

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



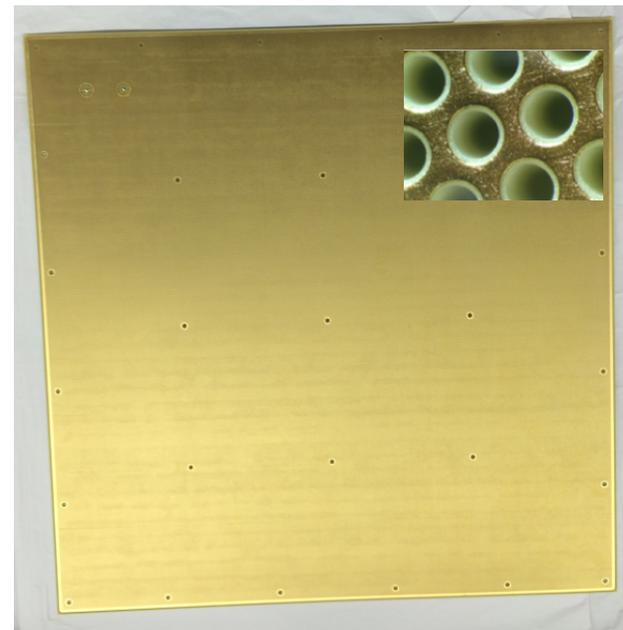
www.cea.fr



LEM SPECIFICATIONS DOCUMENT FOR CALL FOR TENDER

A. Delbart, E. Mazzucato, S. Murphy

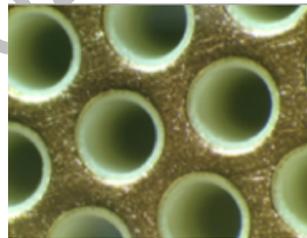
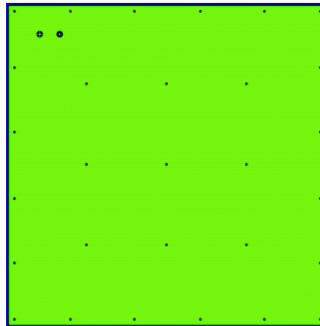
february 8th 2017



WA105 technical board vidyo meeting, february 8th 2017

CAHIER DES CHARGES ET DES SPECIFICATIONS TECHNIQUES

PRODUCTION DES LEM DU PROTOTYPE WA105 (DUNE/DP)



FOURNITURE DES AMPLIFICATEURS D'ELECTRONS A TROUS (LEM) DU PROTOTYPE WA105
Projet de marché n°16B0625

Affaire suivie techniquement par :
M. Alain Delbart
DRF/IRFU/SEDI/DePhyS
Téléphone : 01.69.08.34.54
alain.delbart@cea.fr

Affaire suivie commercialement par :
M. Pierre Bonino
Service Commercial
Téléphone : 01.69.08.15.67
pierre.bonino@cea.fr

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Pages modifiées	Motifs
DRAFT	30/09/2016	Création	Pour diffusion restreintes et corrections
DRAFT2	19/01/2017		Modifications et corrections après l'appel à candidatures
DA	01/02/2017		Version A pour corrections avant diffusion de l'appel d'offre
DB			Version B pour diffusion de l'appel d'offre

Rédacteurs		Vérificateurs		Approbateur
Nom	A. DELBART	E. MAZZUCATO	Y. PENICHOT	M. ZITO
Fonction	Chef de Projet	Resp. Physicien	Resp. QA	Resp. Scientifique
Date				
Visa				

Entre,

Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, établissement public de recherche à caractère scientifique, technique et industriel, dont le siège est situé Bâtiment Le Ponant D - 25 rue Leblanc à Paris 15^{ème} - immatriculé au Registre du Commerce et des Sociétés de Paris sous le numéro RCS Paris B 775 685 019,

représenté par _____, en qualité de _____

ci-après dénommé « le CEA »,

d'une part,

Et

La société _____, domiciliée _____, inscrite au Registre du Commerce et des Sociétés de _____ sous le numéro RCS _____,

représentée par _____, en qualité de _____

ci-après dénommée « le Titulaire »,

d'autre part,

Ci-après désignées individuellement/collectivement par « Partie/Parties ».

