

Non protégé

SHOM



Norme

Mesure des hauteurs d'eau

<http://agora.shom.fr/docQual/2013/NR/NR2013-011>

Etat : Approuvé (à contrôler)

Version : 3

Dernière modification le 2015/11/26 08:19

Editeur
guillaume.voineson@shom.fr
Chef du PE RONIM
le 2014/07/22 14:30

Vérificateur
sandrine.le.jeune@shom.fr
Correspondant qualité de R1 Acquisition
le 2014/09/08 09:28

Approbateur
alain.fourgassie@shom.fr
Directeur de la DTRI
le 2014/09/08 14:05

Liste des documents gérés dans le référentiel documentaire et cités en référence dans le présent document

N°	Identifiant	Titre	Etat	Type
1	PS2014-026	Traitement des mesures de marée par la division MIP	Approuvé (à contrôler)	applicable
2	PG2013-015	Validation des données hydrographiques et océanographiques	Abrogé	applicable
3	NR2011-015	Norme de l'OHI pour les levés hydrographiques (S-44)	Approuvé (à contrôler)	applicable
4	FO2010-034	Fiche d'observatoire de marée	Approuvé	applicable
5	RP2014-004	Répertoire des zones de marée et des zéros hydrographiques sur les côtes métropolitaines	Approuvé	applicable
6	LR2008-005	Systèmes géodésiques et projections officielles en France et dans les DOM et ses modifications	Approuvé	applicable
7	LR2010-023	Convention MF/DIRO/2010/336/00 - N°SHOM 100/2010 : extraction de données Météo observées CLIMATHEQUE	Abrogé	applicable
8	GU2013-006	Base de données des mesures de hauteurs d'eau - Tide DataBase (TDB)	Abrogé	applicable
9	FO2013-025	Feuillet de réduction de sondages	Approuvé (à contrôler)	applicable
10	NR2011-017	Mesure des hauteurs d'eau	Abrogé	version ancienne
11	FO2015-026	Formulaire Fiche de levé	Abrogé	applicable

Liste des documents non gérés dans le référentiel documentaire et cités en référence dans le présent document

[12] Manual on sea level measurement and interpretation ; Intergovernmental Oceanographic Commission, Basic Procedures, Volume 1, 1985, UNESCO

[13] Manual on sea level measurement and interpretation ; Intergovernmental Oceanographic Commission, Emerging Technologies, Volume 2, 1994, UNESCO

[14] Manual on sea level measurement and interpretation ; Intergovernmental Oceanographic Commission, Reappraisals and Recommendations as of the year 2000, Volume 3, 2002, UNESCO

[15] Manual on sea level measurement and interpretation ; Intergovernmental Oceanographic

Commission, An update to 2006, Volume 4, 2006, UNESCO

[16] Global Sea Level Observing System (GLOSS) : implementation plan 2012;
Intergovernmental Oceanographic Commission, Technical Series n°100 # 2012

[17] La marée océanique côtière. Bernard Simon Institut océanographique éditeur - 2007.
Collection «Synthèses» 433 pages

Accès aux pièces externes

A completer

Table des matières

1	Objet de la norme	4
2	Domaine d'application	4
3	Modalités d'application.....	4
4	Références	4
5	Définitions.....	5
6	Abréviations	7
7	Les mesures de hauteurs d'eau.....	8
7.1	Réduction des sondages bathymétriques.....	8
7.2	Analyse de la marée	8
7.3	Rattachement de ports secondaires par concordance.....	9
7.4	Étude des surcotes et décotes	9
7.5	Exploitation directe	9
7.6	Amélioration des modèles de prédiction de marée	9
7.7	Étude de l'évolution à long terme du niveau des mers	9
8	Paramètres de la mesure.....	9
8.1	Lieu d'observation	10
8.2	Durée d'observation.....	10
8.3	Continuité des observations	10
8.4	Cadence d'échantillonnage, durée d'intégration, cadence d'archivage.....	10
8.5	Rattachement à une référence verticale	10
8.6	Précision de la mesure de hauteur d'eau.....	11
8.7	Précision de la datation	11
8.8	Précision de la position horizontale	11
9	Normes de mesure.....	11
9.1	Réduction des sondages bathymétriques.....	11
9.2	Analyse de la marée	13
9.3	Étude statistique des surcotes-décotes et des niveaux extrêmes.....	13
9.4	Amélioration des modèles de marée	14
9.5	Rattachement de ports secondaires	14
9.6	Étude du niveau moyen des mers.....	15
9.7	Systèmes d'avertissement ou d'alerte aux tsunamis et autres risques de submersions marines.....	16
9.8	Modèles de surcotes dans le cadre de l'océanographie côtière opérationnelle (validation, assimilation des observations).....	16
9.9	Evaluation et validation des hauteurs de la surface de la mer déterminées au moyen d'altimètres embarqués sur des satellites.....	17
9.10	Exploitation directe	17
10	Transmission des informations	17

10.1	Protocole de transmission	17
10.2	Contenu du dossier transmis à DOPS/MIP/HYDRO/BRI	19
10.2.1	Marée observée à l'échelle	19
10.2.2	Marée observée avec un marégraphe analogique à flotteur	20
10.2.3	Marée observée avec un marégraphe à capteur de pression	20
10.2.4	Cas des observatoires permanents utilisés lors d'un levé	20
10.3	Protocole de validation des dossiers	21
10.3.1	Observations marégraphiques	21
10.3.2	Feuillet de réduction de sondage	21
10.3.3	Nivellements réalisés par DMGS/IES	21
11	Annexe (normative) : détermination des zéros de référence et de la zone de marée .	23
11.1	Préliminaire	23
11.2	Répertoire des zéros hydrographiques et des zones de marée	23
11.3	Choix du zéro des sondes	23
11.3.1	Cas des levés côtiers - Zéro des sondes des observatoires secondaires	23
11.3.2	Cas des levés au large	26

1 Objet de la norme

Ce document décrit les règles à appliquer au SHOM en matière de mesure in situ des hauteurs d'eau et de traitement des observations correspondantes.

Il définit :

- le vocabulaire ;
- les objectifs de mesure ;
- les normes d'observation (objectif à atteindre en termes de connaissances et de qualité de la connaissance).

Cette norme décline en particulier au SHOM les recommandations des documents en référence externe [12], [13], [14], [15] et [16] de la Commission Océanographique Intergouvernementale.

La réduction des sondages est traitée conformément à la publication de l'OHI en référence [3].

2 Domaine d'application

La norme sur la mesure des hauteurs d'eau est destinée à l'ensemble des responsables de mesures des hauteurs d'eau au SHOM ou travaillant pour ou avec le SHOM.

3 Modalités d'application

Valide dès approbation

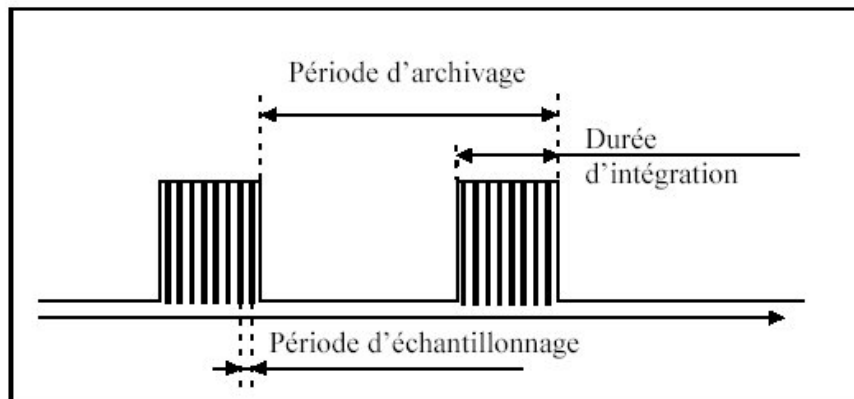
4 Références

Voir page 2

5 Définitions

Cadence d'archivage ou d'enregistrement : temps qui sépare l'enregistrement de deux données consécutives, obtenues par intégration (moyenne) de données instantanées à la cadence fixée par l'opérateur. La cadence d'archivage est toujours supérieure ou égale à la durée d'intégration.

