

**Acquisition de Métrologie Hyperfréquence, Spectroscopie
Portable et Robot Quadrupède pour l'IRISA (site de
Rennes) et l'IETR (sites de Rennes et de l'ENSSAT de
Lannion)**

**Projets CPER CyMoCoD Rennes Phase 3 & 5 – Lannion
Phase 3**

Cahier des Clauses Techniques Particulières

VERSION en date du 23/02/2026

-

Affaire N°2026003AOF

Table des matières

1	Contexte de l'opération	4
1.1	Présentation générale du projet CPER CyMoCoD.....	4
1.2	Plates-formes technologiques.....	5
2	Conditions communes à chacun des lots.....	7
2.1	Démonstration des équipements.....	7
2.2	Recette des équipements.....	7
2.3	Évolutivité de l'équipement objet de l'appel d'offres.....	7
2.4	Service après-vente, maintenance et calibrage.....	7
2.5	Livraison et installation du matériel.....	8
2.6	Démonstration des équipements.....	8
2.7	Transport et emballage.....	9
3	Lot n°1 - Chambres anéchoïques faradisées.....	10
3.1	Contexte.....	10
3.2	Présentation générale.....	10
3.3	Description et spécifications techniques du matériel.....	10
3.3.1	Chambre [10-1000]MHz.....	10
3.3.2	Chambre [1-40]GHz.....	12
3.4	Livraison et installation du matériel.....	13
4	Lot n°2 - Analyseur de réseaux vectoriel PXI.....	14
4.1	Contexte et objectif scientifique.....	14
4.2	Description et spécifications techniques du matériel.....	14
4.3	Livraison et installation du matériel.....	15
5	Lot n°3 - Analyseur de réseaux vectoriel 67GHz.....	16
5.1	Contexte.....	16
5.2	Contexte et objectif scientifique.....	16
5.3	Description et spécifications techniques du matériel.....	16
5.4	Livraison et installation du matériel.....	18
6	Lot n°4 - Plateforme PXI TX/RX RF multicanal cohérente pour contrôle d'ondes.....	19
6.1	Contexte et objectif scientifique.....	19
6.2	Description de l'équipement.....	19
6.3	Normes et Conformité.....	20
	Tout le matériel fourni devra être conforme aux normes industrielles en vigueur, garantissant la qualité, la sécurité et la fiabilité des équipements.....	20
6.4	Formation.....	20
6.5	Garantie & Maintenance.....	20
6.6	Exigences Techniques Supplémentaires.....	20
6.7	Livraison et installation du matériel.....	21
7	Lot n°5 - Spectroradiomètre portable UV-VIS-NIR-SWIR.....	21

7.1	Contexte de l'opération.....	21
7.2	Contexte et objectifs scientifiques.....	21
7.3	Équipement.....	21
7.4	Description et spécifications techniques du matériel.....	22
7.4.1	Spécifications techniques imposées.....	22
7.4.2	Spécifications techniques souhaitées.....	22
7.4.3	Prestations supplémentaires éventuelles.....	22
7.5	Recette des équipements.....	23
7.6	Évolutivité.....	23
7.7	Garantie & Maintenance.....	23
7.8	Livraison et installation du matériel.....	23
8	Lot n°6 - Robot quadripède.....	24
8.1	Contexte de l'achat.....	24
8.2	Fonctionnalités attendues.....	25
8.3	Contraintes techniques.....	27
8.4	Documentation.....	27
8.5	Maintenance et support.....	27
8.6	Recette des équipements.....	27
8.7	Livraison et installation du matériel.....	28

1 Contexte de l'opération

1.1 Présentation générale du projet CPER CyMoCoD

Cette phase d'investissement s'inscrit dans le cadre de la réalisation du projet CPER 2021-2027 CyMoCoD (Cyber-systèmes et Cyber-sécurité, Mobilités, Connectivités, Données) coordonné par l'Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes – IETR, UMR CNRS 6164, et bénéficie d'un cofinancement l'Union Européenne (dispositif FEDER) et de l'Etat.

L'ambition affirmée du métaprojet CyMoCoD est de contribuer à la Recherche – Formation – Innovation (RFI) dans le domaine des sciences et technologies pour le numérique, en adressant les enjeux conceptuels, théoriques, méthodologiques, technologiques et métrologiques (c.à.d. impliquant des travaux de conception, modélisation, démonstrations de preuves de concepts, et caractérisations expérimentales), à la croisée des sciences, technologies, usages et besoins sociétaux pour une société numérique souveraine, sûre, frugale et durable. CYMOCOD repose sur 3 piliers : (1) Transformation numérique de la société, et transitions sociales, (2) Transitions environnementales et énergétiques, (3) Transition en santé.

L'ambition du métaprojet CyMoCoD est de :

- Soutenir l'excellence des activités de recherche sur le périmètre UniR en Sciences et Technologies pour le numérique, pour contribuer à une société numérique souveraine, sûre, durable et frugale, en cohérence (1) avec les stratégies européennes, nationales et régionales, et (2) avec les stratégies de site (2 Labex, 3 EUR).
- Renforcer les infrastructures de recherche et des plateformes scientifiques dans une démarche inclusive Recherche – Formation – Innovation (RFI) inter-unités et en complémentarité avec l'écosystème numérique

CyMoCoD repose sur 3 piliers : (1) Transformation numérique de la société, et transitions sociales, (2) Transitions environnementales et énergétiques, (3) Transition en santé.

Il est organisé en 3 programmes thématiques disciplinaires et interdisciplinaires regroupant 49 sous-projets scientifiques :

- Programme RFI-1 : Cyber-systèmes, Cyber-sécurité, Confiance numérique, et Sécurité des systèmes physiques. Ce programme inclut le Centre de Cyber-sécurité Rennes-Bretagne SMIB « Sécurité Made In Breizh ».
- o Programme RFI-2 : Société communicante et territoires connectés. Il comporte deux axes principaux : Axe 1 - Infrastructures, mobilités, et connectivité ; Axe 2 - Données, Images, et Intelligence Artificielle (IA).
- Programme RFI-3 : Technologies numériques pour l'industrie du futur, la santé, l'environnement, les sciences humaines et sociales, et les pédagogies innovantes.

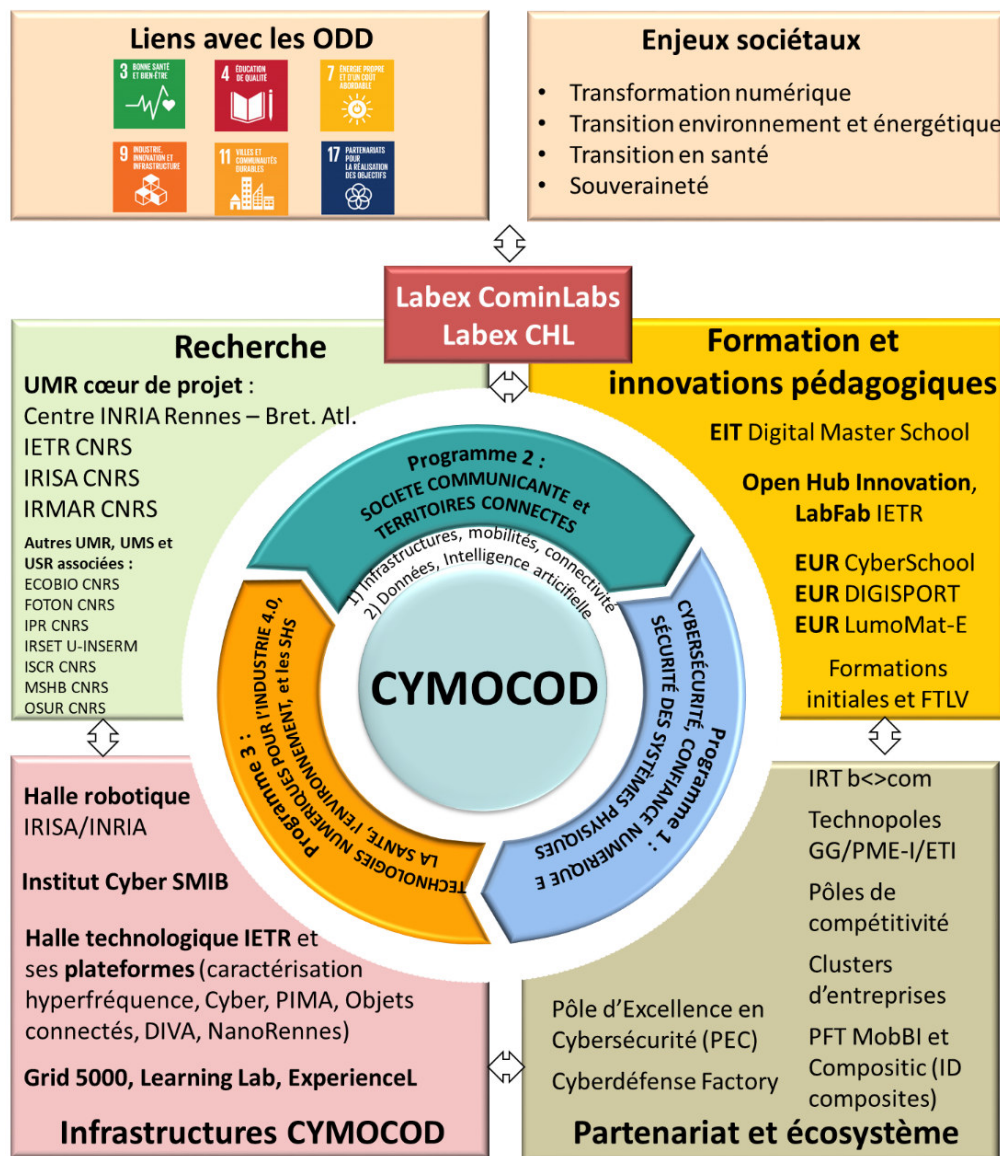
La réalisation des 3 programmes thématiques de CyMoCoD (donc de ses 49 sous-projets scientifiques) s'appuie sur 3 types d'infrastructures complémentaires et différentiantes, par essence même ouvertes et mutualisées :

