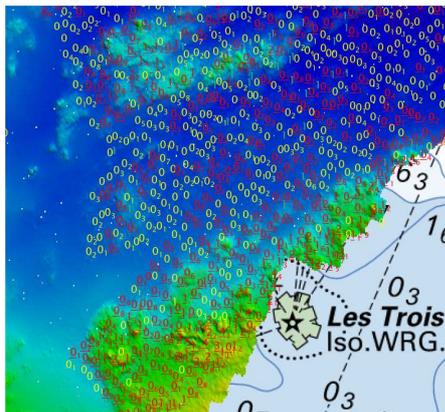
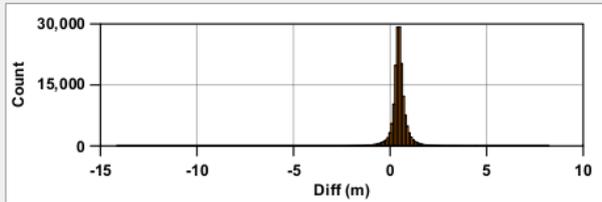
- comparaison avec les lots 1 à 3 :

Ce lot a été comparé avec les levés antérieurs les plus pertinents (levés exploités sur la carte marine). Les levés au sondage au plomb du 19^{ème} siècle n'ont pas été comparés car aucune sonde n'a été identifiée sur la carte marine 7123 comme provenant d'un de ces levés.

Levé	Résultats (levé comparé – nouveau levé)								
<p>Lidar PNMI</p>	<div data-bbox="284 1467 884 1617"> <p>Statistics</p> <table border="0"> <tr> <td>Minimum: -10.759 m</td> <td>Maximum: 8.872 m</td> </tr> <tr> <td>Mean: 0.607 m</td> <td>Area: N/A</td> </tr> <tr> <td>Std_dev: 0.502 m</td> <td>Total count (Accepted): 168,477</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Total count (Rejected): 0</td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="284 1646 884 1848"> </div> <div data-bbox="901 1433 1340 1859"> </div> <p>Le levé Lidar est non qualifiable au sens de la norme S-44. Son incertitude verticale est estimée meilleure que 0,5 m à 95%.</p> <p>Les écarts observés sont légèrement supérieurs aux incertitudes annoncées. Le levé Lidar est globalement plus court dans le chenal d'accès (peut s'expliquer par la présence de végétation sous-marine dense, qui perturbe la détection par Lidar) et plus profond à l'ouvert. La cohérence des deux levés est moyenne.</p>	Minimum: -10.759 m	Maximum: 8.872 m	Mean: 0.607 m	Area: N/A	Std_dev: 0.502 m	Total count (Accepted): 168,477		Total count (Rejected): 0
Minimum: -10.759 m	Maximum: 8.872 m								
Mean: 0.607 m	Area: N/A								
Std_dev: 0.502 m	Total count (Accepted): 168,477								
	Total count (Rejected): 0								

Ifremer
PNMI

Statistics	
Minimum: -14.034 m	Maximum: 8.213 m
Mean: 0.463 m	Area: N/A
Std_dev: 0.432 m	Total count (Accepted): 163,175
	Total count (Rejected): 0



Le levé Ifremer est un levé, réalisé au SMF, non qualifiable au sens de la norme S-44. Son incertitude verticale est estimée, suivant les lots à 0,6 m et 0,8 m à 95%.

Les écarts les plus importants sont observés au niveau des reliefs et des pentes. Les écarts observés sont de l'ordre des incertitudes annoncées. La cohérence des deux levés est bonne.

La comparaison avec les anciens levés a mis en évidence des anomalies sur 2 lots :

- Levé Ifremer PNMI : 3 sondes semblent être aberrantes (sondes identifiées lors de la comparaison, le lot entier n'a pas été investigué) ;

- S189900200 - 13 (levé non retenu dans la comparaison) : le signe des sondes est inversé (sondes négatives au large, sondes positives sur l'estran). Le lot 4 du même levé est correct.

Ces anomalies ont été transmises au référent de la base de données bathymétrique et traitées par celui-ci (un autre lot du levé S189900200, hors zone de couverture de ce levé, a été corrigé).

Au bilan, la cohérence avec les levés antérieurs est globalement moyenne, du fait soit de l'évolution des fonds, soit des incertitudes annoncées et sous-estimées dans les levés antérieurs.

