

Cahier des Clauses Techniques Particulières

(CCTP)

Acquisition d'équipements dans le cadre du CPER CYMOCOD

Projets CPER CyMoCoD Rennes Phase 4c & 5

LOT 3 : Machine d'alignement et d'insolation photolithographique

VERSION en date du 27/03/2026

-

Affaire N°2026011AOF

Table des matières

1	Contexte de l'opération.....	5
1.1	Présentation générale du projet CPER CyMoCoD.....	5
1.2	Plates-formes technologiques.....	6
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.....	8
2.8	Synthèse des offres.....	9
3	Lot n°1 : Système de bras robotisé pour la mesure d'antennes (CyMoCoD phase 4c).....	10
3.1	Contexte du projet.....	10
3.2	Plateforme technologique M ² ARS.....	10
3.3	Présentation du projet et objectif scientifique.....	10
4	Spécificité des mesures à réaliser.....	11
4.1.1	Surface de mesure.....	12
4.1.2	Hybridation des moyens de mesures.....	12
4.1.3	Configuration du robot.....	12
4.1.4	Tracker Laser :.....	13
4.1.5	Sécurité.....	13
4.1.6	Logistique.....	13
4.2	Collaboration.....	14
4.3	Equipement.....	14
4.4	Description et spécifications techniques du matériel.....	14
4.5	Prestations Supplémentaires Eventuelles.....	17
4.5.1	Prestations Supplémentaires Eventuelles de l'équipement de base.....	17
4.5.2	PSE 21 : Fourniture d'un bras robotisé supplémentaire pour la mesure d'une sphère de 500 mm de diamètre, hors chambre anéchoïque.....	18
4.5.3	Sécurité.....	21
4.5.4	Prestations Supplémentaires Eventuelles du bras robotisé supplémentaire.....	21
4.6	Démonstration, recette, documentation.....	22
4.6.1	Démonstration des équipements.....	22
4.6.2	Visite avant réponse à l'appel d'offre.....	22
4.6.3	Recette des équipements.....	23
4.6.4	Documentation.....	23
4.7	Évolutivité de l'équipement objet de l'appel d'offres.....	23

4.8	Service après-vente, maintenance et calibrage.....	23
4.9	Livraison et installation du matériel.....	24
4.10	Synthèse des offres.....	25
4.11	Jalons de facturation.....	25
5	Lot n°2 - Cellule de prototypage de précision pour systèmes et échantillons de dimensions réduites, à géométrie complexe (CyMoCoD phase 5).....	26
5.1	Présentation générale.....	26
5.2	Objectifs principaux.....	26
5.3	Caractéristiques techniques.....	26
5.3.1	Architecture :.....	26
5.3.2	Table.....	26
5.3.3	Magasin :.....	27
5.4	Contrôle dimensionnel.....	27
5.4.1	Système compact de mesure outils 3D.....	27
5.4.2	Système compact de mesure pièce à déclenchement par contact.....	27
5.5	Caractéristiques des axes.....	28
5.5.1	Positionnement.....	28
5.5.2	Caractéristiques Souhaitées.....	28
5.5.3	Volume usinable.....	28
5.6	Asservissement thermique.....	28
5.6.1	Gestion de l'asservissement thermique.....	28
5.6.2	Echangeur de chaleur.....	28
5.7	Caractéristiques de la broche.....	29
5.7.1	Vitesse et couple.....	29
5.7.2	Attachements.....	29
5.8	Caractéristiques des 4 ^{ème} et 5 ^{ème} axe.....	30
5.9	Magasin outils.....	30
5.10	Lubrification.....	30
5.11	Filtration du liquide de coupe.....	30
5.12	Récupération des copeaux.....	31
5.13	Bâti.....	31
5.13.1	Dimensions et poids.....	31
5.13.2	Encombrement de transport :.....	31
5.14	Energies.....	31
5.14.1	Puissance électricité :.....	31
5.14.2	Pneumatique.....	31
5.14.3	Alimentation en eau réfrigérée.....	32
5.14.4	Système d'aspiration.....	32
5.15	Commande Numérique.....	32
5.15.1	Directeur de commande.....	32

5.15.2	Programmation.....	33
5.15.3	Cycles d'usinage.....	33
5.16	Sécurité.....	33
5.16.1	Carters.....	33
5.16.2	Protection des éléments mobiles.....	34
5.16.3	Protection des éléments de transmission de mouvement et de guidage.....	34
5.16.4	Limitation d'effort.....	34
5.16.5	Serrage du porte-outil.....	34
5.16.6	Séparation électrique puissance contrôle.....	35
5.16.7	Arrêt d'urgence.....	35
5.17	Équipements divers.....	35
5.18	Formation.....	35
5.19	Installation et livraison.....	35
5.20	Visite sur site.....	35
5.21	Maintenance.....	36
5.22	Plan d'essai et recette.....	36
5.22.1	Plan d'essai.....	36
5.22.2	Recette.....	36
5.22.3	Garantie.....	36
5.23	Prestation Supplémentaires Eventuelles :.....	36
5.24	Références produit.....	38

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 :

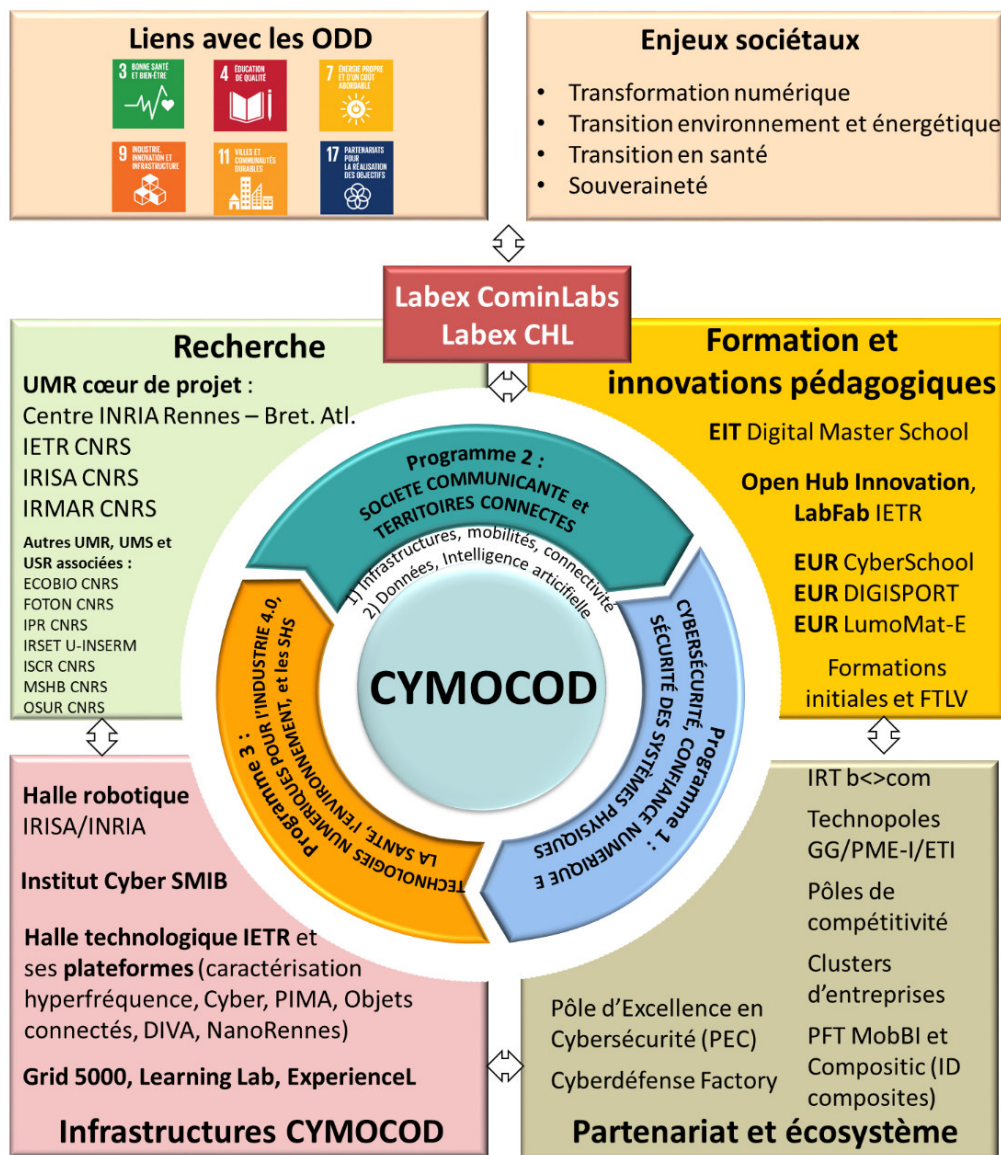
- Programme RFI-1 : Cyber-systèmes, Cyber-sécurité, Confiance numérique, et Sécurité des systèmes physiques. Ce programme inclut le Centre de Cyber-sécurité Rennes-Bretagne SMIB « Sécurité Made In Breizh ».
- o Programme RFI-2 : Société communicante et territoires connectés. Il comporte deux axes principaux : 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, facilitant ainsi le déploiement de l'EUR CyberSchool.

- 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 prototypages 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.

2 Conditions communes aux lots 1 et 2

NB : Saufs mentions explicites dans les descriptifs des lots 1 et 2 de la présente consultation, 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 pour le lot 1 et au minimum de 3 ans pour le lot 2 (sans compter les 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 des candidats 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 : Système de bras robotisé pour la mesure d'antennes	1 an	10 mois	IETR – Campus Beaulieu bât. 11C - Avenue du Général Leclerc - 35042 Rennes
Lot n°2 : Cellule de prototypage de précision pour systèmes et échantillons de dimensions réduites, à géométrie complexe	3 ans	6 mois	IETR – Campus Beaulieu bât. 11C - Avenue du Général Leclerc – 35042 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.

2.8 Synthèse des offres

Une synthèse des offres sera rédigée prenant en compte les caractéristiques techniques de l'équipement (inclus son évolutivité), le SAV, ainsi que la proposition financière.

La règle de notation sera basée sur les ratios suivants :

	Financier	Technique	Qualité de services du fournisseur*	Délai de livraison
Lot 1	40%	50%	5%	5%
Lot 2	40%	50%	5%	5%

*Qualité de services du fournisseur** : service après-vente, disponibilité des pièces détachées etc

3 Lot n°1 : Système de bras robotisé pour la mesure d'antennes (CyMoCoD phase 4c)

3.1 Contexte du projet

Les systèmes de mesures objets de cet appel d'offres doivent permettre un positionnement de sondes de mesure ou d'illumination à proximité des objets à tester. L'objectif est de pouvoir caractériser des systèmes ne pouvant être manipulés aisément de par leur poids ou leur environnement (cas des antennes sur porteurs). L'utilisation de bras robotisés dotés de sondes de mesures et/ou illumination permet ainsi d'adapter le système de mesure à l'objet à tester, en termes de grille d'échantillonnage, mais également en terme logistique en pouvant développer la procédure de mesure autour de l'objet et non en amenant l'objet dans le système de mesure.

