

Non protégé

DOPS/MIP



Norme

Norme des levés Litto3D(R)

<http://agora.shom.fr/docQual/2009/NR/NR2009-009>

Etat : Approuvé (à contrôler)

Version :

Dernière modification le 2011/01/18 08:34

Editeur
vincent.lamarre@shom.fr
Chef du PS LITTO 3D
le 2009/11/20 09:11

Vérificateur
ronan.creach@shom.fr
Correspondant qualité de R1 Acquisition
le 2009/11/20 09:28

Approbateur
henri.dolou@shom.fr
Directeur de la DQMN
le 2009/11/20 09:44

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

N°	Identifiant	Titre	Etat	Type
1	NR2008-010	Norme de l'OHI pour les levés hydrographiques (S-44)	Abrogé	applicable
2	NR2009-010	Levés bathymétriques	Approuvé (à contrôler)	applicable
3	LR2008-005	Systèmes géodésiques et projections officielles en France et dans les DOM et ses modifications	Approuvé	applicable
4	NR2010-016	Mesure des hauteurs d'eau	Abrogé	applicable
5	LR2003-078	Recueil et diffusion de l'information nautique.	Approuvé	applicable
6	NR2006-027	Norme des levés Litto3D(R)	Abrogé	version ancienne

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

Classes de précisions applicables aux travaux topographiques -

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000794936&fastPos=1&fast>

Accès aux pièces externes

A completer



REPUBLIQUE FRANCAISE

MINISTERE DE LA DEFENSE

SERVICE HYDROGRAPHIQUE ET
OCEANOGRAPHIQUE DE LA MARINE
(EPA SHOM)

13, rue du Chatellier
CS 92803
29228 BREST CEDEX 2

Direction des opérations

MIP/PEP Litto3D®



RECOMMANDATION NATIONALE

Version du 10 janvier 2009



LEVÉS au Laser bathymétrique de type LITTO3D®



Ce document est la propriété intellectuelle incessible du SHOM.

SOMMAIRE

1	ENJEU NATIONAL	3
2	OBJET DU DOCUMENT.....	3
3	AUTRES DOCUMENTS APPLICABLES	3
4	EXIGENCES SUR L'ORGANISATION	4
4.1	GENERALITES	4
4.2	PHASES D'ETUDE	5
4.3	PHASES PREPARATOIRES	5
5	EXIGENCES SUR LE POSITIONNEMENT DES MESURES.....	6
5.1	GEODESIE ET NIVELLEMENT	6
5.2	STATIONS GPS DIFFERENTIELLES	6
5.3	LOCALISATION DES PORTEURS	7
6	EXIGENCES SUR LES MESURES PAR LASER AEROPORTE	7
6.1	CALIBRATION DU LASER PAR MESURES IN SITU.....	7
6.2	MISE EN ŒUVRE ET CALIBRATION DU LASER.....	9
6.3	TACTIQUE DE VOL.....	9
6.4	STRATEGIE DE MESURES	10
6.5	EXECUTION DU LEVE LASER.....	11
6.6	PERIMETRE CONTRACTUEL	11
7	EXIGENCES SUR LES COMPLETEMENTS	12
8	EXIGENCES SUR LE TRAITEMENT ET LA VALIDATION DES MESURES.....	12
8.1	GENERALITES	12
8.2	TRAITEMENT DE LA LOCALISATION	13
8.3	TRAITEMENT DE LA MAREE.....	13
8.4	TRAITEMENT DE L'ALTIMETRIE ET DE LA BATHYMETRIE	14
8.5	TRAITEMENT DES IMAGES	14
9	EXIGENCES SUR LES FORMATS DES MESURES	14
10	EXIGENCES SUR LES PRODUITS.....	15
11	EXIGENCES DE MANAGEMENT	16
11.1	PLAN DE MANAGEMENT	16
11.2	DELAIS D'APPROBATION DES DOCUMENTS INTERMEDIAIRES	16
11.3	GESTION DE CONFIGURATION	16
11.4	REUNIONS.....	17
11.5	ECHANGE DES INFORMATIONS	17
11.6	DELAIS DU TITULAIRE.....	17
11.7	EVALUATION DE LA PROPOSITION TECHNIQUE ET FINANCIERE	17
11.8	OPERATIONS DE VERIFICATION ET D'ADMISSION	18
12	RECAPITULATIF DES FOURNITURES.....	18

En vert : les exigences facultatives

En bleu : les parties modifiables par le maître d'ouvrage

1 Enjeu national

Les levés de type Litto3D® doivent permettre au travers d'acquisition de mesures sur le terrain, la constitution progressive d'un modèle numérique altimétrique régulier et continu dans l'espace, sur la mer et sur une portion de terre contiguë, de résolution décimétrique (5m), de précision métrique en XY (1.5m de précision¹, tolérance² égale à 2.8m) et de précision métrique globale en Z (30cm de précision, tolérance égale à 40cm)³.

Ce modèle est appelé à devenir le socle commun à la plupart des applications de gestion intégrée en zone côtière. C'est la composante géométrique nationale du référentiel géographique du littoral identifié par le Conseil National de l'Information Géographique.

La cohérence et l'efficacité des politiques littorales dépendent en partie de la rigueur avec laquelle les levés de type Litto3D® auront été exécutés.

Aucune information sur les coûts des levés Litto3D® n'est fournie dans ce document à vocation essentiellement technique. Il faut tout de même rappeler que la globalisation nationale des besoins et la cohérence technique rendue possible par l'adoption des présentes recommandations, doivent permettre de réaliser des économies d'échelle, de réduire les coûts de constitution du modèle Litto3D® et donc d'augmenter les chances d'atteindre l'objectif visé. Les conditions tarifaires d'accès aux informations des services géographiques officiels et mentionnées dans le présent document, pourront faire l'objet de conventions particulières avec le [maître d'ouvrage](#).