14.4. CONCLUSION.

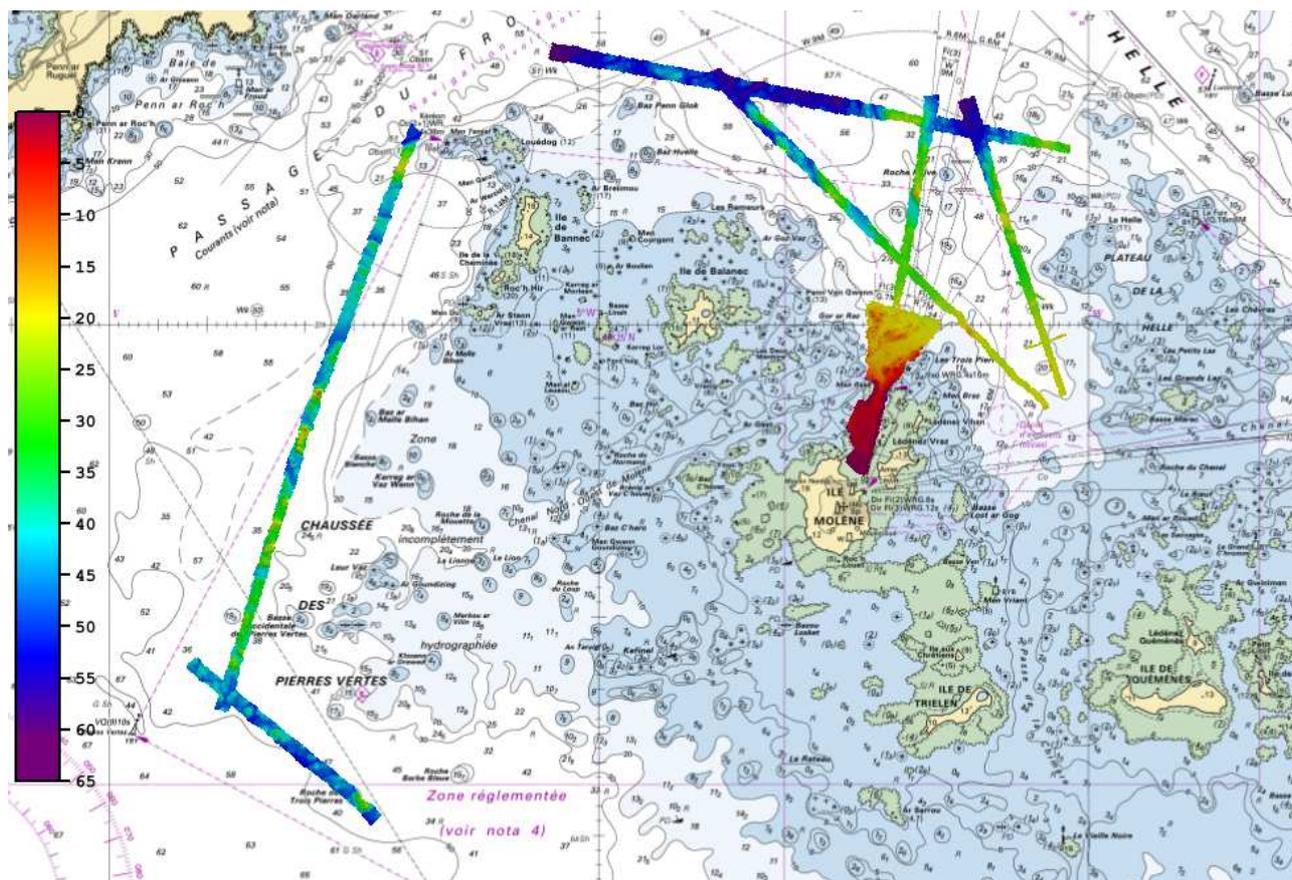
Les lots 1 à 3 de ce levé annulent et remplacent les lots des levés antérieurs et les informations des documents nautiques en vigueur.

Le lot 4 de ce levé complète les lots des levés antérieurs et les informations des documents nautiques en vigueur.

15. DONNÉES ET DOCUMENTS PRODUITS.

Voir la fiche de levé.

ANNEXE I - PRÉSENTATION DU LEVÉ.



