



MARCHÉ PUBLIC DE FOURNITURES

Fourniture, livraison et mise en service d'un drone nautique de surface aquatique pour la réalisation de mesures hydrographiques

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES (CCTP)

1 Contexte

Le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) est un établissement public tourné vers l'appui aux politiques publiques, placé sous la double tutelle du ministère de la transition écologique et du ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales.

Les métiers du Cerema s'organisent autour de 6 grands domaines d'activité complémentaires visant à accompagner les acteurs territoriaux dans la réalisation de leurs projets : Ingénierie des territoires / Bâtiment / Mobilités / Infrastructures de transport / Environnement et risques / Mer et littoral.

L'équipe Surveillance des Ouvrages et des Milieux (SOM) du groupe Risques Inondations – Surveillance des Ouvrages et des Milieux de la Direction Territoriale Normandie-Centre – Agence de Blois intervient prioritairement dans les secteurs d'activités "Environnement et risques" et « Infrastructures de transport ».

L'équipe a pour vocation l'étude et la description des milieux aquatiques principalement en domaine fluvial mais également lacustre et côtier. Elle réalise majoritairement des analyses de la morphodynamique fluviale dans le cadre d'études portant sur le risque d'érosion des berges, des affouillements et de la stabilité des ouvrages ainsi que des travaux d'entretien et de restauration des rivières. Elle participe également au développement des connaissances sur les processus d'affouillement, la quantification du transport solide en rivière et la dynamique hydro-sédimentaire en zone estuarienne.

Pour mener ses études, l'équipe déploie une chaîne d'acquisition hydrographique composée de sondeurs bathymétriques monofaisceau et multifaisceaux pour réaliser la cartographie des fonds, la caractérisation d'obstacles et la caractérisation d'infrastructures immergées (piles de pont, digues), d'un sonar à balayage latéral pour la détection d'obstacles et la visualisation de l'état d'infrastructures immergées, de courantomètres à effet Doppler (*aDcp*) pour réaliser des mesures de jaugeage et de courantométrie.

L'équipe SOM souhaite ainsi s'équiper d'un drone aquatique flottant (ou *USV* Uncrewed Surface Vessel dans la suite du document) permettant la réalisation des mesures hydrographiques (bathymétrie mono- et multifaisceaux, courantométrie *aDcp*, imagerie par sonar à balayage latéral) de manière automatisée ou manuelle dans les environnements qu'elle étudie.

2 Objet du marché

Le présent marché porte sur l'achat de cet *USV* avec l'intégration du matériel en possession de l'équipe SOM pour déployer l'*USV* dans quatre configurations de mesure :

- bathymétrie mono-faisceau bifréquence ;
- bathymétrie multifaisceaux ;
- courantométrie et jaugeage *aDcp* ;
- imagerie acoustique au sonar latéral.

Ce marché est composé :

- d'une offre de base ;
- d'une variante ;

- d'une tranche optionnelle.

L'offre de base comprend la fourniture d'un USV avec des solutions d'intégration, pour les 4 configurations de mesure demandées, du matériel de mesure déjà en possession de l'équipe SOM (cf. ANNEXE 1 – tableaux des équipements SOM). Les solutions proposées devront comprendre l'ensemble des éléments nécessaires au fonctionnement de la chaîne d'acquisition dans les configurations demandées à réception du marché sans surcoût (câbles/connectiques, adaptateurs, abonnements, software). Le soumissionnaire se chargera de la configuration de tous les paramètres. Le soumissionnaire présentera le schéma de câblage et les paramètres de connexion. Il fournira un schéma de montage détaillée comptant tous les offsets. Ces solutions constituent l'offre de base.

La variante permet au soumissionnaire de proposer l'achat de matériels de mesure équivalents à ceux déjà en possession de l'équipe (cf. ANNEXE 1 – tableaux des équipements SOM) si ces derniers s'avèrent incompatibles pour une intégration sur l'USV. Le matériel proposé devra être compatible avec le logiciel Hypack/Hysweep, le soumissionnaire se chargera de la configuration de tous les paramètres. Le soumissionnaire présentera le schéma de câblage et les paramètres de connexion. Il fournira un schéma de montage détaillée comptant tous les offsets. Le soumissionnaire précisera les caractéristiques (précision, incertitude) et l'interfaçage avec les autres instruments.

