



CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES

PARTICULIERES

Consultation n° 202510101128

Référence R401

Dans le cadre du CPER (Contrat Plan Etat-Région) WAVETECH, le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) souhaite faire l'acquisition de Têtes vectorielles de mesure fonctionnant au-delà de 1,1 THz, typiquement dans la bande de mesure WR0.65 (1,1-1,7 THz). Ainsi, dans le cadre du pilier du CPER, relatif au développement de technologies THz, l'achat de cet équipement permettra de mettre en place les tests de caractérisation dans le cadre du CPER, que ce soit sur des dispositifs actifs passifs, en guide d'onde ou en espace libre. Ce marché comprend une tranche ferme relative au financement du CPER, et une tranche conditionnelle permettant d'optimiser l'utilisation de l'équipement prévu au CPER, par l'ajout d'un équipement de pilotage dédié.

OBJET DE L'ACHAT

Ces têtes vectorielles de mesure, ou têtes d'extension de fréquence sont destinées à effectuer des mesures hautes fréquences ou en espace libre, sur des composants actifs ou passifs, au-delà de 1,1 THz. Cela concerne particulièrement des composants microélectroniques, opto/nanoélectroniques et en espace libre, composants qui seront utilisés à moyen et plus long terme dans les futurs systèmes de télécommunications à ultra hauts débits et d'imagerie ou encore dans les systèmes de spectroscopie. Cela nécessite des moyens de caractérisation dans ces gammes de fréquences. L'équipement est destiné à intégrer la centrale de caractérisation de l'IEMN à Villeneuve d'Ascq.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

L'objet de cet appel d'offres concerne la fourniture et la mise en fonctionnement de têtes d'extension de VNA (Vector Network Analyzer) à l'IEMN d'une part (tranche ferme), pouvant être utilisé sur un analyseur de réseau de base disponible à l'IEMN. La tranche conditionnelle concerne la fourniture d'un équipement de pilotage dédié à ces têtes d'extension pour rendre possible l'utilisation de ces têtes de façon autonome et dédiée.

Le système demandé se composera d'une tranche ferme et d'une tranche conditionnelle :

- ✓ Tranche ferme : deux têtes vectorielles de mesure pour analyseur de réseaux, dans une bande de fréquence au-delà de 1,1 THz (1100 GHz). Ces têtes de mesure vectorielles doivent être compatibles avec les analyseurs de réseaux disponibles à l'IEMN, en l'occurrence un ZNA26 de Rodhe & Schwarz avec les options ZNA-B4, B5, B8, B26, B3, B16, K2, K8. Si une mise à jour de la configuration du ZNA devait-être nécessaire, celle-ci devra être incluse dans l'offre.
- ✓ Tranche conditionnelle : VNA de pilotage des têtes vectorielles.

La tranche ferme devra concerner la fourniture de deux (2) têtes d'extension de fréquence, fonctionnant dans tout ou partie de la gamme WR0.65, à savoir 1100-1700 GHz, afin de réaliser des mesures des paramètres de dispersion d'un quadripôle (paramètres S), à minima en transmission et réflexion sur 1 port, ainsi que des étalons de calibration associés à cet équipement. Pour les mesures en espace libre, deux antennes cornets sont demandées pour la mesure de dispositifs en configuration « quasi-optique », compatibles avec les têtes vectorielles proposées.

La tranche conditionnelle concerne la fourniture d'un équipement dédié pour le pilotage des têtes d'extension vectorielles, les caractéristiques demandées étant détaillées ci-après. Sur cette tranche conditionnelle, il est attendu la proposition d'un équipement dédié au pilotage des têtes de la tranche ferme, avec des performances améliorées grâce au VNA de pilotage, notamment sur l'amélioration de la dynamique de mesure, ou le type de mesures réalisable.

