



## **CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES**

**Fourniture, livraison, installation, mise en service et formation  
à l'utilisation de deux analyseurs vectoriels de réseaux (VNA)  
jusqu'à 110 GHz et d'un module de caractérisation opto-  
électronique compatible pour le C2N du CNRS.**

## Table des matières

<b>I.</b>	<b>Objet de l'achat .....</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>Description technique détaillée.....</b>	<b>4</b>
	2.1 Analyseurs vectoriels de réseaux.....	3
	2.2 Module de caractérisation optique.....	4
<b>III.</b>	<b>Modalités de livraison, installation et formation.....</b>	<b>5</b>
	3.1 Livraison .....	5
	3.2 Installation.....	6
	3.3 Formation .....	6
<b>IV.</b>	<b>Admission.....</b>	<b>6</b>
<b>V.</b>	<b>Service après-vente.....</b>	<b>6</b>
<b>VI.</b>	<b>Garantie.....</b>	<b>7</b>
<b>VII.</b>	<b>Documentation.....</b>	<b>7</b>
<b>VIII.</b>	<b>Mesures de sécurité / respect de la législation en vigueur.....</b>	<b>8</b>

## I. Objet de l'achat

Achat, livraison, installation incluant la formation de deux analyseurs vectoriels de réseaux (VNA) couvrant la plage de fréquence de 10 MHz à 110 GHz avec une unique connexion coaxiale par port d'impédance caractéristique  $50\ \Omega$ , ainsi que d'un accessoire de caractérisation optique compatible avec les deux VNAs, destiné à la mesure de circuits optoélectroniques de haute performance (optique-électronique, électronique-optique, optique-optique), par connexion par fibres optiques.

Les VNAs seront utilisés pour la caractérisation électrique et radiofréquence de circuits passifs et actifs à haute fréquence, notamment des filtres, amplificateurs, lignes de transmission, circuits intégrés RF, diodes, transistors, modules de conversion et composants millimétriques dans le cadre de recherches avancées en télécommunications, radar, composants photoniques et micro-ondes.

Le module de caractérisation optique est destiné à l'analyse de dispositifs optoélectroniques de haute performance, tels que des modulateurs optiques, photodétecteurs, amplificateurs optiques intégrés, ou circuits photoniques hybrides. Il devra permettre une mesure précise des paramètres S dans le domaine optique, en particulier la réponse en fréquence électro-optique (E/O) et opto-électronique (O/E), jusqu'à des fréquences de 110 GHz.

Les équipements seront installés dans une salle de laboratoire climatisée du Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N) à Palaiseau. Il devra être transportable aisément d'une salle de laboratoire à une autre. Il y sera installé sur une table fixe ou dans une armoire rack à roulettes que le C2N se charge de fournir aux dimensions adaptées à ces équipements.

## II. Description technique détaillée

Les équipements devront répondre aux spécifications suivantes :

### 2.1 Analyseurs vectoriels de réseaux (VNA)

**Quantité** : 2 unités identiques

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les deux VNAs sont les suivantes :

- Plage de fréquence RF : couvrant une plage de fréquence allant de 10 MHz à 110 GHz. La plage entière de fréquence doit être couverte par un balayage quasi-continu, avec les spécifications d'adaptation et de puissance de source indiquées plus loin.
- Nombre de ports : au minimum 2 ports avec connecteurs coaxiaux 1.0 mm, garantissant une compatibilité de 10 MHz jusqu'à au moins 110 GHz, avec une impédance de 50 ohms, et la mesure des quatre paramètres S (deux en réflexion et deux en transmission).
- La longueur des cordons entre l'analyseur de base et les extensions 110 GHz doit être au minimum de 90 cm, afin de permettre un positionnement flexible des têtes de mesure sur une station de mesure sous pointes hautes fréquences coaxiales.
- Des tés de polarisation en tension et courant continu doivent être intégrés aux têtes de mesure millimétriques, permettant le fonctionnement des mesures dans la gamme de fréquences du VNA et supportant une tension maximale de 35 V et un courant maximal de 200 mA.

