Université Bretagne Sud
27 rue Armand Guillemot
56321 Lorient Cedex

Cahier des Clauses Techniques Particulières

P 202617AO

LOT 1

Acquisition de drones à architecture ouverte pour la coopération entre véhicules autonomes hétérogènes

Lorient

SOMMAIRE

SOMMAIRE 2
1 Objet du marché / lot 4
2 Exigences communes à l'ensemble des fournitures 4
2.1 Plateformes ouvertes 4
2.2 PSE 4
2.2 Variante 5
3 Fourniture n° 1 : Drones de surface (USV) compacts (× 3) 5
3.1 Description 5
3.2 Composition de la fourniture 5
3.3 Exigences techniques minimales (communes aux trois drones) 6
3.3.1 Plateforme 6
3.3.2 Énergie 6
3.3.3 Commande, communications et station de base 6
3.3.4 Autopilote, interfaces et ouverture logicielle 6
3.3.5 Perception et charge utile 7
3.3.6 Sécurité et signalisation 7
3.4 Charges utiles acoustiques 7
3.4.1 USV n° 2 — Sonar à balayage latéral (side-scan) 7
3.4.2 USV n° 3 — Sondeur multifaisceaux (MBES) 7
4 Fourniture n° 2 : Véhicule sous-marin téléopéré (ROV) 7
4.1 Description 7
4.2 Composition de la fourniture 8
4.3 Exigences techniques minimales 8
4.3.1 Véhicule et performances 8
4.3.2 Ombilical et mise en œuvre 8
4.3.3 Bras manipulateur (pince) et charge utile 8
4.3.4 Éclairage et perception 8
4.3.5 Commande, interfaces et ouverture logicielle 8
4.3.6 Sécurité 9
5 Fourniture n° 3 : Drones aériens (UAV) de perception (× 3) 9
5.1 Description 9
5.2 Composition de la fourniture 9
5.3 Exigences techniques minimales 9
5.3.1 Plateforme et vol 9
5.3.2 Perception et charge utile 9
5.3.3 Liaison, pilotage et immersion (FPV) 9
5.3.4 Ouverture logicielle et SDK 10
6 Clauses communes 10

6.1 Délai de livraison 10
6.2 Formation des utilisateurs 10
6.3 Contenu des prix — Garantie 10
6.4 Performance environnementale de la solution 10
6.5 SAV 10
7 Récapitulatif des exigences techniques 11
7.1 Fourniture n° 1 — Drones de surface (× 3) 11
7.2 Fourniture n° 2 — ROV 12
7.3 Fourniture n° 3 — UAV (× 3) 12

1 Objet du marché / lot

Le présent lot a pour objet l'acquisition d'une flotte hétérogène de plateformes robotiques à architecture ouverte — trois drones de surface (USV), un véhicule sous-marin téléopéré (ROV) et trois drones aériens (UAV) — destinées aux activités de recherche du laboratoire Lab-STICC de l'Université Bretagne Sud.

Ces plateformes seront dédiées à des travaux de recherche portant notamment sur l'apprentissage par renforcement (reinforcement learning), la perception multimodale, la navigation autonome, la cybersécurité et la coopération entre véhicules autonomes hétérogènes (USV / ROV / UAV).

La consultation est décomposée en trois fournitures :

- **Fourniture n° 1 :** trois drones de surface (USV) compacts, ouverts et modifiables, avec leurs stations de base, équipements de communication et accessoires. L'un des drones est équipé d'un sonar latéral ; un second est équipé d'un sondeur multifaisceaux (MBES) ; le troisième est livré en configuration de base et sert de banc d'essai perception / apprentissage par renforcement.
- **Fourniture n° 2 :** un véhicule sous-marin téléopéré (ROV) avec son ombilical de 300 m sur touret, une pince, une caméra sous-marine et un éclairage.
- **Fourniture n° 3 :** trois drones aériens (UAV) de perception, avec leur dispositif de pilotage immersif (FPV) et leur tablette de contrôle, ainsi que leurs accessoires.

Les fournitures ne sont pas attribuables séparément. Les candidats doivent soumissionner à l'ensemble des trois fournitures.

