



Cahier des clauses techniques particulières (CCTP)

Fourniture de cavités accélératrices elliptiques pour le projet iSAS

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	7
1.1	Contexte scientifique	7
1.2	Présentation du CNRS et de l'IJCLAB.....	7
1.3	Environnement et caractéristiques des cavités	8
2	OBJET DU MARCHE.....	8
3	CONTENU DE LA FOURNITURE	8
3.1	Liste des plans	9
3.2	Ensembles terminés prêts à livrer.....	10
3.3	Éléments à fournir par le titulaire	10
3.4	Fournitures par le CNRS	11
4	CALENDRIER D'EXECUTION	11
4.1	Calendrier prévisionnel	11
4.1.1	calendrier détaillé	14
4.2	Calendrier des opérations fourni par le titulaire	15
5	CONDITIONS GENERALES.....	15
5.1	Modifications	15
5.2	Outillage	15
5.3	Machines et équipements	16
5.4	Responsabilité de la fourniture	16
6	SUIVI D'EXECUTION DU MARCHE.....	16
6.1	Organisation générale.....	16
6.2	Communication.....	16
6.3	Suivi d'avancement	17
6.4	Accès aux locaux	17
7	DOCUMENTATION TECHNIQUE	17



7.1	Récapitulatif de la documentation technique complète	18
7.2	Dossier de fabrication	18
7.3	Dossier "Traveller"	19
8	DESCRIPTIF TECHNIQUE	19
8.1	Description générale	19
8.2	Cavité en niobium	20
8.2.1	Description et caractéristiques	20
8.2.2	Mise en forme des plaques	21
8.2.3	Décapage chimique	21
8.3	Soufflet en titane	21
8.4	Visserie	22
8.5	Mesures de fréquence	22
8.6	Réservoir Hélium	25
8.6.1	Description et caractéristiques techniques	25
8.6.2	Brides du reservoir hélium	25
8.7	Soudures	25
8.8	Soudures des brides	25
8.9	Contraintes liées au vide	26
8.10	Précautions particulières	26
8.11	réglage du plat de champ	27
8.12	divers	27
9	ASSURANCE QUALITE	28
9.1	Dispositions de l'assurance qualité	28
9.2	Certification qualité	28
10	CONTROLES	28
10.1	Considérations générales	28



10.1.1	Modalités de réalisation des tests et contrôles	28
10.1.2	Procédures	29
10.2	Matériaux	29
10.2.1	Qualification des matériaux.....	29
10.2.2	Niobium	29
10.2.3	Titane	30
10.2.4	niobium/titane.....	30
10.3	Etat de surface des tôles en niobium après formage et décapage chimique	30
10.4	Soudures.....	30
10.4.1	Qualification des soudeurs et dispositions générales	30
10.4.2	Dispositions particulières liées aux soudures par procédé TIG (titane/titane)	31
10.4.3	Dispositions particulières liées au soudage par faisceau d'électrons (FE)	31
10.4.4	Contrôle des soudures.....	31
10.5	brides soudees et chocs thermiques.....	31
10.6	Contrôles dimensionnels.....	32
10.7	Tests de fuite à l'hélium	32
10.8	Mesures de fréquence	33
10.9	Nettoyage et précautions de propreté	33
11	EXPEDITION ET LIVRAISON.....	33
11.1	Lieu de livraison.....	33
11.2	Emballage pour le transport et le stockage	34
12	DECISION D'ADMISSION ET GARANTIE	34
13	PERSONNES RESPONSABLES TECHNIQUEMENT	35



ANNEXES

PLANS DE DETAIL ET D'ENSEMBLE DE LA CAVITE ELLIPTIQUE ET SON RESERVOIR D'HELIUM

Les plans font l'objet d'un document séparé intitulé « **ISAS 5 cells cavity** ».



ABREVIATIONS

iSAS	Innovate for Sustainable Accelerating Systems
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
IN2P3	Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules
IJCLab	Laboratoire de Physique des 2 Infinis Irène Joliot-Curie
Linac	LINear Accelerator/ Accélérateur linéaire
HF / RF	Hyperfréquence / Radiofréquence (termes similaires)
FE / EB	[Soudage par] Faisceau d'Electrons / Electron Beam [welding]
PQR / QMOS	Procédure Qualification Record / Qualification de Mode Opérateur de Soudage
CCAP	Cahier des Clauses Administratives Particulières
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
DCE	Dossier de consultation des entreprises
VEP	Électropolissage Vertical
HT / TT	Heat treatment / Traitement Thermique
HPR	High Pressure Rinsing / Rinçage à l'eau haute pression
BCP	Buffered Chemical Polishing / Décapage chimique

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Les Accélérateurs de particules sont devenus des instruments essentiels pour améliorer notre santé, l'environnement, notre sécurité et nos capacités de haute technologie, pour dégager de nouvelles connaissances fondamentales en physique, chimie, biologie, et de manière générale, pour permettre des percées scientifiques qui améliorent nos vies. Accélérer des particules à des énergies plus élevées nécessitera toujours une grande quantité d'énergie. Dans une société où la durabilité énergétique est essentielle, maintenir la consommation d'énergie aussi basse que possible constitue un défi incontournable tant pour les infrastructures de recherche (IR) que pour l'industrie, qui exploitent collectivement plus de 40,000 accélérateurs.

Basé sur une technologie de pointe, la consommation d'énergie des IR actuels et futurs en Europe axées sur les accélérateurs pourrait représenter jusqu'à 1% de la demande annuelle d'électricité de l'Allemagne. Avec l'ambition de maintenir l'attractivité et la compétitivité des IR européennes et de permettre le Green Deal européen, le projet « Innovate for Sustainable Accelerating Systems » (iSAS) a été créé établissant ainsi une collaboration renforcée dans le but d'élargir, accélérer et amplifier le développement et l'impact de nouvelles technologies d'économie d'énergie pour accélérer les particules. Pour de nombreux accélérateurs pionniers, les systèmes RF supraconducteurs (SRF) représentent la technologie de base. iSAS innovera dans les technologies qui sont au cœur des systèmes d'accélération SRF et qui sont les principaux leviers pour minimiser la consommation d'énergie dans toutes les phases de fonctionnement. Dans le paysage des IR axées sur les accélérateurs, des solutions sont développées pour réutiliser la chaleur dissipée produite, développer des aimants à haut rendement énergétique et faire fonctionner des installations dans des créneaux opportuns selon la disponibilité de l'énergie.

Le projet iSAS s'intéresse aussi à l'efficacité énergétique des technologies d'accélération SRF. Cela contribuera à la transition vitale visant à maintenir les formidables applications de la technologie des accélérateurs du XXe siècle dans un XXIe siècle vert et soucieux de l'énergie.

1.2 PRÉSENTATION DU CNRS ET DE L'IJCLAB

Le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) est le principal organisme public français de recherche. Il mène des recherches dans un très grand nombre de domaines au travers de différents instituts.

L'IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules) est l'institut du CNRS dédié à la recherche en physique nucléaire et en physique des particules.

L'IJCLab (Laboratoire de Physique des 2 Infinis Irène Joliot-Curie) est un laboratoire commun à l'IN2P3 et à l'Université Paris-Saclay. Il mène des recherches sur la structure et les propriétés du noyau atomique et particules élémentaires. Le pôle Physique des accélérateurs développe les futurs systèmes d'accélérateurs, il est impliqué dans plusieurs collaborations internationales comme le LHC, XFEL, SPIRAL 2, MYRRHA, ESS, PIP-II, PERLE, FCC, ILC....

Dans le cadre du projet iSAS, l'IJCLab a en charge l'étude et la fabrication d'un cryomodule composé de 4 cavités accélératrices supraconductrices 5-cellules.

Par la suite, l'expression « CNRS » désigne indifféremment le CNRS, l'IN2P3 ou l'IJCLab.

