

Groupe hydrographique et
océanographique de l'Atlantique

Dossier suivi par IETA Florian Imperadori

Tél. +33 (0) 2 98 14 06 96 / Fax +33 (0) 2 98 14 05 32
Mail: florian.imperadori@shom.fr

BREST, le 7 mars 2017
N° 42 Shom/GHOA/NP

- Objet** : Levé SHOM n° S201604300 – Levé EMR Dunkerque
- Référence(s)** :
- a) **Convention SHOM/MEEM [DGEC] n° 51/2016** : réalisation des études de reconnaissance environnementale de la zone d'implantation d'éoliennes en mer au large de Dunkerque ;
 - b) **Instructions techniques n° 36 SHOM/DOPS/MIP/HYDRO/NP du 21 juin 2016** : Etude de reconnaissance environnementale de la zone d'implantation d'éoliennes en mer au large de Dunkerque – volet 2016 ;
 - c) **Instruction particulière n° 124 SHOM/GHOA/NP du 8 juillet 2016** : Etude de reconnaissance environnementale de la zone d'implantation d'éoliennes en mer au large de Dunkerque – volet 2016 ;
 - d) **Compte rendu n°5 SHOM/GHOA/NP du 14 janvier 2016** : Ajustage de l'EM2040c de la VH *Pélican* en décembre 2015 ;
 - e) **Compte rendu n°190 SHOM/GHOA/NP du 29 novembre 2016** : Vérification en roulis de l'EM2040c de la VH *Pélican* le 20 octobre 2016 ;
 - f) **Compte rendu n°145 SHOM/GHOA/NP du 8 août 2016** : Ajustage de l'EM2040c de la VH *Albatros* en janvier 2016 ;
 - g) **Compte rendu n°85 SHOM/GHOA/NP du 19 mai 2016** : Ajustage des EM2040c des VH *Goéland* et *Guillemot* en mai 2016 ;
 - h) **Compte rendu n°156 SHOM/GHOA/NP du 6 septembre 2016** :

Ajustage des EM2040c des VH *Macareux* et *Phaéton* en août 2016.

- i) **Rapport Particulier iXBlue n°86C045 du 21/02/2017 (révision V2)** : Levé hydrographique et sédimentaire sur le site éolien de Dunkerque.

Pièces jointe(s) : 2 annexes

1 OBJET DU DOCUMENT

Ce rapport final rend compte des travaux effectués en 2016 dans le cadre du levé d'étude de reconnaissance environnementale de la zone d'implantation d'éoliennes en manche mer du nord, au large de Dunkerque.

Ce rapport fait partie des livrables du lot 4 (Réf. T2.RF) et du Lot 3 (Réf. T3.B) prévus au paragraphe 4.4 de l'annexe 1 de la convention en référence a).

1.1 OBJECTIFS – TRAVAUX DEMANDES

Les instructions techniques en référence b) préconisent un levé hydrographique complet permettant la réalisation des produits suivants, sur la partie nord-est (zone P1) de la zone totale demandée:

- modèle numérique de terrain de bathymétrie « haute résolution » ;
- carte d'épaisseur de sédiment ;
- sédimentologie de surface « haute résolution » ;
- description des paramètres environnementaux.

Il est à noter qu'à la suite de la parution de l'appel d'offre fin décembre 2016, les zones d'intérêt ont été revues. La zone prioritaire A (cf. Annexe I) englobe la majeure partie de la zone P1, mais a été étendue au nord et à l'ouest. La zone optionnelle B est assez différente des zones P2 et P3 présentées dans les IT en référence b).

1.2 TRAVAUX REALISES

1.2.1 Moyens nautiques mis en œuvre et calendrier

La vedette hydrographique (VH) *Albatros* a été acheminée de Brest à Dunkerque par transport routier. Elle a été utilisée pendant toute la durée des travaux, en dehors de ses périodes d'indisponibilité.

Du 28 août au 10 septembre 2016, le BH2 *Borda* et ses vedettes hydrographiques *Macareux* et *Phaéton* ont été utilisés.

Du 15 septembre au 12 octobre 2016, le BH2 *Laplace* et ses vedettes hydrographiques *Goéland* et *Guillemot* sur la période ont été utilisés.

Enfin, au départ du *Laplace*, un détachement isolé a été mis en place du 13 au 28 octobre 2016, à partir d'un local de location. La VH *Goéland* est alors restée sur zone et la VH *Pélican* a été acheminée par voie routière depuis Brest le 20/10/2016 pour pallier les indisponibilités de *Guillemot* et *Albatros*.

Le levé a donc été réalisé en 3 phases comme décrit ci-dessous :

Phase	Date	Description	Porteurs
A	<i>Du 28/08/2016 au 10/09/2016</i>	<i>Mouillages des instruments + Contrôle et mise à jour du MCN de Dunkerque + Levé hydrographique par VH</i>	<i>VH Macareux, Phaéton et Albatros (BH2 Borda)</i>
B	<i>Du 15/09/2016 au 12/10/2016</i>	<i>Contrôle et mise à jour du MCN de Dunkerque + Levé hydrographique par VH + Relevage des instruments</i>	<i>VH Guillemot, Goéland et Albatros (BH2 Laplace)</i>
C	<i>Du 13/10/2016 Au 28/10/2016</i>	<i>Levé hydrographique par VH + Relevage du double du MCN</i>	<i>VH Goéland et Pélican (Détachement isolé)</i>

Pour compléter les levés sur la zone et compenser les nombreux aléas rencontrés (cf. §1.4.), le Shom a passé un contrat avec la société iXBlue, qui a réalisé un levé complémentaire les 21, 22 et 23 janvier 2017.

Ces travaux font l'objet d'un rapport dédié, seuls certains aspects et résultats seront présentés dans la suite du présent rapport.

1.2.2 Responsabilités

Directeur technique : ICETA Ronan Pronost
 Ingénieur : IETA Florian Imperadori
 Chef d'équipe : PM Arnaud Bégin / MP Thomas Fromont
 OMH rédacteur : MT Marc Mitride

1.2.3 Bilan des travaux réalisés au 28 octobre 2016 :

L'ensemble des travaux réalisés est présenté en annexe I.

- Le **levé bathymétrique « haute résolution »** au sondeur multifaisceau (SMF) EM2040c (Kongsberg) s'est déroulé nominalement. La zone couverte au 28 octobre 2016 par les moyens du Shom est présentée en annexe I. Des reprises ponctuelles étaient encore à effectuer sur cette zone afin d'atteindre la densité de sondes suffisante pour élaborer le livrable final : modèle numérique de terrain de résolution de l'ordre de 0.50 m. La couverture atteinte au 28 octobre 2016 était d'environ 90% de la boîte P1.

Les reprises et des compléments de couverture ont été réalisés en janvier par iXBlue à partir de leur catamaran FeliX, au sondeur multifaisceau R2Sonic 2024 (voir référence i)). Ces reprises ainsi que le MNT final combinant les données Shom et iXBlue sont présentées en annexe I.

- Le **levé d'épaisseur de sédiment** au sondeur Echoes 10000 (iXBlue) monté sur perche sur une VH a débuté le 29 août 2016. Malheureusement, des problèmes matériels ont rapidement perturbé ce levé (cf. §1.4.4.). Une fois ces problèmes réglés, une nouvelle stratégie de levé a dû être mise en place pour optimiser le temps de travail restant. Ainsi le levé systématique comprenant des profils espacés de 50 m et des traversiers espacés de 500 m a été reconfiguré en un levé optimisé ciblant les zones d'intérêts et visant à obtenir une vision globale sur toute la zone P1.

Les profils réalisés sont présentés en annexe I

Des compléments ont été réalisés à partir du FeliX en mettant en œuvre un sondeur de sédiments Echoes 3500, les profils suivis sont présentés dans le rapport iXBlue (voir référence i)).