2 Objet du document

L'objet de ce document technique et contractuel est de décrire des levés au laser bathymétrique de type Litto3D® et de fournir des recommandations de portée nationale aux maîtres d'ouvrage. Ces recommandations ont valeur d'exigence pour la maîtrise d'œuvre et doivent être incluses dans les cahiers des clauses techniques particulières des levés se recommandant du label Litto3D®. En fin de document, ces exigences sont synthétisées selon une approche de type appel d'offres, en critères de sélection des candidats et de choix du maître d'œuvre ou titulaire, selon une pondération fonction de la difficulté, du coût et de la plus value technique.

Ces recommandations ont été établies à partir de l'expertise nationale du SHOM dans la mesure de la bathymétrie et du retour d'expérience qu'il a acquis au travers des démonstrateurs Litto3D® du Golfe du Morbihan (juin 2005) et de la région toulonnaise (septembre 2007). Elles reflètent la maturité des capteurs ou des sociétés pour des levés au laser bathymétrique de type Litto3D®. Elles sont donc appelées à évoluer au travers des versions successives de ce document.

3 Documents applicables

Voir liste des documents gérés dans le référentiel documentaire.

¹ Précision : amplitude de l'écart probable à 68% entre la mesure et la réalité.

² Tolérance : amplitude de l'écart probable maximum (95% des cas).

³ Sur les seules parties terrestres, la résolution et la précision des mesures sont généralement bien meilleures (15cm de précision, tolérance égale à 40cm).

4 Exigences sur l'organisation

4.1 Généralités

Le **maître d'ouvrage** décide de la période de démarrage des travaux et du déclenchement de l'ordre de service.

Le titulaire réalise toute la maîtrise d'œuvre du levé en respectant les exigences, les normes et les recommandations du maître d'ouvrage. Pour cela il doit disposer en son sein, ou par voie de sous-traitance, de toutes les compétences nécessaires et désigner des personnes capables. En plus des exigences contenues dans le cahier des clauses techniques particulières, le titulaire doit notamment prendre connaissance, respecter, appliquer les règles contenues dans les documents [1] à [6] et rappelées dans le présent document. Toute dérogation à ces règles doit avoir reçu l'approbation du **maître d'ouvrage**.

Les zones de travail sont décrites dans des planches graphiques jointes au cahier des clauses techniques particulières. La délimitation géographique précise du levé doit être approuvée par le **maître d'ouvrage** après avoir été convenue avec le titulaire. Les profils de mesures réalisés qui débordent des limites théoriques ne doivent pas être artificiellement tronqués sur ces limites.

La stratégie du levé doit s'accommoder des conditions météorologiques et des contraintes environnementales du moment. Il revient au titulaire de décider de la période du levé dans un délai maximum à convenir par le **maître d'ouvrage, à compter de l'ordre de service du marché**. Si le **maître d'ouvrage** n'influe pas sur l'organisation et la planification de la maîtrise d'œuvre, il doit cependant être informé avec un préavis suffisant de toutes les décisions prises, au travers des compte rendus de levés journaliers ou de réunions au moins hebdomadaires, notamment lorsqu'il doit apporter son concours.

Pendant la durée des levés laser, le site du levé est entièrement instrumenté par le titulaire dans les domaines de mesures décrits ci-après. Tous les matériels nécessaires au levé laser (capteurs, porteurs, récepteurs et stations GPS différentielles, marégraphes ...) sont choisis, fournis et mis en œuvre par le titulaire.

Conformément à la réglementation [6], toutes les informations nautiques susceptibles d'engager la sécurité de la navigation de surface, liées à l'instrumentation de la zone du levé ou non, et constatées par le titulaire, sont signalées et transmises sans délai par celui-ci au SHOM ou à l'autorité locale, qui prendra l'initiative de diffuser ou non les informations, par le canal officiel le plus approprié.

Le titulaire fournit les procédures de mise en œuvre des capteurs et de traitement des données, l'homologation sanitaire des têtes laser, les certificats de calibration, d'étalonnage et les contrôles qualité réalisés lors des mises en œuvre pour approbation par le **maître d'ouvrage**.

En plus des fournitures techniques, le titulaire rédige et communique au **maître d'ouvrage** pour information et approbation, un plan de management, récapitulant l'organisation de la maîtrise d'œuvre et détaillant notamment le management des risques, la gestion en configuration de l'ensemble de la documentation du projet, ainsi qu'un calendrier prévisionnel de l'ensemble des tâches à réaliser.

La période de validité de l'offre du titulaire, la durée des travaux, les charges de travail ainsi que le **préavis de l'ordre de service du maître d'ouvrage** doivent apparaître dans

la proposition du titulaire. Les coûts sont décomposés selon les étapes chronologiques suivantes :

- L'étude de faisabilité et de définition ;
- La préparation du terrain ;
- Le levé par laser aéroporté ;
- Le complètement des résultats laser ;
- La validation et la qualification des résultats.

4.2 Phases de l'étape préliminaire

L'étape préliminaire comporte au minimum :

- La définition des objectifs du levé : la zone géographique à couvrir et les exigences de résultats ;
- La collecte des informations existantes : les cartes marines et terrestres en service, les annuaires ou modèles de marée, les guides, les plans topographiques et les instructions nautiques ;
- La planification et l'estimation des coûts : le calendrier de réalisation, les fiches de tâches, la répartition des travaux entre les personnes, le plan de vol laser, les profils de levé bathymétrique ;
- La reconnaissance des sites : la typologie de la côte (falaise, plage, habitat ...), aérodrome (conditions d'utilisation), les secteurs restreints (zones militaires, aéroports, sites nucléaires, ...), les réseaux et les points géodésiques, les marégraphes en place, les stations météorologiques, les sites favorables pour installer marégraphes ou stations GPS différentielles ;
- L'étude des risques environnementaux : la climatologie, la turbidité, les effluents naturels pouvant interférer ;
- L'étude des risques matériels : les taux de pannes des capteurs, les indisponibilités de l'aérodrome, les travaux pouvant interférer avec les mesures (les rejets de barrage ou d'écluse, les dragages, les chalutages, les manifestations nautiques ...) ;
- La vérification de la disponibilité et la location des matériels ;
- Eventuellement, l'abonnement aux bulletins météorologiques pour l'aviation ;
- La vérification de la disponibilité et la réservation des locaux sur place pour le traitement en temps peu différé, pour le rangement des matériels et des rechanges ;
- L'élaboration d'un plan de communication local : administrations, élus, presse, riverains, professionnels, touristes ... ;

Cette étape préliminaire fait l'objet d'un rapport préliminaire, rédigé par le titulaire

4.3 Phases de l'étape préparatoires

L'étape de préparation et d'instrumentation du site comporte au minimum :

- La communication et les demandes d'autorisations officielles : administrations, préfecture, mairies, comités des pêches, associations de plaisanciers, direction de l'équipement et des transports ...

