



**CCTP 2025-06-01**  
**CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERE**

**ACCORD-CADRE POUR LA FOURNITURE D'UN SYSTÈME DE POSITIONNEMENT  
GÉODÉSIQUE FOND DE MER**

**EQUIPEX MARMOR**

CNRS UMR 6538 – *Geo-Ocean*  
*Institut Universitaire Européen de la Mer*  
*Rue Dumont d'Urville*  
*29280 Plouzané*

## Cadre du projet

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'Equipex PIA3-MARMOR qui prévoit, d'une part, de mettre en place une infrastructure d'observation sous-marine pour une surveillance volcanologique-continue et temps-réel au large de Mayotte, et d'autre part, de doter la communauté nationale d'un parc instrumental commun en sismologie marine et en géodésie fond de mer. Le présent projet relève de cette dernière approche et ambitionne de se doter d'instruments pour mesurer *in-situ* des déplacements des fonds marins.

A terre, le positionnement géodésique est une technique classique pour étudier les mouvements de l'écorce terrestre à l'aide de stations permanentes ou temporaires dont les déplacements sont mesurés à l'aide de constellations de satellites (GPS, Galileo, Glonass, Beidou, ...) qui constituent le système de navigation satellitaire global GNSS. Cette approche, basée sur la propagation d'ondes électromagnétiques, est inapplicable sous la mer puisque ces ondes ne peuvent pas s'y propager. En milieu sous-marin, il est ainsi nécessaire de recourir à des systèmes de positionnement acoustique à l'aide balises posées sur le fond. Ces balises acoustiques peuvent soit communiquer entre elles et mesurer des déplacements relatifs entre elles, soit communiquer avec des dispositifs en surface (sur drone ou navire), eux-mêmes positionnés par GNSS. Il est alors possible de combiner ces positionnements acoustiques et GNSS, pour déterminer la position des balises sur le fond (méthode dite GNSS/A). Des mesures répétées dans le temps permettent alors de mesurer les déplacements absolus de ces points sur le fond, exprimés dans le même repère GNSS que les stations terrestres.

Ces techniques sont couramment utilisées pour positionner des installations sous-marines dans l'industrie offshore ou positionner des véhicules sous-marins de recherche ou de maintenance d'installations sous-marines. Leur application à la mesure des mouvements de l'écorce terrestre, de l'ordre de quelques centimètres par an, reste encore pionnière en raison des exigences de résolution (quelques millimètres en relatif, mieux que le centimètre en absolu) et d'autonomie des instruments sur le fond (3-4 ans), et en raison des moyens logistiques à mettre en œuvre pour recueillir des séries temporelles suffisamment longues pour mesurer des déplacements significatifs.

L'objectif de l'achat envisagé est de se doter des instruments nécessaires pour réaliser ces mesures : des stations acoustiques sur le fond et des dispositifs en surface pour les positionner et dialoguer avec elles. L'originalité du projet réside dans l'idée de déployer les dispositifs de surface sur une flottille de drones de surface et dans les méthodes de positionnement combinant plusieurs drones de surface et une seule balise sur le fond. Le parc de balises autonomes sur le fond sera ici principalement destiné à mettre au point ces méthodes de positionnement. Les éléments de surface seront ensuite mutualisés dans la communauté nationale.

Les objectifs du projet concernent principalement le positionnement absolu, pour pouvoir multiplier et étendre les points de mesure en mer et ainsi compléter efficacement les réseaux GNSS terrestres, tout en limitant l'immobilisation prolongée de navires océanographiques (e.g. sessions de 12h pour positionner des balises sur le fond) et en limitant l'immobilisation de balises sur le fond, par un positionnement mono-balise laissée plusieurs années sur le fond.

