

Document		
Titre Title	Cahier des charges pour des prestations de métrologie pour l’IRFM	
Référence(s) / Version	I0000309965 / 1.1	
Statut Status	approved	
Circuit d’approbation / Approval Workflow		
Auteur Principal Main author	POITEVIN Evelyne 222307	
Vérificateur(s) Reviewer(s)	Vérifié par Sandrine PINAULT	31 mars 2026
Vérificateur(s) Reviewer(s)	Benoît SALAMON	27 mars 2026
Approbateur Approver	Laurent LETELLIER certifie que le document est adéquat dans son périmètre de responsabilité certifies that the document is adequate within its scope of responsibility	31 mars 2026
Emetteur Emitter	DELMAS Etienne autorise la diffusion du document et/ou le rend applicable authorizes the distribution of the document and/or makes it applicable	31 mars 2026 09:34:15
<u>Note:</u> Le statut du document (brouillon, approuvé, obsolète) ainsi que les données d’approbation associées (signatures électroniques et dates) sont enregistrées dans le système documentaire de l’IRFM (GEDI) <u>Disclaimer:</u> Status (draft, approved, obsolete) and Approval Process (electronic signatures and dates) of this document are recorded in the IRFM document management system (GEDI)		



Nature	CAHIER DES CHARGES
Titre <i>Title</i>	Cahier des charges pour des prestations de métrologie pour l'IRFM
Auteur(s) <i>Author(s)</i>	E .DELMAS
Catégorie <i>Category</i>	PROJETS, ETUDES, FABRICATION ET CONTRÔLE
Référence(s)	I0000309965
Version	1.1

	Signé par procédure électronique GEDI par <i>Signed by electronic Workflow by</i>	Date
Auteur(s) <i>Author(s)</i>	E. Delmas	18/03/2026
Vérificateur(s) <i>Reviewer(s)</i>	S. Pinault	
Approbateur(s) <i>Approver(s)</i>	Rang 1 : B. Salamon	
	Rang 2 : L. Letellier	

Historique des versions approuvées/Approved versions history

Indice de version Version	Date	Auteur(s) Author(s)	Pages ou paragraphes modifiés Pages or paragraphs changed	Nature des modifications Nature of the changes
1.1	15/10/2025	E.Delmas	Toutes	Première émission du document

Version non contrôlée lorsqu'elle est imprimée ou téléchargée depuis GEDI.

L'utilisateur est responsable de vérifier qu'il utilise la bonne version à l'aide de GEDI.

Revisions uncontrolled when printed or downloaded from IRFM DMS (GEDI).

It is the responsibility of user to ensure that he is using the last revision uploaded in the IRFM DMS (GEDI).

Niveau de protection du marché

Cocher la case :

- ☒ Libre
☐ Sensible*
☐ Classifié*
☐ sans détention ☐ avec détention ☐ CD ☐ SD

Protection des informations (application de l'arrêté du 30 novembre 2011 - IGI 1300)

Cocher la case :

- ☒ Le présent cahier des charges ne contient aucune information sensible ; il peut être mis en ligne sur la plateforme dématérialisée du CEA
☐ Le présent cahier des charges contient des informations sensibles ou classifiées : sa mise en ligne sur la plateforme dématérialisée du CEA est **interdite**.

En cas de doute ou de besoin, vous pouvez vous adresser à votre correspondant sécurité du Département ou contacter directement le CACS du centre

* Signature Correspondant Sécurité Département
Delmas Etienne

Visa :