- L'acheminement des matériels et des personnes ;
- L'aménagement des locaux sur place, le rangement et/ou le déploiement des matériels ;
- L'installation, l'étalonnage (hors calibration) et la vérification de bon fonctionnement des matériels et des moyens de communication ;
- L'affinage de la planification à partir des conditions observées sur place et des prévisions à court terme ;
- La rencontre avec les personnels du ou des aérodromes de base ;
- La visite aux autorités et à la presse locale avant le démarrage des travaux ;
- Les travaux géodésiques de rattachement des stations différentielles GPS et des marégraphes ;
- Le démarrage des stations GPS différentielles ;
- La préparation de la récupération des hauteurs d'eau (serveur SONEL) et/ou le démarrage des mesures de marée ;
- La préparation de la récupération des bulletins météorologiques spécifiques de la zone du levé, exploitable pour la mise en œuvre des porteurs (vent, nébulosité, état de la mer ...) et des capteurs (Météo-France ou un prestataire de service capable d'établir ce type de prévisions) et/ou le démarrage des mesures météorologiques.

Cette étape préparatoire fait l'objet d'un rapport de préparation, rédigé par le titulaire

5 Exigences sur le positionnement des mesures

5.1 Géodésie et nivellement

Les paramètres et les méthodes de rattachements des mesures aux zéros terrestres et hydrographiques (grille d'écarts, modèle de marée...), les paramètres de changements de systèmes géodésiques, les coordonnées des points géodésiques et de nivellement nécessaires et préalables aux travaux, dans les systèmes de référence officiels, sont récupérés par le titulaire auprès des services géographiques officiels (IGN, SHOM).

Toutes les mesures (GPS, hauteurs d'eau) sont rapportées dans les systèmes géodésiques officiels [4], en coordonnées géographiques (λ , φ) avec une hauteur (h_e) rapportée à l'ellipsoïde d'une part, aux zéros terrestre et/ou hydrographique d'autre part.

5.2 Stations GPS différentielles

La seule souscription à un abonnement de type WAGPS par satellites est insuffisante pour un levé de type Litto3D® car la maîtrise de la précision de localisation des porteurs doit être totale, en temps réel comme en temps différé.

Les stations de référence sont des stations différentielles GPS bi-fréquences à corrections de phase. Leur nombre et leur disposition doivent permettre de limiter au maximum les problèmes liés à la surcharge océanique, les risques de masquage, les réflexions multiples et l'âge des corrections (longueur des lignes de base avec l'aéronef) et d'assurer une continuité de service. Cela implique nécessairement (mais ce n'est pas une condition suffisante) qu'elles soient proches des zones levées.

Les fréquences d'émission des corrections différentielles doivent avoir été agréées : le titulaire demandera aux autorités locales les autorisations d'émission et d'installation correspondantes pour toute la durée des travaux.

Le titulaire peut utiliser les points géodésiques existants pour les stations de référence s'ils sont bien placés et en nombre suffisant. Dans le cas de nouveaux points, la position exacte de chacune des stations de référence est déterminée par le titulaire dans le système géodésique officiel, par mesure de ligne de base statique à partir de 2 points au moins du réseau géodésique officiel de base. La précision absolue des coordonnées des stations doit être centimétrique. Le réseau ainsi constitué est géométriquement compensé. Des fiches géodésiques sont rédigées par le titulaire. Elles comporteront les résultats et les détails des calculs géodésiques. Ces fiches servent à la configuration des stations différentielles et sont transmises au **maître d'ouvrage**.

Les modèles troposphériques et ionosphériques utilisés pour les calculs sont paramétrés en fonction de la climatologie du site et des observations météorologiques faites avant et pendant les mesures.

Des cibles GPS différentielles sont réalisées au début des travaux sur des points géodésiques connus, à proximité de chaque station de référence, pour s'assurer qu'il n'y a pas de biais (erreur dans la position de référence) ou d'anomalies particulières. La qualité des points est enregistrée au niveau de chaque station différentielle avec une cadence d'acquisition des mesures de 10 minutes : dilutions des précisions (PDOP, HDOP ...), âge des corrections différentielles, nombre de satellites à une élévation minimale de 15°.

Les observations brutes (signaux et phases GPS) sont systématiquement enregistrées sur les stations différentielles pour le traitement en temps différé de la localisation des porteurs.

5.3 Localisation des porteurs

En règle générale, la méthode de localisation ne doit pas dégrader les performances des capteurs, en termes de résolution et de précision.

Pour le suivi des profils, les porteurs sont localisés en mode GPS de navigation et si possible en mode cinématique temps réel depuis les stations GPS différentielles de référence installées par le titulaire. Une centrale inertielle fournit l'attitude des porteurs. Les positions des porteurs sont corrigées de l'attitude des porteurs en temps réel et les capteurs sont asservis en conséquence.

Les observations brutes (signaux et phases GPS) sont systématiquement enregistrées sur les porteurs pour le traitement en temps différé de la localisation des trajectoires. Les paramètres auxiliaires de la centrale inertielle sont également enregistrés.

6 Exigences sur les mesures par laser aéroporté

6.1 Contrôle du laser par mesures in situ

Des zones de références altimétriques (vérités terrain) sont préalablement cotées par levés bathymétriques ou topographiques. Ces zones servent au contrôle du laser à terre et en mer.

