

ACQUISITION, QUALIFICATION ET MAINTENANCE DES MOYENS D'ESSAI DESTINES A L'ETUDE DES EFFETS DES RAYONNEMENTS ELECTROMAGNETIQUES IMPULSIONNELS AU PROFIT DE L'INSTITUT DE RECHERCHE BIOMEDICALE DES ARMEES (IRBA).

SOMMAIRE :

1	INTRODUCTION.....	2
2	OBJET / LOTS.....	2
3	DEFINITION HAUT NIVEAU DES EQUIPEMENTS.....	3
3.1	DEFINITION GENERALE	3
3.2	LOT 1 : SYSTEME DE GENERATION ET D'AMPLIFICATION DU SIGNAL EN BANDE S	4
3.3	LOT 2 : CHAMBRE REVERBERANTE	4
3.4	DEFINITIONS.....	4
4	EXIGENCES DU POSTE 1.1 – LOT 1	5
4.1	PERFORMANCES POUR L'AMPLIFICATEUR	5
4.2	EXIGENCES OPERATIONNELLES	5
4.3	INTERFACE DE SECURITE DE L'AMPLIFICATEUR.....	5
4.4	ALIMENTATION ELECTRIQUE SECTEUR.....	6
4.5	INTERFACE RF	6
4.5.1.1	Connecteur d'entrée RF.....	6
4.5.1.2	Connecteur d'entrée de modulation.....	6
4.5.1.3	Connecteur de sortie.....	6
4.5.1.4	Mesure de la puissance de sortie	6
4.6	EXIGENCES OPERATIONNELLES	6
4.6.1	Conditions mécaniques.....	6
4.6.2	Disponibilité.....	6
4.7	ACCESSOIRES / MATERIELS COMPLEMENTAIRES	6
4.8	DOCUMENTATION.....	6
5	EXIGENCES DU POSTE 1.2	7
5.1	CARACTERISTIQUES	7
5.2	DOCUMENTATION.....	7
6	EXIGENCES DU POSTE UNIQUE – LOT 2 CHAMBRE RÉVERBÉRANTE.....	7
6.1	DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES TECHNIQUES.....	7
6.2	CARACTERISTIQUES OPERATIONNELLES :	9
6.3	CARACTERISTIQUES SOUHAITEES :	9
7	AUTRES EXIGENCES RELATIVES AUX 2 LOTS	10
7.1	SECURITE	10
7.2	IDENTIFICATION.....	10
7.3	GARANTIE DE LA FOURNITURE	10
7.4	VERIFICATION DE LA FOURNITURE.....	10
7.4.1	Vérification qualitative.....	10
7.4.2	Vérification quantitative.....	11
7.4.3	Exigences d'adaptation entre l'amplificateur et la chambre réverbérante	11
7.5	SPECIFICATIONS TECHNIQUES GENERALES LOGICIEL DE GESTION.....	11
8	DOCUMENTATION	12
9	SECURITE INFORMATIQUE	13
10	MISE EN SERVICE.....	13
11	PRESTATIONS DE MAINTENANCE	13
11.1	CALIBRATION.....	14
11.2	MAINTENANCE PRÉVENTIVE.....	14
11.3	MAINTENANCE CURATIVE	14
11.4	MODALITÉS DES PRESTATIONS DE MAINTENANCE.....	14
11.5	OBSOLESCENCE D'UN ÉLÉMENT DU SYSTÈME	15
12	FOURNITURES / PRESTATIONS COMPLEMENTAIRES.....	15

1 INTRODUCTION

Le présent cahier a pour objet de définir sur le plan technique les obligations, les prestations et les modalités d'exécution auxquelles doit se conformer le titulaire dans le cadre contractuel de la prestation intitulée « Acquisition, qualification et maintenance d'un système d'exposition aux ondes électromagnétiques forte puissance en bande S pour l'étude d'effets biologiques sur la santé destiné à équiper le laboratoire d'exposition radiofréquence (D.EBR/U.RTE) de l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées ».

Au vu des nouveaux systèmes radars délivrant des niveaux de puissance de plus en plus élevés, notamment en bande S, il est important de pouvoir anticiper les effets potentiels sur l'être humain, et plus particulièrement sur les travailleurs, soumis à ces ondes de manière chronique mais aussi potentiellement accidentelle. Les valeurs limites d'exposition actuelles, notamment celles concernant les niveaux de champ crête, ont été établies sur la base de retours d'expérience liés aux capacités techniques d'anciens systèmes. Aujourd'hui, les caractéristiques des systèmes radars ont fortement évolué, et les hypothèses formulées à l'époque sont difficilement extrapolables à ces nouvelles capacités. L'objectif est donc d'analyser les effets biologiques de tels systèmes en reproduisant une exposition similaire sur des rats.

Le système d'exposition est constitué de deux parties principales :

- La génération du signal forte puissance en bande S qui va alimenter l'antenne d'émission de la chambre réverbérante,
- La chambre réverbérante assurant une exposition aux champs EM sur une zone et un niveau de puissance spécifiés.

2 OBJET / LOTS

L'objet du marché est la fourniture et la maintenance d'un amplificateur de puissance radiofréquence et d'une chambre réverbérante destinés à équiper le laboratoire d'exposition radiofréquence (D.EBR/U.RTE) de l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées.