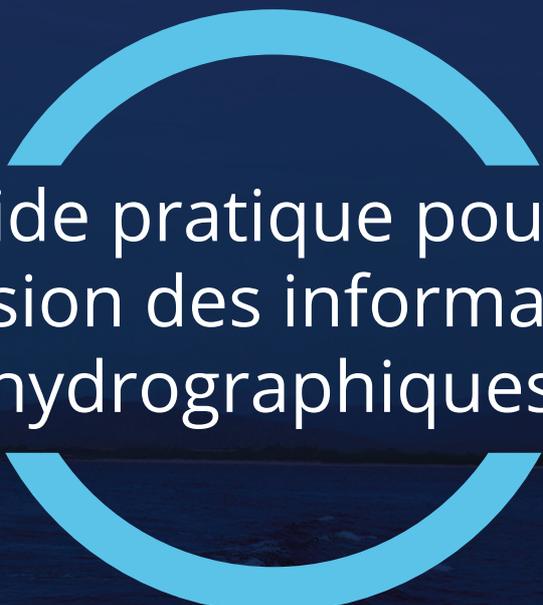
MNT du levé sur extrait de la CM7149.

ANNEXE II – APPORTS DU LEVÉ AUX CARTES MARINES.

Défaut cartographique	Apports du levé aux cartes marines :	Oui/Non Commentaire
	7123 (édition n°5 – 2017 – correction 4) 7149 (édition n°4 – 2015 – correction 9) FR571230 (édition n°5 – update 5) FR471490 (édition n°2 – update 6)	
Défauts peu gênants (poids = 0,1)		
A-7	Le producteur de données a recueilli des indices montrant que la carte n'est pas adaptée aux besoins des usagers en termes d'échelle et de coupure.	Non
A-8	Le levé apporte des informations portuaires secondaires à terre non portées sur la carte (capitainerie, moyens portuaires, SNSM, pilotes, ...).	Non
A-11	Des éléments de réglementation concernant des activités autres que la navigation et qui ne gênent pas la navigation, ne figurant pas déjà sur la carte, ont été recueillis par le producteur de données.	Non
A-12	Le levé apporte des éléments permettant de mettre à jour une toponymie obsolète.	Non
Défauts assez gênants (poids = 0,3)		
B-1	Le levé améliore la connaissance de la marée, de la bathymétrie ou des épaves/obstructions (meilleure précision, densité plus forte, connaissance du zéro hydrographique, précision des caractéristiques d'un objet...) sans impact majeur sur la sécurité de la navigation.	Oui
B-2	Des projets d'AVURNAV ont été rédigés.	Non
B-3	Le levé définit une voie recommandée non portée sur la carte marine, dans une zone saine.	Non
B-4	Des éléments de réglementation concernant des activités autres que la navigation mais qui gênent la navigation, ne figurant pas déjà sur la carte, ont été recueillis par le producteur de données.	Non
B-6	Le levé apporte des informations portuaires présentant des dangers faibles concernant le plan d'eau (implantation des quais, des zones draguées, sondes le long des quais, balisage incomplet) sur lequel la navigation est avec pilote.	Non
Défauts gênants (poids = 3)		
C-2	Des mesures ont été acquises permettant de déterminer le décalage entre la carte en service et le système WGS84.	Non
C-5	Des éléments de réglementation concernant la sécurité de la navigation ou la protection de l'environnement avec Services de Trafic Maritime, ne figurant pas déjà sur la carte, ont été recueillis par le producteur de données.	Non
C-6	Le levé apporte des informations portuaires présentant des dangers faibles concernant le plan d'eau (implantation des quais, des zones draguées, sondes le long des quais, balisage incomplet) sur lequel la navigation est sans pilote.	Non
Défauts très gênants (poids = 8)		

D-3	Des écarts significatifs en nombre, en position et description du balisage ou des amers ont été mesurés.	Non
D-5	Le nouveau levé étend les possibilités de navigation : définition d'une voie recommandée dans un environnement malsain, définition d'une voie recommandée avec seuil de navigation plus profond que les sondes de la carte marine.	Non
D-7	Des éléments de réglementation concernant la sécurité de la navigation ou la protection de l'environnement sans Services de Trafic Maritime, ne figurant pas déjà sur la carte, ont été recueillis par le producteur de données.	Non
D-8	Le levé met en évidence une évolution significative des fonds ou une densité importante de nouvelles épaves/obstructions.	Oui, une fiche d'exploitation a été émise et des corrections aux cartes marines apportées.