Cadence d'échantillonnage : intervalle de temps entre deux mesures instantanées ;



Concordance : les concordances consistent à rattacher les heures et hauteurs de marée observées en un point appelé port rattaché aux éléments correspondants observés en un autre point, appelé port de référence. On peut alors prédire la marée au port rattaché lorsque la marée au port de référence est connue.

On dit qu'il y a concordance entre la marée de deux ports si chacun des éléments de la marée d'un port dépend uniquement de l'élément correspondant de la marée de l'autre port. Cette méthode permet de choisir le zéro hydrographique d'un port rattaché. Deux zéros sont dits concordants s'ils se correspondent par concordance.

L'inconvénient de cette méthode est que l'on ne dispose généralement pas d'observations au voisinage du zéro, ce qui oblige à procéder par extrapolation, source d'imprécision.

Constantes harmoniques : les prédictions de marée au SHOM sont actuellement réalisées par la méthode harmonique. La méthode harmonique se base sur la représentation de la marée dans le domaine spectral, c'est-à-dire sous la forme d'une somme de composantes périodiques. L'analyse harmonique consiste, à l'aide des observations de marée disponibles, à calculer les constantes harmoniques d'un port à savoir l'amplitude et la situation de chaque composante.

Dérive : variation lente et continue d'une grandeur physique ou d'une caractéristique d'un instrument de mesure ;

Durée d'intégration : durée pendant laquelle l'appareil mesure, à la cadence d'échantillonnage, les grandeurs instantanées ; ces mesures sont ensuite moyennées ; le résultat est affecté à la date correspondant au milieu de la durée d'intégration ;

Échelle de marée : mire graduée en bois ou en plastique (placée le plus verticalement possible) sur laquelle on lit le niveau de l'eau ;

Hauteur d'eau : on appelle « hauteur d'eau » la cote du niveau d'eau à un instant donné et en un point donné ; la hauteur d'eau est mesurée à partir d'une référence verticale, positivement vers le haut.

Marée : la marée (ou marée astronomique) est la variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil, astres dont les mouvements peuvent être calculés avec précision sur des périodes de plusieurs centaines, voire de plusieurs milliers d'années. L'un des buts principaux de l'étude des marées est la recherche des relations existant entre le mouvement des astres et la réponse des océans à l'action de ces forces gravitationnelles afin d'établir des formules de prédiction. Aux mouvements d'allure régulière de la marée se superposent des variations de hauteur d'eau d'origine météorologique et hydrodynamique ; certaines sont régulières (diurnes, saisonnières) et sont incluses dans les prédictions, d'autres sont aléatoires et sont appelées surcotes-décotes.

Marégraphe : instrument de mesure et d'enregistrement automatique des hauteurs d'eau ;

Marégraphe analogique : marégraphe à enregistrement graphique; cet enregistrement continu est appelé « marégramme » ;

Marégraphe numérique : marégraphe à enregistrement numérique échantillonné ;

Métadonnée : information relative aux données ;

Niveau d'équilibre : niveau que prendrait la surface de la mer s'il n'y avait pas d'action de la Lune et du Soleil. Le calcul du niveau moyen sur une longue période est une réalisation du niveau d'équilibre.

Niveau Moyen : si on retranche à la hauteur observée à un instant donné, la marée proprement dite calculée au même instant, on obtient un résidu fonction du temps appelé niveau moyen instantané. La valeur moyenne de cette quantité constitue le niveau moyen. Ce calcul peut se faire sur 24h (niveau moyen journalier), sur un mois (niveau moyen mensuel) ou sur toute autre période.

Observatoire : on appelle *observatoire*, ou *observatoire de marée* une installation composée d'un *marégraphe* ou d'une *échelle de marée* ou d'un ensemble de marégraphes et d'échelles, suffisamment proches les uns des autres pour être situés dans une *zone élémentaire de marée*. Les repères terrestres durables placés afin de conserver les niveaux de référence font partie intégrante de l'observatoire.

Port de référence (de zone de marée) : chaque port secondaire de la zone de marée lui est concordant.

Port principal (de l'annuaire des marées) : port pour lequel les prédictions de marée sont fournies dans l'annuaire des marées.

Port de référence / port rattaché : on appelle port rattaché (ou port secondaire), un port dont les éléments de marée (zéro hydrographique, composantes harmoniques) ont été calculés d'après des observations continues de durée limitée, par concordance avec les observations d'un port de référence. Le port de référence est alors un port, où l'ensemble des éléments de marée (zéro hydrographique, composantes harmoniques) résultent d'observations continues et de longue durée.

Un port de référence est désigné pour chaque zone de marée mais un port secondaire au sens de la zone de marée peut aussi être choisi comme port de référence pour une concordance, une analyse harmonique par la méthode de concordance par espèces ou pour la réduction des sondages avec un modèle de marée.

Repère de marée : des repères (SHOM, IGN ou autres) cotés les uns par rapport aux autres par nivellement géométrique, et rattachés si possible au nivellement général permettent de situer le zéro hydrographique. Les repères de marée font partie intégrante de l'observatoire. Il importe pour assurer la meilleure conservation possible du zéro d'assurer une mise en place judicieuse et durable d'un nombre suffisant de repères de marée (3 au minimum).

Repère fondamental : le repère de marée qui paraît présenter les meilleures garanties de durabilité est appelé « repère fondamental ». Si un repère fondamental a disparu, un autre repère fondamental doit être, soit créé, soit choisi parmi les repères existants.

Repliement de spectre ou Aliasing : phénomène lié à l'échantillonnage des observations. Les composantes périodiques présentes dans le signal de marée dont la fréquence est supérieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage (appelée fréquence de Nyquist) ne peuvent pas être distinguées de celles dont la fréquence est inférieure à la fréquence de Nyquist.

Surcote-décote : différences entre les hauteurs d'eau observées et la marée prédite (marée astronomique théorique) : surcote lorsque le niveau observé est supérieur au niveau prédit, décote sinon.

Zéro instrumental : niveau atteint par l'eau lorsque la lecture sur l'instrument est « zéro ». Le zéro instrumental peut varier à chaque série d'observations et peut ne pas avoir d'existence matérielle.

Zéro hydrographique : on appelle zéro hydrographique ou zéro des cartes marines le niveau de référence commun aux cartes marines et aux annuaires de marée, à partir duquel sont comptées, positivement vers le bas les sondes portées sur les cartes marines et positivement vers le haut les hauteurs d'eau résultant des calculs de marée. L'addition de la sonde et de la hauteur d'eau fournit la profondeur théorique à un instant donné. En France, le zéro hydrographique est théoriquement voisin du niveau de basse mer astronomique extrême.

Zéro des sondes : on appelle « zéro des sondes » ou « zéro de réduction des sondes » au sein des GHO, le niveau de référence à partir duquel sont comptées positivement vers le bas, les sondes et positivement vers le haut les hauteurs d'eau.

Zone élémentaire de marée : on appelle zone élémentaire de marée, une zone où les sondes sont corrigées de la marée observée in situ issue d'un même marégraphe ou corrigées suivant une même méthode (même programme, même modèle, même observation in situ).

Zone de marée : elle est définie par ses limites géographiques, un port de référence où le zéro hydrographique est déterminé et une relation de concordance avec le port de référence pour chaque port secondaire.