Le présent cahier des charges se décompose en deux lots techniques :

- Lot 1 : Système de génération et d'amplification du signal en bande S
 - o Poste 1.1 : Fourniture d'un amplificateur fonctionnant en mode impulsionnel, ainsi que des générateurs RF et d'impulsion.
 - o Poste 1.2 : Fourniture de coupleurs, atténuateurs, câbles et transitions.
- Lot 2 : Chambre réverbérante
 - o Poste unique : Fourniture et installation de la chambre réverbérante.

Les prestations concernent :

- La conception le cas échéant, l'approvisionnement, la livraison, l'intégration, le raccordement, la mise en route avec qualification des équipements sur le site du laboratoire REM de l'IRBA,
- La fourniture de tous les accessoires et matériels complémentaires nécessaires à l'utilisation des équipements,
- La formation des utilisateurs,
- La maintenance des équipements à l'issue de la mise en service, sur la période de garantie et après expiration de cette dernière.

3 DEFINITION HAUT NIVEAU DES EQUIPEMENTS

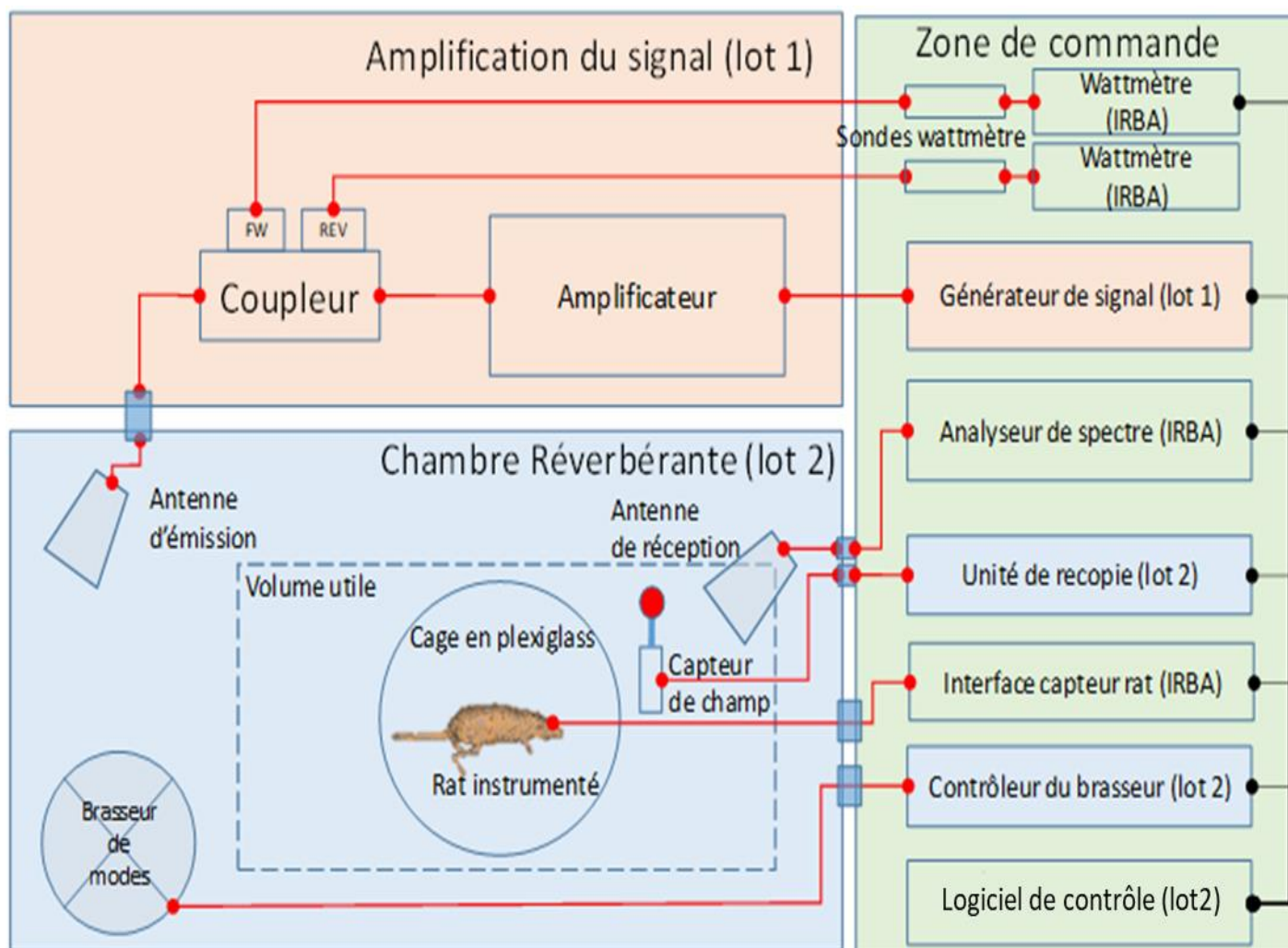
3.1 DEFINITION GENERALE

L'objectif du système d'exposition est de pouvoir générer un champ électromagnétique :

- D'un niveau crête au moins supérieur à 3500 V/m,
- Dans la bande de fréquence 2.7 – 3.1 GHz,
- Avec une longueur d'impulsion comprise au moins dans [0.1 – 100] μ s,
- Dans une zone d'exposition homogène (variation < 1.5 dB) du champ EM d'au moins 50 cm x 70 cm x 50 cm (hauteur),
- Avec un système aération de la Chambre Réverbérante à Brassage de Mode (CRBM);
- Avec un système de régulation thermique de la CRBM,
- Avec une minimisation du bruit dans l'enceinte,
- Avec une sécurisation générale du système,
- Avec une CRBM totalement hermétique aux ondes EM extérieures et intérieures.