- 17 plateformes de recherche et/ou de formation innovante. Cette offre plateformes tient compte (i) des stratégies européennes, nationales et régionales (voir plus loin), (ii) des spécificités territoriales infra- et inter-régionales, (iii) de la cohérence des sites, (iv) des politiques de site et de leur spécialisation, (v) et de la différenciation et complémentarité des investissements, tout en garantissant un impact majeur en termes de création de connaissances, visibilité, attractivité, et innovation, sur les trois piliers RFI. Ainsi, les investissements prévus en support aux 3 programmes RFI reposent sur 3 priorités : (1) Consolidation de 12 plateformes recherche déjà existantes, (2) Mise en place de 3 nouvelles plateformes recherche, (3) Mise en place de 2 nouvelles plateformes pédagogiques ou mixtes.
- Le Centre de Cyber-sécurité Rennes-Bretagne SMIB (Sécurité Made In Breizh). Il ambitionne d'accentuer fortement la fertilisation croisée entre formation, recherche et innovation en regroupant, en un même lieu, un ensemble important d'enseignant-chercheurs et chercheurs, des acteurs du monde économique (startups ou entreprises bien établies : PME, ETI, grands

groupes), ainsi que des étudiants, l'EUR CyberSchool.

facilitant ainsi le déploiement de

- Deux halles technologiques : 1) Halle IETR phase 2 (halle dédiée aux technologies matérielles pour la société numérique, tel que définie dès 2012). 2) Halle IRISA/INRIA (halle robotique modulaire). Ces deux halles hébergeront la plupart des plateformes précitées.



1.2 Plates-formes technologiques

Les équipements objets de cet appel d'offres seront intégrés au sein des plateformes suivantes :

M²ARS

M²ARS est un Outil scientifique permettant les caractérisations et prototypes indispensables aux activités de recherche de développement ou d'utilisation de systèmes rayonnants de l'IETR, M2ARS se positionne comme plateforme d'envergure internationale, mettant à disposition de ses partenaires institutionnels ou privés un ensemble unique de plateaux techniques et compétences permettant : la caractérisation en environnement contrôlé du rayonnement systèmes antennaires de quelques 100 MHz à 500 GHz ; L'imagerie en environnement contrôlé ou réel de cibles et milieux naturels, pour des buts de quantification ou de qualification; Le développement de systèmes de mesures pour l'étude du

rayonnement électromagnétique ou de ses effets en environnement contrôlé ou réaliste ou naturel ; La réalisation de systèmes antennaires et systèmes de mesures.

OpenRob

Le projet OpenRob s'appuie sur la plateforme expérimentale de robotique ROBSTAR. Cette plateforme regroupe les équipements expérimentaux de robotique de l'UMR IRISA et du Centre Inria de l'Université de Rennes. Elle est constituée d'un robot portique disposant d'un grand volume de travail, de plusieurs robots manipulateurs à base fixe (2 bras Panda Franka Emika à 7 degrés de liberté, 2 bras Viper Adept et 1 bras UR5 Universal Robots tous les trois à 6 degrés de liberté), de plusieurs préhenseurs et mains robotisées à 2 ou 3 doigts des sociétés QbRobotics et SoftHand Robotics qu'il est possible de monter sur les robots manipulateurs, de robots mobiles au sol (5 fauteuils roulants semi-autonomes des sociétés Permobil, Sunrise et YouQ, d'un robot à roues Pioneer P3DX et tout récemment d'une base mobile holonome TRIAGo de chez PAL Robotics équipée d'un torse motorisé sur lequel sont attachés 3 bras manipulateurs à 7 degrés de liberté que l'on peut équiper de mains robotisées à 4 doigts), d'une vingtaine de robots volants de plusieurs tailles (drones quadrirotors ou hexarotors), de joysticks à retour d'effort et de différents dispositifs haptiques permettant à un humain d'interagir avec les systèmes robotiques.

ROBSTAR permet de tester et de valider les activités de recherche menée au sein du laboratoire autour de la commande partagée, la commande référencée capteurs, l'interaction homme-robot et l'haptique pour des applications de télé-manipulation, de robotique industrielle et de coopération multi-robots pour la navigation et l'exploration semi-autonome. La plateforme est ouverte et sollicitée régulièrement par des chercheurs d'autres laboratoires.

ROBSTAR est l'une des plateformes françaises de robotique identifiée par le réseau ROBOTEX 2.0. Elle est également labellisée par l'Université de Rennes

Imagerie Hyperspectrale

Le plateau technique imagerie hyperspectrale est par nature destiné à être mis en œuvre « sur le terrain » par le biais d'un vecteur aérien avion, ULM ou drone selon les besoins de la mission. L'ULM de la plateforme PIMA de l'IETR pourra servir de vecteur le cas échéant. Pour les activités qui doivent être réalisées en laboratoire, le plateau technique dispose d'une salle dédiée dans les locaux de l'équipe MULTIP basée à l'ENSSAT à Lannion.

2 Conditions communes à chacun

des lots

NB : Saufs mentions explicites dans les descriptifs des lots, les éléments reportés ci-dessous s'appliqueront.

2.1 Démonstration des équipements

Dans le cadre de l'analyse des offres et suivant la possibilité de formuler des demandes de précisions techniques, selon la complexité des matériels concernés, l'Université se réserve la possibilité de demander des démonstrations de tout ou partie des équipements figurant dans la proposition des candidats les mieux-disants.

Cette démonstration pourra se faire soit au sein des laboratoires de l'IETR, de l'IRISA ou dans des locaux extérieurs à l'Université de Rennes : locaux du candidat ou sur tout autre site désigné par le candidat, par exemple un site d'exploitation d'un client où sont installés ces mêmes matériels. L'ensemble des frais induits par cette opération et pour la mise œuvre de cette démonstration, frais de déplacements des agents de l'Université compris, seront intégralement à la charge du candidat. Le matériel en démonstration sera par ailleurs strictement identique au modèle proposé dans l'offre soumise par le candidat.

2.2 Recette des équipements

La recette des équipements sera effectuée sur site par le candidat, et se fera soit sur la base des éléments spécifiques définis dans le CCTP, soit sur la base de tests d'utilisations standards des équipements : vérification d'étalonnage ; des capacités d'interconnexions avec d'autres instruments ; des outils d'analyse fournis ; de mesures d'éléments connus ; de déplacements dans le cas de robots ; etc.

Dans le cas d'une phase de recette détaillée dans le CCTP, un PV de recette / réception sera établi à l'issue de la phase installation-vérification, et sera adressé au titulaire du marché par le laboratoire.

2.3 Évolutivité de l'équipement objet de l'appel d'offres

A titre d'informations et sans valeur contractuelle, les prix forfaitaires et remises potentielles pourront être explicités pour chaque équipement nécessaire à l'évolution des systèmes et chaînes de mesures objets du présent appel d'offres. De même, les possibilités d'extensions de garanties et de maintenance pourront être exposées et budgétisées pour cette évolution. Enfin les documentations techniques relatives à ces extensions seront fournies.

2.4 Service après-vente, maintenance et calibrage

Les candidats donneront des informations concernant les services en charge des opérations de maintenance et calibrage :

- Localisation(s) du/des service(s) de maintenance pour les dysfonctionnements mineurs et majeurs.
- Contacts pour les questions techniques software et hardware.

La garantie de base du matériel sera au minimum d'un an pièce et main d'œuvre (sauf mention spécifique propre à chacun des lots et à l'exception des extensions supplémentaires optionnelles décrites pour chacun des lots).

Les délais de dépannage ne pourront dépasser 4 semaines, temps de transport inclus.

Les candidats préciseront à titre d'information l'organisation de leur SAV :

- Le personnel (nombre, localisation)
- Le taux horaire d'intervention hors contrat
- Les frais fixes divers d'intervention

- Les délais contractuels d'intervention
- Les horaires d'intervention
- Les horaires de disponibilité de la hotline

Les candidats devront également chiffrer et détailler la maintenance courante en précisant les fréquences d'intervention, le temps d'immobilisation de l'appareil et autres informations relatives à la maintenance.

Les candidats préciseront leurs engagements concernant la disponibilité des pièces détachées du système concerné (durée, délais de livraisons ...).

