



INSTITUT  
POLYTECHNIQUE  
DE PARIS

## Cahier des Clauses Techniques Particulières

**Marché d'étude et de réalisation d'électroniques prototypes  
pour des systèmes acoustiques et optiques sous-marins**

Référence : Marché 20250008

Rédacteur : STIC/ROB – Benoit Zerr

## Table des matières

1 Nature du projet.....	3
2 Normes applicables .....	3
3 Résumé des prestations demandées .....	3
4 Spécifications techniques.....	4
4.1 Electroniques prototypes pour sources acoustiques .....	4
4.1.1 Caractéristiques électriques.....	4
4.1.2 Entrées/Sorties .....	5
4.1.3 Contraintes d'intégration .....	6
4.2 Electroniques prototypes pour systèmes optiques.....	6
4.2.1 Système optique de mesure de distance (LIDAR) .....	6
4.2.2 Système optique de communication bidirectionnelle sans fil .....	8
4.2.3 Entrées/Sorties .....	8
4.2.4 Contraintes d'intégration .....	8
5 Calendrier prévisionnel et livrables.....	9
6 Mémoire technique, calendrier prévisionnel et réactivité .....	10
7 Démarche d'éco-conception .....	11

## 1 Nature du projet

Ce projet a pour objet de permettre la consultation des entreprises susceptibles de fournir une prestation d'ingénierie pour l'étude de conception d'électroniques prototypes pour des systèmes acoustiques et optiques sous-marins, suivie d'une prestation de réalisation de ces électroniques prototypes. Ces équipements électroniques équiperont une antenne sous-marine reconfigurable constituée de plusieurs robots sous-marins contrôlés précisément en immersion (flotteurs intelligents). L'étude et le développement de cette antenne sous-marine est réalisée par un consortium constitué d'industriels, d'un centre de recherche et d'un laboratoire de recherche. Le titulaire sera amené à interagir très régulièrement en présentiel avec les membres du consortium lors des phases de conception et de réalisation. Une aide à l'intégration de ces électroniques prototypes dans les robots est attendue dans le cadre de cette prestation.

Plus précisément, pour le volet acoustique, ce marché vise à concevoir et réaliser 3 amplificateurs pour source acoustique sous-marine. Pour la partie optique, ce marché vise à concevoir et réaliser 5 systèmes optiques sous-marins combinant les fonctions (1) de mesure de distance (LIDAR) et (2) de communication sans fil entre les robots.

## 2 Normes applicables

CE

RoHS

IEC 61010-1 (basse tension)

IEC 61326-1 (CEM)

IEC 60825-1 (laser)

UL 94 V1 (inflammabilité)

## 3 Résumé des prestations demandées

La prestation vise à concevoir et réaliser des électroniques prototypes acoustiques et optiques pour un projet innovant de mesure grand fonds fondé sur l'emploi de flotteurs intelligents. La prestation comporte 2 parties :

- une électronique prototype acoustique constituée d'une carte amplificatrice de signaux acoustiques destinée à l'émission acoustique sous-marine,
  - réalisation de 3 électroniques prototypes acoustiques
  - aide à l'intégration des électroniques prototypes dans les systèmes expérimentaux
- une électronique prototype optique combinant un système optique de mesure de distance (type LIDAR) et un système optique de communication bidirectionnelle sans fil. La prestation comporte 3 phases
  - étude préliminaire de conception optique visant à préciser les caractéristiques du système optique en étroite collaboration avec les partenaires du projet
  - étude de conception optique en étroite collaboration entre le titulaire et les membres du consortium
  - réalisation de 5 électroniques prototypes optiques

- aide à l'intégration des électroniques prototypes dans les systèmes expérimentaux

L'aide à l'intégration des électroniques prototypes dans les systèmes expérimentaux est une prestation d'assistance ponctuelle sur site pour l'intervention sur les électroniques fournies lors de la mise au point. Les électroniques étant montées dans des systèmes étanches, l'intervention sur site vise, dans la mesure du possible, à résoudre les problèmes de mise au point sans démontage systématique des systèmes expérimentaux.