**PIECE JOINTE N°4 :
GUIDE PRATIQUE POUR LA
DIFFUSION DES INFORMATIONS
HYDROGRAPHIQUES**



Guide pratique pour la diffusion des informations hydrographiques



Sécurité et développement

Principes généraux

Le présent guide n'aborde volontairement pas l'information nautique urgente autrement que pour mémoire, mais il a pour vocation, après une présentation de quelques principes généraux, de préciser les informations devant être transmises au Shom et sous quelle forme afin de soutenir au mieux les divers opérateurs maritimes, tout en apportant aux navigateurs des publications les plus à jour.

Ce document est consultable sur le site du Shom : www.shom.fr

L'INFORMATION NAUTIQUE

Le texte organisant l'information nautique en France, conformément aux dispositions fixées par la réglementation internationale et des textes nationaux d'application, est l'instruction du premier ministre relative au recueil, à la transmission et à la diffusion de l'information nautique (n° 228/SGMer du 3 mai 2002 en cours de révision).

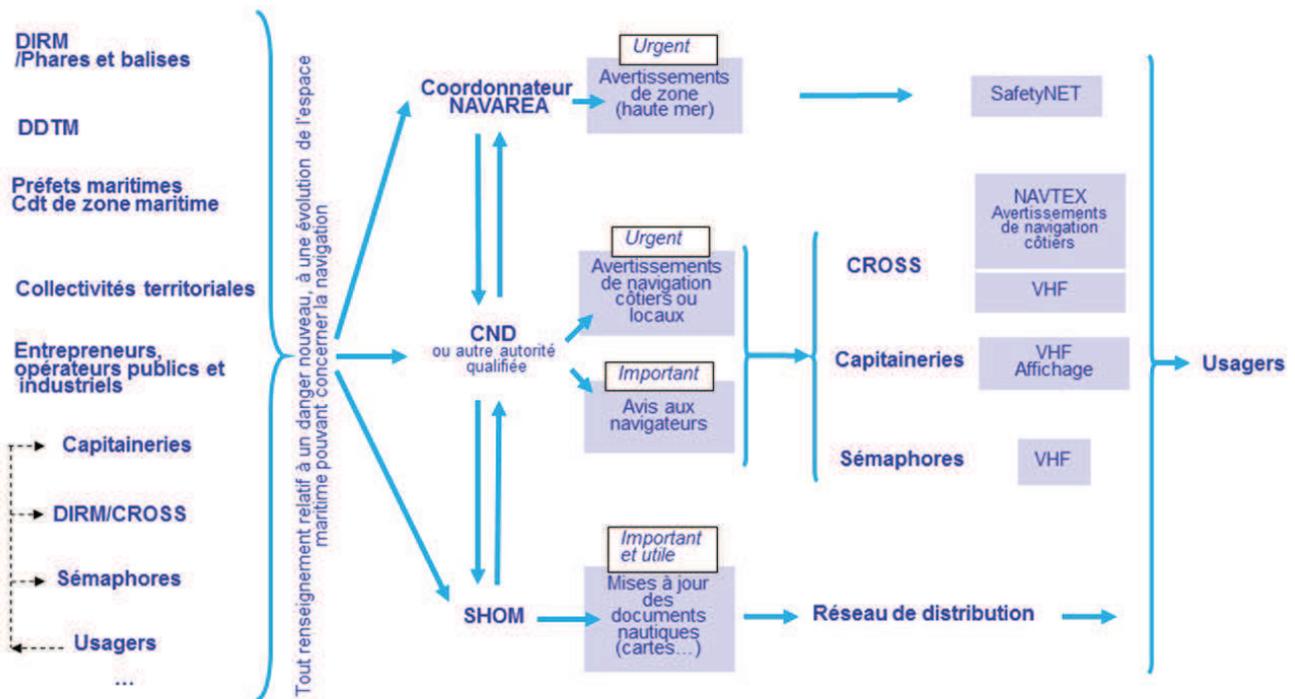
On trouve notamment dans ce texte :