Sommaire

1	OBJET DU DOCUMENT.....	4
2	CONTEXTE.....	4
3	CONTRAT ET MARCHE.....	4
4	BESOIN DE L'IRFM.....	4
4.1	MÉTROLOGIE DE PRÉCISION.....	4
4.2	MÉTROLOGIE D'ENSEMBLE MÉCANIQUE.....	4
4.3	SCAN HAUTE PRÉCISION.....	4
4.4	ALIGNEMENT ET CONTRÔLE DE COMPOSANT SUR WEST.....	5
4.5	SCAN D'ENVIRONNEMENT.....	5
4.6	TOMOGRAPHIE X.....	6
4.7	MÉTROLOGIE SUR MACHINE OPTIQUE.....	6
4.8	PRESTATION DE CONSEIL.....	6
4.9	LOCATION DE MATÉRIEL.....	6
5	PRESTATIONS DEMANDÉES.....	6
5.1	TYPE DE PRESTATION.....	6
5.2	RAPPORT.....	7
6	PRESTATIONS SUR UNITÉS D'ŒUVRE.....	7
6.1	UO1 : MÉTROLOGIE CHEZ LE PRESTATAIRE.....	7
6.2	UO2 : MÉTROLOGIE SUR SITE (INCERTITUDE +/-0,1MM).....	7
6.3	UO3 : ALIGNEMENT ET CONTRÔLE DE COMPOSANT SUR WEST.....	8
6.4	UO4 : SCAN D'ENVIRONNEMENT.....	8
6.5	UO5 : LOCATION DE MATÉRIEL.....	8
6.6	UO6 : TRAITEMENT – LISTING DE POINTS.....	9
6.7	UO7 : TRAITEMENT – ECART À LA CAO.....	9
6.8	UO8 : TRAITEMENT – RECONSTRUCTION DE SURFACES.....	9
7	PRESTATIONS SUR DEVIS.....	9
7.1	CAS 1 : SCAN HAUTE PRÉCISION DE PETIT VOLUME SUR SITE.....	9
7.2	CAS 2 : TOMOGRAPHIE X.....	10
7.3	CAS 3 : MÉTROLOGIE SUR MACHINE OPTIQUE.....	11
7.4	CAS 4 : PRESTATION DE CONSEIL.....	12
8	CONTRAINTES TECHNIQUES.....	12
8.1	QUALIFICATION.....	12
8.2	A LA CHARGE DU CEA.....	12
8.2.1	Dans tous les cas.....	12
8.2.2	Pour les mesures réalisées à l'IRFM.....	12
8.2.3	Pour les pièces mesurées chez le contractant ou un sous-traitant.....	12
8.3	A LA CHARGE DU TITULAIRE.....	12
8.3.1	Dans tous les cas.....	12
8.3.2	Pour les mesures réalisées à l'IRFM.....	13
8.3.3	Pour les pièces mesurées chez le contractant ou un sous-traitant.....	13
8.4	ORGANISATION DU TRAVAIL.....	13
	ANNEXE : CONDITIONS D'ACCÈS À L'ENCEINTE WEST.....	14

1 OBJET DU DOCUMENT

Ce document constitue le cahier des charges pour la réalisation de prestations de métrologie pour l'IRFM.

Ces prestations seront réalisées dans le cadre d'un contrat pluriannuel de 4 ans (2026-2030).

2 CONTEXTE

L'activité de l'IRFM implique l'utilisation de pièces mécaniques. Pour le bon fonctionnement des différents systèmes utilisés, la connaissance de la géométrie des pièces est un paramètre important, à tous les stades d'avancée des projets (conception, fabrication, montage, assemblage, maintenance).

3 CONTRAT ET MARCHE

Le marché est un accord-cadre comprenant des prestations sur bons de commande ou sur marchés subséquent, telles que décrites dans le projet d'accord inclus dans le dossier de consultation des entreprises

4 BESOIN DE L'IRFM

Les besoins de L'IRFM couvrent différents types de projets (WEST, ITER, DEMO, ...) ainsi que les diverses étapes d'avancement de ces projets (conception, fabrication, montage, assemblage, maintenance).

En termes de délai, certaines métrologies peuvent nécessiter une intervention rapide. Aussi il est demandé une remise de devis sous 3 jours et une intervention dans la semaine qui suit l'établissement du marché subséquent.

Parmi les principaux besoins, nous pouvons lister :

4.1 Métrologie de précision

Validation de la conformité de pièces après fabrication, sur site (IRFM) ou hors site (France métropolitaine) (tolérance jusqu'à 0.05mm, rarement en dessous).

Pour les métrologies faites chez le prestataire (ou un sous-traitant), L'attendu du CEA est une incertitude de mesure faible (inférieure à $\pm 10\mu\text{m}$) sur des pièces pouvant atteindre un volume de 2m³.

4.2 Métrologie d'ensemble mécanique

Métrologie d'ensemble mécanique ou pièce de grande dimension à effectuer sur site pour réglage, mise au point ou résolution de problème. La métrologie est réalisée par palpéage ou scan. Le volume de mesure est de l'ordre de 1m³ et l'incertitude demandée est en général de $\pm 0.1\text{mm}$.

4.3 Scan haute précision

Scan de la surface de composants pour réglage ou étude de l'évolution dans le temps. Une incertitude de $\pm 25\mu\text{m}$ est demandée. L'objectif est en général de :

- visualiser des défauts de surface sur le nuage de points (écart à la CAO)
- comparer 2 nuages de points de la même pièce, réalisés à différents moments, en utilisant des formes géométriques pour le recalage
- mesurer certaines caractéristiques (taille de gorge, variation d'épaisseur, taille de défauts géométriques...)

