

Non protégé

SHOM



Guide

Mesures marégraphiques

<http://agora.shom.fr/docQual/2016/GU/GU2016-006>

Etat : Approuvé

Version : 2.1

Dernière modification le 2016/05/30 08:17

Editeur
ronan.le.gall@shom.fr
le 2016/05/30 08:19

Vérificateur
sandrine.le.jeune@shom.fr
Correspondant qualité de R1 Acquisition
le 2016/06/14 09:25

Approbateur
vincent.donato@shom.fr
chef du departement marée courants
le 2016/10/05 17:49

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

N°	Identifiant	Titre	Etat	Type
1	NR2013-011	Mesure des hauteurs d'eau	Approuvé (à contrôler)	applicable
2	LR2008-005	Systèmes géodésiques et projections officielles en France et dans les DOM et ses modifications	Approuvé	applicable
3	FO2009-046	Feuille de contrôle de marégraphe	Approuvé (en cours de remplacement)	applicable
4	FO2010-034	Fiche d'observatoire de marée	Approuvé	applicable
5	MO2010-042	Le nivellement sur le serveur internet de l'IGN	Approuvé (à contrôler)	applicable
6	MO2011-028	Installation et utilisation des Marégraphes Côtiers Numériques ELTA (RONIM)	Approuvé (à contrôler)	applicable
7	GU2007-051	guide d'utilisation du marégraphe autonome SBE26plus	Approuvé	applicable
8	MO2012-079	MODE OPERATOIRE UTILISATION DU MAREGRAPHE OT 660	Approuvé	applicable
9	MO2012-088	MODE OPERATOIRE UTILISATION DU MAREGRAPHE SLS 23	Approuvé	applicable
10	GU2010-017	Utilisation de la cage marégraphe plateau continental	Approuvé	applicable
11	MO2005-055	programme de calcul de la marée pour la réduction des sondages : masg2	Approuvé (à contrôler)	applicable
12	MO2007-074	Test de Van de Castele (Contrôle des erreurs instrumentales systématiques d'un marégraphe - projet RONIM)	Approuvé (à contrôler)	applicable
13	GU2014-052	Guide utilisateur des stations marégraphiques permanentes dans le Pacifique	Approuvé	applicable
14	GU2013-024	Mesures marégraphiques	Abrogé	version ancienne

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

- [16] IOC Manual on Sea Level Measurement and Interpretation Volumes I-IV,
(<http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals/>)
- [17] Note n° 10 EPSHOM/E/OC/NP du 10 janvier 1989 : réduction des sondes au large
- [18] Fiche n°535 EPSHOM/CH/GG/NP du 21 avril 1995 : Rappel concernant la
programma-tion des marégraphes
- [19] Rapport d#étude n° 011/86 - n° 451 EPSHOM/E/OC/NP du 20 novembre 1986 :
Recommandations concernant le choix des périodes d#échantillonnage et durées d#intégration
des courantomètres et marégraphes SUBER
- [20] Note n°107 EPSHOM/CH/GG/NP du 4 mars 2003 : réduction des sondages loin d#un
observatoire de marée

Accès aux pièces externes

A completer

Table des matières

1	Objet du guide	6
2	Domaine d'application	6
3	Modalités d'application	6
4	Références et documents associés	6
5	Définitions	7
6	Abréviations	7
7	Objectif des mesures de hauteurs d'eau	7
8	Observatoire de marée	8
8.1	Composition	8
8.2	Emplacement	8
8.2.1	Consignes générales	8
8.2.2	Observations dans les bassins naturels	9
8.2.3	Pour la réduction des sondages	9
8.2.4	Emplacement des marégraphes à capteurs de pression	10
9	Techniques de mesures	10
9.1	Echelle de marée	10
9.1.1	Principe de fonctionnement	10
9.1.2	Précautions d'emploi	10
9.2	Sonde Piézométrique	11
9.2.1	Principe de fonctionnement	11
9.2.2	Précautions d'emploi	11
9.3	Marégraphes à capteur de pression	11
9.3.1	Principe de fonctionnement	12
9.3.2	Précautions d'emploi	12
9.3.2.1	Choix du site de mouillage	12
9.3.2.2	Contraintes de mise en œuvre	13
9.3.2.3	Initialisation des marégraphes	13
9.3.2.4	Prise en compte de la pression atmosphérique	14
9.3.2.5	Adoption d'une masse volumique pour la correction des pressions mesurées ...	14
9.4	Marégraphes côtiers numériques (à télémètre radar)	15
9.4.1	Type de matériel	15
9.4.2	Réseau	15
9.4.3	Principe de fonctionnement	16
9.4.4	Précautions d'emploi	18
9.4.5	Archivage et transmission des données	18
9.5	Technique GNSS	19
10	Incertitude – erreurs de mesure	19
10.1	Précision des instruments de mesure	19
10.2	Erreurs de mesure	19
11	Calage initial - opérations de contrôle	20
11.1	Généralités	20
11.2	Calage et contrôle de l'échelle de marée	21
11.2.1	En hauteur	21

11.2.2 En heure.....	21
11.3 Calage et contrôle d'un marégraphe à capteur de pression	21
11.3.1 En hauteur	21
11.3.2 En heure.....	23
11.4 Calage et contrôle d'un marégraphe côtier numérique du réseau RONIM.....	23
11.4.1 En hauteur	23
11.4.2 En heure.....	23
11.5 Calage et contrôle des marégraphes permanents du pacifique.....	23
12 Repérage des zéros.....	24
12.1 Repère de marée	24
12.1.1 Définition d'un repère de marée	24
12.1.2 Choix des repères	24
12.1.3 Cote des repères.....	24
12.2 Rattachement du zéro hydrographique aux systèmes de référence altimétriques	25
12.3 Rattachement du zéro hydrographique aux systèmes de référence géographiques.....	26
12.4 Priorités pour les rattachements	27
13 Composition, transmission et validation des dossiers de marée.....	27
14 Annexe 1 : Travaux de contrôle des observatoires du réseau RONIM	28
14.1 Suivi du fonctionnement du réseau.....	28
14.2 Interventions ponctuelles sur le réseau.	28
14.3 Travaux systématiques.....	28
15 Annexe 2 : Contrôle des marégraphes permanents du réseau du pacifique.....	29
15.1 Le réseau.....	29
15.2 Suivi du réseau.....	29
15.3 Maintenance de la station marégraphique.....	30
15.3.1 Maintenance mécanique	30
15.3.2 Maintenance électrique.....	31
15.3.3 Maintenance logicielle.....	31
15.4 Résultats et rédaction	31
15.4.1 Système de nivellement, géodésique et projection	32
15.4.2 Précision verticale des rattachements géodésiques.....	32
15.5 Comptabilité	32
16 Annexe 3 : Rattachement du zéro concordant aux repères terrestres	33
16.1 Par mesures de tirant d'air	33
16.2 Par mesures à l'échelle de marée	34
17 Annexe 4 : Anciennes techniques de mesures.....	35
17.1 Marégraphes à flotteur (pour mémoire).....	35
17.1.1 Principe de fonctionnement	35
17.1.2 Précautions d'emploi	36
17.2 Calage et contrôle d'un marégraphe à flotteur.....	37
17.2.1 En hauteur	37
17.2.2 En heure.....	37
17.2.3 Fréquence des contrôles	38
17.3 Marégraphes côtiers numériques (à télémètre acoustique) (pour mémoire)	38

1 Objet du guide

Ce guide définit les procédures de préparation d'une campagne de mesures (choix de l'emplacement de l'observatoire, choix de la technique de mesures, initialisation des appareils) et de la réalisation de ces mesures (calage et contrôle).

Il est le complément technique de la norme sur la mesure des hauteurs d'eau en référence [1] où sont définis le vocabulaire, les normes et la durée d'observation requise pour les différents objectifs à atteindre, la nature des dossiers à transmettre et le protocole de validation/transmission.

Il est complété par les notices d'utilisation des appareils de mesures en références [7] [8] [9] [10] et des manuels d'utilisation [du système TDB](#) et du logiciel [masg2](#) (référence [11]) de traitement des données.

Les modifications par rapport à la version précédente apparaissent en bleu.

2 Domaine d'application

Le guide technique sur la mesure des hauteurs d'eau est destiné à l'ensemble des responsables de mesures des hauteurs d'eau classiques travaillant pour ou avec le SHOM (GHO, DOPS, autres organismes...).

3 Modalités d'application

Ce guide est applicable dès approbation.

4 Références et documents associés.

Voir liste des références en page 2.

5 Définitions

Cf document en référence [1], § 3

Définitions complémentaires pour ce guide :

<i>Amplitude :</i>	Différence entre la hauteur d'une pleine mer ou d'une basse mer et le niveau moyen
<i>Ensachage :</i>	Dans les atolls ou lagons, remplissage du bassin sous l'effet de la houle du large, celle-ci provoquant le déferlement d'eau par-dessus la barrière de corail
<i>Fruit d'un quai ou d'une échelle :</i>	Angle que fait la plus grande pente du quai ou de l'échelle avec la verticale
<i>Fuseau horaire légal :</i>	Heure légale en usage dans le pays
<i>Marnage :</i>	Différence entre une pleine mer et une basse mer successives

6 Abréviations

FOM	: Fiche d'observatoire de marée
GPS	: Global Positioning System
GNSS	: Global Navigation Satellite System
IGN	: Institut National de l'information Géographique et forestière
MCN	: marégraphe côtier numérique
MCO	: Maintien en Condition Opérationnelle
CPA	: Compte Rendu Périodique d'Activité
RONIM	: Réseau d'Observation du Niveau des Mers
GHO	: Groupes hydro-océanographiques
DOPS	: Direction des opérations, de la production et des services
DMGS	: Direction des moyens généraux et spécifiques
RAM	: Références altimétriques maritimes (http://www.shom.fr/les-services-en-ligne/ouvrages-en-telechargement/references-altimetriques/)
REFMAR	: Réseaux de référence des observations marégraphiques (http://refmar.shom.fr)
TDB	: Tide DataBase : Base de données marée du SHOM

7 Objectif des mesures de hauteurs d'eau

L'observation de la hauteur d'eau réalisée de manière permanente ou temporaire doit être conduite de façon à répondre à des objectifs parmi les suivants :

- permettre la correction des profondeurs mesurées pour les rapporter à un niveau de référence judicieusement choisi, repéré sans ambiguïté et de façon durable ;
- permettre ou affiner les prédictions de marée – le SHOM a pour mission de diffuser les prédictions de marée - ;

- permettre l'étude de l'évolution à long terme du niveau moyen des mers ;
- permettre l'étude de probabilité des retours de surcotes et décotes le long des côtes ;
- permettre l'amélioration des modèles de prédiction de marée au large ;
- permettre le calage des données d'altimétrie satellitale ;
- permettre l'amélioration de la détermination des références altimétriques maritimes (RAM);
- contribuer aux systèmes d'alerte et de vigilance sur le littoral (submersions marines, tsunamis, ...).

Les exactitudes requises et durée d'observations nécessaires pour atteindre ces différents objectifs sont définies dans la norme relative à l'observation des hauteurs d'eau (référence [1]).

Toute observation de marée doit être transmise à DOPS via le protocole de transmission défini au §10 de la norme en référence [1].

8 Observatoire de marée

8.1 Composition

On appelle observatoire de marée une installation composée d'un marégraphe et d'une échelle ou d'un ensemble de marégraphes et d'échelles, suffisamment proches les uns des autres pour être situés dans une zone élémentaire de marée, ainsi que d'un ensemble de repères de nivellement, afin de conserver les niveaux de référence.

Les repères doivent être au nombre de 3 au minimum, suffisamment espacés afin d'éviter qu'ils ne soient détruits simultanément, à l'occasion par exemple, de travaux portuaires. L'appellation « observatoire » sera également attribuée à un appareil de mesure situé au large lorsque la distance à la côte ne permet pas l'installation d'échelles ou de repères dans la même zone élémentaire de marée.

Les observatoires de marée sont décrits par les versions successives des fiches d'observatoire de marée archivées à DOPS/HOM/MAC. Les fiches sont disponibles sous forme numérique en base de données (bdmarcou via Tide Database).