Il est attendu du pouvoir adjudicateur un support technique de qualité et des réponses en hotline rapides et précises (délai de réponse : quelques heures), dépannage sous 48h sauf cas de grosses pièces nécessitant un délai d'approvisionnement.

2.5 Livraison et installation du matériel

Lot	Durée minimale de garantie	Délai de livraison max. souhaité	Site de livraison
Lot n°1 - Chambres anéchoïques faradisées	1 an	6 mois	IETR – Campus Beaulieu bât. 11C Rennes
Lot n°2 - Analyseur de réseaux vectoriel PXI	1 an	4 mois	IETR – Campus Beaulieu bât. 11C Rennes
Lot n°3 - Analyseur de réseaux vectoriel 67GHz	1 an	4 mois	IETR – Campus Beaulieu bât. 11C Rennes
Lot n°4 - Plateforme PXI TX/RX RF multicanal cohérente pour contrôle d'ondes	2 ans	3 mois	IETR – Campus Beaulieu bât. 11C Rennes
Lot n°5 - Spectroradiomètre portable UV-VIS-NIR-SWIR	1 an	10 semaines	IETR – ENSSAT 6, rue de Kérampont Lannion
Lot n°6 - Robot quadrupède	2 ans	6 mois	IRISA – Campus Beaulieu bât. 12G Rennes

A réception du matériel sur site, une période d'essais de 4 semaines sera mise à profit pour effectuer la recette de l'équipement et la validation de la livraison.

2.6 Démonstration des équipements

L'équipement fera l'objet d'une vérification d'aptitude lors de son installation. L'installation et la vérification d'aptitude seront effectuées en présence du représentant technique de la plateforme.

Si la livraison répond aux spécifications techniques et si les essais sont satisfaisants, la réception provisoire du matériel sera prononcée immédiatement. Un Procès-verbal (PV) sera alors établi par le représentant technique de la plateforme et sera notifié au titulaire. La réception définitive aura lieu dans un délai de 2 mois maximum après la réception provisoire. Un Procès-verbal sera alors établi par le représentant technique du Pouvoir Adjudicateur et sera notifié au titulaire. Si les essais révèlent que tout ou partie de la fourniture ne correspond pas aux spécifications techniques ou n'est pas d'un fonctionnement satisfaisant, la réception sera ajournée, et le titulaire devra notifier une seconde mise en ordre de marche. Les matériels reconnus défectueux ou non conformes à la commande devront être

repris par le titulaire, aux frais de celui-ci. Le titulaire a la charge complète de remplacer également les matériels en cause, à ses frais, dans un délai maximum de quinze (15) jours à partir de la date de notification du rejet.

2.7 Transport et emballage

Les frais de transports et d'emballage seront inclus dans l'offre.

Conformément à l'article 20.3 du CCAG FCS, les risques afférents au transport jusqu'au lieu de destination incombent au titulaire.

Les fournitures seront livrées à destination franco de port. Le transport s'effectuera sous la responsabilité du titulaire du marché jusqu'au lieu de livraison spécifié ci-après.

Le conditionnement, le chargement, l'arrimage, le déchargement et le déballage seront effectués sous sa responsabilité.

3 Lot n°1 - Chambres anéchoïques

faradisées

3.1 Contexte

Cet investissement se place dans la réalisation de la première étape de développement de capacités de mesures d'antennes miniatures en bandes métriques, décimétriques et centimétriques, au sein du plateau technique CACENDRA de la plateforme M²ARS.

Le développement de ce plateau technique interne à CACENDRA s'articule autour de :

- 2 chambres anéchoïques faradisées couvrant les bandes [10-1000] MHz et [1-40] GHz ;
- chaînes métrologiques hyperfréquences ;
- éléments de positionnement d'antenne servant de base pour le développement des systèmes de mesures d'antennes miniatures en bande déca et centimétriques.

3.2 Présentation générale

Les équipements objets de ce lot concernent l'acquisition de deux chambres anéchoïques faradisées. Ces chambres placées respectivement sous et sur la mezzanine du local de contrôle de CACENDRA, vont permettre de placer les éléments à tester en environnement maîtrisé, notamment d'un point de vue signal. La faradisation doit permettre de demeurer isoler en émission et réception vis-à-vis de l'extérieur.

Les contraintes spécifiques au local d'installation sont :

	Sous la mezzanine	Sur la mezzanine
Pression au sol	600kg/m ²	400 kg/m ²
Hauteur disponible	2,5m	2,5m
Empreinte au sol disponible	4m x 2,6m	4,6m x 3m

3.3 Description et spécifications techniques du matériel

3.3.1 Chambre [10-1000]MHz

	Eléments techniques	Caractéristiques
Base 1	Bande de fréquence	[10-1000]MHz
	Efficacité de faradisation	> 120dB Les éléments techniques généraux de construction de la cage de Faraday (inclus avantages et motivation des choix techniques), ainsi que des exemples de réalisation seront fournis. Le type de métal utilisé sera spécifié, ainsi que la technologie de réalisation des panneaux (panneaux composites, panneaux en acier soudé, etc) et la technique d'assemblage des panneaux.
	Revêtements absorbants	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ferrites sur toutes les parois, inclus sol. ○ Revêtement de sol pour protéger les ferrites ○ Réflectivité des tuiles (incidence normale) : <ul style="list-style-type: none"> - <-20dB sur la bande [20-300]MHz - < -10 dB sur la bande [10-1000]MHz
	Porte d'accès	1 porte de largeur 1,2m x 2m (hauteur min), SB manuelle

	Eléments techniques	Caractéristiques
	Distribution électrique	<ul style="list-style-type: none"> 1 filtre CFOR – Alimentation 2x32A – 230Vac – 50Hz 1 TI – 8 kVA 1 borne de masse 1 tableau de protection comprenant : <ul style="list-style-type: none"> 1 protection générale 32A 1 protection 10A – 30mA – Eclairage 2 protection 16A – 30mA - PC 2 boîtiers de sol équipés de 2 PC
	Eclairage	<ul style="list-style-type: none"> Projecteurs type Led filtrés (4x30W ou 2x60W) Panneau de secours photoluminescent
	Traversées de paroi	<ul style="list-style-type: none"> 2 coupes ondes fibre optique 20 mm 2 plaques de traversées 300 x 300 mm équipées chacune de : <ul style="list-style-type: none"> 4 traversées type N - 11 GHz + obturateurs. 4 traversées type SMA. 2 traversées type BNC. 2 grilles type nid d'abeilles (fréquence de coupure : 18 GHz)
	Livraison et installation	<p>Le candidat prendra sous sa responsabilité, et à sa charge, toutes les opérations de livraison, manutention, et installation des équipements. Un plan d'intervention devra être établi en amont des opérations effectuées par le candidat au sein du bâtiment de l'IETR.</p> <p>La liste des intervenants sur site devra être fournie 1 semaine avant leur arrivée sur le site d'installation.</p>
	Garantie	Le candidat fournira les durées de garanties pour les éléments de blindage (fixes et mobiles), et les éléments absorbants.
PSE 1.1	Détection incendie	Le candidat proposera un système de détection incendie et motivera ses choix. Ce système devra être relié au système de report d'alerte du bâtiment.
PSE 1.2	Test et mesure	Mesures selon EN50147-1 entre 10MHz et 1GHz (sans accréditation COFRAC).
PSE 1.3	Test et mesure	Mesures selon EN50147-1 entre 0.01MHz et 3GHz (sans accréditation COFRAC).
PSE 1.4 libre	Garantie	Le candidat fournira en PSE libres les éventuelles extensions de garantie qu'il peut proposer.
PSE 1.5 libre	Maintenance	Le candidat fournira en PSE libres les éventuelles opérations de maintenance qu'il peut proposer.

Variante alternative : Le candidat pourra proposer en variante alternative une autre technologie de panneaux (panneau composite, panneau soudé, changement du type de métal utilisé). Les éléments techniques et financiers devront être explicités comparativement à l'offre de base.

Si le candidat propose une offre variante alternative, son montant devra être inscrit en page 7 de l'acte d'engagement.