4.4 Alignement et contrôle de composant sur WEST

Cette tâche consiste à effectuer des mesures pour permettre à l'équipe mécanique du CEA de positionner des composants (mesure en temps réel) ou à contrôler la position et/ou la géométrie de composants à l'intérieur ou à l'extérieur de la machine avec une incertitude de l'ordre de $\pm 0.1\text{mm}$.

Pour les composants situés à l'intérieur de la machine (tokamak), les résultats seront donnés dans le référentiel WEST (référentiel cylindrique) matérialisé par des points de références répartis sur la paroi de WEST.

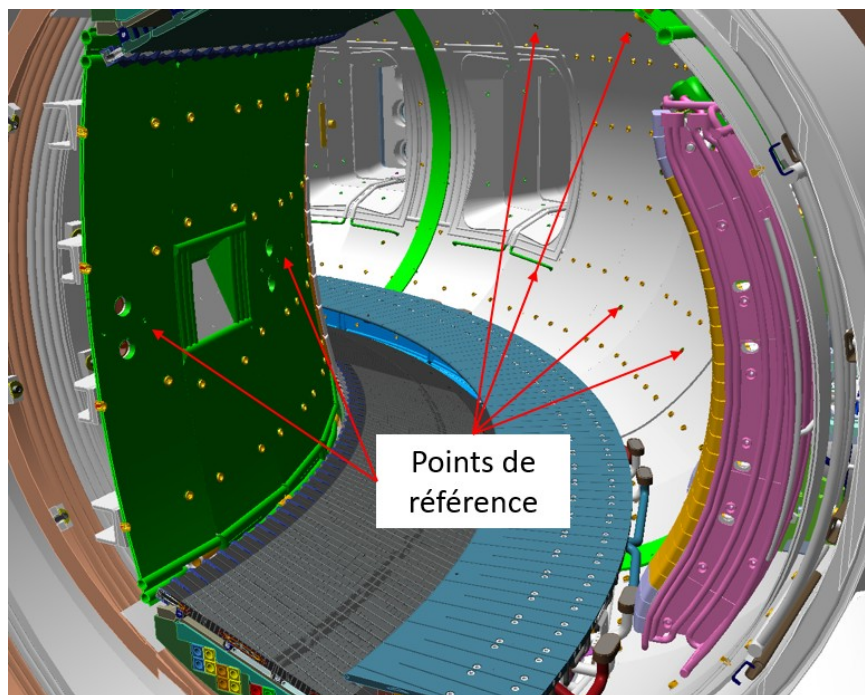


Figure 1 – Exemple de points de référence dans WEST

Pour les interventions sur l'extérieur machine (dans le hall tore), il est demandé une habilitation H0B0.

Pour les interventions à l'intérieur de l'enceinte WEST, il n'est plus nécessaire que le personnel soit CEFRI cat.B. Voir en Annexe les conditions à respecter pour accéder à l'enceinte WEST.

4.5 Scan d'environnement

Cette tâche consiste à scanner un environnement dans le but de :

- D'avoir une base pour commencer une étude (intégration nouveau composant ou modification)
- En cours et à la fin de la conception, scanner l'environnement pour vérifier l'absence de clash et déterminer la distance aux composants les plus proches.
- Après montage, garder une trace de la géométrie réelle de la zone.

Le nuage de points devra avoir une incertitude inférieure à 2mm.

Le nuage de points devra être visible facilement (sans achat de licence) avec éventuellement la possibilité de faire des mesures directes dans le nuage de points (incertitude 10mm). Il devra aussi être colorisé pour faciliter sa compréhension.

A la demande du CEA, certaines surfaces importantes seront reconstruites en CAO et fournies en fichier step.

4.6 Tomographie X

Cette tâche consiste à réaliser la tomographie de petites pièces chez le contractant. L'objectif est de réaliser le contrôle dimensionnel des parties internes et/ou de la santé matière. Ces pièces seront principalement en inox.

Le tomographe doit permettre la détection de défaut type (porosités, manque de pénétration et fissures importante sur des pièces de 15mm d'épaisseur d'inox 316L).

4.7 Métrologie sur machine optique

Cette tâche consiste à réaliser la métrologie de pièce par épiscopie ou diascopie avec une incertitude inférieure à $\pm 20\mu\text{m}$. Cette mesure sera réalisée chez le prestataire ou son sous-traitant.