L'option concerne une proposition pour l'intégration sur l'USV d'un *LIDAR* terrestre. Le soumissionnaire proposera un/des Lidar terrestres pouvant être installés sur l'USV et se chargera le cas échéant de son intégration et de la configuration de tous les paramètres. Le soumissionnaire présentera le schéma de câblage et les paramètres de connexion. Il fournira un schéma de montage détaillée comptant tous les offsets. Le soumissionnaire précisera les caractéristiques (précision, incertitude) et l'interfaçage avec les autres instruments.

Chaque candidat devra répondre obligatoirement aux indices de flexibilité IF0 sous peine de voir son offre déclarée irrecevable.

3 Exigences techniques

Les exigences relatives à l'USV, aux informations souhaitées et aux prestations fournies faisant l'objet de la procédure sont accompagnées d'un indice de flexibilité (IF) suivant une classe définie de la manière suivante :

Indice de flexibilité	Définition de l'indice de flexibilité
IF = 0	flexibilité nulle, niveau minimum requis, fonctionnalités/informations/prestation de base de la solution
IF = 1	flexibilité faible, niveau souhaité
IF = 2	flexibilité moyenne, niveau optimum

La règle suivante s'appliquera : un indice de flexibilité IF = 0 non respecté rendra l'offre irrecevable.

4 Caractéristiques de l'USV

4.1 - Modalité de déploiement

Le drone devra **obligatoirement être transportable dans le véhicule 4x4 Ford Ranger de l'équipe. Le respect des dimensions permettant le transport dans le véhicule de l'équipe constitue un indice de flexibilité IF = 0.** Le titulaire est libre de proposer le transport avec le drone monté, partiellement démonté ou complètement démonté et rangé en caisse de transport. Les solutions minimisant le montage/démontage de l'USV seront favorisées. Suivant la forme du drone, les dimensions maximales peuvent être de 170 cm de long, 90 cm de large et 45 cm de hauteur. Pour cette solution, le soumissionnaire proposera un système amovible pour stabiliser le drone sur le plateau de transport (figure 1). Les dimensions maximales pour un transport en caisse sont de 167 cm de long, 85 cm de large et 41 cm de hauteur. Le soumissionnaire précisera l'ensemble des dimensions du drone et détaillera les capacités d'emport du drone (dimensions, poids, emplacements étanches ou exposés).

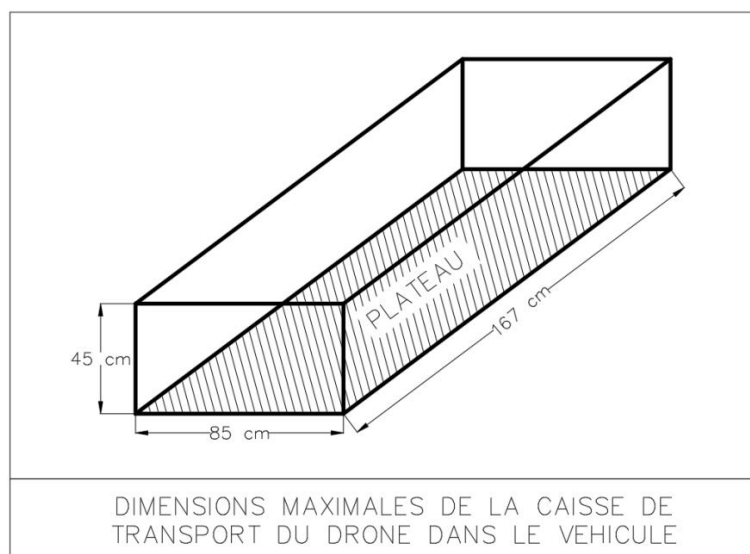


Figure 1 : schéma des dimensions du plateau de transport du drone dans le véhicule 4x4.

Au regard de l'accessibilité des zones d'intervention de l'équipe, le drone devra pouvoir être mis à l'eau par 2 personnes maximum à partir d'un quai, d'une cale de mise à l'eau, d'une berge naturelle. Ainsi son poids en configuration de mesures, pour toutes les configurations (bathymétrie mono et multi-faisceaux, *aDcp*, sonar latéral) ne devra pas dépasser 50 kg au regard du code du travail prévoyant une charge maximale de 55 kg et la norme X35-109 préconisant quant à elle de ne pas dépasser 25 kg.

Le respect du poids maximal en configuration de mesures de 50 kg constitue un indice de flexibilité IF = 0.

Le soumissionnaire précisera la charge utile maximale de l'USV, ces informations constituent un indice de flexibilité IF = 1.