En effet, classiquement, un nœud ou point géodésique fond de mer est constitué de 3 à 4 balises, déployées en triangle ou en carré dont les côtés sont égaux à la profondeur d'eau. Le positionnement GNSS/A consiste à interroger ces balises pendant plusieurs heures de suite à l'aide d'une base ultra-courte (BUC), en station à l'aplomb du barycentre du nœud ou en suivant des trajectoires prédéfinies autour du nœud (cercles, carrés, diagonales, ...). On peut ainsi positionner chaque balise individuellement ou leur barycentre. Cette approche nécessite d'immobiliser 3 à 4 balises pendant plusieurs années sur le fond, pour mesurer leur position à intervalle régulier (ex. 6 mois à 1 an) et ainsi tenter de caractériser le déplacement du nœud. Cette géométrie pyramidale et le choix des routes sont destinés à limiter l'effet de variations de la célérité dans la colonne d'eau, lesquelles sont principalement dans la partie supérieure de la tranche d'eau et avec une

stratification horizontale, et ainsi réduire les incertitudes sur la position horizontale du nœud (latitude et longitude).

Une approche alternative consisterait à ne déployer qu'une seule balise sur le fond et plusieurs dispositifs d'acquisition en surface avec une BUC émettrice sur un drone au centre du dispositif et des récepteurs acoustiques sur des drones satellites autour, formant un triangle ou un carré (pyramide inversée).

**L'enjeu scientifique est de pouvoir, avec ces équipements et les approches envisagées, positionner un point sur des fonds océaniques jusqu'à 4000m avec une précision de l'ordre du centimètre. L'originalité du projet est aussi de mettre en œuvre ces équipements à partir de drones de surface.**

Ce marché s'inscrit dans le cadre d'une convention de groupement d'achat entre les laboratoires GEO-OCEAN à Plouzané et le laboratoire GeoAzur à Nice. Toutefois, l'ensemble du matériel acquis sera localisé au Laboratoire Geo-Ocean, à l'Institut Universitaire Européen de la Mer, à Plouzané. Il sera mis en œuvre, dans la phase de développement méthodologique, par les partenaires du projet MARMOR, puis, une fois opérationnel, par la communauté scientifique nationale dans le cadre d'un parc instrumental mutualisé.

## Sommaire du dossier

I Caractéristiques des équipements de base demandés .....	5
I.1 Base ultra-courte / Centrale inertielle / Modem.....	5
I.2 Balises acoustiques fond de mer.....	6
I.3 Balises acoustiques de surface.....	8
I.4 Garantie .....	9
II Prestations supplémentaires éventuelles (PSE).....	9
II.1 Balises acoustiques fond de mer .....	9
II.2 Balises acoustiques de surface .....	9
II.3 Extensions de garantie et contrat de maintenance.....	8
III Livraison, installation et admission de la prestation .....	10
III.1 Livraison et installation .....	10
III.2 Admission de la prestation.....	10

# I Caractéristiques des équipements de base demandés

## Descriptif général

Il s'agit d'acquérir un système de positionnement géodésique pour positionner précisément des points sur le fond de l'océan jusqu'à 4000m de profondeur ou mesurer des déplacements relatifs entre points sur le fond de l'océan. Le dispositif envisagé comprend 3 éléments indissociables car interdépendants en termes de communication :

1. Un dispositif déployé depuis un véhicule de surface (navire, drone) pour communiquer avec des balises acoustiques sur le fond et les positionner ; cet instrument devra combiner une base acoustique ultra-courte (BUC), une centrale inertielle (INS) et un modem acoustique ;
2. Un ensemble de balises acoustiques autonomes destinées à être déployées sur le fond plusieurs années de suite (3 à 4 ans) et jusqu'à 4000m de fond, qui seront les points géodésiques sur le fond ; elles devront pouvoir communiquer entre elles et avec les dispositifs de surface ;
3. Un ensemble de balises acoustiques autonomes déployées en surface par des drones et permettant de communiquer avec les balises sur le fond et avec la BUC/INS/modem de surface.