2 Exigences communes à l'ensemble des fournitures

2.1 Plateformes ouvertes

L'ensemble des matériels devra présenter une architecture ouverte permettant l'ajout de cartes électroniques pour la mise en œuvre de logiciels de pilotages et d'acquisitions de capteurs.

- Le pilotage du véhicule devra être accessible depuis un logiciel tiers au moyen d'un protocole ouvert et documenté (par exemple MAVLink) ou d'une interface de programmation (API / SDK) documentée.
- L'API ou le protocole devra permettre au minimum : l'accès aux données de navigation et à l'état du véhicule, et la transmission de consignes de navigation ou de commandes bas niveau.
- La documentation technique (schémas d'interface, protocoles, formats de données, dimensions mécaniques d'interface) devra être fournie ou librement accessible en ligne.
- La fourniture d'un SDK ou de bibliothèques clientes en Python et/ou C++, ainsi que d'une interface ROS / ROS 2, sera valorisée.
- La disponibilité d'un simulateur, d'un jumeau numérique ou d'un modèle dynamique documenté du véhicule, exploitable pour l'entraînement de politiques par apprentissage par renforcement, sera valorisée.

2.2 PSE

Rappel définition d'une PSE : prestation et/ou accessoire demandé par l'acheteur en complément de l'acquisition principale que le candidat est tenu de proposer mais que l'acheteur retiendra ou non à la signature du contrat ex accessoires en plus, extension de garantie...

Le présent marché comporte une / des PSE :

☒ oui (les décrire ci-dessous)

PSE1 : DVL compatible avec l'usage du ROV

☐ non

2.2 Variante

Rappel définition d'une variante : les variantes constituent des modifications, à l'initiative des candidats, de spécifications prévues dans la solution de base décrite dans les documents de la consultation.

Les variantes sont autorisées :

☐ oui (décrire leur cadrage minimal ex matériel d'occasion accepté, autre solution technique acceptée sur tel ou tel point …)

☒ non

3 Fourniture n° 1 : Drones de surface (USV) compacts (× 3)

3.1 Description

La fourniture n° 1 porte sur l'acquisition de trois drones de surface compacts, ouverts et évolutifs, destinés à servir de bancs d'essai pour le développement d'algorithmes de navigation autonome en environnement côtier et sur plans d'eau intérieurs.

Les trois drones partagent une plateforme commune, décrite au § 3.3. Ils se distinguent par leur charge utile :

- **USV n° 1 — configuration de base :** banc d'essai de perception et d'apprentissage par renforcement.
- **USV n° 2 — sonar à balayage latéral :** imagerie acoustique du fond.
- **USV n° 3 — sondeur multifaisceaux (MBES) :** bathymétrie.

Chaque plateforme devra permettre l'intégration de capteurs de perception (caméras, LiDAR, GNSS RTK, centrale inertielle) et d'un calculateur embarqué fournis par le laboratoire, ainsi que la mise en œuvre d'expérimentations répétées par une équipe réduite (un à deux opérateurs) sans moyen de manutention lourd.

Le matériel proposé sera d'un niveau de performance au moins équivalent à celui d'un drone de surface de type *BlueBoat (Blue Robotics)* ou équivalent, tel que défini par les exigences ci-après.

3.2 Composition de la fourniture

- Trois drones de surface prêts à naviguer.
- Pour chaque drone : une station de base terrestre permettant le pilotage et la supervision à une distance minimale de 500m, et une télécommande (manette) de pilotage manuel.
- Pour chaque drone : un modem cellulaire 4G/LTE embarqué et son emplacement SIM, assurant une liaison haut débit de longue portée.
- Pour chaque drone : un jeu de feux de navigation réglementaires (feux de côté, feu de poupe, feu de tête de mât ou feu tout-horizon).
- Un pack batterie lithium-ion (un ou plusieurs modules) principal

- Un pack batterie de rechange identique au pack batterie principal, et un chargeur permettant la recharge complète d'un pack batterie en moins de 12 heures.
- Le sonar à balayage latéral intégré sur l'USV n° 2 (§ 3.4.1).
- Le sondeur multifaisceaux intégré sur l'USV n° 3 (§ 3.4.2).

3.3 Exigences techniques minimales (communes aux trois drones)

La non-conformité à l'une de ces exigences sera éliminatoire.