Le soumissionnaire pourra proposer des systèmes de mise à l'eau adaptés (exemple : chariot dédié).

4.2 - Capacité de navigation et de télé pilotage

Une **portée de 500 m sera un minimum requis** pour le contrôle à distance (télécommande) de l'USV. Le soumissionnaire précisera le type de communication entre l'USV et la télécommande.

La présence du système de communication UHF constitue un indice de flexibilité IF = 0.

Pour des raisons de comparaison, le soumissionnaire présentera l'autonomie, sans nécessité de changement/recharge des batterie de l'USV et de la télécommande, dans les conditions suivantes :

- absence de vent ;
- vitesse de courant de 2,5 m/s ;
- charge utile maximale.

NB : l'estimation de l'autonomie restant difficile, le soumissionnaire pourra proposer un indice de confiance dans la détermination de cette autonomie.

L'autonomie de l'USV constitue un indice de flexibilité IF = 1.

Le soumissionnaire fournira le tirant d'eau de l'USV avec sa charge utile maximale (ne comprend pas les sondeurs).

Le système (USV + télécommande) **doit disposer d'un système de changement des batteries « à chaud »**. Si le système de télécommande est un système à recharge (sans batterie à changer), il devra pouvoir être utilisé lorsqu'il est branché pour poursuivre le levé sans attendre le rechargement complet.

Le système de changement à chaud des batteries constituent un indice de flexibilité IF = 0.

Le soumissionnaire précisera le type de propulsion de l'USV ainsi que le coût de remplacement des éléments moteurs/propulsion en cas de panne, casse/détérioration, vieillissement.

Le soumissionnaire précisera les caractéristiques techniques suivantes :

- vitesse de navigation maximale avec une charge utile maximale ;
- vitesse de courant maximale d'utilisation du drone en configuration multifaisceaux (trajectoire de navigation parallèle aux berges en remontant le courant) et en configuration profils en travers (bathymétrie monofaisceaux ou *aDcp*) ;
- vitesse maximale de tenue d'une position stationnaire en configuration *aDcp* ;
- vitesse de vague et de vent supportées par l'USV.

Le détail des caractéristiques de vitesse de navigation constitue un indice de flexibilité IF = 1.

Un système permettant de **suivre un plan d'échantillonnage/de mesures définis en amont est indispensable et un mode stationnaire. Le système de plan d'échantillonnage comprenant un mode stationnaire constitue un indice de flexibilité IF = 0.**

Il est souhaité que le système permette de découpler l'écran de contrôle permettant le pilotage de l'USV sur un écran et le contrôle de l'acquisition sur un second écran. Ce système constitue un indice de flexibilité IF = 1.

4.3- Positionnement

L'USV devra **obligatoirement être équipé d'un système permettant d'assurer une mesure de cap**, soit par un système intégré directement à l'USV soit par l'utilisation des

systèmes de positionnement en possession de l'équipe SOM (antennes GNSS ZEPHYR 3 (Trimble) + GNSS R750).

La proposition d'un système de mesure de cap constitue un indice de flexibilité IF = 0.

L'USV devra **impérativement être équipé d'un système de filetage 5/8** permettant de fixer un prisme *Multitrack* 360 de Trimble (**IF = 0**).

L'équipe dispose d'un abonnement *Full* GNSS RTK Orphéon.

4.4 - Sécurité et entretien

L'USV disposera d'un système de sécurité en cas de batterie faible ou de perte de signal (exemples : retour au point de départ, mode stationnaire). Il devra également disposer d'une procédure de sécurité, en cas de perte de la liaison entre le télépilote et le drone. Le soumissionnaire détaillera cette dernière. Ces fonctionnalités constituent un indice de flexibilité IF = 1.

Le soumissionnaire proposera une solution de feux de navigation pour l'USV pour parer aux évolutions de la réglementation. *Cette solution constitue un indice de flexibilité IF = 2.*

L'USV disposera d'un système vidéo avec transmission directe au télépilote dont la notation dépendra de l'angle d'ouverture de la caméra avec une note maximale pour une visibilité à 360°, une note minimale pour une visibilité inférieure à 180° et une note intermédiaire pour une visibilité comprise entre 180° (inclus) et 360°. *Ce système constitue un indice de flexibilité IF = 2.*

Les offres proposant un système de détection/évitement des obstacles et/ou de souplesse des antennes pour éviter la casse seront favorisées selon *un indice de flexibilité IF = 2.*

Le soumissionnaire précisera les nécessités d'entretien du matériel ainsi que la durabilité des matériaux constitutifs de l'USV. Ces deux informations constituent chacune un indice de flexibilité IF = 1.