3.3.2 Chambre [1-40]GHz

	Eléments techniques	Caractéristiques
Base 2	Bande de fréquence	[1-40]GHz
	Efficacité de faradisation	<p>> 100dB sur la bande [1-10]GHz. > 80 dB sur le reste de la bande.</p> <p>Les éléments techniques généraux de construction de la cage de Faraday (inclus avantages et motivation des choix techniques), ainsi que des exemples de réalisation seront fournis.</p> <p>Le type de métal utilisé sera spécifié, ainsi que la technologie de réalisation des panneaux (panneaux composites, panneaux en acier soudé, etc) et la technique d'assemblage des panneaux.</p>
	Revêtements absorbants	<ul style="list-style-type: none"> ○ Absorbants pyramidaux sur toutes les parois, inclus sol. ○ Hauteur des absorbants : 300 mm approximativement.
	Porte d'accès	1 porte de largeur 1,2m x 2m (hauteur min), SB manuelle
	Distribution électrique	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1 filtre CFOR – Alimentation 2x32A – 230Vac – 50Hz ○ 1 TI – 8 kVA ○ 1 borne de masse ○ 1 tableau de protection comprenant : <ul style="list-style-type: none"> - 1 protection générale 32A - 1 protection 10A – 30mA – Eclairage - 2 protection 16A – 30mA - PC ○ 2 boîtiers de sol équipés de 2 PC
	Eclairage	<ul style="list-style-type: none"> ○ Projecteurs type Led filtrés (4x30W ou 2x60W) ○ Panneau de secours photoluminescent
	Traversées de paroi	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2 coupes ondes fibre optique 40GHz ○ 2 plaques de traversées 300 x 300 mm équipées chacune de : <ul style="list-style-type: none"> - 2 traversées type 1.85 + obturateurs - 2 traversées type 2.92 + obturateurs - 2 traversées type 3.5 + obturateurs ○ 2 grilles type nid d'abeilles (fréquence de coupure : 40 GHz)

	Eléments techniques	Caractéristiques
	Livraison et installation	Le candidat prendra sous sa responsabilité, et à sa charge, toutes les opérations de livraison, manutention, et installation des équipements. Un plan d'intervention devra être établi en amont des opérations effectuées par le candidat au sein du bâtiment de l'IETR. La liste des intervenants sur site devra être fournie 1 semaine avant leur arrivée sur le site d'installation.
	Garantie	Le candidat fournira les durées de garanties pour les éléments de blindage (fixes et mobiles), et les éléments absorbants.
PSE 2.1	Détection incendie	Le candidat proposera un système de détection incendie et motivera ses choix. Ce système devra être relié au système de report d'alerte du bâtiment.
PSE 2.2	Test et mesure	Mesures selon EN50147-1 entre 1GHz et 40GHz
PSE 2.3	Revêtement des absorbants	Surcoût pour une protection plastifiée des absorbants pyramidaux.
PSE 2.4	Absorbants piétonniers	Absorbants piétonniers en supplément permettant de couvrir une surface approximative de 3 x 600 x 1200 mm².
PSE 2.5	Absorbants pyramidaux supplémentaires	Absorbants de hauteur 300mm approx. : 4 pièces Absorbants de hauteur 100mm approx. : 4 pièces Absorbants de hauteur 50mm approx. : 8 pièces Absorbants de hauteur 30mm approx. : 8 pièces
PSE 2.6 libre	Garantie	Le candidat fournira en PSE libres les éventuelles extensions de garantie qu'il peut proposer.
PSE 2.7 libre	Maintenance	Le candidat fournira en PSE libres les éventuelles opérations de maintenance qu'il peut proposer.

Variante alternative : Le candidat pourra proposer en variante avec une autre technologie de panneaux (panneau composite, panneau soudé, changement du type de métal utilisé). Les éléments techniques et financiers devront être explicités comparativement à l'offre de base.

Si le candidat propose une offre variante alternative, son montant devra être inscrit en page 7 de l'acte d'engagement.

3.4 Livraison et installation du matériel

Le délai de livraison souhaité ne devra pas excéder 6 mois.

L'équipement sera livré à l'adresse suivante :

IETR – UMR CNRS 6164

Université de Rennes – Campus Beaulieu

263 avenue du Général Leclerc – bât. 11C

C.S. 74205 - 35042 Rennes Cedex.

4 Lot n°2 - Analyseur de réseaux

vectériel PXI

4.1 Contexte et objectif scientifique

Les investissements prévus concernent l'acquisition d'un équipement mutualisé au sein de la plateforme, intégré au sein d'un équipement PXI développé au sein du plateau technique COMET. Cet équipement a pour objectif de permettre la mise à disposition d'un ensemble de systèmes permettant le développement de chaînes métrologiques : sous formes d'équipements utilisés dans la conception de ces chaînes ; pour la réalisation de chaînes de mesures preuves de concept ; pour la réalisation de chaînes de mesures pour des études spécifiques temporaires.

Pour compléter les équipements existants, ce lot concerne l'acquisition de cartes de type analyseur de réseaux vectériel.

4.2 Description et spécifications techniques du matériel

Base/PSE	Type	Caractéristiques souhaitées
Base	Analyseur de réseaux vectériel	<ul style="list-style-type: none"> - fréquence maximale : 20 GHz. - nombre de ports actifs min : 2. - bande de fréquence des signaux IF pouvant être analysés : de 5MHz à 1GHz. - bande passante de filtrage IF : à partir de 1 Hz. - plancher de bruit en accès direct sur les récepteurs (filtre IF = 10Hz) : <-120dBm. - puissance de sortie minimale : >0dBm. - puissance maximale sur ports d'entrée : > +20 dBm. - pureté spectrale de la source interne (typ): < -30dBc. - accès au signal LO de l'analyseur. - accès au signal RF de l'analyseur. - accès aux récepteurs en direct. - environnement de type windows. - ports LAN, USB.
PSE 1	Extension de la fréquence	Fréquence de fonctionnement jusqu'à 40GHz.
PSE 2	Analyse temporelle	Upgrade logiciel pour l'analyse temporelle des signaux (transformation fréquence/temps, gating).
PSE 3	Mesures de mélangeurs	Option logicielle et matérielle permettant la mesure de mélangeurs, et par extension l'utilisation d'extendeurs de fréquences.
PSE 4	Analyse spectrale	Upgrade pour l'analyse spectrale.
PSE 5	Kit de calibrage	Kit mécanique compacte 2.92 mm.
PSE 6	Kit de calibrage	Kit mécanique compacte 3.5 mm.
PSE 7	Accastillage	Cordons hyperfréquences, longueur 600mm.
PSE 8	Châssis	Châssis PXI et contrôleur.
PSE 9	Extension de garantie 3 ans	
PSE 10	Extension de garantie 5 ans	
PSE 11	Calibrage sur 3 ans	

Base/PSE	Type	Caractéristiques souhaitées
PSE 12	Calibrage sur 5 ans	
PSE 13 libre	Formation de base	Le candidat proposera une formation de base à l'utilisation des équipements (aspect mesures et précautions d'installations).
PSE 14 libre	Formations connexes	En PSE libres le candidat pourra proposer des éléments issus de son catalogue d'offres de formation sur les thématiques relevant des mesures RF et Hyperfréquences (bases et connaissances avancées) : analyseur de réseaux ; génération de signal ; analyse spectrale.

Le candidat fournira également :

- des références clients concernant l'utilisation de cet équipement pour des mesures sur table, et pour des mesures de type antenne telles que reportées sur le schéma ci-dessus.
- la date de mise sur le marché des modèles proposés et le cas échéant l'échéance prévu pour le remplacement de leur série ou version.
- des références sur le Service Après-Vente : mode de communication, localisation des équipes de maintenance, ...
- le niveau d'accréditation possible des équipements dans le cadre de projet relevant du secteur de la défense nationale.

4.3 Livraison et installation du matériel

Le délai de livraison souhaité ne devra pas excéder 4 mois.

L'équipement sera livré à l'adresse suivante :

IETR – UMR CNRS 6164

Université de Rennes – Campus Beaulieu

263 avenue du Général Leclerc – bât. 11C

C.S. 74205 - 35042 Rennes Cedex.

5 Lot n°3 - Analyseur de réseaux

vectorel 67GHz

5.1 Contexte

Les investissements concernent le plateau technique CAMILL (Caractérisation d'Antennes en bande MILLi et submilli -métrique) de la plateforme M²ARS.

CAMILL, d'envergure internationale, regroupe les systèmes de M²ARS dédiés à la caractérisation d'antennes en bande milli- et submilli-métriques. Les capacités de CAMILL s'expriment tant sur le volet caractérisation d'antennes en chambre anéchoïque (base compacte et mesures champ lointain), que sur le volet caractérisation hors chambre sur des analyseurs de réseaux ou banc de caractérisation THz.

5.2 Contexte et objectif scientifique

La phase 5 de CyMoCoD concerne plus spécifiquement une première phase de l'évolution des chaînes métrologiques, et initier l'acquisition des instruments permettant l'extension de la bande de fréquence couverte à 1.1 THz.

Cette phase a pour objectif de se doter d'équipements de dernière génération pour débiter le développement de nouvelles chaînes de mesure sur table, et remplacer des équipements en fin de vie. Ces nouveaux équipements permettront un gain de précision, de dynamique de mesure, de vitesse de mesure, et l'accès à de nouvelles fonctionnalités.

Pour atteindre ce objectifs, les équipements visés lors de cette phase 5 du projet CyMoCoD sont :

- Un analyseur de réseaux vectoriel de dernière génération.
- Des équipements de génération de signal et/ou d'extension des capacités de l'analyseur.
- Des équipements de calibrage.
- L'accastillage nécessaire à l'exploitation du système complet (câbles hyperfréquences de précisions ; guides d'ondes ; transitions guides/coax ; transition coax/coax ; etc).

5.3 Description et spécifications techniques du matériel

Ces équipements constituent le cœur de la chaîne de mesure RF que nous souhaitons mettre en place pour la caractérisation des systèmes rayonnants en bande millimétrique. Cette chaîne se compose d'un analyseur de réseaux vectoriel auquel est adjoint des extendeurs de fréquence, ainsi qu'un générateur de signal.

La configuration actuelle du banc de mesure est reportée dans la figure ci-dessous.