IL A ETE CONVENU ET ARRETE CE QUI SUIT :

Commercial document

Technical specification document

ARTICLE 1 - OBJET	3
ARTICLE 2 - DOCUMENTS APPLICABLES	4
ARTICLE 3 - OBLIGATIONS DES PARTIES	4
ARTICLE 4 - CONDITIONS PARTICULIERES D'EXECUTION	5
ARTICLE 5 - QUALITE	7
ARTICLE 6 - REMISE DE LIVRABLES	7
ARTICLE 7 - REUNIONS	8
ARTICLE 8 - INTERLOCUTEURS	9
ARTICLE 9 - ESSAIS ET CONTROLES TECHNIQUES EN USINE	10
ARTICLE 10 - CONTROLES TECHNIQUES ET ESSAIS SUR SITE	10
ARTICLE 11 - RECEPTION	11
ARTICLE 12 - GARANTIE	11
ARTICLE 13 - DELAIS D'EXECUTION	13
ARTICLE 14 - MONTANT	14
ARTICLE 15 - LIVRAISON - REGIME FISCAL ET DOUANIER	14
ARTICLE 16 - CONDITIONS DE FACTURATION	16
ARTICLE 17 - CONDITIONS DE PAIEMENT	17
ARTICLE 18 - SOUS-TRAITANCE	17
ARTICLE 19 - CONFIDENTIALITE	17
ARTICLE 20 - PROPRIETE INTELLECTUELLE	17
ARTICLE 21 - PROPRIETE DES OUTILLAGES	17
ARTICLE 22 - PENALITES	18
ANNEXE 1 - PERSONNEL DU TITULAIRE	19
ANNEXE 2 - FICHE D'INFORMATION SUR LES EFFECTIFS INTERVENANT SUR LE SITE DU CEA/SACLAY DANS LE CADRE D'UN MARCHÉ	23

Table des matières

1 - Introduction : le projet WA105 (démonstrateur DUNE/DP).....	4
2 - Principe de fonctionnement des LEM	4
3 - Objet	5
3.1 - Fourniture du Titulaire	5
3.2 - Fourniture CEA	7
4 - Conditions générales	8
4.1 - Définition des phases	8
4.2 - Suivi du contrat et du déroulement de la production	8
4.3 - Responsabilité du Titulaire	8
4.4 - Devoir d'alerte	8
4.5 - Inspection technique	9
4.6 - Modifications	9
4.7 - Outillages	9
4.8 - Planning demandé	9
5 - Assurance Qualité	10
6 - Description technique du LEM	10
7 - Directives de réalisation	12
7.1 - Fichiers gerber Tels Que Construits (TQC)	13
7.2 - Matériau de base : spécifications de la plaque d'epoxy cuivré	13
7.3 - Perçage	14
7.4 - « Desmearing »	14
7.5 - Polissage	14
7.6 - « Micro-etching » des RIM par le procédé de « Global Etching »	14
7.7 - Traitement de surface Nickel/or (Ni/Au)	15
7.8 - Détourage du LEM à ses dimensions finales	15
7.9 - Nettoyage, rinçage, et étuvage	15
8 - Contrôles et tests	15
8.1 - Procédure de contrôle de fabrication (incluse dans la LOFC)	15
8.2 - Contrôles dimensionnels et sélection des plaques d'epoxy cuivré de base	16
8.3 - Contrôle visuel et dimensionnel final du LEM	16
8.4 - Contrôles et mesures sur les témoins pour coupes métallographiques	16
9 - Recette	16
10 - Emballage / Transport	17
10.1 - Général	17
10.2 - Emballage	17
10.3 - Transport	17
11 - Contenu du dossier de fabrication et de Contrôles	18
12 - Contenu du dossier de réponse à l'appel d'offre (à compléter)	18
13 - Représentant CEA/Irfu	19
Annexe : liste des fichier gerber fournis par le CEA	20

&3 scope of the
supply
p5

TOP du LEM ($DDP = V_{TOP} - V_{BOTTOM}$) de telle sorte que le champ électrique dans le trou soit suffisamment intense (≈ 3000 V/mm) pour permettre la multiplication des électrons entrant dans les trous du LEM par un processus dit d'avalanche mis en œuvre dans les détecteurs gazeux de rayonnement ionisant. Le facteur de multiplication des électrons (appelé gain) dépend principalement de l'intensité du champ électrique dans les trous et de son uniformité sur l'épaisseur du circuit. Une variation d'épaisseur du circuit de 5% se traduit par une variation de 50% sur le gain du LEM (à une DDP appliquée fixée).