**Le 1<sup>er</sup> élément** déployé en surface et interfacé à un récepteur GNSS (positionnement en surface et base de temps) devra combiner 3 instruments ou fonctions :

- Une base ultra-courte (un émetteur et plusieurs antennes de réception) pour positionner précisément une balise acoustique sur le fond ;
- Une centrale inertielle (gyro) pour corriger les mouvements de la plateforme de support (roulis, tangage, pilonnement) et ainsi corriger et lisser le positionnement GNSS de la plateforme et le positionnement acoustique des balises ;
- Un modem acoustique pour communiquer avec les balises sur le fond à des fins de télémétrie, de téléchargements de données acquises par les balises ou de reconfiguration des balises.

**Le 2<sup>nd</sup> élément** ou ensemble de balises acoustiques sur le fond devra combiner les fonctions :

- De positionnement depuis l'élément 1 ;
- De mesure de distancemétrie avec les balises voisines, en surface ou sur le fond ;
- De communication modem avec l'élément 1 à des fins de télémétrie, de téléchargements des données acquises ou de reconfiguration à distance.

**Le 3<sup>ème</sup> élément** ou ensemble de balises acoustiques de surface devra permettre :

- Des mesures de distancemétrie avec les balises voisines, en surface ou sur le fond ;
- Un interfacage à un récepteur GNSS (positionnement en surface et base de temps) et une centrale d'attitude.

Afin de pouvoir réaliser ces positionnements jusqu'à 4000m de fond, la gamme de fréquences acoustiques commune à tous ces équipements se situera dans la **bande 19-34 kHz (bande MF)**.

## I.1 Base ultra-courte / Centrale inertielle / Modem

Cet instrument intégré est destiné à équiper un drone de surface autonome, dit « amiral », alimenté par des batteries. Il sera monté sur un mat rétractable. L'interface homme-machine (IHM) de l'instrument sera installé sur un PC embarqué, téléopéré depuis le navire support. Cette base acoustique devra pouvoir communiquer avec les balises sur le fond (élément 2) et avec les balises de surface (élément 3). Les performances attendues sur les composantes de l'instrument et les contraintes en termes d'encombrement, de poids et d'alimentation sont les suivantes :

<b>Bande de fréquence</b>	MF 19-34 kHz
<b>Transducteur acoustique</b> Portée Cône d'ouverture Niveau d'émission Distancemétrie (précision) Positionnement (précision)	≥ 4000m ±90° 180-200 dB re 1uPA @ 1m 1 µs ≤ 15 mm (selon SNR)
<b>Centrale inertielle (précision)</b> Cap Roulis, tangage Pilonnement	0.01°secant latitude RMS 0.01RMS ≤ 5 cm ou 5%
<b>Fonctions modem (vers les balises sur le fond)</b> Téléchargement de données Resynchronisation Modifications de configuration des balises sur le fond	Débit de 6000 à 9000 bps
<b>Fonctions télémétrie</b> Bilan de santé d'une balise (attitude, batterie, capteurs, ...) Distancemétrie aux balises voisines	Débit de 6000 à 9000 bps
<b>Interfaçage</b>	GNSS (NMEA & PPS) : GPS, Galileo, Glonass, Beidou
<b>Communications</b> Unité d'interface, unité GNSS	Ethernet 100 Mb, RS485
<b>Dimensions</b> Unité d'interface et BUC/INS Câble entre unité d'interface et BUC/INS	Dimensions réduites compatibles avec une installation dans un drone de haute mer D'une longueur de l'ordre de 10m (drone), 30m (navire)
<b>Poids</b> Unité d'interface et BUC/INS	Poids limités pour un emport sur drone de haute mer.
<b>Alimentation</b>	12-48V DC
<b>Développement durable</b>	A compter de la date d'acquisition du matériel : - La durée de fonctionnement attendue est d'au moins 5 ans, extensible à 10 ans. - La commercialisation et la disponibilité des pièces détachées, devront être d'au moins 10 ans.