3.3.1 Plateforme

- Longueur hors tout ≤ 1,5 m et largeur ≤ 1,0 m.
- Masse à vide ≤ 20 kg, permettant la mise à l'eau par deux opérateurs sans engin de levage.
- Charge utile minimale ≥ 10 kg.
- Architecture de coque de type catamaran, ou toute autre configuration offrant des performances équivalentes en termes de stabilité et de surface utile.
- Propulsion électrique.
- Pilotage par variation différentielle de la poussée des propulseurs, sans gouvernail.
- Les propulseurs devront pouvoir être remplacés sans modification structurelle de la coque et à l'aide d'un outillage courant.
- Déplacement en marche avant et en marche arrière.
- Vitesse maximale ≥ 4 nœuds.
- Autonomie minimale de 8 heures à 2 nœuds.
- Exploitation en toute sécurité jusqu'à un état de mer 2.

3.3.2 Énergie

- Un pack batteries lithium-ion rechargeables et amovibles principal (un ou plusieurs modules)
- Un pack batteries de rechange équivalent au pack batterie principal et d'un chargeur assurant une recharge complète en moins de 12 heures.

3.3.3 Commande, communications et station de base

- Station de base terrestre équipée d'une antenne de communication et d'une connexion Ethernet ou Wi-Fi vers le PC de mission.
- Portée minimale de la liaison de commande et de télémétrie : 500 m en champ libre.
- Débit utile minimal de 2 Mb/s à 500 m en champ libre, permettant la remontée d'un flux vidéo.
- Modem cellulaire 4G/LTE embarqué permettant le pilotage et la supervision hors portée radio.
- Télécommande (manette) permettant le pilotage manuel du drone.
- Le système devra permettre le fonctionnement en mode manuel et en mode autonome (suivi de plan de mission).

3.3.4 Autopilote, interfaces et ouverture logicielle

- Échanges bidirectionnels avec des logiciels tiers au moyen d'un protocole ouvert (par exemple MAVLink) ou d'une API documentée.
- Autopilote accessible via une interface Ethernet ou série.
- L'interface devra permettre au minimum : l'accès aux données de navigation et à l'état du drone, et la transmission de commandes de navigation à l'autopilote.
- Logiciel de planification de mission fourni (Mission Planner, QGroundControl ou solution équivalente) sur PC (windows ou linux).

- Possibilité d'installer un calculateur embarqué et de l'interfacer avec l'autopilote.

3.3.5 Perception et charge utile

- Récepteur GNSS et centrale inertielle fournissant une estimation du cap.
- Structure permettant l'installation de capteurs externes (caméras, LiDAR, antennes GNSS, sonars).
- Zone étanche pour l'intégration d'un calculateur embarqué et de l'électronique.

3.3.6 Sécurité et signalisation

- Feux de navigation.
- Dispositif de coupure d'urgence de la propulsion, accessible depuis la station de base et physiquement sur le drone.

3.4 Charges utiles acoustiques

Les capteurs acoustiques suivants font partie intégrante de la fourniture. Ils devront être installés, intégrés (support mécanique, alimentation, passage de câble, horodatage et géoréférencement) et opérationnels à la livraison sur le drone correspondant.

3.4.1 USV n° 2 — Sonar à balayage latéral (side-scan)

La non-conformité à l'une de ces exigences sera éliminatoire.

- Sonar à balayage latéral compatible avec l'intégration sur la plateforme.
- Fréquence(s) de travail permettant une portée utile ≥ 50 m par bord en eau peu profonde.
- Enregistrement des données dans un format ouvert ou documenté (par exemple XTF), exploitable par un logiciel tiers.
- Horodatage et géoréférencement des données à partir du GNSS du drone.
- Logiciel d'acquisition fourni.

3.4.2 USV n° 3 — Sondeur multifaisceaux (MBES)

La non-conformité à l'une de ces exigences sera éliminatoire.

- Le sondeur multifaisceaux doit intégrer une centrale inertielle (IMU) pour simplifier son intégration, sa calibration et son utilisation.
- Doit pouvoir être utilisé indépendamment du drone.
- Fréquence ≥ 200 kHz.
- Angle de couverture ≥ 80°.
- Nombre de faisceaux ≥ 16.
- Portée ≥ 100 m.
- Cadence de tir (ping rate) ≥ 16 pings/s.
- Horodatage et géoréférencement des données à partir du GNSS du drone.
- Logiciel d'acquisition fourni.