4.8 Prestation de conseil

Les prestations de conseils portent sur des sujets relatifs à la métrologie, sans réalisation de mesure, par exemple :

- Optimisation de la conception de composants pour améliorer l'incertitude de mesure / le positionnement et l'orientation dans l'espace (par exemple système optique avec des miroirs).
- Optimisation de la gamme de fabrication / montage / métrologie, conseil pour l'implantation de références sur le composant tout ceci dans le but d'avoir la meilleure incertitude de position / orientation sur la pièce réelle.
- Simulation de mesure pour prévoir l'accessibilité des instruments, optimiser la séquence de mesure (matériel, positionnement instruments, nombre de stations, ...)
- Calcul d'incertitude de mesure
- Réalisation de programme de mesure
- Formation d'utilisateurs pour matériel, logiciel et programme de mesure

4.9 Location de matériel

Pour des activités de métrologie s'étalant sur une durée importante, nous souhaitons pouvoir louer du matériel qui serait utilisé par du personnel de l'IRFM.

Le matériel sera fourni avec son certificat d'étalonnage de moins de 2 ans, ainsi que les accessoires courants permettant de faire la mesure et de contrôler le système (jeu de palpeurs, barre étalon, ...). Un ordinateur portable avec les programmes adaptés sera également fourni.

Cette prestation pourra être associée à la fourniture d'un programme de mesure (voir chapitre 4.8).

Ces besoins ne sont pas exhaustifs, et d'autres prestations relatives à la métrologie dimensionnelle pourront être demandées dans ce contrat (sur devis).

5 PRESTATIONS DEMANDÉES

5.1 Type de prestation

La prestation concerne la réalisation des métrologies/conseils listés ci-dessus. D'autres types de mesures dimensionnelles pourront être demandées suivant les besoins de l'IRFM. Les mesures/conseils peuvent être réalisées directement par le contractant ou par un sous-traitant.

Les prestations peuvent être réalisées soit au CEA Cadarache, soit chez le titulaire, soit chez un sous-traitant du CEA.

5.2 Rapport

Pour la plupart des prestations, un rapport sera demandé (voir UO dédiées). Ce rapport comprendra à minima :

- Les informations sur la pièce mesurée (nom, identifiant, numéro de plan)
- Les informations sur les conditions de mesure (date, lieu, température ambiante)
- Les informations sur le métrologue (société, nom et qualification)
- Les informations sur la mesure (Désignation du matériel utilisé, numéro de série, certificat de calibration, incertitude attendue pour la mesure réalisée)
- Résultats de mesure (cote réelle, cote nominale, déviation, sens de la déviation)

Pour les nuages de points :

- Ecart à la CAO
- Fourniture du nuage de points en format PLY ou .E57
- Fourniture des maillages en .stl

Pour les métrologies dans WEST :

- Positions exprimées dans le référentiel machine WEST ou dans le référentiel CAO WEST.

6 PRESTATIONS SUR UNITÉS D'ŒUVRE

6.1 UO1 : Métrologie chez le prestataire

Cette UO consiste à contrôler avec une MMT chez le prestataire une pièce suivant plan et à vérifier la conformité des côtes.

L'UO1 constitue le palpage d'une surface simple (type plan ou cylindre). Ces surfaces simples sont ensuite utilisées pour calculer des longueur, diamètre, planéité, etc...

Ces UO n'incluent pas de rapport ni de livrable (voir UO 6-7-8)

6.2 UO2 : Métrologie sur site (incertitude +/-0,1mm)

Cette prestation consiste à palper ou scanner un composant mécanique (hors enceinte tokamak WEST) avec bras de mesure ou laser tracker par palpage et scan.

L'UO2a décrit la mise en place du matériel (installation, calibration, vérification points de référence).

L'UO2b décrit le palpage d'une surface simple (plan, cylindre, 10 points).

L'UO2c décrit le scan d'une surface de 100x100mm.

Ces UO n'incluent pas de rapport ni de livrable (voir UO 6-7-8)

6.3 UO3 : Alignement et contrôle de composant sur WEST

Cette UO consiste à réaliser le contrôle et/ou à positionner des composants à l'intérieur de l'enceinte du tokamak WEST.

Les mesures ont lieu par :

- Palpage : incertitude de mesure inférieure à $\pm 30\mu\text{m}$
- Scan : incertitude de mesure inférieure à $\pm 50\mu\text{m}$

L'UO3a comprend la préparation du matériel pour pouvoir faire la première mesure. Ceci inclut le transfert du matériel dans l'enceinte, l'installation, la calibration et l'acquisition du référentiel WEST.