8.2 Emplacement

8.2.1 Consignes générales

Le choix du site de l'observatoire conditionne une bonne observation.

La marée doit se propager librement jusqu'au marégraphe et la disposition des instruments doit permettre l'observation des plus basses et des plus hautes mers.

Il est préférable d'éviter tout site où des phénomènes locaux peuvent perturber la mesure. On évitera, en particulier pour les puits de tranquillisation, les sites exposés à la houle, aux courants et aux forts gradients de densité. Les installations d'estuaire sont particulièrement concernées par ces phénomènes.

Le plus souvent, les observatoires sont situés dans des ports abrités du clapot et de la houle, mais assez ouverts pour observer une marée non perturbée.

L'opérateur doit s'assurer que le marégraphe n'est pas placé dans ou à proximité d'un bassin artificiel fermé par un seuil. L'évacuation du bassin peut provoquer des perturbations fortes de mesure.

Une reconnaissance préalable à l'installation de l'observatoire sur un site est vivement conseillée afin de prendre contact avec les autorités locales. Celles-ci peuvent ainsi assurer la diffusion de l'information et assurer une surveillance efficace de l'observatoire.

Lorsqu'un nouveau marégraphe est installé à proximité d'un ancien observatoire de marée, le directeur technique jugera en fonction de la similitude des marées et de la distance entre les deux sites, si un nouvel observatoire doit être créé. En cas de doute, les observations seront adressées à la DOPS pour avis et comparaison avec les mesures anciennes.

8.2.2 Observations dans les bassins naturels

Dans les bassins naturels à seuil tels que les lagons et atolls, il peut exister une dénivellation non négligeable entre les niveaux à l'intérieur et l'extérieur du bassin. Dans le cas des atolls et lagons, cette dénivellation s'explique notamment par le phénomène d'ensachage (cf. définition au § 5). L'ensachage provoque une augmentation du niveau moyen dans le lagon, rendant difficile l'interprétation des observations de hauteurs d'eau, l'analyse harmonique des observations et la détermination du zéro de réduction des sondes.

Afin de surmonter ces difficultés, il est souhaitable de respecter la méthode de mesures suivante : lorsque les mesures bathymétriques sont effectuées à l'intérieur du bassin naturel, un marégraphe sera installé à l'intérieur du bassin naturel, souvent à proximité de la passe principale. Par ailleurs, il est souhaitable d'installer un autre instrument de mesure côté large. S'il s'agit d'une échelle de marée, elle devra être nivelée et des lectures fréquentes devront être faites entre le début et la fin de la période de mesures du marégraphe. Il est souhaitable aussi de réunir des informations sur l'état de la mer et le vent.

Si un courantomètre est mis en place dans la passe durant la même période, la simultanéité de toutes les mesures permettra d'établir une relation entre le courant dans la passe et la dénivellation observée entre le bassin et le large, et partant, de prédire le courant dans la passe uniquement à partir de futures observations de hauteurs d'eau dans le bassin et de la marée prédite au large.

8.2.3 Pour la réduction des sondages

La réduction des sondages bathymétriques nécessite de :

- déterminer le zéro des sondes : ce point est expliqué dans la norme en référence [1]
- estimer le mieux possible, en chaque point de sondage, la hauteur d'eau au-dessus du zéro de réduction des sondes ainsi déterminé : cela nécessite
 - o un modèle de marée (les modèles réalisés sont disponibles sous /usr/site/data/MAREE/MODELES_MAREE/, les zones non couvertes feront l'objet d'une demande via bp@shom.fr)
 - o le choix judicieux de l'emplacement de la station de mesures qui jouera le rôle de « port de référence » ;

Dans le cas de la réduction des sondages, le port de référence n'est pas obligatoirement le port de référence au sens strict du terme, c'est-à-dire le port de référence d'une zone de marée (cf. référence [1]). Il correspond exactement à l'emplacement de la station où sont effectuées les observations utilisées pour caler le modèle de réduction des sondes.

Pour déterminer l'emplacement de la station d'observation, les consignes suivantes s'appliquent :

- la station d'observation doit être assez proche de la zone de levé pour que les paramètres météorologiques contenus dans les observations de ce port puissent être considérés comme valables dans la zone de levé ;
- on peut envisager de réduire un levé directement des hauteurs d'eau observées au « port de référence » choisi et rapportées au zéro de réduction des sondes si la

- variabilité de la marée dans la zone de sondage est faible (inférieure à 20 cm), mais si un modèle de marée couvre la zone de sondage, il est préférable de l'utiliser ;
- si la zone de sondage est étendue, il peut être important de définir plusieurs zones élémentaires de marée et d'installer dans chacune d'elles une station de mesures pour tenir compte de la variabilité spatiale estimée des conditions météorologiques dans la zone de levé.

Si un levé chevauche deux zones de marée, la frontière entre les deux zones de marée doit constituer une frontière entre les zones élémentaires de marée adoptées (cf. norme en référence [1]) mais une même station de mesures de marée peut être utilisée comme port de référence pour réduire le sondage, auquel cas il faudra rapporter les observations de la station respectivement aux zéros hydrographiques de chaque zone de marée.

8.2.4 Emplacement des marégraphes à capteurs de pression

Cf. § 9.3.2 (choix du site de mouillage)

9 Techniques de mesures

9.1 *Echelle de marée*

9.1.1 Principe de fonctionnement

C'est une mire graduée en bois ou en plastique. Attention cependant au coefficient d'allongement (éviter le PVC).

Cette mire est disponible en tronçons. La graduation est formée de deux bandes de carreaux de dix centimètres de côté, alternativement rouges et noirs.

Le niveau de l'eau est lu au centimètre près en interpolant à vue dans le carreau et en moyennant sur quelques secondes. S'il y a de la houle, on moyenne à vue sur dix à vingt secondes. S'il y a du clapot, on moyenne sur cinq à dix secondes.

Elle est placée verticalement le long d'un quai ou d'un échafaudage ou selon la plus grande pente du quai s'il présente du fruit.

L'observateur note sur un carnet d'observation de marée, la date, l'heure et la hauteur (en précisant le système horaire utilisé). Les lectures de marée sont relevées à intervalles réguliers. Ces intervalles sont variables selon le type de contrôle et d'application désiré.

La lecture à l'échelle de marée sert essentiellement au rattachement d'un marégraphe analogique ou numérique pour la détermination du zéro instrumental.

Les lectures peuvent aussi être réalisées pendant un sondage pour la réduction des sondes ; dans ce cas, la lecture de la marée à l'échelle se fait en général toutes les dix minutes.

9.1.2 Précautions d'emploi

- l'échelle doit être installée de telle sorte que la lecture soit aussi aisée que possible pour l'observateur ;
- choisir un emplacement protégé du clapot et de la houle pour faciliter la lecture ;
- à défaut de mur ou de quai sur lequel s'appuyer, on cherchera un rocher dont la base ne découvre jamais. On scellera la base de l'échelle au rocher et on haubanera au mieux l'échelle. S'il n'y a pas de rocher, on place des pieux plantés dans le sol ; on peut aussi

- construire un bâti métallique. Ces constructions exigent un contrôle très régulier du nivellement des échelles (risque d'enfoncement de l'observatoire) ;
- éviter l'assèchement du bas de l'échelle ; il est possible d'installer deux échelles : 1 échelle de pleine mer et une échelle de basse mer ;
 - étudier l'environnement immédiat de l'échelle en évitant la présence de structures qui peuvent entraver la libre propagation de la marée ;
 - lorsque l'échelle n'est pas strictement verticale, il faut mesurer son fruit afin d'en tenir compte dans la réduction des observations ;
 - la cote du zéro de l'échelle ou de la graduation effectivement nivelée par rapport aux repères d'altitude est indiquée dans la [campagne de marée TDB](#) ou sur la fiche d'observatoire de marée (cf. formulaire téléchargeable en référence [4]) si l'accès à TDB n'est pas possible. On doit y indiquer également la valeur du fruit de l'échelle (porter les lectures brutes et les lectures corrigées du fruit) ;
 - il est impératif d'avoir un repère de temps précis (cf. § 11.1) ;
 - l'observateur doit impérativement mentionner toute anomalie et tout incident sur le carnet d'observation avec indication de l'heure correspondante.

9.2 *Sonde Piézométrique*

9.2.1 Principe de fonctionnement

C'est un décimètre ruban enroulé sur un touret au bout duquel est fixée une sonde. Les sondes lumineuses sont étalonnées par un organisme certifié et sont ensuite contrôlées tous les 2 ans par DMGS.

On se place sur un repère nivelé au bord du quai. Le ruban est déroulé verticalement le long du quai (Attention aux effets du vent). Lorsque la sonde est en contact avec l'eau, une ampoule s'allume sur le touret et/ou un signal sonore retentit. On lit alors la graduation sur le ruban au niveau du dessus du repère (i.e. en pratique, la partie qui a été nivelé par la mire graduée lors du nivellement).

Répéter l'opération plusieurs fois pour avoir une mesure moyenne.

La connaissance de l'altitude du repère nivelé par rapport au zéro de référence, permet, en lui soustrayant le tirant d'air lu sur le ruban, d'obtenir la hauteur de marée.

La sonde lumineuse sert essentiellement, comme l'échelle de marée, de mesures de contrôles et de rattachements aux marégraphes analogiques ou numériques placés sur la zone. Le listage des mesures fait partie intégrante de l'observatoire de marée.

9.2.2 Précautions d'emploi

- attention au fruit du quai; il est nécessaire de corriger les lectures brutes pour obtenir le tirant d'eau réel ;
- lester la sonde en cas de coup de vent ;
- choisir un emplacement si possible protégé de la houle et du clapot.

9.3 *Marégraphes à capteur de pression*

Type de matériel : MORS SLS23 (référence [9]), Mors OT660 (référence [8]), SEABIRD SBE26 plus (référence [7]), capteur de pression OSSI.

9.3.1 Principe de fonctionnement

Les marégraphes plongeurs sont équipés d'un capteur de pression.

Le capteur de pression est constitué d'un quartz « parascientific ». Il délivre une fréquence qui varie en fonction de la pression. Ces appareils sont également munis d'un capteur de température afin de corriger les mesures du quartz des effets de la température interne du marégraphe.

Le comportement du quartz aux variations de pression et de température est connu avec précision. La valeur de fréquence émise par le quartz est traduite en une valeur de pression.

La pression mesurée par le capteur est due au poids de la colonne d'eau au-dessus du capteur et de la pression atmosphérique, comme l'indique la figure ci-dessous.

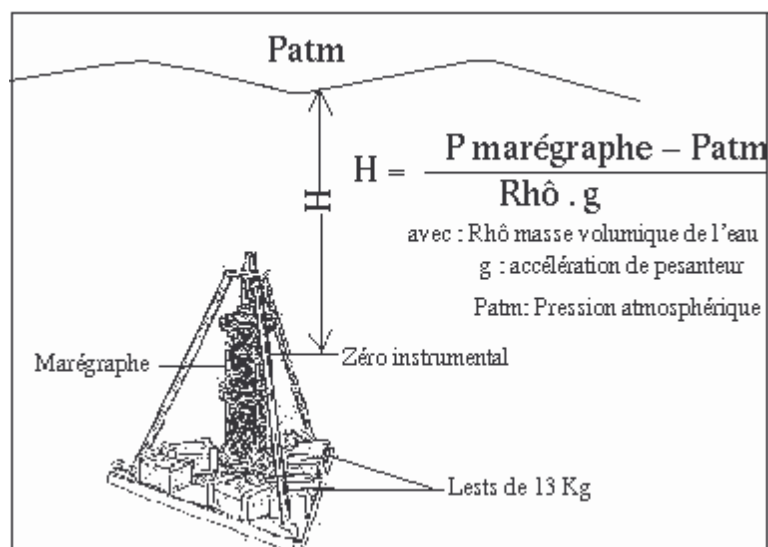


Figure 6 : Principe de mesure

Les séquences de mesures sont pilotées par une horloge interne à quartz. La dérive de l'horloge interne est de l'ordre de $2,5 \cdot 10^{-6}$ (soit une dérive estimée de 6 secondes de l'horloge au bout d'un mois).