- La directivité non corrigée doit être supérieure ou égale à 15dB dans la bande 500 MHz – 10 GHz, et au plus proche de 10 dB dans la bande 70 GHz – 110 GHz, avec les longueurs de cordons de plus de 90 cm comme énoncé précédemment.
- Le VNA devra être capable de délivrer une puissance supérieure ou égale à 0 dBm sur l'ensemble de la bande de fréquence jusqu'à 110 GHz.
- Plage dynamique du système (System Dynamic Range) : entre 500 MHz et 110 GHz, avec une bande IF (Intermediate Frequency) de 10 Hz, doit être supérieure ou égale à 100 dB.
- Vitesse de balayage typique attendue pour une mesure complète des quatre paramètres S sur l'ensemble de la bande (10 MHz à 110 GHz), en configuration 2 ports avec correction d'erreurs (calibration), 401 points et une bande IF de 1 kHz : 1,5 secondes.
- Fonctionnalités de calibration de type paramètres S : compatibilité avec les méthodes SOLT, TRL, et eCal (jusque 67 GHz), ou SSST (jusque 110 GHz).
- Un seul kit de calibration 1 mm doit être inclus.
- Interfaces : ports de communication LAN, USB et/ou GPIB pour pilotage distant.
- Exportation de données : prise en charge des formats standards (Touchstone, .s1p, .s2p)
- Compatibilité : les deux VNA doivent être obligatoirement compatibles avec l'accessoire de caractérisation optique et opto-électronique décrit ci-après.

## 2.2 Module de caractérisation optique

Le module devra être pleinement compatible avec les deux VNAs fournis, permettant une intégration transparente pour l'utilisateur, tout en garantissant la synchronisation nécessaire des équipements pendant les mesures, ainsi que la fiabilité et la répétabilité des résultats via les interfaces matérielles et logicielles.

Il devra inclure ou être compatible avec les éléments suivants :

- Tête de conversion électro-optique (E/O) et/ou opto-électronique (O/E) fonctionnant de 10 MHz à 110 GHz, avec connecteurs RF 1.0 mm.
- Le système de modulation électro-optique (en un ou plusieurs modules) devra fonctionner sur l'ensemble de la plage spectrale spécifiée (1250 nm à 1650 nm  $\pm$  20 nm), avec une efficacité suffisante pour permettre des mesures fiables de bande passante jusqu'à 110 GHz. Il devra garantir une puissance de sortie sous modulation  $\geq$  0 dBm sur toute cette plage spectrale. La détection optique en configuration O/E devra également rester efficace jusqu'à 110 GHz, assurant des mesures précises sur toute la plage de longueurs d'onde.
- Au minimum, un laser interne à 1550 nm devra être inclus.
- Le module devra permettre l'injection d'un laser externe dans la plage de longueurs d'onde minimum de 1250 nm à 1650 nm  $\pm$  20 nm, couvrant ainsi l'ensemble des applications en conversion E/O et O/E.
- Le détecteur optique devra fonctionner sur l'ensemble de la plage spectrale spécifiée et être calibré au minimum autour de 1310 nm et 1550 nm.
- Le module devra être pleinement compatible avec les deux VNAs fournis, aussi bien au niveau matériel (connexions RF, synchronisation) que logiciel (intégration dans l'environnement de mesure), permettant une intégration transparente pour l'utilisateur et garantissant la fiabilité et la répétabilité des résultats.

- Le système devra proposer une interface de contrôle intuitive (GUI), compatible avec les VNAs.
- Connectique optique : connecteurs FC/APC pour le modulateur optique et le laser externe et FC/ PC pour le photodétecteur.
- Accessoires fournis : tous les adaptateurs, câbles, guides de fibre et modules nécessaires au fonctionnement doivent être inclus.
- Faible bruit et haute linéarité, garantissant des mesures reproductibles de composants à faible perte ou à réponse rapide.