1.3 ENVIRONNEMENT ET CARACTÉRISTIQUES DES CAVITÉS

La partie basse énergie du linac supraconducteur est constituée d'une succession de 4 cavités accélératrices dans un cryomodule (enceinte sous vide assurant l'isolation thermique). Les cavités sont réalisées à partir d'un matériau pur supraconducteur à basse température, le niobium. Le maintien en froid est assuré par un bain d'hélium liquide à 2K, contenu dans un réservoir en titane.

2 OBJET DU MARCHE

Le présent marché concerne la réalisation de 4 cavités accélératrices supraconductrices elliptiques 5-cellules; dénommées par la suite « cavité/réservoir ». Une « cavité/réservoir » est un ensemble qui comprend une cavité, composée en majorité de niobium et son réservoir d'hélium, composé en majorité de titane (Figure 1).

Le présent CCTP décrit toutes les obligations techniques contractuelles du titulaire et les spécifications à respecter. Elles constituent pour le titulaire une obligation de résultat.



Figure 1 : Aperçu de la « cavité/réservoir » 5-cellules

3 CONTENU DE LA FOURNITURE

3.1 LISTE DES PLANS

Les plans **ISAS 5 cells cavity** au format .pdf suivants figurent en annexe du présent CCTP.

Tableau 1 : Plans de l'ensemble « cavité/réservoir » 5-cellules

Numéro	Rev.	Titre
220-E-41B-0100	A	5 cells cavity assembly
220-E-41B-0110	A	5 cells cavity & tank
220-D-41B-0111	A	5 cells bare cavity

Tableau 2 : Plans des brides

220-E-41B-0130	A	CF50 flange assembly
220-D-41B-0131	A	DN50 flange
220-E-41B-0140	A	DN100 flange assembly
220-D-41B-0141	A	DN100 flange
220-E-41B-0150	A	DN140 flange assembly
220-D-41B-0151	A	DN140 flange
220-E-41B-160	A	CF16 flange assembly
220-E-41B-180	A	CF40 flange assembly

3.2 ENSEMBLES TERMINÉS PRÊTS À LIVRER

Un ensemble « cavité/réservoir » 5-cellules terminé, prêt à livrer, est décrit sur le plan 220-E-41B-0100.

Le titulaire s'engage à livrer au CNRS (voir art. 11.1) 4 ensembles « cavité/réservoir » 5-cellules.

3.3 ELEMENTS A FOURNIR PAR LE TITULAIRE

La fourniture comprend :

- Les plans de fabrication pour assurer la fabrication ;
- La conception et la réalisation de tous les outillages nécessaires à la fabrication ;
- La fabrication de 4 ensembles « cavité/réservoir » 5-cellules (voir art. 3.2) incluant toutes les opérations de soudure ;
- L'approvisionnement de toute la matière première nécessaire à la fabrication à l'exception du niobium fourni par le CNRS (voir art. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ;
- L'approvisionnement de toutes les brides de fermeture, vis, rondelles, écrous, suivant les indications du CNRS (voir art. 8.4) ;
- L'approvisionnement des soufflets, suivant les indications du CNRS (voir art. 8.3 ci-dessous) ;
- La réalisation de toutes les mesures de fréquence (voir art. 8.5) ainsi que les outillages : le titulaire doit disposer des appareils de mesure (analyseur de réseau vectoriel et son kit de calibration, thermomètre avec sonde à contact, appareils de mesure de pression, humidité et température ambiante) et tous les composants (câbles de mesure, traversées RF, joints, antennes...) nécessaires à ces mesures ;
- La réalisation de tous les tests et mesures tels que décrits à l'article 10, assurant la conformité aux plans de détail et à la spécification technique ;
- La documentation complète, telle que décrite à l'article 7, disponible dans un format informatique courant, exploitable et transmissible par courrier électronique ;
- La fourniture de tous les joints (hors joints en Aluminium) en élastomère et cuivre nécessaires pour assurer l'étanchéité des différents sous-ensembles, de la cavité et du réservoir lors des tests d'étanchéité et durant le transport ;
- Le nettoyage et le séchage de l'ensemble avant expédition ;
- La réalisation de tous les outillages nécessaires à la manutention ainsi que la fermeture étanche, l'emballage, le conditionnement et le transport en toute sécurité jusqu'au site de livraison du CNRS des ensembles « cavité/réservoir » terminés (voir art. 11.1).

3.4 FOURNITURES PAR LE CNRS

Le CNRS fournit tout le niobium (plaques et rondins) nécessaire à la fabrication des cavités et prend en charge sa livraison chez le titulaire.

Pour information, l'épaisseur nominale des plaques de niobium est de 4 mm avec une tolérance +0.5 mm, -0 mm.

Le CNRS fournit tous les joints en aluminium nécessaires aux tests d'étanchéité, les brides d'adaptation et les traversées RF, les antennes et les vannes.

4 CALENDRIER D'EXECUTION

4.1 CALENDRIER PRÉVISIONNEL

Le titulaire fournit, dans son offre technique, un calendrier prévisionnel, sur la base des étapes définies ci-dessous ; il y précise le calendrier d'exécution pour les 4 ensembles « cavité/réservoir » 5-cellules.

Le tableau 3 ci-dessous résume les différentes étapes du marché pour les 4 ensembles « cavité/réservoir » 5-cellules. Les délais incombant au CNRS ne sont pas modifiables.

Tableau 3 : Étapes et Délais indicatifs

Etape	Semaines écoulées	Action	Acteur
T0	1	Notification du marché	CNRS
T1 = T0 + 2 semaines maximum*	3	Réunion de lancement	CNRS
T2 = T0 + 14 semaines maximum*	14	Remise du planning définitif détaillé et du dossier de fabrication	titulaire
T3 = T2 + 2 semaines maximum*	16	Validation du dossier de fabrication	CNRS

T4.1 = T3 + 34 semaines maximum*	50	Réception (incoming inspection) des deux premières cavités nues 5-cellules	CNRS
		Décision d'acceptation des deux premières cavités nues 5-cellules	CNRS
T4.2 = T4.1 + 6 semaines maximum*	56	Réception (incoming inspection) des deux dernières cavités nues 5-cellules	CNRS
		Décision d'acceptation des deux dernières cavités nues 5-cellules restantes	
T5.1 = T4.1 + 28 semaines maximum*	78	Réception (incoming inspection) du 1^{re} ensemble « cavité/réservoir » 5-cellules	CNRS
T6.1 = T5.1 + 8 semaines maximum*	86	Décision d'acceptation du 1 ^{re} ensemble « cavité/réservoir » 5-cellules	CNRS
T5.2 = T4.1 + 32 semaines maximum*	82	Réception (incoming inspection) du 2^{ème} ensemble cavité/réservoir » 5-cellules	CNRS
T6.2 = T5.2 + 8 semaines maximum*	90	Décision d'acceptation du 2 ^{ème} ensemble « cavité/réservoir » 5-cellules	CNRS
T5.3 = T4.2 + 30 semaines maximum*	86	Réception (incoming inspection) du 3^{ème} ensemble « cavité/réservoir » 5-cellules	CNRS
T6.3 = T5.3 + 8 semaines maximum*	94	Décision d'acceptation du 3 ^{ème} ensemble « cavité/réservoir » 5-cellules	CNRS

T5.4 = T4.2 + 38 semaines maximum*	90	Réception (incoming inspection) du 4ème ensemble « cavité/réservoir» 5-cellules	CNRS
T6.4 = T5.3 + 8 semaines maximum*	98	Décision d'acceptation du 4ème ensemble « cavité/réservoir» 5- cellules	CNRS

**Le dépassement de ces délais intermédiaires indicatifs n'entraîne pas l'irrégularité de l'offre du titulaire.*

4.1.1 CALENDRIER DETAILLE

Year	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cavity #1																
Cavity #2																
Cavity #3																
Cavity #4																

Figure 2 : Calendrier prévisionnel détaillé

4.2 CALENDRIER DES OPÉRATIONS FOURNI PAR LE TITULAIRE

Dans un délai maximum de 14 semaines à compter de la notification du marché (i.e. étape T0), le titulaire fournit au CNRS, pour validation, un planning définitif détaillé des opérations d'approvisionnement, de fabrication et de contrôle basé sur le calendrier prévisionnel ci-dessus.