- La **sédimentologie de surface « haute résolution »** a été réalisée en parallèle du levé au sondeur multifaisceau : imagerie acoustique provenant du sondeur multifaisceau et acquisition au sondeur monofaisceau pour classification des fonds. Ainsi, la zone couverte est identique à celle couverte par la bathymétrie au SMF. Plusieurs prélèvements de sédiment ont également été réalisés pour caractériser les natures de sédiment superficiel.

Le SMF du FeliX ne permet pas d'élaborer une imagerie acoustique.

- Deux **mouillages d'instruments de mesures** AWAC_1 et AWAC_2 (chacun équipé d'un courantomètre, d'un houlographe et d'un turbidimètre) ont été réalisés, respectivement du 1^{er} au 23 septembre, et du 6 septembre au 9 octobre.

- Pour assurer une redondance des mesures de marée sur zone, un **marégraphe à capteur de pression** a été mouillé à proximité du MCN de Dunkerque (<http://data.shom.fr/#donnees/refmar/2> : marégraphe côtier numérique permanent du réseau RONIM du Shom). Ce dernier a également été contrôlé à cette occasion, pour s'assurer de la qualité des données utilisées pour la réduction du sondage bathymétrique.

1.3 TRAVAUX RESTANT A REALISER

Les travaux restants à réaliser dans le cadre de la convention en référence sont les suivants :

- Couverture bathymétrique complète des zones de faibles profondeurs au sud-est de la boîte P1 (voir annexe I) ;

Selon les orientations qui seront données par la DGEC, les travaux à réaliser en 2017 concerneraient un levé hydrographique complet comme décrit au paragraphe 1.1 des parties de la zone A non couverte par P1, voire une partie ou la totalité de la zone B.

1.4 CONTRAINTES / RETOUR D'EXPERIENCE

1.4.1 Conditions météorologiques

- Les conditions météorologiques sur zone étaient particulièrement changeantes et il a fallu adapter la planification quotidienne des travaux pour prendre en compte également la variabilité en fonction de la situation géographique. Il arrivait en effet que la houle ne permette pas de sonder au nord-ouest de la zone, alors que cela était possible au sud-est ;
- Le vent levait rapidement la mer à cause des faibles fonds et de leur nature (dunes, mega-rides, etc...). Cependant, l'effet inverse a aussi été constaté. Lorsque le vent se calmait, la houle résiduelle disparaissait tout aussi rapidement ;
- En fin de période (octobre), des épisodes de brume dense et persistante ont également perturbé le levé.
- Une demande de produit d'aide à la décision (PAD) a été faite au CISMF (Centre Interarmées de Soutien Météo-océanographique aux Forces). Ces produits étaient livrés quotidiennement et étaient particulièrement fiables. Ils étaient d'une grande utilité pour planifier les activités hydro en temps réel. Ce type de service proposé par le CISMF n'est pas automatique et le bord doit faire la demande avec un préavis de 72H.

Sur la durée du déploiement, un total de 11,3 jours ont été impraticables à cause de la météo.

1.4.2 Contraintes logistiques

- Lors d'une journée type de levé VH, un temps considérable était consacré au passage des écluses (environ 45 min à 1 heure) et au transit pour rejoindre la zone de levé éloignée du port de Dunkerque (environ 30 à 45 min). Il est à noter que cet éloignement important interdisait également le travail d'un porteur seul sur la zone pour des raisons de sécurité ;
- Il n'était pas possible de mettre le BH2 au mouillage en dehors des écluses à cause de la troisième VH qui ne pouvait être hissée à bord, en cas d'urgence météo par exemple. De plus les rares solutions de mouillage sur zone proposées par le Comar Dunkerque et les services portuaires n'étaient pas satisfaisantes, du moins en termes de mouillage longue durée ;
- Il a également été envisagé de faire patrouiller le BH2 à proximité de la zone mais vu la densité du trafic (dispositif de séparation de trafic du Pas-de-Calais) et la dangerosité de la zone en terme de navigation (zones évolutives de faibles profondeurs), cette solution a très vite été écartée (de plus, le problème d'impossibilité de hissage de 3 vedettes en cas d'urgence était le même qu'au mouillage) ;
- Les vedettes elles-mêmes ne pouvaient non plus pas être entreposées à l'extérieur des écluses car un retour quasi quotidien à bord était nécessaire pour réaliser l'entretien et les pleins de carburant.

1.4.3 Contraintes dues à la zone elle-même

- La zone de travail est une zone de fonds évolutifs. Il a parfois été remarqué un mouvement important des rides et crêtes de certaines dunes d'un profil à l'autre (reprise sur la journée de la veille par exemple). Ces mouvements ne sont pas continus et donc peu prévisibles. Le complément de levé réalisé par le FeliX 3 mois après le levé Shom est bien entendu d'autant plus concerné par ces mouvements ;
- Les instruments mouillés sur zone sont sujets à un ensablement rapide. Les plongeurs ont eu du mal à récupérer le 2^{ème} mouillage après 33 jours d'immersion. Des durées plus longues de mouillage rendent toute récupération très aléatoire.

1.4.4 Indisponibilités matérielles

- SBP Echoes 10000.
Dès le 31 août, après seulement 3 jours de levé, les 2 systèmes utilisés ne fonctionnaient plus de manière satisfaisante. Des essais ont été réalisés pendant plusieurs semaines en modifiant les configurations logicielles et matérielles, sans résultats. De l'eau de mer s'est même infiltrée dans une des bases sondeur. Les systèmes concernés ont donc été réexpédiés sur Brest pour des investigations plus poussées pendant l'absence du BH2 *Laplace* (du 28/09/2016 au 03/10/2016). Il s'est avéré que le problème venait de la

conception de la connectique reliant l'antenne du sondeur à l'amplificateur, dans laquelle un jeu s'était formé. Une nouvelle antenne avec une connectique moulée a alors été envoyée par l'industriel et le levé a pu reprendre pendant le détachement isolé ;

- Vedettes hydrographiques.

De nombreuses avaries se sont succédées lors de ce levé :

- problèmes électriques (a posteriori, sans doute provoqués par la connexion défectueuse des SBP) ;
- problèmes mécaniques (direction, turbo, Z-drive, hélice,...) ;
- perforations de la coque de la VH *Guillemot* dues à une corrosion, constatées par une voie d'eau le 21 septembre, rendant cette VH indisponible pour le reste du levé ;
- voie d'eau importante et soudaine le 10 octobre dans le compartiment moteur d'*Albatros*, qui a manqué de peu de couler, se traduisant par son indisponibilité totale et prolongée (retour de la VH à Brest le 17 janvier seulement) ;
- envoi de *Pélican* par voie routière « en urgence » pour pallier les indisponibilités de *Guillemot* et *Albatros*, mais le délai incompressible de mise en route n'a permis de reprendre le levé que le 21 octobre.

1.4.5 Bilan des indisponibilités

Période	Nb jours VH prévus	Nb jours VH réalisés	Nb jours indispo météo	Nb jours indispo matériel
<i>Du 28/08/2016 au 10/09/2016</i>	34.5	26.2	2.5	1.8
<i>Du 15/09/2016 au 12/10/2016</i>	72	16.8	6.2	29.6
<i>Du 13/10/2016 Au 28/10/2016</i>	26	6.8	2.6	7
Total	132.5	49.8 (37.6%)	11.3	38.4

Il est rappelé qu'une VH ne pouvait pas travailler seule sur la zone pour des raisons de sécurité. Un jour d'indisponibilité matérielle pouvait donc impliquer une journée « blanche » du point de vue du levé.