Des zones distinctes à terre et en mer sont choisies à partir des informations existantes ou sont déterminées in situ à partir de levés de reconnaissance, selon les critères suivants :

- Les terrains sont si possible proches des travaux à réaliser, d'un aérodrome pour les contrôles de début et de fin de vol, et d'un marégraphe côtier numérique du réseau RONIM ;
- Les terrains sont plans (éventuellement inclinés) ;
- Les terrains sont homogènes en termes de nature du sol (routes, aérodromes, toits de hangars, terrains de sport ...), ou sinon, caractéristiques des travaux à réaliser ;
- Les terrains sont peu variables dans le temps (sédiments stables, pas de végétation...) ;
- Les terrains ont des dimensions au moins égales à 200m x 200m ;
- Les terrains immergés sont peu turbides, ou peu sensibles à la turbidité ;
- Pour le contrôle bathymétrique, les terrains immergés doivent être toujours facilement accessibles au laser (la couche d'eau doit être supérieure à 1m, idéalement 3m au moment des contrôles). Les contrôles du laser bathymétrique se font en début et en fin de travaux. Ces zones de contrôle respecteront les conditions suivantes :
 - o Pour la Manche :
 - pour les zones de marnage inférieur à 6m : fonds entre 0m et 3m au dessus du zéro hydrographique ;
 - pour les zones de marnage supérieur à 6m : fonds entre 1m et 5m au dessus du zéro hydrographique.
 - o Pour l'Atlantique : fonds de 1m au-dessus du zéro hydrographique ;
 - o Pour la Méditerranée : fonds entre 2m et 5m au-dessous du zéro hydrographique.

Les levés bathymétriques ou topographiques des zones de contrôle sont réalisés selon les spécifications suivantes :

- Couverture complète de la zone de calibration par profils réguliers à 50% de recouvrement ou par quadrillage régulier ;
- Cotation altimétrique complète du terrain ;
- 10% de profils traversiers (sauf si quadrillage régulier) ;
- Géo référencement et mosaïquage de l'imagerie ;
- Description sommaire de la nature des sols aux endroits caractéristiques ;
- Résolution et précision décimétrique des mesures ;
- Estimation des incertitudes associées aux mesures ;
- Mesures référencées dans le système géodésique officiel, par rapport à l'ellipsoïde associé, ainsi qu'au zéro des altitudes ou au zéro hydrographique de la zone ;
- Mesures de turbidité dans la zone.

Un soin très particulier doit être apporté dans la mesure du rattachement et de l'attitude de la géométrie de l'antenne GPS par rapport au capteur.

Les levés bathymétriques de zones de contrôle sont réalisés par sondages SMF, selon les spécifications de l'ordre Spécial de la PS44 de l'OHI [1], soit :

- 25cm de précision verticale ;
- 2m de précision horizontale ;
- 1m de résolution minimale.

Les levés topographiques de zones de contrôle peuvent être réalisés par laser topographique ou par relevés topographiques directement sur le terrain. S'il n'est pas possible de garantir l'invariabilité des zones, les levés de zones de contrôle doivent être réalisés un peu avant et/ou peu après les levés au laser bathymétrique de type Litto3D®, à quelques jours d'intervalle. Pour les zones de contrôle bathymétrique, l'observation de la marée n'est pas indispensable.

6.2 Mise en œuvre et calibration du laser

Le système laser est configuré de manière à :

- Emettre toujours au moins simultanément dans les 2 canaux bleu/vert et PIR pour coter à la fois et selon les cas, la terre, le fond de la mer et la surface de l'eau ;
- Acquérir les images vidéo de la surface levée pour aider l'interprétation des mesures en temps différé, ce qui impose de travailler de jour ;
- Utiliser la centrale inertielle pour suppléer aux masquages ou aux dégradations GPS éventuelles ;
- Voler à une altitude telle qu'il n'existe pas de risque sanitaire pour les personnes exposées, et notamment en vision directe ou par rétrodiffusion des faisceaux laser ;
- Filtrer efficacement la houle, les vagues et les turbulences atmosphériques à partir de l'adoption d'un paramétrage ad hoc.

Des mesures de turbidité sont réalisées sur le terrain au début du levé et prises globalement en compte par le système. Des contrôles plus fins du laser sont régulièrement faits à terre et en mer, sur les zones de contrôle définies précédemment ou à différents endroits caractéristiques pour vérifier la précision et la répétabilité des mesures laser, au début et à la fin de chaque vol, au moins quotidiennement.

La calibration du laser en XY (synchronisation de la position GPS avec la mesure) est faite indépendamment et avant la calibration en Z (vérification de la cote altimétrique).

6.3 Tactique de vol

Par très faibles profondeurs d'eau (0-1m), les mesures laser peuvent être difficilement exploitables car il est difficile de distinguer dans les signaux réfléchis la surface de l'eau du fond de la mer.

Pour obtenir une continuité altimétrique, il faut donc impérativement survoler cette partie de l'estran à deux instants différents. Pour se garantir d'avoir suffisamment de mesures à cet endroit, la meilleure solution est de combiner les modes bathymétrique et topographique, à différents instants de la marée : par exemple, un vol en mode bathymétrique est exécuté à pleine mer et un vol topographique à basse mer. Ainsi,

on dispose de mesures en recouvrement et on peut également comparer et corroborer la qualité des mesures dans les deux modes. La connaissance de la marée (pleines et basses mers) est donc un préalable important.

La délimitation des profils laser en mode bathymétrique, inscrite dans l'emprise du levé, doit être cohérente avec les performances du laser dans ce mode. Il est par exemple inutile de prévoir des vols au-delà de la profondeur moyenne normalement atteinte.