Toute actualisation et/ou modification d'étape doit obtenir l'accord du CNRS.

5 CONDITIONS GENERALES

5.1 MODIFICATIONS

Durant l'exécution du contrat, toute évolution des spécifications techniques demandée par le titulaire doit faire l'objet d'une demande écrite et soumise à la validation du CNRS.

Le CNRS se réserve le droit d'accepter ou de refuser ces propositions sans devoir justifier sa décision.

Le CNRS prévoit 2 types de modifications de caractère technique en cours d'exécution du marché :

- Les modifications mineures, qui ne changent ni l'objet du marché, ni substantiellement les caractéristiques techniques de l'offre du titulaire présentée lors de la mise en concurrence, ni le prix initial. Par exemple, elles n'apportent pas de modifications aux outillages de formage ou de soudure. Les modifications mineures ne font pas l'objet d'avenant. Elles sont notifiées au titulaire qui les exécute, après concertation entre les 2 parties. Le titulaire présente ses observations éventuelles dans un délai de 15 jours calendaires.
- Les modifications majeures, qui ne changent ni l'objet du marché ni substantiellement les caractéristiques techniques de l'offre du titulaire présentée lors de la mise en concurrence, mais qui modifient le prix initial. Les modifications majeures font l'objet d'un avenant. Le titulaire doit fournir un devis détaillé indiquant les modifications de prix et les délais à prévoir, dans le délai prévu dans la décision du CNRS prescrivant ou acceptant les modifications majeures.

5.2 OUTILLAGE

Le titulaire est responsable du développement et de la fabrication de l'outillage nécessaire à la production, aux tests, au réglage en fréquence, à l'assemblage et au transport des ensembles « cavité/réservoir ».

5.3 MACHINES ET ÉQUIPEMENTS

Le titulaire indique, dans son offre technique, le type de machines et d'équipements qu'il compte utiliser pour réaliser la prestation et assurer les tolérances requises.

5.4 RESPONSABILITÉ DE LA FOURNITURE

Le titulaire est responsable de la qualité des éléments composant la fourniture, qu'ils aient été choisis par lui-même ou définis par le CNRS. L'approbation de la documentation et du dossier de fabrication, en particulier par le CNRS, n'exonère pas le titulaire de ses responsabilités quant à la qualité et aux performances finales.

6 SUIVI D'EXECUTION DU MARCHE

6.1 ORGANISATION GÉNÉRALE

Le titulaire désigne nommément, dès la notification du marché, la ou les personne(s) responsable(s) de l'exécution de la prestation et de son suivi pendant toute la durée du marché. Tout changement éventuel est signalé au responsable CNRS par écrit.

Après notification du marché au titulaire, le CNRS désigne « le ou les responsable(s) CNRS » et en informe le titulaire. Le titulaire est averti de tout changement par écrit.

Le CNRS organise la réunion de lancement (i.e. étape T1) au plus tard 2 (deux) semaines après la notification du marché. La réunion sera réalisée soit :

- à l'usine du titulaire;
- à l'IJCLab, 15 rue Georges Clémenceau, 91406 ORSAY Cedex, France;
- par visioconférence.

Pour toutes les réunions prévues aux 6.1 et 6.3 du CCTP, les frais de transport, d'hébergement et de repas sont à la charge de la partie qui se déplace.

6.2 COMMUNICATION

Les correspondances et réunions relatives au marché sont en langue française ou en anglaise.

Toute information qu'une partie estime suffisamment significative pour devoir être portée à la connaissance de l'autre partie, s'effectue par écrit entre le responsable CNRS désigné et celui du titulaire, selon les modalités fixées dans le CCAP.

6.3 SUIVI D'AVANCEMENT

Un point d'avancement écrit est envoyé tous les mois à partir de la réunion de lancement (i.e. étape T1) par voie électronique (courriel) au CNRS.

Des réunions d'avancement entre le titulaire et le CNRS sont organisées régulièrement à l'initiative du CNRS jusqu'à réception de la fourniture.

Les réunions pourront être réalisées :

- à l'usine du titulaire;
- à l'IJCLab, 15 rue Georges Clémenceau, 91406 ORSAY Cedex, France ;
- Par visioconférence.

En particulier, les étapes suivantes feront l'objet obligatoirement d'une réunion entre le CNRS et le titulaire :

- T1 : Réunion de lancement ;

Le CNRS peut demander à participer à certaines opérations de fabrication et de contrôle. Il en informe le titulaire au minimum 72 heures à l'avance.

Le titulaire doit prévenir, en temps utile, le CNRS de toutes les opérations auxquelles ce dernier a déclaré vouloir assister.

En cas d'imprévu, des réunions supplémentaires peuvent être organisées à l'initiative de l'une ou l'autre des deux parties.

6.4 ACCÈS AUX LOCAUX

Durant toute la période d'exécution du contrat, le CNRS (ou ses représentants mandatés) se réserve le droit d'accéder librement aux sites de fabrication, d'assemblage ou de contrôle pendant les heures normales de travail de ces établissements. Il en informe le titulaire au moins 72h à l'avance. Le lieu de fabrication tel que mentionné dans l'offre ne peut être modifié qu'après accord écrit du CNRS.

7 DOCUMENTATION TECHNIQUE

La documentation technique est délivrée dans un format informatique courant, exploitable et transmissible par internet. Elle peut être envoyée par internet, ou sous la forme d'une clé USB. Seuls les éléments ne pouvant être numérisés pour des raisons de format, pourront être transmis sur support papier. Les relevés des mesures de contrôle géométrique seront disponibles en format tableur (.xls, .xlsx ou équivalent).

La documentation est rédigée en français ou en anglais.

7.1 RÉCAPITULATIF DE LA DOCUMENTATION TECHNIQUE COMPLÈTE

La documentation technique complète comprend (au minimum) les documents suivants :

- le dossier de fabrication définitif validé tel que défini à l'article 7.2;
- les plans d'outillage pour consultation uniquement, sur demande du CNRS ;
- le calendrier des différentes opérations ;
- le dossier "Traveller" tel que défini à l'article 7.3.

7.2 DOSSIER DE FABRICATION

Le dossier de fabrication est envoyé au CNRS, au maximum 14 semaines après la notification du marché (T0), pour validation, à l'exception de la procédure d'emballage. La validation écrite du CNRS intervient dans un délai d'une (1) semaine (voir étape T3) à compter de la réception des documents. Les opérations de fabrication ne peuvent pas commencer avant cette validation.

La procédure d'emballage est envoyée ultérieurement, au minimum 4 semaines avant l'opération d'emballage. La validation écrite du CNRS pour ce document intervient dans un délai d'une (1) semaine à compter de sa réception.

Le dossier de fabrication comprend :

- Les plans de fabrication réalisés par le titulaire pour assurer la fabrication ;
- La liste des opérations de fabrication et de contrôle et leur enchainement ;
- Le dossier de soudure. Il doit contenir :
 - les QMOS (Qualification de Mode opératoire de Soudage) nécessaires, hors soudage FE,
 - les procédures de soudage,
 - les Qualifications des Soudeurs (QS),
 - la liste des équipements de soudage mis en œuvre ;
- La liste des procédures :
 - procédure(s) de décapage chimique,
 - procédure(s) de brasage,
 - procédure(s) des tests de fuite à l'hélium,
 - procédure(s) de nettoyage ;
- La (les) procédure(s) d'emballage.