Dans le cas du LEM, le processus d'amplification par avalanche est très sensible à toute imperfection du champ électrique dans et au bord des trous. Une discontinuité de champ électrique causée par un défaut local dans un trou, au voisinage du bord d'un trou, ou sur un bord du LEM, peut favoriser l'initiation d'étincelles et empêcher l'application d'une DDP suffisante pour obtenir du gain sur le LEM, le rendant ainsi inutilisable. Un tel phénomène peut être provoqué par un corps « étranger » dans un trou comme une poussière métallique ou de fibre de verre non éliminée après le perçage, par un perçage irrégulier d'un trou dû à un forêt usé, par un défaut de localisation de perçage d'un ou plusieurs trous sur le LEM, par une gravure du cuivre irrégulière, ou par une poussière métallique ou isolante présente dans ou au bord d'un trou. Un isolement électrique entre les 2 faces du LEM correspondant à résistivité minimale de l'ordre de 10^{11} Ohm est également nécessaire pour un fonctionnement stable du détecteur.

Un soin particulier, notamment de propreté, devra donc être adopté sur toute la gamme de fabrication du LEM : outils de perçage, bains chimiques de gravure, bains de nettoyage et rinçage, préservation de l'intégrité des LEM lors des manipulations par les opérateurs (port de gants, paniers de transports adaptés) ou sur les machines de convoyage des circuits.

3 - Objet

Le soumissionnaire sélectionné (ci-après appelé le « Titulaire ») devra fournir **78** (+ une levée d'option éventuelle de 6 pièces) LEM et les documents constituant le dossier de fabrication décrits au paragraphe 3.1 - ci-dessous :

3.1 - Fourniture du Titulaire

A) Documentation (en français ou en anglais)

Le Titulaire remet au CEA un dossier initial de fabrication, à soumettre pour validation au CEA lors de la **réunion d'enclenchement de la fabrication de la présérie**. Ces documents **pourront** éventuellement être mis à jour pour la **réunion d'enclenchement de la production** mais ils ne pourront plus être modifiés par la suite.

1. Le Plan Assurance Qualité (PAQp).
2. Le planning prévisionnel avec les jalons.
3. Le bon de commande des plaques d'epoxy cuivré Panasonic. Le bon de livraison sera ajouté au dossier finalisé pour la réunion d'enclenchement de la production.
4. Les procédures de fabrication et de test, notamment la Liste des Opérations de Fabrication et de Contrôle (LOFC).

&3 scope of the supply p6

5. Les plans Tel Que Construit (TQC) des LEM : fichiers gerber pour fabrication, fournis par le CEA et mis en conformité avec la gamme de fabrication par le Titulaire.
6. Le modèle de la Fiche de Suivi de Fabrication et des Contrôles (FSFC)

A remettre au CEA avec chaque lot de fabrication

7. Le registre des non-conformités
8. Le registre des modifications
9. Les procès verbaux associés aux contrôles et tests, qui pourront être consignés sous la forme d'une Fiche de Suivi de Fabrication et Contrôles (FSFC) associée à chaque LEM.
10. Ces documents seront regroupés dans un Dossier de Fabrication et de Contrôles, rédigé en français ou en anglais.

B) Prestations à réaliser par le Titulaire

1. La rédaction de tous les comptes rendus de réunions, de contrôles, de tests et d'essai
2. La reprise des fichiers gerber fournis par le CEA pour leur mise en conformité avec la gamme de fabrication.
3. Tous les approvisionnements nécessaires à la fabrication, hormis les éléments précisés de fourniture CEA.
4. La fabrication des 78 (+ option éventuelle de 6) LEM, selon les présentes spécifications techniques (voir tableau 1).
5. La fourniture des témoins de coupes métallographiques associés à chaque LEM (voir paragraphe 8).
6. L'étude et la fabrication des outillages nécessaires à la réalisation, à la manutention, aux tests de qualification et au transport des éléments sur le site du CEA/CE Saclay.
7. Tous les contrôles et tests suivant le paragraphe 8.

