CAHIER DES CHARGES

Objet : Emulateur de canal	Date : 27/08/2026
Affaire suivie par : Raffaele D'ERRICO	N / Réf : DRT-LETI-DSYS-STSF-LAPCI-26-08-001975

Validation : Christophe DELAVEAUD, Dimitri KTENAS, Fabien CLERMIDY
Diffusion : Service Achat + Cellule gestion DSYS Chef de laboratoire concerné : Christophe DELAVEAUD Sécurité (si nécessaire) : Correspondant sécurité LETI

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
MINATEC Campus | 17 rue des Martyrs | 38054 Grenoble Cedex 9

Direction de la recherche technologique

www-leti.cea.fr
Établissement public à caractère industriel et commercial RCS Paris B 775 685 019

SOMMAIRE

SOMMAIRE 2

1 Contexte 3

1.1 Présentation de l'unité 3

1.2 Description du cadre général 3

2 Spécifications fonctionnelles 4

2.1 Contrainte existante 4

2.2 Configuration matérielle 4

2.3 Fonctionnalités RF et émulation de canal 4

2.4 Logiciels et licences requis 4

2.5 Matériels associés 5

2.6 Evolution et extension des fréquences 5

2.7 Formation 5

3 Sécurité 5

3.1 Conformité réglementaire 5

3.2 Conformité CE 6

4 Réception, installation et mise en service 6

5 Garantie 6

6 Maintenance et support technique 7

7 Exigences en matière de responsabilité sociétale et environnementale RSE 7

1 Contexte

1.1 Présentation de l'unité

Laboratoire du CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Energies Alternatives), le LETI (Laboratoire d'Électronique et de Technologie de l'Information) est aujourd'hui l'un des plus importants laboratoires de R&D en Europe dans le domaine de l'électronique, de la micro-électronique et plus généralement des micro-technologies. Le LETI s'est développé autour de deux activités principales : les futures technologies pour l'industrie des semi-conducteurs, et la conception de systèmes électroniques avancés. Il a pour vocation d'aider les entreprises industrielles à accroître leur compétitivité à travers l'innovation technique et le transfert de son savoir-faire technologique.

1.2 Description du cadre général

Dans le cadre de ses activités de recherche et développement dans le domaine des systèmes de communication radiofréquence et de détection sans fil, le CEA-Leti/DSYS souhaite renforcer ses moyens expérimentaux dédiés à l'émulation de canal de propagation. Cette démarche s'inscrit dans l'évolution des besoins du service STSF et son laboratoire LAPCI, dont les travaux portent sur la conception, la caractérisation et l'évaluation de dispositifs rayonnants, de systèmes antennaires et de canaux de propagation sur une large gamme de fréquences.

Les systèmes sans fil développés ou étudiés au sein du LETI/DSYS/STSF doivent être validés dans des conditions représentatives de leur environnement réel d'utilisation. Le canal de propagation radio constitue en effet un facteur déterminant des performances finales, en influençant notamment la portée, la robustesse, les interférences, les effets multi-trajets, la mobilité, la localisation, la détection et les performances MIMO. Certains systèmes exploitent directement les propriétés du canal, en particulier pour les communications multi-antennes, les fonctions de localisation, les radars et les approches de type communication-détection intégrées.

Les campagnes d'essais sur le terrain permettent d'évaluer ces performances en conditions réelles, mais elles présentent des limites importantes. Elles sont généralement longues, coûteuses, contraintes par des autorisations d'accès ou d'émission, difficilement reproductibles et limitées en nombre de scénarios testables. Ces contraintes sont particulièrement fortes pour les applications industrielles, aéronautiques, spatiales et de défense, où les environnements de propagation peuvent être complexes, dynamiques, fortement perturbés ou difficiles à reproduire en conditions opérationnelles.

L'émulation de canal en laboratoire constitue une réponse à ces limitations. Réalisée en mode conduit ou en rayonné (Over The Air, OTA) dans une chambre anéchoïde, elle permet de recréer de manière contrôlée et reproductible des conditions de propagation réalistes. Elle permet notamment de reproduire des phénomènes tels que le multi-trajet, le fading, les effets Doppler, les variations temporelles du canal, les délais de propagation, les interférences ou encore des configurations multi-utilisateurs et multi-antennes. Elle offre ainsi un moyen robuste de qualification, de comparaison et de validation des architectures radio avant leur déploiement.

Le LETI/DSYS/STSF dispose actuellement d'un émulateur de canal à 8 voies et d'une chambre anéchoïde dédiée aux essais OTA. Ces moyens ont permis de soutenir plusieurs collaborations industrielles et projets collaboratifs nationaux et européens. Toutefois, l'évolution rapide des systèmes radio met en évidence les limites des équipements existants, notamment en nombre de voies radiofréquences, en bande passante, en flexibilité de configuration et en capacité à adresser les nouvelles bandes de fréquence.