6 Abréviations

DORIS	: Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégrés par Satellite
GPS	: Global Positioning System
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
ITRS	: International Terrestrial Reference System
NGF	: Nivellement Général de la France
RGF	: Réseau Géodésique Français
UTC	: Temps Universel Coordonné
DOPS	: Direction des opérations, de la production et des services
BRI	: Bureau Recueil de l'Information (DOPS/MIP/ HYDRO /BRI)
HDC	: Cellule hydrodynamique côtière (DOPS/MIP/ HDC)
TDB	: Tide DataBase : base de données des mesures de hauteurs d'eau du SHOM

7 Les mesures de hauteurs d'eau

La présente norme s'applique aux mesures de hauteurs d'eau destinées à satisfaire les objectifs suivants :

- réduction des sondages bathymétriques ;
- analyse de la marée ;
- rattachement de ports secondaires par concordance ;
- étude des surcotes et décotes ;
- exploitation directe (navigation, calibration...) ;
- amélioration des modèles de prédiction de marée ;
- connaissance du géoïde marin et de son rattachement au géoïde terrestre ;
- étude de l'évolution à long terme du niveau des mers ;
- fonctionnement des systèmes d'avertissement ou d'alerte aux tsunamis et autres risques de submersions marines.

Elle ne s'applique pas à l'étude des phénomènes à très faible période (houle ...).

7.1 Réduction des sondages bathymétriques

Le paragraphe 3.3 de la publication spéciale 44 de l'OHI en référence [3] fixe les conditions dans lesquelles réduire les sondages.

L'objectif visé est la correction des profondeurs mesurées pour en éliminer les composantes variant avec le temps et les ramener à une référence verticale connue et durable, généralement le zéro hydrographique ou le niveau d'équilibre.

Une des solutions consiste à observer au point fixe le niveau de la mer en un point voisin de la zone du levé et situé dans la même zone élémentaire de marée, et à soustraire ces mesures aux sondes mesurées.

Une deuxième solution consiste à utiliser un modèle de calcul de marée au large et à lui appliquer la correction de surcote-décote observée au port de référence.

Une troisième solution est l'utilisation du GPS cinématique pour la réalisation des sondages bathymétriques, qui permet de déterminer directement la cote du fond par rapport à un système de référence cohérent recommandé par la communauté internationale (ITRS). Afin de pouvoir rapporter ces sondages au zéro hydrographique, cette solution nécessite localement de connaître l'écart entre le zéro hydrographique et l'ellipsoïde de référence. Pour des levés au large ou de grande emprise, il est nécessaire d'utiliser la surface BATHYELLI ZH/ell contenant les rattachements entre l'ellipsoïde et le zéro hydrographique en tout points. La surface BATHYELLI ZH/ell est aujourd'hui disponible pour les côtes de France métropolitaine sur le portail data.shom.fr.

Cette correction est baptisée « réduction des sondes ».

7.2 Analyse de la marée

L'objectif de l'analyse de la marée est la détermination des constantes harmoniques de la marée en un lieu ; cette détermination s'appuie sur le traitement de séries temporelles

d'observations du niveau de la mer. Les constantes permettent ensuite la prédiction de la marée en ce lieu. Elles peuvent aussi être utilisées pour le calcul de conditions aux limites et l'ajustement des modèles.

L'ouvrage en référence [17] décrit les méthodes d'analyse de marée employée au SHOM.

7.3 Rattachement de ports secondaires par concordance

Le rattachement d'un port secondaire à un port de référence peut être réalisé par *concordance*. De la prédiction de la marée et de la connaissance du zéro hydrographique au port de référence, on peut alors déduire les éléments caractéristiques de la marée au port secondaire.

7.4 Étude des surcotes et décotes

Les surcotes et décotes présentent un intérêt particulier en matière d'aménagement littoral et de prévention des risques de catastrophe naturelle. La connaissance des niveaux extrêmes atteints par la mer permet en effet de cartographier les zones inondables, ou de dimensionner les ouvrages côtiers. Cette étude peut être menée de manière statistique (étude des périodes de retour) ou déterministe (calage de modèles de surcote/décote). Dans tous les cas, elle s'appuie sur des observations du niveau de la mer.

7.5 Exploitation directe

L'exploitation directe est utilisée pour l'intercomparaison ou la calibration d'instruments (altimètre embarqué sur satellite, etc.) ou pour des objectifs « temps réel » comme la navigation portuaire, la réduction en temps réel des sondages, la gestion des écluses, l'exploitation en temps réel de réseau d'alerte pour les surcotes et décotes ou les tsunamis.

7.6 Amélioration des modèles de prédiction de marée

La marée est de plus en plus modélisée par des modèles numériques hydrodynamiques. L'ajustement des paramètres et le contrôle de ces modèles nécessitent la connaissance de la marée aux limites et en des points judicieusement choisis dans la zone de couverture du modèle.

7.7 Étude de l'évolution à long terme du niveau des mers

Cette étude a pour objectif l'analyse des variations au cours du temps et dans l'espace du niveau de la mer et l'étude de leur corrélation à des phénomènes physiques et climatiques. Elle permet notamment d'étudier :

- des phénomènes interannuels de couplage atmosphère/océan tel que El Niño ;
- des modifications décennales des paramètres climatiques régionaux : champs de pression atmosphérique et vents dominants par exemple ;
- des changements climatiques globaux : variations eustatiques liées à la fonte ou la formation des glaciers sur les continents ;
- l'évolution et la protection à long terme des zones inondables (polders et deltas).

8 Paramètres de la mesure

Les paramètres pertinents en matière de mesure des variations des hauteurs d'eau sont :

- le lieu d'observation ;
- la durée d'observation ;
- la continuité de l'observation ;
- la cadence d'échantillonnage ;
- la durée d'intégration ;
- la cadence de l'archivage ;
- le rattachement à une référence verticale ;
- la précision de la mesure de hauteur ;
- la précision de la datation ;
- la précision de la position horizontale.

Les règles décrites ici s'appliquent à la valeur finale de chacun des paramètres indépendamment de la manière dont ils sont obtenus.

8.1 Lieu d'observation

L'observation peut être réalisée en un point du littoral ou au large.

8.2 Durée d'observation

La durée des observations dépend de l'objectif visé ; si des durées très courtes (quelques minutes ou quelques heures) sont admissibles pour des applications particulières (réduction des sondages, navigation portuaire...), la plupart des applications nécessitent des périodes d'observation de plusieurs semaines, parfois plusieurs années, voire plusieurs décennies.

8.3 Continuité des observations

Les mesures seront autant que possible continues pendant la durée d'observation (cette durée dépend de l'objectif de la mesure comme indiqué au paragraphe 9).

Il convient de plus de ne pas multiplier les mises en œuvre successives d'instruments lorsque l'installation d'un unique marégraphe couvrant la période d'observation est possible.

8.4 Cadence d'échantillonnage, durée d'intégration, cadence d'archivage

En général, les mesures archivées à une cadence donnée (dite cadence d'archivage) sont des mesures intégrées sur une période donnée (durée d'intégration), sur un certain nombre d'échantillons de mesures instantanées (réalisées à la cadence d'échantillonnage).

La durée d'intégration et la cadence d'archivage déterminent le spectre des signaux accessibles à la mesure (théorème de Shannon et critère de Rayleigh).

8.5 Rattachement à une référence verticale

Les mesures de hauteur d'eau sont rapportées à une référence verticale. [Ce rattachement peut se faire par tirants d'air, lectures à l'échelle, concordance en hauteur ou mesures GNSS.](#)

Cette référence peut être :

- matérielle, comme un repère rattaché au réseau de nivellement terrestre proche de l'observatoire ;
- virtuelle, comme un ellipsoïde.

Les références effectivement utilisées sont diverses (ellipsoïde, géoïde, nivellement terrestre, repères terrestres, zéro hydrographique). Il convient de distinguer les références fondamentales dont les qualités premières doivent être l'accessibilité et la stabilité (ce sont par exemple les repères terrestres ou l'ITRS) et les références déduites dont font partie le zéro hydrographique et les systèmes de référence altimétriques terrestres. En France, les systèmes de référence altimétriques terrestres en vigueur sont fixés par le décret en référence [7].

8.6 Précision de la mesure de hauteur d'eau

Dans la précision, il faut distinguer les erreurs systématiques et les erreurs aléatoires stationnaires. Ces dernières n'ont en général que peu d'incidence sur les résultats de l'analyse harmonique : par exemple une résolution de 10 cm (erreur +/- 5cm) est insensible sur les résultats d'une analyse harmonique d'une marée telle que celle de Brest.