Un « jour VH » représente au maximum 12h (départ à 07h00 – retour à 19h00), mais compte tenu des temps de passage d'écluse et de transit, et des pauses méridiennes, il ne représente qu'environ 8h de levé effectif. Cette durée était encore réduite en fin de période, du fait de l'évolution des heures de lever et coucher de soleil.

2 GESTION DE CONFIGURATION

2.1 MATERIEL

Les VH *Macareux*, *Phaéton*, *Goéland*, *Guillemot*, *Albatros* et *Pélican* mettent chacune en œuvre un sondeur multifaisceau Kongsberg EM 2040c associé au système d'acquisition SIS du même constructeur. Les paramètres issus des ajustages des sondeurs sont pris en compte en temps réel.

L'ajustage et la vérification des EM 2040c des vedettes hydrographiques ont été réalisés en 2016, cf. comptes rendus d'ajustages en références d) à g). Un contrôle en roulis a en outre été réalisé sur chaque vedette en arrivant dans la zone de levé, dans le port-est de Dunkerque, pour vérifier la validité des ajustages. Ces vérifications n'ont donné lieu à aucun changement, mis à part celui réalisé le 20 octobre sur la VH *Pélican* (cf. compte rendu en référence e).

Les données des SMF et des capteurs associés (centrale d'attitude et de cap Applanix POSMV 320 ; célérimètres de coque) ont été acquises, prises en compte et archivées par le logiciel SIS.

Les données de célérité ainsi que les tirants d'eau ont également été pris en compte en temps réel par SIS.

Tous ces matériels sont configurés selon les dossiers d'intégration et de gestion de configuration entretenus par le service logistique et soutien du GHOA.

2.2 LOGICIELS

L'ensemble des données acquises par le logiciel SIS a été traité avec le logiciel CARIS HIPS version 7.1.

Le traitement de la marée a été effectué avec le logiciel Chersoft TDB version 2.7.

L'extraction des données des bathycélérimètres a été réalisée à l'aide du logiciel Valeport DatalogX2 et leur traitement à l'aide du logiciel Ifremer/Shom DORIS.

Tous ces logiciels sont gérés en configuration par l'équipe informatique du GHOA.

3 RÉFÉRENCES

3.1 REFERENCES HORIZONTALES

Les positions sont référencées par rapport au système géodésique *WGS84* qu'on assimile au système géodésique *RGF93*. L'écart entre ces deux systèmes en France continentale est de l'ordre de 65 cm (valeur à Brest). Cet écart est pris en compte dans le bilan des erreurs théoriques aux paragraphes 4.3 et 5.5.

La projection utilisée pour les documents graphiques est la projection *Lambert 93*.

3.2 REFERENCES VERTICALES

La référence verticale pour les sondes est le zéro hydrographique (ZH) à Dunkerque. Le ZH est situé à 9,504 m au-dessous du repère fondamental de l'observatoire de marée, repère IGN N.A.L3-7 scellé à la base du grand phare côté Est à environ 0,90m du sol.

La référence verticale des altitudes est le zéro du système *NGF-IGN 1969*.

3.3 REFERENCE MAGNETIQUE

Sans objet.

3.4 REFERENCE GRAVIMETRIQUE

Sans objet.

4 GÉODÉSIE ET LOCALISATION

4.1 GEODESIE

Des travaux de nivellement ont été réalisés dans le port de Dunkerque durant ce déploiement (septembre 2016) afin de contrôler l'observatoire de marée du port-est de Dunkerque.

Le 05/09/2016, un nivellement double a d'abord été réalisé entre les repères R, V, S (IGN N.A.L3-144-I) et A (repère fondamental IGN N.A.L3-7), ainsi qu'un nivellement aller-retour entre les repères S et X. Au vu des incohérences et de l'ambiguïté constatée sur le repère de tirant d'air existant O, un nouveau repère de tirants d'air X a été implanté à droite de l'échelle, face à la mer.

Le 06/09/2016, un nivellement aller-retour a été réalisé entre les repères P (IGN N.A.L3-7-I), L, S (IGN N.A.L3-144-I), O, O', J (IGN N.A.L3-145) et T (IGN N.A.L3-144-II).

Tous les nivellements ont été traités et contrôlés en temps réel lors de cheminements doubles ou aller-retour au niveau électronique DNA03.

Toutes les séances de tirants d'air ont été rapportées au nouveau repère X.

Le repère fondamental A est situé à 9,504 m au-dessus du zéro de réduction des sondes et à 6,811 m au-dessus du zéro des altitudes IGN 69.

4.2 SYSTEMES DE LOCALISATION

Le positionnement a été délivré par la centrale inertielle POSMV exploitant une solution GNSS augmentée par la réception des corrections provenant du système EGNOS.

4.3 INCERTITUDE DE LA LOCALISATION

En mode hybride, la centrale d'attitude fournit la position au logiciel d'acquisition SIS, synchronisée et datée par le message de navigation délivré par la centrale.

Le logiciel SIS calcule en temps réel une position dans le système WGS84, à partir de la position fournie par la POSMV, extrapolée à l'heure « du top ».

La cadence d'archivage de la position était fixée à 1 s.

La précision de la localisation était calculée en temps réel par la POSMV. Un seuil d'alarme de 2 m (à 95%) a été mis en place lors de l'acquisition.

En temps différé, la validation de la localisation et de l'attitude du porteur a été effectuée à l'aide des modules *Navigation Editor* et *Attitude Editor* du logiciel CARIS.

Pour le système de positionnement EGNOS, la qualité du positionnement a été contrôlée quotidiennement via le logiciel POSPAC MMS (visualisation et vérification des RMS du *Solution Status* et du *Real Time Performance Metrics Max* pour chaque porteur). Les valeurs observées étaient généralement meilleures que 1,5 m. Le site support d'EGNOS (<http://egnos-user-support.essp-sas.eu>) a également été consulté a posteriori pour contrôler l'incertitude sur le positionnement du levé, par observation de la précision de la localisation corrigée des stations SWA et PAR.

Au final, la précision de la localisation des VH est estimée meilleure que 3 m (à 95%).

5 BATHYMÉTRIE

5.1 STRATEGIE ET CONDITIONS DE LEVE

Tous les levés ont été réalisés au SMF 2040c par VH à une vitesse d'environ 6 nœuds.

Chaque profil régulier a été suivi au SMF en mode équidistant High Density à une fréquence de 300 kHz et avec une ouverture maximale de 2 x 60° (2 x 58° pour les VH *Goéland* et *Guillemot*).

Les profils traversiers ont été réalisés avec une ouverture du SMF de 2 x 45° en mode équidistant High Density à une fréquence de 360 kHz pour les VH *Goéland* et *Guillemot* et de 300 kHz pour les autres.

Les recherches ont été réalisées avec une ouverture du SMF de 2 x 30° en mode équidistant High Density à une fréquence de 400 kHz.

La boîte P1 a fait l'objet d'un levé en « simple insonification » en assurant un recouvrement entre profils adjacents permettant d'assurer une densité de sondage suffisante pour la réalisation des produits attendus (recouvrement entre 10 et 20%).

De plus, le levé a été découpé en 40 « boîtes » de faibles dimensions, ce qui permettait à la fois de travailler dans des zones de profondeurs homogènes, mais aussi de réaliser les

profils traversiers peu de temps après les réguliers pour s'affranchir au maximum des évolutions de la bathymétrie.

5.2 CORRECTIONS

5.2.1 Marée

Contrôle du MCN :

Suite à un premier contrôle négatif (moyenne des écarts à basse mer en dehors du seuil tolérance) réalisé le 05/09/2016, un nettoyage du capteur a été effectué (l'instrument a également été débranché puis rebranché). Un second contrôle a ensuite été fait à basse mer le 15/09/2016 et s'est révélé positif. Un dernier contrôle a été réalisé par coefficients de marée importants les 18 et le 19 octobre 2016.

