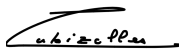





SPECIFICATIONS TECHNIQUES CADRE DE TRANSPORT DES CRYOMODULES LB650

	Auteur	Vérificateurs		Approbateur
NOM Prénom	CUBIZOLLES Robin	DEVANZ Guillaume	SIMON Claire	BAZIN Nicolas
Fonction	LB650 Cryomodule Sub-Project Coordinator	Technical Director	Project Manager	Chef du projet PIP-II au CEA
Date et Signature(s)	04/02/2025 	04/02/2025 	31/01/2025 	04/02/2025 

CARTOUCHE D'EVOLUTION - DOCUMENT REVISION HISTORY

Éditions	Dates	Sections modifiés	Commentaires
1	09/04/2024	-	Creation
2			

SOMMAIRE

1	GLOSSAIRE	6
2	INTRODUCTION	7
2.1	Présentation du CEA et de l'Irfu	7
2.2	Présentation du projet.....	7
2.3	Présentation du cryomodule et de son transfert entre la France et les USA.....	7
2.4	Présentation sur le cadre de transport.....	9
3	DOCUMENTS DE REFERENCE.....	11
4	DESCRIPTION.....	11
4.1	Objet.....	11
4.2	Descriptif de la fourniture.....	11
4.2.1	Produit et prestation.....	11
4.2.2	Livrables documentaires	12
4.2.2.1	Études de fabrication	12
4.2.2.2	Contrôle Qualité	13
4.2.2.3	Dossier de fabrication	13
4.2.2.4	Contrôle et configuration	14
4.3	Fournitures CEA au démarrage du contrat	14
4.4	Jalons et détail du phasage	14
4.4.1	Phase 1 – Etudes de fabrication.....	14
4.4.2	Phase 2 – Fabrication de la présérie TF1.....	15
4.4.1	Phase 3 – Fabrication de la série TF2 & TF3	15
5	EXIGENCES TECHNIQUES.....	16
5.1	Paramètres principaux.....	16
5.2	Matières premières	17
5.3	Panneaux.....	18

5.4	Bâche	18
5.5	Visserie	18
5.6	Isolateurs à câbles	18
5.7	Anneaux de levage et manilles	18
5.8	Soudage	18
	Qualification du mode opératoire de soudage	18
	Qualification des soudeurs	18
5.8.1	5.9 Levage et mise en charge et certification	19
5.8.2	5.10 Tolérances dimensionnelles	19
5.11	Etat de surface	19
5.12	Traitements de surface	19
5.13	Peinture	19
5.14	Outillage	19
5.15	Identification	19
5.16	Emballage et transport	19
6	TESTS ET CONTROLES EN USINE (FAT)	20
6.1	Contrôle des soudures	20
6.2	Contrôle dimensionnel	20
6.3	Test d'assemblage	20
6.4	Marquage et indications réglementaires	21
6.5	Levage et mise en charge	21
7	ASSURANCE QUALITE	21
7.1	Normes et standards	21
7.2	Plan d'assurance qualité	22
7.3	Gestion des non-conformités	22
8	RECEPTION DE LA FOURNITURE	23

8.1	Préparation avant envoi	23
8.2	Livraisons	23
8.3	Réception	23
8.4	Garantie.....	23
9	CONDITIONS GENERALES	24
9.1	Suivi du contrat.....	24
	Organisation générale	24
	Communication.....	25
9.1.1	Inspection, visite et audit du site de fabrication	25
9.1.2		
9.1.3	9.2 Sous-traitance.....	25
9.3	Documentation technique	25
10	CONFIDENTIALITÉ	26
11	ANNEXES	26

1 GLOSSAIRE

CEA	Commissariat à l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives
Irfu	Institut de recherche sur les lois fondamentales de l’Univers
FAT	Factory Acceptance Test
TF	Transport Frame
CM	Cryomodule
LB650	Low Beta 650 MHz
MRR	Manufacturing Readiness Review (Réunion d’accord de production)
PAQ	Plan d’Assurance de la Qualité
RNC	Rapport de Non-Conformité
SAT	Site Acceptance Test
Réception	Décision, prise après vérifications, par laquelle le pouvoir adjudicateur reconnaît la conformité des prestations aux stipulations du marché
LOFC	Liste des Opérations de Fabrication et de Contrôle

2 INTRODUCTION

2.1 Présentation du CEA et de l'Irfu

Acteur majeur de la recherche, du développement et de l'innovation, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives intervient dans quatre grands domaines : les énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables), les technologies pour l'information et les technologies pour la santé, les infrastructures de recherche (IR), la défense et la sécurité globale. Pour chacun de ces quatre grands domaines, le CEA s'appuie sur une recherche fondamentale d'excellence et assure un rôle de soutien à l'industrie.