7.3 DOSSIER "TRAVELLER"

Tous les résultats des tests et contrôles mis en œuvre lors du cycle complet de fabrication sont classés dans un dossier spécifique appelé "traveller". Celui-ci est délivré en même temps que l'ensemble « cavité/réservoir » terminé. Certains documents peuvent cependant être demandés par le CNRS avant cette date.

Le dossier "traveller" comprend :

- les certificats matériaux ;
- les résultats obtenus lors de chaque décapage chimique ;
- les contrôles des soudures effectuées ;
- les mesures de fréquence ;
- les contrôles dimensionnels des cavités nues ;
- les contrôles dimensionnels complets de tous les composants élémentaires dont la virole du réservoir hélium ;
- la vérification du nettoyage ;
- les relevés des tests de fuite ;
- les rapports de non-conformité.

8 DESCRIPTIF TECHNIQUE

8.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

La cavité est réalisée à partir de niobium de haute qualité (RRR supérieur à 250). Elle est refroidie à 2K grâce au bain d'hélium liquide contenu dans son réservoir en titane. Plusieurs raidisseurs, pavés de positionnement et éléments de fixation du Système d'Accord en Fréquence (SAF) sont soudés sur le réservoir. Divers piquages sur la cavité sont utilisés pour le coupleur de puissance RF, les coupleurs HOM et les mesures HF.

Un soufflet permet de compenser la différence de dilatation entre la cavité et le réservoir et de réaliser le réglage en fréquence. La Figure 3 ci-dessous représente le processus de fabrication. Le CNRS réalise le traitement complet des cavités 5-cellules.

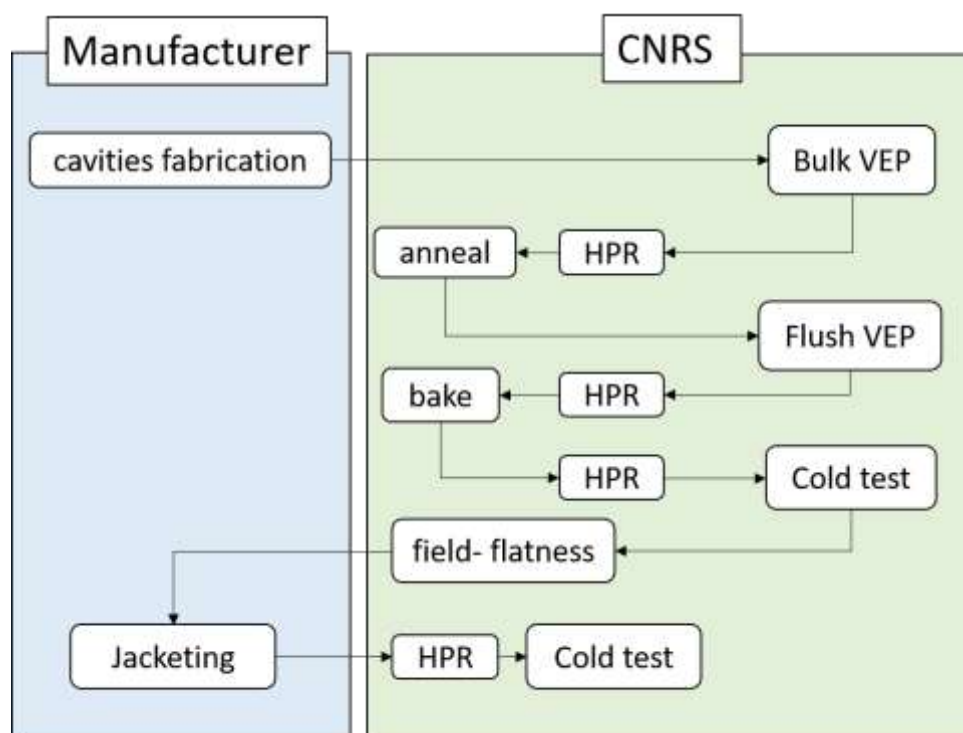


Figure 3 : Synoptique pour la fabrication

8.2 CAVITÉ EN NIOBIUM

8.2.1 DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES

Le diamètre extérieur du corps de la cavité est de 336 mm environ. La longueur totale (hors brides de fermeture) est de 1275 mm environ pour la cavité 5-cellules. L'épaisseur des parois est de 4.0 mm (+0.5 mm, -0 mm). 4 raidisseurs en forme d'anneau sont soudés entre les cellules de la cavité 5-cellules et permettent d'augmenter la rigidité de l'ensemble et d'atténuer les variations de fréquence dues aux fluctuations de pression et aux forces de Lorentz.

La cavité est réalisée en niobium de haute pureté (RRR supérieur à 250). Il est rappelé que tout le niobium est fourni par le CNRS (voir détails à l'article **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Point important: une sur-longueur de matière d'au-moins 5 mm (par rapport aux dimensions nominales du plan de la cavité nue) doit être prévue sur la partie droite du plus grand diamètre de chaque demi-cellule de la cavité pour l'étape de réglage en fréquence de la cavité avant soudures finales. Le procédé de réglage en fréquence est détaillé à l'article 8.55.

8.2.2 MISE EN FORME DES PLAQUES

La mise en forme des plaques en niobium est réalisée par emboutissage ou repoussage. Les bords destinés à être soudés sont usinés.

Le contrôle de l'état de surface est décrit à l'article 10.3.

8.2.3 DECAPAGE CHIMIQUE

Afin d'éviter l'inclusion d'impuretés dans les cordons de soudure, un décapage chimique du niobium est effectué aux étapes suivantes :

- après mise en forme des plaques de niobium et avant soudure : 25 μm environ par face ;
- préparation manuelle des bords à souder : 5 μm environ ;
- après grattage d'un défaut de surface à l'intérieur de la cavité : 50 μm environ.

8.3 SOUFFLET EN TITANE

Afin de compenser les différences de dilatation et permettre le réglage en fréquence de la cavité, un soufflet assure la jonction de la cavité et du réservoir d'un côté. Le soufflet et ses brides sont en titane.

Le soufflet représenté sur le plan n° 220-E-41B-0110 est donné à titre indicatif et pour information seulement. Le titulaire est libre de proposer le type de soufflet qu'il souhaite mais il devra, dans tous les cas, être conforme aux caractéristiques suivantes :

Matière du soufflet : Titane Grade 2 (3.7035) ;

Matière des brides : Titane Grade 2 (3.7035) ;

Epaisseur : 0.3 mm ;

Diamètre intérieur (min): 250 mm;

Diamètre extérieur (max): 280 mm;

Longueur libre du soufflet (min): 18.6 mm ;

Déplacements :

- Grands déplacements axiaux/position libre (max): + 4.5 mm (extension), -0 mm (compression) ; nombre de déplacements (max): 10 000,
- Petits déplacements axiaux/position libre + 1.5 mm (max): +/- 2 μm ; nombre de déplacements (max): > 10 000 000 ;

Pression différentielle (max) : 3 bar. NB : $P_{\text{intérieur soufflet}} \geq P_{\text{extérieur soufflet}}$;

Température d'utilisation :

- Grands déplacements entre 0 et 1 mm : 0°C min et 140°C max.
- Grands déplacements entre 0.2 mm et 4.5 mm : -271°C min et -269°C max.
- Petits déplacements de $\pm 2 \mu\text{m}$: -271°C min et -269°C max.

Taux de fuite à l'hélium : 1×10^{-9} mbar.l/s.

Le soufflet est soudé sur la cavité équipée par l'intermédiaire de la liaison cavité/enceinte.

8.4 VISSERIE

Les goujons sont en acier inoxydable 316LN et électropolis. Les écrous sont en bronze Silicium (CuNiSi).