Un marégraphe de secours a été mouillé par plongeurs au niveau de l'écluse *Trystram*, à côté du MCN de Dunkerque. Une campagne d'observation a alors été créée (campagne TDB n°2710).

La durée d'intégration de ce marégraphe était de 2 minutes et la période d'acquisition de 5 minutes.

Les pressions atmosphériques utilisées sont celles observées à la station AIRMINE n° ACT104701 installée sur le pont teugue du BH2 *Borda* du 28/08/2016 au 09/09/2016, dans le local du MCN de Dunkerque du 10/09/2016 au 19/10/2016 et dans la salle de travail du détachement isolé (Work&Co, rue du jeu de mail) du 20/10/2016 au 27/10/2016 pendant la durée des observations.

Un récapitulatif du mouillage réalisé est présenté dans le tableau ci-dessous :

Positions / Prof.	Type d'instrument / Paramètres	Période
51°02,888'N 002°21,995'E 8,3 m	Marégraphe SBE26+ <i>Cadence d'acquisition : 5min</i> <i>Période d'intégration : 2min</i>	Du 28/08/2016 au 27/10/2016

Plusieurs séances de tirants d'air ont été réalisées sur la période de mesure pour caler le zéro instrumental de ce marégraphe.

Toutefois, le marégraphe côtier numérique permanent de Dunkerque a bien fonctionné sur la durée du levé, et les données du marégraphe de secours n'ont pas été utilisées. Les sondes ont donc été réduites de la marée observée au MCN de Dunkerque, déportée sur la zone de levé grâce au modèle « modele_PDC_2012 ». Un fichier de marée « MAREE_MASG2_20161109.tid » a ainsi été créé sous MASG2 en utilisant les hauteurs d'eau du MCN de Dunkerque extraites via TDB export (fichier « DUNKERQUE.UTC.masg ») et le fichier de navigation « dunkerque2016.nav »

représentant la concaténation de toutes les informations de navigation des différents porteurs sur la durée du levé.

L'incertitude à 95% liée à la marée est estimée meilleure que 0,20 m.

5.2.2 Tirant d'eau

Pour les VH, Une valeur fixe de tirant d'eau est utilisée pour renseigner la distance entre l'origine du repère navire et la base du sondeur multifaisceau, conformément à la procédure citée ci-dessus. Conformément au dossier de configuration des porteurs disponibles au GHOA, la « waterline » est de -9,0 cm pour *Phaéton*, -8,0 cm pour *Macareux*, -6,0 cm pour *Goéland*, -8.0 cm pour *Guillemot*, -5,0 cm pour *Albatros* et -5,0 cm pour *Pélican*.

La précision de la mesure du tirant d'eau des VH est estimée meilleure que 5 cm (à 95%).

5.2.3 Attitude et cap

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

Les précisions des mesures d'angle ont été estimées en tenant compte de la précision du calibrage et des données constructeur.

Les précisions à 95% adoptées sont les suivantes :

- 0,056° pour les mesures de roulis
- 0,202° pour les mesures de tangage
- 0,202° pour les mesures de cap

En temps différé, les sondes sont positionnées en absolu par la fonction merge de CARIS, par interpolation des données de localisation du porteur à chaque cycle d'émission du sondeur.

La précision du positionnement des sondes est donnée au paragraphe 5.4.

5.2.4 Célérité

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

Les profils de célérité ont été réalisés à l'aide de bathycélérimètres SVP 1000. Ces mesures ont été réalisées lors de chaque séance de sondage et prises en compte par le logiciel d'acquisition SIS pour le calcul des sondes.

La précision de mesure des bathycélérimètres VALEPORT est estimée à 0,10 m/s (à 95%).

La célérité au niveau des transducteurs était mesurée in situ à l'aide de célérimètres de coque de type Valeport mini SVS et fournie en temps réel aux sondeurs.

La précision des célérimètres de coque est estimée à 0,15 m/s (à 95%).

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

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

5.2.5 Paramètres d'installation

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

L'incertitude sur les bras de leviers est estimée meilleure que 0,01 m (à 95%).

5.3 TRAITEMENT ET VALIDATION DES SONDES

Les données enregistrées par l'EM2040c au format « .all » (par le logiciel SIS) et exploitées lors du traitement sont des données corrigées :

- du profil de célérité et de la célérité mesurée au niveau du transducteur ;
- du roulis, tangage et pilonnement mesurés par la centrale d'attitude POSMV;
- du tirant d'eau, valeur fixe sur les VH
- des paramètres d'installation et de calibration du sondeur.

En temps différé, les données ont été traitées à l'aide du logiciel Caris HIPS&SIPS 7.1. Les sondes ont été :

- géo-référencées après validation de la localisation et de l'attitude ;
- réduites de la marée.

Toutes les sondes ont été visualisées afin de repérer les relèvements caractéristiques. Les sondes caractéristiques réelles, issues d'un choix de sondes surfacique, ont été comparées aux sondes du modèle. Les sondes caractéristiques s'écartant de plus de 5% du fond moyen ou de 0,50 m de celui-ci, ont été systématiquement examinées sous CARIS.

Les sondes ont été traitées manuellement par un hydrographe.

5.4 INCERTITUDE, EXACTITUDE ET CONTROLE QUALITE

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

La cohérence interne des données a également été évaluée de manière statistique à l'aide de l'outil « HIPS Quality Control Report » de CARIS/HIPS. La méthode a consisté à mesurer les écarts entre l'ensemble des profils réguliers et un modèle numérique de terrain réalisé à partir des profils traversiers. Le résultat est donné au paragraphe 5.4.3.

5.4.1 Incertitude horizontale

L'incertitude sur la position horizontale théorique résulte de la somme quadratique des incertitudes listées dans les paragraphes précédents.

Paramètres pour l'EM2040 des VH	Incertitude de la mesure à 95%	Incertitude planimétrique sur le positionnement des sondes à 95%
Localisation du porteur (§4.3)	/	3 m
Attitude et cap (§5.2.3)	$\sigma_{roulis} = 0,056^\circ$ $\sigma_{tangage} = 0,202^\circ$ $\sigma_{cap} = 0,202^\circ$	Roulis : 0,10 %P Tangage : 0,35%P Cap : 0,56%P
Célérité (§5.2.4)	Surface : 0,15 m/s Profil : 2 m/s	Surface : 0,02%P Profil : 0,01%P
Incertitude horizontale du SMF	1,28%P	
Bilan d'incertitude sur la position horizontale de la sonde	$\sqrt{3^2 + (1,45\%.P)^2}$	
Incertitude horizontale Profondeur max. 28 m	3,03 m	

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

5.4.2 Incertitude verticale

L'incertitude sur la position verticale théorique résulte de la somme quadratique des incertitudes listées dans les paragraphes précédents.