Selon un procédé classique en électronique, la pression est mesurée en échantillonnant le signal de fréquence émis par le quartz. A la fin de la série de mesure appelée période d'intégration, la valeur moyenne est archivée dans la mémoire interne de l'appareil et datée au milieu de l'intégration.

9.3.2 Précautions d'emploi

9.3.2.1 Choix du site de mouillage

La mise en place de ces appareils, en général posés sur le fond, comporte des risques de chalutage et autres fortunes de mer (disparition du balisage...).

Afin de choisir un mouillage que l'on estime sûr, il est indispensable lors de la préparation de la mission d'étudier la bathymétrie, la courantométrie et tout renseignement sur les pratiques locales de pêche. Par ailleurs, il est indispensable d'assurer la diffusion de l'information auprès des capitaineries, des pêcheurs et des usagers du port.

L'utilisation de ces appareils est à proscrire sur les sites où il y a une forte variabilité de la densité de l'eau dans le temps. Ceci concerne particulièrement les entrées de rivières maritimes où l'influence de l'eau douce peut être forte (voir plus loin le paragraphe sur l'adoption d'une masse volumique).

Leur utilisation est également à éviter sur des sites où l'on observe de forts courants (supérieurs à 7 nœuds). Ces courants, même proche du fond, peuvent provoquer des variations de surpression sur le capteur engendrant des erreurs de mesures.

9.3.2.2 Contraintes de mise en œuvre

On place le marégraphe de telle façon que le capteur de pression soit orienté vers le haut : cela évite l'enfouissement du capteur et permet de constater le renversement éventuel de la cage. De plus, l'opérateur doit estimer les risques d'émersion pendant la durée de la mesure (le capteur doit être toujours immergé) en faisant, si c'est possible, une prédiction des marées attendues durant la période de mesure et en demandant aux pratiques locales leur conseil avisé.

Il peut arriver cependant – mais ce n'est qu'exceptionnel - que des mesures de marée soient prescrites dans des zones découvrantes. Dans ce cas, les marégraphes Mors sont à proscrire. L'utilisation de marégraphes de la marque SEABIRD est alors possible.

Il est proscribed de placer un marégraphe pendu à un cordage amarré le long d'un quai. L'orin a tendance à se détendre sous le poids de la charge et de l'humidité, et le marégraphe se balance au gré des courants. La position verticale du capteur peut varier ainsi de plusieurs centimètres. Toutefois, dans le cas d'un risque très probable d'envasement et si les courants sont faibles, des solutions d'amarrage avec chaîne et lest peuvent être envisagées.

Il est préférable de choisir un fond stable non vaseux, ce qui évite l'enfouissement du marégraphe. La vase peut boucher l'orifice du capteur de pression, provoquant ainsi un amortissement et des retards sur la mesure. Il est conseillé de procéder au lavage des marégraphes à l'issue d'un mouillage (passer un filet d'eau sur le capteur de pression pour éviter qu'un bouchon de vase ne se crée) et de ne pas les stocker dans leur caisse encore humide.

Au besoin, demander les conseils et l'aide technique de la DOPS ou de la DMGS.

9.3.2.3 Initialisation des marégraphes

Les paramètres d'initialisation recommandés sont :

- une période d'archivage de 5 ou 10 minutes ;
- une période d'intégration de 2 minutes lorsque le marégraphe est placé dans un lieu protégé de la houle (ports) et de 4 minutes lorsque le marégraphe est placé dans un lieu non protégé (mouillage au large).

Lors de la programmation des marégraphes à capteur de pression, il faut, pour faciliter les traitements ultérieurs, adopter une date de début de mesures, une période d'archivage et une durée d'intégration de telle sorte que les mesures soient archivées aux heures rondes. Pour cela, il faut tenir compte du fait que la première mesure est prise au milieu de la durée d'intégration.

exemple :

Si la période d'archivage est fixée à 10 minutes et la durée d'intégration est fixée à 4 minutes, pour obtenir une première mesure à 08 h 40 min 00 s, on fixera une date de début de mesure à 08 h 38 min 00 s. Dans ce cas, les mesures auront lieu à : 08 h 40 min 00 s, 08 h 50 min 00 s, 09 h 00, etc.

9.3.2.4 Prise en compte de la pression atmosphérique

Pour ramener la pression mesurée à la seule pression engendrée par la colonne d'eau, il faut soustraire aux mesures brutes, la pression atmosphérique. Cette pression atmosphérique, mesurée **non loin de l'observatoire (moins de 20 km entre les points de mesures)**, ne doit pas nécessairement être ramenée au niveau de la mer car les lectures à l'échelle ou à la sonde lumineuse permettent de relier la pression atmosphérique mesurée à une certaine altitude aux mesures de hauteur d'eau ; ainsi, seules les variations de la pression atmosphérique sont à prendre en compte régulièrement. Ceci n'est vrai que si l'on a réalisé des lectures à l'échelle ou à la sonde lumineuse et que ces dernières sont de bonne qualité.

Il existe actuellement deux moyens simples de récupérer les pressions atmosphériques.

- par l'intermédiaire d'une centrale météorologique automatique; la mesure est à enregistrer toutes les heures ; ces données numériques peuvent être directement utilisées pour le traitement ;
- en récupérant les données de pressions auprès des sémaphores ou de Météo France ; ces données sont généralement faites aux heures synoptiques (00 h 00, 03 h 00, 06 h 00, ...), toutes les trois heures ;
- en utilisant les mesures de pressions atmosphériques effectuées par les marégraphes permanents du réseau RONIM équipés de centrale d'acquisition ELTA.

9.3.2.5 Adoption d'une masse volumique pour la correction des pressions mesurées

La détermination de la masse volumique (ou de la densité) est un facteur important dans la précision des mesures. L'adoption d'une masse volumique issue de statistiques n'est pas toujours suffisante, en particulier dans les estuaires où l'influence du débit du fleuve peut avoir une influence non négligeable sur la masse volumique de l'eau. **Une variation de 2 % de la masse volumique** provoque une variation identique sur la mesure de pression ; soit, pour une détermination de **hauteur de l'ordre de dix mètres**, une **erreur** sur le calcul de hauteur d'eau totale de **5 à 10 cm**. L'erreur sur la mesure de marée est proportionnelle au marnage de la marée, soit pour un marnage de 5 m et une erreur de 2 % de la masse volumique, une erreur sur le marnage de 2 à 5 cm.

La hauteur d'eau au-dessus du capteur du marégraphe est définie par l'équation suivante :

$$H = \frac{P - Pa}{\rho g}$$

P étant la pression de l'eau

Pa étant la pression atmosphérique

$\bar{\rho}$ étant la masse volumique **moyenne** sur la colonne d'eau.

En toute rigueur, on devrait donc prendre en compte la **masse volumique moyenne** sur toute la colonne d'eau au-dessus du capteur du marégraphe, et tenir compte de ses variations tout au long des mesures.

En pratique, les organismes responsables des mesures s'efforceront d'utiliser les sondes de température et de salinité WTW-LF197 Tetracon. Ces sondes ont fait l'objet de la fiche d'évaluation n° 12 EPSHOM/CMO/LCO/NP du 15 juin 2001, qui les préconise lors de mouillages de marégraphes.

On mettra en œuvre ces sondes autant de fois que possible durant la période de mouillage du marégraphe, et au minimum lors du mouillage et lors du relevage du marégraphe.

Pour chaque mesure effectuée avec la sonde, la masse volumique de l'eau de mer doit être calculée selon l'équation d'état internationale de l'eau de mer [TESO10](#). [Le calcul de la densité est effectué par TDB à partir des observations](#). Si l'utilisation de sondes s'avère impossible, les organismes responsables des mesures s'efforceront de réaliser un prélèvement d'eau de mer lors de la mise à l'eau du marégraphe et un prélèvement lors de la récupération du marégraphe (en pratique le prélèvement se fait avec le thermomètre-seau à la surface).

Pour les groupes hydro-océanographiques métropolitaines, les échantillons seront envoyés à analyser au Laboratoire de Chimie Océanographique afin de déterminer [la salinité, la densité sera calculée par TDB](#).

Quelle que soit la méthode employée, il est indispensable d'indiquer la valeur de la masse volumique adoptée ainsi que son origine (prélèvement in situ, statistique, ...).

9.4 Marégraphes côtiers numériques (à télémètre radar)

9.4.1 Type de matériel

Capteurs de mesures : télémètre radar :

- de type FMCW sans contact (par ex : Krohne BM70, Khrono Optiwave 7300C, [QRH104-1, QRH104-3](#)) ;
- de type Transmetteur de niveau radar à ondes guidées (TDR) (par ex : Khrono BM100, Khrono Optiflex 1300C).

Capteur de pression : [DRUCK PTX1830](#) ou [KELLER PR-36XW/H](#)

Centrales d'acquisition : [ELTA – VAISALA MASW301](#)

La documentation ELTA est disponible en référence [6].

Les radars sont installés :

- soit dans des puits ou tubes de tranquillisation (tous) ;
- soit à l'air libre (Optiwave seulement) sur potence.

9.4.2 Réseau

Le SHOM entretient deux réseaux:

- le réseau RONIM, réseau d'observation du niveau de la mer
- un réseau de stations de surveillance du niveau moyen de la mer et de détection de l'aléa tsunami dans le Pacifique.

Les MCN comprennent selon les sites les éléments suivants :

- la centrale d'acquisition archive les données acquises, permet le paramétrage du capteur.
- le télémètre radar placé au-dessus de la surface de l'eau. Ce télémètre émet un court train d'impulsions et détecte le signal réfléchi. Le temps écoulé entre l'émission et la réception du signal est traduit en hauteur d'eau.
- un capteur de pression pour les stations du réseau de surveillance du niveau moyen de la mer et de détection de l'aléa tsunami dans le Pacifique. Ce capteur, considéré comme moins fiable mais plus robuste dans le temps que le télémètre radar, est utilisé en complément de ce dernier
- un ou plusieurs systèmes de transmission par Internet (routeurs ADSL ou GPRS) ou via les satellites météorologiques (METEOSAT,...). Ce dernier système comprend une balise satellite et une antenne Yagi.
- une station GNSS permanente couplée au MCN.

9.4.3 Principe de fonctionnement

Les télémètres radar travaillent dans la gamme des ondes électromagnétiques de hautes fréquences (> 1 GHz). Ces hyperfréquences se propagent à la vitesse de la lumière dans le milieu. Contrairement aux ondes ultrasonores, elles ne sont pas influencées par les gradients de température. Elles sont plus précises sur des longues portées. Ces télémètres sont nécessaires en particulier dans les zones à fort marnage (zone Manche et Atlantique).

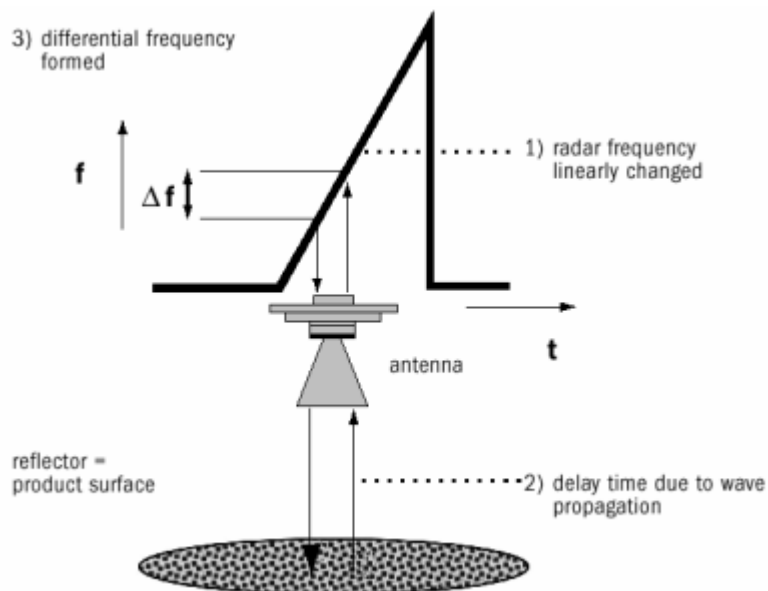
Principe de mesure (Optiwave,...): Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW).