Les performances minimales suivantes devront être garanties :

- Incertitude sur la magnitude à 110 GHz :
  - $\leq \pm 1,8$  dB en configuration E/O ou O/E
  - $\leq \pm 0,5$  dB en configuration O/O
- Incertitude sur la phase à 110 GHz (configuration E/O ou O/E) :
  - Inférieure ou égale à  $\pm 12^\circ$  à 1310 nm et 1550 nm
- Puissance optique moyenne maximale d'entrée linéaire :
  - $\geq 4$  dBm à 1310 nm et 1550 nm.
- Niveau de bruit en configuration O/E (A/W exprimé en dB) à 1550 nm à puissance maximale
  - $\leq -74$  dB à 110 GHz
  - $\leq -84$  dB à 65 GHz

### III. Modalités de livraison, installation et formation

#### 3.1 Livraison

Les équipements et le module seront livrés et installés par le titulaire au plus tard 20 semaines après la notification du marché. Les frais d'expédition et d'assurance seront à la charge du titulaire.

Le matériel est destiné à être installé dans une salle expérimentale du C2N, 10 boulevard Thomas Gobert, 91120 PALAISEAU. Le fabricant devra prévoir tous les moyens nécessaires à la manutention et au montage de l'équipement. Aucun matériel ne sera prêté par le C2N.

Le déchargement du camion de livraison sera à la charge du Titulaire et comme il n'y a pas de quai de déchargement, celui-ci devra prévoir les moyens adaptés (ex : camion avec hayon, chariot élévateur...). Il devra également prévoir tous les moyens de levage nécessaires à la manutention de l'équipement.

Pour accéder au RDC haut, le Titulaire pourra utiliser un monte-charge, situé à une dizaine de mètres de l'extérieur. Les caractéristiques de ce monte-charge sont : cabine l<sub>x</sub>h<sub>x</sub>p=1,8 m X 2,4 m X 2,55 m, portes l<sub>x</sub>p=1,8 m X 2,4 m, charge nominale 2500 kg.

Le C2N ne pourra pas être rendu responsable si les dimensions de l'équipement ne permettent pas sa mise en place jusqu'à l'emplacement désigné.

#### 3.2 Installation

Les équipements et le module seront installés par le titulaire dans une salle expérimentale.

Le titulaire précisera dans son offre les attentes nécessaires pour l'installation de l'équipement. En cas d'omissions ou d'erreurs de la part du titulaire, les travaux d'adaptation seront à sa charge.

### 3.3 Mise en service

La mise en service sera réalisée dans un délai d'une semaine à compter de l'installation.

### 3.4 Formation

Une formation de minimum 1 jour sur site du personnel utilisateur du matériel, incluse dans le prix de vente, sera assurée par le Titulaire dans un délai de deux semaines maximum suivant la mise en service. La date de formation sera fixée en commun accord avec les utilisateurs du C2N. Cette formation pour minimum 4 personnes, aura pour objectif l'acquisition des connaissances relatives aux procédures élémentaires d'utilisation et de sécurité du matériel, ainsi que de la maintenance de ce dernier.

## IV. Admission

L'admission définitive de l'équipement permettra de constater les performances du matériel et de son adéquation avec le cahier des charges sur le site de Palaiseau en présence de représentants du C2N.

L'admission définitive de l'équipement devra être réalisée dans un délai maximum de 4 semaines après la formation.

Un procès-verbal d'admission sera prononcé après formation des personnels du C2N et à l'issue des opérations de vérification si l'équipement répond aux critères de réception.

Le C2N organisera une vérification de la conformité réglementaire de l'équipement par un organisme habilité. Les modifications éventuellement nécessaires pour mettre l'équipement en conformité seront à la charge du titulaire.

## V. Garantie

Les matériels livrés doivent être conformes aux normes en vigueur au jour de la livraison.

Le titulaire doit proposer une formule de garantie d'une durée minimale d'un an. Les conditions de cette garantie doivent porter notamment sur les pièces, la main d'œuvre, le déplacement des personnels qualifiés sur le site et le remplacement de l'équipement.