8.5 MESURES DE FRÉQUENCE

Le réglage en fréquence, à température ambiante, du mode fondamental de la cavité est une des étapes importantes de la fabrication de cavité. La fréquence du mode fondamental dépend de plusieurs paramètres tels que les déformations mécaniques après formage et/ou soudage, les défauts d'alignement etc...

3 phases de contrôles (Phases n°1, n°2 et n°4 ci-après) **au minimum** sont à effectuer à température ambiante pendant la fabrication des ensembles « cavité/réservoir » 5-cellules, sous la responsabilité du titulaire (avec la participation du CNRS sur demande). La phase n°3 sera fait par le CNRS à IJCLAB à l'issue du réglage du plat de champ.

- Phase de contrôle n°1 : mesures des demi-cellules et dumbbells ;
- Phase de contrôle n°2 : mesures de la cavité nue avant emballage et livraison ;
- Phase de contrôle n°3 : mesures de la cavité après le réglage du plat de champ ;
- Phase de contrôle n°4 : mesures de fréquence finale de la cavité équipée de son tank hélium avant emballage et livraison.

La fréquence cible de la cavité ($T_{\text{cavité}} = 20^\circ\text{C}$, $P_{\text{cavité}} = P_{\text{tank}} = 1 \text{ atm}$) après traitement complet des surfaces doit être égale à 799.943 MHz.

Ainsi, la fréquence cible pendant les phases de contrôle n°2, n°3 et n°4 est égale à 799.943 MHz \pm 0.050 MHz ($T_{\text{cavité}} = 20^\circ\text{C}$, $P_{\text{cavité}} = P_{\text{tank}} = 1 \text{ atm}$)

Concernant la fréquence cible durant la phase de contrôle n°1, en supposant une réduction de fréquence de 320 kHz due aux traitements chimiques, elle est estimée à 800.263 MHz ($T = 20^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \text{ atm}$) pour les demi-cellules et dumbbells. **Cette fréquence cible durant le contrôle n°1 sera définie précisément après la mesure de la sensibilité en fréquence à l'EP de la cavité 1-cellule (T5).**

Pour parvenir à la fréquence cible, les demi-cellules doivent être fabriquées avec une sur-longueur d'au moins 5 mm sur la partie droite du plus grand diamètre par rapport au modèle idéal (plan de la cavité). Dans le cas idéal, cette partie droite présente une longueur estimée à (cf. Figure 4) :

- 8.7 mm sur les demi-cellules centrales
- 0 mm sur les demi-cellules aux extrémités

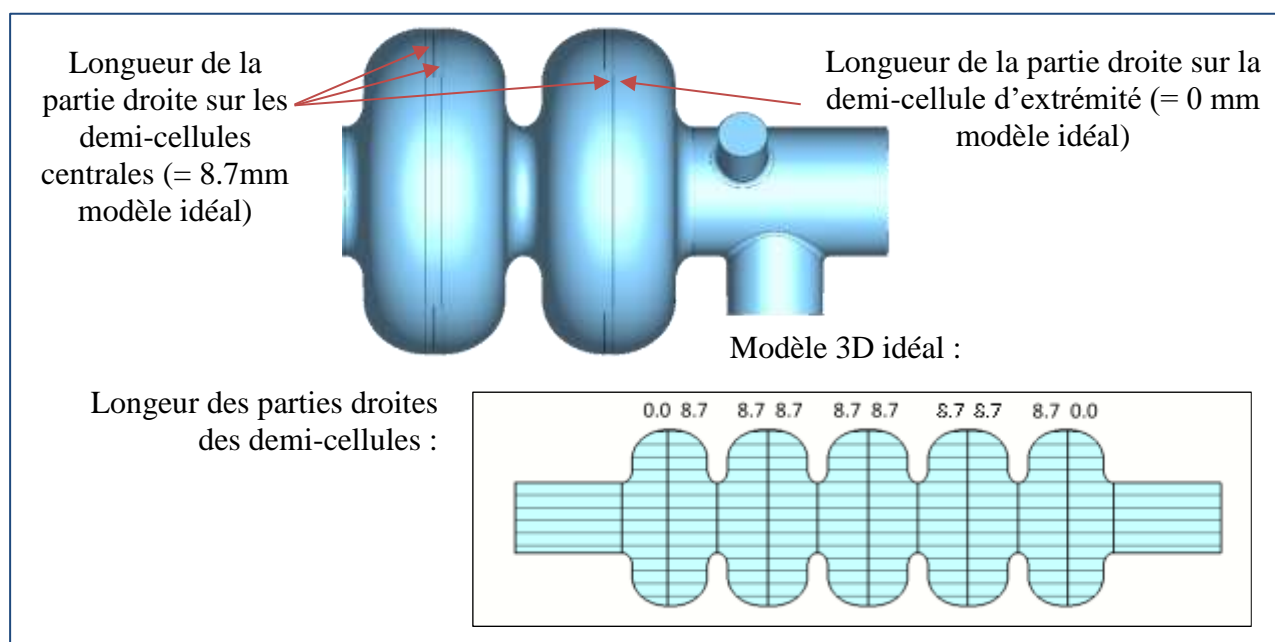


Figure 4 : Surlongueur au niveau du grand diamètre de chaque demi-cellule

La fréquence d'un dumbbell avec une longueur initiale de la partie droite de 10mm de chaque côté est estimée à 798.168 MHz ($T^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \text{ atm}$). La sensibilité en fréquence est estimée à 1.661 MHz par mm de longueur découpée de chaque côté (cf. Figure 5).

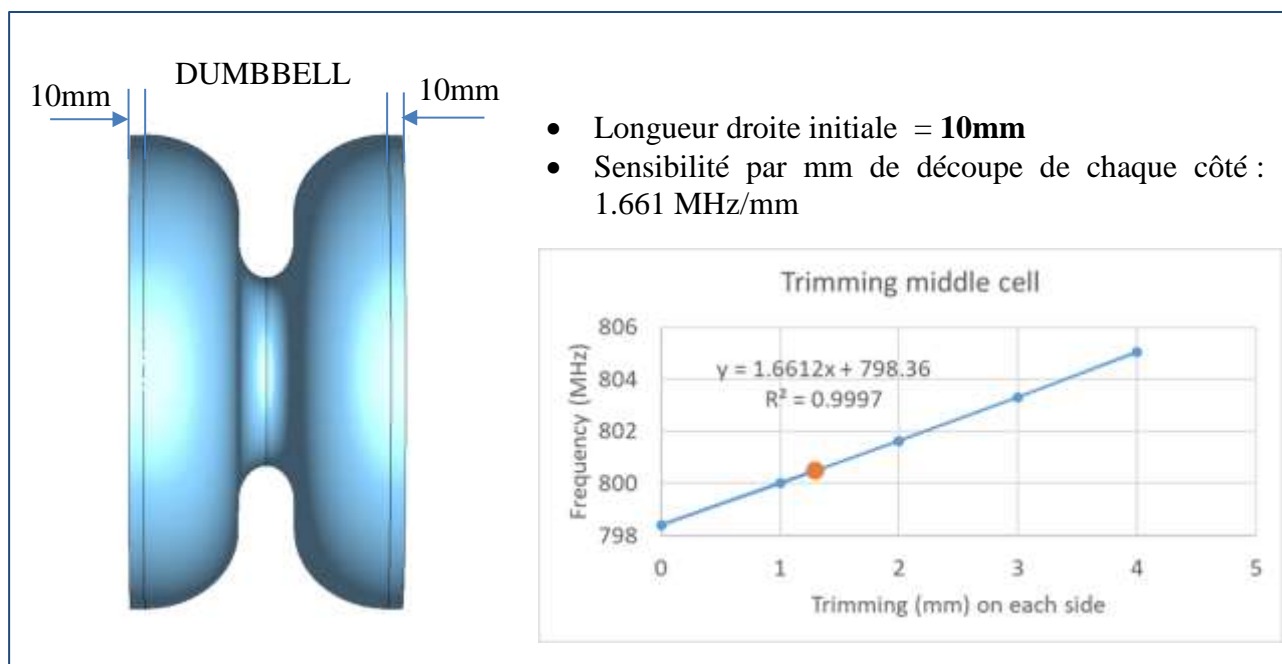


Figure 5 : Ajustement de la fréquence des dumbbells

La fréquence d'une demi-cellule aux extrémités avec une longueur initiale de la partie droite de 10mm est estimée à 784.656 MHz ($T^\circ=20^\circ\text{C}$, $P = 1\text{atm}$). La sensibilité en fréquence est estimée à 1.765 MHz par mm de longueur découpée (cf. Figure 6).