L'Irfu (Institut de Recherche des lois Fondamentales de l'Univers) appartient à la Direction de la Recherche Fondamentale (DRF). Ses activités scientifiques relèvent de l'astrophysique, de la physique nucléaire et de la physique des particules. La majeure partie de ses activités est effectuée dans le cadre de programmes internationaux, d'institutions ou de laboratoires extérieurs en collaboration avec des laboratoires français et étrangers.

2.2 Présentation du projet

Le projet PIP-II (Proton Improvement Plan II) vise à améliorer le complexe accélérateur de Fermilab (USA) afin d'augmenter la puissance du faisceau de protons sur la cible de production de neutrinos de l'expérience LBNF (Long Baseline Neutrino Facility) jusqu'à 1,2 MW, et de permettre d'atteindre plusieurs mégawatts pour l'expérience DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment).

L'élément central du programme PIP-II est donc la construction d'un nouvel accélérateur linéaire (linac) de 800 MeV d'énergie pour lequel le CEA est impliqué dans la réalisation des 10 cryomodules LB650.

2.3 Présentation du cryomodule et de son transfert entre la France et les USA

Un cryomodule est un système d'un accélérateur de particules comportant une ou plusieurs cavités supraconductrices radio fréquence (quatre dans le cadre d'un cryomodule PIP-II LB650).

La fonction d'un cryomodule est double :

- Refroidir les cavités accélératrices à la température cryogénique (hélium superfluide à 1.8K / -272,15°C).
- Supporter mécaniquement les cavités en respectant les critères d'alignement et en limitant les apports de chaleur.

Le principe du cryomodule LB650 PIP-II est présenté sur la Figure 1 : Composition d'un cryomodule LB650. Celui-ci est un assemblage fonctionnel constitué d'une enceinte à vide (vacuum vessel) isolant un ensemble de composants de la pression atmosphérique et la température ambiante. Il contient un « train » de quatre cavités accélératrices supraconductrices, refroidies par de l'hélium superfluide à 1,8 K. Le volume intérieur du « train » de cavités est sous vide de l'ordre de 1.10^{-9} mbar et constitue la ligne faisceau (beam line).

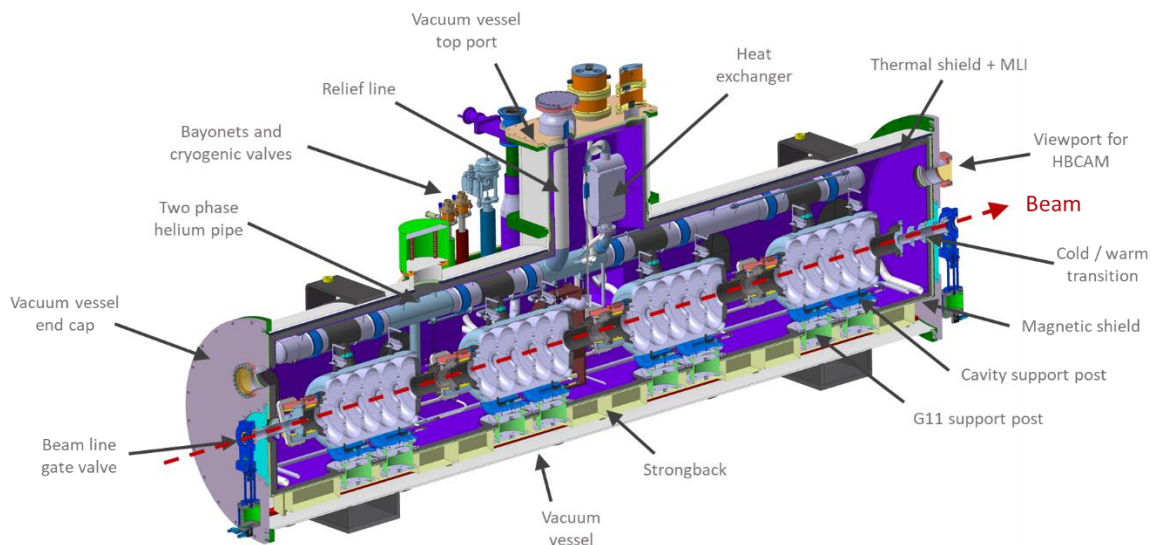


Figure 1 : Composition d'un cryomodule LB650

Le « train » de cavités étant aligné précisément par rapport à l'axe faisceau lors de l'assemblage et les cryomodules comportant des éléments sensibles (cavités) et fragiles (coupleurs de puissance), un soin particulier doit être apporté lors de son transport.