Le signal radar est émis via l'antenne, réfléchi par la surface à mesurer et reçu en retour après un délai t .

Le système Radar FMCW utilise un signal hyperfréquence (~10GHz) à modulation de fréquence linéaire ; la fréquence d'émission augmente linéairement dans l'intervalle de temps (balayage fréquence). (frequency sweep) (1).

Le signal est émis, réfléchi par la surface de la mer et ensuite réceptionné après un intervalle de temps t (2). Pour le traitement du signal, est utilisé la différence Df qui est obtenue à partir de la différence entre la fréquence d'émission actuelle et la fréquence reçue (3). Cette valeur est directement proportionnelle à la distance parcourue : une différence de fréquence importante signifie une distance parcourue importante et vice versa.

La différence de fréquences est transformée en spectre par Transformation Fourier (FFT) ce qui permet de calculer la distance. Le niveau résulte de la différence entre la hauteur de la cuve et la distance.



Avantages du FMCW :

Le signal hyperfréquence est modulé linéairement. Comme la fréquence d'émission évolue en fonction du temps de propagation de l'onde, on mesure un signal basse fréquence f proportionnel à la distance à mesurer, obtenu à partir de la différence entre la fréquence d'émission actuelle et la fréquence reçue.

Par rapport au simple procédé radar par impulsions, l'utilisation du radar FMCW offre les avantages suivants:

- Plus grande largeur de bande du signal hyperfréquence, meilleure résolution de la valeur mesurée, suppression fiable de signaux parasites.
- Fréquence d'émission plus haute, angle de radiation plus petit, moins de réflexions perturbatrices.
- Fréquence d'émission plus haute, diamètre extérieur d'antenne plus petit à même échelle de mesure.

Principe de mesure (Optiflex,...) : Time Domain Reflectometry (TDR)

Il est basé sur le réputé principe TDR (Time Domain Reflectometry) qui s'apparente à un test de discontinuité le long d'une sonde.

Le radar émet des micro impulsions électromagnétiques qui parcourent le guide à la vitesse de la lumière. Lorsque celles-ci atteignent la surface de la mer, elles sont immédiatement réfléchies et retournent au convertisseur de mesure.

La distance mesurée est directement proportionnelle au temps de parcours des micros impulsions divisé par 2.

Le MCN effectue :

- un **échantillonnage** des mesures à une période d'acquisition faible inférieure à 1s,
- une **intégration** des mesures sur une durée d'intégration réglable de 1s à 4 min,
- l'**archivage** des mesures intégrées selon une période d'archivage réglable de 1s à 1 heure.

9.4.4 Précautions d'emploi

Les télémètres radar « Krohne Optiflex » doivent être placés dans un tube de diamètre inférieur à 300 mm et supérieur 80 mm de préférence. Ils peuvent être installés dans des puits.

Les télémètres radar « Krohne Optiwave » et « QRH 104-x » peuvent réaliser les mesures à l'air libre, ils sont alors fixés sur une potence ou sur un ouvrage (pont).

La durée d'intégration et la période d'archivage doivent être judicieusement choisies :

- la période d'archivage doit être inférieure à la plus faible des demi-périodes des signaux périodiques à analyser,
- l'intégration des mesures filtre les variations périodiques de hauteur d'eau suivant leur fréquence.

On remarque qu'une durée d'intégration de 4 minutes atténue fortement les variations d'eau dues à la houle et au clapot : l'erreur induite sur les ondes de marée de courte période est cependant négligeable puisque l'amplitude de ces ondes est très faible. Ce choix est fait lorsque l'implantation du marégraphe est en site non protégé de la houle. En zone portuaire, une intégration de 2 minutes est en général un bon choix pour l'analyse de la marée ou la réduction des sondages.

9.4.5 Archivage et transmission des données

Les MCN du réseau Ronim permettent l'acquisition et la transmission de plusieurs types de données selon les moyens installés :

- une mesure toutes les 10 minutes intégrée sur 2 minutes archivée sur la carte mémoire. Ces mesures sont transmises automatiquement chaque jour ou à la demande au gestionnaire RONIM via le réseau téléphonique. Ces données sont archivées dans la base de données marée/courant du SHOM (bdmarcou via TDB) et sont disponibles auprès de ronim@shom.fr ou directement sur le portail web data.shom.fr ;
- une mesure toutes les minutes intégrée sur 15 secondes transmise en temps réel soit par Internet ou par satellite. Ces données sont disponibles sur les portails web data.shom.fr ou ioc-sealevelmonitoring.org ;
- une mesure par seconde transmise en temps réel par Internet au SHOM ou au CENALT (CENTre d'ALerte aux Tsunamis), ces données ne sont pas stockées au SHOM

Les MCN du réseau de stations de surveillance du niveau moyen de la mer et de détection de l'aléa tsunami dans le Pacifique archivent les données sur la carte mémoire de la centrale d'acquisition. Ces données sont acquises à la minute (2 minutes pour quelques sites), la période d'intégration est définie pour chaque station. Les données transmises en temps quasi-réel via le satellite sont disponibles sur les portails web data.shom.fr ou ioc-sealevelmonitoring.org.

Lors des visites de maintenance les données archivées sur la carte mémoire sont récupérées pour intégration dans la base de données marée/courant du SHOM (bdmarcou via TDB)

9.5 Technique GNSS

Bouées GNSS - Rédaction réservée

10 Incertitude – erreurs de mesure

10.1 Précision des instruments de mesure

Ces incertitudes correspondent à celles de la mesure finale et donc prennent en compte l'incertitude liée au calage au zéro hydrographique.

Type d'instrument	Incertitude à 95% d'une mesure intégrée sur 2 minutes
Echelle de marée ou sonde lumineuse soumise au clapotis	5 cm
Echelle de marée ou sonde lumineuse sur un plan d'eau tranquillisé	Meilleur que 2cm
Marégraphe à flotteur	5-10 cm (dépendant du taux de réduction induit par les dimensions du tambour)
Marégraphe Côtier Numérique acoustique	4 à 8 cm meilleure que 4 cm sur des distances < 3 mètres
Marégraphe Côtier Numérique Radar	2cm (mieux que 0,5 cm pour la mesure individuelle et +/-2 cm pour le rattachement)
Marégraphe à capteur de pression immergé type MORS OT660, MORS SLS23, SEABIRD SBE 26 plus	2-3cm (1 cm 95% pour la mesure individuelle et +/-2 cm pour le rattachement)

10.2 Erreurs de mesure

Il faut éviter absolument les erreurs systématiques, les biais, les dérives, les mauvais calages en heure et en hauteur.

Les erreurs sur la mesure de la hauteur d'eau sont classiquement de plusieurs ordres :

Erreurs liées à l'opérateur :

- mauvaise lecture à l'échelle ou à la sonde lumineuse ;
- mauvais nivellement de l'instrument de mesures : la marée est donc rapportée à un mauvais niveau de référence ;
- mauvaise référence du fuseau horaire,
- mauvaise initialisation des appareils de mesure ;
- détérioration du marégraphe par manque d'entretien ;
- mauvaise référence en heure, la montre servant au contrôle est mal réglée ;

- mouvement du support du marégraphe : il arrive que des marégraphes à capteur de pression soient déplacés accidentellement durant les observations. Seules des observations en parallèle permettent d'exploiter complètement les données acquises.

Erreur instrumentale, problèmes liés à la technologie employée

- le choix d'une technologie implique le fait que l'utilisateur connaisse les limites de l'instrument telles que l'incertitude et la résolution ;
- la mise en évidence des erreurs instrumentales peut se faire soit en laboratoire (banc d'étalonnage), soit sur le site de l'observatoire avec un instrument plus précis ;
- il est important d'effectuer régulièrement des contrôles sur les mesures afin de détecter les éventuels défauts de fonctionnement ;
- on veillera aussi à surveiller la pérennité des repères de nivellement liés à l'observatoire ;
- un certain nombre de tests permet de détecter quelques défauts de fonctionnement, en particulier le test de Van de Castele. Ce test s'appuie sur la comparaison, pendant un cycle de marée complet, des relevés simultanés du marégraphe et du dispositif de mesure indépendant mis en place pour le contrôle d'étalonnage (sonde lumineuse par exemple). En l'absence de défaut de fonctionnement du marégraphe, la somme des deux lectures doit rester constante. Le diagramme de Van de Castele se construit ainsi : en abscisses, on porte les écarts marégraphe-étalon, et en ordonnées, la hauteur d'eau (référence [12]).

Erreurs liées au puits de tranquillisation

Ces erreurs sont liées à une dénivellation entre l'intérieur et l'extérieur provoquée par les phénomènes suivants :

- le conduit de communication est trop étroit ou partiellement obstrué. Ceci introduit un filtrage excessif de l'onde de marée en provoquant des retenues d'eau dans le puits ou un filtrage non linéaire (abaissement du niveau en présence de vagues) ;
- la différence de densité de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur du puits ;
- un effet Venturi dû à un courant à proximité de l'orifice du conduit.

11 Calage initial - opérations de contrôle

11.1 Généralités

L'exploitation des observations de marée implique que celles-ci puissent être rapportées à un niveau de référence bien déterminé et à des heures correctes. En d'autres termes, il est nécessaire que l'on connaisse les « valeurs de calage » des observations, tant en heure qu'en hauteur. Tel est l'objet des opérations de « calage initial » et des opérations de « contrôle ».

L'opération de calage initial consiste :

- pour les hauteurs, à placer le zéro instrumental aussi près que possible d'une valeur prédéterminée ou à déterminer la cote du zéro instrumental par rapport à un repère matériel (cas des marégraphes à capteur de pression) ;
- pour les heures, à ajuster la référence de temps du dispositif d'horodatage : l'opérateur doit caler ou ajuster le dispositif d'horodatage (montre de l'opérateur ou horloge du marégraphe) sur un garde-temps officiel. Ce garde-temps peut être le top horaire émis par les radios nationales, l'horloge parlante (téléphoner au 3699) ou l'heure donnée par un récepteur GPS. Il est impératif de noter le système horaire utilisé sous la forme de UT+XX, sur les carnets d'observation (pour les relevés à l'échelle de marée), dans la partie commentaire du fichier d'enregistrement pour les marégraphes numériques et sur les fiches de contrôles.

Les opérations de « contrôle » permettent la détermination :

- d'une part, des valeurs de calage exactes obtenues à la suite de l'opération de calage initial ; la première de ces opérations peut être appelée « repérage initial » ;
- d'autre part, des dérives ou distorsions susceptibles d'affecter les observations, soit en heure, soit en hauteur. La dérive en heure consiste à préciser, à la fin de la série d'observation, la dérive du dispositif d'horodatage en le comparant à un garde-temps officiel. Des dérives anormales par rapport aux dérives théoriques des instruments doivent être impérativement signalées à DMGS/IES.

11.2 Calage et contrôle de l'échelle de marée

11.2.1 En hauteur

Pour l'échelle de marée, le calage initial porte uniquement sur les hauteurs. Il consiste à placer le zéro de l'échelle à une cote aussi voisine que possible d'une cote donnée (zéro des sondes, par exemple).

Néanmoins, il n'est pas nécessaire de faire coïncider le zéro de l'échelle au zéro de référence. Un nivellement ultérieur permettra de rattacher le zéro de l'échelle au réseau local de nivellement et de connaître l'écart entre le zéro de référence et le zéro de l'échelle.

Cela dit, si l'échelle est destinée à devenir permanente, il est très souhaitable de faire coïncider son zéro avec le zéro hydrographique, pour éviter toute confusion.

Le repérage initial est constitué par une opération de nivellement, le plus souvent géométrique, parfois hydrographique.

Les contrôles de hauteurs ultérieurs se font à vue, en vérifiant que l'échelle ne s'est pas déplacée par rapport à son support. Toutefois, pour les échelles implantées sur des fonds sableux ou vaseux ou dont la stabilité du support est incertaine, le contrôle par nivellement doit être effectué périodiquement.