Performances hyperfréquences et submillimétriques requises pour les : Têtes d'extension

Les deux têtes d'extension submillimétriques auront pour fonction :

- ✓ De générer par multiplications de fréquences les signaux hyperfréquences nécessaires à l'émission et/ou la réception dans tout ou partie de la bande de fréquence WR0.65.
 - ✓ De séparer les différents signaux incidents, réfléchis et transmis, pour au moins une des deux têtes d'extension de fréquence, c'est-à-dire de permettre de réaliser *a minima* des mesures en réflexion et transmission.
 - ✓ D'effectuer les changements de fréquences afin de restituer à l'analyseur de réseaux ZNA-26 (équipement de base prévu pour piloter les têtes d'extension) des signaux dans la gamme de fréquences que ce dernier est capable de traiter.
-
- Les têtes d'extensions doivent être totalement contrôlables par un VNA de type ZNA-26 (4 ports) de la marque Rohde & Schwarz, ce qui inclut une compatibilité des accès LO/RF et IF sur le VNA, notamment des fréquences RF et OL d'utilisation < 26 GHz.
 - **Fréquence** : Les ports de test fonctionneront dans tout ou partie de la gamme de fréquence 1100-1700 GHz, une gamme minimum de fonctionnement entre 1100-1500 GHz est demandée.
 - **PORTS de test** : Les ports de test devront être au format de guide d'onde WR0.65/WM164, avec des brides de connexion de guide de précision.
 - Le fournisseur devra fournir les tournevis adaptés pour le serrage des vis des guides d'ondes WR0.65. Les valeurs de couples de serrages optimaux devront être précisées.
 - **Puissance** : La puissance de sortie des têtes doit être spécifiée dans la bande de fonctionnement. Il est attendu *a minima* des puissances valeur typique dans la bande d'opération proposée (à partir de 1100 GHz).
 - **Il est demandé de détailler la configuration de mesure de la puissance de sortie.**
 - **Dynamique de mesure** : La dynamique de mesure en S21 doit être précisée en valeur typique. Une valeur minimale de 45 dB est attendue, une valeur de 60 dB (dans une bande passante IF de 10 Hz) étant visée avec d'autres types de VNA pour le pilotage des têtes. Il

est demandé la quantification précise de cette valeur en fonction de la fréquence, dans la bande WR0.65.

➤ **Il est demandé de détailler la configuration et le type de mesure menant à la valeur spécifiée pour ce critère de performance.**

- Des câbles d'interfaces nécessaires (LO/RF/IF) au bon fonctionnement de l'ensemble et plus particulièrement les câbles reliant l'analyseur de réseau ZNA-26 aux têtes d'extension. La longueur des câbles devra être au minimum de 120cm pour les applications sous pointes sur une station de mesure.
- **Stabilité d'amplitude** : la stabilité de mesure (voies de mesures) devra être spécifiée en dB, une valeur < 1 dB est requise.
- **La stabilité de phase** des têtes d'extension devra être spécifiée, en degré.
- **Directivité** : La directivité typique **après correction** devra être spécifiée, en valeur mesurée. Cette valeur sera spécifiée en dB.
- Le schéma synoptique des têtes d'extension devra être indiqué, *a minima* afin de connaître notamment les ordres de multiplication des multiplicateurs de fréquences intégrés dans l'équipement.
- La consommation de l'équipement devra être spécifiée et être la plus faible possible.
- Les dimensions de l'équipement devront être spécifiées sous forme d'un plan mécanique en unités métriques.
- Les puissances maximales admissibles sur les récepteurs (**limite de linéarité de mesure et niveau maximal admissible** en entrée) des convertisseurs devront être spécifiées et être compatibles avec l'analyseur de réseau ZNA-26.
- Les puissances maximales admissibles par les entrées RF et LO devront être spécifiées et être compatibles avec l'analyseur de réseau ZNA-26.
- Un kit de calibration complet devra être fourni avec les têtes d'extension de fréquence. Ce kit sera un kit de calibration en guide d'onde WR0.65 et devra contenir au moins :
 - 2 étalons de charge adaptée ;
 - 2 étalons de court-circuit, ou court-circuit décalé ou autre combinaison équivalente ;
 - 2 lignes de longueur différentes ou équivalentes dont les spécifications seront détaillées avec précision.
- Le fournisseur devra garantir l'intégration logicielle (ZNA-26) du référencement du kit de calibration fourni afin de réaliser des calibrations de l'équipement, en guide d'ondes. Le

fournisseur fournira la procédure d'étalonnage précise menant aux meilleures performances de mesure.