6.4 Stratégie de mesures

La planification des mesures laser est optimisée à partir des considérations suivantes, par ordre d'importance :

- La climatologie est un critère de choix de la saison important, même s'il est statistique et donc soumis aux aléas météorologiques. Le risque peut être minimisé au travers de la globalisation des travaux sur de larges zones, présentant des sensibilités météorologiques différentes ;
- Les bulletins de prévisions météorologiques doivent être exploités à la fois pour la mise en oeuvre de l'aéronef mais aussi pour celle du capteur laser : le vent, l'état de la mer et la nébulosité ne doivent pas interférer ou gêner les mesures ;
- Une activité biologique intense conduit à des turbidités fortes. Mais elle coïncide malheureusement avec des conditions météorologiques favorables au laser ;
- Les prédictions de marée permettent de connaître les étales de pleines et basses mers, ainsi que les coefficients proches des vives eaux (coefficient de marée supérieur à 95) ou des mortes eaux (coefficient de marée inférieur à 45). Les étales de courant doivent être exploitées en priorité pour limiter les problèmes de turbidité et de remise en suspension des sédiments. Les étales de mortes eaux doivent être préférées si la turbidité du site est importante. Les vives eaux sont privilégiées si l'amplitude de la marée est faible et ne permet pas au laser d'accéder aux très faibles profondeurs, quelque soit le mode laser employé, bathymétrique ou topographique ;
- Même s'il est acquis que le laser est plus performant la nuit, les vols sont toujours effectués de jour, de manière à disposer toujours des images pour la validation et la qualification des mesures (élimination des échos parasites et des artefacts : les navires par exemple) ;
- L'interférence de l'activité nautique et de la pêche avec les levés doit être maîtrisée et minimisée (connaissance des heures de passage des ferries ou des créneaux de chalutage par exemples) ;
- La qualité de la constellation GPS sur la zone doit également prise en considération au travers des prévisions GPS ;
- Une couverture végétale minimale (algues) permettra d'extraire plus facilement le terrain à partir des mesures laser (exemple écho « second depth »). Sur ce point particulier, l'hiver est une saison plus propice aux levés que l'été.

La planification des mesures doit être établie à l'avance, mais aussi pouvoir être modifiée en temps réel pour optimiser l'emploi des moyens. Il est donc important de pouvoir disposer des informations ci-dessus rapidement (au travers d'un réseau de télécommunications efficace notamment).

La planification permet en final d'obtenir très précisément les créneaux de levés et pour chaque levé, les heures de début et de fin de chaque profil de mesures.

6.5 Exécution du levé laser

Toutes les mesures bathymétriques doivent individuellement vérifier en termes de précisions et de résolution au moins l'ordre 1b au sens de la PS44 [1], soit :

- 50cm de précision verticale ;
- 5m de précision horizontale ;
- 5 X 5m de résolution minimale.

Les levés laser sont des levés de zones côtières hydrographiées sans exploration totale du fond, sans recherche et sans prélèvement de sédiments, au sens de la norme SHOM [2]. Ce qui signifie que la couverture surfacique est complète, mais qu'il n'y a pas d'assurance d'avoir tout détecté, et que ce qui a été détecté n'a été ni investigué ni coté spécifiquement.

Toutes les mesures altimétriques terrestres doivent individuellement vérifier la norme IGN des levés topographiques à grande échelle et respecter une classe de précision globale choisie égale à 10cm [3], correspondant à l'écart moyen des mesures par rapport au terrain nominal.

Le choix théorique de l'orientation, du recouvrement et de l'espacement des profils peut être remis en cause au cours du vol, si de nouveaux choix permettent d'améliorer la description des ruptures morphologiques du relief : pentes, sommets, cols, cuvettes, crêtes, lits, affouillements ...

Les profils réguliers sont effectués en recouvrement. Aucun trou de mesures laser n'est toléré entre les profils. Le choix du taux de recouvrement est laissé à l'initiative du titulaire.

Pour évaluer en temps différé la cohérence interne du système laser, des profils traversiers sont effectués à raison d'un profil traversier pour dix profils réguliers (cette valeur peut être adaptée suivant la configuration du levé : côtes à falaises, levé d'une bande côtière étroite, ...).

6.6 Périmètre contractuel

Les profils défectueux du fait d'un mauvais état de mer, d'un défaut de localisation du porteur (pannes GPS, défauts de la centrale inertielle ...) ou d'un mauvais fonctionnement du laser (pannes électriques, défauts de paramétrage, mauvaises calibrations ...) sont systématiquement repris par le titulaire.

S'il n'est pas possible d'exiger du titulaire de garantir partout des mesures bathymétriques du fond de la mer, en revanche le titulaire doit respecter l'obligation de couverture du levé dans les limites convenues avec le [maître d'ouvrage](#).

Les profils défectueux du fait de la turbidité de l'eau sont revotés si les conditions de turbidité évoluent favorablement et en fonction de leur importance au sein du levé et du solde de temps disponible. La décision de les refaire ou non est du ressort du titulaire, sur avis du [maître d'ouvrage](#).

Aucun profil de recherche de hauts-fonds n'est effectué, que ceux-ci aient été détectés ou non.

Les masquages liés à la présence de navires donnent lieu à des profils supplémentaires. La méthode de reprise est laissée à l'initiative du titulaire.

7 Exigences sur les complètements

En dehors des eaux très claires de certaines régions, du fait de la turbidité, le laser ne peut pas pénétrer au-delà d'une certaine profondeur d'eau (comprise entre 0 et 60m). Cette profondeur maximale dépend aussi de la puissance du laser et de l'atténuation adoptée⁴. Le laser peut également être mis en défaut dans la tranche d'eau 0-1m, dans les zones de courants forts ou dans les zones à déferlement. Enfin, la basse résolution et le faible pouvoir discriminatoire du laser en mode bathymétrique ne permettent pas de bien décrire certaines singularités. A ces endroits, il est donc nécessaire de compléter dans la mesure du possible les mesures laser par des mesures in situ.

Le sondage SMF devient efficace, sûr et de bonne qualité à partir de 5m de profondeur. Il permet de décrire ou de cerner une partie des zones inaccessibles ou indétectables au laser.

Dans le cadre d'un levé au laser bathymétrique de type Litto3D®, il ne s'agit pas de réaliser un levé hydrographique de la zone mais de décrire la topographie du fond. Ainsi, la résolution de Litto3D® (5x5m) ne permet pas la mesure et la prise en compte de tous les dangers pouvant nuire à la sécurité des navigateurs. En revanche, le fait d'associer à chaque mesure une estimation de son incertitude, permet aux hydrographes d'utiliser les levés Litto3D® en complément de leurs levés.