- la définition de l'information nautique : « Une information nautique est un renseignement de sécurité maritime (RSM), nécessaire ou simplement utile (différé) aux navigateurs pour leur permettre d'assurer leur sécurité et celle des autres usagers de la mer, qu'il s'agisse de choisir leur route, de déterminer leur position, de signaler des situations ou des dangers particuliers, de faciliter les secours en cas de besoin, de permettre la meilleure présentation dans les ports et mouillages et de connaître les ressources qu'ils pourront y trouver. L'information nautique désigne également l'action d'informer ».
- la classification :
 - L'information nautique urgente est celle qui conditionne au premier chef la sécurité de la navigation. Elle doit être diffusée par moyens radioélectriques dans les délais les plus courts, en application des dispositions internationales relatives aux renseignements de sécurité maritime (RSM).
 - L'information nautique importante (rapide) est celle qui intéresse la sécurité de la navigation mais dont la diffusion peut être différée dans une assez large mesure, compte tenu de la nécessité de limiter autant que possible le volume des avertissements radiodiffusés. Elle exige néanmoins une diffusion dans des délais appropriés.
 - L'information nautique utile (différée) englobe tous les renseignements utiles au navigateur qui ne présentent aucun caractère d'urgence et dont la diffusion n'est soumise à aucun impératif de délai lié à la sécurité.
- Une liste non exhaustive des renseignements constituant l'information nautique, avec par exemple : la mise en place de nouveaux feux, bouées, signaux ou les avaries survenant à ceux en place, la proximité d'épaves près des routes de navigation, la présence de roches nouvellement découvertes, de zones de dépôts de déblais en cours d'engraissement, la mise en place d'instruments scientifiques, la création, la suspension ou la modification de routes règlementées...). A cette liste, il convient d'ajouter les arrêts locaux (définition de limites administratives, interdictions temporaires ou permanentes de navigation, autorisations particulières), les zones de travaux, les plans d'installations en construction ou achevées, les modifications des aménagements et services du port, etc.

Le Shom est le coordonnateur national de l'information nautique. A ce titre, il est en charge du recueil, du traitement, de la présentation et de la diffusion de cette information, dans les délais correspondant à l'importance et à l'urgence de cette information, et selon des normes définies par les règles internationales. Le Shom délègue en partie cette fonction à des autorités maritimes dépendant pour la

plupart de la Marine Nationale ou des Affaires Maritimes, dans les différentes régions côtières du territoire métropolitain et des collectivités, territoires et départements d'outre-mer. Ces autorités sont les coordinateurs nationaux délégués, et leur action concerne essentiellement l'information nautique urgente.

Le schéma suivant synthétise la circulation de l'information nautique



LE CODE DES TRANSPORTS

Le code des transports définit deux autorités : l'autorité portuaire (article L 5331-5) et l'autorité investie du pouvoir de police portuaire (AIPPP, article L 5331-6). L'AIPPP contribue au recueil, à la transmission et à la diffusion de l'information nautique (article L 5331-8), information nautique qui comprend également les textes et règlements définis précisés à l'article L 5331-10 : règlements particuliers qui complètent les règlements généraux de police, dispositions applicables dans les limites administratives, dans les parties maritimes (y compris dans les zones de régulation) et fluviales.

Le Shom doit être destinataire de cette information nautique, non seulement afin d'en assurer le traitement, mais aussi pour apporter son expertise. Aussi, la donnée obtenue à l'issue d'une action ou d'une réalisation n'est pas la seule recherchée, mais toute information permettant d'anticiper la tenue à jour des documents est appréciée. Cela permet, par exemple, de préparer des nouvelles éditions de cartes avec les données consolidées pour une mise en service le jour même de l'activation de nouvelles mesures d'organisation du trafic, de porter des zones de travaux dans un port aux dimensions des installations futures, et de diffuser les cartes à leur inauguration.

3 LE CODE MINIER

Conformément au code minier (article L413-1), tous les levés effectués en mer ou dans les ports doivent être transmis au Shom, afin qu'il puisse exploiter les renseignements et documents intéressant la sécurité des navigations de surface et sous-marine, la morphologie et la nature superficielle du sol marin, les propriétés physico-chimiques et les mouvements des eaux sous-jacentes.

Le Shom participe ainsi, outre la sécurité de la navigation, à la mise à disposition des navigateurs, mais aussi des autorités, de documents et publications les plus à jour et complets possible, et donc les plus utiles et attractifs.

Productions du SHOM et apports respectifs

1 LES TROIS TYPES D'INFORMATION NAUTIQUE ET LEUR TRAITEMENT

1.1 L'INFORMATION URGENTE

Elle est diffusée par moyens radioélectriques sous la forme de messages dits « avertissements de navigation ». En fonction du domaine de navigation concerné, des avertissements de zone (NAVAREAs), côtiers (AVURNAV) ou locaux (AVURNAV locaux) sont émis. Le Shom est le coordonnateur de la zone NAVAREA II, dans laquelle il assure la diffusion des avertissements urgents de zone, et qui couvre le quart NE de l'Atlantique.