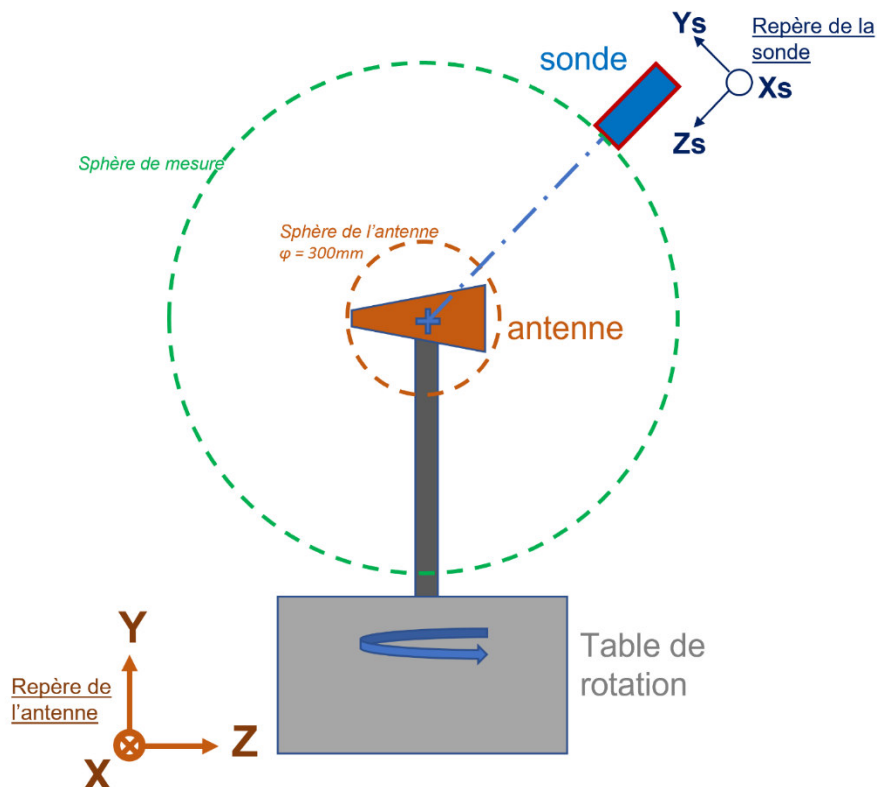
3.2 Plateforme technologique M²ARS

Les équipements objets de cet appel d'offres seront intégrés à la plateforme technologique M²ARS.

M²ARS (Manufacturing Measurement Analysis of Radiating Systems) 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. Elle 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.

3.3 Présentation du projet et objectif scientifique

Les systèmes de mesures visés sont basés sur l'utilisation de bras robotisés pour localiser une sonde de mesure électro-magnétique à proximité des objets à tester. Le bras robotisé doit permettre le positionnement d'une sonde cylindrique autour d'une antenne.



Durant une mesure, la sonde se déplace à des positions linéaires et angulaires définies à l'avance dans un fichier .txt ou .csv. L'ensemble de ces positions constitue une grille de mesure définie sur une surface appelée surface de mesure, qui englobe le volume de test. Les distances entre les points de la grille de mesure peuvent être constantes (grille régulière) ou non (grille irrégulière). Aucun objet (sonde, bras robotisé) ne doit *jamaïs* pénétrer dans le volume de test. La section de la sonde de mesure est tangente à la surface de mesure en tout point de la grille de mesure.

La sonde de mesure est connectée à un analyseur qui enregistre les valeurs de champs électromagnétiques pour chaque position.

4 Spécificité des mesures à réaliser

Contraintes imposées pour la sonde de mesure

Les mesures qui seront réalisées avec le système de bras robotisé sont des mesures du champ électromagnétique rayonné par l'antenne sous test. Pour ce faire, une sonde de mesure est positionnée par le bras robotisé à des positions définies, en respectant des contraintes d'orientations de cette sonde. Cette sonde peut être représentée par un cylindre placé à l'extrémité du bras robotisé.

Les contraintes de la sonde sont les suivantes :

- Les sections circulaires du cylindre vont correspondre respectivement à l'interface mécanique de montage sur le poignet du bras robotisé, et à la surface de mesure du champ électromagnétique.
- La section circulaire de mesure du champ doit demeurer tangentielle à la surface de mesure.
- La section circulaire de mesure du champ est dotée d'un repère géométrique qui lui est propre (repère outil d'axe z normale sortante à la section circulaire). Ce repère outil doit pouvoir tourner autour de son axe z, cet axe z étant normal à la surface de mesure.

Contraintes de déplacement de la sonde de mesure

Les mesures effectuées peuvent se faire :

- En positionné : pour chaque point de mesure, la sonde de mesure est positionnée et arrêtée pour réaliser la mesure. Lorsque la mesure est achevée, la sonde est déplacée pour être positionnée sur le point suivant.
- En continu : la sonde de mesure est déplacée de manière continue pour passer par chaque point de mesure, la mesure étant lancée par un signal émis lorsque la sonde atteint le point de mesure courant. Pour ce mode de fonctionnement, une attention particulière doit être apportée aux trajectoires du robot pour minimiser les variations brusques d'accélération et de vitesses. Le candidat spécifiera les types de trajectoires (type et ordre des polynômes utilisés) utilisées et les incidences sur les variations d'accélération.

4.1.1 Surface de mesure

La surface de mesure peut prendre des formes complexes ou canoniques (plan, cylindre, sphère, etc). Dans le présent document, afin de dimensionner au mieux le système et permettre une première utilisation rapide, la forme de la surface de mesure retenue est la sphère. Par la suite, les utilisateurs implémenteront d'autres formes géométriques.

Pour donner plus de liberté de mouvement relatif de la sonde de mesure par rapport à l'objet sous test, l'adjonction de tables de translation additionnelles seraient particulièrement intéressantes que ce soit pour le bras robotisé lui-même, ou pour la table de rotation qui lui est liée.

Ces tables de translation devront être de grandes précisions pour assurer la répétabilité et/ou la précision de positionnement de la sonde. Ces tables pourront être colinéaires et/ou perpendiculaires à l'axe de translation de la chambre anéchoïque.

4.1.2 Hybridation des moyens de mesures

De plus, le bras robotisé pourra également être utilisé avec les systèmes déjà présents dans la chambre anéchoïque : un scanner champ proche planaire est localisé au niveau du pignon ouest de la chambre ; une base compacte est localisée au niveau du pignon est de la chambre. Il est à noter que la table de rotation liée au bras robotisé sera localisée entre le bras robotisé et la base compacte, et que l'axe gisement lié au scanner champ proche est localisé entre le bras robotisé et le scanner champ proche.

Pour ce type d'utilisation hybride, les déplacements de la sonde pourront se faire sur des formes géométriques simples (plan, partie de sphère, partie de cylindre) ou plus complexes.

Utilisation conjointe avec le scanner champ proche

Le bras robotisé pourra être utilisé conjointement avec le scanner champ proche. Dans ce cas l'objet sous test sera placé sur l'axe de rotation gisement du scanner. Le bras robotisé sera alors utilisé pour déplacer une sonde de mesure à proximité de cet objet. Cette configuration nécessitera l'utilisation du bras robotisé à l'opposé de la table de rotation qui lui est liée.

Utilisation conjointe avec la base compacte

Le bras robotisé pourra être utilisé conjointement avec la base compacte. Dans ce cas l'objet sous test sera placé sur la table de rotation liée au bras robotisé. Cette table de rotation devra être localisée à un endroit spécifique de la chambre pour que l'objet soit situé dans la zone tranquille de la base compacte. Cette configuration nécessitera un déplacement de la table de rotation et du bras robotisé sur l'axe de translation de la chambre.

4.1.3 Configuration du robot

Le système de bras robotisé est localisé dans une chambre anéchoïque dotée d'autres systèmes de mesures. Lorsqu'un unique système de mesure est utilisé, les autres ne doivent pas interférer. Cette contrainte signifie pour le bras robotisé :

- L'utilisation d'une position de parage la plus compacte possible : bras replié sur lui-même : minimisation de la taille des éléments mécaniques annexes.
- La mise en place d'éléments de masquage des éléments du système (bras robotisé et tables additionnelles).

Ces contraintes spécifiques, considérées conjointement avec les utilisations hybrides exposées précédemment conduisent à imposer un positionnement floor du bras robotisé, sur un piédestal.

Les éléments de masquage électro-magnétique ne sont pas inclus dans le lot. Cependant, le candidat pourra les proposer en Prestation Supplémentaire Eventuelle libre.

4.1.4 Tracker Laser :

Un tracker laser pourra être utilisé pour suivre le déplacement de la sonde et enregistrer les positions de la sonde lors des mesures d'antennes, ou en amont des mesures d'antennes.

Les mesures de positions en amont des mesures d'antennes seront utilisées pour faire un relevé d'erreur ou procéder à un apprentissage des positions à atteindre et produire les positions corrigées.

Les mesures de positions lors des mesures d'antennes seront utilisées pour faire un relevé d'erreur ou procéder à une rectification pour atteindre les positions de la sonde de mesures.

4.1.5 Sécurité

Les normes de sécurité à respecter respecteront a minima les recommandation de la norme ISO 10218. Le candidat exposera ses recommandations, avec la possibilité d'ajouter ces éléments sous forme d'un Prestation Supplémentaire Eventuelle libre.

Les dispositifs de sécurité à mettre en place concernent notamment : un ou plusieurs arrêts d'urgence accessibles, des modes de fonctionnement sûrs (limitation de vitesse, limitation de couple, zones interdites programmées), une protection contre l'accès à la zone dangereuse, l'identification des dangers mécaniques (collision avec les éléments de la chambre anéchoïque) et électriques.

4.1.6 Logistique

La livraison et l'installation des équipements sont à la charge du candidat retenu.

Une rampe d'accès extérieur au bâtiment permet d'acheminer les colis au Rez-de-chaussée haut de la halle technologique. Un système de palan est disponible pour soulever les caisses jusqu'à l'étage où se situe la chambre anéchoïque.

La taille des colis est limitée à : 1.1m x 2,5m x 1,6m (l x L x h)

Le poids des colis est limité à : 1400 kg.