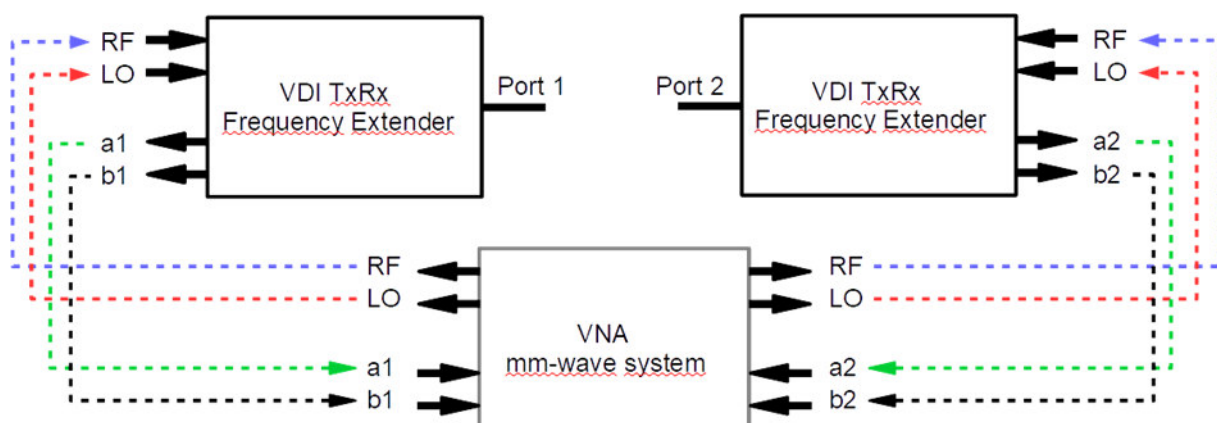


Fig. 1 – Système de mesure avec extendeurs de fréquences

Les extendeurs de fréquences sont connectés à un VNA (VNA mm-wave system) disposant d'accès directs à ses récepteurs, et permettant la génération des signaux RF et LO nécessaires.

Ce VNA mm-wave system peut être constitué :

- D'un VNA unique (Fig. 2(a)), disposant des accès directs aux récepteurs et produisant les signaux RF et LO : VNA 4 ports avec deux sources internes, VNA 2 port avec sortie LO, etc.
- D'un VNA disposant des accès directs aux récepteurs et produisant les signaux RF, les signaux LO étant fournis par un générateur externe piloté par le VNA (Fig. 2(b)).
- D'un VNA associé à un test set (Fig. 2(c)).

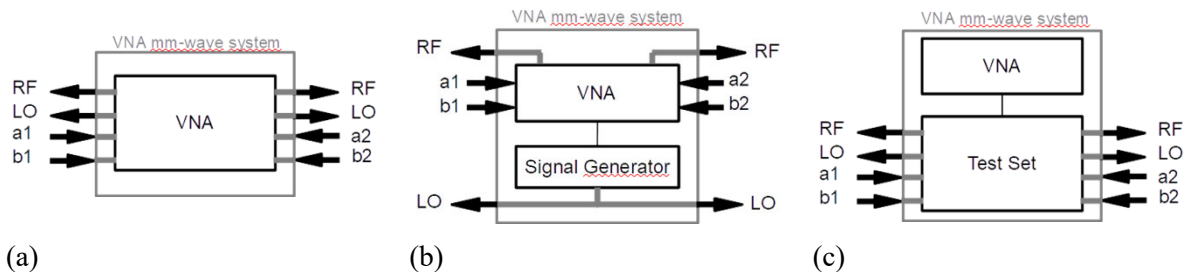


Fig. 2 – Architectures classiques d'un VNA mm-wave system.

Les candidats pourront proposer la ou les architectures de leur choix, incluant tous les éléments hardware ou software nécessaires.

Les extendeurs de fréquences utilisés permettent *in fine* de couvrir la bande [50-750]GHz. Les facteurs de multiplications des extendeurs peuvent être trouvés sur le site de VDI inc.

L'attention des candidats est attirer sur cet aspect de mesures en bandes sub-millimétriques : les propositions techniques devront inclure des références concernant utilisation de leurs équipements sur les bandes [325-500]GHz, [500-750]GHz et au-delà. Ces références comprendront si possible des éléments chiffrés quant aux dynamiques de mesures obtenues (en particulier avec des extendeurs VDI), et des références clients. De même, les facteurs pouvant limiter l'utilisation des équipements au-delà de 750GHz devront être explicités, et les stratégies permettant de contourner ces éventuelles limitations.

Les caractéristiques souhaitées sont reportées ci-dessous :

Base/Option	Type	Caractéristiques souhaitées
Base	Analyseur de réseaux vectoriel	<ul style="list-style-type: none"> - fréquence maximale : $\geq 65\text{GHz}$. - nombre de ports actifs min : 2. - bande de fréquence des signaux IF pouvant être analysés : de 5MHz à 1GHz. - bande passante de filtrage IF : à partir de 1 Hz. - plancher de bruit en accès direct sur les récepteurs (filtre IF = 10Hz) : $< -120\text{dBm}$. - puissance de sortie minimale : $> 0\text{dBm}$. - puissance maximale sur ports d'entrée : $> +20\text{dBm}$. - pureté spectrale de la source interne (typ): $< -30\text{dBc}$. - bruit de phase sur toute la bande de fréquences : <ul style="list-style-type: none"> • Offset 1kHz : $< -80\text{dBc/Hz}$. • Offset 100kHz : $< -100\text{kHz}$. - générateurs internes : 1, 2 serait un plus. - accès au signal LO de l'analyseur : si possible. - Fréquence référence externe (Reference In) : 10MHz, 100MHz. - environnement de type windows.

Base/Option	Type	Caractéristiques souhaitées
		<ul style="list-style-type: none"> - ports LAN, USB. - accès aux récepteurs en direct. L'accès en face arrière serait un plus. - pilotage d'extendeurs de fréquences. - mesure de mélangeurs (amplitude et phase). - pilotage de générateurs de signaux externes. - analyse dans le domaine temporel.
PSE 1	Analyseur de réseaux vectoriel 4 ports	Ajout de deux ports supplémentaires.
PSE 2	Atténuateurs programmables	Ajout d'atténuateurs sur les voies de mesures permettant les mesures de puissance (point de compression à 1dB ; courbes gain vs puissance).
PSE 3	Bias Tee	Ajout de Bias Tee sur les voies de mesures.
PSE 4	Cordons coaxiaux	Cordons dédiés aux mesures [S] jusqu'à 67GHz, longueur minimale 600mm. Quantité : 2.
PSE 5	Kit de calibrage	Kit électronique 1.85mm.
PSE 6	Extension de garantie 3 ans	
PSE 7	Extension de garantie 5 ans	
PSE 8	Calibrage sur 3 ans	
PSE 9	Calibrage sur 5 ans	
PSE 10 libre	Formation de base	Le candidat proposera une formation de base à l'utilisation des équipements (aspect mesures et précautions d'installations).
PSE11 libre	Formations connexes	En PSE libres le candidat pourra proposer des éléments issus de son catalogue d'offres de formation sur les thématiques relevant des mesures RF et Hyperfréquences (bases et connaissances avancées) : analyseur de réseaux ; mesures milli et submillimétriques.

Le candidat fournira également :

- des références clients concernant l'utilisation de cet équipement pour des mesures sur table, et pour des mesures de type antenne telles que reportées sur le schéma ci-dessus.
- la date de mise sur le marché des modèles proposés et le cas échéant l'échéance prévu pour le remplacement de leur série ou version.
- des références sur le Service Après-Vente : mode de communication, localisation des équipes de maintenance, ...
- le niveau d'accréditation possible des équipements dans le cadre de projet relevant du secteur de la défense nationale.

5.4 Livraison et installation du matériel

Le délai de livraison souhaité ne devra pas excéder 4 mois.

L'équipement sera livré à l'adresse suivante :

IETR – UMR CNRS 6164

Université de Rennes – Campus Beaulieu
263 avenue du Général Leclerc – bât. 11C
C.S. 74205 - 35042 Rennes Cedex.

6 Lot n°4 - Plateforme PXI TX/RX RF multicanal cohérente pour contrôle d'ondes

6.1 Contexte et objectif scientifique

Le projet s'inscrit dans le cadre de la réalisation du CPER 2021–2027 « CyMoCoD », coordonné par l'Institut d'Électronique et des Technologies du numéRique (IETR, UMR CNRS 6164).

Dans le cadre de nos activités en bioélectronique et en électromagnétisme appliqué aux milieux biologiques, nous cherchons à développer des systèmes actifs de génération, de réception et de contrôle dynamique des champs électromagnétiques, permettant des approches avancées telles que le beamforming, la conjugaison de phase, le retournement temporel (time reversal) et les boucles fermées adaptatives dans des milieux complexes et dissipatifs.

L'objectif de ce lot est l'acquisition d'une plateforme instrumentale modulaire de type PXI(e) permettant la génération et l'acquisition RF multicanal cohérentes, avec un contrôle précis de l'amplitude et de la phase sur chaque voie, et une synchronisation stricte entre toutes les chaînes TX/RX. Cette plateforme devra être évolutive, programmable et compatible avec des développements temps réel ou quasi-temps réel.