Comme coordonnateur national de l'information nautique, il délègue la responsabilité de la diffusion des avertissements urgents à neuf autorités maritimes appelées coordonnateurs nationaux délégués (commandants des zones maritimes Manche et mer du Nord, Atlantique, Méditerranée, Antilles, Guyane, Sud de l'océan Indien, Nouvelle-Calédonie, Pacifique, Polynésie française et le chef du service des affaires maritimes de Saint-Pierre-et-Miquelon).

Les coordonnateurs nationaux délégués et les autres autorités qualifiées (ports, certains services de trafic maritime -STM, sémaphores) sont chargés de la diffusion des avertissements urgents de navigation locaux. Toutes ces autorités sont tenues de transmettre leurs avertissements côtiers et locaux au Shom.

Ces informations, si elles ont une durée de vie suffisante, voire sont pérennes, peuvent être alors prises en compte par avis temporaire, préliminaire ou permanent, ou bien encore à l'occasion de réédition de cartes ou publications. Le Shom peut donc être amené à demander aux diffuseurs initiaux de ces informations des compléments ou des précisions sur les éléments afin de promulguer des avis et corrections complètes (exemple : un levé complet pour prendre en compte sur les cartes une sonde détectée comme dangereuse à la navigation, nouvelles caractéristiques d'une construction portuaire en cours etc...).

Le site internet du Shom et ceux des coordonnateurs nationaux délégués (listés sur le site du Shom) présentent les avertissements diffusés (diffusion.shom.fr/GAN).

1.2 L'INFORMATION IMPORTANTE (RAPIDE)

L'information nautique importante (rapide) fait l'objet :

- d'une part d'avis aux navigateurs (AVINAV) diffusés par les coordonnateurs nationaux délégués et par d'autres autorités qualifiées ;
- d'autre part de corrections provisoires ou permanentes des cartes et publications nautiques du Shom diffusées dans le Groupe d'Avis aux Navigateurs (GAN) hebdomadaire et dans le dispositif de mise à jour des ENC (cartes électroniques de navigation).

Les AVINAV des coordonnateurs nationaux délégués sont présentés sur leur site internet. Ils reprennent notamment les informations des avertissements déjà transmis par voie urgente.

Les AVINAV diffusés par des autorités autres que les coordonnateurs nationaux délégués sont adressés au coordonnateur national délégué de la région concernée. Tous les AVINAV sont adressés au Shom.

Là encore, le Shom peut également reprendre ces informations pour mettre à jour les cartes et ouvrages nautiques, et donc peut être amené à vous demander des éléments supplémentaires pour rédiger ces corrections.

1.3 L'INFORMATION UTILE (DIFFÉRÉE)

Cette information vous concerne également et se retrouve dans la mise à jour des cartes et publications nautiques du Shom, à l'occasion de nouvelles éditions ou publications. Elle peut émaner de toute autorité ou de tout navigateur et peut reprendre, lorsque l'information est durable, des renseignements transmis par AVURNAV ou AVINAV, ou par avis temporaire ou préliminaire. Le « Guide du Navigateur » donne les indications sur les renseignements recherchés et la présentation à leur donner (voir le tome 1, édition 2012, annexe D).

Le Shom porte l'information (utile) différée à la connaissance des navigateurs dans les rééditions de cartes et ouvrages nautiques annoncées elles aussi dans le Groupe d'Avis aux Navigateurs (GAN) hebdomadaire ou diffusées dans le dispositif de mise à jour des ENC.

LES DONNÉES ATTENDUES PAR LE SHOM AU TITRE DE L'INFORMATION IMPORTANTE (RAPIDE) ET UTILE (DIFFEREE)

Le Shom demande à être informé de toute nouvelle information, si elle survient subitement en raison d'un changement inattendu (naufrage ou perte d'un organe de navire en mer, qui entraîne la création d'une obstruction, sonde nouvelle détectée par sondage ou après un accident, etc...). Toute prévision de changement est également intéressante, afin de diffuser un avis de correction temporaire ou préliminaire pour le couvrir, mais aussi pour préparer les corrections permanentes aux documents ou les nouvelles éditions, afin de les publier à une date au plus proche de celle de la fin de ces travaux.