Un synoptique du système est donné ci-après pour indication.

Figure 1: Exemple de synoptique du système d'exposition aux ondes EM



3.2 LOT1 : SYSTEME DE GENERATION ET D'AMPLIFICATION DU SIGNAL EN BANDE S

Cette partie comprend à la fois la génération du signal, son amplification et un moyen de mesurer le niveau de réflexion (coupleur bidirectionnel qui peut être intégré ou non à l'équipement d'amplification). Il intègre aussi les différents câbles d'interface. Le but étant d'optimiser la puissance en entrée de la CRBM (antenne d'émission) en minimisant tous les facteurs de pertes du bilan de la chaîne.

L'amplificateur doit fonctionner en mode impulsif et délivrer une puissance en sortie minimale de 3,5 kW, et couvrant au minimum la bande de fréquence [2,7 GHz – 3,1 GHz]. Cet appareil doit permettre d'amplifier des signaux hyperfréquences de type RF pulsé (modulation d'amplitude ou d'impulsions) provenant de divers générateurs. Notre domaine d'application exclut une utilisation à poste fixe. Cet appareil doit donc être transportable et posséder des prises de manutention.

A cet équipement, est associée la fourniture de différents matériels :

- Un coupleur de puissance,
- Un atténuateur 30 dB et un atténuateur 20 dB – 3,5 kW crête et couvrant la bande de fréquence [DC – 6 GHz],
- Un générateur RF couvrant au minimum la bande de fréquence [2.7 kHz – 3.1 GHz],
- Un générateur d'impulsion $f_{\max} \geq 30$ MHz,
- Un lot de câbles et de transition couvrant la bande de fréquence [DC – 6 GHz].

3.3 LOT2 : CHAMBRE REVERBERANTE

La CRBM va être alimentée par le signal généré en lot 1 au niveau de l'antenne d'émission.

Elle est de manière générale constituée de :

- Une enceinte faradisée,
- Une connexion / transition HF avec le signal forte puissance en bande S (lot 1) avec des pertes les plus faibles possibles dans la bande S visée,
- Une antenne d'émission optimisée en bande S et compatible des niveaux de puissance,
- Un brasseur de mode avec son contrôleur permettant d'obtenir le niveau d'exposition en champ EM dans la zone spécifiée,
- Une antenne de réception permettant de mesurer le niveau d'exposition avec une connectique passant au travers de la chambre,
- Un système de ventilation pour renouveler l'air ambiant vis-à-vis des rats d'expérimentation,
- Un système de régulation en température,
- La possibilité de passage de fil notamment pour l'instrumentation des Rats, le contrôle du brasseur, et la mesure de champs avec une sonde,
- Un capteur de champ E et son récepteur afin de mesurer le niveau d'exposition à l'intérieur de la CRBM.

3.4 DEFINITIONS

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

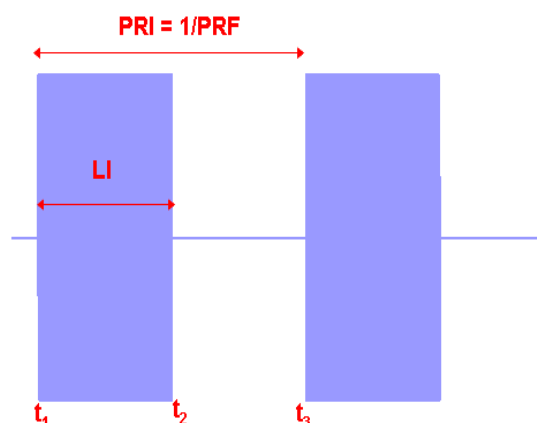


Figure 2 : Forme d'onde $S(t)$ d'un signal monofréquence

- LI : largeur d'impulsion définie à mi-hauteur
- PRI : période de répétition des impulsions
- PRF : fréquence de répétition des impulsions
- Facteur de forme : $FF = LI / PRI = LI * PRF$
- une puissance efficace crête : P_c ;
- une puissance efficace moyenne: $P_m = P_c * FF$

4 EXIGENCES DU POSTE 1.1 – LOT 1

4.1 PERFORMANCES POUR L'AMPLIFICATEUR

Si non spécifié, les performances décrites ci-dessous doivent être tenues pour la totalité de la bande de fréquence exigée (2,7 GHz – 3,1 GHz) et quelle que soit la puissance de sortie.

- Puissance efficace crête de sortie : ≥ 3.5 kW.
- Puissance d'entrée moyenne dans l'impulsion pour obtenir la puissance de sortie maximale : ≤ 10 dBm.
- Puissance d'entrée tolérable sans dommage : 0 dBm.
- Gain 65,4 / 68 \pm 2.5 dB
- Impédance nominale d'entrée et sortie : 50 Ω .
- ROS en entrée : $\leq 2 : 1$.
- Fonctionnement possible sur charge de ROS > 5 .
- Protection contre les charges à ROS infinis, mise en sécurité automatique de l'amplificateur.
- Niveau des harmoniques à la puissance de sortie nominale : ≤ -30 dBc. Cette caractéristique peut être obtenue au moyen de filtres mis en place mécaniquement en sortie de l'amplificateur.
- Densité de puissance spectrale du bruit en sortie : ≤ -30 dBm/MHz.
- Caractéristiques des impulsions :
 - o Facteur de forme : $\tau \geq 10\%$.
 - o Largeur d'impulsion pouvant au minimum varier 0.1 μ s et 100 μ s.
 - o Fréquence de répétition pouvant varier entre une mono impulsion et 50 kHz.