## I.2 Balises acoustiques fond de mer

Ces balises acoustiques autonomes seront déployées sur le fond pendant plusieurs années consécutives (3 à 4 ans) soit pour marquer des points géodésiques dont on déterminera la position par GNSS/A à intervalles de temps réguliers (6 mois à un an), soit pour mesurer des déplacements relatifs entre elles autour d'un accident géologique actif (failles) et, le cas échéant, être aussi localisées précisément par GNSS/A. Un point ou nœud géodésique pourra être constitué d'une seule ou de plusieurs balises, qui alors s'interrogeront entre elles pour mieux contraindre la solution. Ces balises acoustiques devront pouvoir communiquer avec la base ultra-courte (élément 1) et avec les balises de surface (élément 3).

Leur utilisation implique donc une autonomie de 3 à 4 ans, selon le nombre et la cadence de mesures envisagés, un stockage interne des données, et la possibilité de télécharger ces données par modem depuis la surface au cours de l'expérience. Outre leur fonction de base de distancemétrie à la microseconde près, ces balises devront être dotées de capteurs auxiliaires intégrés ou pouvoir échantillonner des capteurs externes pour caractériser la célérité du son aux instants d'émission (ex. : température, pression, salinité, célérimètre). Elles devront aussi comprendre des capteurs d'attitude (inclinomètres orthogonaux) et de mesure de tension des batteries.

Ces balises seront équipées d'un crochet de largage commandable à distance, pour les fixer sur leur châssis, et de flotteurs (externes si sans flottaison propre) pour leur récupération en surface.

Enfin, depuis la surface, il devra être possible, outre le téléchargement des données, d'acquérir des mesures par télémétrie et de modifier la configuration des balises (resynchronisation, nombre et cadence de mesures, choix des balises interrogées, ...).

<b>Bande de fréquence</b>	MF 19-34 kHz
<b>Immersion</b>	Jusqu'à 4000m
<b>Autonomie</b>	3 à 4 ans selon programmation (1), avec abaque de calcul d'autonomie selon configuration envisagée
<b>Puissance d'émission</b>	180 à 200 dB re 1uPa @ 1m 4 à 7 niveaux selon portée requise
<b>Distancemétrie (précision)</b> Programmation	$\pm 1 \mu s$ $\leq 10$ stations interrogées
<b>Capteurs internes (précision)</b> Température Pression Inclinomètres orthogonaux Voltmètre/ampèremètre et/ou système de gestion des batteries (BMS) Échantillonnage par la balise	$\pm 0.001^\circ C$ $\pm 0.01\% FS$ $\pm 0.01^\circ$ (entre $\pm 90^\circ$ ) Requis  Tous programmables (2)
<b>Capteurs externes</b> Connexion Échantillonnage par la balise Alimentation par la balise	RS232, RS485 Tous programmables (2) Possible
<b>Acquisition</b> Stockage interne des données Échantillonnage Reconfigurable à distance	Requis Programmable (2) Requis
<b>Fonctions modem</b> Téléchargement des données Resynchronisation Modifications de la configuration	Débit de 6000 à 9000 bps
<b>Fonctions télémétrie</b> Bilan de santé de la balise (attitude, batterie, capteurs, ...) Distancemétrie aux balises voisines	Débit de 6000 à 9000 bps
<b>Crochet largable</b>	Requis
<b>Développement durable</b>	A compter de la date d'acquisition du matériel : - La durée de fonctionnement attendue est d'au moins 5 ans, extensible à 10 ans. - La commercialisation et la disponibilité des pièces détachées, devront être d'au moins 10 ans.

(1) Pour un scénario typique avec 4 balises : interrogations maître-esclave toutes les 2 heures (5 pings par ligne de base), échantillonnage simultané (5 éch./capteur) des capteurs auxiliaires (température, pression, salinité, célérité) à chaque émission (maître ou esclave); sessions GNSS/A de 24h une à deux fois par an; téléchargement des données une à deux fois par an.

(2) Aux instants d'émission pour température, pression, salinité, célérité. A intervalles réguliers pour batterie et inclinomètres.