6.2 Description de l'équipement

Plateforme PXI TX/RX RF multicanal cohérente

Le présent lot a pour objet la fourniture d'une plateforme PXI(e) complète comprenant a minima :

- Un châssis PXI(e) adapté aux applications RF hautes performances,
- Des modules RF de génération et de réception intégrés dans le châssis,
- Les ressources de synchronisation et de timing nécessaires à une cohérence de phase et de temps entre voies,
- Les logiciels de contrôle, de configuration et d'analyse associés.

Spécifications fonctionnelles minimales

La plateforme devra satisfaire aux exigences suivantes :

- **Nombre de voies :**
 - Minimum 8 voies TX et 8 voies RX, cohérentes entre elles,
 - Architecture évolutive vers 16 voies TX/RX.
- **Fonction TX/RX :**
 - Génération et acquisition simultanées ou quasi simultanées,
 - Contrôle indépendant de l'amplitude et de la phase sur chaque voie.
- **Plage de fréquences :**
 - Fonctionnement RF continu sur une plage minimale comprise entre 300 MHz et 3 GHz,
 - Compatibilité avec des applications futures à des fréquences plus élevées appréciée (option).
- **Synchronisation :**
 - Synchronisation temporelle et de phase stricte entre toutes les voies,
 - Dérive de phase minimale entre canaux sur des durées compatibles avec des expériences longues,

- Distribution d'horloge et de ou via modules dédiés.
- références communes intégrées
- **Performances RF :**
 - Génération de signaux complexes (IQ),
 - Dynamique et linéarité compatibles avec des applications de beamforming,
 - Puissance de sortie typique compatible avec les étages d'amplification externes (≤ 10 dBm en sortie directe).
- **Traitement et contrôle :**
 - Possibilité d'implémenter des algorithmes de contrôle (beamforming adaptatif, phase conjugation, time reversal),
 - Support de FPGA embarqué ou d'un traitement matériel accéléré permettant des boucles fermées rapides,
 - Interface logicielle documentée et programmable (API).
- **Logiciels :**
 - Environnement logiciel permettant la configuration multi-voies, la synchronisation, l'acquisition et l'analyse des données,
 - Compatibilité avec des développements personnalisés (Matlab, Python, C/C++, LabVIEW ou équivalent).

Le candidat fournira également :

- des références clients concernant l'utilisation de cet équipement pour des mesures sur table, et pour des mesures de type antenne telles que reportées sur le schéma ci-dessus.
- la date de mise sur le marché des modèles proposés et le cas échéant l'échéance prévu pour le remplacement de leur série ou version.
- des références sur le Service Après-Vente : mode de communication, localisation des équipes de maintenance, ...
- le niveau d'accréditation possible des équipements dans le cadre de projet relevant du secteur de la défense nationale.

6.3 Normes et Conformité

Tout le matériel fourni devra être conforme aux normes industrielles en vigueur, garantissant la qualité, la sécurité et la fiabilité des équipements.

6.4 Formation

PSE 1 libre : Le candidat proposera une formation de base à l'utilisation des équipements (aspect mesures et précautions d'installations).

PSE 2 libre : En PSE libres le candidat pourra proposer des éléments issus de son catalogue d'offres de formation sur les thématiques relevant des mesures RF et Hyperfréquences (bases et connaissances avancées) : analyse de signal ; analyse spectralemesures.

6.5 Garantie & Maintenance

Une garantie de 2 ans doit être incluse dans l'offre de base. Les coûts des extensions de garanties seront fournis sous forme de variantes spécifiques.

6.6 Exigences Techniques Supplémentaires

Les soumissionnaires devront fournir :

- Une description détaillée de l'architecture matérielle et logicielle,

- Les performances RF détaillées (bruit, linéarité, cohérence inter-voies),
- Les modalités de synchronisation et de calibration,
- Les interfaces de communication et de contrôle,
- Les contraintes d'intégration, de consommation électrique et de refroidissement.

6.7 Livraison et installation du matériel

Le délai de livraison souhaité ne devra pas excéder 3 mois.

L'équipement sera livré à l'adresse suivante :

IETR – UMR CNRS 6164

Université de Rennes – Campus Beaulieu

263 avenue du Général Leclerc – bât. 11C

C.S. 74205 - 35042 Rennes Cedex.

7 Lot n°5 - Spectroradiomètre portable UV-VIS-NIR-SWIR

7.1 Contexte de l'opération

Le projet s'inscrit dans le cadre de la réalisation du CPER 2021-2027 «CyMoCoD » coordonné par l'Institut d'Électronique et des Technologies du numéRique – IETR, UMR CNRS 6164. Il s'agit plus particulièrement du sous-projet CyMoCoD-Lannion porté par Benoît VOZEL Responsable de l'équipe MULTIP et Josias LEFEVRE responsable du plateau technique « Imagerie Hyperspectrale ».

7.2 Contexte et objectifs scientifiques

Depuis son avènement dans le milieu des années 1980, l'imagerie hyperspectrale n'a cessé d'évoluer, du point de vue technique (miniaturisation des capteurs, capacité d'enregistrement, multiplicité des bandes spectrales et élargissement des gammes spectrales).

Pour répondre aux nouveaux besoins suscités par des applications militaires, scientifiques et commerciales (sécurité, contrôle environnemental et sanitaire, médical, urbanisme), il est aujourd'hui nécessaire de disposer d'un nouveau système d'observation couvrant une plage spectrale étendue et pouvant être déployé sur porteurs légers (ULM, drone). Cette souplesse permet en effet de pouvoir travailler à différentes échelles et ainsi de répondre de manière efficiente à des projets scientifiques jusqu'alors privé de ces moyens.

Dans le cadre de son activité de soutien à la recherche et de transfert/valorisation auprès des acteurs locaux, le plateau technique imagerie hyperspectrale vise différents objectifs. Ces objectifs sont notamment la production d'images aériennes calibrées en réflectance, la modélisation des dérives radiométriques des imageurs aéroportés, la mise en correspondance des données acquises avec des jeux de données issues d'autres instruments et enfin l'analyse et l'interprétation des images acquises à très haute résolution spatiale et spectrale offrant des signatures spectrales sur une gamme étendue.

7.3 Équipement

L'équipement recherché est un spectroradiomètre portable permettant de collecter des signatures spectrales calibrées en luminance et en réflectance couvrant la gamme UV-VIS-NIR-SWIR.

Il complétera l'équipement du plateau technique destiné à la production d'images aériennes hyperspectrales et permettra d'acquérir les spectres de matériaux invariants nécessaires pour la calibration radiométrique des images.

Destiné à une utilisation sur le terrain, l'équipement doit pouvoir être porté pendant toute la durée de son utilisation au moyen d'un accessoires ergonomique fournis de type sac à dos ou autre solution. Le spectroradiomètre doit pouvoir fonctionner de manière entièrement autonome pendant plusieurs heures.

L'équipement sera fourni avec les différents accessoires requis (sac à dos, terminaisons optiques,

matériau étalon) ainsi que les outils logiciels offrant les fonctions nécessaires à l'utilisation de l'instrument telles que : configuration des paramètres de mesure, étalonnage, collecte et visualisation des spectres.

7.4 Description et spécifications techniques du matériel

Le matériel proposé doit répondre aux spécifications techniques imposées et se rapprocher au plus près des spécifications souhaitées. Ces spécifications sont données ci-dessous.

7.4.1 Spécifications techniques imposées

L'équipement proposé doit inclure les éléments suivants : spectroradiomètre portable, solution de portage ergonomique, sonde/pistolet permettant la mesure de réflectance équipée d'une terminaison optique présentant un champ de vision inférieur ou égal à 25°, jeu de batteries, chargeur de batteries, matériaux étalon (spectralon), outils logiciels nécessaire à l'opération de l'équipement, documentation technique et support de prise en main du matériel, ensemble des câbles et cordon nécessaires.

Le candidat donnera les spécifications techniques de chacun des éléments listés ci-dessus.

Par ailleurs, le spectroradiomètre devra satisfaire les spécifications suivantes :

- Plage spectrale : couvrir à minima la plage [400nm, 2400nm]
- Résolution spectrale sur la plage VNIR : < 5nm
- Résolution spectrale sur la plage SWIR : < 12nm
- Echantillonnage spectral : \leq résolution spectrale
- Temps d'intégration : réglable
- Calibration : calibré pour une mesure en luminance ou en réflectance
- Autonomie : > 3h de fonctionnement
- Matériau étalon : matériau étalon d'une surface supérieur ou égale à 12cm x 12cm et son étui/boîtier de protection
- Obturateur : le spectroradiomètre doit être équipé d'un obturateur mécanique piloté
- Cordon optique : la longueur du cordon optique reliant l'instrument à la sonde/pistolet doit être supérieure à 1m20
- Masse du spectroradiomètre sans batteries : \leq 6kg
- NER (Noise Equivalent Radiance) : $\leq 2.5 \times 10^{-9}$ W/(cm².nm.sr) à 2100nm
- Mode de déclenchement : déclenchement de la mesure depuis l'ordinateur de contrôle de l'instrument

7.4.2 Spécifications techniques souhaitées

- Mode de déclenchement : déclenchement de la mesure depuis la sonde/pistolet à l'aide d'un bouton ou d'une gâchette en plus du déclenchement depuis l'ordinateur de contrôle.