La plateforme M²ARS est dotée de moyen de manutention : chariot élévateur électrique, gerbeur électrique, transpalettes manuels et électrique, grue manuelle.



Vue de l'entrée depuis le R+1 : trémie existante et vue de la poutre du palan.

4.2 Collaboration

L'acquisition de ce système de bras robotisé se place dans une action scientifique de développement de techniques de mesures du champ électro-magnétique mettant à profit la versatilité de positionnement apporté pour ce type de système de positionnement de la sonde de mesure. Les techniques visées concernent la caractérisation d'antenne, mais également la mesure de diffraction d'objet, ou la caractérisation de propagation à travers des objets de type radôme. Ces sujets sont d'intérêts pour des activités industriels relevant des domaines civils et militaires.

Dans ce contexte, la plateforme M²ARS est ouverte à des collaborations scientifiques pour répondre à des besoins industriels, ainsi qu'à des actions des démonstrations des équipements acquis pour des besoins de promotions.

Le candidat pourra inclure dans sa proposition en PSE libre, des propositions de moins-values liées à des actions de démonstrations des équipements (pour des tiers soumis aux règles des Zones à Régime Restrictif ou par des supports de communication) ou un accès aux équipements aux conditions appliquées pour les activités de recherche interne à l'IETR.

Les collaborations scientifiques nécessitant des contractualisations spécifiques pour définir les objectifs et éléments de propriétés intellectuelles, ne pourront pas être incluses dans ces PSE libre.

4.3 Equipement

Pour ce lot, le bras robotisé est positionné sur les rails d'une chambre anéchoïque. Il doit permettre le positionnement d'une sonde cylindrique autour d'une antenne fixée sur une table de rotation.

Ce lot comprend le bras robotisé et son système de contrôle, la table de rotation de l'antenne et la table de support du robot, les systèmes de sécurité, le transport et l'installation du matériel, le logiciel de simulation, le système de synchronisation avec les instruments de la chambre anéchoïque (analyseur, tracker laser, positionneur), la formation du personnel.

Durant l'installation du bras robotisé dans la chambre anéchoïque, seuls les absorbants du sol pourront être retirés. Par conséquent, aucune source de chaleur ou d'étincelle ne devra être émise pour éviter les risques d'incendies : les opérations de meulage et de soudure seront interdites et devront être réalisées dans une salle annexe.

4.4 Description et spécifications techniques du matériel

Les attentes techniques sont explicitées ci-dessous. Pour chacune de ces attentes le candidat fournira les capacités correspondant de l'équipement proposé au sein d'une matrice de compliance.

Éléments techniques obligatoires :

De par les spécificités explicitées précédemment, des éléments techniques sont considérés comme obligatoires.

Le non-respect des éléments techniques reportés ci-dessous est **éliminatoire** :

- Le bras robotisé doit être installé en position 'floor'.
- Le bras robotisé et la table de rotation doivent être localisés sur des chariots indépendants, se déplaçant sur les rails de la table de translation longitudinale de la chambre anéchoïque IDEM. Les rails de l'axe de translation de la chambre anéchoïque supportent une pression $P \approx 1000 \text{ kg / m}^2$.
- L'axe de la sonde de mesure est confondu avec l'axe de rotation n°6 (axe poignet 3) du bras robotisé (ie l'axe de rotation du poignet terminal est normal à la sphère devant être échantillonnée).
- Définition des zones d'exclusion du robot : les zones d'exclusions devront pouvoir être définies par des plans à ne pas dépasser (cas des murs, sol et plafond par exemple), et des volumes simples (sphère, cylindre, parallélépipède, cône).
- Le bras robotisé ou l'ensemble bras robotisé/table de rotation doivent générer des signaux permettant leurs synchronisations avec les instruments de la chambre anéchoïque :

synchronisation avec les chaînes de mesures RF, synchronisation avec le tracker laser, etc. Le candidat spécifiera les types de signaux qui seront délivrés.

- Une matrice de compliance sera fournie.

Eléments techniques souhaités :

Le tableau ci-dessous définit l'ensemble des caractéristiques souhaitées. *Le non-respect de ces caractéristiques n'est pas éliminatoire, mais il en sera tenu compte lors de l'analyse technique des propositions.*

Fonctionnalités	Spécificités
<u>Sphère de mesure :</u>	
Diamètre de la sphère de mesure	≥ 1000 mm
Diamètre de la sphère d'antenne	≤ 300 mm
Position du centre des sphères	* Hauteur : 2 m (par rapport au sol de la chambre) Selon un axe perpendiculaire au plan des rails de translation de la chambre anéchoïque, à l'aplomb de l'axe de symétrie longitudinal des rails de translation de la chambre anéchoïque
Positions des mesures	* Différentes pour chaque antenne * Définies dans un fichier .csv ou .txt * Pas des mesures irréguliers
Résolution spatiale (Distance entre chaque position)	≤ 1 mm
Précision	$\leq 0,2$ mm (la meilleure possible)
Précision angulaire du poignet	$\leq 0,1^\circ$
Répétabilité	$\leq \pm 0,05$ mm
Table de rotation de l'antenne	(à fournir avec le robot) Répétabilité angulaire $< 0.01^\circ$ (bidirectionnelle ?) Précision angulaire : $\leq 0.01^\circ$ Excentricité : $< 50\mu\text{m}$ Voile : ± 40 μrad Charge normale maximale : 200kg * joint tournant hyperfréquence dans la table de rotation pour des rotations infinies
<u>Sonde de mesure :</u>	
Le bras robotisé devra être capable de supporter une sonde telle que décrite ci-dessous	
Sonde à fixer au bout du bras	Cylindrique
Longueur de la sonde	200 mm
Section de la sonde	Diamètre = 400 mm

Masse maximale de la sonde	4 kg
Position de la sonde par rapport aux sphères	Section circulaire tangentielle aux sphères
Déplacement de la sonde	Rotation à 360° autour de l'axe Zs
<u>Positionnement du bras robotisé :</u>	
Dimensions de la chambre anéchoïque où sera placé le robot (en tenant compte des absorbants, rails non inclus)	3,4 m (largeur) * 3,7m (hauteur) * 14 m (longueur)
Encombrement maximal du système pour une sphère de mesure de 1000mm	Dimensions maximales : - Empreinte au sol du chariot sur rails : 0,85 m (L) x 0,80 m (l). - Hauteur : 3.7m (Rails non inclus) Hauteur des rails : 20 cm
Placement du robot	Robot et table de rotation localisés sur des chariots indépendants, se déplaçant sur les rails de la table de translation longitudinale de la chambre anéchoïque IDEM. Les rails de l'axe de translation de la chambre anéchoïque supportent une pression $P \approx 1000 \text{ kg} / \text{m}^2$. La référence des patins à utiliser est : ARC35-MN-SZ-V0-N
Déplacement longitudinal du robot	Oui Déplacement <i>a minima</i> manuel des chariots du bras robotisé et de la table de rotation.
Table de fixation du robot	À fournir avec le robot
<u>Autres fonctionnalités :</u>	
Transport, livraison, installation du matériel	à la charge de l'intégrateur
Communication Ethernet IP pour Synchronisation avec les différents instruments de la chambre : analyseur de réseaux vectoriel, positionneurs	Le bras robotisé devra être capable d'échanger des trames Ethernet IP avec d'autres instruments de mesure. Ex : Envoi d'une trame IP à l'arrivée sur un point, pour déclencher la mesure de ce point via un autre instrument.
Enregistrement d'un fichier de positions de la sonde	L'enregistrement aura lieu <i>a minima</i> en fin de mesure. Un enregistrement en cours de mesures serait d'intérêt pour des analyses en cas d'arrêts en cours de mesures. Elle comprendra les coordonnées $[X_s, Y_s, Z_s, R_{X_s}, R_{Y_s}, R_{Z_s}]$ de la sonde durant la mesure et l'angle de rotation de l'antenne.
Lecture des positions avec un tracker laser (LEICA AT960)	Pour chaque position du robot, le tracker devra recevoir une trame Ethernet IP pour réaliser la mesure de la position réelle du robot.
Fourniture d'une simulation numérique du projet	Le bon fonctionnement du système sera validé par une simulation logicielle

Logiciel de simulation + licence	Une première mise à jour sera incluse
Formation de base en langue française	Cette formation sera proposée avant la livraison du robot. Elle doit comprendre au minimum : une présentation des bras robotisés, la présentation du fonctionnement du bras robotisé de ce lot, une formation « opérateur » et une formation « maintenance » pour le bras robotisé de ce lot, la présentation du logiciel de simulation. Nombre de participants à la formation : 4
Formation avancée en langue française	Cette formation sera proposée après la livraison du robot. Elle doit comprendre au minimum : la structuration des données et des programmes, la configuration, la programmation et la simulation des trajectoires avancées, la communication entre les organes du système installé. Nombre de participants à la formation : 4

4.5 Prestations Supplémentaires Eventuelles

Les Prestations Supplémentaires Eventuelles vont concerner l'équipement décrit ci-dessus, ainsi que la fourniture d'un équipement supplémentaire aux caractéristiques géométriques réduites.