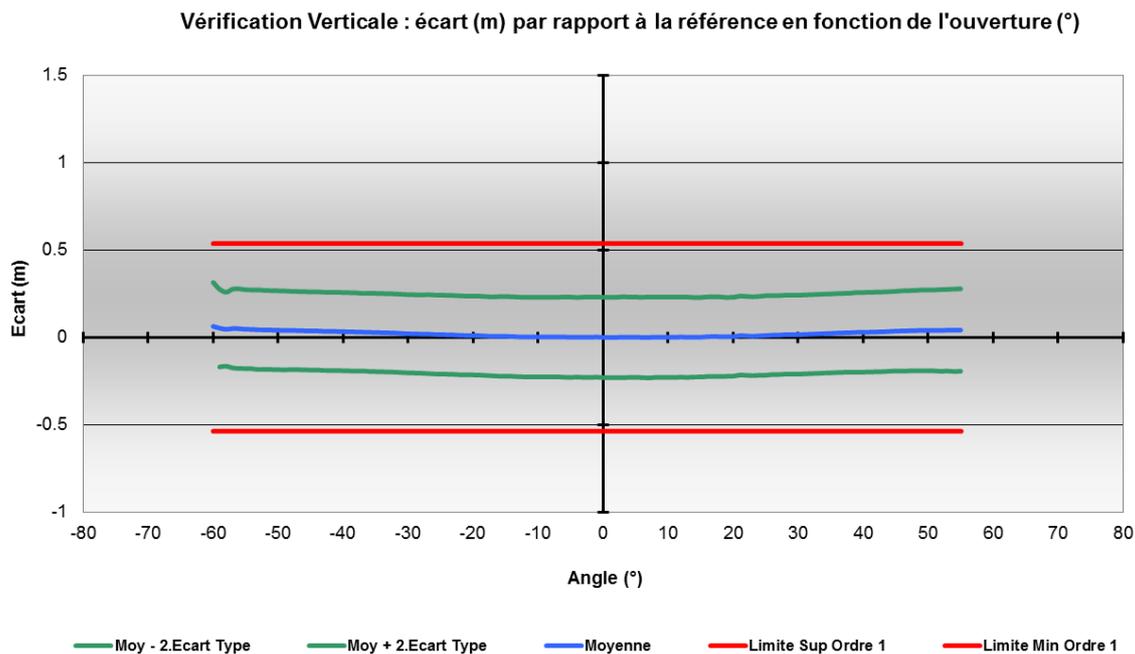
Paramètres	Incertitude (à 95%)
Rattachement à la référence verticale (§5.2.1)	0,20
Tirant d'eau (§0)	0,05
Attitude (§5.2.3)	Roulis : 0,16 %P
Célérité (§5.2.4)	Surface : 0,03%P Profil : 0,01%P
Incertitude verticale du SMF	0,10%P
Bilan d'incertitude sur la valeur de la sonde	$\sqrt{0,21^2 + (0,19\%.P)^2}$
Incertitude verticale Profondeur max. 28 m	0,22 m

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

5.4.3 Contrôle qualité

Un contrôle qualité a été réalisé en utilisant l'outil « Quality Control » de HIPS. Les profils traversiers ont été utilisés pour générer une surface de référence.

Les courbes ci-dessous présentent les écarts mesurés (moyenne et écarts types à 2σ (95%)) entre les profils réguliers et cette surface de référence, en fonction de l'angle de tir des faisceaux. Figurent également sur ce graphique les exigences de précision de la S-44 (« Lim Sup » et « Lim Min ») pour l'ordre 1a à la profondeur moyenne du levé.



Les écarts mesurés sont compatibles avec les critères de l'ordre 1a et sont cohérents avec le bilan d'incertitudes théoriques.

5.5 DONNEES VALIDEES

Conformément à l'instruction particulière en référence c), ce levé a été réalisé en simple insonification, tout en s'assurant que la densité de sondes obtenue était suffisante pour atteindre la résolution demandée (MNT de maille entre 0,5 m et 1 m).

Les sondes du levé respectent les critères d'incertitude horizontale et verticale de l'ordre 1a.

Les critères de détection de l'ordre 1a ne peuvent pas être totalement garantis pour un levé en simple insonification réalisé par les sondeurs EM2040c (une étude est actuellement en cours au Shom pour qualifier ces sondeurs dans cette configuration d'emploi). En conséquence, et en attente des résultats de cette étude, le lot constitué est classé en ordre 1b.

Un seul lot de sondes a ainsi été constitué.

Lot	Zone	Ordre S-44	CATZOC
1	Zone P1	1b	B

6 OCÉANOGRAPHIE

6.1 MESURES HYDROLOGIQUES

Des mesures du profil de célérité ont été réalisées au bathycélérimètre dès qu'une variation notable de la célérité était observée (> 2 m/s) et au moins une fois par jour. Des prélèvements d'eau quotidiens ont été effectués et transmis au laboratoire de chimie océanographique du Shom.

6.2 COURANTOMETRIE

Deux mouillages d'instruments de mesures AWAC_1 et AWAC_2 (chacun équipé d'un courantomètre, d'un houlographe et d'un turbidimètre) ont été réalisés respectivement les 1^{er} et 6 septembre 2016. Au vu des risques d'enfouissement et du peu de créneaux météo favorables, les relevages ont été effectués de manière à optimiser les durées d'observation tout en maximisant les chances de récupération des instruments. Ainsi, l'AWAC_1 a été relevé le 23 septembre 2016 et l'AWAC_2 le 9 octobre 2016. Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques de ces mouillages.

Instrument	Position/Prof.	Type d'instrument	Période
AWAC_1	51°10,118'N 002°24,633'E 9,5 m	Aquadopp 200 m n°0883 AWAC 1 MHZ N°5941 Turbidimètre NTUSB-389	Du 01/09/2016 au 23/09/2016
AWAC_2	51°11,581'N 002°24,244'E 24,8 m	Aquadopp 200 m n°5256 AWAC 600 KHZ N°6866 Turbidimètre NTURT-646	Du 06/09/2016 au 09/10/2016

Un rapport séparé présente ces résultats.

6.3 OBSERVATIONS DE MAREE

Les mesures réalisées pour réduire le levé sont décrites dans le paragraphe 5.2.1.

6.4 VISIBILITE SOUS-MARINE

Des mesures de visibilité verticale de la colonne d'eau ont été réalisées au disque de Secchi sur la zone de levé, lors des mesures de profils bathycélérimètres et lors des prélèvements de sédiment.

7 SÉDIMENTOLOGIE

7.1 IMAGERIE SMF

Les données brutes d'imagerie acoustique des sondeurs multifaisceaux EM2040c ont été transmises au département DOPS/HOM/SEDIM pour traitement, comme préconisé dans les IT en référence c).

Un rapport séparé présente ces résultats.

7.2 IMAGERIE SONAR LATERAL

Au vu des contraintes sur zone (bathymétrie très changeante, conditions météorologiques, courants), le sonar latéral n'a pas été mis en œuvre. Des essais ont toutefois été réalisés sur certaines obstructions : les données étant de très mauvaise qualité, elles n'ont pas été conservées. La densité obtenue grâce au SMF est suffisante pour décrire les obstructions découvertes sur la zone de levé.

7.3 PRELEVEMENTS DE SEDIMENTS EN SURFACE

Seize prélèvements ont été réalisés par benne Van Veen à partir des vedettes. Les points de prélèvement ont été déterminés à partir des faciès identifiés sur l'imagerie SMF. Il s'agit essentiellement de sable et de coquilles brisées.

Ces prélèvements ont été adressés au département géologie marine (DOPS/HOM/SEDIM) du Shom pour analyse complète.

Un rapport séparé présente ces résultats.

7.4 SONDEUR DE SEDIMENTS

Le sondeur de sédiment Echoes 10000 de la société iXBlue a été mis en œuvre durant ce levé. Les configurations d'acquisition étaient adaptées pendant le levé selon les gammes de profondeurs concernées (fichiers de configuration prédéfinis).

Les données brutes de l'Echoes 10000 ont été transmises au département géologie marine (DOPS/HOM/SEDIM) du Shom pour traitement, comme préconisé dans les IT en référence c).

Un rapport séparé présente ces résultats.

7.5 SYSTEME DE CLASSIFICATION DU FOND

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

Les données brutes ont été transmises au département géologie marine (DOPS/HOM/SEDIM) du Shom pour traitement, comme préconisé dans les IT en référence c).

Un rapport séparé présente ces résultats.

8 DONNÉES ET DOCUMENTS PRODUITS.

Tous les documents fournis sont élaborés en Lambert93.