En effet, une fois les cryomodules assemblés et testés au CEA de Saclay, ceux-ci seront transférés à Fermilab, laboratoire se situant dans la banlieue de Chicago aux USA. Ce transfert se fera principalement par avion, avec transport par camion entre les laboratoires et aéroport (Figure 2: Transfert des cryomodules entre la France et les USA).

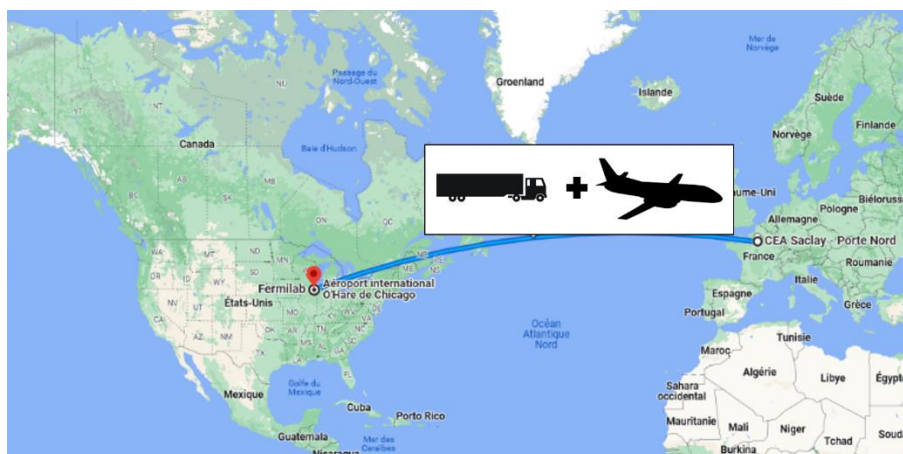


Figure 2: Transfert des cryomodules entre la France et les USA

Afin de pouvoir rentrer par la porte d'un avion-cargo standard, la partie supérieure du cryomodule (appelée « top port »), ainsi qu'une partie des coupleurs de puissance sont démontées (voir Figure 3: Reconfiguration du cryomodule pour son transfert entre la France et les USA).

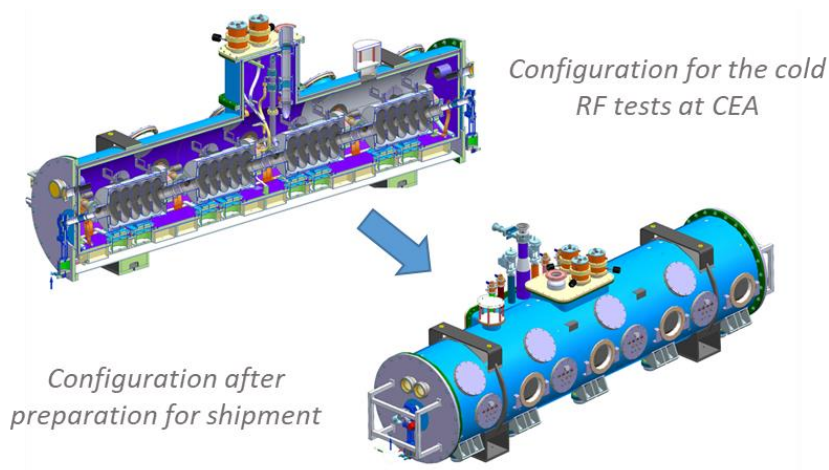


Figure 3: Reconfiguration du cryomodule pour son transfert entre la France et les USA

2.4 Présentation sur le cadre de transport

Durant le transport, le cryomodule est installé dans un cadre spécialement étudié afin de limiter les vibrations induites sur les éléments sensibles et critiques précités.

La prestation comprend la réalisation de trois cadres de transport (Figure 4 : **vue d'un cadre de transport**). Ceux-ci sont constitués de cage en acier reliés par des isolateurs à câbles (qui eux ne font pas partie de la prestation mais seront fournis par le CEA). Les cages sont considérées comme des organes de levage selon la directive européenne 2006/42/CE relative aux machines et devront être certifiées comme tels.

Au niveau des cages en acier, des panneaux, faisant partie de la prestation, seront intégrés.