La précision de la mesure individuelle pour les diverses applications est donnée au paragraphe 9.

8.7 Précision de la datation

Cette précision prend en compte dans le cas général :

- l'identification sans ambiguïté de la référence de temps ;
- la précision du rattachement à la référence (UTC, normalement) ;
- la précision et la dérive de l'horloge de l'instrument de mesure.

8.8 Précision de la position horizontale

Compte tenu des caractéristiques spatio-temporelles des phénomènes à l'origine des variations du niveau de la mer concernées par cette norme, et des cadences d'échantillonnage habituellement nécessaires, la précision de la position horizontale du point de mesure n'est généralement pas critique. Dans tous les cas, cette position doit être rapportée explicitement à un système géodésique identifié (à défaut, à une carte).

9 Normes de mesure

Chaque objectif demande des exigences spécifiques sur les paramètres de mesure. Lorsque plusieurs objectifs sont poursuivis simultanément, les exigences à satisfaire pour chaque paramètre sont fixées par l'objectif le plus contraignant.

La précision finale de la cote mesurée inclut l'incertitude sur la mesure des hauteurs d'eau, les incertitudes liées aux mesures de rattachement à la référence verticale mais aussi à d'autres paramètres propres aux méthodes de mesure telle que la densité de l'eau, la célérité du son dans l'air, la pression atmosphérique, ...

Toutes les précisions indiquées ici sont à 95%.

9.1 Réduction des sondages bathymétriques

La précision visée pour les profondeurs est définie par les normes en vigueur en matière de bathymétrie ; généralement, ces normes définissent un bilan global d'erreur admissible,

incluant l'erreur due à la mesure des hauteurs d'eau, mais aussi d'autres paramètres comme la correction de célérité du son dans l'eau, par exemple.

La précision sur la mesure individuelle de marée (indiquée dans le tableau) est déduite des imprécisions sur les corrections à apporter à la mesure. Les corrections dont il est question sont les corrections de température, de salinité et de pression atmosphérique, qu'il convient par conséquent de mesurer avec soin.

Les corrections à apporter aux sondes au large, sont calculées à l'aide des modèles de réduction des sondes. Il appartient au responsable technique du levé de vérifier et de s'assurer de la validité des corrections issues du modèle. Cette validité de la réduction de marée sera par exemple recherchée au niveau des points de croisements ou recouvrements de profils espacés dans le temps.

En l'absence d'indications plus précises, on pourra adopter les paramètres ci-dessous, le respect de ces paramètres sera recherché pour des mesures effectuées à l'échelle de marée ou à la sonde lumineuse et destinées à réduire des sondages de courte durée.

Lieu d'observation	La mesure peut être réalisée : - en un point situé dans une zone élémentaire de marée de la zone de sondage pour laquelle cette observation est directement utilisée pour la réduction du sondage ; - dans un port situé au voisinage du sondage et dans une zone où les effets météorologiques (surcotes) sont assimilables à ceux du sondage si un modèle de marée au large est utilisé. Ce port est alors appelé port de référence pour le levé de la zone élémentaire de marée en question.
Durée des observations	La durée des observations peut être limitée à la durée des levés, sauf si le marégraphe doit être rattaché par concordance (voir § 9.5)
Continuité des observations	Aucune contrainte sur la continuité des observations, sauf si le marégraphe doit être rattaché par concordance (voir § 9.5)
Cadence d'échantillonnage	1 seconde
Période d'intégration	Les phénomènes à courte période étant très localisés (houle), il est inutile de les observer si la hauteur d'eau n'est pas observée à partir du bâtiment en sondage. En l'absence de phénomènes particuliers la période d'intégration est fixée à 2 minutes.
Cadence d'archivage	5 ou 10 minutes
Référence verticale	zéro de réduction des sondes ou zéro hydrographique
Rattachement à la référence verticale	5 cm
Précision de la mesure individuelle	Selon l'immersion du marégraphe : ■ 5 cm entre 0 et 10m ; ■ 0,5 % au delà de 10 m
Précision absolue de la datation	mieux que 1 minute
Précision de la position hori-	Mieux que le dixième de minute en longitude et latitude

zontale	
---------	--

9.2 Analyse de la marée

Lieu d'observation	Au voisinage immédiat du port ou de la zone où la marée doit être prédite.
Durée des observations	Dans un port de référence (analyse harmonique) : une année minimum, durée optimale 19 ans (seul 1 mois d'observation est requis au minimum pour un port de référence disposant déjà d'une année validée d'observation). Dans un port secondaire (analyse par la méthode de concordance par espèces) : 1 à 4 mois avec des observations simultanées dans un port de référence disposant de constantes harmoniques calculées sur plus d'une année. A défaut on recherchera pour un port secondaire une durée d'observation supérieure à un mois la plus longue possible.
Continuité des observations	Lacunes inférieures à 1/10 ^{ème} de la durée d'observation
Cadence d'échantillonnage	1 seconde
Durée d'intégration	2 ou 4 minutes selon que le site est protégé ou au large
Cadence d'archivage	5 ou 10 minutes
Référence verticale	Zéro hydrographique
Rattachement à la référence verticale	Mieux que 5 cm
Précision de la mesure individuelle à 95 %	Mieux que 1 cm
Précision de la datation	10 secondes
Précision de la position horizontale	Mieux que le dixième de minute en longitude et latitude

9.3 Étude statistique des surcotes-décotes et des niveaux extrêmes

Pour une étude statistique, l'idéal est de disposer d'observations précises sur une longue durée (supérieure à une vingtaine d'année) ; la détermination des probabilités en un lieu où l'on ne dispose que d'observations sur une courte durée (mais supérieure à un mois) ne peut être réalisée que si des observations simultanées en un port de référence proche ont été effectuées. La précision requise pour ces études est identique à celle requise pour l'analyse de la marée.

Lieu d'observation	Des observations régulièrement réparties sur la côte (au maximum espacées de quelques dizaines de kilomètres, si possible plus rapprochées dans les zones complexes au plan hydrodynamique ou météorologique, ou au voisinage des zones d'aménagement littoral, ou au voisinage des côtes basses).
Durée des observations	Supérieure à une vingtaine d'années

Continuité des observations	Lacunes inférieures à 1/10 ^{ème} de la durée d'observation
Cadence d'acquisition	Voir « Analyse de la marée »
Durée d'intégration	Voir « Analyse de la marée »
Cadence d'échantillonnage	Voir « Analyse de la marée »
Référence verticale	Réseau de nivellement national (RGF...)
Rattachement à la référence verticale	Voir « Analyse de la marée »
Précision de la mesure individuelle	Voir « Analyse de la marée »
Précision de la datation	Voir « Analyse de la marée »
Précision de la position horizontale	Voir « Analyse de la marée »

9.4 Amélioration des modèles de marée

Lieu d'observation	Choisi en fonction de la zone et du modèle : frontières, zones de faible courant...
Durée des observations	1 mois minimum La durée requise pour l'analyse de la marée sera néanmoins recherchée.
Continuité des observations	Observation continue
Cadence d'échantillonnage	1 seconde
Durée d'intégration	2 à 4 minutes
Cadence d'archivage	1 heure
Référence verticale	Niveau d'équilibre
Rattachement à la référence verticale	Mieux que 10 cm
Précision de la mesure individuelle	1 cm
Précision de la datation	10 secondes
Précision de la position horizontale	Dixième de minute en longitude et en latitude

9.5 Rattachement de ports secondaires

Lieu d'observation	Au voisinage immédiat du port ou de la zone où la marée doit être prédite
Durée des observations	La durée minimale indispensable au tracé des graphiques de concordance est de 15 jours comportant une période de forte vive-eau (coefficient de marée supérieur à 100).