8.1 MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN

8.1.1 Levé Shom

L'ensemble des sondes validées (4 386 527 466 points de mesure) a été utilisé pour créer un modèle numérique de terrain de maille 0,5m sous CARIS BathyDataBase (BDB), au format .csar.

Le fichier .csar contient les couches :

- deep (profondeur la plus importante dans la maille)
- density (nombre de sondes de la maille)
- depth (profondeur issue du calcul d'une moyenne pondérée *InverseDistanceWeighting*)
- mean (profondeur moyenne)
- shoal (profondeur la plus faible de la maille)
- std_dev (écart-type dans la maille)

La couche « depth » du fichier .csar résultant a été exportée au format image GeoTiff (voir illustration en Annexe II).

Fichier fourni :

MNT_0.5m_SHOM_L93.tif

8.1.2 Levé iXBlue

5 MNT de maille 0,5m au format .csar ont été fournis au Shom par iXBlue. Ces MNT ont été combinés en un seul fichier .csar, dont la couche « depth » été exportée au format ESRI Ascii Grid.

La couche « depth » du fichier .csar résultant a été exportée au format image GeoTiff (voir illustration en Annexe II).

Fichier fourni :

MNT_0.5m_IXSURVEY_L93.tif

8.1.3 MNT combiné

Les MNT au format .csar ont été combinés sous CARIS BDB, en donnant priorité au levé SHOM (le MNT issu du levé iXBlue « bouche » les trous du levé SHOM).

La couche « depth » du fichier .csar résultant a été exportée au format ESRI ASCII Grid, et

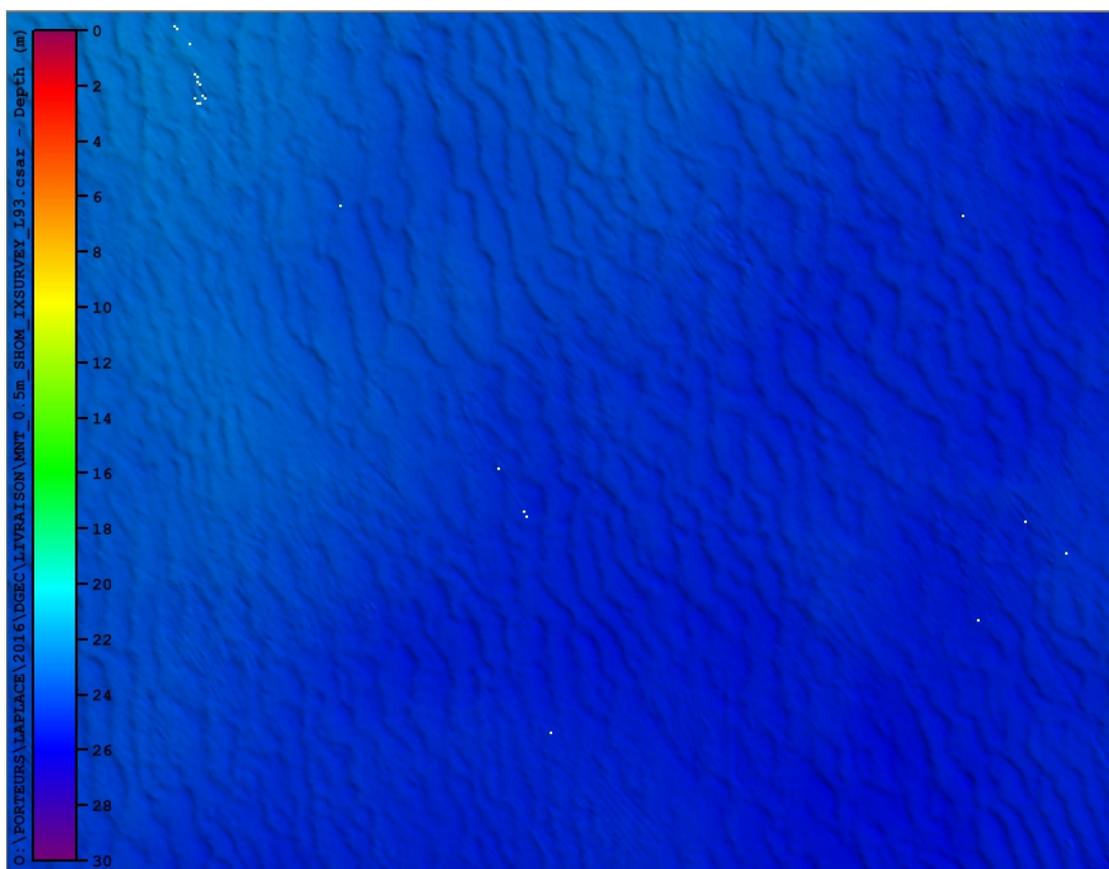
au format image GeoTiff (voir illustration en Annexe II).

Fichiers fournis :

MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93.csar
MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93.csar0
MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93.asc
MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93.asc.aux
MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93.prj
MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93.tif

8.1.4 Densité

Dans les zones de profondeurs les plus importantes, la densité de sonde par maille est plus faible. Quelques mailles de 0,5m de côté sont même vides (pas de sonde dans la maille de 50 cm de côté) :



Exemple de mailles vides (en blanc) dans le MNT final

La couche « density » du fichier .csar résultant a été exportée au format image GeoTiff (voir illustration en Annexe II).

Il est à noter que la densité de sondes par maille du levé iXBlue est bien plus faible que pour le levé Shom.

Fichier fourni :

MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93_densite_1-20.tif

8.1.5 MNT combiné interpolé

Le MNT produit a ensuite été interpolé pour combler les quelques mailles vides (6187 mailles interpolées au total, en bordure et dans les zones de profondeurs les plus importantes, sur un total de près de 212 millions de mailles, soit une proportion de 0.003% de mailles vides), valeur moyenne sur une matrice de 3x3 mailles autour de la maille vide, avec un minimum de 3 mailles non-vides dans la matrice.

La couche « depth » du fichier .csar résultant a été exportée au format ESRI ASCII Grid, et au format image GeoTiff (voir illustration en Annexe II).

Fichiers fournis :

MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93_interpolate3x3.csar
MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93_interpolate3x3.csar0
MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93_interpolate3x3.asc
MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93_interpolate3x3.asc.aux
MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93_interpolate3x3.prj
MNT_0.5m_SHOM_IXSURVEY_L93_interpolate3x3.tif

8.2 OBSTRUCTIONS DETECTEES

Lors de ce levé, dix-sept obstructions et une roche isolée ont été détectées et fait l'objet de recherches. Les fiches concernées ont été créées et sont fournies sous forme d'un fichier au format CARIS .hob et d'un fichier pdf. L'épave et l'obstruction recensées initialement dans l'emprise du levé (décrit dans le livrable T1.A du lot 1) n'ont pas été retrouvées sur la zone du levé.