### I.3 Balises acoustiques de surface

Ces balises acoustiques autonomes seront déployées sur des drones de surface dits « satellites » et interfacées avec un récepteur GNSS (position et base de temps) et une centrale inertielle (de type MEMS). Ces balises acoustiques devront pouvoir communiquer avec la base ultra-courte (élément 1) et avec les balises sur le fond (élément 2). Les transducteurs seront installés de façon à réduire au maximum le bras de levier avec le drone support. Leur interface homme-machine (IHM) sera installé sur un PC embarqué, téléopéré depuis le navire support. Elles auront un double usage :

- Etre utilisées de conserve avec le drone « amiral » équipé de la BUC/INS/modem pour positionner par GNSS/A des balises sur le fond. Les drones satellites feront alors office de récepteurs : saisie de la position et de l'attitude du drone au moment de la réception, datation des signaux émis par les balises sur le fond en réponse aux signaux émis par le drone amiral, identification de la balise émettrice (drone amiral, balises sur le fond).
- Et éventuellement, être utilisées en mode autonome, c'est-à-dire déployées seules pour positionner une balise sur le fond (fonction positionnement) ou télécharger les données d'une balise sur le fond (fonction modem).

<b>Bande de fréquence</b>	MF 19-34 kHz
<b>Transducteur acoustique</b> Portée Cône d'ouverture Niveau d'émission Distancemétrie (précision) Positionnement (précision)	≥ 4000m ±90° 180-200 dB re 1uPA @ 1m 1 µs ≤ 15 mm (selon SNR)
<b>Acquisition</b> Stockage interne des données ou sur PC d'acquisition à bord du drone satellite	Datation des arrivées, Identification des émetteurs Position GNSS et attitude aux instants d'arrivée
<b>Interfaçage</b>	GNSS (NMEA & PPS) : GPS, Galileo, Glonass, Beidou Centrale inertielle (type MEMS)
<b>Communication</b>	RS232, RS485, Ethernet 100 Mb
<b>Dimensions</b> Unité d'interface  Tête acoustique (transducteur) Câble interface-transducteur	Encombrement limité pour une installation dans un drone de haute mer Possibilité de fixation sur un support (ex. mât immergé) Longueur de l'ordre de 5 m
<b>Poids</b> Unité d'interface et Tête acoustique (transducteur)	Poids limités pour un emport sur drone de haute mer
<b>Alimentation</b>	12-48 V DC
<b>Développement durable</b>	A compter de la date d'acquisition du matériel : - La durée de fonctionnement attendue est d'au moins 5 ans, extensible à 10 ans. - La commercialisation et la disponibilité des pièces détachées, devront être d'au moins 10 ans.



## I.4 Garantie

Pour chacun de ces éléments, la période de garantie sera au moins égale à **24 mois**, pièces, main d'œuvre et déplacements compris à compter de la réception définitive de l'équipement. Elle doit couvrir l'ensemble des équipements installés par le Titulaire. Elle subviendra à toute panne qui n'est pas liée à une erreur de manipulation.

La garantie doit assurer la mise à jour des logiciels, la mise à jour des systèmes informatiques et interfaçages en cas de panne et d'impossibilité de trouver sur le marché du matériel compatible. Le délai d'intervention en cas de panne ne doit pas dépasser 72h.

Une assistance téléphonique doit aussi être fournie pendant la période de garantie.

Cette durée de **24 mois** est nécessaire compte tenu du fait que la mise en œuvre de tous ces instruments demande une organisation logistique complexe (disponibilité de temps-bateau) qui ne coïncidera pas forcément avec leur date de livraison. Pour leur première mise en œuvre en conditions réelles, la mise à disposition d'un navire océanographique demande, par exemple, une anticipation de 2 ans, qui seront mis à profit pour l'installation des équipements et leur interfaçage avec les drones de surface.

Dans les 24 mois suivant la livraison, la garantie doit couvrir ces différents points :

- Tests d'installation des éléments 1 et 3 dans les drones de surface ;
- Essais en conditions réelles à partir des drones de surface, lors des phases de test des drones de surface (dont le marché est en cours).