4.5.1 Prestations Supplémentaires Eventuelles de l'équipement de base

N° PSE	
PSE1	<i>Passage des câbles</i> du bras robotisé et de la sonde à l'intérieur du bras robotisé
Evolutions du chariot sur lequel est installé le robot	
PSE2	<i>Déplacement automatisé des chariots</i> (la précision de positionnement sera fournie)
PSE3	<i>Table de translation motorisée supplémentaire pour le bras robotisé</i> : adjonction d'une table de translation de précision entre le bras robotisé et le chariot. Cette table pourra être longitudinale ou transversale. Les précisions de positionnement seront fournies Cette table de de translation supplémentaire doit permettre au bras robotisé d'atteindre les positions imposées de la surface de mesure tout en respectant les contraintes techniques (encombrement maximal du système lié aux dimensions de la chambre anéchoïque).
PSE4	<i>Table de translation motorisée supplémentaire pour la table de rotation</i> : adjonction d'une table de translation de précision entre le bras robotisé et le chariot. Cette table pourra être longitudinale ou transversale. Les précisions de positionnement seront fournies. Cette table de de translation supplémentaire doit permettre au bras robotisé d'atteindre les positions imposées de la surface de mesure tout en respectant les contraintes techniques (encombrement maximal du système lié aux dimensions de la chambre anéchoïque).
PSE5	Boucle de rétroaction entre le bras robotisé et le tracker laser
PSE6	<i>Signaux TTL</i> : Envoi de signaux TTL par le bras robotisé
Outils de simulation	
PSE7	<i>Logiciel de simulation et formation avancée</i> : Logiciel de simulation + licence

	pour un deuxième poste informatique + formation lors de la formation avancée
PSE8	<i>Simulation de trajectoire</i> : Simulation de la trajectoire du bras robotisé et de la sonde grâce à un fichier de positions dans le logiciel de simulation
Interface Homme Machine	
PSE9	Modification de la taille de la sonde.
PSE10	Modification de la dimension de la sphère.
PSE11	Visualisation de la position du bras robotisé en temps réel
PSE12	Visualisation des données de position du fichier de trajectoire
PSE13	Visualisation de l'estimation du temps de parcours de la trajectoire
PSE14	Transfert du fichier de positions dans l'Interface Homme Machine
PSE15	Ecriture et définition d'un fichier de positions dans l'Interface Homme Machine
PSE16	<i>Enregistrement des positions en cours de mesure</i> : Enregistrement d'un fichier de comprenant les coordonnées [XS, YS, ZS, RxS, RyS, RzS] de la sonde lues par le tracker laser durant la mesure et l'angle de rotation de l'antenne.
PSE17	Déplacement de la sonde avec l'Interface Homme Machine en entrant ses coordonnées linéaires et angulaires
Formation	
PSE18	Formation de base en langue française pour 2 personnes supplémentaires
PSE19	Formation avancée en langue française pour 2 personnes supplémentaires
Extension de garantie	
PSE20	Garantie pièce et main d'œuvres 3 ans
PSE21	Garantie pièce et main d'œuvres 5 ans

4.5.2 PSE 22 : Fourniture d'un bras robotisé supplémentaire pour la mesure d'une sphère de 500 mm de diamètre, hors chambre anéchoïque

Equipement

Pour cette Prestation Supplémentaire Eventuelle, le bras robotisé est positionné dans la salle de contrôle de la chambre anéchoïque mentionnée précédemment. Il doit permettre le positionnement d'une sonde cylindrique autour d'une antenne fixée sur une table de rotation.

Ce lot comprend le bras robotisé et son système de contrôle, la table de rotation de l'antenne et la table de support du robot, les systèmes de sécurité, l'aménagement de salle, le transport du matériel, le logiciel de simulation, le système de synchronisation avec les instruments de la chambre anéchoïque (analyseur, tracker laser, positionneur), la formation du personnel.

Description et spécifications techniques du matériel

Les attentes techniques sont explicitées ci-dessous. Pour chacune de ces attentes le candidat fournira les capacités correspondant de l'équipement proposé au sein d'une matrice de compliance.

Eléments techniques obligatoires :

Le non-respect des éléments techniques reportés ci-dessous est **éliminatoire** :

- Le bras robotisé doit être installé en position 'floor'.

- L'axe de la sonde de mesure est confondu avec l'axe de rotation du poignet 3 du bras robotisé (ie l'axe de rotation du poignet terminal est normal à la sphère devant être échantillonnée).
- Définition des zones d'exclusion du robot : les zones d'exclusions devront pouvoir être définies par des plans à ne pas dépasser (cas des murs, sol et plafond par exemple), et des volumes simples (sphère, cylindre, parallélépipède, cône).
- Le bras robotisé ou l'ensemble bras robotisé/table de rotation doivent générer des signaux permettant leurs synchronisations avec les instruments de la chambre anéchoïque : synchronisation avec les chaînes de mesures RF, synchronisation avec le tracker laser, etc. Le candidat spécifiera les types de signaux qui seront délivrés.
- Une matrice de compliance sera fournie.

Eléments techniques souhaités :

Le tableau ci-dessous définit l'ensemble des caractéristiques indispensables à la bonne conformité de l'équipement. ***Le non-respect de ces caractéristiques n'est pas éliminatoire, mais il en sera tenu compte lors de l'analyse technique des propositions.***

Afin de faciliter les développements futurs et optimiser les développements de programmation réalisés pour l'équipement de base, ce second bras devra être de la même marque que celle de l'équipement de base.

Fonctionnalités	Spécificités
<u>Sphère de mesure :</u>	
Diamètre de la sphère de mesure	500 mm
Diamètre de la sphère d'antenne	300 mm
Hauteur du centre des sphères	De 0,9 m à 1,5 m
Positions des mesures	* Différentes pour chaque antenne * Définies dans un fichier .csv ou .txt * Pas des mesures irréguliers
Résolution spatiale (Distance entre chaque position)	≤ 1 mm
Précision	$\leq 0,2$ mm (la meilleure possible)
Précision angulaire du poignet	$\leq 0,1^\circ$
Répétabilité linéaire	$\leq \pm 0,05$ mm
Table de rotation de l'antenne	* à fournir avec le robot * répétabilité angulaire $< 0.01^\circ$ (bidirectionnelle ?) * Précision angulaire : $\leq 0.01^\circ$ * Excentricité : $< 50\mu\text{m}$ * Voile : ± 40 μrad * Charge normale maximale : 50kg * emplacement pour joint tournant hyperfréquence dans la table de rotation pour des rotations infinies
<u>Sonde de mesure :</u>	
Le bras robotisé devra être capable de supporter une sonde telle que décrite ci-dessous	
Sonde à fixer au bout du bras	Cylindrique

Longueur de la sonde	350 mm
Section de la sonde	100 mm * 100 mm
Masse de la sonde	2 kg à 4 kg
Position de la sonde par rapport aux sphères	Section tangentielle aux sphères
Déplacement de la sonde	Rotation à 360° autour de l'axe Zs
<u>Positionnement du bras robotisé :</u>	
Dimensions de la salle (l * L * H) hors absorbants	3 m * 3 m * 3,1 m
Dimensions de la zone de mesure (l * L * H)	2,4 m * 2,4 m * 3,1 m
Placement du robot	A l'horizontale (« floor ») Dalle béton (P = 800 kg / m²)
Table de fixation du robot	À fournir avec le robot
<u>Autres fonctionnalités :</u>	
Installation et cartérisation d'une salle	Dimensions de la salle : 3 m (L) * 3 m (l) Cartérisation avec des grilles ou des plaques polycarbonate d'une hauteur maximale de 2,30m. Les absorbants et leur pose seront à la charge du laboratoire. Il n'y aura pas d'absorbants au sol, ni au plafond.
Armoire électrique	Profondeur < 70 cm Possibilité de la déporter dans la salle de contrôle (prévoir les systèmes de sécurité liés au passage des câbles)
Transport, livraison, installation du matériel	A la charge de l'intégrateur
Communication Ethernet IP pour Synchronisation avec les différents instruments de la chambre : analyseur de réseaux vectoriel, positionneurs	Le bras robotisé devra être capable d'échanger des trames Ethernet IP avec d'autres instruments de mesure. Ex : Envoi d'une trame IP à l'arrivée sur un point, pour déclencher la mesure de ce point via un autre instrument.
Enregistrement d'un fichier de positions de la sonde	L'enregistrement aura lieu en fin de mesure. Elle comprendra les coordonnées [X _s , Y _s , Z _s , R _{x_s} , R _{y_s} , R _{z_s}] de la sonde durant la mesure et l'angle de rotation de l'antenne.
Lecture des positions avec un tracker laser (LEICA AT960)	Pour chaque position du robot, le tracker devra recevoir une commande IP pour réaliser la mesure de la position réelle du robot.
Fourniture d'une simulation numérique du projet	Le bon fonctionnement du système sera validé par une simulation logicielle
Logiciel de simulation + licence	Une première mise à jour sera incluse
Formation de base en langue française	Cette formation sera proposée avant la livraison du

	robot. Elle doit comprendre au minimum : une présentation des bras robotisés, la présentation du fonctionnement du bras robotisé de ce lot, une formation « opérateur » et une formation « maintenance » pour le bras robotisé de ce lot, la présentation du logiciel de simulation. Nombre de participants à la formation : 4
Formation avancée en langue française	Cette formation sera proposée après la livraison du robot Elle doit comprendre au minimum : la structuration des données et des programmes, la configuration, la programmation et la simulation des trajectoires avancées, la communication entre les organes du système installé. Nombre de participants à la formation : 4

4.5.3 Sécurité

Les normes de sécurité à respecter respecteront a minima les recommandation de la norme ISO 10218. Le candidat exposera ses recommandations, avec la possibilité d'ajouter ces éléments sous forme d'un Prestation Supplémentaire Eventuelle libre.

Les dispositifs de sécurité à mettre en place concernent notamment : un ou plusieurs arrêts d'urgence accessibles, des modes de fonctionnement sûrs (limitation de vitesse, limitation de couple, zones interdites programmées), une protection contre l'accès à la zone dangereuse, l'identification des dangers mécaniques (collision avec les éléments de la chambre anéchoïque) et électriques.

4.5.4 Prestations Supplémentaires Eventuelles du bras robotisé supplémentaire

N° Prestation Supplémentaire Eventuelle	
PSE 22.1	Passage des câbles du bras robotisé et de la sonde à l'intérieur du bras robotisé
PSE 22.2	<i>Table de translation pour le bras robotisé</i> : course de 500mm, précision <0.1mm, répétabilité bidirectionnelle <0.05mm
PSE 22.3	<i>Table de translation pour la table de rotation</i> : course de 500mm, précision <0.1mm, répétabilité bidirectionnelle <0.05mm NB : les tables des PSE21.2 et PSE21.3 peuvent être colinéaires ou orthogonales.
PSE 22.4	Intégration de l'armoire électrique au sein de celle de l'équipement de base
PSE 22.5	Boucle de rétroaction entre le bras robotisé et le tracker laser
PSE 22.6	Envoi de signaux TTL par le bras robotisé
Outils de simulation	
PSE 22.7	Logiciel de simulation + licence pour un deuxième poste informatique + formation lors de la formation avancée
PSE 22.8	Simulation de la trajectoire du bras robotisé et de la sonde grâce un fichier de positions dans le logiciel de simulation
Interface Homme Machine	

PSE 22.9	Modification de la taille de la sonde
PSE 22.10	Modification de la dimension de la sphère
PSE 22.11	Visualisation de la position du bras robotisé en temps réel
PSE 22.12	Visualisation des données de position du fichier de trajectoire
PSE 22.13	Visualisation de l'estimation du temps de parcours de la trajectoire
PSE 22.14	Transfert du fichier de positions dans l'Interface Homme Machine
PSE 22.15	Ecriture et définition d'un fichier de positions dans l'Interface Homme Machine
PSE 22.16	Enregistrement d'un fichier de comprenant les coordonnées [XS, YS, ZS, RxS, RyS, RzS] de la sonde lues par le tracker laser durant la mesure et l'angle de rotation de l'antenne.
PSE 22.17	Déplacement de la sonde avec l'Interface Homme Machine en entrant ses coordonnées linéaires et angulaires
Formation	
PSE 22.18	Formation de base en langue française pour 2 personnes supplémentaires
PSE 22.19	Formation avancée en langue française pour 2 personnes supplémentaires
Extension de garantie	
PSE 22.20	Garantie pièce et main d'œuvres 3 ans
PSE 22.21	Garantie pièce et main d'œuvres 5 ans

4.6 Démonstration, recette, documentation

4.6.1 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 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.