Les futures plateformes de communication et de détection reposent en effet sur des architectures plus complexes, telles que le Massive MIMO, les réseaux distribués, les réseaux de capteurs denses, les systèmes radar multi-antennes, les liaisons non terrestres, ainsi que les configurations OTA multi-sondes. Ces évolutions nécessitent des moyens d'émulation de canal plus performants, capables de reproduire des scénarios de propagation avancés et de supporter un nombre accru de voies RF.

Le présent appel d'offre a donc pour objet l'acquisition d'un nouvel émulateur de canal de propagation destiné à renforcer les capacités expérimentales du LETI/DSYS/STSF. L'équipement devra permettre la réalisation de mesures en laboratoire dans des conditions réalistes, contrôlées et reproductibles, afin de répondre aux besoins des projets actuels et futurs dans les domaines des communications sans fil, de la localisation, de la détection, du radar et des systèmes radio avancés.

2 Spécifications fonctionnelles

2.1 Contrainte existante

La solution attendue devra présenter une architecture matérielle et logicielle permettant de couvrir les besoins actuels et futurs du laboratoire en émulation de canal.

2.2 Configuration matérielle

L'émulateur devra disposer d'une architecture modulaire, évolutive et adaptée aux essais multi-voies. La **configuration minimale** attendue est la suivante :

- Une capacité minimale de 24 canaux TRX.
- Une couverture fréquentielle principale de 450 MHz à 7,25 GHz.
- Une bande passante instantanée minimale de 200 MHz.
- La présence d'au moins deux oscillateurs locaux RF indépendants, afin de permettre des configurations de test flexibles sur plusieurs bandes ou scénarios.
- Une architecture comprenant différentes unités de canaux RF permettant une évolution du dispositif.

2.3 Fonctionnalités RF et émulation de canal

L'équipement devra permettre la génération et l'émulation de canaux de propagation réalistes, configurables et reproductibles. Il devra notamment supporter :

- L'émulation de canaux multi-trajets.
- L'émulation de fading.
- La prise en compte des effets Doppler.
- La configuration de délais de propagation.
- L'émulation de scénarios MIMO et multi-utilisateurs.
- L'émulation de scénarios OTA avec réseau d'antennes ou sondes multiples.
- L'émulation de pertes de trajet, d'atténuation de distance et de shadow fading.
- La possibilité de rejouer ou de configurer des profils de canaux standardisés ou personnalisés.

2.4 Logiciels et licences requis

La solution devra inclure l'ensemble des logiciels nécessaires à l'exploitation complète de l'émulateur, en particulier pour les essais OTA, MIMO et Massive MIMO.

En **option à chiffrage obligatoire**, les licences logicielles, ou fonctionnalités équivalentes, attendues sont les suivantes :

- Outils standard pour les canaux et profil de fading, en licence perpétuelle.
- Outils d'extension MIMO par unité de canal, en licence perpétuelle.
- Outils pour profils de canal.
- Emulation de shadow fading et émulation de distance/range pour au moins trois unités de canaux, en licence perpétuelle.
- Outil principal de modélisation de canal de type Géométrique, en licence perpétuelle.
- Outil de modélisation de canal MIMO OTA, en licence perpétuelle.

En **option à chiffrage facultatif**, les licences suivantes :

- Outil de modélisation et de configuration de réseaux d'antennes, en licence perpétuelle.
- Outil de modélisation canaux satellitaires, en licence perpétuelle.
- Emulation de scénarios Massive MIMO , en licence perpétuelle.

Le soumissionnaire devra détailler les fonctionnalités couvertes par chaque licence, les éventuelles limitations d'usage, les conditions de mise à jour et les modalités de renouvellement du support logiciel.

2.5 Matériels associés

Afin de permettre les essais Massive MIMO et OTA multi-sondes, la solution devra proposer les équipements complémentaires suivants, ou équivalents :

- Une unité d'interface antennaire.
- La fourniture des câbles RF nécessaires à l'interconnexion
- Une fonction de combinaison RF adaptée aux essais multi-antennes.
- Une fonction de calibration et d'alignement de phase.

2.6 Evolution et extension des fréquences

La configuration minimale requise, décrite aux § 2.2, 2.3 et 2.4, permet d'assurer la couverture des bandes de fréquences relevant de la gamme FR1. Toutefois, l'équipement doit être évolutif pour permettre le traitement des signaux sur une plage fréquentielle plus large, tout en garantissant la pérennité de la solution face aux évolutions technologiques et aux futurs besoins opérationnels.

À ce titre, la configuration devra obligatoirement permettre une extension fréquentielle et de canaux. Cette évolution (qui ne fait pas partie du présent cahier des charges) devra permettre à minima une extension fréquentielle jusqu'à 40 canaux TRX au total permettant de couvrir la bande 7,25 GHz à 18 GHz avec 16 canaux TRX supplémentaires.

2.7 Formation

Le Prestataire s'engage à dispenser, sans frais supplémentaires, une formation portant sur l'utilisation de l'équipement ainsi que sur la sécurité. La formation devra permettre aux équipes du CEA-Leti d'exploiter l'équipement pour les cas d'usage suivants :

- Émulation de canal conduite.
- Émulation OTA.
- Configuration de profils MIMO.
- Calibration et alignement de phase.
- Utilisation des outils de modélisation de canal et d'antenne.