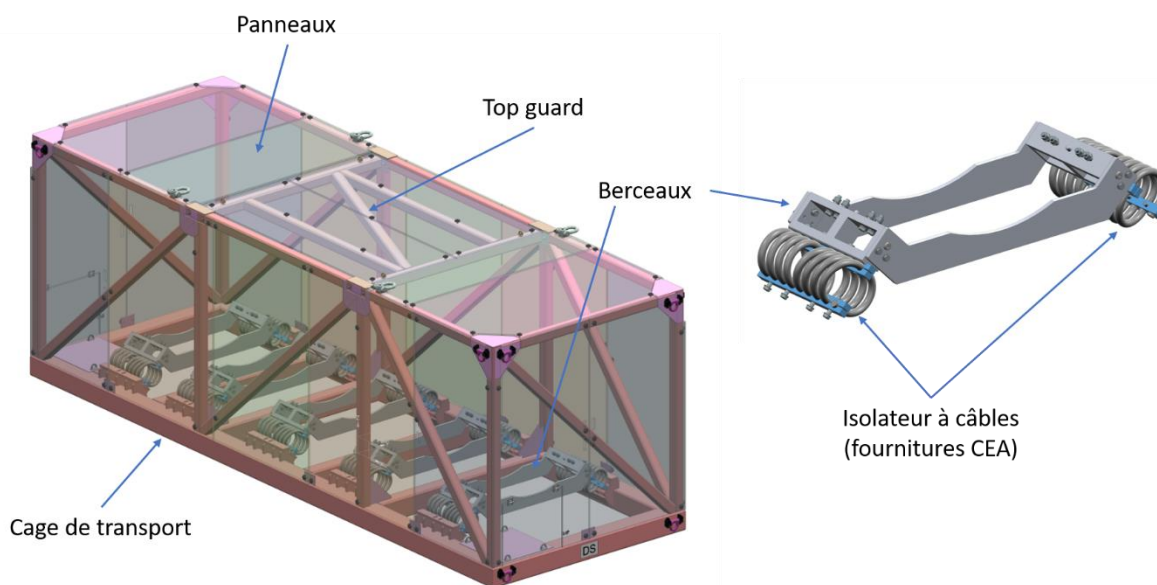


Figure 4 : vue d'un cadre de transport

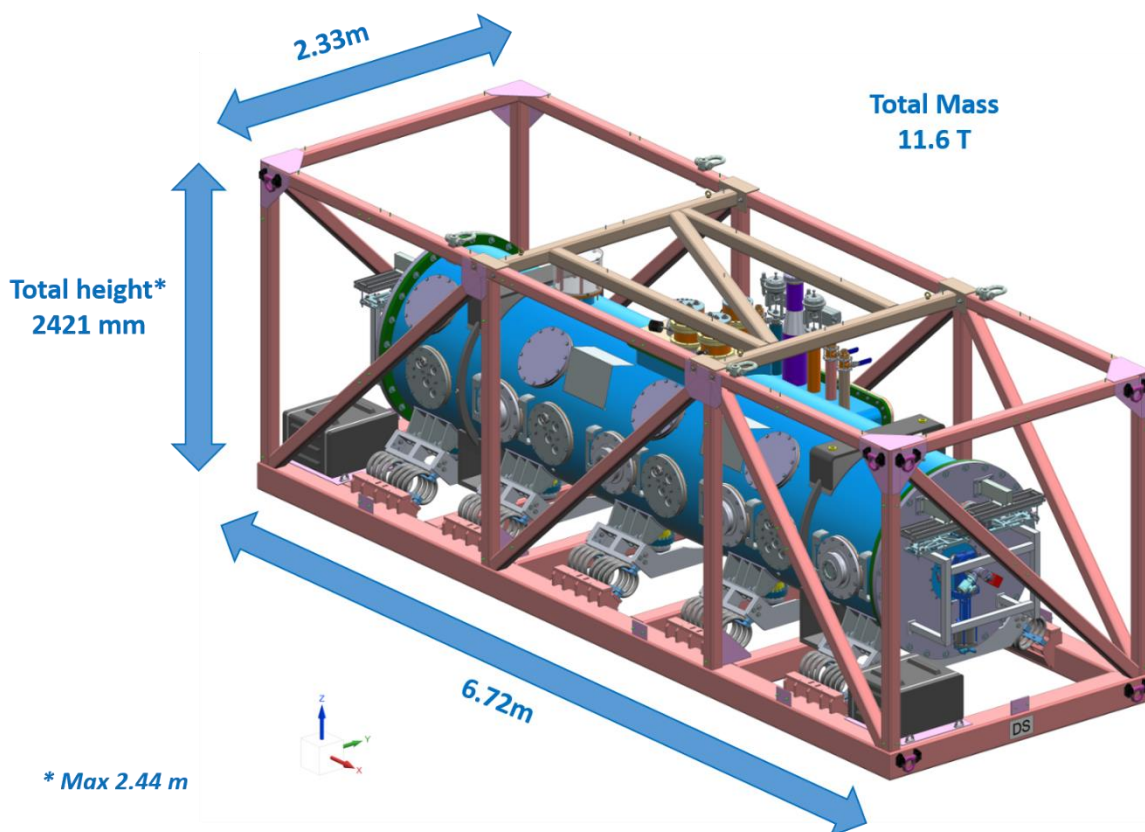


Figure 5: Cryomodule installé dans le cadre de transport

La cage de transport possède deux plaques sur lesquelles des anneaux seront soudés. Ceux-ci serviront à fixer des racks d'instrumentation installés sur ces plaques, comme présenté sur la Figure 6. Au niveau des racks des trappes d'accès avec un système de verrouillage seront réalisées dans les panneaux.