- Le fournisseur devra fournir deux **adaptateurs en guide d'ondes** WR0.65 ou équivalent vers WR10, pour le contrôle de puissance de sortie des têtes d'extension à l'aide d'un power-meter de type VDI PM5B, déjà disponible à l'IEMN.
- Il est enfin attendu la livraison de 2 antennes cornets adaptées à la bande WR0.65, pour effectuer des mesures en espace libre avec les têtes d'extension.

Tranche conditionnelle :

Analyseur de réseau pour pilotage des têtes d'extension et mesures radiofréquences

La tranche conditionnelle de cet achat correspond à l'acquisition d'un analyseur de réseaux 67 GHz destiné, d'une part, au pilotage de têtes d'extension en gamme millimétrique et THz. D'autre part, il doit réaliser les mesures décrites ci-après jusque 67 GHz en 4 ports. En particulier, l'équipement proposé doit pouvoir piloter les têtes d'extension en gamme WR0.65 mais aussi des convertisseurs de fréquence de façon générale. Une attention particulière est donnée sur la qualité de bruit de phase des sources pour optimiser la dynamique. L'accès à une ou plusieurs sources complémentaires (une *a minima*, couvrant au moins la bande 13 GHz) est demandé afin de pouvoir piloter des instruments externes par exemple.

Caractéristiques requises :

L'équipement devra comporter les spécificités techniques décrites ci-dessous *a minima*. L'ensemble de ces caractéristiques feront l'objet d'une analyse complète selon les critères d'attribution définis dans le Règlement de la Consultation. Le candidat présentera dans son offre un mémoire technique détaillé.

- Gamme de fréquences : 10 MHz à 67GHz ;
- Impédance caractéristique : 50 ohms ;
- Connectique adaptée à la gamme de fréquences : 1.85mm ;
- Le système de mesures doit être capable d'effectuer des mesures 4 ports jusque 67GHz au minimum ;
- Résolution en fréquence : inférieure ou égale à 1Hz ;

- Stabilité de la trace : meilleure que 0.4 dB/°C pour le module et 4 degré/°C pour la phase dans la gamme de fréquence ;
- Stabilité de la trace inférieure à 0.02dB ;
- Plancher de bruit : le plus bas possible dans toute la bande, en fonction des possibilités de réglage du filtre IF ;
- Dynamique de mesure : pour un filtre IF de 1Hz : supérieure à 120dB dans la gamme 0,1GHz-20GHz, supérieure à 110dB dans la gamme 20GHz-67GHz ;
- Puissance RF : variable sur une plage minimum de -60dBm à +5dBm sur toute la bande de fréquence avec une résolution inférieure à 2dB sur toute la gamme de fréquence et un contrôle électronique ;
- Intégration d'atténuateurs programmables sur la source RF sur les deux ports de mesures et sur les deux récepteurs de mesure.

Le calibrage en puissance doit pouvoir être réalisé à l'aide d'un mesureur de puissance Rohde&Schwarz NRP2 et la sonde de puissance NRP-Z57, ce matériel étant déjà existant au laboratoire. Dans le cas où l'instrument proposé ne serait pas compatible avec ce mesureur de puissance, le fournisseur devra inclure dans son offre une solution de remplacement. La procédure devra être détaillée et expliquée de manière claire dans la réponse technique.