Les levés SMF sont donc menés au moins selon les règles correspondantes à l'ordre 1b de la PS44 de l'OHI [1]. Les levés sont des levés de zones côtières hydrographiées sans exploration totale du fond, sans recherche et sans prélèvement de sédiments, au sens de la norme SHOM [2] (voir §6.5). L'application de ces règles permet d'atteindre les spécifications de mesures bathymétriques des levés Litto3D®.

Aux endroits inaccessibles aux sondages SMF (zones à fort déferlement ou à fort courant, fonds très vaseux, fonds inférieurs à 50cm sous base sondeur, cours d'eau non navigables ...), des mesures à pied ou par plongeurs doivent être envisagées, si les conditions matérielles sont acceptables et si la sécurité des personnes est garantie. A défaut, les zones inaccessibles aux mesures sont géographiquement identifiées, circonscrites et qualifiées comme telles.

8 Exigences sur le traitement et la validation des mesures

8.1 Généralités

Cette étape doit faire la preuve que les levés ont été correctement exécutés et déboucher sur des résultats conformes aux exigences et exploitables par le **maître d'ouvrage**.

L'ensemble des procédures mises en œuvre par le titulaire pour valider les données est fourni pour approbation au **maître d'ouvrage**. La vérification de la satisfaction des exigences du levé conditionne son admission.

Le titulaire doit utiliser des vérités terrain et la documentation existante pour contrôler la qualité des mesures.

⁴ L'atténuation permet de lever au laser des zones habitées sans risque de dommage physique sur les personnes.

Pour chaque levé traité, les enregistrements des mesures brutes (points GPS, échos laser...) et les résultats intermédiaires (premiers échos, doubles échos...) sont conservés pour pouvoir être rejoués ultérieurement.

Le traitement doit impérativement dissocier la validation interne des mesures (cohérence intrinsèque des mesures, résultats des calibrations), de la validation externe des mesures (contrôles avec des données exogènes et des vérités terrain).

Toutes les données brutes originales doivent être conservées avant nettoyage. Sont concernées : les données validées mais aussi les données douteuses et les données invalidées. Les artefacts de mesure et les mesures douteuses doivent être éliminés des produits finaux et archivés séparément.

Pour chacun des domaines de mesures, un rapport détaillé du traitement des données, décrivant les procédures de traitement, de validation, et les algorithmes employés, est communiqué au [maître d'ouvrage](#), en plus des données brutes et des produits.

8.2 Traitement de la localisation

La localisation des mesures par GPS est entièrement recalculée en temps différé à partir des éphémérides précises des satellites, de modèles atmosphériques paramétrés par la météorologie observée localement (en distinguant celle des stations GPS différentielles et celle des porteurs), des données auxiliaires des centrales d'attitude et des mesures de phases GPS (L1 et L2). La précision de localisation des capteurs doit permettre d'atteindre les spécifications des levés Litto3D®.

8.3 Traitement de la marée

La marée est utilisée à la fois pour la planification des mesures, mais aussi pour la réduction des sondages au zéro hydrographique.

Pour ce dernier point, la norme sur la mesure des hauteurs d'eau du SHOM doit être strictement appliquée [5].

Cette norme précise entre autres au titulaire en charge de l'observation, les critères de lieu, de durée, de continuité, de cadence, de précision des observations, et prévoit le rattachement des mesures aux systèmes géodésiques et de nivellement officiels locaux.

Les observatoires de marée doivent ainsi être rattachés à l'ellipsoïde associé au système géodésique officiel, mais également au zéro des altitudes et au zéro hydrographique de la zone. Les marégraphes permanents sur zone et en fonction (Réseau RONIM par exemple) doivent être utilisés, et seulement en contrôle.

Des mesures régulières sur des échelles de marée installées et nivelées à proximité des marégraphes doivent être faites, au début et à la fin des levés, et quotidiennement pendant les levés.

- La précision de datation des mesures doit être meilleure que la minute ;
- La précision de rattachement vertical des mesures doit être meilleure que 1cm ;
- La précision de mesure de la hauteur d'eau doit être meilleure que 5cm.

La mesure des hauteurs d'eau et la méthode de réduction des mesures bathymétriques diffèrent selon la connaissance de la marée dans la zone. Elles doivent être approuvées par le **maître d'ouvrage**, avec le concours éventuel du SHOM.

8.4 Traitement de l'altimétrie et de la bathymétrie

Les mesures seront corrigées des biais et renseignées des incertitudes constatées sur les capteurs.

Pour valider et qualifier les mesures, le titulaire tiendra également compte des écarts des profils traversiers au croisement des profils réguliers, des écarts sur les profils en recouvrement, des écarts constatés sur les zones de calibration, mais aussi des écarts avec les données existantes : cartes, documents et produits numériques diffusés par les services géographiques officiels (SHOM, IGN).

Les artefacts identifiés comme tels sont éliminés (lignes aériennes téléphoniques ou électriques, oiseaux, bancs de poissons, automobiles, navires en surface...).

Les mesures douteuses sont isolées et conservées. Elles permettent la définition des compléments après laser ou la définition des zones inaccessibles aux mesures après compléments. Elles correspondent généralement à des zones dangereuses ou inaccessibles à la navigation.

Les masses bâties et les couverts végétaux (arbres ou algues) sont soustraits des mesures altimétriques, de manière à ce que ces dernières soient représentatives du terrain. Pour ce faire le titulaire doit exploiter les signaux laser (exemple : écho « second depth »), les informations issues des cartes, des documents et des produits numériques diffusés par les services géographiques officiels (SHOM, IGN). Aux endroits où il n'est pas possible de déterminer d'élévation, un commentaire doit être associé aux mesures : « bâtiment isolé », « forêt » ...

8.5 Traitement des images

Les images acquises sur profil sont corrigées des paramètres de prise de vue, géo référencées par blocs de triangulation (après saisie de points d'appui et mise en correspondance de points homologues sur les images), rectifiées des déformations du relief tel qu'il a été mesuré puis mosaïquées sur l'ensemble de la zone levée. Les contrastes de couleur sont rehaussés pour mettre en évidence les différentes natures de sol.