Les 3 électroniques prototypes acoustiques seront intégrées dans des bouées de surface. Les 5 électroniques prototypes optiques seront intégrées dans des flotteurs sous-marins. L'intégration se fera dans le cadre suivant :

- La carte amplificatrice de signaux acoustiques est intégrée dans la bouée de surface contrôlant la source acoustique. Elle se place en sortie de l'électronique de génération des signaux et doit alimenter optimalement le transducteur d'émission au travers d'un câble de plusieurs mètres.
- Le système optique de mesure de distance sous-marine utilise le principe du LIDAR. Il mesure la distance en calculant le temps que met une impulsion laser pour faire l'aller-retour entre l'émetteur et la cible, en exploitant la vitesse de la lumière pour en déduire la position.
- Le système optique de communication bidirectionnelle sans fil transmet des données entre plusieurs paires émetteur-récepteur grâce à des techniques de modulation/démodulation du signal lumineux.
- L'électronique des deux systèmes optiques est regroupée en une seule électronique prototype optique placée à l'intérieur du flotteur sous-marin.

L'ensemble de la prestation devra aboutir sur une solution respectant l'enveloppe budgétaire du projet.

## 4 Spécifications techniques

Les caractéristiques suivantes proposent un cadre à l'étude de conception et pourront être modifiées avec l'accord du consortium et du titulaire au cours de l'étude.

### 4.1 Electroniques prototypes pour sources acoustiques

Les caractéristiques impératives sont listées dans les paragraphes 4.1.1 et 4.1.2, les caractéristiques recommandées sont indiquées entre parenthèses.

Dans la description de certaines caractéristiques, l'électronique prototype acoustique est appelée "bloc amplificateur".

#### 4.1.1 Caractéristiques électriques

##### **Spécifications d'alimentation :**

Tension d'alimentation : tension batterie 48 V (tension comprise entre 51,2 V et 42 V).

Puissance de sortie : puissance nominale de 250 W, puissance maximale de 500 W.

Mode veille : le bloc amplificateur doit pouvoir être mis en veille afin de limiter la consommation (consommation en mode veille inférieure à 5W recommandée).

#### **Performances du bloc amplificateur :**

Rendement : l'amplificateur doit avoir un rendement théorique supérieur à 80% (un rendement théorique de 90 % est recommandé)

Plage de fréquence d'émission maximale étendue : le bloc amplificateur doit pouvoir émettre à puissance maximale sur une plage de fréquence de 2,5kHz à 5kHz.

Niveau de distorsion maximum : Le bloc amplificateur doit présenter un taux de distorsion maximum de 2% sur toute la plage fréquentielle et quelque soit la puissance d'émission (un taux de distorsion maximum de 1% sur toute la plage fréquentielle et quelque soit la puissance d'émission est recommandé)

#### **Sortie du bloc amplificateur :**

Type de signal de sortie : La sortie de l'amplificateur doit être une sortie différentielle.

Tension nominale en sortie du bloc amplificateur : la tension nominale en sortie du bloc amplificateur doit être de 1400 Vpp (la possibilité de réglage de la tension de sortie est recommandée).

Tension maximale en sortie du bloc amplificateur : la tension maximale en sortie du bloc amplificateur doit être de 1820 Vpp.

Tension de sortie du bloc amplificateur à ne pas dépasser : la tension en sortie de l'amplificateur ne doit pas dépasser les 1820 Vpp.

Stabilité de la tension de sortie de l'amplificateur : la tension en sortie d'amplificateur doit être stable indépendamment du niveau de batterie.

### **4.1.2 Entrées/Sorties**

#### **Signaux externes :**

Type de signal audio d'entrée : le bloc amplificateur doit pouvoir accepter un signal audio analogique différentiel en entrée.

Niveau de tension du signal d'entrée : l'amplitude du signal d'entrée du bloc amplificateur doit être au maximum de 1,5V RMS.

Signal de contrôle de mise sous tension : le bloc amplificateur doit pouvoir être mis sous tension via un signal externe afin de limiter la consommation.