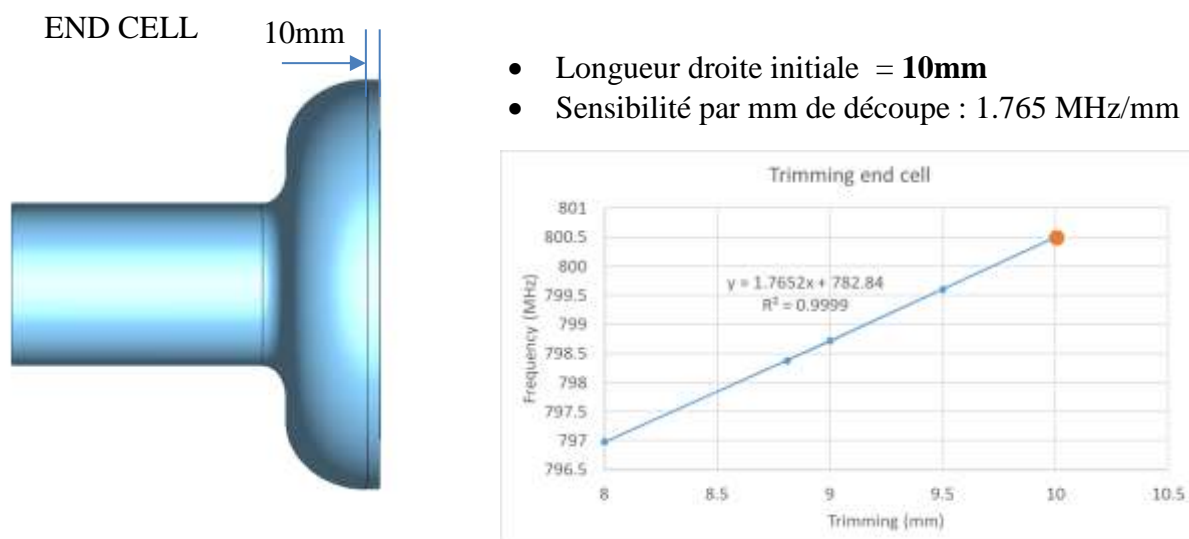


Figure 6 : Ajustement de la fréquence de la demi-cellule de terminaison

8.6 RÉSERVOIR HÉLIUM

8.6.1 DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Le réservoir contient de l'hélium liquide à 2 K, utilisé pour refroidir la cavité. Il est réalisé en titane Grade 2 (3.7035) d'épaisseur 5 mm. Le diamètre extérieur de l'enceinte est égal à 368 mm et de longueur identique à celle de la cavité.

Des plots et des oreilles de fixation servant au positionnement du SAF (Système d'Accord en Fréquence) et au positionnement de la cavité sont soudés directement sur le tank hélium. Les 8 oreilles de fixation soudées sur le diamètre extérieur du tank sont impérativement réalisées en titane grade 5 (TA6V).

Le réservoir est assemblé et soudé autour de la cavité. Il est raccordé aux 2 tubes faisceaux (entrée et sortie) de la cavité, ainsi qu'aux autres brides de la cavité.

8.6.2 BRIDES DU RESERVOIR HELIUM

Pour l'alimentation et la circulation d'hélium :

- Entrée : 2 brides CF16 en titane grade 2 (3.7035) soudée sur la virole ;
- Sortie (dégazage) : 2 brides DN100 en titane grade 2, localisées sur un té soudé sur le tank et 1 bride DN40 en titane grade 2.

8.7 SOUDURES

Deux procédés de soudure sont utilisés :

- Soudure par faisceau d'électrons (FE) quand l'un au moins des matériaux utilisés est du niobium ou NbTi;
- Soudure par procédé TIG ou FE pour les assemblages de pièces en titane.

Quel que soit le procédé utilisé, toutes les soudures sont faites en pleine pénétration, sans aucune discontinuité. Le titulaire veillera à prendre toutes les précautions nécessaires permettant de limiter les déformations mécaniques du tank et de la cavité pendant les phase de soudures.

8.8 SOUDURES DES BRIDES

Toutes les brides sont soudées car les cavités sont susceptibles de subir un traitement thermique à 900°C qui ne permet pas l'utilisation de brasure.

L'ensemble devant fonctionner à très basse température (2 K), des chocs thermiques seront réalisés sur les brides soudées avant chaque test d'étanchéité.

8.9 CONTRAINTES LIÉES AU VIDE

La cavité fonctionne sous ultravide (10^{-7} Pa). De plus, l'ensemble « cavité/réservoir » est installé dans un vide primaire (10^{-4} Pa).

Des tests de fuite sont réalisés à différents stades de la fabrication et à la livraison suivant les modalités décrites à l'article 10.8.

L'utilisation finale sous vide pour la cavité et dans l'hélium liquide pour le réservoir, ainsi que les tests d'étanchéité impliquent un nettoyage des parois de la cavité et du réservoir pour une propreté parfaite. Les parois doivent répondre aux critères de propreté et aux modalités de nettoyage décrites à l'article 10.9.

8.10 PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES

La cavité et le réservoir doivent être considérés comme des composants fragiles. Des précautions appropriées devront donc être prises lors des manutentions afin d'éviter des chocs ou des contraintes importantes.

Les parois intérieures de la cavité (surfaces HF) doivent être systématiquement protégées des traces de poussière, d'hydrocarbure, de toute substance pouvant altérer le vide et de toute autre pollution. Les contacts à main nue ne sont pas acceptés.

Une attention toute particulière est apportée à la protection de ces parois intérieures durant les opérations de soudure (FE ou TIG) et de brasure afin de prévenir les chocs, les traces, les rayures et la pollution.

8.11 RÉGLAGE DU PLAT DE CHAMP

Les champs électriques à l'intérieur de la cavité 5-cellules doivent être réglés pour répondre aux exigences suivantes :

$$1 - \frac{|E_{\max} - E_{\min}|}{\langle E \rangle} > 98\%$$

Avec les paramètres $\langle E \rangle$, E_{\max} , E_{\min} définis sur la 7 qui montre la distribution normalisée du champ électrique à l'intérieur de la cavité 5-cellules.