Matière de base	Approvisionnement en un lot de fabrication en début de production
Matériau	Résine epoxy PANASONIC R-1566W
Dimensions	540 mm x 540 mm mini
Epaisseur de résine epoxy	1 mm (-0.04 /+0 mm selon les spécifications PANASONIC du lot)
Epaisseur de cuivre	105 µm
Epaisseur totale moyenne	1,21 (-0.04/+0) mm +/- 0.04 mm sur les 84 plaques sélectionnées
Uniformité d'épaisseur	+/- 0.04 mm (sur la surface de la plaque de base sélectionnée)
PCB LEM fini	
Dimensions	499.5 mm x 499.5 mm +/-0.2 mm
Couche de finition Ni/Au	OUI : 5 µm Ni + 0.1 µm Au
Sérigraphie	OUI (si choisie pour marquage d'identification du circuit)
Vernis épargne	NON
Epaisseur finale (Ni/Au compris)	1.15 (-0.04/+0) mm +/- 0.04 mm (moyenne sur 88 LEM et uniformité sur la surface du LEM)
Trous « actifs » avec RIM	≈ 400 000 trous non-métallisés de diamètre 0.5 mm
RIM (fini avec Ni/Au)	40 µm +/- 4 µm

Tableau 1. Résumé des spécifications techniques.

Raw material	Procurement in one batch with thickness selection
Material	PANASONIC R-1755C or R-1566W
Dimensions	540 mm x 540 mm
FR4 mean thickness	1 mm (-0.04 /+0 mm) (following the actual batch provided by PANASONIC)
Copper layer thickness	105 μm on both sides
Mean total thickness	1,21 (-0.04/+0) mm +/- 0.04 mm (mean thickness of all the LEMs produced)
Total Thickness uniformity	+/- 0.04 mm (thickness uniformity over each LEM surface)
Produced LEM	
Dimensions	499.5 mm x 499.5 mm +0/-0.2 mm
Ni/Au finish	YES: 5 μm Ni + 0.1 μm Au
Screen printing	YES (for LEMs serial number printing)
VernSolder resist mask	NO
Final thickness (Ni/Au included)	1.15 (-0.04/+0) mm (mean thickness of all the LEMs produced) +/- 0.04 mm (thickness uniformity over each LEM surface)
« active » holes with RIM	\approx 400 000 non-plated 0.5 mm diameter holes
RIM (after Ni/Au treatment)	40 μm +/- 4 μm