Le soumissionnaire fournira une liste des éléments pouvant être remplacés sur le drone (par ex : moteur, antenne, flotteur, coque, joints d'étanchéité, sangles, hélices, etc...) en cas de panne, de détérioration ou de vieillissement et le cas échéant un estimatif du coût de remplacement de ces éléments ainsi que la durée de disponibilité de ces éléments. *Ces informations constituent un indice de flexibilité IF = 2.*

5 Intégration des instruments

Pour chaque configuration, le soumissionnaire indiquera la hauteur minimale de dépassement de l'appareil de mesure sous le drone. Cette information constitue un indice de flexibilité IF = 1.

L'équipe SOM possède une licence Hypack/Hysweep pour les mesures bathymétriques. L'acquisition des données bathymétriques et au sonar latéral doivent pouvoir se faire avec ce logiciel. **La compatibilité des systèmes d'acquisition bathymétriques et sonar latéral avec le logiciel Hypack/Hysweep constitue un indice de flexibilité IF = 0.**

Le soumissionnaire présentera le schéma de câblage et les paramètres de connexion. Il fournira un schéma de montage détaillé comptant tous les offsets.

5.1 - Configuration du matériel actuel de l'équipe SOM

L'équipe SOM souhaite pouvoir utiliser au maximum les instruments dont elle dispose déjà dans le nouveau porteur que constituera le drone et **transférer les configurations sur l'USV**. Cette partie présente les caractéristiques techniques de la chaîne d'acquisition de l'équipe SOM pour les 4 configurations attendues. Une liste du matériel de l'équipe est disponible en Annexe 1. En plus du CCTP, un dossier contenant l'ensemble des fiches techniques et schémas d'intégration du matériel à disposition de l'équipe est fourni pour permettre les propositions d'intégration.

Pour les sociétés ne présentant que la variante, le descriptif technique des accessoires à fournir est également en annexe. Elles devront également apporter la preuve de l'intégration du matériel proposé sur le drone proposé.

Les spécificités techniques de la variante sont détaillées à l'article 8 du présent CCTP.

Alimentation électrique

- Les instruments sont alimentés via une **batterie embarquée 12V**, avec distribution locale via convertisseur.
- L'autonomie visée est de **6 heures d'acquisition continue** avec tous les instruments en fonctionnement.

5.1.1) Architecture de connexion des instruments mesure

Configuration aDcp

L'équipe SOM réalise des mesures de courantométrie à l'aide d'*aDcp* Teledyne RiverRay ou RiverPro pilotés par le logiciel WinRiver II, et communiquant avec l'ordinateur de terrain via une connexion Bluetooth assurée par une clé Parani.

En configuration à couple d'un bateau (dans un flotteur trimaran RiverBoat), une batterie 12v 7,2 ah SLA alimente l'instrument et le système de transmission de données.

La proposition d'intégration du matériel SOM en configuration de mesure aDcp constitue un indice de flexibilité IF = 1. La note maximale sera attribuée aux offres présentant l'ensemble des éléments attestant de la compatibilité et de la faisabilité technique de l'intégration du matériel SOM avec notamment un schéma d'intégration détaillée et des plans de montage.

Configuration sonar latéral

L'imagerie acoustique est assurée par un sonar latéral à balayage StarFish 990F connecté via un port USB. L'acquisition des images se fait via le logiciel Hypack.

La proposition d'intégration du matériel SOM en configuration de mesure sonar latéral constitue un indice de flexibilité IF = 1. La note maximale sera attribuée aux offres présentant l'ensemble des éléments attestant de la compatibilité et de la faisabilité technique de l'intégration du matériel SOM avec notamment un schéma d'intégration détaillée et des plans de montage.

Configuration monofaisceau

L'équipe SOM utilise un système de bathymétrie monofaisceau basé sur l'**échosondeur ECHOTRAC ODOM E20** (Teledyne Marine), couplé à un transducteur monté sur mât vertical.

- **Le transducteur ODOM OTS200-33 est directement relié à l'ECHOTRAC ODOM E20**, installé à bord de l'embarcation.

- L'E20 est **alimenté sur secteur**
- Les données sont transmises au **PC d'acquisition via un câble Ethernet**, assurant la compatibilité avec les logiciels de traitement bathymétrique (Hypack).