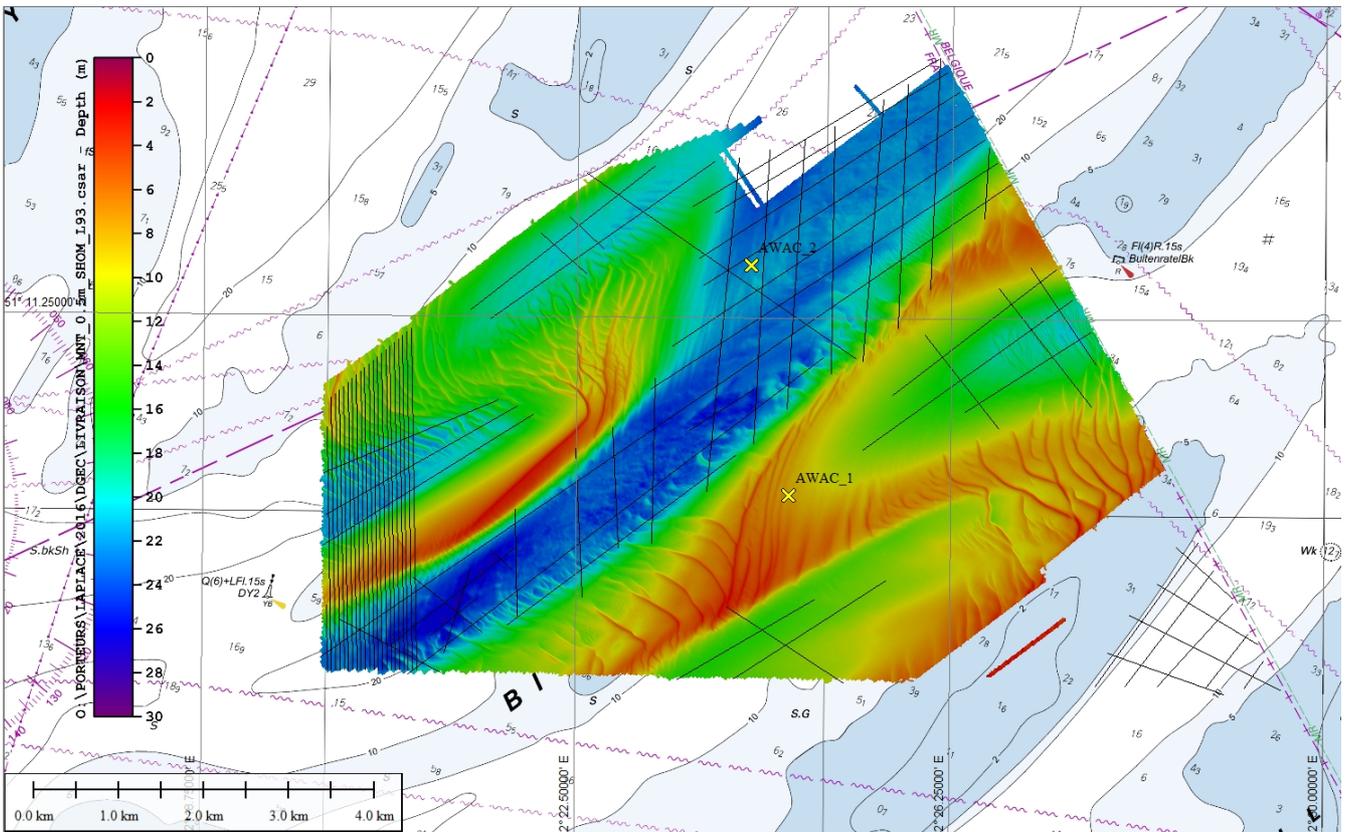
Fichiers fournis :

S201604300_epave_a_creer.hob
S201604300_epave_a_creer.pdf

L'ingénieur en chef des études et technique de l'armement Ronan Pronost
directeur technique adjoint du groupe hydrographique et océanographique
de l'Atlantique