L'UO3b le palpage d'une surface simple (plan ou cylindre, 10 points).

L'UO3c décrit le scan d'une surface de 100x100mm avec une haute densité de points.

Ces UO n'incluent pas de rapport ni de livrable (voir UO 6-7-8)

6.4 UO4 : Scan d'environnement

Scan de grand volume avec un scanner de type architecture.

L'incertitude de mesure doit être inférieure à $\pm 1\text{mm}$.

L'UO4 représente le scan de 10m² de surface en une seule station.

Cette UO n'inclut pas de rapport ni de livrable (voir UO 6-7-8)

6.5 UO5 : Location de matériel

- UO5a : Location d'un bras de mesure de 2,5m avec scanner pour une durée de 1 semaine.
- UO5b : Location d'un laser tracker type AT960 avec T-probe et T-scan, ou équivalent, pour 1 semaine.



Figure 2 – Bras de mesure de 2,5m avec scanner et laser tracker

Les UO suivantes concernent le dépouillement, les livrables et la réalisation des rapports de métrologie. Elles peuvent être associées à n'importe quel type de prestation.

6.6 U06 : Traitement – Listing de points

Cette UO consiste à réaliser un rapport contenant le listing de 10 points palpés (exprimés dans le référentiel de la pièce ou référentiel WEST).

6.7 U07 : Traitement – Ecart à la CAO

Cette UO consiste à réaliser un rapport contenant la cartographie des écarts à la CAO d'une surface de 100x100mm.

6.8 U08 : Traitement – Reconstruction de surfaces

Cette UO consiste à reconstruire 10 surfaces simples (plans, cylindres, sphères) à partir d'un nuage de points et à fournir les fichiers step dans le référentiel demandé.

7 PRESTATIONS SUR DEVIS

Les types de prestations listées ci-dessous sont réalisées rarement, elles seront donc chiffrées sur devis (et ne feront donc pas l'objet d'UO).

Les cas ci-dessous sont à chiffrer et seront intégrés au scénario permettant d'évaluer les offres (voir chapitre suivant).

7.1 Cas 1 : Scan haute précision de petit volume sur site

Le cas à chiffrer consiste à scanner une partie d'un secteur PFU (voir Figure 3) (zone de $\approx 150 \times 200 \text{ mm}$) avec une incertitude inférieure à $\pm 25 \mu\text{m}$ et de :

- Déterminer les écarts à la CAO
- Calculer les écarts entre monoblocs (entre 0,3 et 0,5mm) : écarts entre 2 blocs suivant les 2 directions Figure 3.
- Calculer les écarts d'altitude entre 2 monoblocs voisin suivant la direction en orange Figure 3. L'écart est à calculer suivant la direction perpendiculaire à la surface des monoblocs.
- Comparer les écarts à une autre mesure du même type.