4 Fourniture n° 2 : Véhicule sous-marin téléopéré (ROV)

4.1 Description

La fourniture n° 2 porte sur l'acquisition d'un véhicule sous-marin téléopéré (ROV) ouvert et modulaire, destiné à l'inspection, à la perception et à la manipulation sous-marines, ainsi qu'au développement d'algorithmes de navigation et de perception sous-marines et de coopération avec les drones de surface.

Le matériel proposé sera d'un niveau de performance au moins équivalent à celui d'un ROV de type *BlueROV2 en configuration Heavy (Blue Robotics)* ou équivalent, tel que défini par les exigences ci-après.

4.2 Composition de la fourniture

- Un ROV prêt à naviguer, en configuration à propulsion vectorielle (minimum 6 propulseurs) offrant un contrôle actif sur 6 degrés de liberté (dont pilonnement, roulis et tangage).
- Un ombilical (tether) de 300 m, enroulé sur un touret ou enrouleur, avec son module d'interface vers un PC.
- Un bras manipulateur (pince) et son dispositif de commande depuis la surface.
- Une caméra principale haute définition sur support orientable (inclinaison).
- Un ensemble d'éclairage sous-marin comprenant au moins quatre projecteurs (spot) orientables pour des inspections en eau turbide.
- Une manette de pilotage.
- Un pack batterie lithium-ion (un ou plusieurs modules) principal
- Un pack batterie de rechange identique au pack batterie principal, et un chargeur permettant la recharge complète d'un pack batterie en moins de 12 heures.

4.3 Exigences techniques minimales

La non-conformité à l'une de ces exigences sera éliminatoire.

4.3.1 Véhicule et performances

- Profondeur d'exploitation ≥ 80 m.
- Configuration à au moins 6 propulseurs vectoriels assurant la tenue de position (station keeping) et le contrôle actif de l'assiette (roulis et tangage).
- Capteur de profondeur et capteur de fuite.
- Caméra principale haute définition (≥ 1080p) sur support orientable, flux vidéo à faible latence disponible en surface.
- Support autorisant l'ajout de capteurs (sonar, DVL, USBL, caméras supplémentaires).

4.3.2 Ombilical et mise en œuvre

- Ombilical de 300 m, à flottabilité proche de la neutralité avec touret facilitant le déploiement et la récupération.

4.3.3 Bras manipulateur (pince) et charge utile

- Pince montée sur le véhicule, commandée depuis la surface (ouverture / fermeture / préhension).

4.3.4 Éclairage et perception

- Éclairage sous-marin à intensité réglable (dimmable), commandé depuis la surface.
- Au moins quatre projecteurs (spot) orientables permettant d'éclairer la zone de travail du bras manipulateur et le champ de la caméra.

4.3.5 Commande, interfaces et ouverture logicielle

- Pilotage par manette (gamepad) depuis la station de surface.
- Système de contrôle reposant sur une pile logicielle ouverte (par exemple Ardupilot ou équivalent) et un protocole ouvert (par exemple MAVLink).
- Logiciel de pilotage et de supervision fourni (QGroundControl ou équivalent).

- Interface permettant au minimum l'accès aux données d'état et de navigation et la transmission de commandes.

4.3.6 Sécurité

- Détection de fuite et alarme associée.

5 Fourniture n° 3 : Drones aériens (UAV) de perception (× 3)

5.1 Description

La fourniture n°3 porte sur l'acquisition de trois drones aériens (UAV) ouverts et programmables, destinés à l'observation aérienne, au développement d'algorithmes de perception, de cybersécurité et de coopération aéro-maritime.

Le matériel proposé sera d'un niveau de performance au moins équivalent à celui d'un drone de type *Parrot ANAFI Ai* ou équivalent, tel que défini par les exigences ci-après. Les trois drones seront livrés avec un dispositif de pilotage immersif (FPV) et une tablette de contrôle de type iPad ou équivalent.