La largeur d'impulsion et la fréquence de répétition variant dans la limite d'un facteur de forme maximal de l'ordre de 10%.

Le générateur RF, adapté à l'amplificateur précédemment décrit doit fonctionner dans la bande [2.7 kHz – 3.1 GHz], avec une puissance de sortie maximum d'au moins 10 dBm. Les connectiques de sortie doivent correspondre aux connectiques d'entrée de l'amplificateur.

4.2 EXIGENCES OPERATIONNELLES

- 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 +80° C.

4.3 INTERFACE DE SECURITE DE L'AMPLIFICATEUR

- 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.

4.4 ALIMENTATION ELECTRIQUE SECTEUR

- Tension : $3 \times 400 \text{ V} \pm 10\%$ / 47 ... 63 Hz
- Puissance : $\leq 5000 \text{ W}$.

4.5 INTERFACE RF

4.5.1.1 *Connecteur d'entrée RF*

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

4.5.1.2 *Connecteur d'entrée de modulation*

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

4.5.1.3 *Connecteur de sortie*

Le connecteur du signal RF de sortie est de type N femelle.

4.5.1.4 *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 ($\geq 3,5 \text{ kW}$) de sortie de l'amplificateur est fournie. Cette prise de mesure est 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 a une exactitude inférieure à $\pm 2 \text{ dB}$ sur la bande passante de l'amplificateur.

4.6 EXIGENCES OPERATIONNELLES

4.6.1 Conditions mécaniques

L'amplificateur doit pouvoir être transportable et posséder des prises de manutention. Si l'appareil a un poids supérieur à 60 kg, il est alors fourni dans une baie sur roulettes équipées de freins.

4.6.2 Disponibilité

Temps de chauffe : 15 minutes maximum (Appareil en état opérationnel nominal après mise sous tension).

4.7 ACCESSOIRES / MATERIELS COMPLEMENTAIRES

Avec l'amplificateur et les générateurs, il est 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.

4.8 DOCUMENTATION

Le poste 1 comprend, avec l'amplificateur et les générateurs, 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.

Un document technique, permettant d'assurer la maintenance est également fourni.

5 EXIGENCES DU POSTE 1.2

Le poste 1.2 est constitué de coupleur, atténuateurs, câbles et transitions associés à l'amplificateur et aux générateurs du poste 1.1.

5.1 CARACTERISTIQUES

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 (poste 1.1) et au minimum comprise entre 0,8 – 3,1 GHz
- Connexions d'entrée et sortie : standard compatible avec les connexions entrée/sortie de l'amplificateur et des générateurs.
- 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.
- Coupleur : valeur de couplage comprise entre 30 et 50 dB.
- Coupleur : platitude du couplage : $\leq \pm 2$ dB.
- Coupleur : isolation : ≥ 15 dB.
- Tenue en puissance : supérieure à la puissance de sortie maximale de l'amplificateur.
- Un atténuateur de 30 dB – 3.5 kW crête.
- Un atténuateur de 20 dB – 3.5 kW crête.

5.2 DOCUMENTATION

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

6 EXIGENCES DU POSTE UNIQUE – LOT 2 CHAMBRE RÉVERBÉRANTE

6.1 DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

La description et les caractéristiques de la structure faradisée modulaire autoporteuse sont les suivantes :

- o La chambre doit être fabriquée avec une structure autoporteuse modulaire de haute qualité, capable de fonctionner jusqu'à 40 GHz.

Cette structure doit :

- o **Offrir une grande flexibilité**, permettant des modifications structurelles (agrandissement, réduction) ainsi qu'un assemblage/démontage sans perte de performance. La structure doit être composée de panneaux sandwich et traitée contre la corrosion (galvanisation type Z275).
- o **Performance de blindage** : La chambre doit être équipée de portes RF, coupe-ondes à toute épreuve, et doit permettre des mesures conformes aux normes suivantes :
 - o DO 160
 - o MIL STD 461
 - o EN61000-4-21
- o **Brasseur de modes et module de pilotage** : La chambre doit être équipée d'un **brasseur de modes**, avec une pale de rotation en aluminium à l'intérieur de la chambre réverbérante, et un système de motorisation sans balai à l'extérieur, associé à un module de pilotage numérique. Ce brasseur doit être capable de modifier la distribution du champ électromagnétique dans la chambre pour assurer une

uniformité statistique du champ dans le volume de travail. Le brasseur doit être contrôlé à l'extérieur de la chambre via un système de motorisation numérique avec précision de position de $\pm 1^\circ$ et une vitesse de rotation ajustable.