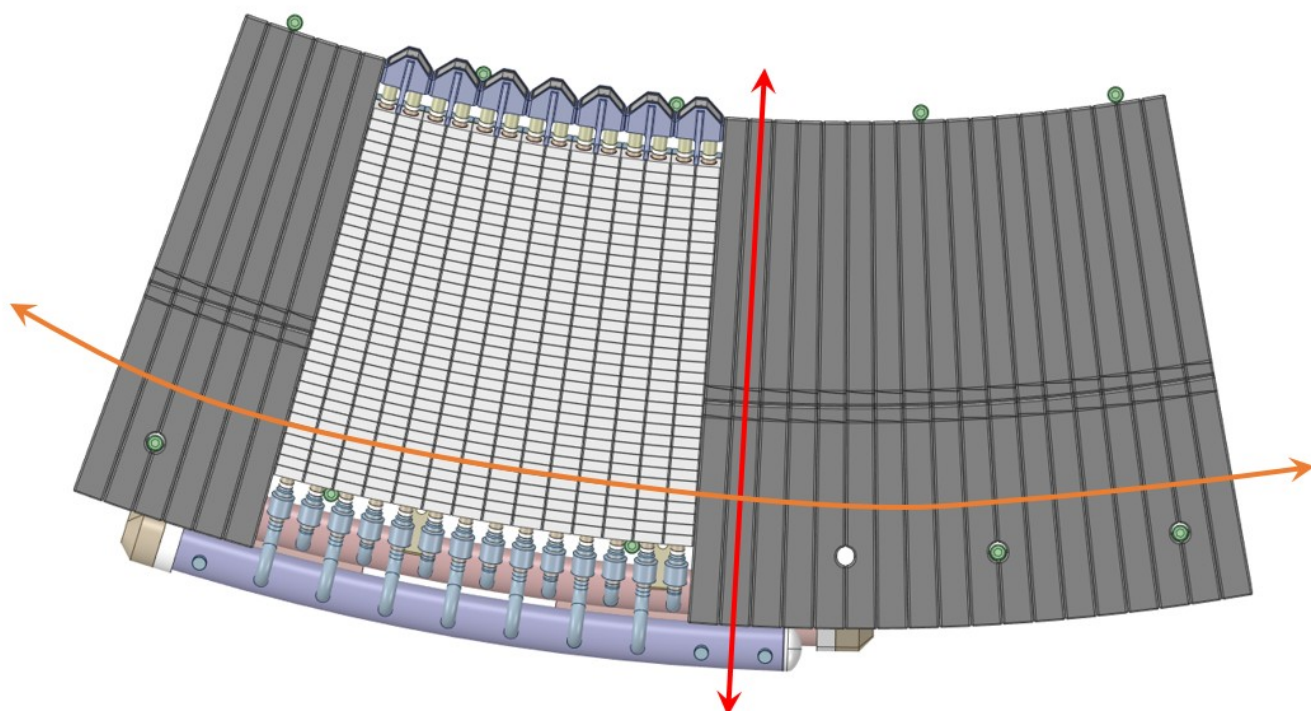


Figure 3 - Secteur PFU mixte

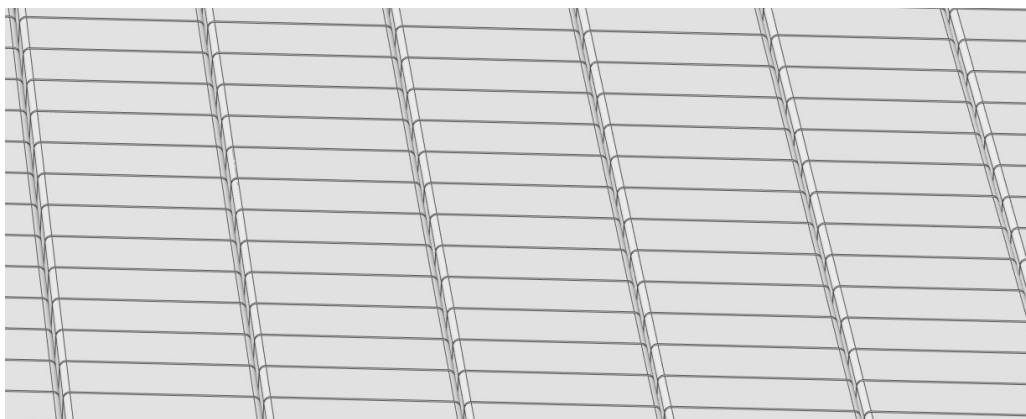


Figure 4 – Détail Secteur PFU

7.2 Cas 2 : Tomographie X

La pièce à chiffrer est un miroir refroidi (sera fermé par son capot de 4mm d'épaisseur). L'objectif de la mesure est de vérifier la pénétration des soudures.