5.2 Composition de la fourniture

- Trois drones aériens prêts à voler, avec leur nacelle stabilisée et leur caméra.
- Pour chaque drone : une radiocommande dédiée avec écran ou support de tablette intégré.
- Un dispositif de pilotage immersif (FPV) — masque ou lunettes — avec retour vidéo à faible latence.
- Une tablette de contrôle servant de station de contrôle au sol (planification de mission, supervision, restitution).
- Pour chaque drone : une batterie principale + au moins une batterie de rechange et le chargeur associé.
- Pour chaque drone : une caisse ou un sac de transport, ainsi qu'un jeu d'hélices de rechange et l'outillage courant.

5.3 Exigences techniques minimales

La non-conformité à l'une de ces exigences sera éliminatoire.

5.3.1 Plateforme et vol

- Drone quadrirotor à décollage et atterrissage verticaux, pliable et transportable par un opérateur.
- Masse maximale au décollage compatible avec l'exploitation en catégorie ouverte.
- Autonomie de vol ≥ 30 min par batterie.
- Résistance au vent jusqu’à 15 nœuds permettant l'exploitation en environnement côtier.
- Fonctions de vol automatique : retour au point de départ (RTH), maintien de position, plans de vol programmés.

5.3.2 Perception et charge utile

- Caméra principale haute résolution (capteur ≥ 48 Mpx) et vidéo ≥ 4K.
- Nacelle stabilisée sur trois axes.
- Capteurs d'aide à l'évitement d'obstacles.

5.3.3 Liaison, pilotage et immersion (FPV)

- Radiocommande permettant le pilotage manuel et le suivi de mission.

- Connectivité cellulaire 4G/LTE embarquée.
- Dispositif de pilotage immersif (FPV) — masque ou lunettes — offrant un retour vidéo à faible latence.
- Tablette de contrôle de type iPad ou équivalent, compatible avec le logiciel de pilotage et de planification de mission.

5.3.4 Ouverture logicielle et SDK

- Interface de programmation (SDK) documentée permettant l'accès aux données de vol, la commande du drone et le développement d'applications embarquées.
- Possibilité d'exécuter des applications embarquées à bord.

6 Clauses communes

6.1 Délai de livraison

Le délai de livraison est laissé à l'initiative du candidat, dans la limite d'un délai maximum de **12 semaines** à compter de la notification du marché.

La livraison devra être effectuée à l'adresse suivante :

Laboratoire Lab-STICC - CDR Christian Huygens
Rue Saint-Maudé
56100 Lorient

6.2 Formation des utilisateurs

Aucune formation n'est demandée pour ce lot.

6.3 Contenu des prix — Garantie

Le prix du marché, hors taxes, inclut tous les frais afférents à la fourniture des équipements, à la formation, au conditionnement, à l'emballage, à la manutention, au transport et aux assurances, à l'installation, aux vérifications sur le lieu de livraison, ainsi qu'une **garantie minimale de 12 mois**.

Ces prix sont établis en considérant que le fournisseur est réputé connaître tous les éléments locaux en relation avec la livraison et l'installation de ce matériel.

6.4 Performance environnementale de la solution

Il est attendu en matière de performance environnementale du matériel les éléments suivants :

- **La durabilité et la réparabilité du matériel**, notamment la facilité de remplacement ou de réparation des principaux composants ainsi que la disponibilité des pièces détachées ;
- **L'impact environnemental lié à la fabrication, au transport et à la maintenance du matériel**, apprécié notamment au regard de l'organisation et de la localisation des sites de production, d'assemblage, de maintenance et de stockage des pièces détachées.

6.5 SAV

Il est attendu en matière de service après-vente les éléments suivants :

- **L'organisation de la maintenance et du service après-vente**, notamment les délais d'approvisionnement des pièces et de remise en état du matériel ;