○ **Dimensions :**

- Dimensions extérieures hors tout : L x l x h : 1026 x 866 x 1290 mm
- Dimensions extérieures de la cage de Faraday (blindage) : L x l x h : 1020 x 860 x 1280 mm
- Dimensions intérieures utiles : L x l x h : 980 x 820 x 1240 mm

- **Portes et interfaces :** La chambre doit être équipée de portes hautes performances utilisant la technologie "couteau" garantissant une bonne mise à la terre. Ces portes doivent garantir une performance de blindage élevée et une durabilité de plus de 500 000 ouvertures/fermetures.
- **Systèmes de ventilation et traversées :** La chambre doit être équipée de grilles de ventilation "nids d'abeilles" pour permettre le passage de l'air tout en maintenant le blindage jusqu'à 40 GHz. Des panneaux de traversée pour les connexions coaxiales et des coupe-ondes doivent aussi être intégrés pour assurer une mise à potentiel correcte et un affaiblissement électromagnétique optimal.
- **Performance de la chambre :** La chambre réverbérante à brassage de modes doit être conforme aux normes **DO 160 G** et **MIL STD 461G** pour une plage de fréquences allant de 1 GHz à 40 GHz, avec une déviation de champ de 3 dB pour un volume de test de **560(L) x 600(l) x 500(h) mm**.
- **Installation et logistique :** La chambre doit être modulaire et totalement démontable, facilitant le transport et l'installation sans perte de performance. Un système de montage/démontage doit être prévu, permettant une réinstallation facile sur différents sites. Si un montage en usine est prévu, il est **important de noter** que les dimensions de la porte d'entrée de l'emplacement où la chambre réverbérante est installée sont de 2 mètres de hauteur et 94 cm de largeur.

Les autres caractéristiques attendues sont :

Matériaux réfléchissants :

- Parois en aluminium haute réflectivité.
- Parois, plafond et sol isolés électriquement, garantissant une homogénéité électromagnétique.

Equipements intégrés :

- Brasseur pour homogénéisation du champ.
- Éclairage interne sans interférence électromagnétique (EMI).
- Système de ventilation conforme aux normes CE, sans perturbations RF.

Portes et accès :

- Portes hermétiques aux ondes électromagnétiques.
- Passage de câbles équipé de filtres EMI.

6.2 CARACTERISTIQUES OPERATIONNELLES :

- **Homogénéité du champ** : Déviation maximale de ± 3 dB sur l'ensemble du volume d'essai.
- **Puissance admissible** : Compatible avec une puissance RF crête de 3,5 kW.
- **Antenne et accessoires** :
 - Antenne TX (1-18 GHz) : Une antenne pour l'émission dans la gamme de 1 à 18 GHz.
 - Antenne RX (1-18 GHz) : Une antenne pour la réception dans la même gamme de fréquences.
 - Supports pour antennes EOLE 1000 : Supports spécialement conçus pour les antennes.
 - Support de sonde Brasseur de modes : Support adapté pour la sonde du brasseur de modes, ainsi que des moyens de fixation.
- **Conditions de sécurité** :
 - Système d'arrêt d'urgence (coupure RF et mécanique).
 - Conforme aux normes CE pour la compatibilité électromagnétique (CEM).
- **Vérification des Performances**
Le contrôle d'efficacité du blindage est effectué en usine, avec une détection de fuite RF réalisée à 900 MHz à la fin du montage de la cage de Faraday. Un rapport de test est fourni après cette procédure.
- **Livrables** :
 - Manuel d'utilisation.
 - Documentation technique et certification de conformité CEM

6.3 CARACTERISTIQUES SOUHAITEES :

Les caractéristiques suivantes sont hautement souhaitées afin de garantir des conditions optimales pour les expériences nécessitant un environnement contrôlé à l'intérieur de la chambre réverbérante. Bien que ces exigences soient fortement encouragées, des propositions techniques justifiées, répondant partiellement à ces attentes, sont également étudiées :

- **La chambre réverbérante** à l'intérieur doit présenter l'ambiance sonore suivante :
 - Aucun bruit autour de 22 kHz, c'est-à-dire un niveau sonore ≤ 5 dB,
 - Quasiment aucun bruit sur la plage de fréquences 8 kHz - 50 kHz, c'est-à-dire un niveau sonore ≤ 15 dB,
 - Un faible niveau de bruit sur la plage de fréquences 0,25 kHz - 8 kHz, c'est-à-dire un niveau sonore ≤ 40 dB.
- **Le système d'éclairage** :
 - Doit être de type « éclairage par fibre optique », c'est-à-dire que la lumière est générée à l'extérieur de la **chambre** et transportée vers l'intérieur à l'aide de fibres optiques.
 - Lumière « blanche » :
 - Longueur d'onde comprise entre 490 nm et 600 nm,
 - Intensité variable et réglable par l'utilisateur (55 lux maximum pendant les phases d'hébergement jusqu'à 500 lux pour les phases d'intervention humaine),
 - Lumière « rouge » Émission dans le rouge saturé sans nuance, d'une longueur d'onde strictement supérieure à 610 nm, Intensité variable et réglable par l'utilisateur (25 lux max pendant les phases d'hébergement jusqu'à 500 lux pour les phases d'intervention humaine).
 - Le système d'éclairage doit fonctionner selon : - Une alternance lumière « blanche » / lumière « rouge ».

- Une programmation définie par l'utilisateur : En standard cycle 12h/12h, c'est-à-dire 12h en lumière « blanche » et 12h en lumière « rouge »
- Autre : selon les besoins de l'utilisateur, avec une programmation réglable à l'heure.
- La température à l'intérieur de la chambre réverbérante doit être autour de 22°C, avec une variation maximale de $\pm 1^\circ\text{C}$.

7 AUTRES EXIGENCES RELATIVES AUX 2 LOTS

7.1 SECURITE

Les appareils doivent être conformes aux règles d'hygiène et de sécurité du travail qui figurent dans le livre 2 titre 3 du code du travail. Cette conformité doit être attestée par un marquage réglementaire apposé sur l'appareil.

Les appareils doivent respecter :

- Les directives de l'article R233-25 du code du travail concernant les risques électriques,
- Les règles du travail en vigueur sur le plan mécanique.