&6 technical specifications of the LEM p11

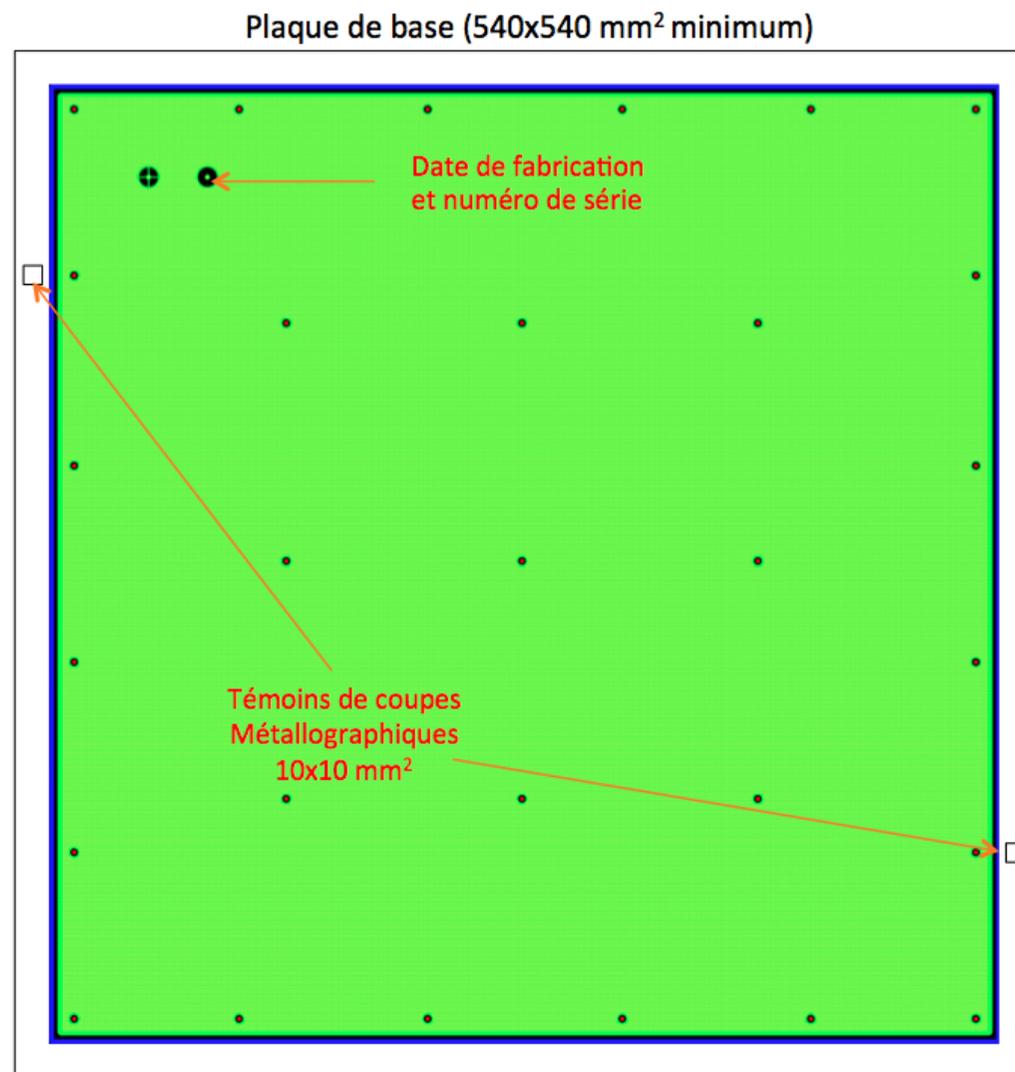


Figure 2. Plan mécanique des LEM (Vue couche du dessus, couche « a.gbr »). Sont représentés : les trous traversant non métallisés pour fixation du LEM (en rouge), les 2 motifs de connexion HT (coin supérieur gauche), les 2 témoins de coupes métallographiques.

Annexe p20 : reference gerber of the files of the 3x1x1 prototype

Annexe : liste des fichier gerber fournis par le CEA

Version du 16 SEPTEMBRE 2016 : 6 fichiers

Nom du fichier	Description
« a.gbr »	Couche de gravure de la face TOP du LEM
« for.gbr »	Fichier de perçage
« p.gbr »	Couche de gravure de la face BOTTOM du LEM
quad_cli.gbr	
rout.gbr	
Serp.gbr	

We propose the use of the modified version of these gerber files for non plated HV connexions holes of 1,2 mm diameter, in accordance with the new HV connexion pins soldering procedure (Geber used for the 50x50 cm²)

&3 scope of the
supply
p7

C) Contrôles et tests

Réalisation des contrôles et tests, consignés dans **la Fiche de Suivi de Fabrication et Contrôle de chaque LEM (FSFC)**, définis au paragraphe 8, comprenant à minima :

- 1 Les contrôles dimensionnels des plaques d'époxy cuivré sélectionnées selon les critères décrits au paragraphe 8.2.
- 2 Les contrôles visuels et sur bancs optiques de type A.O.I des LEM (paragraphe 8.3).
- 3 Les contrôles optiques des témoins pour coupes métallographiques associées à chaque LEM (voir paragraphe 8.4).
- 4 Les contrôles d'isolement et de continuité électrique des LEM.

D) Transport & Emballage

1. Les emballages individuels des LEM et les caisses de transport des lots.
2. La livraison des LEM sur le site du CEA/CE Saclay (France).

E) Réunions

Le Titulaire organise les réunions suivantes :

- enclenchement du contrat (pouvant être téléphonique),
- enclenchement de présérie (dans les locaux du Titulaire),
- enclenchement de production (dans les locaux du Titulaire),
- clôture du marché (pouvant être téléphonique).