Le délai de garantie débutera à compter de la réception de la décision d'admission.

## VI. Documentation

Les documentations techniques suivantes devront être fournies à la livraison :

Notice d'utilisation.

Guide de maintenance.

Tous les documents associés à l'équipement seront fournis par le fabricant en langue anglaise et française : notice d'instruction, documentation technique, etc... La notice d'utilisation devra permettre

à l'utilisateur d'utiliser sa machine compte tenu des conditions définies par le constructeur et de prendre les mesures nécessaires pour que la mise en service, l'utilisation, la manutention, l'installation, le montage, le démontage, le réglage et la maintenance puissent s'effectuer sans risque.

Elle précise notamment les limites d'utilisation et les contre-indications d'emploi. Elle doit comprendre les plans et schémas nécessaires pour que toutes les opérations de mise en service, d'entretien, de vérification et de réparation puissent s'effectuer de façon sûre. Elle doit si nécessaire donner des informations telles que des instructions d'apprentissage, les caractéristiques des outils, les prescriptions de montage ....

## VII. Mesures de sécurité / respect de la législation en vigueur

### 8.1 Conception

L'équipement sera conforme à la réglementation en vigueur, et notamment à la directive Machines 2006/42/CE.

La conformité à la réglementation sera attestée par le constructeur à l'aide de la déclaration CE de conformité et du marquage CE apposé sur la machine.

Le titulaire prendra entre autres toutes les mesures nécessaires pour réduire les risques à la conception de l'équipement (principe de la sécurité intrinsèque), et intégrera les protections nécessaires à la sécurité des personnes en termes de protection collective. Tous les risques seront symbolisés par des pictogrammes conformes à la norme ISO EN7010. Tous les organes de commande seront identifiés en anglais. Des consignes sous forme de pictogrammes conformes seront apposées sur l'équipement et rappelleront la nécessité du port d'équipements de protection individuelle lorsque c'est nécessaire.

L'équipement devra être conçu de façon à faciliter les opérations de maintenance, de nettoyage, de réglage, de dépannage, de montage et de démontage d'outils ou de parties d'équipements. Le principe d'accessibilité de tous les éléments constitutifs sera respecté, et la conception de l'équipement devra tenir compte des principes élémentaires ergonomiques.

### 8.2 Sécurité générale

Le Titulaire devra participer à l'évaluation des risques dans le cadre de la rédaction du plan de prévention et/ou du protocole de chargement/déchargement. Il s'engage à respecter l'ensemble des dispositions et des mesures de prévention définies dans ces documents de sécurité.

### 8.3 Installation de l'équipement

Afin d'assurer l'application de la législation en vigueur quant aux normes de sécurité, un plan de prévention Hygiène et Sécurité sera défini, préalablement à la livraison des équipements en collaboration avec un représentant dûment habilité du titulaire.

Le plan de prévention précisera les modalités d'installation de l'équipement, les mesures de prévention à appliquer et les habilitations ou certifications obligatoires à présenter au C2N le cas échéant.

Le titulaire devra assurer une protection des locaux lors des travaux d'installation :

- Dans les zones à forte densité et régularité de circulation.
- À chaque lieu où des charges particulièrement importantes devront être manutentionnées (chemin d'accès jusqu'au point de livraison).

- Aux endroits particulièrement exposés (vitres, angles très vifs, marches d'escalier, sols fragiles, etc.).

Il sera demandé au titulaire de ne pas provoquer le moindre dégât immobilier.

Pendant l'exécution des opérations, le titulaire prendra les précautions nécessaires pour ne pas causer de dégradations aux matériaux et ouvrages qui ne seraient pas de sa prestation.

Un état des lieux sera dressé avec le titulaire préalablement au démarrage de ses prestations, dans le cadre de son intervention, puis un état des lieux contradictoire sera réalisé après les opérations d'installation des équipements.

#### 8.4 Informations diverses

L'alimentation électrique disponible au C2N dans les salles expérimentales où les équipements seront branchés est 240V/50Hz monophasé.