7.2 IDENTIFICATION

Une identification des appareils avec un sigle de reconnaissance doit être prévue. Cette identification doit résister aux agents extérieurs (poussière, humidité...).

7.3 GARANTIE DE LA FOURNITURE

Il doit être fourni une description précise de la garantie offerte dans son offre sur les équipements.

Une extension de garantie (au minimum de 1 an et au maximum de 5 ans), en fonction des capacités du titulaire, peut être proposée. Une description détaillée de l'extension doit être fournie.

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.

7.4 VERIFICATION DE LA FOURNITURE

7.4.1 *Vérification qualitative*

Les vérifications techniques se présentent en deux phases :

1. La première phase a lieu chez le titulaire, avec ses moyens de métrologie, en présence éventuelle de représentants de l'IRBA et de la DGA, avec l'échéancier suivant :
 - Un mois avant la date prévue pour ces travaux de pré-vérification, un plan de validation du système, précisant les caractéristiques mesurées et les modes opératoires utilisés, est fourni à l'IRBA et de la DGA pour approbation. L'IRBA valide ou non ce plan sous un délai de 2 semaines à compter de la réception de celui-ci.
 - Ce délai est inclus dans le délai global contractuel.
 - Si le plan n'est pas approuvé, l'IRBA adresse ses remarques au titulaire. Ce dernier doit les prendre en compte afin de mettre en conformité le plan de validation usine. Cette mise à jour s'effectue dans le délai contractuel.
 - Réalisation dans les locaux du titulaire de la validation du système selon le plan précité validé par l'IRBA et transmission d'un rapport de validation montrant le niveau de conformité dans un délai maximum de 20 jours après exécution.
 - La validation est réalisée chez chaque fournisseur de sous-système.
2. La seconde phase consiste en une validation du système complet à l'IRBA (contrôle fonctionnel de la fourniture et un contrôle total des caractéristiques spécifiées). Cette phase est réalisée par l'IRBA dans un délai maximum de deux mois à compter de la date de livraison totale de la fourniture. C'est à l'issue de cette phase que l'avis d'acceptation est prononcé par l'IRBA.

7.4.2 Vérification quantitative

La fourniture comprend à la livraison :

- Lot 1 - Poste 1.1 : un amplificateur de puissance et les générateurs d'impulsions et RF, sa caisse de transport, un manuel d'utilisation, une documentation technique, une attestation de la durée de garantie de base.
- Lot 1 - Poste 1.2 : un coupleur, deux atténuateurs, les câbles et transitions adaptés et la documentation associée.
- Lot 2 : une chambre réverbérante.
- L'ensemble des accessoires et matériels complémentaires nécessaires à la mise en service des équipements précités.

7.4.3 Exigences d'adaptation entre l'amplificateur et la chambre réverbérante

Il est impératif que l'amplificateur soit parfaitement adapté à la chambre réverbérante afin de garantir des tests fiables et conformes aux normes en vigueur (DO 160, MIL STD 461, EN61000-4-21).

L'adaptation entre ces deux éléments doit répondre aux exigences suivantes :

- **Correspondance des niveaux de puissance** : L'amplificateur doit être dimensionné pour fournir la puissance nécessaire en fonction des spécifications de la chambre réverbérante, permettant de simuler des niveaux d'exposition électromagnétiques appropriés.
- **Compatibilité d'impédance et de connectivité** : L'amplificateur et la chambre réverbérante doivent être parfaitement compatibles au niveau de l'impédance et de la connectique. Des adaptateurs et des traversées coaxiales sont utilisés pour garantir une transmission optimale du signal entre l'amplificateur et les antennes ou autres systèmes internes de la chambre réverbérante, tout en minimisant les pertes ou les réflexions du signal.
- **Contrôle de l'interaction entre l'amplificateur et la chambre** : Le système logiciel doit intégrer des fonctions permettant de surveiller et ajuster en temps réel l'interaction entre l'amplificateur et la chambre réverbérante, assurant ainsi que les signaux délivrés restent dans les paramètres requis. Cela inclut la gestion des variations de la fréquence, de la puissance, et des niveaux de bruit générés par l'amplificateur.
- **Sécurité et gestion des interférences** : L'amplificateur doit être équipé de dispositifs de sécurité pour éviter toute surcharge ou perturbation lors de l'utilisation dans la chambre réverbérante. Il faudra également s'assurer que l'intégration de l'amplificateur n'introduit pas de bruit ou d'interférences susceptibles d'altérer la qualité des mesures effectuées. Des filtres et des protections doivent être inclus dans le système pour garantir des performances stables et fiables.
- **Facilité d'installation et de maintenance** : L'amplificateur et la chambre réverbérante doivent être conçus de manière à faciliter leur installation et leur maintenance, avec des interfaces claires pour la mise en service. Le processus d'adaptation doit être rapide et efficace, sans nécessiter de modifications complexes ou invasives de l'un ou l'autre des systèmes.

7.5 SPECIFICATIONS TECHNIQUES GENERALES LOGICIEL DE GESTION

Le logiciel de gestion de la machine et des expositions doit être conçu pour gérer l'ensemble du système de tests dans la chambre réverbérante à brassage de modes (CRBM) tout en intégrant un amplificateur pour contrôler précisément l'intensité des signaux. Ce logiciel doit permettre de superviser non seulement la rotation du brasseur de modes mais aussi les expositions électromagnétiques en fonction des paramètres définis par l'utilisateur, tout en assurant une gestion optimale du matériel et des équipements associés.