4.6.2 Visite avant réponse à l'appel d'offre

Les candidats souhaitant répondre à cet appel d'offre devront au préalable se rendre sur le site de l'IETR, pour visualiser les installations déjà présentes et identifier les contraintes techniques et logistiques liées à ces installations. **Cette visite est obligatoire. Une réponse à cet appel d'offre sans visite préalable sera rejetée.**

La visite obligatoire pour le lot 1 aura lieu à l'adresse suivante :

**IETR
Campus Beaulieu**

Bâtiment 11C
Avenue du Général Leclerc
35042 - Rennes

4.6.3 Recette des équipements

La recette des équipements se fera en trois phases :

- une validation des plans finaux des assemblages mécaniques et des installations,
- une recette à l'issue de la fabrication,
- une recette à l'issue de l'installation.

Recette pré-étude : L'établissement des plans des assemblages mécaniques et des installations se fera suite à une visite sur site. Cette visite à l'IETR devra permettre aux prestataires de finaliser les dimensionnements mécaniques et affiner les aspects logistiques qui devront être explicités avec les plans d'installations. La validation de ces plans servira de t0 à la phase de réalisation des assemblages mécaniques.

Sur site de fabrication : La PRE-RECEPTION sur le site de fabrication vérifiera la fonctionnalité de l'équipement, elle comportera une démonstration et la validation des procédés selon le plan de recette usine. Le plan de recette usine est défini par lot. Cette recette sera basée sur les capacités du bras robotisé à suivre les positions définies dans un fichier type fourni par la Plateforme M²ARS. Cette recette se fera tout ou partie en présence de personnels de la plateforme M²ARS. Un rapport de recette sera produit par le fournisseur et transmis au responsable scientifique du présent projet pour validation.

A l'université de Rennes – Plateforme M²ARS : La RECEPTION DEFINITIVE sur le site de la plateforme M²ARS de l'université de Rennes-IETR comportera une démonstration et la validation des performances de l'équipement selon un plan de recette (plan de recette site) définie par lot. Cette recette sera basée sur les capacités du bras robotisé à suivre les positions définies dans un fichier type fourni par la Plateforme M²ARS. Cette recette sera transmise à la plateforme M²ARS. Cette recette se fera tout ou partie en présence de personnels de la plateforme M²ARS. Un rapport de recette sera produit par le fournisseur et transmis au responsable scientifique du présent projet pour validation.

4.6.4 Documentation

Les documents suivants pourront être fournis sur demandes des candidats :

- Fichier step de la chambre anéchoïque
- La datasheet du tracker laser qui pourra être mis à disposition lors de l'installation.

4.7 Evolutivité 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 mesure 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.

Une attention particulière sera portée sur l'évolutivité des systèmes présentés (évolutivité technique et logicielle).

4.8 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 (à l'exception des extensions supplémentaires optionnelles décrites pour le présent lot).

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.

4.9 Livraison et installation du matériel

Sauf exception le délai maximal pour la livraison du matériel est de 10 mois.

Le transport, la livraison, l'installation du matériel et les frais de douane seront à la charge des candidats et seront de leur responsabilité.

Au sein de la halle technologique de la plateforme M²ARS, un ascenseur pouvant supporter un poids maximal de 630 kg et un volume de 1,1 m (largeur) * 2,15 m (hauteur) * 1,4 m (profondeur) (la porte coulissante mesurant 0,9 m * 2 m) sera mis à disposition. Selon le chemin de circulation pris pour utiliser l'ascenseur, les dalles bétons peuvent supporter des charges maximales allant de 250 kg/m² à 600 kg/m². Les locaux d'installation des équipements supportent une charge au sol de 600kg/m².

Au sein du bâtiment 11C, un monte-charge pouvant supporter 1000 kg sera également mis à disposition ; la limitation en taille sera alors de 1,4 m (l) * 2 m (h). Les dalles béton des circulations allant au monte-charge peuvent supporter une charge maximale de 250 kg/m².

Un tracker laser pourra être mis à disposition au moment de l'installation du matériel. Les plans des salles d'installation et de leurs éléments seront fournis sur demande des candidats. Le matériel sera installé dans une zone à régime restrictif (ZRR) dans le cadre de la protection du potentiel scientifique et technique de l'IETR. L'installation devra inclure à minima une demi-journée d'explications détaillées sur le fonctionnement du système installé.

Des réunions de suivi de projet seront organisées durant la période comprise entre le choix du candidat et la validation de la recette finale dans la plateforme M²ARS.

Toute intervention, par le titulaire ou par un de ses prestataires, devra respecter les règles d'accès à la ZRR, et être précédée par l'établissement d'un plan d'intervention.

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

Sauf mention explicite, l'adresse de livraison des équipements est la suivante :

**IETR,
Université de Rennes,
Campus Beaulieu,**

bâtiment11C

**Avenue du Général Leclerc
35042 RENNES cedex – France**

4.10 Synthèse des offres

Une synthèse des offres sera rédigée prenant en compte les caractéristiques techniques de l'équipement, son évolutivité, le SAV, ainsi que la proposition financière.

Sauf mention explicite spécifique à chaque lot, la règle de notation sera basée sur les ratios :

- 50% pour les caractéristiques techniques des équipements objets de cet appel d'offres,
- 40% pour la partie financière (base et Prestations Supplémentaires Eventuelles étudiées à périmètre égal),
- 5% pour le SAV (inclus les aspects maintenance et calibrage).
- 5% pour le délai de livraison.

4.11 Jalons de facturation

La facturation des candidats sélectionnés est basée sur les jalons suivants :

1. pré-étude des solutions : 10%
2. démonstration et validation de la recette sur site de fabrication : 20%
3. installation dans la plateforme M²ARS : 20%
4. démonstration et validation de la recette : solde

5 Lot n°2 - Cellule de prototypage de précision pour systèmes et échantillons de dimensions réduites, à géométrie complexe (CyMoCoD phase 5)

5.1 Présentation générale

L'acquisition de cette cellule de prototypage vise à répondre aux besoins de réalisation de pièces 3D complexes, de dimensions réduites avec des usinages inférieurs au millimètre en matériaux très tendres (polymères, téflon, mousse, ...) ou non-ferreux (cuivre, laiton, aluminium), avec une grande précision ($a_{\min} \pm 3 \mu\text{m}$ à 3σ). Cette demande est motivée par les contraintes fortes de réalisations de prototypes et échantillons utilisés comme éléments de validation d'actions de recherche.

5.2 Objectifs principaux

Les objectifs principaux visent à répondre à :

- Une complexité grandissante des besoins exprimés en termes de prototypage et système mécanique liés,
- De nouvelles exigences de précision de réalisation,
- Une nécessité de réaliser des formes de géométries complexes, des formes inférieures au millimètre.

Il est à noter que cet équipement doit pouvoir remplir les opérations de parachèvement des surfaces sur les prototypes fabriqués en impression 3D métallique pour en améliorer la rugosité.

5.3 Caractéristiques techniques

Cette partie définit l'ensemble des caractéristiques techniques intrinsèques demandées pour l'équipement objet du présent appel d'offres (centre d'usinage grande vitesse à commande numérique 5 axes avec changeur d'outils).

La machine sera conforme aux directives traduites dans les décrets N° 92-765 du 29 juillet 1992 et soumis aux obligations définies dans l'article L. 233-5 du code du travail.

Les caractéristiques sont données avec des limites **souhaitées**. Le respect des valeurs données sera notifié dans une matrice de compliance. L'écart, en positif ou en négatif, entre les caractéristiques souhaitées et les caractéristiques proposées par le fournisseur seront des éléments pris en compte lors de la phase d'analyse des offres.

5.3.1 Architecture :

Le centre d'usinage vertical devra avoir les courses minimales suivantes :

X : 200 mm

Y : 200 mm

Z : 200 mm

A ou B : $-10^\circ + 100^\circ$

C : Continu/360°

5.3.2 Table

La surface du plateau du 5ème axe devra être au minimum de 140 mm de diamètre et permettre l'installation d'une interface « point Zéro » assurant :

- L'installation de système de bridage avec une précision de répétabilité de $\pm 5 \mu\text{m}$,
- la compatibilité avec un étau de largeur 125 mm minimum avec une ouverture minimum de 125 mm ou avec un mandrin 3,4 ou 6 mors avec une plage d'ouverture allant *a minima* d'un $\varnothing 10$ mm à un $\varnothing 120$ mm .

Cette interface « Point Zéro » devra permettre l'installation d'un élément de calibration pour déterminer les axes de rotation et pivot par palpée.

5.3.3 Magasin :

- Le changement d'outil doit pouvoir être automatique par fonctions numériques.
- Le nombre de station minimum en magasin devra être de 24.
- La masse minimum admissible de l'outil devra être de 0.5kG.
- Le diamètre admissible des outils devra aller *a minima* jusqu'à 8 mm et la longueur maximale admissible des outils devra aller à minima jusqu'à 100 mm.
- Un accès par une porte à l'extérieur de la machine sera un atout non négligeable et s'il existe devra être mis en évidence.

5.4 Contrôle dimensionnel

5.4.1 Système compact de mesure outils 3D

La solution présentée devra permettre :

- *A minima* la mesure de longueur et de diamètre des outils mais aussi de vérifier le bris d'outil.
- De mesurer des outils dont le diamètre minimum sera de 0.05 mm.
- De mesurer le profil de l'outil mesuré (détermination *a minima* du rayon en cas d'outil torique ou hémisphérique)
- La solution sera à définir, soit à contact, soit laser, soit électrique ou encore optique mais la répétabilité sera définie en précisant le niveau d'incertitude (2, 3, 4 ou 6 sigmas). La précision à 2σ de répétabilité inférieure à 1 μm .

5.4.2 Système compact de mesure pièce à déclenchement par contact.

Un cycle de calibration / étalonnage devra être intégré dans la machine (CN) et permettre d'atteindre les précisions souhaitées. Le dit cycle devra être explicite, et paramétrable.

Le contrôle d'une pièce en 3D en cours d'usinage par le biais d'un cycle de mesure sera intégré à la commande numérique.

Un élément de calibration/étalonnage du palpeur type sphère étalonnée devra être fourni, son positionnement dans la machine devra permettre sa protection pour garantir son intégrité et donc la calibration selon les objectifs de précision attendus.