Continuité des observations	L'observation continue est souhaitable
Cadence d'échantillonnage	Voir « analyse de la marée »
Durée d'intégration	Voir « analyse de la marée »
Cadence d'archivage	Voir « analyse de la marée »
Référence Verticale	Zéro hydrographique
Rattachement à la référence verticale	Voir « analyse de la marée »
Précision de la mesure individuelle	Voir « analyse de la marée »
Précision de la datation	Voir « analyse de la marée »
Précision de la position horizontale	Voir « analyse de la marée »
Divers	Le rattachement d'un port secondaire suppose que des observations soient réalisées simultanément dans un port principal, avec au moins les mêmes paramètres.

9.6 Étude du niveau moyen des mers

Lieu d'observation	Un observatoire dédié à l'étude du niveau des mers devrait être implanté dans un site non perturbé par des effets hydrodynamiques côtiers au voisinage d'un point rattaché à un système global (ITRF)
Durée des observations	Un tel observatoire doit être permanent
Continuité des observations	Les observations doivent être continues, notamment pour permettre la détection des anomalies (enfouissement de l'instrument, etc..)
Cadence d'échantillonnage	1 seconde
Durée d'intégration	15 minutes
Cadence d'archivage	Une heure ou moins
Référence verticale	Système de référence mondial (ITRF, etc.) ou géocentrique
Rattachement à la référence verticale	<p>➔ Nivellement : 1mm/km</p> <p>➔ Rattachement du capteur (zéro instrumental) : meilleur que 2cm</p>
Précision de la mesure individuelle	Mieux que 1 cm
Précision de la datation	Meilleure que 5 minutes
Précision de la position horizontale	Mieux que le dixième de minute en longitude et en latitude
Divers	Un observatoire dédié à l'étude du niveau des mers doit normalement être équipé d'un ou plusieurs systèmes de localisation précis permettant de suivre les mouvements

	de la référence verticale avec une précision inférieure à 2cm (système de géodésie spatiale : DORIS, GPS...)
--	--

9.7 **Systèmes d'avertissement ou d'alerte aux tsunamis et autres risques de submersions marines.**

Lieu d'observation	Le lieu d'observation est choisi de façon à permettre la détection des phénomènes à observer.
Durée des observations	Un tel observatoire doit être permanent
Continuité des observations	Les observations doivent être continues
Cadence d'échantillonnage	1 seconde
Durée d'intégration	15 secondes maximum
Cadence d'acquisition	1 minute maximum
Délai de transmission	Cette durée dépend du temps critique pour l'avertissement ou l'alerte. Le délai peut descendre à 5 minutes dans le cas le plus contraignant (tsunamis en Méditerranée).
Référence verticale	La référence verticale n'est pas une contrainte pour cette application (détection d'une surélévation ou d'un abaissement relatifs)
Rattachement à la référence verticale	/
Précision de la mesure individuelle	Mieux que 1 cm
Précision de la datation	Mieux que 10 secondes.
Précision de la position horizontale	Mieux que le dixième de minute en longitude et en latitude
Divers	Les moyens de transmission temps réel utilisables sont Internet (ADSL ou GPRS), satellite (Inmarsat) ou le système mondial de télécommunication (SMT) de l'organisation météorologique mondiale (OMM). Un risque sismique peut conduire à rechercher une transmission satellite à la place d'une transmission par Internet.

9.8 **Modèles de surcotes dans le cadre de l'océanographie côtière opérationnelle (validation, assimilation des observations).**

Les contraintes de durée d'intégration, de cadence d'acquisition, de mise à disposition dépendent des modèles opérés. Une mise à disposition 4 fois par jour peut être suffisante.

Le lieu d'observation peut être choisi en considérant l'emprise et la maille du modèle à valider.

La mise à disposition peut être opérée par ftp et une transmission par satellite n'est pas requise.

Le référencement vertical est nécessaire, le rattachement au zéro hydrographique est suffisant pour obtenir une surcote observée ou une élévation par rapport au niveau moyen.

9.9 Evaluation et validation des hauteurs de la surface de la mer déterminées au moyen d'altimètres embarqués sur des satellites.

L'observatoire permanent doit se situer sur une trace satellite ou à son voisinage immédiat.

Les mesures de hauteurs d'eau doivent être rattachées à l'ellipsoïde et la stabilité absolue du site doit être assurée. Un GPS permanent est colocalisé avec le marégraphe sur l'observatoire de marée.

9.10 Exploitation directe

La précision à atteindre ne dépend que de l'application visée.

Pour la calibration d'instruments, la précision recherchée est en général équivalente à celle nécessaire pour l'étude des variations à long terme du niveau de la mer. Pour les autres applications, la précision recherchée pour la réduction des sondages suffit normalement.

10 Transmission des informations

Les dispositions ci-dessous complètent ou précisent les dispositions du document en référence [2] qui s'appliquent en priorité.

10.1 Protocole de transmission

Un dossier de marée est constitué par le groupe à la suite de toute observation de marée. Il est envoyé à [DOPS/MIP/HYDRO/BRI](#).

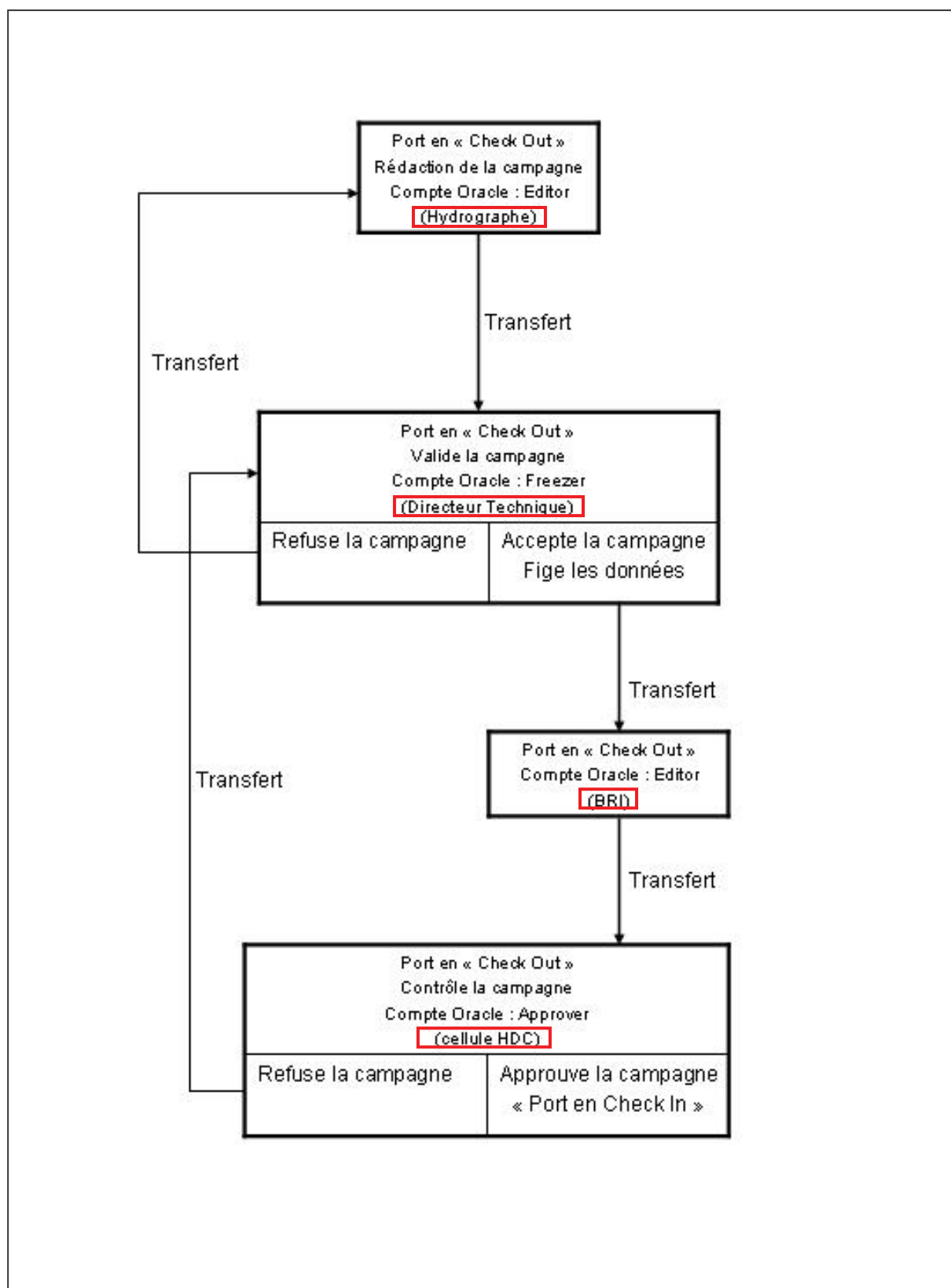
Le cas échéant, le groupe peut demander, avant l'achèvement de la rédaction des dossiers de marée, le concours de [DOPS/MIP/HDC/TI](#) (par l'intermédiaire de BPS – bp@shom.fr) pour la détermination du zéro des sondes ou du zéro hydrographique, le calcul de constantes harmoniques et la mise à jour de modèles de marée, si cela est justifié.

