



CAHIER DES CHARGES

	Référence du document : CEA/CEG/DEA/SERE/DO/50/2026 Date du document : 12/03/2026 Date de diffusion : Nombre de pages : 1/10
Fourniture d'un amplificateur de puissance dans la bande (1 GHz – 2.5 GHz)	
SYM	
Ce document propriété du CEA, ne peut être utilisé, reproduit ou communiqué sans son autorisation	

Avant toute utilisation de ce document, veuillez-vous assurer que vous disposez de la version applicable

EMETTEUR	
NOM FONCTION	Martial Toury Chef du Service des Effets des Rayonnements Electromagnétiques
DATE SIGNATURE	

1. OBJET

Le cahier des charges (CDC) concerne la fourniture d'un amplificateur et accessoires fonctionnant en mode impulsionnel, délivrant une puissance de sortie minimale de 3 kW, et couvrant au minimum la bande de fréquence [1 GHz – 2.5 GHz]. Cet appareil doit permettre d'amplifier des signaux hyperfréquences de type RF pulsé (modulation d'amplitude ou d'impulsions) provenant de divers générateurs

Il se décompose de la façon suivante :

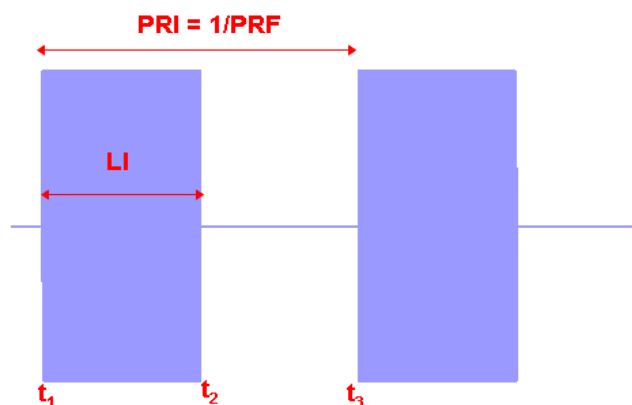
Poste 1 : fourniture d'un amplificateur [1 GHz – 2.5 GHz] de 3 kW fonctionnant en mode impulsionnel

Poste 2 optionnel : fourniture d'un coupleur bidirectionnel

Poste 3 optionnel : extension de la garantie à 5 ans.

2. DEFINITIONS

Les paramètres temporels contribuant à décrire la forme d'onde d'un signal modulé par impulsions sont précisés ci-dessous.



Forme d'onde $S(t)$ d'un signal mono-fréquence

- LI : largeur d'impulsion définie à mi-hauteur
- PRI : période de répétition des impulsions

- PRF : fréquence de répétition des impulsions
- Facteur de forme : $\tau = LI / PRI = LI * PRF$

- une puissance instantanée $P(t) = \frac{S(t)^2}{Z}$ (S(t) a la dimension d'une tension exprimée en Volt, Z a la dimension d'une impédance réelle en ohm)

- une puissance moyenne dans l'impulsion : $P_{m_pulse} = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$

- une puissance moyenne dans la salve : $P_{m_salve} = \frac{1}{(t_3 - t_1)} \int_{t_1}^{t_3} P(t) dt$

La relation reliant la puissance moyenne dans l'impulsion à la puissance moyenne dans la salve étant la suivante : $P_{m_pulse} = \frac{P_{m_salve}}{\tau}$

3. DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU BESOIN

3.1 EXIGENCES DU POSTE 1

3.1.1 Performances

Si non spécifié, les performances décrites ci-dessous doivent être tenues pour la totalité de la bande de fréquence exigée (1 à 2.5 GHz) et quelle que soit la puissance de sortie.

- Bande de fréquence : $1 \text{ GHz} \leq f \leq 2.5 \text{ GHz}$
- Puissance de sortie moyenne dans chaque impulsion : $\geq 3 \text{ kW}$.
- Puissance d'entrée moyenne dans l'impulsion pour obtenir la puissance de sortie maximale : $< 5 \text{ dBm}$.
- Puissance d'entrée tolérable sans dommage : $\geq 10 \text{ dBm}$
- Impédance nominale d'entrée et sortie : 50Ω .
- ROS en entrée : $\leq 2,5$
- Fonctionnement possible à 3 kW sur charge de ROS > 4 . De plus, l'amplificateur devra comporter un isolateur interne permettant un fonctionnement sur des chambres réverbérantes à brassage de modes.