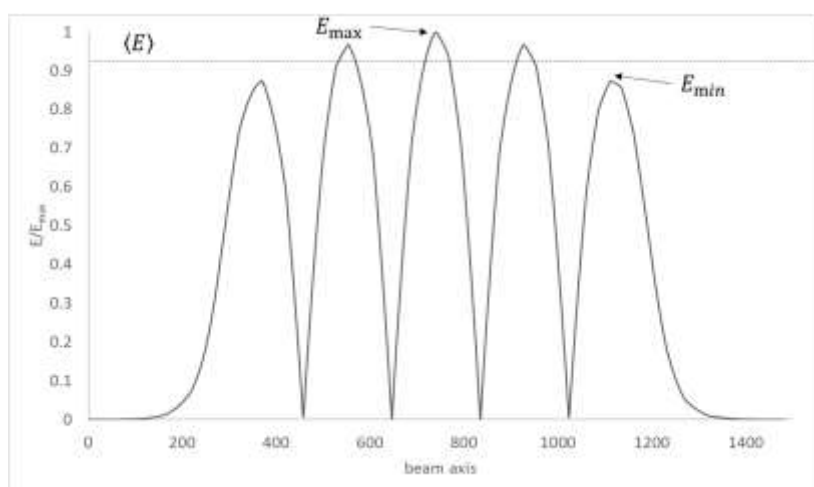


Figure 7 : plat de champ

8.12 DIVERS

L'enchaînement des opérations est établi par le titulaire dans son planning et dans les documents de méthodes du dossier de fabrication. Cependant, par souci de clarification au niveau des opérations sur la cavité, l'enchaînement suivant est donné à titre indicatif, certaines opérations pouvant néanmoins être faites en parallèle :

- fabrication de tous les composants élémentaires ;
- contrôles géométriques ;
- décapage chimique ;
- opérations de soudage et de brasage ;
- réglage en fréquence ;
- contrôle de la qualité de surface de la cavité ;
- contrôles géométriques ;
- décapage chimique ;
- opérations de fermeture par soudage des flancs de la cavité ;
- contrôle de la qualité de surface de la cavité terminée ;

- test d'étanchéité à l'hélium de la cavité ;
- mesures de fréquence HF ;
- nettoyage et premières soudures du réservoir d'hélium et du soufflet ;
- opérations de fermeture par soudage du réservoir autour de la cavité ;
- tests de fuite sur l'ensemble « cavité/réservoir » terminé ;
- mesure finale de fréquence de la cavité ;
- fermeture de la cavité et du réservoir ;
- emballage et expédition de l'ensemble « cavité/réservoir » terminé.

9 ASSURANCE QUALITE

9.1 DISPOSITIONS DE L'ASSURANCE QUALITÉ

Le titulaire doit mettre en œuvre et suivre un programme d'assurance qualité documenté permettant de répondre à toutes les exigences de ce CCTP.

9.2 CERTIFICATION QUALITÉ

Le titulaire doit exécuter le contrat suivant les exigences de la certification ISO 9001 ou d'une certification qualité équivalente appropriée à l'objet de la spécification.

10 CONTROLES

10.1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

10.1.1 MODALITES DE REALISATION DES TESTS ET CONTROLES

Le titulaire a la responsabilité de tous les tests à effectuer en usine.

Le CNRS se réserve le droit d'être présent ou d'être représenté par des organismes de son choix pour assister aux contrôles mis en œuvre chez le titulaire. Le titulaire informe le CNRS, au moins 10 jours calendaires à l'avance, des dates des différents contrôles et tests.

Le titulaire doit fournir tout outillage, équipement et personnel nécessaire à la bonne exécution des tests définis dans ce CCTP.

Les tests en usine permettent de déterminer si l'objet respecte entièrement les critères définis dans le présent CCTP. Si les tests démontrent que l'un des points de ces spécifications techniques n'est pas respecté, le titulaire doit apporter les corrections nécessaires et les tests sont alors renouvelés à ses frais.

Les résultats des contrôles sont communiqués au CNRS dans un délai maximum d'une semaine après leur obtention.

La validation écrite du CNRS intervient dans un délai de 2 semaines à compter de la réception des résultats.

Il est de la responsabilité du titulaire de mettre en œuvre tous les contrôles intermédiaires qu'il juge nécessaires pour assurer la conformité aux exigences de la spécification technique. En particulier, il est vivement recommandé au titulaire de réaliser des contrôles géométriques et des mesures de fréquence à différentes étapes de la fabrication afin de respecter les exigences des plans et de la spécification technique et d'apprécier avec précision les incidences des différents procédés de fabrication: déformations par repoussage, rétreint après soudure, décapage chimique, etc... La même approche doit être envisagée pour un test de fuite systématique après chaque soudure en plus du test global.

10.1.2 PROCEDURES

Les modalités d'approbation des procédures sont présentées à l'article 7.2 relatif à la documentation technique.

10.2 MATÉRIAUX

Les contrôles décrits ci-dessous sont obligatoires.

10.2.1 QUALIFICATION DES MATERIAUX

Les informations suivantes sont communiquées au CNRS dans un délai de deux (2) semaines maximums avant l'approvisionnement, pour validation.

- les nuances exactes des matériaux et leurs caractéristiques mécaniques;
- les dimensions des tôles et blocs/rondins utilisés pour la fabrication.

Tous les certificats matériaux sont compilés dans le "traveller". La nuance exacte du matériau, ses caractéristiques mécaniques et le nom du fabricant sont communiqués au CNRS pour validation avant leur approvisionnement.

10.2.2 NIOBIUM

Il est rappelé que cette matière est fournie par le CNRS.

Il est de la responsabilité du titulaire de s'assurer que cette fourniture est conforme aux caractéristiques spécifiées.

En particulier, il doit mettre en œuvre des inspections visuelles de la qualité de la surface des tôles en niobium pour identifier d'éventuels dommages ou défauts de fabrication. Le titulaire doit notifier au CNRS toute non-conformité dans un délai maximum de deux (2) semaines à compter de la livraison du niobium.

10.2.3 TITANE

Les pièces en titane sont de nuance Grade 2 (3.7035) pour le tank, les brides, le soufflet et Grade 5 (3.7165) pour les 8 blocs de fixation du tank hélium.

10.2.4 NIOBIUM/TITANE

Les brides soudées sur la cavité en niobium sont en niobium-titane.

10.3 ETAT DE SURFACE DES TÔLES EN NIOBIUM APRÈS FORMAGE ET DÉCAPAGE CHIMIQUE

La mise en forme des tôles en niobium, l'usinage des bordures et le décapage chimique de profondeur 25 µm sont suivis par un contrôle visuel de la surface. Le titulaire doit prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter les inclusions et tous dommages sur les parois internes qui seront vues par les champs RF, en particulier ceux pouvant être créés par l'outil de repoussage.

10.4 SOUDURES

10.4.1 QUALIFICATION DES SOUDEURS ET DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Les soudures ne peuvent être exécutées que par des opérateurs qualifiés et sont mises en œuvre suivant les normes ISO ou européennes en vigueur.

Il est de la responsabilité du titulaire de maintenir la qualification des soudeurs qu'il compte employer pour la réalisation du marché. Il doit maintenir un dossier contenant les détails des qualifications des soudeurs avec les dates, l'autorité de qualification et les résultats des tests.

Il est de la responsabilité du titulaire de qualifier les différentes procédures de soudage. Les qualifications des modes opératoires nécessaires avec tous les paramètres de soudage font partie du dossier de fabrication et sont communiqués au CNRS (hormis celles s'appliquant au soudage par FE).

Les parties à souder doivent être nettoyées et exemptes de toute poussière, traces d'huile de coupe, de graisse et de tout autre contaminant hydrocarboné.

Il est de la responsabilité du titulaire de prévoir les sur-longueurs nécessaires à la prise en compte du rétreint après soudure.

10.4.2 DISPOSITIONS PARTICULIERES LIEES AUX SOUDURES PAR PROCEDE TIG (TITANE/TITANE)

Toutes les soudures, notamment celles assurant l'étanchéité du réservoir hélium, sont mises en œuvre avec pleine pénétration à l'exception de celles des différents supports sur le diamètre extérieur du réservoir.

10.4.3 DISPOSITIONS PARTICULIERES LIEES AU SOUDAGE PAR FAISCEAU D'ELECTRONS (FE)

Toutes les soudures par faisceau d'électrons sont mises en œuvre avec pleine pénétration à l'exception des raidisseurs sur les flancs. La pression absolue durant le soudage FE ne doit pas être supérieure à 5×10^{-5} mbar.