11.2.2 En heure

Le calage initial consiste pour l'opérateur à caler sa montre sur un garde-temps officiel, comme indiqué au § 11.1. Il doit également veiller à porter sur les carnets d'observations le système horaire utilisé sous la forme de UT+XX. Le contrôle a lieu en principe à la fin des mesures et consiste à préciser la dérive de la montre, comme indiqué au § 11.1.

11.3 Calage et contrôle d'un marégraphe à capteur de pression

11.3.1 En hauteur

Deux cas sont à distinguer :

a - Il a été possible de placer une échelle de marée nivelée ou de réaliser des mesures à la sonde lumineuse le long d'un quai préalablement nivelé, à proximité (quelques centaines de mètres) du marégraphe à capteur de pression.

Le repérage de celui-ci est alors obtenu à l'aide de séries de lectures sur l'échelle ou à la sonde lumineuse, effectuées pendant la période d'utilisation du marégraphe. Lors de la mise en place d'un marégraphe pour une longue durée, ne pas hésiter à chercher auprès des capitaineries ou des autorités portuaires locales des personnes qui pourraient faire le travail de lecture à l'échelle ou les mesures de tirant d'air, après une bonne formation.

Ces lectures sont indispensables pour trois raisons majeures :

- déterminer la cote du zéro instrumental par rapport aux différents niveaux de référence (zéro hydrographique, zéro de réduction des sondes, cote par rapport aux repères de nivellement...);
- déterminer l'exactitude de la détermination du zéro instrumental ; on précisera le nombre de mesures de contrôle réalisées et les écarts obtenus entre mesures à l'échelle ou à la sonde lumineuse et les mesures au marégraphe (moyenne et écart-type des écarts) ;
- pouvoir traiter une station dans le cas, souvent rencontré, du déplacement de l'appareil. Il est alors possible de scinder la série de mesures et de traiter la station en autant de sous-stations en calant les mesures qui ont été réalisées avant et après le déplacement. Il n'y a ainsi que peu de perte d'informations.

Il faut privilégier plusieurs séries de mesures (une série de 8 mesures minimum espacées en fonction de la cadence d'archivage du marégraphe, soit une séance de 35 minutes au moins pour une cadence d'archivage fixée à 5 minutes), deux à trois fois par semaine, aux moments des PM et des BM, plutôt que des observations ponctuelles à n'importe quel instant de la marée. Les opérateurs doivent effectuer systématiquement des lectures de hauteurs d'eau au mouillage et au relevage (former au besoin un observateur en insistant sur l'importance de son rôle).

Pour réaliser une concordance, il faut également contrôler régulièrement le marégraphe du port de référence (voir ci-après).

Nota important : dans le cas idéal, les résidus (écarts par rapport à la moyenne) devraient être voisins de zéro. Il arrive cependant que les résidus soient différents d'une série à l'autre ou qu'au sein d'une même série, les résidus varient linéairement. Dans ce cas, il faut tâcher de déterminer les valeurs aberrantes (donc les lectures à invalider) en évitant scrupuleusement l'invalidation arbitraire (comme par exemple filtrer les mesures dont le résidu dépasse une certaine valeur) mais en recherchant les véritables explications de l'anomalie. En l'absence d'explication, toutes les lectures doivent être prises en compte.

b - Le marégraphe à capteur de pression a été mouillé au large.

Le seul moyen de caler les observations par rapport à un niveau de référence est alors d'opérer par concordance avec un observatoire où le zéro hydrographique est connu. C'est en général un observatoire permanent. Le type de concordance recommandé est la concordance sur les basses mers.

Pour pouvoir réaliser une concordance, il faut vérifier régulièrement les calages en temps et hauteur du marégraphe du port de référence.

11.3.2 En heure

Le calage initial et le contrôle doivent être menés comme indiqué au § 11.1.

En particulier, les marégraphes à capteur de pression sont équipés d'une horloge interne (dérive de l'ordre de $2,5 \cdot 10^{-6}$, soit une dérive estimée de 6 secondes de l'horloge au bout d'un mois). La dérive du quartz de cette horloge doit impérativement être évaluée en contrôlant l'horloge interne après les mesures.

11.4 Calage et contrôle d'un marégraphe côtier numérique du réseau RONIM

La procédure et le formulaire de contrôle téléchargeable sont accessibles dans le référentiel documentaire (cf. référence [3]).

11.4.1 En hauteur

Le calage initial en hauteurs est réalisé lors de l'installation du MCN.

La procédure d'étalonnage la plus convenable consiste à multiplier les lectures à l'échelle de marée ou à la sonde lumineuse, avec au minimum une dizaine de lecture à l'étale de pleine mer et à l'étale de basse mer. Ces mesures doivent se faire autant que possible à l'abri du vent et sur un plan d'eau tranquilisé.

La différence entre les mesures du MCN et les mesures à l'étalon a l'allure d'une courbe du second degré, dont on détermine les coefficients a, b, c.

Il est indispensable de préciser le nombre de mesures et la dispersion de ces mesures par rapport aux lectures MCN (moyenne et écart-type des écarts observés).

Une table de correspondance interne au capteur permet de corriger des comportements non linéaires de ce type des télémètres radar.

11.4.2 En heure

Le calage initial en heures est réalisé lors de l'installation du MCN. Le calage de l'horloge interne doit être effectué comme indiqué au § 11.1. Ce calage peut se faire directement sur la centrale d'acquisition ou par l'intermédiaire du logiciel de dialogue entre la centrale d'acquisition du MCN et le calculateur de contrôle. A noter que la dérive en heure des MCN est inférieure à $2,5 \cdot 10^{-6}$, soit une dérive estimée de 6 secondes de l'horloge au bout d'un mois.

Les centrales d'acquisition des sites équipés d'une balise satellite sont mises à l'heure quotidiennement par le GPS. Lors de l'interrogation automatique journalière de la centrale par le superviseur, une mise à l'heure est effectuée pour les autres sites. Néanmoins, une mise à l'heure manuelle peut être effectuée par le gestionnaire RONIM.

11.5 Calage et contrôle des marégraphes permanents du pacifique

La procédure d'installation est décrite dans le guide utilisateur en référence [13]. Les procédures de contrôle sont décrites en annexe 2.

12 Repérage des zéros

12.1 Repère de marée

12.1.1 Définition d'un repère de marée

Dans les ports, **le zéro hydrographique est défini par sa cote par rapport à des repères de nivellement appelés repères de marée**. Ces repères sont situés à proximité du marégraphe et sont en nombre suffisant et suffisamment espacés pour qu'ils ne puissent pas être détruits simultanément, par exemple lors de travaux portuaires. Ils sont cotés les uns par rapport aux autres par nivellement géométrique, et ils sont rattachés si possible au nivellement général. Au moins un des repères est rattaché à l'ellipsoïde de la dernière itération de l'ITRF.

Les repères de marée matérialisent la cote des différents zéros : zéro hydrographique, mais aussi zéros instrumentaux, zéros de réduction des sondes.

Les repères sont rattachés entre eux par nivellement de précision et le zéro adopté est défini par des cotes sous ces repères.

Les repères de marée font partie intégrante de l'observatoire.

12.1.2 Choix des repères

Il importe donc, pour garantir la meilleure conservation possible des zéros adoptés, d'assurer une mise en place judicieuse et durable d'un nombre suffisant de repères d'altitude (3 au minimum).

En ce qui concerne les types de repères à utiliser, on se conformera aux dispositions et textes en vigueur.

Le repère de marée qui paraît présenter les meilleures garanties de durabilité est appelé « repère fondamental ». On évitera de choisir comme repère fondamental un repère scellé dans un quai de construction récente ou dans un ouvrage susceptible de s'affaisser. En revanche, si un repère de l'IGN en bon état est disponible, ce dernier sera choisi préférentiellement comme « repère fondamental ».

Les repères de marée existants ne sont pas toujours adaptés à l'observation par GPS (forme, masques...). Auquel cas, un nouveau repère de marée devra être implanté le plus proche possible du marégraphe tout en tenant compte des contraintes typiques des repères GPS et de marée.

12.1.3 Cote des repères.

Les repères de marée sont des repères matériels bien définis et durables, rattachés ou non à un réseau de nivellement général ou local.

Si un réseau de nivellement général ou local existe, le rattachement d'un des repères de marée à ce réseau est obligatoire. Dans ce cas, la cote de ce repère de marée est fournie en mentionnant le système altimétrique utilisé, la désignation et la date d'édition des fiches de nivellement ainsi que la date à laquelle la fiche a été mise à jour par l'organisme rédacteur (IGN,...). La cote des autres repères dans ce référentiel sera issue du résultat du nivellement de précision.

Les fiches de nivellement à jour seront utilisées. Le contrôle préalable des fiches de nivellement peut se faire par l'intermédiaire du site Internet de l'IGN (<http://geodesie.ign.fr/>) (référence [5]) ou du Geoportail (<http://www.geoportail.fr/>).

Le système d'altitude du réseau IGN 69 est régulièrement recalculé, c'est pourquoi les fiches éditées peuvent être modifiées.

Le nivellement de précision (ou nivellement géométrique) permet de déterminer les positions verticales relatives entre repères matériels, et de rattacher ceux-ci aux réseaux de nivellement.

12.2 Rattachement du zéro hydrographique aux systèmes de référence altimétriques

L'indication de la cote du zéro hydrographique par rapport au système de nivellement (IGN69,...) est un complément accessoire : **le zéro hydrographique n'est pas défini par sa cote dans le nivellement général.**

Il est important en effet que le zéro hydrographique ne soit pas remis en cause par des opérations de nivellement successives qui peuvent donner des résultats différents, non seulement en raison de l'évolution des techniques de mesure, mais aussi en raison de mouvements verticaux terrestres éventuels d'origine tectonique ou sismique. Mentionnons à ce propos que la surcharge due à la marée elle-même peut provoquer des mouvements verticaux des repères (rapportés par exemple au géoïde) pouvant excéder 20 cm.

Note : lorsque les repères de l'observatoire de marée ont tous disparu, l'indication de la cote du zéro hydrographique par rapport au système de nivellement permettrait cependant de remplacer, dans la liste des repères de l'observatoire de marée, un repère disparu du nivellement général par un autre du même système (coté en même temps que le repère disparu), une telle substitution ne pouvant d'ailleurs se faire qu'après un examen soigneux de l'historique du nivellement général et seulement.

Selon le décret en référence [2], « la cote du zéro hydrographique dans chaque zone de marée [doit être néanmoins] définie à la côte par le service hydrographique et océanographique de la marine dans les systèmes de référence altimétriques ». Ce décret précise quels sont les systèmes altimétriques de référence pour la France métropolitaine et les DOM-TOM.

Note : Le produit internet « Références altimétriques marines » (<http://diffusion.shom.fr/produits/references-verticales/references-altimetriques-maritimes-ram.html>) est réalisé par DOPS/HOM/MAC et effectuée à partir des campagnes de marée reçues des GHO. L'annuaire de marée (Tome 1 et Tome 2) est réalisé avec deux années d'avance. Moyennant ces considérations sur leur mise à jour, les GHO peuvent vérifier les informations disponibles dans ces deux produits à l'occasion de leurs travaux.

Les travaux à réaliser sur le terrain consistent à :

- établir, lorsque ce n'est pas déjà fait, le rattachement par nivellement de précision de tous les repères de marée de l'observatoire à un repère du système altimétrique en vigueur (est inclus l'éventuel repère "observable" par GPS et, le cas échéant, le repère RGP ou RGF qui serait inclus dans le lot des repères de marée) ;
- contrôler périodiquement le rattachement initial pour pouvoir contrôler la stabilité de la cote altimétrique du zéro hydrographique. Pour cela, des mesures de rattachement répétées **tous les 5 ans** à la même époque sont demandées, et aussi chaque fois que la DOPS le demande.

Les données acquises seront transmises par TDB ou exceptionnellement par la rédaction d'une fiche d'observatoire de marée (cf. référence [4]).

12.3 Rattachement du zéro hydrographique aux systèmes de référence géographiques

Le décret (référence [2]) précise quels sont les systèmes géographiques et planimétriques de référence pour la France métropolitaine et les DOM-COM.