Le Shom est également demandeur de toute observation que vous seriez amenés à faire après votre lecture critique d'une carte ou d'un document couvrant votre port ou votre zone de responsabilité. Si besoin, vous pouvez demander des extraits de ces publications (na-fra@shom.fr). Les commentaires que vous pourriez faire ne doivent pas seulement couvrir le port lui-même et ses installations, la signalisation etc, mais aussi les services qui y sont implantés (STM, pilotage, douane, lamanage, remorquage, etc) et les approches, hors des limites du port. Ainsi, les publications officielles seront toujours au plus près de la réalité, offrant au navigateur une information complète pour sa sécurité, mais aussi pour la préparation de sa navigation, par une présentation à jour des parties maritime et portuaire de celle-ci.

Livres des Feux et Signaux de Brume

Les Livres des Feux et Signaux de Brume décrivent les dispositifs de signalisation maritime, à terre ou flottant, émettant des signaux lumineux ou sonores (signaux de brume). Les feux secondaires de portée et de puissance faibles, situés à l'intérieur de ports ou de zones où le pilotage est obligatoire et certains dispositifs fluviaux peuvent ne pas être cités ou ne sont décrits que de façon sommaire. Les feux aéronautiques et les feux d'obstacles aériens sont mentionnés lorsqu'ils sont visibles de la mer. Figurent également dans ces ouvrages des renseignements relatifs à certaines aides à la navigation autres que les feux et les signaux de brume : balisage (diurne et nocturne), signaux (signaux de port, de sauvetage, de marée, etc.), aides radioélectriques (radiophares, radar, systèmes de radionavigation, AIS), etc.

Ces livres sont l'objet de corrections hebdomadaires via le GAN, et sont réédités annuellement.

La liste qui suit, calquée sur les huit colonnes descriptives des tables des Livres des Feux et Signaux de Brume, précise les informations à communiquer au Shom en cas de mise en place d'une nouvelle installation. Dans le cas d'une modification, seuls les numéros, nom, position et colonne(s) concernés suffisent :

- colonne 1 : numéros nationaux/internationaux ;
- colonne 2 : région, nom et emplacement ;
- colonne 3 : positions géographiques ;
- colonne 4 : caractéristiques des feux et des signaux de brume ;
- colonne 5 : élévation du foyer (par rapport au niveau moyen de la mer ou niveau moyen des pleines mers de vive-eau) ;

- colonne 6 : portée (nominale, en miles) ;
- colonne 7 : description des structures, voyants, hauteurs ;
- colonne 8 : informations complémentaires (aides colocalisées, perturbations temporaires, etc...).

Les cartes marines

Outre tous les éléments cités précédemment qui sont pris en compte soit par correction, soit par réédition des cartes, tous les développements du port, modifications, nouvelles profondeurs au pied des quais, zones réglementées (nouvelles, abrogées ou modifiées ; à l'intérieur comme à l'extérieur des limites administratives du port) intéressent le Shom, et sont susceptibles d'être également reprises sur les cartes.

Les poses de câbles, de pipelines, les mises en place de structures artificielles (dispositifs de concentration de poisson, récifs, fermes marines etc...) sont également à communiquer au Shom.

Enfin, les constructions à terre, en zone portuaire ou non, et leurs évolutions (construction, agrandissement, démolition) permettent également la mise à jour des cartes, car elles offrent de nouveaux points remarquables pour les navigateurs, influent ou non sur les vents et donc les manœuvres, montrent ou masquent des aides à la navigation.

Une transmission le plus en amont possible de plans officiels géoréférencés, d'imagerie verticale (orthophotos, etc...) ou oblique, de liens vers des portails locaux ou sites montrant les données, d'informations sur la présence d'objets flottants permanents (pontons, dock, ...) et dans tous les cas avec la date d'acquisition de la donnée, offre au Shom la possibilité de préparer en amont les corrections de cartes, voire de les renseigner par des avis temporaires ou préliminaires.

Les données géoréférencées sont à adresser si possible au format HOB, sinon Shape ou DWG (Autocad) afin d'en faciliter l'exploitation.

Les Instructions Nautiques

Ces publications fournissent aux navigateurs, outre les renseignements généraux de la région couverte (géographie, météorologie, océanographie, le(s) pays concerné(s), la navigation, le sauvetage, les signaux, les zones, les règlements, les routes et distances) :

- par sous zone des renseignements complémentaires, mais aussi des instructions pour la navigation, la citation des règlements qui s'appliquent dans cette partie, la description des approches, des ports, des facilités rencontrées, des mouillages, etc... ;
- des extraits des arrêtés et décrets les plus importants appliqués dans la zone couverte par l'ouvrage.