7.4.3 Prestations supplémentaires éventuelles

Les fonctionnalités et accessoires listés dans cette section doivent faire l'objet de prestations supplémentaires éventuelles. L'acheteur se réserve la possibilité de retenir ou non chacune de ces options.

- PSE 1 (ordinateur de contrôle de l'instrument) :
Ordinateur portable dimensionné pour le pilotage du spectroradiomètre en extérieur. Cet ordinateur doit disposer des ressources suffisantes pour l'exécution des outils logiciels permettant le contrôle de l'instrument, la collecte et le stockage des données, offrir un écran forte luminosité adapté à un usage en extérieur ou à minima un pare-soleil adapté, présenter une autonomie supérieure ou égale à celle de l'instrument.
- PSE 2 (aide à la visée) :
Dispositif de pointage laser solidaire de la terminaison optique (sonde/pistolet) permettant à l'utilisateur de visualiser le centre de la surface qui est visée lors de la mesure. Le pointeur doit être piloté par le spectroradiomètre afin de ne pas perturber la mesure.

- PSE 3 (Géopositionnement) :
Solution de géopositionnement de type GNSS couplée ou intégrée au spectroradiomètre permettant de sauvegarder automatiquement l'emplacement géographique de chaque mesure
- PSE 4 (prise de vue couleur) :
Dispositif de prise de vue photographique RVB solidaire de la terminaison optique (sonde) permettant de sauvegarder simultanément une photographie couleur de l'objet dont le spectre est collecté
- PSE 5 (malle de transport) :
Une malle robuste adaptée pour le transport et l'expédition de l'ensemble de l'équipement de manière sécurisée

7.5 Recette des équipements

Le candidat détaillera les prestations proposées associées à la livraison du système (Installation, démonstration, formation de prise en main). Lorsqu'une formation de prise en main est proposée, le candidat en précisera les modalités relatives (sur site, à distance, support vidéo, documentation écrite, etc.). Suite à la livraison, un délai de 4 semaines sera mis à profit pour valider la conformité technique des équipements, réaliser des tests de bon fonctionnement du matériel et le cas échéant, bénéficier de la formation de prise en main proposée par le candidat.

7.6 Évolutivité

Indiquer si l'équipement proposé peut évoluer à terme sur les points suivants :

- Autonomie : préciser les différentes batteries disponibles ainsi que la capacité et l'autonomie correspondant à chacune
- Micrologiciel embarqué : préciser si le firmware du spectroradiomètre peut être mis à jour
- Interface de commande logicielle : préciser la période pendant laquelle le logiciel peut être mis à jour sans surcoût.
- Lister l'ensemble des accessoires et extensions actuellement prévus par le fabricant pour faire évoluer l'équipement (terminaisons optiques, capteur de flux incident, dispositif de pointage laser, solution de prise de vue rvb associé à la mesure spectrale, système de géopositionnement, etc)

7.7 Garantie & Maintenance

Le fabricant de l'équipement doit proposer une garantie couvrant une période d'un an minimum à compter de la date de la recette, garantie qui portera sur l'ensemble des éléments qui composent le l'offre proposé.

Le candidat précisera les conditions de garantie, les différentes modalités de prise en charge ainsi que les délais relatifs aux différentes phases de la prise en charge (diagnostic, réparation, remplacement, mise à jour). Enfin, si une extension de garantie est possible, le candidat en précisera les modalités.

Le candidat doit détailler les services de maintenance et d'étalonnage proposés par le fabricant de l'équipement tels que :

- Calibration : caractérisation radiométrique du spectroradiomètre du matériau étalon.
- Caractérisation des performances optiques du spectromètre
- Dérives spectrales en différents pour différentes longueurs d'onde
- Nettoyage du matériau étalon
- Sensibilité à la polarisation en fonction de la longueur d'onde
- Rapport signal sur bruit en fonction de la longueur d'onde pour un configuration type (temps d'intégration, plage de luminance).

7.8 Livraison et installation du matériel

Le délai de livraison du matériel n'excédera pas 10 semaines.

A réception du matériel sur site, une période d'essais de 4 semaines sera mise à profit pour effectuer la recette de l'équipement et la validation de la livraison.

Adresse de livraison des équipements :
ENSSAT/IETR
6, rue de Kérampont
22305 Lannion
France

8 Lot n°6 - Robot quadrupède

8.1 Contexte de l'achat

La robotique est au cœur de l'activité de recherche de l'[IRISA](#) à Rennes. Au sein de ce laboratoire de recherche, l'équipe [Rainbow](#) s'intéresse tout particulièrement à la commande référencée capteurs de systèmes robotiques, l'interaction homme-robot et l'haptique pour des applications de télé-manipulation, de robotique industrielle et de coopération multi-robots pour la navigation et l'exploration semi-autonome. Cette équipe s'appuie sur la plateforme de robotique [ROBSTAR](#) pour mener à bien ses expérimentations et valider ses recherches.

ROBSTAR est constituée d'un robot portique disposant d'un grand volume de travail, de plusieurs robots manipulateurs à base fixe (3 bras Panda Franka Emika à 7 degrés de liberté, 2 bras Viper Adept et 1 bras UR5 Universal Robots tous les trois à 6 degrés de liberté), de plusieurs préhenseurs et mains robotisées à 2 ou 3 doigts des sociétés QbRobotics et SoftHand Robotics qu'il est possible de monter sur les robots manipulateurs, de robots mobiles au sol (5 fauteuils roulants semi-autonomes des sociétés Permobil, Sunrise et YouQ, d'un robot à roues Pioneer 3-DX et tout récemment d'une base mobile holonome TRIAGo de chez PAL Robotics équipée d'un torse motorisé sur lequel sont attachés 3 bras manipulateurs à 7 degrés de liberté que l'on peut équiper de mains robotisées à 4 doigts ou de caméras), d'une vingtaine de robots volants de plusieurs tailles (drones quadrirotors ou hexarotors), de joysticks à retour d'effort et de différents dispositifs haptiques permettant à un humain d'interagir avec les systèmes robotiques.

ROBSTAR est une plateforme ouverte sollicitée régulièrement par des chercheurs d'autres laboratoires et l'une des plateformes françaises de robotique du réseau ROBOTEX 2.0 porté par le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Elle est également labellisée par l'Université de Rennes.

Cet appel d'offre vise à enrichir la plateforme ROBSTAR d'un robot quadrupède capable d'évoluer dans des environnements complexes et peu structurés, notamment en extérieur. Le quadrupède sera équipé de jambes (ou pattes) interchangeables avec des roues.

Pour permettre d'interagir avec son environnement, le robot quadrupède sera équipé d'un bras manipulateur et de capteurs (lidar, caméra) pour de la navigation et de la manipulation autonome dans des environnements non structurés. Le robot sera par exemple capable d'évoluer en extérieur sur des terrains accidentés, d'enjamber des obstacles, ou encore de monter ou de descendre des marches. Le bras manipulateur sera équipé d'une pince pour permettre la saisie d'objets et l'interaction avec l'environnement. Le lidar (il peut y en avoir deux, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière) couvrira tout le pourtour du système (360 degrés). La caméra (il peut y en avoir deux, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière) permettra d'acquérir des images couleur au format HD. Le système sera suffisamment évolutif pour permettre ultérieurement à l'équipe Rainbow de rajouter d'autres capteurs, comme par exemple une caméra RGB-D externe sur l'extrémité du bras et un ordinateur externe type Intel NUC ou Jetson. Pour cela, sur le torse du robot, en prévision de ces ajouts ultérieurs, on trouvera :

- Un connecteur permettant d'alimenter nos dispositifs externes depuis l'alimentation existante du robot
- Un connecteur RJ45 pour relier le ordinateur externe au ordinateur interne du robot
- Une connexion sans fil (type wifi) permettant de se connecter depuis l'extérieur au ordinateur du robot afin de recevoir les mesures des actionneurs et permettre de commander le robot.
- Au moins un connecteur USB relié au ordinateur interne au robot
- Une sortie HDMI pour pouvoir connecter un écran au ordinateur interne au robot

Dans le reste du document, chaque fois que les termes « *robot* » ou « *système* » sont utilisés, ils désignent l'ensemble du dispositif robotique, c'est-à-dire la base quadrupède et le bras manipulateur. En revanche, lorsqu'une fonctionnalité ne concerne qu'une partie spécifique du système, nous utiliserons respectivement les termes « *base quadrupède* » ou « *bras manipulateur* », ou plus simplement « *quadrupède* » ou « *bras* ».

8.2 Fonctionnalités attendues

F1. Le quadrupède sera livré avec quatre jambes (ou pattes) interchangeables avec des roues.

F2. Afin d'éviter les collisions avec les éléments présents dans son environnement (par exemple, table, chaise, arbre, bordure de trottoir), le système doit disposer de capteurs permettant de détecter la distance et la hauteur des obstacles lorsqu'il se déplace.

F3. Pour assurer la sécurité, le système disposera d'un arrêt d'urgence à distance sans fil. Un bouton d'arrêt d'urgence sur le quadrupède est également souhaité.