Les bords à souder subissent un décapage chimique manuel d'au moins 5 μm , la soudure devant être effectuée dans un délai de 8 heures après celui-ci. Afin d'éviter toute contamination d'un précédent soudage, une seule soudure est mise en œuvre à la fois. Chaque nouvelle soudure n'est effectuée qu'après cassage du vide et repompage.

Afin de permettre un refroidissement rapide des pièces après soudure, de l'argon U sec à 10 mbar et filtré à 0.2 μm est injecté dans l'enceinte à vide juste après l'opération de soudage.

10.4.4 CONTROLE DES SOUDURES

Toutes les soudures sont contrôlées visuellement.

Les résultats des contrôles des soudures font partie du "Traveller".

10.5 BRIDES SOUDEES ET CHOCS THERMIQUES

La soudure des brides en niobium-titane est effectuée sur des tronçons cylindriques en niobium qui sont ensuite soudés sur la cavité.

Un contrôle visuel est effectué sur toutes les soudures.

Une fois effectuées et après usinage des brides, toutes les soudures doivent subir un cycle d'au moins 5 chocs thermiques à 80 K par immersion dans un bain d'azote liquide. Après chaque refroidissement brutal, les pièces soudées sont réchauffées à la température ambiante (293 K). Après le cycle thermique complet, un test de fuite à

l'hélium est effectué pour vérifier l'étanchéité des soudures suivant la procédure décrite à l'article 10.7.

10.6 CONTRÔLES DIMENSIONNELS

Un contrôle dimensionnel complet est effectué sur la cavité complète et sur toutes les dimensions extérieures du réservoir et sa position par rapport à la cavité. Une attention particulière doit être portée sur l'orientation de chaque bride.

10.7 TESTS DE FUITE À L'HÉLIUM

Les tests de fuite à l'hélium sont à réaliser au minimum aux étapes et sur les ensembles suivants :

- éléments avec brides soudées (vérification des soudures) ;
- cavité HF seule avant soudure du réservoir (avec hélium sous film plastique) ;
- cavité HF seule de l'ensemble terminé avant livraison finale avec réservoir rempli d'hélium à la pression atmosphérique ;
- réservoir hélium seul de l'ensemble terminé avant livraison finale (avec hélium sous film plastique).

Pour chaque contrôle d'étanchéité, les enceintes à tester doivent être fermées par des joints en aluminium et par des joints cuivre pour les brides CF. Les joints en aluminium sont fournis par le CNRS.

Les volumes à tester sont fermés, isolés, connectés au détecteur de fuite à l'hélium et pompés à une pression inférieure à 10^{-4} mbar.

Pour la plupart des tests, les éléments à contrôler sont complètement enveloppés sous un film en plastique rempli d'hélium. Avant de commencer le test de fuite, il est vérifié que la concentration en hélium sous l'enveloppe en plastique est supérieure à 50% en volume.

En plus du test décrit dans le paragraphe précédent, la cavité en niobium subit un second test de fuite lors du contrôle final sans utilisation d'une enveloppe en plastique mais avec remplissage du réservoir fermé avec de l'hélium sec à la pression atmosphérique.

Pour tous les tests d'étanchéité, le taux de fuite global d'hélium mesuré avec un spectromètre de masse ne doit pas excéder 10^{-11} Pa.m³.s⁻¹ (10^{-10} mbar.l.s⁻¹) à la température ambiante.

Les résultats des tests font partie du "Traveller".

10.8 MESURES DE FRÉQUENCE

La mesure de fréquence à température ambiante est une des étapes majeures de la fabrication de la cavité.

La fréquence est influencée par plusieurs paramètres tels que les déformations mécaniques après mise en forme ou soudure, les défauts d'alignement, etc...

Il est rappelé qu'un minimum de 4 phases de contrôles (voir art. 8.55) doit être mis en œuvre à la température ambiante durant la fabrication de l'ensemble « cavité/réservoir », sous la responsabilité du titulaire (avec la participation du CNRS si souhaitée), afin d'atteindre la fréquence cible.

10.9 NETTOYAGE ET PRÉCAUTIONS DE PROPRETÉ

Le réservoir d'hélium est nettoyé et sa surface doit être libre de toute contamination, projections de soudure, hydrocarbures et de toute substance qui pourrait altérer la qualité du vide.

Une attention toute particulière devra être apportée aux différents trous et taraudages de la cavité équipée. Un soufflage et un dégraissage devra être effectué après chaque opération d'usinage.

Le choix des produits de nettoyage, compatibles avec l'environnement sous vide, et la procédure appliquée sont soumis au CNRS pour approbation.

Durant l'assemblage de la cavité avec le réservoir d'hélium, des précautions de propreté doivent être appliquées pour éviter toute pollution des parois internes de la cavité.

Toutes les ouvertures de la cavité doivent être fermées avec des couvercles de bride. Les contacts à main nue des surfaces intérieures ne sont pas acceptés.

11 EXPEDITION ET LIVRAISON

11.1 LIEU DE LIVRAISON

La livraison est faite à l'IJCLab à l'adresse suivante :

CNRS - Laboratoire de Physique des 2 Infinis Irène Joliot-Curie
(A l'attention de : Guillaume OLRÉY)
Bât 106
15 rue Georges Clémenceau



91406 ORSAY cedex
FRANCE

11.2 EMBALLAGE POUR LE TRANSPORT ET LE STOCKAGE

Les ouvertures de l'ensemble « cavité/réservoir » sont fermées hermétiquement avec des couvercles adaptés et des joints en cuivre et aluminium.

Il est de la responsabilité du titulaire de prendre les dispositions nécessaires pour permettre, de façon sûre et opérationnelle, la manutention et le transport de tous les composants au CNRS. En particulier, le titulaire doit développer et fabriquer les emballages de protection adéquats et s'assurer que les bonnes procédures sont mises en œuvre pour une phase complète de livraison sans problème.

La cavité sera enveloppée dans un film plastique de protection. L'utilisation de matériaux électrostatiques (flocons) pour le calage est prohibée.

Le titulaire doit informer le CNRS des modifications du calendrier de réception finale en usine.

12 DECISION D'ADMISSION ET GARANTIE

Après réception de chaque ensemble « cavité/réservoir » terminé, le CNRS effectuera les contrôles et tests suivants :

- à température ambiante : des contrôles dimensionnels, des tests d'étanchéité à l'hélium et une mesure de la fréquence cible ;
- à la température de 2 K : un test d'étanchéité.

La décision d'admission sera prononcée par le CNRS à l'issue de la finalisation, avec succès, de tous les tests et contrôles spécifiés ci-dessus, de la remise par le titulaire de tous les procès-verbaux et certificats associés et de la fourniture de la documentation technique complète listée à l'article 7 du présent CCTP. Elle intervient dans un délai de huit (8) semaines maximum à compter de la date de livraison de chaque ensemble « cavité/réservoir » à l'adresse indiquée à l'article 11.1.

La non-conformité à certaines exigences des spécifications techniques entraîne le renvoi de l'ensemble « cavité/réservoir » concerné chez le titulaire à ses propres frais. Le titulaire doit effectuer les réparations nécessaires et retourner le matériel au CNRS à ses propres frais. Les réparations sont mentionnées dans le « Traveller » (voir art. 7 "Documentation technique") et doivent être mises en œuvre suivant un protocole défini d'un commun accord.



La période de garantie, d'un (1) an minimum, commence à la date de notification de la décision d'admission de l'ensemble du matériel, pour la durée indiquée dans l'offre du titulaire.

13 PERSONNES RESPONSABLES TECHNIQUEMENT

Les coordonnées des personnes responsables techniquement seront transmises au titulaire du marché, après la notification de ce dernier.