Une lecture critique des Instructions Nautiques, si possible non limitative au seul port mais s'étendant aux approches, et aux grandes données générales permet de les tenir à jour. Les propositions de corrections, argumentées, doivent être adressées au Shom, en précisant à chaque fois la page, le paragraphe et l'alinéa qui sont à modifier.

Des photographies en appui de toute demande sont particulièrement appréciées, car elles permettent d'enrichir les publications, pour offrir aux navigateurs une image la plus à jour du port visité, et leur apporter une meilleure compréhension visuelle de la situation dès l'approche.

Radiosignaux (RSX 93.1, 93.2)

Il convient de vérifier l'ouvrage de radiocommunications portuaires concernant le port ; 93.1 pour les ports de l'océan Atlantique ou 93.2 pour les ports de la mer Méditerranée, des océans Indien, Pacifique et Austral. Ces ouvrages décrivent les services de pilotage, de trafic maritime et de surveillance, et donnent

des informations concernant le port, les terminaux, les infrastructures particulières, etc (zone concernée, contacts, procédures, ...).

Il est important que les nouveaux services ou procédures, et les modifications apportées à ceux qui existent déjà, soient transmis au Shom, si possible avant leur mise en œuvre afin de mettre à jour les cartes et publications concernées et diffuser l'information aussi largement que possible.

Les services de navigation et des procédures utilisées dans le port et ses abords devant être l'objet d'une attention régulière, il est conseillé d'effectuer un examen annuel des publications, avec un regard critique et d'informer le Shom de toutes les modifications nécessaires ou souhaitées, afin de les décrire avec exactitude et le souci de la compréhension optimale par le navigateur primo-accédant au port, et ce quel que soit le type de navire.

Données bathymétriques

Sur les cartes comme dans les ouvrages publiés, le Shom utilise l'information bathymétrique. Celle-ci peut provenir des levés que le Shom effectue ou commande lui-même (bâtiments et vedettes hydrographiques, moyens externes commandités), mais aussi des levés conduits par les autorités responsables (port, département, région) par leurs moyens propres ou des sociétés privées prestataires.

Lorsqu'un levé est effectué par un port ou une société mandatée, il est demandé au commanditaire, avec l'aide du prestataire, de signaler toute observation qui représente un danger pour la navigation, et de la diffuser ou de la faire diffuser selon les circuits prévus. En parallèle, le Shom doit être informé de ces tout premiers éléments, et le levé doit lui être adressé, avec les métadonnées, afin de le prendre en compte sur les cartes et dans les documents.

Lorsqu'un port a un doute sur les données bathymétriques de ses approches, il peut demander au Shom d'effectuer un levé de contrôle. Cette demande sera prise en compte en fonction de tous les autres travaux programmés et leurs priorités respectives.

Dans le cas de zones draguées, il convient d'en distinguer deux types :

- les zones non draguées périodiquement. Dans ce cas il est demandé au port de vérifier si l'information portée sur la carte est correcte, tant du point de vue des délimitations de la zone, de la profondeur, des sondes inférieures qui subsisteraient ou seraient apparues et de la date du dragage. Toute différence doit être signalée sans délai, avec pièces justificatives ;
- les zones draguées périodiquement avec une profondeur entretenue. Le Shom demande que le port s'engage par écrit de cet entretien, avec une précision rigoureuse sur la zone et les cotes, et qu'il l'informe de la date d'achèvement de chaque campagne de dragage.

Le Shom accepte les données bathymétriques dans quasiment tous les formats, mais si possible nettoyées des données parasites, et avant toute division (par maillage ou en pavés). Le format ASCII LGZ/He (ASCII xyz sinon) est celui qui offre la plus grande facilité de traitement. Les données devront avoir été réduites de la marée observée si le levé n'a pas été effectué avec un GPS 3D (la marée observée est disponible gratuitement pour certains ports sur le site data.shom.fr, à l'adresse : <http://data.shom.fr/donnees/refmar>). L'utilisation de la marée prédite doit être évitée, car elle peut être insuffisamment précise.

Enfin, chaque envoi de levé vers le Shom doit être accompagné d'une fiche de métadonnées dûment remplie.