En France métropolitaine, le système géodésique RGF93 est le système géodésique légal. C'est un système de référence tridimensionnel géocentrique d'exactitude centimétrique, adapté aux technologies modernes de positionnement, telles que le GPS. Les points du RGF, Réseau Géodésique Français, et du RGP, Réseau Géodésique Permanent, matérialisent, pour le territoire français métropolitain, le système géodésique RGF93. Le RGP est un réseau d'environ **quatre cents quarante** stations GPS observant en permanence les coordonnées des points dans le RGF93.

Le rattachement du zéro hydrographique dans le système RGF93 présente un intérêt majeur en hydrographie, puisqu'il permet via le projet Bathylli, de réduire les sondages en temps réel, sans l'utilisation de marégraphes.

Lors de la mise à jour des campagnes de marée TDB, les organismes responsables des mesures s'efforceront de :

- déterminer la cote du zéro hydrographique par rapport aux systèmes de référence géographique et planimétrique en vigueur ;
- contrôler la stabilité dans le temps de la cote initialement déterminée.

Concrètement, les travaux à réaliser sont :

- établir le rattachement d'un des repères de marée à un repère du système de référence géographique en vigueur, cette action concerne tous les observatoires de marée, et en priorité les observatoires permanents ;
- contrôler périodiquement le rattachement initial : pour cela, des mesures de rattachement répétées **tous les 5 ans** à la même époque sont demandées, et chaque fois que la DOPS le requiert.

Deux cas de figure se présentent :

- si un repère du Réseau GPS Permanent (RGP) se trouve à proximité (quelques centaines de mètres) de l'observatoire, il suffira alors de le rattacher par nivellement de précision aux autres repères de marée. C'est notamment le cas de Brest où une station GPS permanente est installée dans les jardins de la préfecture maritime, sur un repère RGP, à 300 mètres environ du marégraphe (en l'absence de directives de la part de la DOPS, la pente du géoïde entre le marégraphe et la station GPS sera négligée.)
- si le repère du Réseau GPS Permanent (RGP) est éloigné ou s'il n'y a pas de station GNSS permanente proche, un repère de marée observable par GPS doit être stationné et rattaché à l'ellipsoïde par observations GNSS. Le traitement des observations sera réalisé de manière à obtenir une incertitude à 95% meilleure que 5cm.

Pour obtenir une **incertitude** verticale du positionnement GPS **subcentimétrique**, il est nécessaire d'assurer une parfaite répétabilité de la constellation GPS limitant ainsi les erreurs systématiques liées à chaque satellite. En pratique, **il est demandé de réaliser ces mesures sur 2 DOY (Day Of the Year) et à une cadence d'au minimum 30s**. Un DOY correspond à une période d'observation **continue** de 24h commençant à 00h00UTC jusqu'à 00h00UTC du jour J+1. Cette durée d'observation permet d'une part d'assurer une meilleure intégrité de la solution obtenue (en ayant deux positions obtenues sur deux jours différents), et d'autre part de respecter les contraintes de traitement imposant à minima une acquisition continue sur un nombre entier de DOY. Toutefois, avec 1 DOY de mesures en continu, on peut d'ores et déjà estimer a priori la précision verticale à 2 cm à 95%. **Il est cependant impératif de garantir une durée d'observation de 2 DOY pour les observatoires situés en Outre mer et hors réseau géodésique permanent.**

Afin de bénéficier des meilleurs outils, le post-traitement des mesures devra être effectué par le pôle géodésie ou une personne formée par le pôle géodésie.

Les données acquises seront transmises par TDB. **A partir des résultats fournis par le pôle géodésie, les coordonnées du point stationné seront exprimées dans le système légal et dans la réalisation de l'ITRS la plus à jour.** Ce dernier système permet en effet d'obtenir de meilleures précisions de calcul en absolu.

12.4 Priorités pour les rattachements

Les rattachements indiqués dans les chapitres 12.2 et 12.3 concernent en priorité :

- les observatoires permanents du réseau RONIM, du réseau des marégraphe permanents du pacifique ;
- les ports principaux de l'annuaire de marée des ports de France ;
- les ports principaux de l'annuaire de marée des ports d'outre-mer ;
- les sites où la cote du zéro hydrographique est définie par sa cote sous des repères terrestres (ports secondaires, ...)

13 Composition, transmission et validation des dossiers de marée

Cf. norme en référence [1].

14 Annexe 1 : Travaux de contrôle des observatoires du réseau RONIM

14.1 Suivi du fonctionnement du réseau.

Toute opération sur un MCN ou son utilisation pour un levé doit être précédée d'une prise de contact avec le gestionnaire RONIM. Son adresse électronique est : ronim@shom.fr.

L'état de fonctionnement du réseau RONIM est visible sur le site DATA.SHOM.fr (au moyen de la cartographie et du journal de bord).

14.2 Interventions ponctuelles sur le réseau.

Il est souhaitable pour la maintenance du réseau et le suivi des partenaires qu'un concours soit proposé au gestionnaire RONIM à chaque fois que se manifeste l'opportunité pour un groupe d'effectuer des travaux dans une zone de marée où est implanté un observatoire du réseau RONIM.

Un contrôle à la sonde lumineuse du MCN est recommandé si celui-ci est utilisé lors d'un levé.

Les relations entre le SHOM et les ports font l'objet de conventions disponibles sur la page projet RONIM. Les renseignements utiles (contacts, accès, ...) sont à demander au gestionnaire RONIM (ronim@shom.fr).

14.3 Travaux systématiques.

La totalité des actions décrites ci-dessous est à renouveler au plus tard tous les 5 ans, soit en moyenne tous les 4 ans après la date de signature de la dernière fiche d'observatoire de marée ou en cas de besoin ponctuel à la demande du chef de projet RONIM (nouvelle installation,...).

Les travaux à réaliser pour chaque observatoire de marée sont, dans l'ordre :

1/ contrôle du bon fonctionnement des MCN : contrôle des hauteurs grâce à des lectures à l'échelle de marée ou à la sonde lumineuse et contrôle des heures à l'aide d'un garde-temps étalonné ;

Le cas échéant, contrôle de l'envasement du puits ou du tube par comparaison de mesures effectuées à l'extérieur du puits ou du tube (sonde lumineuse ou échelle de marée) et à l'intérieur du puits ou du tube (MCN ou sonde lumineuse). Le rapport fera apparaître l'écart moyen et l'écart-type sur l'ensemble des séries de mesures.

La hauteur d'eau mesurée par le MCN doit être lue sur la fenêtre de lecture, après ouverture du coffret des centrales d'acquisition ELTA. (Il ne faut surtout pas prendre les valeurs affichées sur le capteur radar Krohne. Ces valeurs ne sont pas corrigées des coefficients d'étalonnage) ;

2/ le cas échéant, installation, nivellement et entretien d'une échelle de marée dans l'observatoire ; l'échelle de marée fait partie intégrante de l'observatoire et peut être utilisée en l'absence de sonde lumineuse, pour contrôler le bon fonctionnement du MCN (contrôle de l'absence d'envasement du puits ou tube de tranquillisation en particulier) en prenant bien soins de ramener la valeur lue du zéro de l'échelle au zéro hydrographique via la valeur de rattachement de la campagne TDB en vigueur;

- 3/ nivellement géométrique de la cote de tous les repères de marée dans le système de référence altimétrique en vigueur (IGN69 pour la France métropolitaine), conformément au décret en référence [2] ; bien se renseigner sur le site de l'IGN pour obtenir les informations à jour ;
- 4/ Nivellement géométrique du dessus de la plaque du support du télémètre, considéré comme un repère de l'observatoire de marée ;
- 5/ rattachement, par GPS géodésique, d'un des repères de l'observatoire au système de référence géographique en vigueur (en particulier détermination de la cote ellipsoïdale du zéro hydrographique), conformément au décret en référence [2] et en suivant les instructions du paragraphe 12.3 ;
- 6/ rédaction d'une campagne sous TDB : veiller à faire apparaître les types, marques et numéros de série des centrales d'acquisition et télémètres constituant le MCN en consultant au besoin le gestionnaire RONIM.

15 Annexe 2 : Contrôle des marégraphes permanents du réseau du pacifique.

15.1 Le réseau

Selon les sites, deux types de stations ont été / seront installés :

- type 1 : uniquement un marégraphe permanent dédié à la détection de l'aléa tsunami,
- type 2 : marégraphe permanent associé à un GPS de haute précision pour la surveillance du niveau moyen de la mer et la détection de l'aléa tsunami.

Quel que soit le site, ces stations améliorent la connaissance de la marée et l'entretien régulier des stations formant ce réseau est indispensable à trois titres :

- approche comptable : rentabiliser les investissements consentis en maximisant la durée de vie des équipements,
- approche opérationnelle : maintenir un haut degré de disponibilité de stations participant à l'alerte tsunami,
- approche scientifique : s'assurer régulièrement de la pertinence des données pour ne pas biaiser leur analyse à long terme.

15.2 Suivi du réseau

Pour répondre à ces différents objectifs, une opération de maintenance **préventive** doit avoir lieu :

- tous les ans, « MCO léger », qui comprend:
 - une vérification métrologique du marégraphe par test de Van de Castele sur un cycle complet de marée. Les mesures de contrôle seront réalisées de préférence à la sonde lumineuse ou à défaut par lectures à l'échelle de marée (1 observation / 20 min – Intégration sur 2 min avec une lecture toutes les 30s – soit 5 lectures par observation). Les données seront transmises à MAC pour intégration dans « bdmarcou » ;
 - une maintenance mécanique, électrique et informatique (para 15.3) ;
 - le nettoyage de l'échelle de marée et du capteur barométrique ;
 - le test de bon fonctionnement après une relance complète de la station.
- tous les 3 ans, « MCO complet » qui comprend :

- une maintenance mécanique, électrique et informatique (para 15.3) ;
- un nivellement orthométrique de tous les repères de l'observatoire de marée associé à la station marégraphique (de type 1 et 2) ;
- calage du marégraphe au zéro hydrographique et une vérification métrologique du marégraphe par test de Van de Casteele sur un cycle complet de marée. Les mesures de contrôle seront réalisées de préférence à la sonde lumineuse ou à défaut par lectures à l'échelle de marée (1 observation / 20 min – Intégration sur 2 min avec une lecture toutes les 30s – soit 5 lectures par observation) ;
- vérifier la cote ellipsoïdale d'au moins un repère de la fiche d'observatoire de marée avec une précision absolue centimétrique (station de type 1) ;
- vérifier l'empreinte géodésique associée au récepteur GPS de précision (station de type 2) : important en Polynésie Française (demande de l'UPF, propriétaire du réseau et partenaire), souhaitable à Wallis-Futuna.

En aucun cas, l'antenne GNSS de la station marégraphique ne sera démontée : le nivellement de l'embase réalisé lors de l'installation de la station ne sera donc pas vérifié. Toutefois, un repère de nivellement devra être implanté au plus près de l'antenne GNSS, sur le même bâti, afin de niveler indirectement l'antenne (en considérant une évolution similaire entre le repère et le support d'antenne) ;

Au moins un repère de la campagne TDB sera rattaché à l'ellipsoïde mondial GRS80 de l'ITRS (station marégraphique de type 1) ;

L'empreinte géodésique permet d'apporter des éléments d'interprétation sur les éventuels mouvements de l'île (subduction, basculement...). Sa création consiste à implanter de manière la plus pérenne possible (ou à reprendre) un repère le plus éloigné possible de l'observatoire GNSS permanent (mais avec un maximum de 30 km).

Lorsqu'un point de référence (IGS, DORIS...) existe sur l'île où est implanté l'observatoire, il devra être inclus dans cette vérification de l'empreinte géodésique. Si l'île où est implantée la station de type 2 possède un observatoire GNSS permanent fonctionnel, la réalisation d'observations GNSS ponctuelles est facultative.

15.3 Maintenance de la station marégraphique

15.3.1 Maintenance mécanique

Une inspection visuelle et un graissage de protection seront menés sur toutes les parties mécaniques soumises à des contraintes : porte d'abri, support radar, fixations du capteur de pression, supports d'antennes sur le toit, fixations de l'échelle de marée.

L'état des gaines en PVC protégeant les câbles sera évalué.