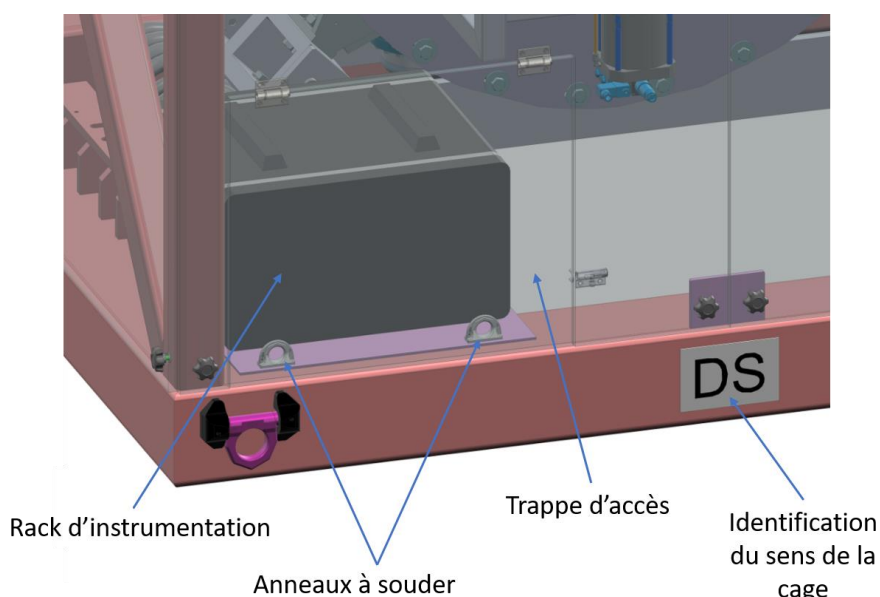


Figure 6 : Trappe d'accès pour les racks d'instrumentation.

De plus des anneaux ronds à palier seront soudés sur les angles de la cage, ces anneaux permettront, lors du transport aérien, de sécuriser la cage.

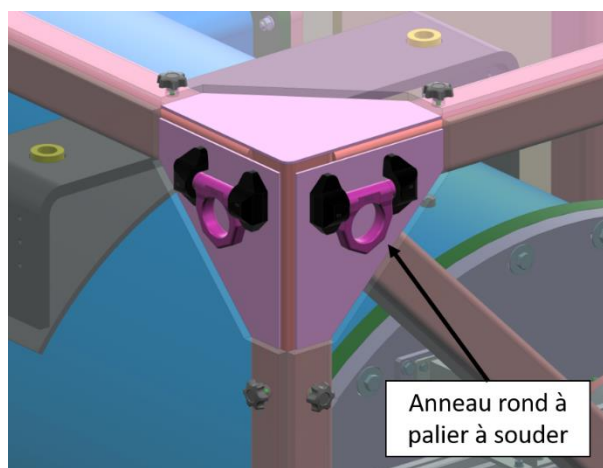


Figure 7 : Anneaux à souder pour sécuriser la cage durant le transport.

Afin de faciliter l'installation du cryomodule, les extrémités de la cage seront marquées d'un DS (Downstream, "Aval") et d'un US (Upstream, "Amont"). Ces marquages permettront d'identifier le sens de la cage facilement.

3 DOCUMENTS DE REFERENCE

PIP2-00010	Procédure d'identification et de marquage des composants mécaniques
PIP2-00120	Manufacturing Requirements, Tests and Controls Report for the Transport frame
PIP2-00094	Processus de demandes de modification des fournisseurs vers le CEA
PIP2-00099	Procédure pour la livraison de composants
CERN TE/VSC/SCC	Procédure argentage sur acier inoxydable - EDMS N° : 6 mai 2015

4 DESCRIPTION

4.1 Objet

Le présent marché concerne **l'étude de fabrication, la réalisation, les contrôles** et la livraison **de 3 cadres de transport, avec leurs fournitures associées**, selon la nomenclature associée (visserie, pions, anneaux de levage...).

Les présentes spécifications techniques décrivent les exigences techniques et d'assurance qualité auxquelles doit répondre le Titulaire. Elles constituent pour le Titulaire une obligation de résultat.