Deux palpeurs seront fournis comme suit :

- Une bille rubis de $\varnothing 0.2$ mm, le matériau de la tige sera du carbure de tungstène et la profondeur minimum de palpation de mesure 3 mm.

Pour garantir l'intégrité de ce stylet et du palpeur pendant les mesures, les efforts de déclenchement ne devront pas dépasser les valeurs suivantes :

- Palpage en Z : 0.1 N
- Palpage selon le plan XY : 0.05 N
- Précision de répétabilité maximum admissible 0.4 μm 2σ

- Une bille de $\varnothing 3$ mm, tige support : matériau céramique, longueur minimum de mesure 30 mm.

Pour garantir l'intégrité du stylet et du palpeur pendant les mesures, les efforts de déclenchement ne devront pas dépasser les valeurs suivantes :

- Palpage en Z : 3 N
- Palpage selon le plan XY : 0.1 N
- Précision de répétabilité maximum admissible 0.4 μm 2σ

Le type de communication du palpeur avec la CN sera défini et justifié. Deux jeux de batteries seront fournis avec chaque palpeur.

5.5 Caractéristiques des axes

5.5.1 Positionnement

La résolution de la Commande Numérique (CN) devra être au minimum de 0.1 μm .

La précision de positionnement admissible sur chacun des axes devra être *a minima* de $\pm 2 \mu\text{m}$ et la répétabilité de $\pm 1,5 \mu\text{m}$ à 3σ .

Le défaut maximum de précision devra être de $\pm 4 \mu\text{m}$ maximum en 3D. Il sera défini par le répondant.

Le niveau de confiance appliqué pour le calcul d'incertitudes sera précisé (niveau à 2,3, 4 ou 6 sigmas).

Le constructeur donnera le type de moteur et la technologie utilisée pour le guidage et l'entraînement des axes.

Les caractéristiques cinématiques et dynamiques seront des critères prépondérants.

Si les axes doivent être lubrifiés alors la lubrification sera automatique et la surveillance automatique devra permettre d'assurer la longévité et la qualité du guidage.

Pour garantir les précisions demandées, les axes devront être étalonnés par un mapping/tracking laser afin de compenser les défauts de rectitude des axes dont le rapport sera fourni, le répondant précisera si ce mapping est fait sur site après installation ou à l'usine.

5.5.2 Caractéristiques Souhaitées

Courses minimales :

- Axe X : 200 mm incrément minimum de déplacement 0.1 μm
- Axe Y : 200 mm incrément minimum de déplacement 0.1 μm
- Axe Z : 200 mm incrément minimum de déplacement 0.1 μm

Déplacements en vitesse travail :

- Vitesse de travail axe X m/min ≥ 10
- Vitesse de travail axe Y m/min ≥ 10
- Vitesse de travail axe Z m/min ≥ 10

Accélération maximale atteignable :

- Accélération Maximale axe X m/s² ≥ 8
- Accélération Maximale axe Y m/s² ≥ 8
- Accélération Maximale axe Z m/s² ≥ 8

5.5.3 Volume usinable

Le volume usinable en 5 axes devra être *a minima* de $\varnothing 120 \times 120 \text{ mm}^2$

5.6 Asservissement thermique

5.6.1 Gestion de l'asservissement thermique

Cette gestion doit garantir les exigences de précision définies cf1, elle doit intégrer des solutions qui permettent de palier les évolutions de température de chacun des sous-ensembles de la machine à savoir la broche, le bâti, les organes de guidage, les organes moteurs des déplacements

5.6.2 Echangeur de chaleur

Le candidat privilégiera une solution intégrant l'utilisation de l'eau réfrigérée disponible dont les caractéristiques sont définies cf 12.3 afin de limiter la consommation d'énergie. A défaut, il proposera une solution complète la moins énergivore.

Si le répondant choisit un raccordement à l'eau réfrigérée, il installera les tuyauteries en hauteur en les plaçant à 2 m du sol pour permettre le passage dessous (raccord disponible 20/27).

5.7 Caractéristiques de la broche

5.7.1 Vitesse et couple

- Broche grande vitesse : Le candidat précisera le type de broche (motorisation, paliers et les caractéristiques associées. Le candidat devra aussi indiquer le tarif d'une broche neuve, le délai de livraison et d'installation en cas de défaut quelle qu'en soit la raison. La broche devra permettre l'utilisation d'outils de diamètre allant depuis 0.05 mm jusqu'à 10 mm.
- Fréquence de rotation 40 000 tr/min minimum.
- Puissance en continu de la broche minimum 2 kW.
- Le couple de la broche sera défini par le répondant avec un minimum de 1.4 N.m.
- Les courbes de couple, de puissance en fonction de la vitesse de rotation seront impérativement fournies.
- Le tarif pour une fourniture de broche de remplacement sera défini et devra être respecté pour une durée de 3 ans.
- La température de broche sera asservie et cet asservissement devra permettre de garantir les caractéristiques de précision attendues.
- Un capteur de dilatation de broche serait un plus. Toute solution permettant de compenser les dilatations de broche et du bâti seront détaillées.
- Le contrôle vibratoire automatique de la broche pour détecter tout déséquilibre au-delà des tolérances de la machine serait très apprécié.

5.7.2 Attachements

Le candidat devra fournir le type d'attachement qu'il propose et le justifier.

- L'attachement devra être en surpression permanente pour éviter les éventuelles infiltrations.
- Le type d'attachement sera défini.
- Si l'arrosage au centre est possible, alors les attachements fournis devront le permettre.
- Le type de porte-outil fourni sera défini et justifié au regard des caractéristiques de précision demandées, à savoir serrage par mandrin à pince ou mandrin par frettage à froid. Ce système devra permettre le réglage du porte-à-faux des outils de façon précise. Dans le cas où le candidat définira un système par frettage à froid il intégrera à son offre un système de montage/démontage garantissant la concentricité à long terme des attachements.
- 15 mandrins équilibrés G2.5 DIN en fonction de la vitesse de rotation maximum de broche seront fournis avec 24 pinces/douilles dans les dimensions suivantes :
 - 3 pinces de Ø10 mm
 - 3 pinces de Ø8 mm
 - 7 pinces de Ø6 mm
 - 3 Pinces de Ø4 mm
 - 7 pinces de Ø3 mm
 - 1 pince de Ø2 mm
- Le répondant répartira le nombre des mandrins selon les longueurs (depuis la face d'appui de la broche) comme suit :
 - 5 porte-outils courts (longueur maximale 50 mm) pour les pinces jusqu'à Ø 6 mm
 - 2 porte-outils longs (longueur minimale 60 mm) pour les pinces jusqu'à Ø 10 mm
 - 5 porte-outils courts (longueur maximale 50 mm) pour les pinces jusqu'à Ø 6 mm

- 3 porte-outils longs (longueur minimale 60 mm) pour les pinces jusqu'à Ø 10 mm
- L'ensemble d'attachement choisi doit répondre aux exigences de concentricité suivantes :
 - Faux-rond souhaité inférieur à 2 µm au nez de pince
 - Faux-rond souhaité inférieur à 4 µm à une distance égale à quatre fois le diamètre de queue depuis le nez de pince.

Le candidat définira les caractéristiques de concentricité des attachements choisis.

5.8 Caractéristiques des 4^{ème} et 5^{ème} axe

Le berceau (4^{ème} axe) ou équivalent devra *a minima* pouvoir basculer de -10° jusqu'à 100° depuis la position dite Zéro mais une amplitude angulaire centrée est souhaitée. La force de serrage devra être *a minima* de 150N.m

Le cinquième axe devra permettre la rotation en continu sur *a minima* 360°, si le nombre de tours est limité alors la CN devra pouvoir en tenir compte, le post-processeur aussi. La force de serrage devra être *a minima* de 90N.m

5.9 Magasin outils

Le magasin outil devra être accessible par le biais d'une porte depuis l'extérieur de la machine. L'ouverture de cette porte devra interdire tout changement d'outil en automatique.

Le nombre de poste dans le magasin devra être *a minima* de 24.

On devra pouvoir accéder à tous les postes du magasin pour être en capacité de contrôler ou encore nettoyer les outils.

5.10 Lubrification

La lubrification proposée devra permettre l'usinage des alliages d'aluminium et des laitons. Pour l'usinage des mousses et plastiques, une lubrification par jet d'air comprimé est souhaitée dès lors que la machine est équipée d'un système d'aspiration permettant de filtrer les éléments en suspension dans l'air.

Le candidat devra définir et justifier le ou les **type(s) de lubrification** qu'il juge le plus adaptée (notamment à la réalisation de la pièce « test » dans les tolérances définies selon le plan fourni) parmi les propositions suivantes :

- Huile soluble/émulsion
- Huile entière
- Micro pulvérisation huile
- Micro pulvérisation éthanol
- Soufflage d'air

Toute solution permettant la lubrification au plus près de l'outil est souhaitée et sera définie :

- Une lubrification par arrosage au centre (avec une bague rapportée pour les outils de petites dimensions ne permettant pas l'arrosage au centre).
- Une lubrification par le biais de buses réglables s'adaptant automatiquement à la longueur outil.

Un dispositif de nettoyage de l'enceinte d'usinage au moyen d'un pistolet de lubrifiant (ou autre solution détaillée) situé à l'extérieur de la machine, activé portes ouvertes sera disponible.

Un dispositif de nettoyage de l'enceinte d'usinage au moyen d'une soufflette d'air comprimé situé à l'extérieur de la machine, activé portes ouvertes sera disponible.

5.11 Filtration du liquide de coupe.

S'il y a lieu, la filtration du liquide de coupe sera détaillée et devra garantir une lubrification efficace

qui n'impactera pas les conditions de coupe. Les caractéristiques (références, dimensions et tarifs) des éléments de filtration seront précisées.

La méthode de récupération et de séparation des huiles (coupe et glissière le cas échéant) sera définie.

5.12 Récupération des copeaux.

Un système de récupération des copeaux devra être proposé, défini et l'enlèvement desdits copeaux devra être aisé. La fourniture d'un bac sous la machine sera privilégiée.

S'il y a lieu la filtration étagée permettant une limitation des copeaux dans le lubrifiant est souhaitée.

Un convoyeur, pourra être proposé en Prestation Supplémentaire Eventuelle, du fait de l'espace réduit de l'atelier mais aussi au vu des faibles volumes de copeaux attendus. Les caractéristiques de cet équipement seront définies (emprise au sol, volume maximum de récupération).