Le CEA et le Titulaire s'entendront sur la tenue de réunions d'avancement, lors des recettes de lots par exemple.

&8 Controls and tests P15

7.7 - *Traitement de surface Nickel/or (Ni/Au)*

Une surcouche de 5 microns de Nickel et 0,1 microns d'Or est déposée sur le cuivre des LEM. L'épaisseur finale du LEM est donc de 1,15 +/- 0.04 mm (cuivre et traitement Ni/Au compris).

7.8 - *Détourage du LEM à ses dimensions finales*

Après le détourage final du LEM à ses dimensions finales de 499,5 x 499,5 mm², les 2 témoins de coupes métallographiques sont détachés et associés au LEM correspondant.

7.9 - *Nettoyage, rinçage, et étuvage*

Le LEM est dégraissé, rincé dans un bain d'eau dé-ionisée (résistivité contrôlée supérieure à 2 MOhm) et séché dans une étuve pendant au moins 3 heures pour éliminer l'eau (50-60 °C).

8 - **Contrôles et tests**

Les étapes de contrôles et tests de qualification sont consignées dans la FSFC et leurs résultats font l'objet d'un document papier ou informatique joint à la FSFC.

8.1 - *Procédure de contrôle de fabrication (incluse dans la LOFC)*

Cette procédure comprend les contrôles suivants (consignés dans chaque FSFC associée à une LEM) :

- Contrôles dimensionnels et sélection des plaques de base d'epoxy cuivré.
- Contrôles visuels et dimensionnels finaux du LEM (mesure optique des RIM et de l'épaisseur)
- Mesures sur les 2 coupes métallographiques des épaisseurs d'epoxy et de cuivre, des RIM et des dimensions des trous.
- Contrôles d'isolement et de continuité électrique.

Le Titulaire établit la liste des opérations de fabrication et des contrôles (LOFC) regroupant l'ensemble des phases de suivi de la fabrication. Le Titulaire décrit les moyens qu'il mettra en œuvre pour garantir chacun de ces contrôles, en rapport avec les tolérances et les dimensions à vérifier.

Pour chaque phase de contrôles, sont indiqués les points suivants :

- Référence des plans, spécifications ou documents de contrôles applicables.
- Points clés : établissement de document ou de PV, convocations ou points d'arrêt nécessitant la présence du CEA, d'un organisme ou de l'ensemble des intervenants.
- Référence des procès-verbaux éventuels.
- Dates des interventions et visas des intervenants.

&8 Controls and tests P16

Yannis comment:
Lack of clear
acceptance criteria

Adding clear acceptance criteria must be done and balanced to maximize the chance of an acceptable yield of production for high performance LEM and minimize the risk for the applicant to make an overpriced offer because of too stringent criteria

What do we accept for 8.3 & 8.4 in terms of :

- hole § RIM aspect and shape defects ?
- Holes location : **no misplacement of a hole vs the neighbours (level of the drilling machine precision)**
- **Copper scratches, copper etching defect ?**
- Tolerance on final copper thickness after etching and Ni/Au ? **Directly linked to the RIM diameter 10% tolerance**

8.2 - Contrôles dimensionnels et sélection des plaques d'epoxy cuivré de base

La sélection des plaques découpées aux dimensions nécessaires à la gamme de fabrication est faite au moyen d'une cartographie de relevés d'épaisseur sur les plaques couvrant le maximum de la surface intérieure de 540x540 mm² avec un minimum de 4 points de mesure en périphérie par côté, le centre et 4 points supplémentaires répartis sur toute la surface. Les 78 plaques retenues doivent avoir une épaisseur moyenne de 1,21 mm (-0.04/+0 mm selon les spécifications du lot PANASONIC approvisionné) +/- 0.04 mm. L'uniformité en épaisseur sur la surface de la plaque doit être de +/- 0.04 mm. La cartographie de relevés d'épaisseur sera jointe à la FSFC associée à chaque LEM.

8.3 - Contrôle visuel et dimensionnel final du LEM

Chaque LEM est inspecté visuellement et par A.O.I pour identifier et localiser d'éventuels défauts de conformité de gravure du cuivre et d'aspect du cuivre (rayures, impacts, ...) et des défauts de régularité de localisation des trous « actifs » du LEM, des trous de fixation ou des trous de connections HT.