Niveau de tension des signaux de contrôle : les signaux de contrôle doivent être compatibles avec les niveaux TTL 3,3V.

Isolation des signaux de contrôle : afin d'éviter l'auto-consommation, les entrées des signaux de contrôle sont bufferisées.

Signaux supplémentaires : (un signal de sortie indiquant le bon fonctionnement du bloc amplificateur et un signal d'entrée permettant le réglage de la tension de sortie sont recommandés)

#### **Connectiques :**

Connectique alimentation : l'alimentation du bloc amplificateur doit se faire via un unique connecteur permettant le passage de la puissance nécessaire à l'alimentation de l'intégralité du bloc.

Connectique contrôle : les entrées permettant le contrôle du bloc amplificateur (signal audio d'entrée, signal de mise en veille, etc...) doivent se faire via un unique connecteur.

Connectique sortie : la sortie du bloc amplificateur doit se faire via un connecteur unique acceptant les niveaux de tension importants.

#### **Transducteur :**

Pour information, l'impédance du transducteur d'émission varie entre 1200 ohms et 2000 ohms sur la bande d'émission envisagée (2.5 kHz à 5 kHz). Les fichiers complets de mesures d'impédance ( $|Z|$ ,  $R_p$ ,  $C_p$ ) pourront être fournis au besoin.

#### **4.1.3 Contraintes d'intégration**

Les principales contraintes d'intégration sont les suivantes :

- Intégration dans un boîtier cylindrique étanche de diamètre intérieur à 200 mm
- Sortie sur câble avec connecteur MCBH2M (haute tension, 2kV)
- Circuit imprimés tropicalisés
- Composants les plus lourds fixés mécaniquement ou collés
- Gamme de température fonctionnelle : -10 à 60 degrés C
- Gestion de la dissipation de la dissipation thermique
- Masse inférieure à 15 kg (masse inférieure à 10 kg recommandée).

## **4.2 Electroniques prototypes pour systèmes optiques**

L'électronique prototype des systèmes optique assure deux applications : (1) mesure de distance (LIDAR) et (2) communication sans fils. A un instant donné, une seule application est active et, ainsi, les composants optiques d'émission et de réception sont partagés par les deux applications. Une bibliothèque de motifs optiques permet, en sélectionnant le motif optique adéquat, d'adapter le faisceau lumineux émis en fonction de l'application active.

### **4.2.1 Système optique de mesure de distance (LIDAR)**

La mesure de distance par LIDAR consiste en la mesure du temps de vol entre l'émission d'une impulsion optique et sa réception après réflexion sur un obstacle. Le faisceau optique étant très fin, le système d'émission/réception est monté sur un plateau tournant afin de réaliser une mesure sur 360 degrés. Le contrôle précis de la rotation du plateau est assuré par un moteur électrique équipé d'un encodeur. Les éléments dimensionnants sont la portée maximale, le nombre de révolutions du plateau par seconde et l'échantillonnage angulaire, correspondant au nombre de points de mesure par révolution.

**Éléments dimensionnants :**

Portée maximale : 15 m (portée de 20 m recommandée).

Nombre de révolutions (360 degrés) par seconde : 10 révolutions par seconde.

Échantillonnage angulaire : 10000 points de mesure (émission/réception) par révolution.

**Composants optiques à intégrer :**

Les composants optiques seront précisés de façon définitive lors de la phase d'étude préliminaire. A ce stade du projet, le partenaire en charge de la partie émission et réception s'oriente vers les choix technologiques suivants :

Source optique : une diode laser de puissance 5W et de longueur d'onde entre 440 nm et 460 nm.

Réception optique : utilisation d'un photomultiplicateur de type Si:PM permettant d'obtenir une bonne sensibilité lumineuse couplée à une grande surface de détection sur un champ angulaire de quelques dizaines de degrés.

Sortie du récepteur optique : le signal fourni en sortie du module optique de réception est une impulsion représentant l'impulsion optique reçue. Le niveau de l'impulsion indique le niveau de réflectivité de l'impulsion réfléchi par l'obstacle.