Ces vérifications, tests et essais ont pour but de vérifier la bonne adéquation du matériel livré avec d'une part les spécifications annoncées par le fournisseur lors de sa réponse au présent cahier des charges, et d'autre part, les exigences des unités CNRS.

## II Prestations supplémentaires éventuelles (PSE)

Toutes les PSE sont obligatoires. Le fournisseur doit donc obligatoirement donner un chiffrage de chaque prestation supplémentaire éventuelle, mais le laboratoire se laisse la liberté de lever ou non les options au moment de la notification du marché.

### II.1 Balises acoustiques fond de mer

PSE-1	Flotteurs pour les balises fond de mer	Si non intégrés dans la balise
PSE-2	Capteur interne de célérité	Pour équiper une ou plusieurs balises fond de mer $\pm 0.01$ m/s

### II.2 Balises acoustiques de surface

PSE-3	Fonction positionnement	Par rapport aux balises sur le fond
PSE-4	Fonction modem Communication avec les balises sur le fond pour des opérations de télémétrie, de téléchargement de données, ou de reconfiguration des balises	Débit de 6000 à 9000 bps

### II.3 Extension de garantie et contrat de maintenance

PSE-5	Extension de garantie et contrat de maintenance pour l'ensemble des éléments	Une extension de garantie de minimum 12 mois supplémentaire avec une solution de maintenance
-------	--	--

## III Livraison, installation et admission de la prestation

### III.1 Livraison et installation

Le fournisseur assure sous son entière responsabilité, le transport, l'installation et la mise en service de l'ensemble du matériel sur le site. Les risques afférents au transport et à la livraison des matériels sont à la charge du titulaire. Les coûts de douane, d'expédition, de transport, d'assurance de transport et les taxes sont à la charge du fournisseur.

Le **délai de livraison maximal** est de **6 mois** à compter de la date de notification du marché. Une livraison partielle de balises fond de mer (élément 2) est souhaitée dans le **mois** à compter de la date de notification du marché.

Le matériel est livré, à une date qui aura été convenue entre les parties, à l'adresse suivante entre 9h et 12h ou entre 14h et 16h :

CNRS UMR 6538 – *Geo-Ocean*  
*Institut Universitaire Européen de la Mer*  
*Rue Dumont d'Urville*  
*29280 Plouzané*

Le délai d'installation et de mise en service en laboratoire est de 3 mois à compter de la date de livraison. Toutefois, s'agissant d'équipements destinés à être mis en œuvre en haute mer, l'installation définitive devra attendre une opportunité de mission océanographique (cf. point suivant).

### III.2 Admission de la prestation

S'agissant d'équipements destinés à être mis en œuvre en haute mer et donc qui requièrent la disponibilité d'un navire océanographique et de plusieurs drones de surface, les opérations de vérifications nécessaires à l'admission des prestations se feront selon les modalités suivantes :

- Dans les 3 mois suivant la livraison, vérifications d'aptitude des :
  - Élément 1 (USBL/INS/modem) : test en laboratoires de mise en route, interfaçage avec récepteur GNSS, PC d'acquisition et de commande.
  - Élément 2 (balises acoustiques fond de mer) : test en laboratoire de leur mise en route, configuration des balises, configuration de l'échantillonnage des capteurs auxiliaires (externes ou internes), programmation des interrogations avec balises voisines, tests d'acquisition et tests de communication/fonctions télémétrie/fonctions modem avec l'élément 1 en bassin.
  - Élément 3 (balises acoustiques de surface) : test en laboratoires de mise en route, interfaçage avec récepteur GNSS et centrale inertielle, PC d'acquisition et de commande. Tests d'acquisition et de communication avec les éléments 1 et 2 en bassin.

A l'issue des vérifications d'aptitude, la réception de la prestation, objet du présent marché, pourra être définitivement prononcée.