Des mesures de diamètre des trous « actifs » et des RIM en plusieurs points couvrant la surface du LEM (au minimum 1 mesure au centre, 4 mesures dans les coins, 4 mesures additionnelles par côté et 12 mesures intermédiaires sur la surface restante) sont effectuées au moyen d'un équipement optique adapté du type A.O.I.

8.4 - Contrôles et mesures sur les témoins pour coupes métallographiques

Les 2 témoins de quelques cm² sont utilisés pour mesurer les épaisseurs de cuivre et Ni/Au, le diamètre et la forme des trous, la dimension et la forme des RIM, au moyen de coupes métallographique dont les résultats de mesure et des photos sont joints à la FSFC.

9 - Recette

La recette de chaque lot de 6 pièces est réalisée selon les modalités suivantes :

- Les résultats des contrôles et tests décrits au paragraphe 8 réalisés par le Titulaire sont soumis au CEA pour validation.
- Le CEA donne l'autorisation de livrer le lot de LEMs.
- A réception des LEMs, le CEA réalise le test de tenue en tension des LEMs dans l'air. (voir la description de ce test ci-dessous).
- Le CEA communique au Titulaire les résultats du test en tension de chaque LEM et la liste des LEMs définitivement acceptés.

Tests de tenue en tension des LEMs :

Les LEMs sont testés dans une enceinte étanche conçue par l'équipe projet WA105 de l'IRFU et installée dans un local propre de classe 8. L'enceinte est remplie d'air synthétique. La tension entre les 2 faces du LEM est augmentée graduellement. Le courant débité par l'alimentation de tension et le nombre de claquages, identifiés par une augmentation importante et rapide du courant (de l'ordre du μ A), sont mesurés et enregistrés en continu. Un LEM passe le test si une tension de 3500 V au moins

peut être maintenue pendant 15 minutes avec moins de 1 claquage par minute et un courant débité (hors claquages) inférieur à

&4 terms and conditions
p9

4.5 - *Inspection technique*

Pendant toutes les étapes d'études, de fabrication et de tests, le CEA se réserve le droit de venir inspecter pendant les heures ouvrables le Titulaire et ses sous-traitants. Les contrôles en usine sont à la charge et exécutés par le Titulaire. Le CEA doit être informé de leur date, au moins 8 jours ouvrés à l'avance, et se réserve la possibilité d'envoyer un représentant pour y assister.

4.6 - *Modifications*

Le Titulaire peut proposer au CEA toutes les modifications susceptibles de simplifier la fabrication des pièces. Toutes les modifications sont soumises à l'approbation du CEA. Les modifications peuvent être proposées lors de la réunion d'enclenchement de la production de la présérie et exceptionnellement lors de la réunion d'enclenchement de la production. Ces modifications sont consignées dans une mise à jour de la LOFC.

Le CEA pourra être amené à apporter des modifications au dossier de fichiers gerber fourni au moment de l'appel d'offre et utilisé par le Titulaire pour réaliser les fichiers gerber Tel Que Construit (gravure du cuivre et fichier de perçage).

4.7 - *Outils*

Le plan des outillages spécifiques éventuellement nécessaires pour la fabrication, le contrôle, la manutention et les tests sont soumis à l'approbation du CEA. Les surfaces des outillages en contact avec la fourniture ne doivent pas être blessantes ou polluantes pour celle-ci, et donc éventuellement protégées.

4.8 - *Planning demandé*

Planning prévisionnel	
T0	Signature du contrat & réunion d'enclenchement
T0 + 2 semaines	Réunion d'enclenchement de la production de la présérie Fourniture de la LOFC (PAQp), des plans TQC et de la documentation décrite en paragraphe 3.1
T0 + 4 semaines	Livraison de la présérie de 6 pièces et de la documentation associée.
T0 + 6 semaines	Revue de lancement de la production des 12 lots de 6 pièces au rythme de 1 lot par semaine.
T0 + 18 semaines	Livraison du dernier lot de 6 pièces Revue de fin de production (T0+21 semaines)

Ce planning est imposé par le planning de construction du prototype WA105 au CERN. Le T0 est soumis à l'approbation de la collaboration internationale WA105.