**Fonctions à réaliser :**

Contrôle du gain à la détection : mise en place d'un gain variable programmable.

Contrôle du seuil de détection : mise en place d'un seuil de détection programmable.

Rotation du plateau : moteur électrique en courant continu.

Mesure de la position angulaire du plateau : codeur angulaire monté sur l'axe du moteur électrique.

Sélection de l'impulsion émise : un moteur de type servomoteur sera utilisé pour sélectionner le motif optique à émettre, à choisir dans une bibliothèque de motifs optiques.

Acquisition d'une mesure : déclenchement de l'émission, mesure de la position angulaire, acquisition de l'impulsion reçue, mesure du temps de vol et conversion en distance et mesure de la réflectivité.

Génération du flux de données mesurées : mise en buffer des mesures pour envoi vers l'ordinateur principal.

Contrôle indépendant d'un second moteur : sortie de commande PWM indépendante de la commande du moteur d'entraînement du plateau.

Paramétrage de l'acquisition : gestion des paramètres d'acquisition : démarrage, arrêt, nombre de révolutions par secondes, échantillonnage angulaire, balayage sur un secteur angulaire réduit, format des trames de données, autres paramètres définis lors de la phase de conception.

#### 4.2.2 Système optique de communication bidirectionnelle sans fil

Modulation/démodulation : méthode à préciser lors de la phase d'étude préliminaire tenant compte de la spécificité de la source optique. Le choix se fera entre les méthodes classiques (OOK, PPM) ou une méthode spécifique définie lors de la phase de conception

Source optique : la transmission de la communication se fait avec la source utilisée par le LIDAR.

Réception optique : la réception de la communication se fait avec le récepteur utilisé par le LIDAR.

#### 4.2.3 Entrées/Sorties

Le combiné LIDAR / Communication sans fils est connecté à l'ordinateur monocarte du flotteur. Ce dernier définit les paramètres de fonctionnement, envoie les commandes et récupère les données :

Connectique : Connecteur USB 3.x et connecteur RJ45 avec communication Ethernet 100 Mb/s

Paramétrage : envoi et récupération des paramètres de contrôle comme le motif optique émis, le changement d'application, la portée, le nombre de révolutions. La définition exhaustive des paramètres sera précisée au terme de la phase d'étude de conception.

Réception des commandes : démarrage/arrêt du LIDAR, envoi d'un message sur la communication. La définition exhaustive des commandes sera précisée au terme de la phase d'étude de conception.

Envoi des informations : récupération des mesures de distance par le LIDAR et des messages reçus par la communication. La définition exhaustive des informations sera précisée au terme de la phase d'étude de conception.

Signaux de synchronisation externes : PPS, démarrage/arrêt, mise en veille/réveil. La définition exhaustive des signaux externes sera précisée au terme de la phase d'étude de conception.

#### 4.2.4 Contraintes d'intégration

Les principales contraintes d'intégration sont les suivantes :

- Alimentation par batterie : tension nominale 24 V, fonctionnement nominal sur la plage de tension comprise entre 21 V et 26.1V
- Intégration dans boîtiers cylindriques étanches de diamètre intérieur 150 mm.
- Circuit imprimés tropicalisés
- Composants les plus lourds fixés mécaniquement ou collés
- Gamme de température fonctionnelle : -10 à 60 degrés C
- Gestion de la dissipation de la dissipation thermique

## 5 Calendrier prévisionnel et livrables



La prestation comporte 5 phases :

- 1 - Etude préliminaire de conception optique
- 2 - Réalisation des électroniques prototypes pour sources acoustiques
- 3 - Etude de conception optique
- 4 - Réalisation des électroniques prototypes pour systèmes optiques
- 5 - Aide à l'intégration des systèmes

La fourniture des électroniques prototypes pour sources acoustiques comprend les phases 2 et 5. La fourniture des électroniques prototypes pour systèmes optiques comprend les phases 1,3,4 et 5. La phase 5 est commune aux deux fournitures.