4.2 Descriptif de la fourniture

Produit et prestation

La fourniture des cadres de transport et des éléments associés se décompose en trois phases et consiste en :

➤ Phase 1 : études

- L'étude de fabrication des cadres transport,

- La vérification de la tenue mécanique sur les études de levage dans le cadre d'un transport aérien. Le fournisseur devra fournir une note de calcul. Le CEA a déjà vérifié que la tenue mécanique était suffisante, les informations nécessaires à cette étude sont en annexe 11.
- La note de calcul et tout autre document d'études permettant d'obtenir la certification « Conformité Européenne (CE) »,
- La rédaction de tous les documents nécessaires à la fabrication (procédures, plan qualité particulier, cahier de soudage ...).

➤ Phase 2 : Présérie

- L'approvisionnement de la matière première et des éléments du commerce nécessaires pour réaliser 1 cadre de transport, les panneaux et une bâche,
- La définition et la réalisation des outillages spécifiques de fabrication,
- La peinture,
- La réalisation d'un cadre de présérie TF1,
- L'émission des livrables documentaires,
- La conduite de l'ensemble des essais et contrôles en usine,
- L'emballage et la livraison des pièces sur le site du CEA-Saclay.

➤ Phase 3 : Série

- L'approvisionnement de la matière première et des éléments du commerce nécessaires pour réaliser 2 cadres de transport, les panneaux et deux bâches,
- La définition et la réalisation des outillages spécifiques de fabrication,
- La peinture,
- La réalisation de 2 cadres de transport (TF2 et TF3),
- L'émission des livrables documentaires,
- La conduite de l'ensemble des essais et contrôles en usine,
- L'emballage et la livraison des pièces sur le site du CEA-Saclay.

4.2.2
Le détail et l'enchaînement de ces trois phases sont décrits à la section 4.4.

Livrables documentaires

En plus des éléments indiqués au paragraphe précédent, des livrables documentaires sont demandés. Ils seront récupérés sous forme de dossier informatique individualisé, avec un sommaire.

➤ Phase 1 :

4.2.2.1 Études de fabrication

Livrables documentaires associés aux études réalisées avant de commencer la fabrication :

- L'établissement d'une note de calcul qui justifie de la tenue mécanique des ensembles cadre de transport. Le CEA a vérifié la tenue mécanique de l'ensemble et pourra fournir au Titulaire les éléments nécessaires à l'établissement de la note de calcul.
- La définition du type des soudures pour assembler les différents éléments des cadres de transport. La note de calcul devra vérifier que les soudures prévues sont suffisantes pour garantir la tenue mécanique des ensembles.
- Les modifications ou aménagements éventuels nécessaires (suivant la procédure décrite dans le document CEA référence PIP2-00094),

- Une gamme de fabrication,
- Tous les plans de détail des objets réalisés, avec identification des soudures et le détail des matériaux,
- Le cahier de soudage complet comprenant les procédures de soudage, les QMOS nécessaires et les habilitations des soudeurs,
- La procédure de marquage des pièces,
- La procédure d'inspection visuelle des soudures,
- Les plans de contrôle,
- Les nomenclatures,
- La liste des sous-traitants et des tâches envisagées pour les prestations non réalisées en interne,
- Le planning,
- Le plan Qualité (voir section 7.2).

➤ **Phases 2 et 3 :**

Chaque cadre sera accompagné d'un dossier constitué des documents listés ci-après :

4.2.2.2 Contrôle Qualité

Livrables documentaires associés au contrôle qualité :

- La liste des documents incluant l'état de chacun (version, état d'approbation par le CEA, ...),
- La liste des fournisseurs et des sous-traitants,
- La liste des non-conformités,
- Les rapports de non-conformité (voir section 7.3),
- Les demandes de modifications éventuelles (suivant la procédure décrite dans le document CEA référence PIP2-00094),
- Les procès-verbaux de conformité,
 - Les contrôles des soudures effectués,
 - Le contrôle dimensionnel après soudure et usinage final,
- La liste des constats d'inspection.
- Le marquage CE

4.2.2.3 Dossier de fabrication

Livrables documentaires associés à la fabrication de pièces :

- Les procédures de fabrication comprenant a minima :
 - La procédure de fabrication,
 - Les procédures de test et de contrôles,
 - La procédure de marquage,
- La documentation liée aux procédés de fabrication nécessaires pour la réalisation de la fourniture, définis dans les exigences techniques à la section 5 :
 - Les rapports d'inspection des traitements, de l'identification et du soudage,
 - La certification matériaux (selon la norme EN 10204 3.1) pour tous les matériaux approvisionnés par le contractant et utilisés dans les différents procédés,
 - Le rapport ou procès-verbal d'inspection non-destructif,
 - La procédure de qualification du soudage et des opérateurs,
- Le livret suiveur de chaque élément avec toutes les opérations effectuées durant la fabrication. Ce livret devra inclure :
 - L'identifiant de tous les sous-composants de l'élément à fournir,
 - Les résultats de tous les tests,
 - La date de réalisation de chaque opération avec le nom et la signature du ou des responsables,

- Le nom et signature du chef d'atelier responsable du suivi de la réalisation des opérations de fabrication,
- Le rapport d'inspection des sous-composants,
- La liste des tâches effectuées par un sous-traitant associées au nom de la société sous-traitante.