7 Récapitulatif des exigences techniques

7.1 Fourniture n° 1 — Drones de surface (× 3)

Exigences minimales à remplir (plateforme USV)
Plateforme (chaque drone)
Longueur hors tout ≤ 1,5 m et largeur ≤ 1,0 m
Masse à vide ≤ 20 kg (mise à l'eau par 2 opérateurs)
Charge utile ≥ 10 kg
Coque catamaran ou équivalent
Propulsion électrique
Pilotage par différentiel de poussée, sans gouvernail
Propulseurs remplaçables sans modification structurelle
Déplacement avant / arrière
Vitesse maximale ≥ 4 nœuds
Autonomie ≥ 8 h à 2 nœuds
Exploitation jusqu'à état de mer 2
Énergie, commande et communications
Pack batteries Li-ion rechargeables et amovibles (un ou plusieurs modules) + pack batteries de rechange + chargeur (< 12 h)
Portée liaison commande/télémétrie ≥ 500m en champ libre
Débit utile ≥ 2 Mb/s à 500 m (remontée vidéo)
Modem 4G/LTE embarqué
Télécommande de pilotage manuel + station de base
Modes manuel et autonome (suivi de plan de mission)
Autopilote et ouverture logicielle
Autopilote accessible via protocole ouvert (ex. MAVLink) ou API documentée
Interface de l'autopilote par liaison Ethernet ou série
Accès aux données de navigation, à l'état du drone et transmission des commandes de navigation à l'autopilote
Logiciel de planification de mission fourni
Zone étanche pour l'intégration d'un calculateur et de l'électronique embarqué
Perception et sécurité
Récepteur GNSS + centrale inertielle (estimation de cap)
Platine d'intégration de capteurs externes
Feux de navigation
Coupure d'urgence (station de base + drone)

Exigences minimales à remplir (charges utiles acoustiques)
USV n° 2 — Sonar à balayage latéral
Portée utile ≥ 50 m par bord (eau peu profonde)
Enregistrement en format ouvert / documenté (ex. XTF)
Horodatage et géoréférencement à partir du GNSS du drone
Logiciel d'acquisition fourni
Intégration complète (support, alimentation, câblage) sur l'USV n° 2
USV n° 3 — Sondeur multifaisceaux (MBES)

Exigences minimales à remplir (charges utiles acoustiques)
Centrale inertielle (IMU) intégrée au sondeur
Utilisable indépendamment du drone
Fréquence ≥ 200 kHz
Angle de couverture ≥ 80°
Nombre de faisceaux ≥ 16
Portée ≥ 100 m
Cadence de tir ≥ 16 pings/s
Horodatage et géoréférencement à partir du GNSS du drone
Logiciel d'acquisition fourni

7.2 Fourniture n° 2 — ROV

Exigences minimales à remplir (ROV)
Profondeur d'exploitation ≥ 80 m
Contrôle sur 6 degrés de liberté
≥ 6 propulseurs en configuration vectorielle
Capteur de profondeur
Caméra HD ≥ 1080p sur support orientable, flux faible latence
Support autorisant l'ajout de capteurs (sonar, DVL, USBL, caméras supplémentaires)
Ombilical de 300 m sur touret / enrouleur + module d'interface
Bras manipulateur (pince) commandé depuis la surface
Éclairage 4 projecteurs (spot) à intensité réglable et orientable
Manette de pilotage manuel à connecter sur la station de base
Pack batteries Li-ion rechargeables et amovibles (un ou plusieurs modules) + pack batteries de rechange + chargeur (< 12 h)
Pile logicielle ouverte (ex. Ardupilot) + protocole ouvert (ex. MAVLink)
Logiciel de pilotage / supervision fourni
Interface permettant au minimum l'accès aux données d'état et de navigation et la transmission de commandes
Détection de fuite

7.3 Fourniture n° 3 — UAV (× 3)

Exigences minimales à remplir (UAV)
Quadrirotor pliable, transportable par un opérateur
Masse compatible avec la catégorie ouverte
Autonomie de vol ≥ 30 min par batterie
Exploitation possible jusqu'à 15 nœuds de vent au moins
Fonctions RTH, maintien de position, plans de vol
Caméra ≥ 48 Mpx, vidéo ≥ 4K
Nacelle stabilisée ≥ 3 axes
Capteurs d'aide à l'évitement d'obstacles
Radiocommande dédiée (pilotage + suivi de mission)
Connectivité 4G/LTE embarquée
Dispositif de pilotage immersif (FPV) à faible latence
Tablette de contrôle (iPad ou équivalent) fournie
SDK documenté (accès données de vol + commande)
Exécution d'applications embarquées à bord

Exigences minimales à remplir (UAV)
Batterie principale + 1 batterie de rechange par drone