2.2 Architecture de l'instrument et possibilité de mesures.

- Avoir un accès direct, en face avant, des sources et récepteurs de chaque port ;
- Multiple choix d'étalonnage (SOLT, LRM, TRM...). En cas de réduction de la bande de fréquence après calibrage, les termes d'erreur doivent pouvoir être recalculés par interpolation ;
- Mesure de bruit jusque 67 GHz ;
- Inclure un kit de calibration 67 GHz, et proposer des outils embarqués de « de-embedding » pour des mesures non-coaxiales par exemple ;
- Possibilité de configuration du système de test (atténuateurs (sources ou récepteurs), tés de polarisation) ;
- Possibilité de réaliser des mesures différentielles selon l'architecture proposée ;
- Mesures de spectre ;



- Possibilité de configuration de l'instrument pour la mesure d'amplificateurs, de mélangeurs, filtres, ou récepteurs complets ;
- Accès aux signaux IF et mode pulsé sur les sources ;
- Possibilité de mesure en time-domain (mode temporel pour le VNA) ;
- Possibilité de réaliser des mesures avec des signaux modulés, en bande de base ou sur une porteuse radiofréquence / large bande afin de pouvoir faire des mesures de distorsion de modulation, possibilité de mesurer l'EVM, NPR, ACPR ;
- Possibilité de l'instrument de réaliser de l'active loadpull en large bande ;
- Possibilité de réaliser des mesures de compression de gain, intermodulation, et possibilité de contrôler la phase des sources.) ;
- Possibilité de réaliser des mesures de bruit de phase sur l'instrument.

2.3 Plate-forme et Interfaces.

- Système d'exploitation propriétaire ou Windows10 embarqué ou ultérieur ;
- Le système doit être pilotable par le logiciel Wincal (FormFactor) afin de pouvoir utiliser les fonctions de calibrage de ce logiciel. Compatibilité avec le calibrage en puissance demandée ;
- Prise LAN Ethernet;
- Ports USB au nombre de deux au minimum ;
- Sortie vidéo pour moniteurs externes.

Sur ce besoin, il est accepté la fourniture d'un équipement de démonstration (moins de 1 an) ou reconditionné, et garanti sur 3 ans au minimum, avec une option pour étendre la garantie à 5 ans, soit 2 ans de plus.



Éléments complémentaires à inclure dans les deux tranches :

Documentation à fournir

Les documentations techniques complètes devront être fournies. Seule une version numérique est exigée mais une version papier des certificats de calibration, de test est demandée. Cette documentation doit au moins comprendre la description complète de chaque matériel et un mode d'emploi détaillé. Elle peut être rédigée en Anglais.

Livraison – Vérification

Chaque tranche sera livrée et installée séparément dans la centrale de caractérisation de l'IEMN située Avenue Poincaré à Villeneuve d'Ascq. Pour la tranche ferme, le délai de livraison ne doit pas excéder 16 semaines et 2 semaines pour l'installation. Pour la tranche conditionnelle, le délai de livraison ne doit pas excéder 12 semaines et 2 semaines pour l'installation.

Il sera alors procédé à un premier contrôle de la présence de la totalité des éléments commandés et du bon fonctionnement qualitatif de l'ensemble. Celui-ci sera laissé en fonctionnement au minimum 24 heures. Il sera ensuite procédé aux contrôles quantitatifs des performances annoncées par le constructeur dans sa proposition.

Pour la tranche ferme, les têtes d'extension seront connectées à un analyseur de réseau ZNA 26 GHz, disponible à l'IEMN.

Dans un premier temps, nous vérifierons la compatibilité mécanique (câbles, connecteurs, etc) et électrique entre l'analyseur de réseau ZNA 26 et le matériel fourni.

On s'attachera à effectuer ensuite un calibrage en guide d'ondes dans la bande des têtes d'extension, avec montage et démontage des étalons de calibration, et mesure de la dynamique du système en connectant les charges adaptées sur chacun des 2 ports. Ensuite, une liaison dans l'air sur quelques dizaines de cm sera effectuée pour valider la mesure en espace libre.



Pour la tranche conditionnelle, l'équipement ainsi que ses différentes capacités devront être mis en œuvre lors d'une formation à l'utilisation, répondant au cahier des charges mentionné plus haut.

Formation

Formation à l'installation et mise en œuvre de l'équipement pour 2 personnes sur 1 journée pour la tranche ferme et la tranche conditionnelle.