4.2.2.4 Contrôle et configuration

Livrables documentaires associés au contrôle et à la configuration finale des éléments à fournir :

- Certificats et fiches de contrôle,
- Certificat de calibration des appareils de contrôle,
- Rapports de test incluant les résultats de mesures effectués durant la fabrication,
- Plan de métrologie,
- Rapport de contrôle dimensionnel (selon les spécifications citées à la section 6.2).

4.3 Fournitures CEA au démarrage du contrat

- Les spécifications techniques,
- Les plans en format informatique (fichier .dxf / .pdf). Ils seront fournis au contractant en fonction du planning prévisionnel présenté à la section 4.4.

Les plans d'ensemble, qui seront utilisés pour les études de fabrication, sont ceux fournis par le CEA avec la mention APPROUVE" (ou équivalent).

Si des changements mineurs étaient nécessaires suite à la réunion de lancement, ceux-ci seraient pris en compte dans une nouvelle version des plans CEA et transmis au Titulaire dans un délai de 10 jours ouvrés suite à ladite réunion.

Ces plans sont listés en annexe A.

Remarque : le CEA sera en charge de l'organisation de la réunion de lancement qui se tiendra soit au CEA à Saclay, soit dans les locaux du Titulaire.

4.4 Jalons et détail du phasage

4.4.1

Phase 1 – Etudes de fabrication

ACTIVITES	DATES SOUHAITEES
Signature du contrat	T0
Réunion de lancement	T0 + 2 semaines
Titulaire : Mise à jour et envoi du plan d'assurance qualité et du planning incluant les jalons CEA : Envoi des plans au statut « pour réalisation » au Titulaire, si nécessaire	T0 + 4 semaines
Etudes de fabrication	
Titulaire : Envoi des livrables documentaires tels que décrits à la section 4.2.2.	T0 + 6 semaines
Revue de lancement en fabrication de la présérie (MRR1)	T0 + 8 semaines

Phase 2 – Fabrication de la présérie TF1

La présérie s'enclenchera après la tenue et la validation de la revue de lancement en fabrication MRR1. Cela fera l'objet d'une notification écrite par le CEA.

ACTIVITES	DATES SOUHAITEES
Point de validation n°1 : enclenchement de la présérie	T1
<i>Fabrication du 1^{er} Cadre de transport (TF1)</i>	
Fin des tests et contrôles en usine (FAT) satisfaisants de TF1 avec envoi des livrables documentaires tels que décrits à la section 4.2.2.	T1 + 16 semaines
Autorisation de livraison de TF1 suite à FAT et livrables satisfaisants	T2
Livraison de TF1	T2 + 2 semaines
Réception suite à essais sur site (SAT) satisfaisants de TF1	T2 + 14 semaines

Phase 3 – Fabrication de la série TF2 & TF3

4.4.1

Note : la revue de lancement en fabrication de la série (MRR2) ne pourra se tenir que suite à l'assemblage et aux tests du cryomodule LB650 de présérie, conformément au plan de développement du projet PIP-II. Ceci afin d'acquérir un maximum de retour d'expérience des tests de transport effectués sur ce cryomodule. A noter que le délai pour l'assemblage et les tests du cryomodule de présérie est donné à titre indicatif.

Le CEA enverra une mise à jour des plans prenant en compte le retour d'expérience précité. Des changements mineurs sont éventuellement attendus sur les interfaces avec les outillages utilisés pendant l'assemblage du cryomodule.

La série s'enclenchera après la tenue et la validation de la revue de lancement en fabrication MRR2. Cela fera l'objet d'une notification écrite par le CEA.

Les différentes étapes de la phase 3 sont présentées dans le tableau ci-dessous.