La mise en service de la base de données des mesures de hauteurs d'eau Tide Database, TDB, nécessite de préciser le format des données transmises selon qu'elles proviennent du GOP ou du GHA/GOA :

- Pour le GOP, le dossier de marée complet est transmis à [DOPS/MIP/HYDRO/BRI](#), en même temps que l'ensemble du chantier.

- Pour le GHA et le GOA, le protocole de transmission des données [marégraphiques et méta-données associées](#) par l'intermédiaire de TDB, correspond au schéma suivant, et est décrit en référence [9]. [Les autres pièces du dossier sont livrées en même temps que le reste du chantier dans le cas où ce dernier contient d'autres mesures que de la marée \(bathymétrie, informations nautiques,...\)](#).

En parallèle du workflow TDB, un compte rendu de conformité Marée est renseigné par HDC et transmis au BRI (copie GHO) dès la fin de la validation de la campagne pour qu'il soit ensuite archivé (validation définitive) ou redirigé vers les groupes (corrections à effectuer).



Le circuit de validation (Workflow) : de la rédaction à la validation d'une campagne

Après avoir reçu la validation du directeur technique puis l'expertise du département HDC, les observations de marée et métadonnées associées intégrées dans la base de données TDB sont approuvées et validées via le workflow par le chef de la cellule [DOPS/MIP/HDC/TI](#), ou

par interim le chef de département [DOPS/MIP/HDC](#). Cette validation se fait de manière indépendante de la décision de validation du levé bathymétrique complet.

10.2 Contenu du dossier transmis à [DOPS/MIP/HYDRO/BRI](#)

Le dossier à transmettre à [DOPS/MIP/HYDRO/BRI](#) pour traiter des mesures de marée comprend toujours :

- le projet de fiche de levé dont le formulaire est en référence [6] (pièce 1) comprenant le nombre de fiches d'observatoire de marée rédigées, et la référence du rapport particulier s'il existe. Ce document est livré en même temps que le reste du chantier dans le cas où ce dernier contient d'autres mesures que de la marée (bathymétrie, informations nautiques,...) ;
- les données [marégraphiques](#) et métadonnées [associées](#) sont renseignées sous TDB et transmises au BRI dès que possible.

En raison de l'absence de connexion entre la BDD TDB et le GOP, ce dernier transmet, en même temps que le reste du chantier, la fiche d'observatoire de marée (pièce 2) dont le modèle téléchargeable est disponible dans le référentiel documentaire (cf. référence [4]), sous un format numérique pdf signé et au format numérique Word (.doc). [De même les résultats, fournis par le pôle géodésie, du traitement GNSS des repères de marée stationnés seront transmis au format .txt pour être intégrés dans TDB.](#)

- s'il existe, un rapport particulier (pièce 3), livré en même temps que le reste du chantier si ce dernier concerne d'autres mesures que de la marée (bathymétrie, informations nautiques,...), décrivant [pour ce qui concerne la marée](#) :
 - o les opérations réalisées et leurs objectifs (dates des mesures et méthode de calage),
 - o le zéro de réduction des sondes et/ou les modèles utilisés,
 - o les éventuelles difficultés rencontrées,
 - o la référence des instructions techniques prescrivant les observations,
 - o et plus généralement toutes les informations susceptibles de permettre ou faciliter la validation, la qualification ou l'exploitation des observations (par exemple, la constatation du déplacement du marégraphe).

Toutes ces informations doivent figurer également dans le commentaire DT renseigné sous TDB [ou dans la FOM](#) afin qu'elles soient vues lors de la validation par HDC.

Le contenu du dossier dépend ensuite du type d'instrumentation mis en œuvre. Il est détaillé dans les paragraphes ci-dessous pour les autres pièces à fournir.

Le contenu de ce dossier doit permettre à HDC/TI d'effectuer l'analyse des mesures (analyse harmonique, mise à jour de modèles de marée, calcul de valeurs caractéristiques).

Les pièces ci-dessous sont à insérer au dossier de marée.

10.2.1 Marée observée à l'échelle

Dans ce cas, l'observation est généralement limitée aux périodes couvrant les séances de sondage et n'est pas continue. Elle est utilisée pour réduire les sondes et éventuellement pour effectuer la concordance avec le port de référence, mais ne permet pas l'analyse mathématique de la marée.

- Pour le GOP : Un fichier numérique comportant les hauteurs d'eau lues, la valeur du fruit de l'échelle et les hauteurs corrigées utilisées pour la réduction des sondes, les heures d'observation et le système horaire d'observation ;

- Pour le GHA et GOA : Le fichier numérique des hauteurs d'eau corrigées est intégré dans TDB (manual height) sous une campagne individuelle pour le GHA et GOA.

10.2.2 Marée observée avec un marégraphe analogique à flotteur

- Voir les versions antérieures de la présente norme.

10.2.3 Marée observée avec un marégraphe à capteur de pression

- Pour le GHA et le GOA : le fichier .xml issu du traitement par TIMICA, [renseigné des métadonnées avec « MAREE_Metadonnees »](#), est intégré dans TDB (measurement set), [ce fichier contient](#) toutes les mesures (hauteurs d'eau, pression atmosphérique, tirants d'air,...).
- Pour le GOP :
 - [le fichier .xml issu du traitement par TIMICA, correctement renseigné des métadonnées avec « MAREE_Metadonnees »](#);
 - les fichiers numériques [utilisés pour le traitement par TIMICA](#).

NOTA : pour les fichiers numériques, il est important de préciser la version et le logiciel utilisés pour l'exploitation des données.

10.2.4 Cas des observatoires permanents utilisés lors d'un levé

Un certain nombre d'observatoires de marée permanents sont entretenus soit par le SHOM (projet RONIM) soit par d'autres organismes (Services maritimes, Grands ports maritimes, Marine Nationale, Collectivités locales,...).

Lorsqu'un MCN du SHOM est utilisé pour un levé et que le groupe n'a pas procédé à des travaux permettant de rédiger une fiche d'observatoire, il convient au minimum de rédiger [le feuillet réduction de sondage en référence \[10\]](#). Ce [feuillet](#) sera [inséré](#) par HDC dans la campagne TDB qui aura été spécifiée par le GHO. Il reste néanmoins nécessaire de procéder autant que possible à un contrôle à la sonde lumineuse de l'instrument MCN utilisé pour la réduction : ce contrôle sera transmis [à HDC](#) via le formulaire .xls en vigueur pour intégration dans TDB.

A l'occasion d'un levé hydro-océanographique, les directeurs techniques des groupes sont amenés à se procurer les enregistrements de marée de ces observatoires pour effectuer les concordances nécessaires à la détermination ou au contrôle du zéro de réduction des sondes et pour réduire les sondages de la marée observée.