Un nettoyage soigneux de l'intérieur de l'abri et des équipements (échelle de marée, capteur barométrique, antennes, panneaux solaires, supports mécaniques...) sera effectué. Un état des lieux sera réalisé pour reporter toute infiltration d'humidité, toute dégradation du pilier béton GPS (station de type 2), tout défaut survenu depuis la dernière visite.

15.3.2 Maintenance électrique

Une inspection visuelle de l'état et la charge des batteries et de l'état de leurs cosses sera menée. A partir de leur troisième année d'utilisation, leur remplacement devra être prévu.

Il sera procédé au :

- nettoyage de l'extérieur des connexions électriques par un chiffon sec ;
- nettoyage de l'intérieur des connectiques par un aérosol diélectrique pour contacts et une bombe d'air sec ;
- graissage avec de la pâte silicone des connexions électriques ;
- nettoyage avec un chiffon doux (éventuellement de l'eau douce) du panneau solaire.

15.3.3 Maintenance logicielle

Pour la centrale d'acquisition, la maintenance logicielle comprend :

- une prise de contrôle de l'équipement par son port série dédié ;
- une vérification de la synchronisation ;
- une récupération des données sur carte mémoire en prenant les précautions nécessaires à son retrait et à la sauvegarde des données ;
- un formatage de la carte mémoire ;
- une mise à jour des configurations / paramétrages des équipements.

Si aucune mise à jour ou modification logicielle n'est effectuée, une relance complète de la centrale d'acquisition n'est pas indispensable.

Pour le récepteur GPS, la maintenance logicielle comprend :

- une prise de contrôle de l'équipement par son port ethernet dédié ;
- une récupération des données sur carte mémoire en prenant les précautions nécessaires à son retrait et à la sauvegarde des données ;
- un nettoyage de l'arborescence de données de la carte mémoire (le formatage est à considérer en ayant bien évalué ses conséquences).

Les données des capteurs radar et de pressions seront intégrées pour le GOP dans « bdmarcou » ; les données du récepteur GPS seront transmises à SHOM/DOPS/HOM/MAC pour transmission vers Sonel.

15.4 *Résultats et rédaction*

Les données seront traitées selon les procédures en vigueur.

Un rapport particulier ne sera rédigé qu'en cas d'installation de MCN. Pour les MCO légers et complets, un compte-rendu sera rédigé et la campagne TDB mise à jour si nécessaire :

- mise à jour assurée directement par DOPS/HOM/HDC dans le cas des MCO légers ;
- rédaction d'une nouvelle campagne directement par le GOP dans le cas d'un MCO complet ou de mise à jour importante).

Ces documents seront transmis aux partenaires du projet pour leur permettre d'exploiter les données et pour assurer le suivi des prestations de maintenance contractualisées. "

15.4.1 Système de nivellement, géodésique et projection

Les résultats seront exprimés dans la dernière réalisation en vigueur de l'ITRS ainsi que dans un des systèmes géodésiques locaux de référence décrits dans le tableau suivant.

Système :	de nivellement	Géodésique	de projection
<i>Nouvelle-Calédonie</i>	NGNC	Dernière réalisation ITRS & RGNC (ITRF90 @1989)	UTM dédié
<i>Wallis et Futuna</i>	NGWF	Dernière réalisation ITRS & RGWF (ITRF94@1993)	UTM dédié
<i>Polynésie française</i>	NGPF selon île (pas de référentiel altimétrique local sinon)	Dernière réalisation ITRS & RGPF (ITRF92 @1993)	UTM dédié

15.4.2 Précision verticale des rattachements géodésiques

Que ce soit pour déterminer la cote ellipsoïdale d'au moins un repère de la Campagne TDB (station marégraphique de type 1) ou pour vérifier l'empreinte géodésique (station marégraphique de type 2), il est nécessaire de garantir la précision verticale des rattachements géodésiques par rapport à l'ellipsoïde. Ceux-ci seront donc réalisés conformément au paragraphe 12.3.

Pour obtenir une **précision** verticale **centimétrique** du positionnement GPS, il est nécessaire de réaliser des mesures GPS pendant au moins 2 DOY, afin de profiter d'une parfaite répétabilité de la constellation GPS limitant ainsi les erreurs systématiques liées à chaque satellite. Avec 2 DOY complets de mesures, on peut estimer a priori la précision verticale à 2 cm à 95%.

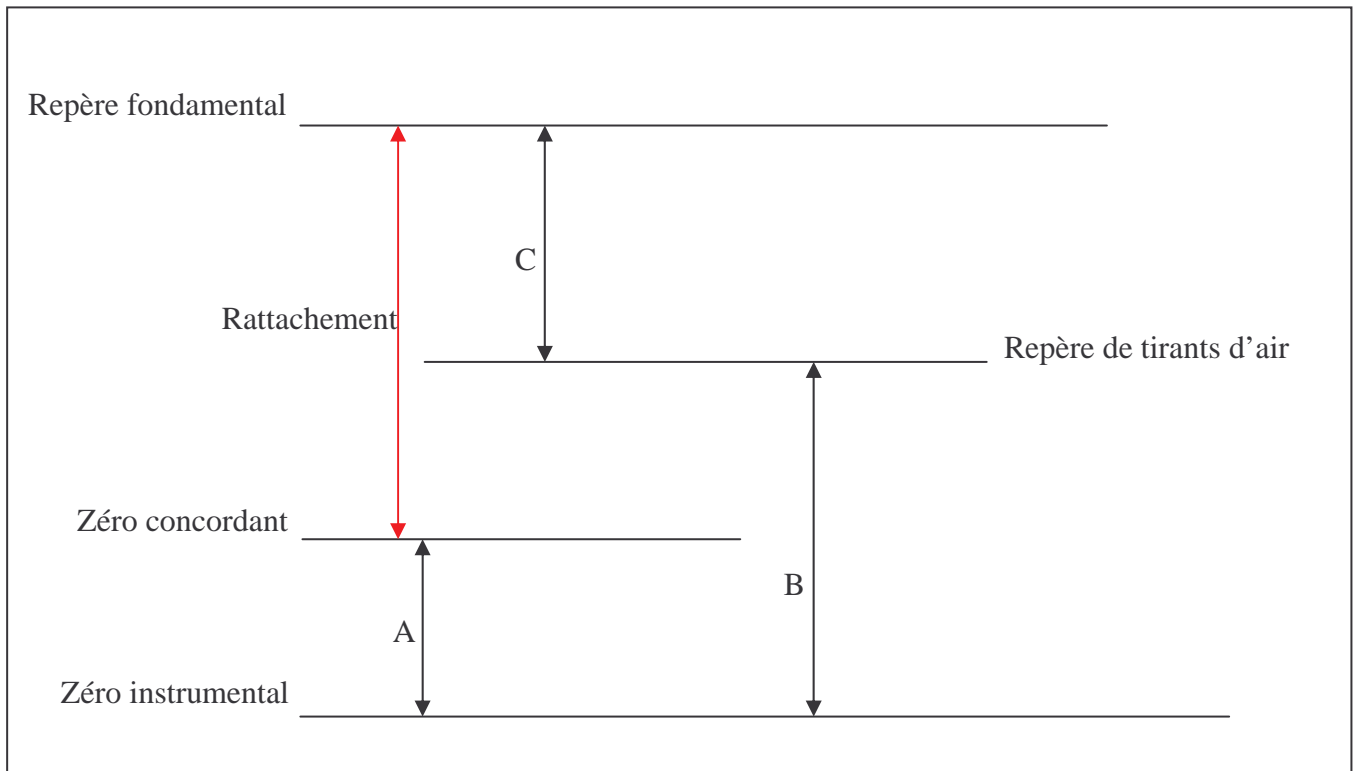
15.5 **Comptabilité**

Une comptabilité précise de l'utilisation des moyens et de l'emploi des personnels (travaux de préparation, travaux à terre et travaux de rédaction) sera tenue à jour dans le CPA du GOP. Ce point est d'autant plus critique que le SHOM est associé par convention à de nombreux organismes partenaires, auxquels doit être fournie toute justification nécessaire.

Les codes à utiliser sont disponibles dans le programme annuel du GOP correspondant à l'année d'intervention. Il sera nécessaire de différencier les tâches de gestion et de développement du réseau, des tâches de maintenance du réseau.

16 Annexe 3 : Rattachement du zéro concordant aux repères terrestres

16.1 Par mesures de tirant d'air



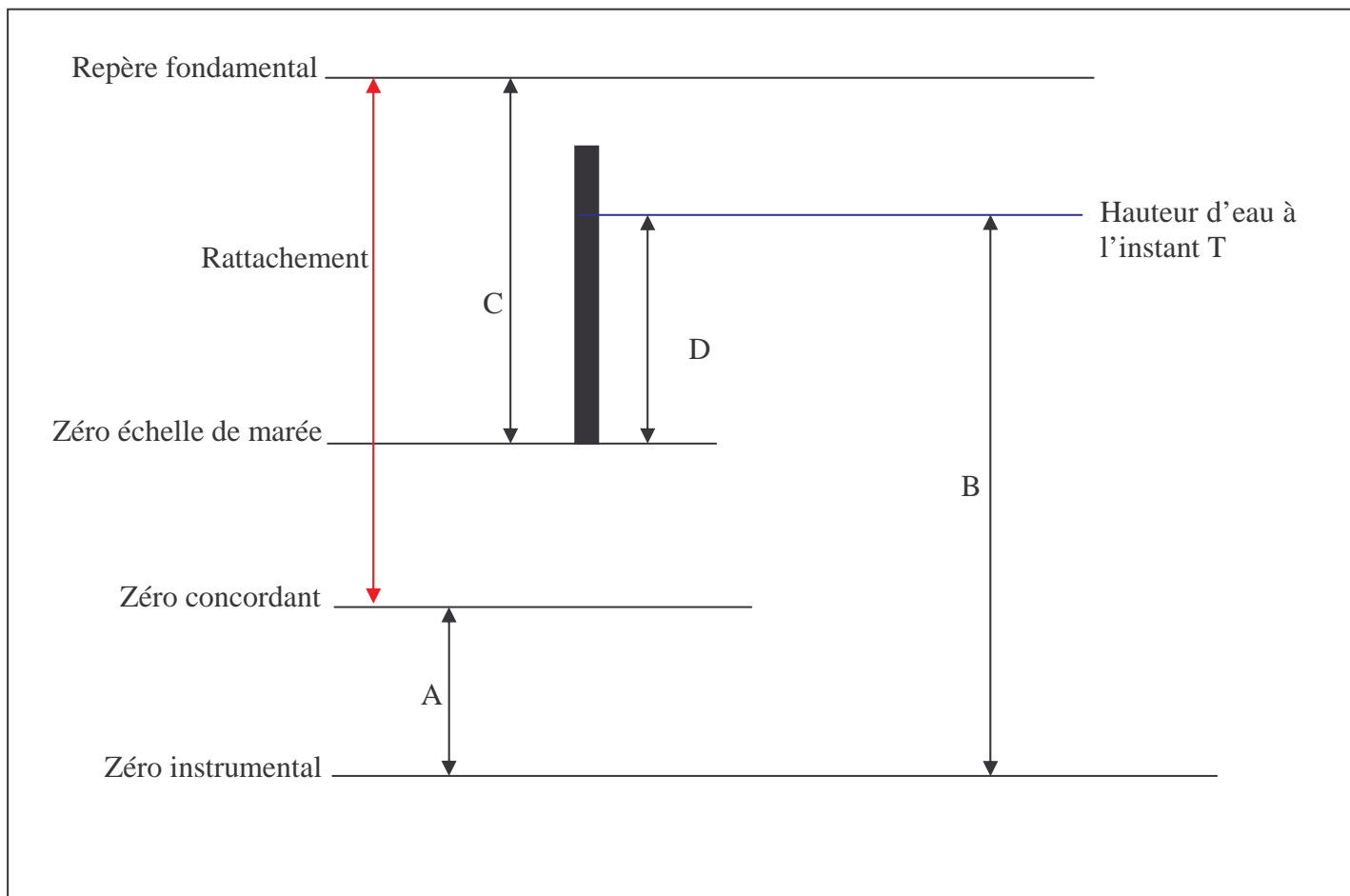
A = résultat de la concordance

B = moyenne des mesures : mesure tirant d'air + hauteur d'eau au marégraphe à la même heure

C = nivellement entre le repère fondamental et le repère de tirants d'air

Rattachement = $B+C-A$

16.2 Par mesures à l'échelle de marée



A = résultat de la concordance

B = hauteur d'eau au marégraphe à l'instant T

C = nivellement entre le zéro échelle et le repère fondamental

D = lecture à l'échelle de marée à l'instant T

Rattachement = $C + ((\text{moyenne } B - D) - A)$

17 Annexe 4 : Anciennes techniques de mesures.

Certains systèmes de mesures marégraphiques ne sont actuellement plus employés par le SHOM (marégraphes à flotteur, marégraphes acoustiques), ils sont décrits dans la présente annexe.