Signé : ICETA PRONOST

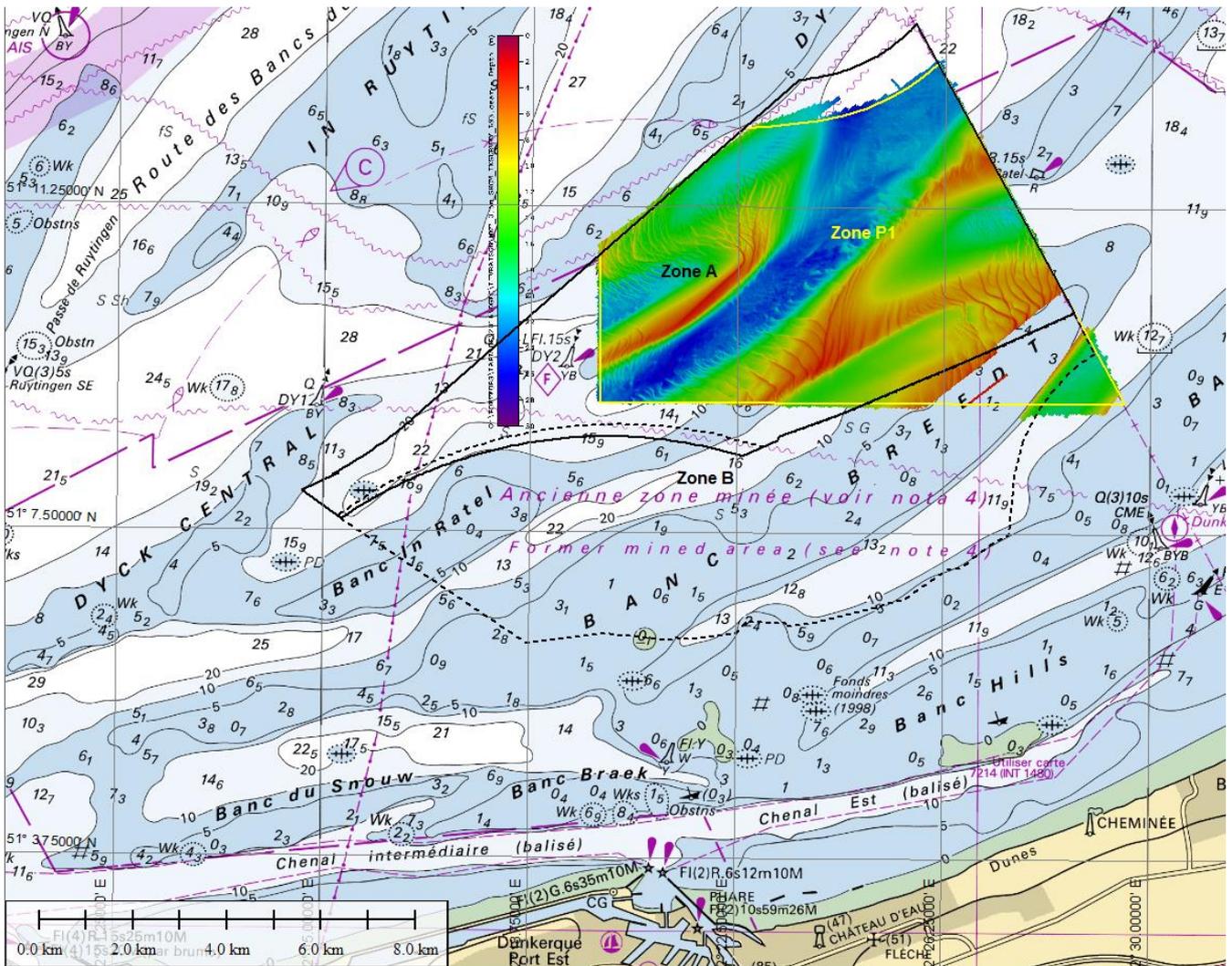
ANNEXE I - PRÉSENTATION DU LEVÉ



Zone couverte par le levé SHOM sur un extrait de la CM7214

En noir : Profils réalisés au sondeur de sédiment

Croix jaunes : Position des mouillages AWAC_1 et AWAC_2



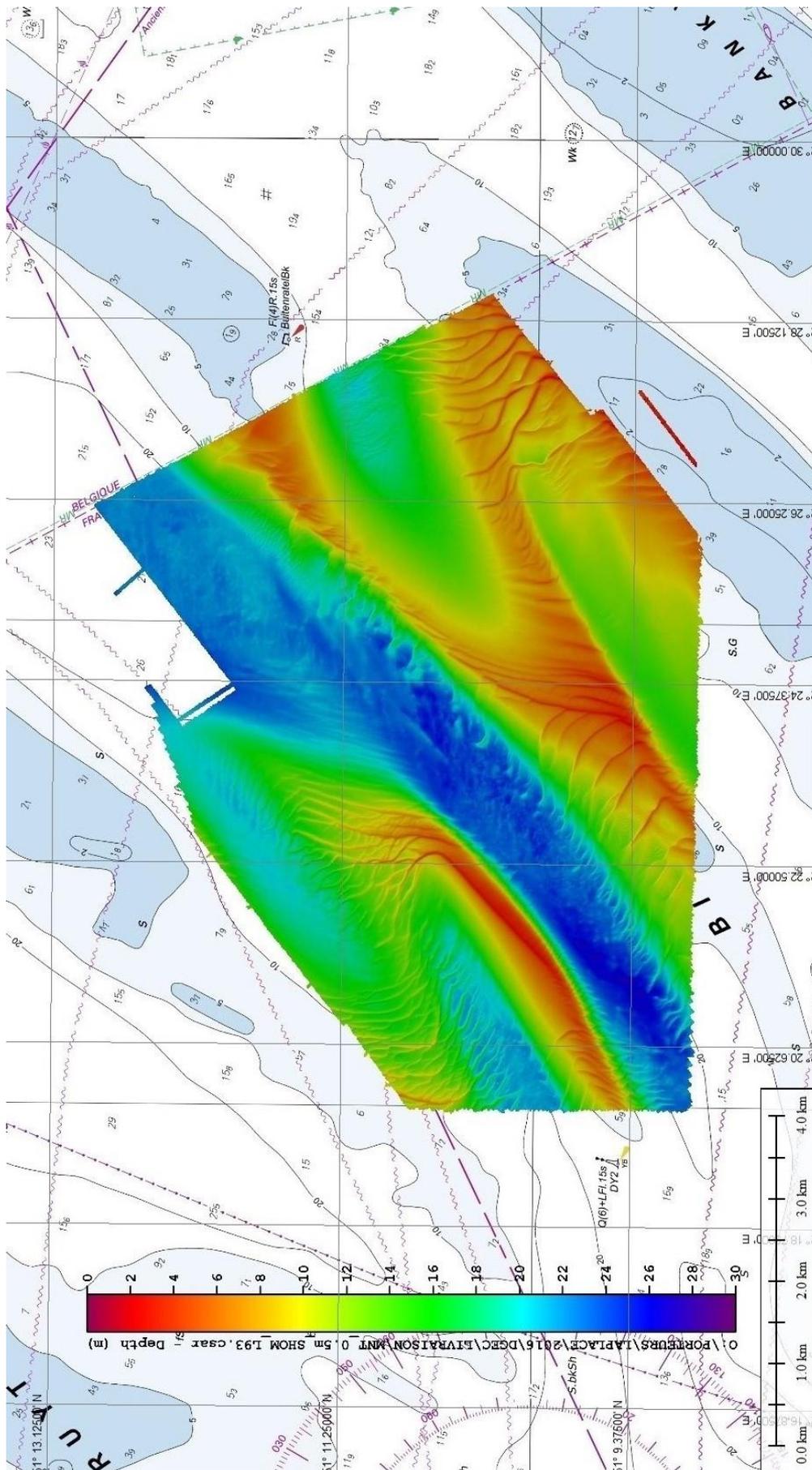
Zone couverte par les levés sur un extrait de la CM6735.

En jaune : Zone P1 de la convention en réf. a)

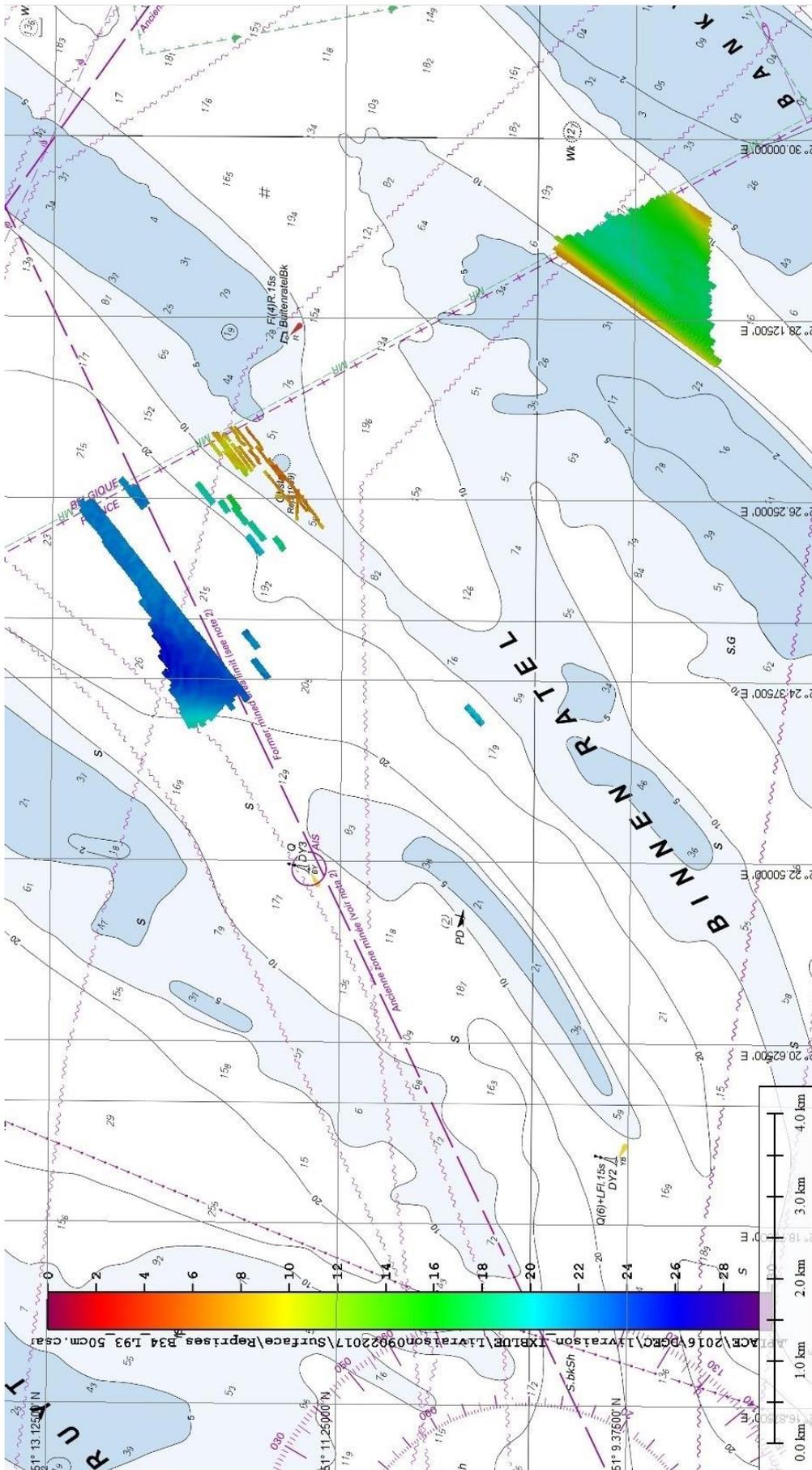
En noir plein : Zone A de l'appel d'offre final

En noir tireté : Zone B de l'appel d'offre final

ANNEXE II - MNT PRODUITS



MNT maille 0,5m - Levé SHOM



MNT maille 0,5m - Levé iXBlue

Destinataire(s) : DSD/DAF

Copie(s) extérieure(s) : /

Copie(s) intérieure(s) : DG - DMI/PIL - MIP/HYDRO - HOM/SEDIM - GHOA - Archives