5.13 Bâti

Le matériau du bâti sera défini et les précautions applicables quant à la manutention seront détaillées. Le fournisseur donnera l'architecture complète et détaillée du bâti en termes de dimensions et de résistance. Le centre de gravité de la machine (carters inclus) sera localisé sur des plans 2D avec les points d'appui au sol et ancrages en vue de dessus et vues de côté.

Le circuit de régulation thermique pour asservir les dilatations du bâti devra être détaillé, la procédure à suivre pour la maintenance sera détaillée. L'accessibilité des différents éléments d'un tel circuit sera définie sur des plans.

5.13.1 Dimensions et poids

Les dimensions maximales de la machine seront définies en plans 2D (3 vues) et un fichier STEP en 3D de la machine devra permettre de simuler l'installation de la machine dans nos locaux.

La masse totale de la machine devra satisfaire à nos locaux, la dalle béton est conçue pour supporter à une charge répartie de 3 tonnes/m². Charge au candidat de fournir une solution de répartition s'il le juge nécessaire pour ne pas endommager les locaux.

L'espace disponible au sein de l'atelier étant contraint, il est souhaité que le candidat propose une solution complète la plus compacte possible tout en permettant l'accès à tous les éléments de fonctionnement et de maintenance.

5.13.2 Encombrement de transport :

Les plans 2D et 3D d'encombrement au sol, d'installation et des fixations éventuelles de la machine à mettre en place et ses unités associées seront fournis dans la réponse à ce CCTP.

Le fournisseur sera responsable de toute manutention de la machine et de ses accessoires jusqu'à l'installation complète.

5.14 Energies

5.14.1 Puissance électricité :

Les alimentations disponibles seront les suivantes :

- 220V monophasé
- 380V triphasé régime TN

La machine devra être équipée d'un sectionneur, le répondant définira la sensibilité du différentiel qui devra être installé mais aussi l'intensité nominale du disjoncteur à installer pour alimenter ladite machine.

5.14.2 Pneumatique

La pression sera de 6 bars maximum et débit de 10 M³/H maximum) selon la caractéristiques

suivantes classe : 2-4-2

(Si la machine proposée nécessite d'autres caractéristiques, charge au candidat de fournir les équipements permettant de les atteindre)

Le candidat définira la consommation en L/min en continu de la machine et donnera la consommation en L/min de la soufflette qui sera installée sur la machine.

Le candidat devra équiper en entrée la machine d'un manomètre (0-10 bars) avec en amont une vanne de coupure « quart de tour » et pour l'alimentation il faudra se brancher sur un raccord rapide de marque PREVOST type prevoS1 ISI 06.

Le candidat devra installer les raccords d'air comprimé en les installant en hauteur en permettant le passage dessous

5.14.3 Alimentation en eau réfrigérée

L'alimentation en eau réfrigérée est disponible sur le lieu d'installation du centre d'usinage pour garantir l'asservissement en température du centre et donc pour les précisions attendues.

Cette solution doit être privilégiée en intégrant un échangeur obligatoirement en INOX (type 316L pour garantir la longévité de l'équipement) par rapport à une unité externe de production de froid.

Les caractéristiques de l'eau fournie sont :

- pression (départ centrale) 5.2 bars
- température entre 13°C et 15°C maxi
- débit moyen par semaine 3000 m³
- retour gravitaire
- échangeur en inox (obligatoire)

5.14.4 Système d'aspiration

Un système d'aspiration est souhaité au plus près de la broche pour permettre l'usinage de mousse notamment. Une centrale d'aspiration existe et une gaine de ventilation industrielle métallique rigide de diamètre extérieur 125 mm est disponible, suspendue au plafond dont la bouche est à environ 3.25 m du sol (il est possible de remonter le registre pour disposer de plus de place sous cette bouche pour la machine). L'installation de la liaison entre cet élément et la machine sera à la charge du candidat.

5.15 Commande Numérique

5.15.1 Directeur de commande

L'utilisation du centre d'usinage doit être aisée avec un mode conversationnel qui sera détaillé au moyen d'un manuel en français. Une sauvegarde des paramètres de la commande numérique sera fournie.

Le candidat précisera le type de commande, le traitement des informations doit être compatible aux caractéristiques et aux performances du centre UGV.

Le directeur de commande doit :

- Avoir une interface en français.
- Être en capacité de lire *a minima* 500 blocs à l'avance.
- Intégrer la fonction de contrôle du point de centre (RTCP) TCP/TRC (4^{ème} et 5^{ème} axe) par palpé automatique avec l'installation de l'élément de calibration sur la plaque « point Zéro »
- Être directement connectable à un réseau Ethernet via une carte Ethernet, avec interface TCP/IP et protocole de communication type FTP ou NFS client.
- Posséder *a minima* un port USB pour sauvegarder (programmes ou paramètres machine) ou injecter un programme au niveau du pupitre, un autre au niveau de l'armoire de commande est souhaité.
- Pouvoir communiquer avec un système Windows 11 et télécharger par FTP des programmes.

- Offrir la possibilité du suivi, pilotage temps réel et à distance de la machine.
- Posséder la fonction télédiagnostic.
- Offrir la possibilité d'acquisition des sorties codeurs de la machine, soit directement au niveau du contrôleur, soit via un système d'acquisition externe.
- Offrir la possibilité sur l'interface de faire un diagnostic machine (selon un manuel détaillé en français).

Le directeur de CN doit proposer toutes les options relatives à l'interpolation polynomiale et spline, ainsi que toutes les fonctions standards en 5 axes type anticollision, détermination et contrôle des axes pivots, définition du mode de déplacement en 5 axes (type M128 contact pièce ou Z sécu), mesure des outils, palpage pièce 3D pour contrôle, etc...

La présence d'une architecture ouverte avec des éléments de programmation temps réel du directeur de commande numérique et d'intégration de capteurs complémentaires sera étudiée avec attention. Une information précise sur les possibilités d'ouverture de l'architecture avec le fabricant du directeur de commande numérique est vivement souhaitée.

5.15.2 Programmation

Le logiciel de programmation utilisé pour la machine objet de cet appel d'offre sera AUTODESK PowerMill,

Le candidat fournira un post-processeur adapté à la CN intégrant tous les cycles classiques de perçage, taraudage (gauche, droite et rigide), contrôle en fin de cycle d'usinage via palpeur pièce avant de changer de cycle, contrôle de collisions, cycle de palpage/mesure automatique des outils au changement pour détection des bris d'outils,

Pour commander le centre via le logiciel de FAO AUTODESK PowerMill, le candidat fournira donc le post-processeur adapté et en garantira le fonctionnement. Le candidat devra aussi fournir la cinématique 3D de la machine et des équipements fournis en PSE (point zéro, étau et mandrin) pour garantir les simulations d'usinage en 5 axes.

L'intégration de la solution (cinématique et post-processeur) dans le logiciel PowerMill (version utilisée ultime 2026 à ce jour) sera assurée par le candidat.

5.15.3 Cycles d'usinage

Les cycles d'usinage en conversationnel comme en CFAO devront pouvoir intégrer *a minima* les fonctionnalités suivantes :

- Modulation de la vitesse de broche 50 à 150% par une commande dédiée.
- Modulation de la vitesse d'avance de travail programmé de 0 à 150% par une commande dédiée.
- Arrêt de l'avance en cours (valide dans tous les déplacements automatiques).
- Retour automatique au point courant après un arrêt d'usinage suivi d'un déplacement manuel.
- Départ Cycle (DCY) automatique si les conditions initiales sont OK et sécurité OK.
- Arrêt d'urgence.
- Interruption d'un programme et redémarrage.
- Recherche des numéros de séquence programme.
- Rappel d'axes au point précédent l'exécution d'un bloc avec prise en compte des fonctions en cours.

5.16 Sécurité

5.16.1 Carters

La stratégie de réduction des risques, telle que définie dans les **normes ISO 12100 et CSA Z432** sera

respectée.

Conformément à la législation, la machine sera équipée de carters de protection. Ces carters devront permettre de protéger l'opérateur et toute personne se trouvant à proximité contre :

- Les projections (fragments de pièce ou d'outil, copeaux, fluide d'arrosage) ;
- L'accès à la pièce et/ou l'outil pendant la durée d'usinage en mode automatique (bloc par bloc et continu) ;
- L'accès à toute zone dangereuse de la machine.

Tous les dispositifs de protection risquant de réduire la visibilité du travail devront être transparents à partir d'une hauteur de 1m 10 du sol afin de permettre aux opérateurs, disposés devant la machine, d'observer correctement le travail effectué. Les vitrages seront blindés, l'utilisation du polycarbonate avec une couche anti-rayures côté intérieur est fortement conseillée pour les protecteurs transparents, toute proposition différente devra être justifiée et devra *a minima* présenter des caractéristiques de sécurité équivalentes à celles du polycarbonate. L'éclairage interne de la machine devra être assez qualitatif pour interdire des zones dans l'ombre et être protégé des copeaux.

Le carter de protection intervient sur le fonctionnement de la machine comme un arrêt d'urgence dès l'ouverture de la porte. Il empêche la rotation de la broche si la porte n'est pas complètement fermée.

Les éléments mobiles de transmission (poulies, courroies, engrenages, crémaillères, arbres de transmission...) devront être équipés de protecteurs fixes ou mobiles (cette dernière solution ne devant être retenue que si des interventions très fréquentes sont nécessaires).

5.16.2 Protection des éléments mobiles

La stratégie de réduction des risques, telle que définie dans **normes (ISO 12100, ISO 14120, ISO 14119, CSA Z432)** sera respectée.

Les éléments mobiles concourant à l'exécution du travail (outils coupants, pièces en cours d'usinage, etc...) devront être équipés de protecteurs fixes, mobiles ou réglables :

- Protecteurs fixes lorsque l'interdiction d'accès à la zone dangereuse est possible. Un protecteur fixe nécessite l'emploi d'un outil ou d'une clef pour son ouverture ;
- Protecteurs mobiles si l'opérateur a la nécessité d'intervenir dans la zone entre les cycles.

Un protecteur mobile doit être associé à des dispositifs de verrouillage ou d'inter verrouillage interdisant à l'opérateur d'accéder à la zone dangereuse si les organes mobiles ne sont pas à l'arrêt.

Les dispositifs de verrouillage des protecteurs mobiles devront répondre aux prescriptions de la norme DI 98/37/CE, DI 89/392/CE.

Dans tous les cas, lorsque la machine est en fonctionnement automatique, l'opérateur ne devra pas pouvoir accéder aux organes mobiles.

5.16.3 Protection des éléments de transmission de mouvement et de guidage

Les éléments de transmission du mouvement et les rails de guidage seront protégés contre les pénétrations de copeaux et autres sous-produits corrosifs issus de l'usinage. Ils ne pourront non plus être directement accessibles par l'opérateur. Le moyen de protection sera précisé dans la réponse à l'appel d'offre Une surpression interne (air ou huile) aux guidages est souhaitée.