La précision de géo référencement planimétrique des images doit être égale à 5m dans 95% des cas (valeur de la tolérance sur l'erreur probable maximale). Cette précision est déduite de la valeur des résidus du modèle de triangulation et après examen de points de contrôle sur les images.

La résolution originale des images est conservée (typiquement : 50cm). Aucun sur ou sous échantillonnage n'est appliqué.

9 Exigences sur les formats des mesures

Les mesures représentent selon les cas, l'altitude terrestre ou, la bathymétrie et la surface instantanée de l'eau (les 2 doivent figurer sur le même enregistrement dans le fichier des mesures).

Un fichier de mesures est constitué pour chaque profil de mesure effectué, pour un type de capteur et dans un mode de fonctionnement donné. Des métadonnées sont associées aux mesures pour tracer leur origine et les traitements effectués.

Chaque mesure doit être en coordonnées géographiques (coordonnées non projetées), géo référencée dans les systèmes géodésiques officiels locaux et horodatée dans un système horaire unique pour l'ensemble du chantier (exemple : UTC).

A chaque mesure doit être associée une incertitude géométrique globale, un flag de validation (avec les valeurs « valide », « invalide » ou « douteuse ») et si nécessaire un commentaire (exemple « haut-fond », « navire », « bâtiment isolé » ...).

Des règles de nommages des fichiers doivent être utilisées pour permettre de trier les mesures :

- Par type de mesures (points de mesures ou images) ;
- Par type de profils (calibration, régulier ou traversier) ;
- Par capteur (SMF, laser, perche topographique ou cote plongeur) ;
- Par profil (baptême du profil dans le plan de vol théorique) ;
- Par reprise de profil (indice concaténé au nom du profil repris par exemple).

Les logiciels utilisés pour le traitement des mesures doivent être certifiés, gérés en configuration et maîtrisés par le titulaire.

Les mesures brutes des capteurs (GPS, signaux laser et données des centrales inertielles) sont fournies dans des formats natifs, si possible compatibles avec les logiciels de traitement de données du commerce.

Le titulaire livre le projet dans le format natif afin de permettre éventuellement un rejeu du chantier.

10 Exigences sur les produits

A l'issue du traitement des mesures, le titulaire réalise des produits de différentes natures.

Le titulaire fusionne les données des parties terrestres et maritimes pour constituer des modèles continus entre la terre et la mer partageant le même système géodésique, dans la résolution 5x5m de Litto3D®. Ceci suppose qu'il n'existe pas de biais entre les données issues des levés bathymétriques et terrestres. Les contrôles des mesures laser (topographiques et bathymétrique) et SMF sur les zones de contrôle permettent normalement de l'assurer, avant même le traitement des mesures.

Le titulaire détermine et propose au maître d'ouvrage un trait de côte à partir de l'exploitation des modèles fusionnés, de la surface théorique des plus hautes mers astronomiques et du géo-référencement vertical des mesures par rapport à un niveau de référence terrestre. De même, il propose une limite du niveau des plus basses mers astronomiques. Ces niveaux extrêmes sont fournis par le SHOM, avec les modèles de prédictions de la marée (voir §5.1).

Le titulaire en charge de l'observation de la marée, fournit les mesures de marées validées au maître d'ouvrage.

Le titulaire fournit les emprises des zones inaccessibles aux mesures, les zones turbides, de courants forts ou de déferlement des vagues (écueils, ressac) établies à partir de l'interprétation des images vidéo enregistrées et de la très forte dispersion des signaux laser à ces endroits. Cette fourniture peut prendre la forme d'une image raster avec une légende de couleurs différentes selon les cas rencontrés. **Les images individuelles et les mosaïques qui en sont issues font l'objet de fournitures séparées.**

Le titulaire fournit les élévations des masses bâties, des aériens et des couverts végétaux (arbres ou algues) rencontrés.

Les produits doivent être livrés dans des fichiers aux formats compatibles avec les systèmes d'informations géographiques standard du marché. **Les images sont fournies au format : tif géoréférencé, jpg géoréférencé ou GEOTIFF®, avec un codage RVB monocouche, dans des tailles de fichiers raisonnables.**

11 Exigences de management

11.1 Plan de management

Les titulaires fourniront un plan de management (PM) pour la réalisation de la prestation. Ce PM doit comprendre au minimum :

- L'identification des responsables de l'exécution des prestations et tous les intervenants (interne ou externe) avec une description précise de leur rôle et responsabilité ;
- La description des procédures retenues pour la gestion du projet ;
- La description des procédures retenues pour la diffusion et l'archivage de la documentation liée à l'exécution de la prestation ;
- Les éléments principaux de leur politique qualité ;
- Un plan de gestion des risques et les actions associées.

11.2 Délais d'approbation des documents intermédiaires

Le **maître d'ouvrage** dispose de **deux semaines** pour vérifier et approuver les documents intermédiaires du titulaire :

- Plan de management ;
- Calendrier prévisionnel ;
- Plan de vol théorique.

Le **maître d'ouvrage** dispose de **deux semaines** pour vérifier et approuver les documents relatifs aux étalonnages et à la mise en place des matériels du titulaire.

Toutes les divergences constatées par le **maître d'ouvrage** par rapport aux exigences du présent document sont reprises par le titulaire.

11.3 Gestion de configuration

L'ensemble de la prestation (documentation, mesures, traitements, tests, gestion du projet...) fait l'objet d'un suivi en gestion de configuration par le titulaire.

11.4 Réunions

L'état d'avancement des différents levés, la comptabilité et la programmation des vols sont régulièrement présentés au cours de réunions de suivi au **maître d'ouvrage**. Un bulletin **journalier** est rédigé et lui est adressé, décrivant les travaux réalisés et prévus.

Les réunions de lancement, d'avancement et de clôture des travaux sont organisées dans les locaux du **maître d'ouvrage**, ou dans des locaux que le titulaire louera et réservera pour la circonstance à l'endroit des levés.