F4. Le système doit transmettre en temps réel la position, l'orientation, et les vitesses linéaires et angulaires cartésiennes de la base quadrupède, et les mesures en position, vitesse et couple de toutes ses articulations (celles de ses quatre jambes et celles du bras), ainsi que les informations des capteurs de navigation. Le candidat précisera les fréquences de transmission de chacun des éléments précédents. Il fournira également la liste des capteurs embarqués sur le robot ainsi que leurs spécifications et références techniques (marque et modèle).

F5. Le bras manipulateur embarqué comme charge utile sur le dos du quadrupède pourra être commandé à minima en position articulaire, en vitesse articulaire et en couple articulaire. Une commande en position et en vitesse Cartésienne de l'effecteur du bras est souhaitée.

F6. Une pince (par exemple à deux doigts parallèles) sera installée sur l'effecteur du bras manipulateur. Elle permettra de saisir des objets ayant un diamètre allant de quelques millimètres à une dizaine de centimètres (par exemple pour saisir un stylo ou une canette de soda).

F7. Si une caméra est intégrée sur le robot, la transmission du flux vidéo en temps réel serait fortement souhaitable. Le candidat précisera quelles sont les fréquences d'acquisitions et les résolutions d'images disponibles.

F8. Le robot disposera d'un système de communication sans fil à distance comme du wifi permettant des échanges de données bidirectionnels entre la station de contrôle déportée fonctionnant sur ROS2 et le système embarqué du robot. Le débit sera suffisant pour récupérer les informations des actionneurs et des capteurs, et permettre d'intégrer nos propres algorithmes de guidage et contrôle (hors stabilité du robot).

F9. Le robot disposera d'un système de communication de type réseau (idéalement à partir d'un câble Ethernet RJ45) permettant à un ordinateur externe de communiquer directement avec le ordinateur interne au robot.

F10. Le robot effectuera un minimum de diagnostic de son état. Par exemple, il pourra implémenter des mécanismes de récupération en cas de panne de communication ou de perte de capteurs critiques, en se mettant dans une position de sécurité ou en envoyant une alerte.

F11. L'autonomie du robot doit être suffisante pour couvrir plusieurs heures d'expérimentation de

manière continue, avec des alertes de batterie faible en temps réel. Le candidat indiquera la durée d'autonomie et également si le robot dispose d'une capacité de retourner automatiquement à une station de recharge si nécessaire.

F12. Le candidat précisera dans sa réponse les caractéristiques suivantes du robot :

- La masse totale du système incluant le quadrupède, le bras manipulateur et la pince
- La charge utile lors de la locomotion
- La vitesse maximale d'avance à 4 pattes et à 4 roues du robot en position debout
- La vitesse maximale d'avance à 4 pattes et à 4 roues du robot en position accroupie
- La vitesse maximale en marche arrière à 4 pattes et à 4 roues
- L'autonomie de la batterie et sa capacité
- Sa capacité de franchissement d'obstacles en cm
- Sa capacité de déplacement sur des pentes, préciser l'angle maximal de la pente

F13. La base quadrupède sera pilotable à distance à l'aide d'un dispositif de type joystick qui proposera au minimum un déplacement en vitesse longitudinale et en vitesse angulaire autour de l'axe Z (lacet). Idéalement, le bras sera également pilotable à distance en position et en vitesse Cartésienne, soit à l'aide du même joystick que celui utilisé pour le quadrupède, soit à l'aide d'un autre joystick.

F14. Le robot sera également pilotable à distance via une API C++ et Python sous ROS2 qui proposera au minimum un déplacement en vitesse longitudinale et en vitesse angulaire autour de l'axe Z (lacet). Cette API doit également permettre d'envoyer les commandes en position, en vitesse et en couple à toutes les articulations (celles des 4 jambes et celles du bras) du système. Des exemples seront fournis.

F15. Le candidat indiquera dans sa proposition quels logiciels de navigation sont proposés sur le robot (cartographie, localisation précise, SLAM, planification de trajectoire...) ? Il précisera également si ces logiciels sont compatibles avec ROS2.

F16. Le candidat décrira le système informatique embarqué présent sur le robot (OS, version, type de calculateur, capacités CPU, capacités GPU si présentes, mémoire, accélération hardware si disponible, espace de stockage, interfaces de communication disponibles telles que par exemple I2C, port série, canbus, etc) et indiquera si les utilisateurs ont un accès administrateur pour effectuer les mises à jour et les montées de versions.

F17. Pour permettre aux utilisateurs de rajouter des dispositifs externes, le dos du quadrupède disposera de trous de fixation et de plusieurs interfaces de connexion (connecteur 12V ou 24V, connecteur USB 3.0, connecteur Ethernet RJ45, HDMI, etc). L'effecteur du bras disposera également de trous de fixation (idéalement taraudés) pour permettre d'y ajouter ultérieurement des capteurs (typiquement une caméra ou un lidar).

F18. La présence d'un système d'éclairage embarqué à l'avant du robot est souhaitée. Cet éclairage pourra être activé à distance.

F19. Le robot sera équipé de haut-parleurs. La présence d'un microphone est souhaitée.

F20. Le système sera livré avec un système de recharge des batteries.

F21. Le système sera livré avec un jeu de batteries de recharge.

8.3 Contraintes techniques

Le système proposé devra absolument répondre aux contraintes suivantes qui sont obligatoires pour que l'offre soit éligible :

- Le robot sera un quadrupède d'une hauteur minimale de 45cm les 4 pattes au sol.
- La masse du quadrupède sera inférieure à 40 kg avec les batteries et sans le bras manipulateur.
- Il intégrera sur son dos un bras manipulateur 6 axes équipé d'une pince permettant de saisir des objets ayant une masse comprise entre quelques grammes et 1,5 kg.
- Le robot doit être stable par défaut à l'arrêt, en marchant en position haute et en marchant en position accroupie. Les algorithmes et les systèmes mécatroniques qui assurent de la marche sont inclus sur le robot.
- Le robot doit être conçu pour fonctionner dans des environnements poussiéreux, humides et donc disposer d'un indice de protection IP67 minimum.
- Le robot sera capable de gravir un escalier dont les marches sont de 20 cm de hauteur.
- Il sera également capable d'évoluer sur des pentes d'au moins 40 degrés.
- En mouvement, la charge utile minimum du robot sera de 25 kg.
- Le robot doit être compatible et interfaçable avec le framework ROS2 pour l'intégration avec les outils de navigation, de visualisation et de commande.
- Le calculateur embarqué dans le robot doit être accessible au minimum par une connexion SSH sans fil.

Prestations supplémentaires éventuelles (PSE)

- PSE 1 : Extension de garantie 3 ans
- PSE 2 : Extension de garantie 5 ans
- PSE 3 : Contrat de maintenance de 3 ans, en précisant son niveau (visites préventives régulières pour éviter la panne, réparation en cas de panne, délais d'intervention...)
- PSE 4 : Contrat de maintenance de 5 ans, en précisant son niveau (visites préventives régulières pour éviter la panne, réparation en cas de panne, délais d'intervention...)
- PSE 5 : Capteurs additionnels (par exemple caméra, lidar, accéléromètre, capteur d'effort sur l'effecteur du bras articulé...)
- PSE 6 : Armoire de stockage et de recharge de batteries lithium ignifugée conçues pour prévenir tout risque d'incendie, d'explosion ou de dégazage. L'armoire devra résister au feu au moins 90 minutes (certifiée norme EN 14470-1), être équipée d'une alarme visuelle et sonore, disposer d'un système de détection et d'extinction automatique, avoir au minimum 3 étagères avec la possibilité d'avoir des multiprises.

8.4 Documentation

Le candidat fournira avec le robot :

- Un manuel d'utilisation du robot ainsi que les fiches techniques hardware et software.
- Des exemples de codes sources (en C++ ou en Python) pour l'utilisation du robot et surtout son déplacement et commande.
- Les fichiers de CAO 3D avec les dimensions et la forme du robot, les détails électroniques de tous les connecteurs exposés pour y connecter des dispositifs externes, et un fichier urdf pour son intégration dans le simulateur Gazebo.

8.5 Maintenance et support

Le robot sera garanti 2 ans à partir de la date de réception par le laboratoire.

Le prestataire décrira précisément dans son offre la méthode de support qui sera mise en place, incluant les délais de réponse, les modalités de suivi et les priorités de traitement des incidents.

8.6 Recette des équipements

Le candidat détaillera les prestations proposées relatives à la livraison du système robotique. Suite à la

livraison, un délai de 4 semaines sera mis à profit pour vérifier que les contraintes techniques décrites au paragraphe 8.3 sont respectées, pour valider la conformité technique des équipements et pour réaliser des tests de bon fonctionnement du matériel (fonctionnalités attendues F1 à F21 décrites au paragraphe 8.2).

8.7 Livraison et installation du matériel

Le délai de livraison souhaité ne devra pas excéder 6 mois.

L'équipement sera livré à l'adresse suivante :

IRISA

A l'attention de Fabien Spindler

Campus Universitaire de Beaulieu

263 Av. Général Leclerc – Bat. 12 G

35042 Rennes Cedex