- Protection contre les charges à ROS infinis
- Niveau des harmoniques à la puissance de sortie nominale : ≤ -20 dBc. Cette caractéristique peut être obtenue au moyen de filtres mis en place mécaniquement en sortie de l'amplificateur. Ce filtre devra posséder des pertes d'insertion inférieures ou égales à 0.5 dB.
- Densité de puissance spectrale du bruit en sortie : ≤ -25 dBm/MHz
- Raies parasites : ≤ -60 dBc.

Caractéristiques des impulsions :

- Facteur de forme $\tau \geq 6$ %
- Largeur d'impulsion pouvant au minimum varier entre 100 ns et 100 μ s
- Fréquence de répétition pouvant au minimum varier entre une mono impulsion et 50 kHz

la largeur d'impulsion et la fréquence de répétition varient dans la limite du facteur de forme.

- Temps de montée et temps de descente (10% à 90%) : ≤ 30 ns.

Nota : les faibles largeurs d'impulsion peuvent être obtenues en insérant ces impulsions dans une porte de modulation de l'amplificateur plus grande

3.1.2 Interfaces

3.1.2.1 Interface de sécurité

- Interrupteur Marche/Arrêt général facilement accessible
- Dispositif de sécurité autorisant l'émission de la puissance de sortie uniquement lorsque celui-ci est en place. Lorsque ce dispositif est retiré, la mise en fonctionnement de l'amplificateur (émission HF) doit être impossible.

Ce dispositif peut être une clé ou une boucle ouverte qu'on ferme au moyen d'un bouchon court-circuit. Il fait partie de la fourniture.

3.1.2.2 Interface de télécommande

L'appareil doit être télécommandable à distance par l'intermédiaire d'un port GPIB (répondant à la norme IEEE 488.2) ou USB ($\geq$ version 2) ou Ethernet.

Ce mode de télécommande doit autoriser une émulation totale du mode local manuel et ne doit pas éliminer l'action du dispositif de sécurité objet du paragraphe précédent.

3.1.2.3 Alimentation électrique secteur

- Tension : $230\text{ V} \pm 10\%$
- Fréquence : $50\text{ Hz} \pm 3\%$
- Puissance : $< 3000\text{ VA}$.

3.1.2.4 Interface RF

3.1.2.4.1 Connecteur d'entrée RF

Le connecteur RF d'entrée sera de type 3.5 mm femelle ou N femelle.

3.1.2.4.2 Connecteur d'entrée de modulation

Le connecteur d'entrée de la modulation d'impulsions de sera de type BNC femelle, 3.5 mm femelle ou N femelle.

3.1.2.4.3 Connecteur de sortie

Le connecteur du signal RF de sortie sera de type 7/16 femelle ou N femelle.

3.1.2.4.4 Mesure de la puissance de sortie

Une prise de mesure de la puissance de sortie atténuée, délivrant une puissance moyenne dans l'impulsion comprise entre -10 et $+10$ dBm pour le niveau nominal (≥ 3 kW) de sortie de l'amplificateur sera fournie. Cette prise de mesure sera accessible sur une face de l'appareil par l'intermédiaire d'un connecteur de type 3.5 mm femelle ou N femelle. L'atténuation spécifiée aura une exactitude inférieure à ± 2 dB sur la bande passante de l'amplificateur.

3.1.3 Exigences opérationnelles

3.1.3.1 Conditions d'ambiance

- Compatibilité électromagnétique en conformité avec les normes CE en vigueur.
- Plage de température garantissant un fonctionnement nominal : 0°C à $+40^{\circ}\text{C}$.
- Plage de température de stockage tolérée : -20°C à $+60^{\circ}\text{C}$.

3.1.3.2 Conditions mécaniques

L'appareil devra pouvoir être transportable et posséder des prises de manutention. Si l'appareil a un poids supérieur à 50 kg, il sera alors fourni dans une baie sur roulettes équipées de freins.

3.1.4 Accessoires

Avec l'amplificateur, il sera livré une caisse de transport navette (Aluminium, composite, bois...) avec capitonnage adapté à l'appareil et ses éventuels accessoires, répondant aux contraintes de transport par messagerie.

3.1.5 Maintenabilité

Le titulaire devra être en capacité de pouvoir maintenir et réparer l'appareil sur une période de 15 ans, avec un délai maximum de première intervention (diagnostic d'une panne) de 2 semaines à réception de l'appareil chez le titulaire.

3.1.6 Documentation

Le poste 1 comprend, avec l'amplificateur, un manuel d'utilisation, spécifiant, entre autres, les conditions normales d'utilisation et les règles à respecter pour que la sécurité des utilisateurs soit assurée.