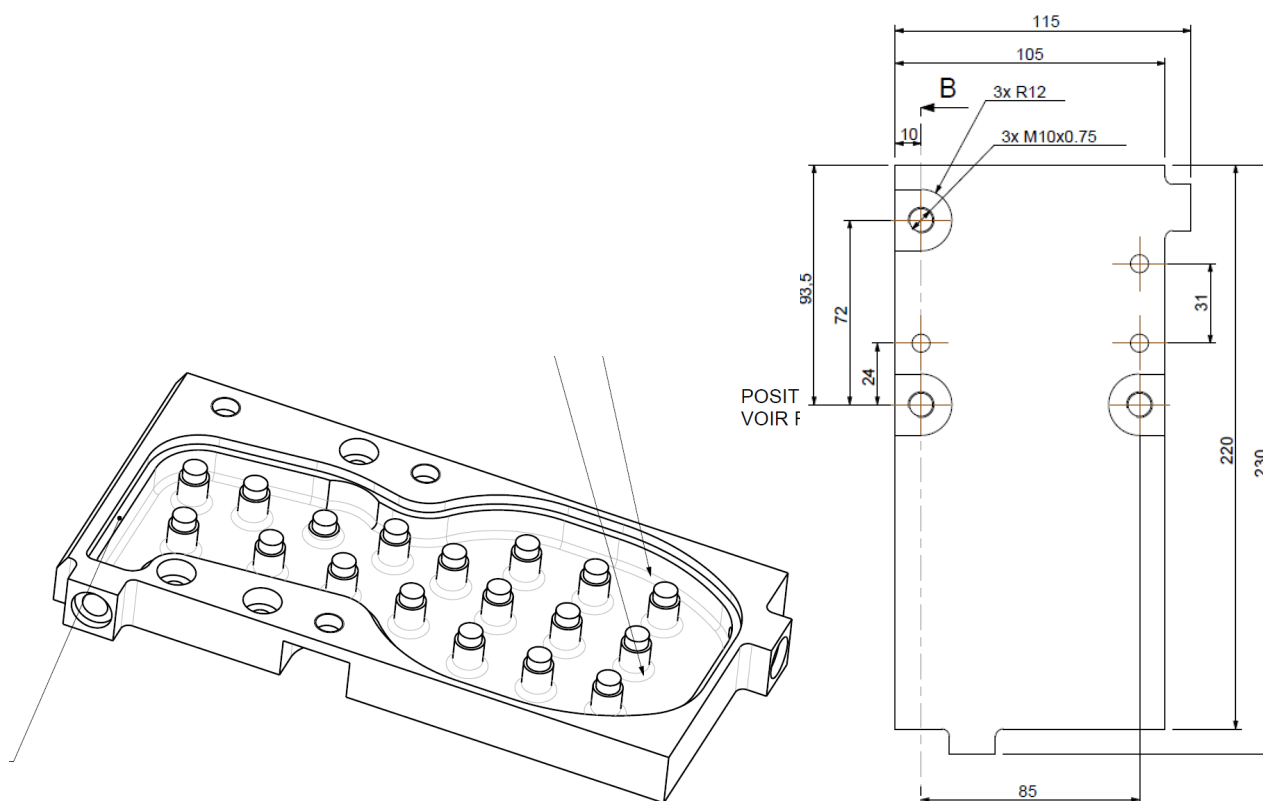


Figure 5 – Extrait du plan TSW63287

Le livrable est un rapport sur la santé matière et les images (ou vidéo) de la pièce en coupe.

7.3 Cas 3 : Métrologie sur machine optique

Cette mesure consiste à mesurer le diamètre moyen de 50 brins dans la section d'un câble supraconducteur. La section de câble fournie pourra faire de 10 à 30mm de longueur. Les brins font environ 0,8mm de diamètre. L'incertitude demandée est de l'ordre de 10µm.