Les fonctionnalités principales du logiciel incluent :

- **Contrôle de la rotation du brasseur de modes** : Le logiciel doit permettre de contrôler la rotation du brasseur de modes. L'utilisateur peut ajuster la position et la vitesse de rotation du brasseur avec une précision de $\pm 0.1^\circ$ et une plage de vitesse ajustable. Cela permettra d'assurer une distribution uniforme du champ électromagnétique à l'intérieur de la chambre pour des tests de haute précision.
- **Gestion de l'amplificateur et des expositions** : Le logiciel doit inclure un module de contrôle pour l'amplificateur, permettant de gérer les niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques dans la chambre. L'intensité du signal amplifié doit pouvoir être ajustée en temps réel, et les expositions doivent être contrôlées selon les spécifications des tests (DO 160, MIL STD 461, EN61000-4-21). Il doit également permettre de configurer des profils d'exposition spécifiques en fonction des tests à réaliser.
- **Interface de suivi des paramètres** : Le logiciel doit fournir une interface conforme aux standards actuels d'ergonomie permettant à l'utilisateur de visualiser en temps réel les paramètres de la chambre et du système d'amplification. Cela inclura la puissance d'amplification appliquée, la position du brasseur de modes, la vitesse de rotation, et tous les autres paramètres nécessaires pour une surveillance complète des conditions d'essai.
- **Gestion de la sécurité** : Des mesures de sécurité sont incluses dans le logiciel pour assurer la sécurité des opérateurs pendant les tests. Il doit comporter des fonctionnalités telles que des alertes en cas de dépassement des niveaux d'exposition ou de détection d'anomalies dans le fonctionnement du système. De plus, des arrêts d'urgence doivent pouvoir être activés depuis l'interface logicielle en cas de problème.
- **Enregistrement et analyse des données d'exposition** : Le logiciel doit permettre l'enregistrement de toutes les données liées aux tests, y compris l'intensité des signaux, la durée des expositions, et les valeurs de la rotation du brasseur de modes. Ces données doivent être exportables sous différents formats (CSV, PDF) pour une analyse ultérieure. Le système doit aussi pouvoir générer automatiquement des rapports de test incluant les niveaux d'exposition mesurés pendant chaque session de test.
- **Mise à jour et maintenance du logiciel** : Le logiciel doit être facilement mise à jour, avec un protocole sécurisé pour garantir l'actualisation des fonctionnalités en fonction des besoins spécifiques du projet. Les mises à jour doivent être effectuées sans interrompre les tests en cours.

8 DOCUMENTATION

Le titulaire s'engage à fournir une documentation complète en français lors de la réception des équipements.

Cette documentation inclut :

- Des manuels d'utilisation pour chaque équipement fourni.
- Les certificats CE correspondants.
- Les PID des installations (Piping and Instrumentation Diagrams).
- Une liste complète de tous les composants des installations, incluant leurs références fournisseurs et la documentation technique associée.
- Un plan de maintenance, décrivant notamment les procédures et fréquences des maintenances préventives ainsi que les éléments d'usure à remplacer.
- Une liste des pièces d'usure critiques, nécessaires pour assurer le bon fonctionnement des équipements sans contraintes de délais de remplacement.
- Les certificats d'étalonnage de l'instrumentation en place et de celle utilisée pour la mise en service.
- Un support physique (CD-ROM, disque dur, etc.) contenant les plans, PID, documents et schémas électriques.

Tous ces documents doivent être datés et référencés.

Conformément à la norme NFX 60.200, les notices d'utilisation et de maintenance technique doivent obligatoirement être rédigées en français.

9 SECURITE INFORMATIQUE

Si les appareils sont bâtis sur une plateforme informatique (PC), une garantie sur l'intégrité informatique (absence de logiciels malveillants : espion, virus...) doit être apportée.

Dans ce cas, dans le cadre de la cyber sécurité il est demandé la désignation par le titulaire d'un correspondant Cyber sécurité. Ce correspondant est l'interlocuteur unique en charge de contrôler la mise en place des exigences et des procédures de cyber sécurité.

Pour toute question ou incident de cyber sécurité intrinsèque à la fourniture (virus, intrusion, etc...), cet interlocuteur prendra contact avec le prescripteur du marché et l'ASSI (Agent chargé de la Sécurité des Systèmes d'Informations) de l'IRBA.

De même, l'ASSI ou le prescripteur peut prendre contact avec cet interlocuteur en cas d'incident de cyber sécurité en lien avec le matériel. Les coordonnées de cet interlocuteur doivent être fournies (cf. Guide ANSSI mesures détaillés R1 et R25).

L'accès à Internet sur site est interdit.

Les systèmes ne doivent en aucun cas disposer d'accès à internet durant les phases d'exploitation et de maintenance sur le site de l'IRBA (cf. Guide ANSSI mesures détaillés R169 et R170).

Les connexions sans fil, intégrées à l'équipement, sont interdites.

Le titulaire s'engage à ne pas intégrer de connexion sans fil dans le système sans en informer l'IRBA. Dans le cas contraire, le titulaire prendra contact avec le prescripteur du marché et l'ASSI (cf. Guide mesures détaillés ANSSI R192).

Pour la réalisation des diagnostics de fonctionnement des appareils, le système doit intégrer un outil de rapport autonome permettant l'exportation des données de diagnostic sur un support amovible (ex. clé USB ou disque dur externe) ou tout autre méthode permettant une analyse hors ligne, sans nécessiter une connexion directe à Internet. Ces données peuvent ensuite être analysées sur un poste sécurisé.