Le cahier de recette complété selon les modalités du §4.1 et qui précise les valeurs des caractéristiques mesurées et les modes opératoires utilisés, doit aussi être fourni dans le délai contractuel.

3.1.7 Sécurité informatique

Dans un contexte général de renforcement de la cyber sécurité de tous les systèmes d'information et notamment de l'obligation réglementaire édictée par l'Instruction Interministérielle N° 901 relative à la protection des systèmes d'information sensibles, le soumissionnaire est informé que les exigences en matière de cybersécurité doivent être respectées dans l'exécution du marché.



Les règles applicables sont :

EXTRAIT DES MESURES DETAILLEES DE L'ANSSI		
Classe	Description de l'exigence	Classe 1
1		Justification à remplir par le titulaire
[R. 1] [R.2]	Le Titulaire désigne un interlocuteur unique en charge de contrôler la mise en place des exigences et des procédures. Celui-ci sera également chargé de la garantie du respect de la politique de cybersécurité de l'entreprise par rapport au présent marché, de la communication en cas de divergences et en cas d'attaque informatique sur le système d'information utilisé dans l'entreprise pour le développement ou la maintenance de l'objet du marché.	Référent cybersécurité : Nom : Fonction : Téléphone : Adresse Mail :
[R.116]	Les systèmes doivent intégrer des modes dégradés leur permettant soit de s'arrêter sans provoquer de dégâts (matériel ou humain) de type bouton d'arrêt d'urgence, soit de continuer à fonctionner par un pilotage en mode «manuel». Il s'agit d'une exigence de type sécurité machine. Il est demandé de mettre en place des mécanismes de sécurité ou d'arrêt d'urgence s'appuyant sur des technologies robustes (par exemple de type logique câblée). Ce mécanisme permet au Système Industriel de s'arrêter ou de se mettre en sécurité sans utiliser de composants pouvant faire l'objet d'une cyberattaque.	Le prescripteur en lien avec le titulaire s'assure que ce mécanisme est implanté dans le modèle choisi. Description du mécanisme employé : Exemple : bouton Marche-Arrêt
[R.169] [R.170]	Les accès vers Internet depuis le système industriel sont interdits. Réciproquement, les accès depuis Internet vers le système industriel sont proscrits. Exemple : Le logiciel pourra être activé sans avoir besoin d'une connexion internet, ni d'un téléphone portable, ni d'aucune autre connexion sans fil.	Le prescripteur en lien avec le titulaire s'assure que les accès vers et depuis Internet ne sont pas utilisés.

[R.177]	Les opérations de télégestion, télémaintenance et télédiagnostic sont interdites au CEA/Gramat et interdites dès la conception sur des systèmes industriels sensibles ou classifiés.	Le prescripteur en lien avec le titulaire s'assure que les opérations de télégestion, télémaintenance et télédiagnostic ne sont pas utilisées et ne sont pas implantées.
[R.178]	Toute connexion par modem est interdite.	Le prescripteur en lien avec le titulaire s'assure que les connexions par modem ne sont pas utilisées et ne sont pas implantées.
[R.192]	Les technologies sans fil sont proscrites dès la conception.	Le prescripteur en lien avec le titulaire s'assure que les technologies sans fil ne sont pas utilisées et sont désactivées (ex : carte Wifi désactivée par BIOS ou supprimée ...) .
[R.249]	Sauf contrainte technique rédhibitoire, un ordinateur portable est fourni par le CEA en cas de besoin de maintenance sur le système par un moyen portable. Dans cette optique, le titulaire fournit en avance de phase au CEA la spécification technique de ce poste et les logiciels nécessaires à cette maintenance sur un support amovible exempt de virus	En cas de besoin de maintenance par un PC portable, le prescripteur demande au titulaire s'engage à fournir les spécifications de ce moyen en avance de phase. Le PC portable sera mis en place par la DAM.
	Protection du système informatique Si le système communique en TCP/IP, il doit s'appuyer sur IPV4 et l'IPV6 est désactivé. Les communications avec les automates devront utiliser des protocoles maintenus et sécurisables (OPC, ...). A défaut, une dérogation devra être fournie par le CEA/GRAMAT. Le système devra obligatoirement fonctionner sans aucun lien avec Internet. Le système de validation de licences ne doit pas avoir besoin d'Internet, même ponctuellement. Le prescripteur en lien avec le titulaire s'assure que le produit choisi contient un antivirus. Lequel ?	Le prescripteur en lien avec le titulaire s'assure que ces dispositions sont possibles avec les modèles choisis. Sinon, pourquoi ?
[D.212]	Sur les équipements, on demande de désactiver dans la mesure du possible : — les comptes par défaut ; — les ports physiques inutilisés ; — les supports amovibles, s'ils ne sont pas utilisés ; — les services non indispensables (service web, outil de débogage...).	Le prescripteur en lien avec le titulaire s'assure que les composants et fonctions non indispensables au fonctionnement du système industriel sont désactivés. Sinon, une justification est demandée.