On distingue deux types de marégraphe :

- les marégraphe analogiques tels que les marégraphe à flotteur ; après exploitation, ces enregistrements (marégrammes) sont rendus à l'organisme responsable de l'observatoire ;

- les marégraphes numériques tels que les MCN du réseau RONIM ; cette condition de retour ne se pose pas.

Au dossier de marée transmis au BRI s'ajoutent :

- le listage des lectures de contrôle (à l'échelle ou à la sonde lumineuse) et des hauteurs d'eau enregistrées par le marégraphe aux mêmes instants, les écarts entre les lectures de contrôle et les hauteurs d'eau enregistrées par le marégraphe, la moyenne et l'écart-type des écarts observés ;
- dans le cas des marégraphes analogiques, la liasse des marégrammes accompagnés chacun de sa fiche de contrôle (ne pas oublier de préciser le système horaire utilisé en UT+ XX) ;
- les fichiers numériques des données et métadonnées dans le cas des marégraphes numériques n'appartenant pas au SHOM.

10.3 Protocole de validation des dossiers

10.3.1 Observations marégraphiques

Lorsque l'observation des hauteurs d'eau a eu lieu dans le cadre d'un levé bathymétrique effectué par le GHA ou le GOA, la transmission et la validation de la campagne TDB se fait dès la fin de la rédaction des données de marée.

La fiche de levé et le rapport particulier seront transmis plus tard et simultanément aux opérations analogues concernant la bathymétrie. Il est donc important que les éléments de marée du rapport soient issus de ceux renseignés dans le commentaire DT de TDB et validés par HDC. A la réception du rapport particulier, le BRI vérifiera la cohérence entre les informations présentes dans ce dernier et celles validées par HDC figurant dans la campagne TDB correspondante. Cette vérification conditionnera la décision de validation du levé.

Après avoir reçu la validation du directeur technique puis l'expertise du département HDC, les observations de marée et métadonnées associées intégrées dans la base de données TDB sont approuvées et validées via le workflow par le chef de la cellule [DOPS/MIP/HDC/TI](#), ou par interim le chef de département [DOPS/MIP/HDC](#). Cette validation se fait de manière indépendante de la décision de validation du levé bathymétrique complet.

Lorsque l'observation des hauteurs d'eau a eu lieu dans le cadre d'un levé bathymétrique effectué par le GOP, les opérations de transmission et de validation se font simultanément aux opérations analogues concernant la bathymétrie.

10.3.2 Feuillet de réduction de sondage

Dans certains cas, sur demande des GHO, il est souhaitable que les mesures marégraphiques soient validées par HDC avant de réaliser la réduction de sondage (rédaction avec l'algorithme CUBE, marégraphes renversés,..). La campagne de mesures de marée rédigée par le GHO est alors validée sans information sur la réduction de sondage. Dans ce cas, le feuillet de réduction de sondage, en référence [10], est alors transmis au BRI, sous format numérique, lors de la validation du levé, pour être contrôlé et inséré par HDC dans la campagne TDB qui aura été spécifiée par le GHO.

10.3.3 Nivellements réalisés par DMGS/IES

Lors de l'installation ou du contrôle d'un MCN, le personnel de DMGS/IES est amené à réaliser des opérations de nivellement de certains repères de marée liés au marégraphe. A ce titre, le personnel de DMGS/IES intervenant sur les MCN a reçu une formation au nivellement avec l'école du SHOM et veille à conserver cette compétence. D'autres informations (contrôles manuels, photos, contacts, commentaires,...) peuvent également permettre de mettre à jour de la fiche d'observatoire de marée.

Dès le retour de mission, un compte rendu d'intervention est rédigé par DMGS/IES et transmis avec l'ensemble des informations collectées à HDC, qui se charge de les vérifier puis les intégrer dans la base de données TDB. Toute opération de nivellement fera l'objet d'un cahier de nivellement qui permettra à HDC de valider et archiver les résultats.

11 Annexe (normative) : détermination des zéros de référence et de la zone de marée

11.1 Préliminaire

« la cote du zéro hydrographique dans chaque zone de marée est définie par le SHOM dans les systèmes de référence géographiques, planimétriques et altimétriques » conformément au décret n° 2006-272 du 3 mars 2006 en référence [7]. En conséquence, les zéros hydrographiques sont publiés annuellement par le SHOM dans le produit « références altimétriques maritimes » sur Internet.

Pour chaque point d'observation est définie une zone élémentaire de marée qui a un zéro hydrographique unique et les mêmes constantes de concordance avec le port de référence. De nouvelles observations et une nouvelle concordance dans une zone élémentaire de marée n'impliquent pas (sauf détection d'erreur flagrante) la remise en cause de la détermination du zéro hydrographique, et des constantes de concordance afférentes.

11.2 Répertoire des zéros hydrographiques et des zones de marée

Les zones de marée sont décrites dans le répertoire en référence [5].

La plupart des ports de référence choisis sur les côtes métropolitaines possèdent un observatoire de marée permanent. Leurs zéros hydrographiques résultent à la fois de la tradition et d'observations de longue durée. L'évolution du niveau moyen de la mer et de l'amplitude de la marée peut conduire à changer un zéro hydrographique.

L'ensemble des fiches d'observatoire de marée et des informations concernant les zones élémentaires de marée est disponible sous TDB et les archives papier consultables auprès de [MIP/HDC](#) (notamment pour certaines photos peu lisibles après le scan).

11.3 Choix du zéro des sondes

Dans les zones où un zéro hydrographique (ou un zéro des sondes) a déjà été adopté, celui-ci doit en règle générale être conservé lors des travaux ultérieurs, sauf erreur ou discordance supérieure à 0,15 m. Les observations sont cependant toujours conduites de façon à contrôler la validité du zéro hydrographique (ou du zéro des sondes) existant.

Lorsque le zéro des sondes n'a pas encore été choisi ou doit être repris, il incombe au directeur technique de la mission d'en faire le choix. La détermination faite est contrôlée a posteriori par [MIP/HDC](#). Plusieurs cas doivent être distingués.

11.3.1 Cas des levés côtiers - Zéro des sondes des observatoires secondaires

Cas général

Le zéro est choisi en concordance avec le zéro hydrographique du port de référence.

Pour chaque observatoire secondaire est définie une zone élémentaire de marée à l'intérieur de laquelle les sondes sont directement corrigées de la marée rapportée à ce zéro.

Lorsque la configuration de la côte et les moyens du groupe ne permettent pas l'installation d'un nombre suffisant d'observatoires secondaires pour assurer le recouvrement des différen-

tes zones élémentaires de marée afférentes, on a recours à des formules d'interpolation discrètes (traitement manuel) ou continues (traitement automatique) basées sur une combinaison des différentes marées observées rapportées aux différents zéros de réduction des sondes adoptés pour chaque zone. Ces formules qui représentent la variation progressive du régime de la marée et/ou le contour des zones d'utilisation doivent figurer à la fois dans les fiches d'observatoire de marée et sur les minutes d'écriture.

L'application de la règle précédente pourrait conduire à déterminer à l'occasion de chaque levé un nouveau zéro de réduction des sondes, et également par voie de conséquence de nouvelles zones élémentaires de marée.