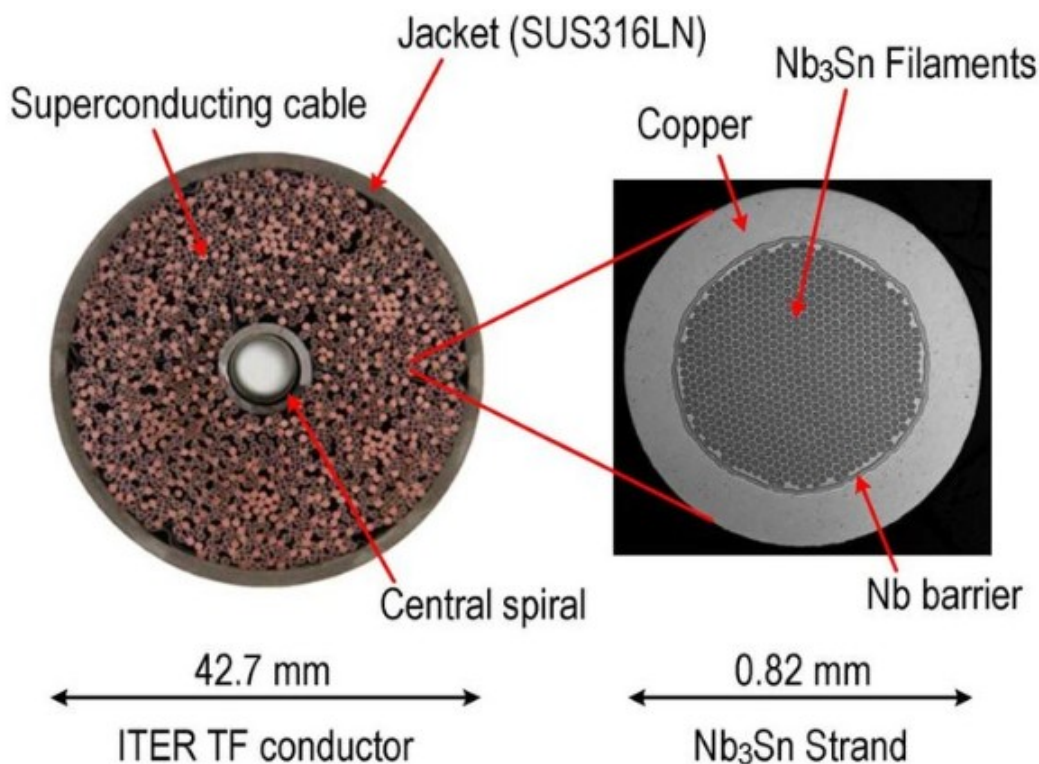


Figure 6 – Câble supraconducteur

Le résultat de la mesure est un fichier contenant une photo de la section avec la localisation des sections mesurées et un tableau avec les résultats des diamètres.

7.4 Cas 4 : Prestation de conseil

L'exemple consiste à réaliser un programme de mesure permettant de contrôler un secteur PFU (même mesure que décrite au chapitre 6.2). Le programme sera automatisé et rendu utilisable par du personnel non métrologue. Il fournira directement les résultats de mesure tel que décrit au chapitre 6.2).

Ce cas à chiffrer inclut la formation du personnel à l'utilisation du système de mesure et du bras. Le personnel est technicien en mécanique, non métrologue.

8 CONTRAINTES TECHNIQUES

8.1 Qualification

Le personnel intervenant devra justifier d'une expérience significative avec les instruments utilisés et la métrologie en général.

Le personnel intervenant devra être habilité H0/B0 à minima pour pouvoir entrer dans le hall tore (et donc l'enceinte WEST).

L'entreprise doit disposer d'une CRP (Cellule de Radioprotection) ou SCPPRP (Service de Compétence en Protection contre les Rayonnements Ionisants).

8.2 A la charge du CEA

8.2.1 Dans tous les cas

Le CEA fournit :

- les pièces à mesurer
- les plans

- les modèles CAO

8.2.2 Pour les mesures réalisées à l'IRFM

Le CEA met à disposition :

- Marbre ou de support pour les pièces
- Electricité
- Eclairage
- Vestiaire
- Accompagnement dans l'enceinte WEST

8.2.3 Pour les pièces mesurées chez le contractant ou un sous-traitant

Le CEA a en charge :

- Emballage des pièces
- Expédition aller des pièces
- Eventuellement posage des pièces

8.3 A la charge du Titulaire

8.3.1 Dans tous les cas

- Tout le matériel nécessaire à la mesure (système de mesure, consommables, ...)
- Les étalons ou matériel de contrôle du système de mesure
- Le matériel doit avoir un certificat d'étalonnage conforme de moins de 2 ans

8.3.2 Pour les mesures réalisées à l'IRFM

- Les EPI

8.3.3 Pour les pièces mesurées chez le contractant ou un sous-traitant

- Transport retour des pièces avec assurance sur la valeur des pièces

8.4 Organisation du travail

Le travail se déroulera selon les modalités définies au sein du projet d'accord-cadre.

Des réunions sont prévues dans le cadre de ce marché, et comprennent notamment :

- une réunion de lancement des exécutions,
- une réunion d'avancement annuelle,
- une réunion de clôture au terme du présent accord cadre

Avant le début du travail, le CEA définit les précautions à prendre pour ne pas endommager ou salir les pièces. Le Titulaire prend toutes les mesures nécessaires pour respecter ces précautions.

Avant les interventions sur le site du CEA, Le Titulaire devra fournir, 5 jours ouvrés avant l'intervention :

- Analyse de risque
- Mode opératoire

Ces documents permettront d'établir l'Autorisation de Travail (AT) qui doit être signée par toutes les parties avant le début du travail.

ANNEXE : CONDITIONS D'ACCÈS À L'ENCEINTE WEST

Pour l'accès à l'enceinte les actions suivantes devront être menées avant l'accès :

- Obtenir une carte d'accès au Hall tore avec accès à l'enceinte
- Avoir ouvert un compte dosimétrique dans l'application Cadarache CARD2 auprès du bureau de la dosimétrie de Cadarache
- Avoir reçue une information en radioprotection :
 - o Du CRP ou SCPPRP de l'entreprise intervenante
 - o Du SPR local pour informations sur les risques liés à l'environnement de travail (durée de validité 3 ans).

Il n'est pas requis d'aptitude médicale.

L'IRFM prêtera un dosimètre le temps de l'intervention.