3.1.8 Identification

Une identification du modèle d'appareil avec un sigle de reconnaissance doit être prévue.

Cette identification doit résister aux agents extérieurs (poussière, humidité...).

3.1.9 Garantie de la fourniture

3.1.9.1 Conditions

Le candidat doit donner une description précise de sa garantie de base.

En option, une extension de la garantie à 5 ans sera proposée.

3.1.9.2 Modalités de transport

Pour les opérations nécessitant un retour en usine dans le cadre de la garantie, l'enlèvement et le retour du matériel doivent être pris en charge (logistique et coût) par le titulaire.

3.2 EXIGENCES DU POSTE 2 (optionnel)

Le poste 2 est constitué d'un coupleur bi-directif. Il sera associé à l'amplificateur du poste 1.

3.2.1 Caractéristiques

Les caractéristiques décrites ci-dessous doivent être tenues sur la totalité de la bande de fréquence.

- Bande de fréquence correspondant à celle de l'amplificateur (poste1) et au minimum comprise entre 1 et 2.5 GHz
- Connexions d'entrée et sortie : standard compatible de la connexion de sortie de l'amplificateur
- Impédance nominale : 50 Ω
- ROS sur la ligne principale : $\leq 1,5$
- Connecteur des voies couplées : coaxial de type 3.5 femelle ou N femelle
- Valeur de couplage comprise entre 40 et 50 dB
- Platitude du couplage : $\leq \pm 2$ dB
- Directivité : ≥ 15 dB
- Tenue en puissance : supérieure à la puissance de sortie maximale de l'amplificateur.

3.2.2 Exigences opérationnelles

- Compatibilité électromagnétique en conformité avec les normes CE en vigueur
- Plage de température garantissant un fonctionnement nominal : 0°C à +40°C
- Plage de température de stockage tolérée : -20° C à +60° C.

3.2.3 Documentation

Pour ce coupleur, le titulaire fournira une fiche donnant les spécifications et les limites d'utilisation ainsi qu'un relevé des principales caractéristiques (couplage, directivité, S11).

3.2.4 Identification

Une identification du modèle d'appareil avec un sigle de reconnaissance doit être prévue.

Cette identification doit résister aux agents extérieurs (poussière, humidité...).

3.2.5 Garantie de la fourniture

Le candidat doit donner une description précise de sa garantie.

4. VERIFICATION DE LA FOURNITURE

4.1 Vérification qualitative

Les vérifications techniques se présenteront en deux phases :

La première phase aura lieu chez le titulaire, avec ses moyens de métrologie, en présence éventuelle de représentants du CEA Gramat, avec l'échéancier suivant :

- Un mois avant la date prévue pour ces travaux de pré-vérification, un cahier de recette vierge, précisant les caractéristiques mesurées et les modes opératoires utilisés, sera fourni au CEA Gramat pour approbation. Le CEA Gramat validera ou non le cahier de recette sous un délai de 2 semaines à compter de la réception de celui-ci.

Ce délai est inclus dans le délai global contractuel et s'il est dépassé, une neutralisation du délai sera appliquée.

Si le cahier de recette n'est pas approuvé, le CEA Gramat adressera ses remarques au titulaire. Ce dernier doit les prendre en compte afin de mettre en conformité le cahier de recette usine. Cette mise à jour s'effectuera dans le délai contractuel.

- Après approbation du cahier de recette, le titulaire le renseignera, en usine, en présence éventuelle d'un ou plusieurs représentants du CEA Gramat dont la présence n'aura pas valeur de réception usine.

La seconde phase consistera en un contrôle fonctionnel de la fourniture et un contrôle total ou partiel des caractéristiques spécifiées. Cette phase sera réalisée par le CEA Gramat dans un délai maximum de 30 jours ouvrés à compter de la date de livraison totale de la fourniture. C'est à l'issue de cette phase que l'avis d'acceptation sera prononcé par le CEA Gramat.

4.2 Vérification quantitative

La fourniture comprendra à la livraison :

- Un amplificateur de puissance, sa caisse de transport, un manuel d'utilisation, une documentation technique, une attestation de la garantie
- S'il est retenu, un coupleur bidirectionnel et sa documentation associée
- Un cahier de recette dûment complété.