5.16.4 Limitation d'effort

La fonction limitation d'effort sera assurée sur chaque axe. Elle protégera l'opérateur et la machine lors des déplacements.

5.16.5 Serrage du porte-outil

Le serrage de l'outil doit être réalisé par un système à action positive.

Le desserrage doit être contrôlé et autoriser le changement d'outil automatique ou manuel via un bouton.

Une détection de présence d'outil interdira de lancer manuellement un chargement d'outil s'il y en a déjà un dans la broche.

Une intervention manuelle doit permettre de sortir un outil de la broche pour en éviter la casse en cas de mauvais fonctionnement.

5.16.6 Séparation électrique puissance contrôle

Un organe de séparation est nécessaire entre les éléments de puissance et les éléments de contrôle, afin de pouvoir laisser seule sous tension la partie commande.

5.16.7 Arrêt d'urgence

La machine est équipée *a minima* d'un bouton d'arrêt d'urgence situé à portée de l'opérateur à son poste de travail.

D'autres boutons d'arrêt d'urgence ayant la même fonction, pourront être disposés sur la machine à proximité des zones dangereuses éventuelles au cours du travail, du réglage et de l'entretien de la machine.

Le candidat devra fournir la procédure à appliquer suite à un arrêt d'urgence, notamment pour permettre la réinitialisation du centre d'usinage.

L'action sur l'arrêt d'urgence devra provoquer l'arrêt immédiat de la machine mais n'entraînera ni la coupure du directeur de commande, ni les pertes : des données relatives à la programmation ; des origines machines ; du programme en cours ; du point courant.

5.17 Équipements divers

Le centre d'usinage devra être équipé d'un bac à copeaux qui intégrera une préfiltration du liquide de coupe s'il y a lieu.

Le centre d'usinage devra être livré avec un **manuel d'utilisation clair en français**, détaillé, illustré de photos, avec un plan d'ensemble définissant l'implantation des différents sous-ensembles, le fonctionnement de chacun de ces différents sous-ensembles qui sera bien défini.

Un second **manuel dit de maintenance en français** devra comprendre les schémas détaillés des circuits électriques et pneumatiques, de graissage et de régulation thermique de la machine avec les références commerciales des appareillages utilisés et normes/caractéristiques à respecter. Il devra aussi définir un guide des entretiens (comprenant la périodicité et les références des produits à utiliser) à réaliser pour maintenir la machine dans un état de fonctionnement optimal.

5.18 Formation

La prestation de formation se fera en deux stages, le premier de 4 jours minimum chez le fabricant, suivi d'un second de 3 jours minimum un à deux mois plus tard sur le lieu d'implantation du centre d'usinage. Effectif prévu de la formation 3 opérateurs.

5.19 Installation et livraison

Les prestations suivantes doivent être intégrées dans la proposition :

- Livraison, déchargement et mise en place.
- Raccordement de toutes les énergies.
- Fourniture de tous les liquides et équipements permettant l'utilisation complète de la machine
- Mise en route.
- Le prestataire précisera la localisation géographique du technicien de maintenance le plus proche de nos locaux, le tarif d'une journée de maintenance devra en tenir compte.

5.20 Visite sur site

Le candidat devra **obligatoirement** procéder à une visite sur site afin de s'assurer de la faisabilité de

l'installation ainsi que de l'ensemble des contraintes liées (cf § 10, 11, 15).

La visite obligatoire pour le lot 2 aura lieu à l'adresse suivante :

IETR
Campus Beaulieu
Bâtiment 11C
Avenue du Général Leclerc
35042 - Rennes

5.21 Maintenance

L'accès au service de maintenance (téléphonie ou télémaintenance) sera gratuit pendant 3 ans minimum, le tarif à l'issue de ce délai sera spécifié.

Les frais d'accès au SAV à l'issue de la durée de garantie seront définis et devront être respectés.

Prise en main du centre d'usinage à distance pour détection de panne, cette télémaintenance devra être gratuite.

SAV téléphonique en cas de panne du lundi au vendredi de 8h à 17h.

Le technicien de maintenance devra parler français (ou à défaut anglais).

5.22 Plan d'essai et recette

5.22.1 Plan d'essai

Le candidat procédera à la réalisation d'une pièce dont les plans (tolérances incluses) et le « brut » seront fournis par l'université de Rennes.

La fourniture de cette pièce ne pourra pas être postérieure à l'ouverture des plis du présent appel d'offres.

Le candidat fournira également le programme utilisé en format ISO, ainsi que les références des outils utilisés.

La conformité de ces pièces sera vérifiée et incluse dans le rapport de synthèse du présent appel d'offres.

5.22.2 Recette

Une recette sur site sera réalisée, basée sur la réalisation de la pièce cf § 20. qui doit être fournie à la réponse du présent appel d'offre.

5.22.3 Garantie

La garantie sur la machine sera d'une durée minimum de 3 ans à partir de la date de recette.

5.23 Prestation Supplémentaires Eventuelles :

PSE 1 : Fourniture d'une seconde broche stockée chez le fabricant ou le fournisseur pour en garantir l'état (délai de livraison à définir)

PSE 2 : Maintenance pour une durée de 3 ans dont le début coïncidera avec la date de recette avec obligation pour le titulaire de garantir les caractéristiques techniques décrites dans le CCTP pendant toute la durée de la garantie.

PSE 3 : Fourniture d'un système dit « Point Zéro » permettant une installation avec une précision de répétabilité inférieure ou égale à 5 µm.

PSE 4 : Fourniture d'un système dit « Point Zéro » permettant une installation avec une précision de répétabilité inférieure ou égale à 0.02 mm.

PSE 5 : Fourniture d'un étau autocentrant type 5 axes adapté au point Zéro option 3, largeur de mors 75-80 mm souhaitée, plage de serrage 0-120 mm et une précision de centrage maximum de 0.015 mm,

deux jeux de mors seront fournis, le premier lisse et l'autre à denture avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 3.

PSE 6 : Fourniture d'un étau autocentrant type 5 axes adapté au point Zéro option 3, largeur de mors 40-50 mm souhaitée, plage de serrage 0-65 mm et une précision de centrage maximum de 0.015 mm, deux jeux de mors seront fournis, le premier lisse et l'autre à denture avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 3.

PSE 7 : Fourniture d'un étau autocentrant type 5 axes adapté au point Zéro option 3, largeur de mors 125 mm souhaité, plage de serrage minimum 0-150 mm et une précision de centrage maximum de 0.03 mm deux jeux de mors seront fournis, le premier de type doux et l'autre à denture avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 4.

PSE 8 : Fourniture d'un mandrin (avec un jeu de mors durs et un jeu de mors doux pour serrage intérieur et extérieur) adapté au point Zéro (PSE 3), plage d'ouverture minimum souhaitée 10-120 mm de diamètre (la précision de centrage sera donnée) avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 3.

PSE 9 : Fourniture d'un mandrin (avec un jeu de mors durs et un jeu de mors doux pour serrage intérieur et extérieur) adapté au point Zéro (PSE 3), la plage d'ouverture minimum souhaitée est de 10-150 mm de diamètre (la précision de centrage sera donnée) avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 4.

PSE 10 : Fourniture d'une réhausse de point zéro compatible avec les options 5 et 7 de hauteur comprise entre 30 mm et 60 mm avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 4.

PSE 11 : Fourniture d'un mandrin à pince ER 50 compatible avec le point Zéro PSE 3 avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 4.

PSE 12 : Fourniture d'un mandrin à pince ER 32 compatible avec le point Zéro PSE 3 avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 4.

PSE 13 : Fourniture d'un mandrin à pince ER 50 compatible avec le point Zéro PSE 3 avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 3.

PSE 14 : Fourniture d'un mandrin à pince ER 32 compatible avec le point Zéro PSE 3 avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 3.

PSE 15 : Fourniture d'un ensemble de mandrins/porte-outil dont les caractéristiques seront identiques à ceux fournis au titre du point 4.2 de ce même document :

12 cônes-faces équilibrés en fonction de la vitesse de rotation maximum de broche et équipés de porte-pinces d'attachement seront fournis avec les pinces suivantes :

2 pinces Ø 10 mm	2 pinces Ø 8 mm	5 pinces Ø 6 mm	1 pince Ø 4 mm	5 pinces Ø 3 mm
---------------------	--------------------	--------------------	-------------------	--------------------

PSE 16 : Fourniture et installation d'un système de buses d'arrosage à réglage automatique en fonction de la longueur des outils. Le nombre et le diamètre interne des buses seront donnés.

PSE 17 : Fourniture d'un mandrin de taraudage rigide équipé des douilles pour permettre la réalisation de taraudages allant de M2.5 à M8.

PSE 18 : Fourniture d'un convoyeur à copeaux adapté et compact.

PSE 19 : Maintenance, les capacités de maintenance devront être précisées à savoir :

- Tarif maximum par journée d'intervention.
- Délai maximum d'intervention (fourniture de pièce comprise).

PSE 20 : Extension de garantie à 3 ans dont le début coïncidera avec la date de recette avec obligation pour le titulaire de garantir les caractéristiques techniques décrites dans le CCTP pendant toute la durée de la garantie.

PSE 21 : Délai d'intervention en cas de panne sous 48 heures ouvrables sur site.

PSE 22 : Délai de livraison des pièces de rechange sous 72 heures ouvrables sur site.

PSE 23 : Fourniture d'un système de bridage par dépression complet et fonctionnel avec tout

l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 3.

PSE 24 : Fourniture d'un système de bridage par dépression complet et fonctionnel avec tout l'équipement nécessaire au bridage sur le système « Point Zéro » cf PSE 4.

PSE 25 : Fourniture d'une structure permettant de rendre l'objet du présent appel d'offre le plus compact possible, par exemple en superposant les éléments.

5.24 Références produit

La fourniture de références quant aux utilisateurs actuels de la machine proposée, ainsi que les domaines d'applications couverts, sera appréciée.

5.25 Synthèse des offres

Une synthèse des offres sera rédigée prenant en compte les caractéristiques techniques de l'équipement, son évolutivité, le SAV, ainsi que la proposition financière.

Sauf mention explicite spécifique à chaque lot, la règle de notation sera basée sur les ratios :

- 45% pour les caractéristiques techniques des équipements objets de cet appel d'offres,
- 40% pour la partie financière (base et Prestations Supplémentaires Eventuelles étudiées à périmètre égal),
- 10% pour la qualité de services du fournisseur (service après-vente, disponibilité des pièces détachées, ect.)
- 5 % pour les délais de livraison du matériel