17.1 Marégraphes à flotteur (pour mémoire)

Type de matériel : OTTR16, OTT20030

17.1.1 Principe de fonctionnement

Un flotteur, placé dans un tube vertical ou dans un puits de tranquillisation en communication avec la mer, subit les variations du niveau de la mer dues à la marée.

Les trous de communication avec l'extérieur sont assez étroits pour filtrer les effets de la houle et du clapot mais assez grands pour s'assurer que le niveau est le même à l'intérieur et à l'extérieur du puits ou du tube.

Le flotteur est suspendu par un fil d'acier souple qui passe sur une grande poulie. Il est équilibré par un contrepoids.

L'axe de la grande poulie porte une plus petite poulie qui entraîne un fil porteur du chariot porte-stylet.

Le choix des diamètres des poulies dépend du choix de l'échelle du marégramme et donc du marnage observé sur le site.

Les variations de hauteurs subies par le flotteur sont transmises via le système de poulies et transformées en déplacement vertical du stylet, sur un marégramme enroulé sur un tambour tournant asservi à un système d'horlogerie (un tour en un jour ou un tour en une semaine).

Le marégramme est donc rapporté à :

- un axe horizontal des abscisses graduées en heures;
- un axe vertical des ordonnées graduées en mètres.

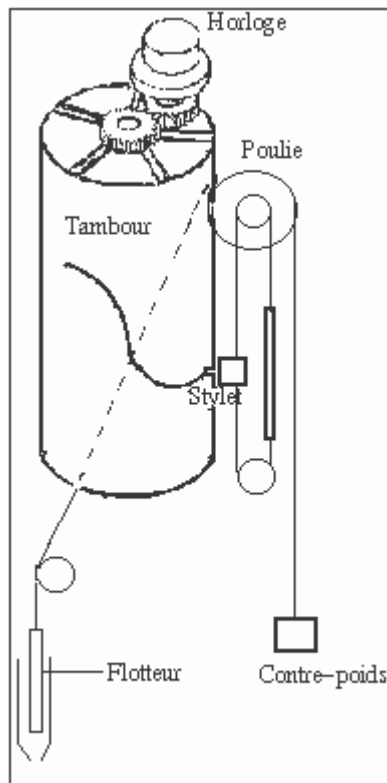


Figure 3 : principe d'un marégraphe à flotteur

Deux types d'appareils du constructeur OTT ont été utilisés par le SHOM :

- pour les installations permanentes, les OTT20030 sont plus précis. Ils sont placés au-dessus d'un puits de tranquillisation bâti dans un quai. L'eau venant de l'extérieur arrive par un tube dont le diamètre est environ égal au dixième du diamètre du puits. Ce dispositif filtre la houle et le clapot mais il est nécessaire de surveiller l'encrassement de ce conduit de communication ;
- lors d'observations provisoires, on installe un OTTR16, matériel plus léger. Le flotteur est installé dans un tube type PVC rivé au quai. Une crépine située en bout de tube assure le filtrage de la houle et du clapot. Son encrassement doit être surveillé.

17.1.2 Précautions d'emploi

- l'amorçage de la plume du stylet est parfois délicat et le tube capillaire doit être très propre ;
- après la mise en place du marégraphe, il faut vérifier que le niveau de l'eau varie dans le même sens à l'échelle et sur l'enregistrement; le cas contraire indiquerait une inversion du montage du fil d'acier dans les poulies ;
- veiller à la bonne longueur du fil d'acier : ni trop court, ce qui ne permettrait pas d'observer le marnage complet, ni trop long, ce qui ferait déposer le contre-poids à terre ;
- les flotteurs doivent être impérativement placés dans des puits ou des tubes de tranquillisation. Le rôle de ce puits est de filtrer les ondes courtes (houle, clapotis).
- pour les contrôles en heures et hauteurs, cf § 11.

Erreurs liées à l'opérateur spécifiques aux marégraphes à flotteur (voir aussi paragraphe 10.2) :

- mauvais calage en temps des marégrammes ;
 - diagramme mal ajusté sur le tambour pour un marégraphe analogique ;
-

17.2 Calage et contrôle d'un marégraphe à flotteur

17.2.1 En hauteur

Le calage initial en hauteur s'effectue en réglant la plume de l'enregistreur sur une graduation de la feuille correspondant à la hauteur d'eau lue sur une échelle située à proximité immédiate et déjà repérée.

L'installation d'une telle échelle à l'extérieur du puits est indispensable. Le calage initial du marégraphe consiste ainsi à faire coïncider les deux zéros instrumentaux.

Le contrôle en hauteur s'obtient généralement en comparant la lecture sur le marégramme à une lecture simultanée sur l'échelle.

On peut également utiliser une jauge (sonde lumineuse ou autre dispositif) permettant de mesurer le « tirant d'air » du puits et de calculer la hauteur d'eau dans le puits si on connaît la cote d'un repère proche (bord du puits par exemple). Le contrôle est plus précis, car affranchi du clapot qui peut rendre difficile la lecture de l'échelle, mais il faut s'assurer que le niveau de l'eau dans le puits est bien le même qu'à l'extérieur (pour cela, cf. § 10.2)

Pour déterminer ces écarts, des comparaisons entre les lectures déduites de la jauge et les lectures sur l'échelle (ou entre ces dernières et les lectures sur le marégramme) doivent être faites périodiquement au voisinage de la mi-marée et des pleines et basses mers.

Si des écarts en hauteur et en temps systématiques et significatifs sont détectés, il sera, dans un premier temps, procédé au nettoyage du puits et de son conduit.

Si le problème subsiste, l'observatoire est inutilisable pour des mesures précises. Il peut être nécessaire dans ce cas, d'installer un appareil à l'extérieur du puits.

Les hauteurs relevées simultanément sur le marégramme et sur l'échelle ou la jauge sont portées sur la feuille de contrôle (cf. référence [3]), laquelle sera agrafée au marégramme lors du changement de feuille d'enregistrement.

17.2.2 En heure

Le calage initial a lieu chaque fois qu'une nouvelle feuille est installée sur le tambour. Il s'effectue en réglant le tambour ou la plume de telle sorte que l'heure indiquée sur la feuille corresponde, soit à l'heure légale, soit à l'heure UT. Dans tous les cas, le marégramme doit être renseigné le plus complètement possible, le choix du fuseau horaire doit y être formellement inscrit.

Les contrôles s'effectuent en lisant simultanément l'heure sur le marégramme et sur une montre correctement réglée, après avoir attendu le début effectif de l'enregistrement, afin de prendre en compte les rattrapages de jeu, qui peut atteindre une dizaine de minutes après avoir positionné la plume. Ces valeurs sont portées sur la feuille de contrôle (cf. référence [3]). Il

est impératif de préciser le système horaire utilisé (fuseau horaire légal ou à l'heure UT). On effectue au même moment un contrôle de hauteur.

17.2.3 Fréquence des contrôles

Les contrôles doivent avoir lieu à chaque changement de marégramme, avant de retirer l'ancien et après la mise en place du nouveau, et après tout incident de fonctionnement.

Il est recommandé de changer de marégramme chaque semaine et de faire un contrôle intermédiaire. Toutefois il est possible de le laisser en place deux semaines à condition de procéder à des contrôles tous les trois à quatre jours.

En période de sondage, il est recommandé de faire un contrôle quotidien.

Le calage initial d'un marégraphe ne doit pas être repris à l'occasion des contrôles.

S'il apparaît que les valeurs de calage ont varié de plus de 5 minutes en temps et de plus de 10 cm en hauteur, on procède à un changement de feuille et on réalise le calage initial pour une nouvelle période d'observation. Dans ce cas, cette opération devra être clairement expliquée sur la feuille de contrôle. On ouvrira une feuille de contrôle pour chaque marégramme.

17.3 Marégraphes côtiers numériques (à télémètre acoustique) (pour mémoire)

Capteurs de mesures : acoustiques : **BEN/I2E**

Centrales d'acquisition : **MORS HT200**

Les télémètres ultrasonores sont placés au-dessus de la surface de l'eau. Ces télémètres émettent un court train d'impulsions et détectent le signal réfléchi. Le temps écoulé entre l'émission et la réception du signal est traduit en hauteur d'eau.

Le télémètre ultrasonore travaille dans la gamme de fréquence 40-50 kHz. Ces fréquences se propagent à la célérité du son dans le milieu.

La célérité acoustique dans l'air varie et dépend en effet de la pression, de la température et de l'humidité, selon l'équation :

$$C = 331,2 \times \left(1 + 0,97 \times \frac{U}{P} + 1,9 \times 10^{-3} T\right)$$

avec :

C : la célérité acoustique dans l'air en m/s

P : la pression atmosphérique en hPa

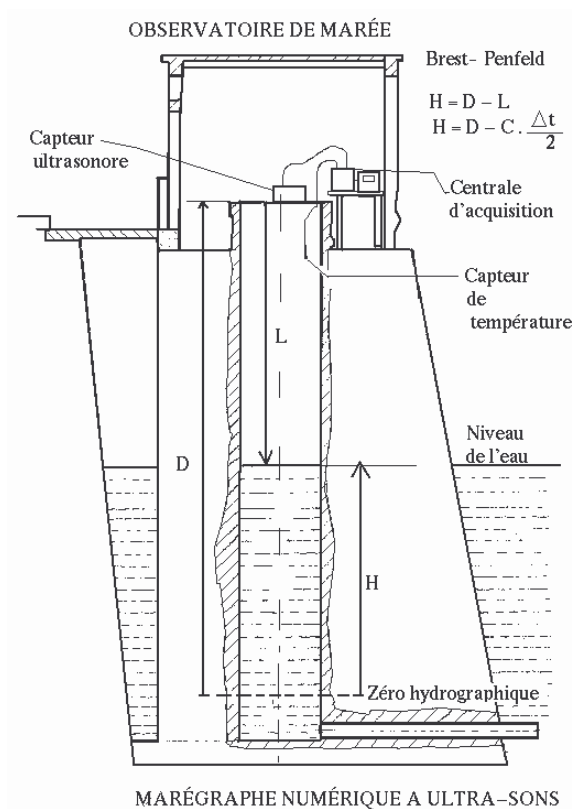
T : la température de l'air en C°

U : l'humidité relative de l'air.

Les variations de la pression atmosphérique et de l'humidité relative de l'air ont peu d'effet sur la célérité (inférieur à 10^{-3}) : les négliger engendre une erreur de mesure sur la hauteur d'eau inférieure à 1 cm pour un télémètre placé à 10 m au-dessus de l'eau (le terme $0,97 \frac{U}{P}$ est inférieur à 10^{-3}).

La température est par contre un paramètre important, qui peut affecter la précision des mesures sur les longues portées. Négliger ce paramètre cause une erreur de mesure sur la hauteur de près de 2 cm/°C, pour un télémètre placé à 10 m au-dessus du niveau de l'eau.

Les télémètres doivent être placés dans un puits ou un tube de tranquillisation ou un puits marégraphique qui fait aussi office de guide d'onde; un télémètre à l'air libre perd en effet jusqu'à 50% de sa portée à cause du vent. Le télémètre ultrasonore doit être placé dans un tube en PVC de 300 mm de diamètre.



*Figure 4 : Observatoire MCN de Brest-Penfeld
(cet observatoire est équipé d'un marégraphe radar depuis 2004)*