Pour éviter les inconvénients de changements trop fréquents, on appliquera les règles suivantes :

- 1) Toute observation de la marée effectuée localement pour les besoins d'un levé donnera lieu obligatoirement à l'établissement d'une concordance en hauteur entre la marée locale et la marée du port de référence. La concordance en heures est facultative, mais conseillée dans la mesure où elle constitue un élément de décision quant au choix des zones élémentaires de marée.
- 2) Si le zéro traditionnel est perdu, ou s'il n'a jamais existé, on déterminera le zéro des sondes à partir de la concordance établie ci-dessus. Le zéro des sondes déterminé de cette manière devient, après accord de la DOPS, le zéro hydrographique établi provisoire.
- 3) Si le zéro antérieur est retrouvé par des repères valables, on distinguera les deux cas suivants selon les résultats de la concordance avec le port de référence :
 - l'écart entre le zéro ancien retrouvé et le zéro déduit de la concordance est inférieur à 0,15 m : on conservera le zéro ancien, l'écart observé étant de l'ordre de la précision du sondage et de la concordance ;
 - l'écart est égal ou supérieur à 0,15 m : le zéro sera alors en principe changé pour être remis en concordance avec le port de référence, mais seulement après accord de la DOPS, ce dernier étant le seul à posséder un historique des divers zéros utilisés localement et à pouvoir comparer les précisions anciennes et nouvelles.
- 4) Les « zones élémentaires de marée » traditionnelles relatives à un observatoire secondaire ne doivent pas être modifiées sauf si l'on détecte par de nouvelles observations une erreur manifeste entraînant sur la sonde des erreurs supérieures ou égales à 0,15 m. Comme précédemment, la modification du contour d'une zone élémentaire de marée est soumise à l'accord de la DOPS.

Cas particulier de la Méditerranée occidentale

Depuis 2007 et l'édition de l'annuaire de marée 2009, la Méditerranée occidentale (côtes sud de France et côtes de Corse) définit une unique zone de marée dont le port de référence est Toulon.

Si il n'existe pas de zéro hydrographique ancien ou si ce dernier a été perdu, le zéro de réduction des sondes à adopter dans le cas particulier de la Méditerranée occidentale peut être déterminé de différentes façons, présentées par ordre de préférence :

1 - par concordance en hauteur sur les observations (méthode graphique) avec un port voisin où le zéro hydrographique est défini. La proximité du port utilisé en référence pour la concordance est recommandée compte tenu des variations de niveau liées aux effets météorologiques responsables en partie de l'incertitude sur les résultats de la concordance. La méthode graphique de concordance peut néanmoins être mise en défaut en Méditerranée et conduire à rechercher d'autres méthodes (cause : faible marnage, effets météorologiques, marée semi diurne à inégalité diurne)

2 - en recherchant des « conditions de concordance » avec le port de référence (Toulon) ou un port pour lequel le zéro hydrographique est défini à partir des constantes harmoniques. Cette méthode est utilisable par la DOPS lorsque les constantes harmoniques peuvent être calculées à partir des observations dans le port secondaire ;

3 - en adoptant la même cote au-dessous du zéro NGF (IGN69 en métropole, IGN78 en Corse) que le zéro hydrographique d'un port situé à proximité où le zéro hydrographique est défini. On vérifiera la cohérence du système de nivellement des carnets de données utilisés. Par souci de continuité, les anciens ports de référence des anciennes zones de marée de Méditerranée seront alors privilégiés (Port Vendres, Sète, Toulon, Nice, Bastia, Calvi, Ajaccio). Cette méthode a permis historiquement la définition d'un certain nombre de zéros hydrographiques en Méditerranée.

Levé incluant au moins deux zones de marée

On se ramène au cas général exposé ci-dessus, en considérant que le levé à effectuer est constitué de deux levés partiels distincts appartenant chacun à une zone de marée définie. La frontière entre deux zones de marée doit constituer une frontière entre les zones élémentaires de marée adoptées pour la réduction des sondes.

Absence d'observations de référence

On ne dispose pas de l'observation simultanée au port de référence. Ce cas se présente lorsqu'il n'y a pas d'observatoire permanent au port de référence et que, pour une raison quelconque, il n'a pas été possible d'y installer un observatoire, ou qu'il est tombé en panne pendant le levé.

On adoptera en principe, pour zéro des sondes, le zéro local déterminé par concordance avec le zéro hydrographique d'un autre port de référence voisin (port où il existe par exemple un observatoire permanent) corrigé d'une certaine quantité qui sera, sur demande, donnée par la DOPS.

Zéro de réduction des sondes non défini

Si le zéro ancien est perdu (ou n'a jamais existé) et si on ne dispose d'aucune marée de référence, on adoptera un zéro de réduction des sondes approchant du mieux possible le niveau des plus basses mers.

Il sera déterminé à partir du niveau observé de mi-marée en faisant intervenir diverses considérations sur la situation de la laisse de pleine mer, le niveau des basses mers observées, ainsi que les renseignements recueillis auprès des pratiques locaux.

Ce zéro sera convenablement repéré ; il sera coté a posteriori par rapport au zéro hydrographique par **DOPS/MIP/HDC** d'après les résultats de l'analyse harmonique.

Cas du zéro des sondes dans les fleuves à marée

Dans les fleuves à marée, le zéro de réduction des sondes est en principe celui du zéro de l'embouchure transporté par nivellement géométrique.

On notera deux exceptions à cette règle :

- le zéro de la Gironde, déterminé au siècle dernier par Manen suivant les règles de Beaupré et conservé depuis pour tous les travaux du Port Autonome de Bordeaux. Ce zéro correspond au zéro de l'étiage, c'est-à-dire la moyenne des niveaux les plus bas atteints par le fleuve ;
- le zéro du fleuve Maroni en Guyane, déterminé par Yayer : à Saint-Laurent-du-Maroni, le niveau de réduction fut adopté tel que les hauteurs des pleines mers de morte-eau au

dessus du niveau de réduction, soient sensiblement les mêmes qu'à l'embouchure (Les Hattes).

Le zéro de la Charente avait été déterminé au siècle dernier par Delbalat et était défini en chaque point de telle façon que les pleines mers de vive-eau aient partout la même cote hydrographique. Depuis la publication de l'annale hydrographique n° 751 de 1979 le zéro hydrographique de la Charente n'est plus une exception : « conformément à la règle générale, le zéro hydrographique dans la partie maritime de la Charente est la surface coïncidant avec le zéro hydrographique à l'embouchure, soit dans le cas présent à l'Ile d'Aix, zéro hydrographique ayant été défini en concordance avec celui de La Rochelle-La Pallice ».

11.3.2 Cas des levés au large

Au large le zéro des sondes est obtenu par modélisation en chaque point de sondage.

Le principe de la modélisation est le suivant :

Au point de sondage, les constantes harmoniques sont calculées par interpolation à partir des constantes harmoniques entourant la zone, ce qui permet de calculer un niveau d'équilibre¹ au point de sondage et partant, une hauteur d'eau théorique par rapport au niveau des plus basses mers.

La hauteur réelle par rapport au zéro de réduction des sondes est obtenue en corrigeant la hauteur théorique calculée ci-dessus de l'écart au port de référence entre hauteur observée par rapport au zéro hydrographique et hauteur prédite rapportée au niveau des plus basses mers.

Si la zone de sondage est éloignée du port de référence, la correction des effets météorologiques peut s'avérer très incertaine. Il est dans ce cas important de mouiller un marégraphe à capteur de pression dans la zone de sondage, pendant une durée minimum d'un mois et couvrant la période de sondage. La méthode des concordances par espèces permet d'obtenir une marée théorique suffisamment précise pour qu'il soit possible de faire jouer à ce point de mesures le rôle de port de référence, permettant grâce à sa proximité une bonne correction des effets météorologiques. Cependant, l'utilisation des marégraphes immergés n'évite pas les observations dans un port de référence, d'une part pour le calcul précis des constantes harmoniques, d'autre part pour ajuster le niveau d'équilibre : celui-ci doit être en effet corrigé de l'écart, au port de référence, entre le niveau moyen observé pendant la durée des sondages au large et le niveau d'équilibre (le niveau moyen et le niveau d'équilibre sont deux surfaces supposées parallèles).

¹ Rappelons qu'il convient lorsqu'on parle de niveau moyen de la mer, de faire la distinction entre ce que Laplace appelle le *niveau d'équilibre*, c'est-à-dire le niveau que prendrait la surface de la mer s'il n'y avait pas d'action de la Lune et du Soleil, et le niveau que l'on désigne sous le nom de *niveau moyen*, c'est-à-dire la moyenne des hauteurs de l'eau pendant une longue période ou encore le niveau autour duquel oscillent les ondes dont la marée est composée ou encore le niveau de marée nulle.