3 Sécurité

3.1 Conformité réglementaire

Le Prestataire devra respecter les points réglementaires suivants :

- Respect des réglementations européennes applicables, e.g. RoHS.
- Présence des marquages et certifications requis ;
- Absence ou limitation des substances dangereuses dans les équipements et accessoires fournis.

3.2 Conformité CE

L'équipement ou la prestation fournie devra respecter la réglementation en vigueur en France.
Cette réglementation inclut les directives Européennes transposées en droit français.

En particulier les directives suivantes sont applicables, le cas échéant :

- Directive « compatibilité électromagnétique » 2004/108/CE ;
- Directive « basse tension » 2006/95/CE.

L'équipement sera certifié CE, fera l'objet d'un « marquage CE » et sera accompagné d'une déclaration CE de conformité

Les différents risques (mécanique, électrique, thermique, gaz, chimique, rayonnement) devront être clairement indiqués par l'équipementier dans sa proposition et traités :

- En accord avec les prescriptions des directives applicables ;
- Les armoires électriques auront un indice de protection IP2 et ne pourront être ouvertes qu'à l'aide d'un outil ou d'une clef ;
- Panneaux de protection ;
  Les panneaux de protection (protecteurs) seront strictement conçus conformément à la directive basse tension.

4 Réception, installation et mise en service

La réception sera prononcée après l'installation et la mise en service de l'équipement.
L'installation et la mise en service seront faites par le Prestataire.

La réception prononcée atteste de la conformité de l'équipement et du transfert de propriété. La période de garantie de l'équipement prendra effet dès confirmation de l'acceptance.

Celle-ci sera prononcée après :

- La livraison complète de l'équipement
- La fin des opérations d'installation et de mise en service
- La configuration initiale de la plateforme et des licences logicielles
- La vérification de l'atteinte des performances techniques décrites au paragraphe 2
- La formation à l'utilisation de l'équipement
- La remise des documents des configurations installées

5 Garantie

La garantie prend effet à la date de réception du matériel et s'étend sur une durée d'un an.
La garantie comprend les opérations de maintenance corrective et couvre tous les frais associés : main-d'œuvre, pièces de rechange, déplacements, expéditions, etc.

La garantie devra comprendre :

- La garantie matérielle.
- Le support technique constructeur.
- L'accès aux mises à jour logicielles couvertes par les licences.
- Le support sur les outils logiciels fournis.
- La fourniture des certificats de calibration.
- Les modalités de recalibration périodique.
- Les délais d'intervention en cas de dysfonctionnement.
- Les procédures de diagnostic à distance et, si nécessaire, d'intervention sur site.

Pendant la période de garantie, le Prestataire s'engage à fournir une assistance à distance dans un délai maximal de 24 heures ouvrées à compter de la réception d'un e-mail ou d'un appel de CEA-LETI.

6 Maintenance et support technique

À l'issue de la période de garantie, le CEA-LETI aura la possibilité de souscrire un contrat de maintenance. Le Prestataire s'engage à être en mesure d'assurer la maintenance préventive et corrective de l'équipement après l'expiration de la période de garantie et pendant une durée minimale de 10 ans.

Dans l'offre commerciale, le Prestataire devra transmettre, à titre informatif, le prix des services de maintenance en tenant compte des niveaux d'exigences suivants :

- Service complet comprenant la maintenance préventive, la maintenance corrective illimitée et toutes les pièces de rechange nécessaires.

- Maintenance préventive plus maintenance corrective sur demande (tarifs horaires) dans le respect des délais d'intervention et de réparation.

7 Exigences en matière de responsabilité sociétale et environnementale RSE

Le soumissionnaire devra présenter les engagements et actions mis en œuvre en matière de responsabilité sociétale et environnementale dans le cadre de la fourniture, de l'installation, de la maintenance et de la fin de vie de l'émulateur de canal.
La réponse devra notamment préciser :

1. **Performance environnementale du matériel**
   - Consommation énergétique de l'émulateur en fonctionnement, en veille et à l'arrêt ;
   - Durée de vie prévisionnelle de l'équipement ;
   - Possibilités de réparation, de mise à niveau et de remplacement des composants.
2. **Transport et emballage**
   - Utilisation d'emballages recyclables, réutilisables ou issus de matières recyclées ;
   - Réduction des emballages plastiques à usage unique ;
   - Optimisation des transports et, lorsque cela est possible, recours à des modes de livraison à faible émission de carbone.
3. **Maintenance et fin de vie**
   - Disponibilité des pièces détachées et durée de maintien en condition opérationnelle ;
   - Modalités de reprise, de recyclage ou de reconditionnement de l'équipement en fin de vie ;

   Le soumissionnaire joindra tout document justificatif pertinent : politique RSE, bilan carbone, rapport extra-financier, certifications ISO 14001, ISO 45001, EcoVadis ou équivalent.