L'équipe possède également un **transducteur AIRMAR M195 Dual Frequency**.

La proposition d'intégration du matériel SOM en configuration de mesure mono-faisceau constitue un indice de flexibilité IF = 1. La note maximale sera attribuée aux offres présentant l'ensemble des éléments attestant de la compatibilité et de la faisabilité technique de l'intégration du matériel SOM avec notamment un schéma d'intégration détaillée et des plans de montage. De plus, l'offre devra proposer une solution de mesure de l'évolution de la célérité dans la colonne d'eau à partir du l'USV.

Configuration multifaisceaux

Les instruments sont organisés selon une architecture centralisée, répartie entre deux boîtiers principaux :

- **Sonar Interface Module (SIM) :**
 - **connecte directement :**
 - ☐ le sondeur multifaisceaux **R2Sonic 2020** ;
 - ☐ le célérimètre de coque **Valeport miniSVS** ;
 - ☐ le **modem de transmission des corrections GNSS** ;
 - le SIM est **connecté à l'ordinateur d'acquisition via un câble Ethernet**, assurant la transmission centralisée des données bathymétriques.
- **SplitBox (SBG Systems) :**
 - **connecte directement :**
 - ☐ la centrale inertielle **SBG Ekinox-U** ;
 - ☐ les deux antennes **Trimble Zephyr 3 Rover** (une pour la position, l'autre pour le cap) ;
 - la SplitBox est **reliée au SIM**, ce qui permet l'intégration des données d'attitude, de cap et de position dans le flux global de données vers le PC.

Le profil de célérité est réalisé avec une sonde CTD **Castaway**.

Cette architecture permet une **transmission unique et cohérente des données via Ethernet** vers le logiciel d'acquisition (Hypack/Hysweep), tout en garantissant la synchronisation et la compatibilité entre capteurs.

La proposition d'intégration du matériel SOM en configuration de mesure multifaisceaux constitue un indice de flexibilité IF = 1. La note maximale sera attribuée aux offres présentant l'ensemble des éléments attestant de la compatibilité et de la faisabilité technique de l'intégration du matériel SOM avec notamment un schéma d'intégration détaillée et des plans de montage. De plus, l'offre devra proposer une solution de mesure de l'évolution de la célérité dans la colonne d'eau à partir du l'USV.

5.1.2) Systèmes de positionnement

Deux modes de positionnement sont possibles selon les contraintes de terrain :

1. **Mode GNSS temps réel :**

- sur perche : utilisation du **système GNSS Trimble R12i**, avec correction en temps réel via le réseau **Orphéon (RTK/NTRIP)** ;
- sur flotteur *aDcp* : récepteur GNSS Trimble R750 et antenne Zéphyr, avec correction en temps réel via le réseau Orphéon (RTK/NTRIP) ;
- la position est transmise en **NMEA vers Hypack via port série ou USB**.

2. Mode optique par station totale :

- installation d'une **station totale robotisée** sur la berge, visant un **prisme installé sur l'embarcation** ;

les données de position sont transmises par le carnet de terrain (en liaison radio avec la station) vers le PC **via un port série ou USB**.

Une solution avec le R750 est à privilégier dans le drone pour minimiser les risques sur le système GNSS R12i.

Ces deux options de positionnement sont interchangeables selon les conditions de visibilité, de couverture GNSS ou d'environnement topographique pour les levés bathymétriques monofaisceau et sonar latéral.

5.1.3) Fixation et positionnement

Les instruments sont fixés sur des **mâts verticaux latéraux** en aluminium, réglables en hauteur selon le type de mesure.

Le positionnement GNSS ou optique est assuré par un **mât rigide** centralisé avec ligne de visée dégagée.

Les câbles sont **étanches (IP67 à IP68)** et protégés mécaniquement le long de la structure.

6 Réception du matériel, de la documentation et formation

La réception du matériel se fera à l'adresse suivante :

Cerema – Agence de Blois
11 rue Laplace – CS 32912
41029 BLOIS Cedex

À la suite de la livraison du matériel, et dans un délai maximum de deux mois à partir de la réception, une démonstration *in-situ* et une formation à l'utilisation et à l'entretien du matériel sera dispensée par le soumissionnaire et dont le coût sera inclus dans le présent marché. Elle s'adressera aux chercheurs, ingénieurs et techniciens qui utiliseront le drone (max. 6 personnes) et se déroulera dans les locaux du Cerema à Blois.