10 MISE EN SERVICE

Outre la livraison, le titulaire s'engage à effectuer la mise en place et la mise en service du système :

- Mise en place : **Transport du matériel du quai de livraison jusqu'à son emplacement définitif.**
- Branchement des utilités : connexions des matériels aux utilités nécessaires précisés par le titulaire. Une visite préalable sur site avant l'installation est prévue afin de s'assurer que les conditions d'accueil et d'infrastructure sont adéquates pour l'installation et le bon fonctionnement des équipements. Elle est essentielle pour anticiper tout problème potentiel et garantir que l'intégration des équipements se déroulera de manière fluide et sans retard, tout en respectant les exigences techniques du projet,
- Mise en service : toutes opérations nécessaires pour permettre aux matériels de fonctionner de manière normale et satisfaisante.

11 PRESTATIONS DE MAINTENANCE

Un contrat de maintenance doit être proposé.

Les prestations de maintenance incluses sont :

- La calibration annuelle de l'appareil ;
- La maintenance préventive ;
- La maintenance curative ;

11.1 CALIBRATION

La calibration a pour objectif de vérifier la précision des mesures réalisées par l'appareil lors des tests d'intégrité, y compris l'échelle de mesure, la résolution et la précision, conformément aux directives du constructeur. En cas de déviation, la calibration doit être effectuée pour se conformer aux normes du constructeur et aux exigences spécifiques du bénéficiaire. Cette calibration est réalisée au minimum annuellement. Un rapport détaillé des calibrations est fourni à la fin de chaque opération.

11.2 MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Définition : Intervention permettant le remplacement systématique de certains composants d'usure courante, la vérification de l'état général de l'appareil et son bon fonctionnement, tant sur le plan mécanique, électrique que de l'automatisme.

Cette maintenance inclut une visite annuelle d'une à plusieurs journées selon le cas, qui est planifiée d'un commun accord entre le client et le titulaire. Le titulaire doit fournir un planning détaillé au minimum 15 jours avant l'intervention préventive.

Le titulaire fournira les pièces détachées correspondant aux préconisations du fabricant pour la maintenance de l'appareil.

Un rapport détaillé des opérations est remis à la fin de l'intervention.

11.3 MAINTENANCE CURATIVE

Chaque problème signalé par l'IRBA par écrit, téléphone ou email est enregistré et fait l'objet d'une traçabilité.

Un technicien peut être sollicité en fonction des besoins et de la disponibilité.

Les interventions nécessaires pour remettre les équipements en état sont couvertes par le présent contrat, dans la limite du montant maximum du contrat.

Les frais de maintenance curative concernent :

- Les frais de déplacement ;
- Les frais de main-d'œuvre ;
- Les pièces détachées, qui peuvent faire l'objet d'un devis spécifique.

Un rapport détaillé de l'intervention est fourni au client à la fin de chaque intervention.

11.4 MODALITÉS DES PRESTATIONS DE MAINTENANCE

Les prestations de maintenance pour la chambre réverbérante, l'amplificateur et les systèmes associés sont proposées en fonction de la stratégie de maintenance choisie par le titulaire du contrat. Il peut proposer différentes options de maintenance telles que (liste non exhaustive) :

- Coût annuel d'un contrat « calibration + maintenance préventive » : Ce contrat inclut la calibration et la maintenance préventive des équipements, avec une remise sur les tarifs de maintenance corrective, y compris la main-d'œuvre, le déplacement et les pièces détachées.
- Coût annuel d'un contrat tout risque « calibration + maintenance préventive + maintenance curative » : Ce contrat complet couvre la calibration, la maintenance préventive et la maintenance curative pour toute l'année, avec la main-d'œuvre, le déplacement et les pièces détachées inclus.
- Coût pour 2 ou 3 ans d'un contrat « calibration + maintenance préventive » : Ce contrat pluriannuel couvre la calibration et la maintenance préventive, avec une remise sur les tarifs de maintenance curative (main-d'œuvre, déplacement, pièces détachées).
- Coût pour 2 ou 3 ans d'un contrat « calibration + maintenance préventive + maintenance curative » dit tout risque : Ce contrat pluriannuel couvre l'ensemble des prestations de calibration, maintenance préventive et maintenance curative, avec pièces détachées, main-d'œuvre et déplacement inclus.

Le choix des prestations retenues fait l'objet d'un bon de commande de la part de l'administration. Les pièces détachées, si non incluses dans le contrat de maintenance, sont soumises à des devis et bons de commande spécifiques, en fonction des besoins particuliers (sauf dans le cadre du contrat tout risque, où les pièces sont couvertes).

11.5 OBSOLESCENCE D'UN ÉLÉMENT DU SYSTÈME

Le titulaire doit informer immédiatement l'IRBA le client en cas d'obsolescence d'un élément du système, qu'il soit logiciel (arrêt du support sur une version logicielle) ou matériel. Le titulaire doit alors fournir une étude de mise à niveau, chiffrée, comprenant une analyse du changement et les étapes nécessaires de conception jusqu'à la qualification complète du système modifié.

12 FOURNITURES / PRESTATIONS COMPLEMENTAIRES

Pour l'ensemble des prestations des 2 lots, des prestations non incluses dans les annexes financières (fournitures ou prestations complémentaires) peuvent faire l'objet de demandes de devis ou d'offres commerciales par l'IRBA puis de bons de commandes notifiés par l'administration, à concurrence du montant maximum du marché.