La réunion de lancement est organisée dans un délai de **un mois** à compter du déclenchement de l'ordre de service du marché.

Si nécessaire, d'autres réunions peuvent être organisées à l'initiative du titulaire.

L'organisation et les comptes rendus de ces réunions sont à la charge du titulaire. L'ordre du jour et le compte rendu sont soumis à la validation du **maître d'ouvrage**.

Les déplacements sont à la charge de ceux qui se déplacent.

Les documents préparatoires aux réunions intermédiaires et à la réunion finale sont à fournir **au minimum une semaine** avant la réunion.

11.5 Echange des informations

Tous les échanges d'information entre le titulaire et le **maître d'ouvrage** se font par écrit (courrier, fax et courrier électronique).

11.6 Délais du titulaire

Le délai d'exécution du marché est déterminé par le titulaire. Ce délai ne doit pas excéder **six mois** à compter de l'ordre de service du **maître d'ouvrage**. Les résultats des travaux doivent être fournis au **maître d'ouvrage** au plus tard **deux mois** après l'achèvement des levés.

11.7 Evaluation de la proposition technique et financière

La sélection des candidats se fait sur les critères suivants (**ponds égaux**) :

- **Références antérieures** ;
- **Capacité en termes de disponibilité calendaire des ressources humaines et matérielles** ;
- **Homologation sanitaire des capteurs (critère de rejet en cas de non satisfaction)**.

Le choix du titulaire se fait sur des critères plus détaillés et pondérés :

- **(10%) Qualification professionnelle des intervenants (FIG OHI Cat A et B, diplôme équivalent, ou compétence avérée en hydrographie, en topographie ...)** ;
- **(10%) Respect de la couverture géographique** ;
- **(15%) Engagement sur la tranche 0-1m de profondeur** ;
- **(5%) Engagement sur la profondeur maximum** ;
- **(5%) Contrôles qualité** ;
- **(10%) Plan de gestion des risques** ;
- **(5%) Respect des résolutions et des précisions** ;

- (5%) Elimination du sursol (algues, ...);
- (10%) Stratégie et tactique de levé ;
- (5%) Respect des délais ;
- (20%) Prix par postes et convenance des tarifs journaliers par intervenant.

Pour aider la sélection du **maître d'ouvrage**, les candidats fournissent une matrice de conformité entre ces critères et leurs propositions techniques et financières. D'autres aspects peuvent bien sûr être également mis en avant par les candidats pour se démarquer des autres propositions.

11.8 Opérations de vérification et d'admission

Le **maître d'ouvrage** ou ses représentants mandatés vérifient en continu la satisfaction de l'ensemble des exigences contenues dans cette recommandation tout au long du contrat, et en particulier les engagements pris par le titulaire sur les critères de sélection (voir §11.7).

Les contrôles visent donc à vérifier que :

- Toutes les exigences énumérées dans ce document sont respectées d'une part ;
- Les engagements du titulaire et les prestations supplémentaires mises en avant par le titulaire sont respectés d'autre part ;
- La preuve que les résultats obtenus sur le terrain sont conformes, compte tenu des contraintes environnementales observées.

Le **maître d'ouvrage** dispose de **deux mois** après la livraison des fournitures pour effectuer les opérations de vérification et prononcer leur admission.

Toutes les divergences constatées par le **maître d'ouvrage** sont reprises par le titulaire.

12 Récapitulatif des fournitures

Les fournitures attendues sont :

- Les rapports et tous les documents intermédiaires en trois exemplaires et en numérique:
 - o Document de présentation de la stratégie de levé,
 - o Rapport préliminaire,
 - o Rapport d'étude sur la turbidité,
 - o Rapport de préparation,
 - o Rapport de traitement,
 - o Rapport de levé,
 - o Rapport qualité,
 - o Rapport de management et de gestion de risques;
 - o Les profils suivis et la couverture surfacique ;
- Les images individualisées, géoréférencées et non mosaïquées ;

- Les mesures de topo-bathymétrie validées, les mesures douteuses et les mesures invalidées, sur une même ligne d'enregistrement, mais dans des fichiers différents pour chaque ligne de vol ;
- Le chantier au format utilisé par la chaîne de traitement du titulaire ;
- La procédure de traitement des mesures suivie par le titulaire. Pour chaque levé traité, les enregistrements des mesures (points GPS, échos laser...) et tous les résultats intermédiaires, en plus des fournitures ou des produits décrits ci-après ;
- Les contrôles effectués sur les capteurs : étalonnage, calibration... ;
- Les traitements et les contrôles effectués sur les mesures : filtrage, détection et élimination des mesures aberrantes (explications des algorithmes utilisés) ;
- Les signaux bruts du capteur laser avec une description de leur format ;
- Les mesures brutes GPS au format RINEX ;
- Les données brutes de la centrale inertielle avec une description de leur format ;
- Les produits numériques suivants élaborés à partir des mesures, sur la base des spécifications de Litto3D® :
 - o Les modèles numériques altimétriques sur le terrain et en mer ;
 - o Les modèles d'élévation (masses bâties, végétation ...) ;
 - o Le trait de côte défini comme étant la limite polygonale atteinte à terre par les plus hautes eaux astronomiques ;
 - o La limite polygonale à terre des plus basses mers astronomiques ;
 - o Les modèles d'incertitudes liées aux modèles (budget d'erreurs globales) ;
 - o Les images individuelles et les mosaïques, géo-référencées et rectifiées ;
- Les métadonnées correspondant aux produits ci-dessus (liste à convenir et à adopter avec le maître d'ouvrage) ;
- Les contrôles qualité effectués sur ces produits ;
- Les comptes rendus validés des réunions ;
- Les fiches descriptives individuelles des points géodésiques utilisés pour le levé ;
- Une copie du référentiel de gestion de version utilisé par le titulaire au cours des développements pour gérer les évolutions des articles décrits précédemment.

Les produits et l'ensemble de la documentation sont fournis sur disque dur externe en 2 exemplaires. Les supports numériques doivent être lisibles sous OS Windows, UNIX et Linux, et être sans virus connus à la date de la livraison.