Il est attendu à minima une réunion par mois sur le site de Brest de l'ENSTA pendant les phases d'étude préliminaire (1) et de conception optique (3). Pour les phases de réalisation (2 et 4), une réunion d'avancement tous les 2 mois est requise avec possibilité d'ajout de 2 réunions non prévues de synchronisation avec l'équipe d'intégration de l'ENSTA (réunions sur site).

Pour la phase 5 de support à l'intégration, une grande réactivité est demandée afin de résoudre les potentiels problèmes bloquants pouvant survenir lors d'intégration des électroniques prototypes. L'intégration des électroniques prototypes optiques est réalisée sur le site de Brest de l'ENSTA. L'intégration des électroniques prototypes acoustiques est réalisée sur le site de Plouzané de l'IFREMER. Il est demandé de chiffrer le délai de mise à disposition d'un personnel adéquat sur site d'intégration. Ce délai correspond au temps écoulé entre l'appel téléphonique de demande d'assistance (jours ouvrés) et l'arrivée sur site du personnel adéquat (jours ouvrés). La participation aux essais de validation (10 jours) de l'intégration des électroniques fournies est recommandée.

Le calendrier prévisionnel des livrables est le suivant :

Phase	Livrable (jusqu'à)
<b>1 - Etude préliminaire des électroniques prototypes pour systèmes optiques</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● Précision du besoin pour les électroniques prototypes optiques</li></ul>	T0 + 4 mois
<b>2 - Réalisation des électroniques prototypes pour sources acoustiques</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● 3 cartes d'amplification acoustique</li></ul>	T0 + 11 mois
<b>3 - Etude de conception optique</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● Cahiers des charges pour la réalisation des électroniques prototypes optiques</li></ul>	T0 + 12 mois
<b>4 - Réalisation des électroniques prototypes pour systèmes optiques</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● 5 systèmes optiques combinant mesure de distance et communication sans fil</li></ul>	T0 + 24 mois
<b>5 -Aide à l'intégration des systèmes</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● Assistance à distance, déplacement sur site pour intervention sur les électroniques prototypes fournies</li></ul>	T0 + 30 mois

Le soumissionnaire devra proposer un planning prévisionnel des livrables (voir paragraphe suivant). Dans le planning proposé, la durée de la phase 5 est figée et, par conséquent, ne peut faire l'objet de proposition calendaire différente afin de synchroniser la prestation au projet global. En revanche, les phases 1 à 4 peuvent faire l'objet de propositions calendaires différentes.

## 6 Mémoire technique, calendrier prévisionnel et réactivité

Pour le choix du titulaire, l'évaluation technique de la proposition est faite sur le contenu du mémoire technique, l'écart au calendrier prévisionnel et la réactivité. Les éléments d'évaluation sont précisés dans le tableau ci-dessous avec leurs pondérations respectives indiquées dans la colonne de droite.

	<b>Pondération</b>
<b>Bureau d'étude (mémoire technique)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Présentation du bureau d'étude et de ses compétences (Types d'électroniques développées, capacité à réaliser des prototypes, matériels, outils et méthodes de développement)</li> </ul>	<b>30 %</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Références, préciser les projets menés ayant pour spécificité : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Connaissance du domaine marin</li> <li>○ Intégration électronique dans des robots marins et sous-marins</li> <li>○ Réalisation systèmes acoustiques et optiques</li> </ul> </li> </ul>	<b>30%</b>  (15%)  (10%)  (5%)
<b>Calendrier prévisionnel</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Proposition de planning prévisionnel détaillé <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ecart au planning prévisionnel proposé</li> </ul> </li> </ul>	<b>30 %</b>
<b>Réactivité</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Délai de mise à disposition d'un personnel formé pour résolution des problèmes survenant lors de l'intégration des électroniques fournies</li> </ul>	<b>10 %</b>

## 7 Démarche d'éco-conception

Le titulaire du marché devra décrire succinctement comment la conception et la réalisation de ces équipements s'inscrivent dans une démarche d'éco-conception. La démarche du titulaire en matière d'éco-responsabilité sera précisée en annexe au mémoire technique.