La démonstration devra permettre de vérifier la fonctionnalité des 4 configurations attendues avec l'intégration du matériel déjà en possession de l'équipe SOM pour l'offre de base. S'agissant de la variante, la démonstration devra permettre de vérifier le fonctionnement global du drone avec les nouveaux accessoires proposés.

Le Cerema de Blois pourra mettre à disposition une salle afin d'accueillir les participants à la formation. L'équipe SOM proposera un site pour les démonstrations correspondant aux conditions identifiées dans la partie « contexte ».

Le soumissionnaire fournira, à la livraison, la documentation technique complète du matériel et de ses accessoires, rédigée en langue française et comprenant les schémas d'intégration du matériel, avec tous les offsets et paramètres de connexion.

Cette documentation devra obligatoirement détailler l'intégration des configurations retenues :

- bathymétrie monofaisceau ;
- courantométrie *aDcp* ;
- bathymétrie multifaisceaux ;
- imagerie au sonar latéral.

Des plans du drone détaillant les dimensions extérieures et de chaque compartiment devront également être transmis.

7 Assistance – dépannage

Le soumissionnaire devra préciser les conditions d'assistance et de dépannage durant la période de garantie mais également au-delà de cette période.

La garantie devra couvrir le remplacement des pièces défectueuses et le soumissionnaire précisera la durée de mise à disposition des différentes pièces acquises dans le cadre du marché.

8 Variante

Dans le cas d'une impossibilité de répondre à l'offre de base en raison de l'impossibilité technique d'intégration d'un ou plusieurs matériels en possession de l'équipe SOM, le soumissionnaire peut proposer une variante comprenant l'achat de matériel d'acquisition bathymétrique, courantométrique, imagerie acoustique à sonar latéral et/ou système de positionnement.

Les indices de flexibilité de l'offre de base s'appliquent à la variante.

La variante doit présenter des solutions pour les configurations de mesure demandées.






Dans le cas de proposition d'acquisition de matériel bathymétrique (sondeur, transducteur), **le soumissionnaire devra justifier des caractéristiques techniques** permettant le respect de la classe 1b de la norme OHI S-44 et de la classe de produit « évolution des fonds 1 » recommandée par l'AFHy.

9 Tranche optionnelle - Acquisition et intégration d'un Lidar terrestre







Le soumissionnaire proposera en option l'acquisition et l'intégration sur l'USV proposé d'un LIDAR terrestre dont les caractéristiques de précision et d'incertitudes seront présentées ainsi que l'interfaçage avec les autres instruments de mesure ainsi que la possibilité de mesures simultanées avec les autres configurations.

ANNEXE 1 – tableaux des équipements SOM


Système de positionnement hydrographique et topographique de l'équipe SOM

Matériel	Mise en œuvre	Matériel associé	Photo
Trimble R12i	-Topographie -Bathymétrie -Courantométrie	-Carnet de terrain Trimble TSC5	
Carte Trimble BD982	-Bathymétrie multifaisceaux	--SplitBox SBG Systems 2 antennes Zephyr model3	
Trimble R750	-Bathymétrie -Courantométrie	-Carnet de terrain Trimble TSC5	
Station totale Trimble S5	-Topographie -Bathymétrie -Imagerie acoustique	-Carnet de terrain Trimble TSC7	
Centrale inertielle SBG Ekinox-U	-Bathymétrie multifaisceaux	-SplitBox SBG Systems -Sondeur R2Sonic Sonic2020 -Célérimètre Valport mini SVS	

Systèmes d'acquisition hydrographique de l'équipe SOM

Matériel	Logiciel/matériel associé	Photo
Odom Echotrac E20	-Logiciel de navigation et d'acquisition Hypack -Positionnement optique ou GNSS	
Transducteur AIR-MAR_M195	- Odom Echotrack E20	
Transducteur ODOM-OTS200-33		
R2Sonic 2020	-Logiciel de navigation et d'acquisition Hypack -Positionnement GNSS -Centrale inertielle (SBG Ekinox) -Célérimètre (Mini SVS)	
Sonar latéral Tritech StarFish	-Logiciel de navigation et d'acquisition Hypack -Positionnement optique ou GNSS	
Teledyne RiverRay ADCP	-Logiciel d'acquisition WinRiver II -Positionnement GNSS	

Cahier des clauses techniques particulières
Drone aquatique flottant – CEREMA DTer NC/Agence de Blois

Teledyne RiverPro ADCP		
CTD SONTEK Cas- tAway	N/A	