ACTIVITÉS	DATES SOUHAITÉES
<i>Retour du transport d'un cryomodule de présérie (environ 32 semaines – voir note ci-dessus)</i> CEA : Envoi des plans mis à jour au Titulaire, si nécessaire	T3
Titulaire : prise en compte des évolutions éventuelles, si nécessaire avec prestations sur devis préalable, avec l'envoi des livrables documentaires tels que décrits section 4.2.2	T3 + 6 semaines
Revue de lancement en fabrication de la série (MRR2)	T3 + 8 semaines
Point de validation n°2 : enclenchement de la série	T4
<i>Fabrication des cadres de transport TF2 et TF3</i>	
Fin des tests et contrôles en usine (FAT) satisfaisants de TF2 et TF3 avec envoi des livrables documentaires tels que décrits section 4.2.2	Au plus tard 2 semaines avant la livraison de TF2 et TF3
Autorisation de livraison suite à FAT et livrables satisfaisants	
Livraison de TF2	T4 + 16 semaines
Livraison de TF3	T4 + 22 semaines
SAT des cadres de transport de série	Au plus tard 12 semaines après la livraison de chaque cadre
Réception sans réserve de chaque cadre de transport	Au plus tard 2 semaines après la SAT de chaque cadre

5 EXIGENCES TECHNIQUES

5.1 Paramètres principaux

Dimensions (pour information uniquement) :	
Longueur totale	6.72 m
Largeur totale	2.33 m
Hauteur totale	2.42 m
Dimensions des tubes	100x100x8 200x200x8
Epaisseur des plaques renforts	5 mm
Epaisseur des nervures aux interfaces des isolateurs à câbles	20 mm
Masse :	
Masse du cadre de transport	4.1 t (sans les panneaux et la bâche)

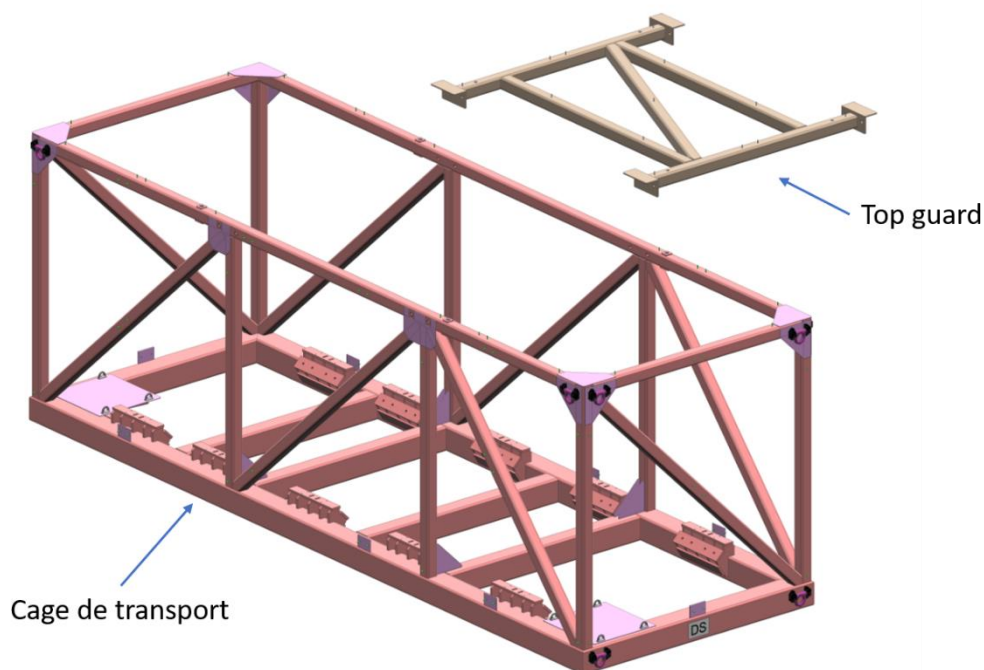
5.2 Matières premières

Toutes les matières premières sont indiquées sur les plans et les nomenclatures. Si le Titulaire souhaite utiliser des matières premières équivalentes, cela devra faire l'objet d'une demande de dérogation en suivant la procédure décrite dans le document référence PIP2-00094.

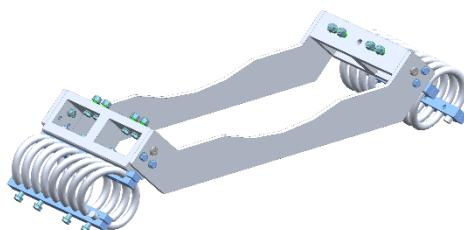
Aucune matière première autre que celle listées sur les plans et nomenclatures ne devra être approvisionnée sans l'accord écrit du CEA.

Deux matériaux principaux seront utilisés :

- Acier S355 pour la cage de transport et le top guard



- Inox 1.4307 (304L) pour les berceaux



Un certificat matière de type 3.1 suivant la norme ISO 10204 doit être fourni pour toutes les matières premières utilisées.

La matière utilisée pour les panneaux de protection du cryomodule est laissée libre de choix. Cependant, ils devront être compatibles avec un transport aérien et sur autoroute et devront résister aux intempéries.

Les matériels du commerce (visserie ...) doivent être fournis avec un certificat de conformité.

5.3 Panneaux

Des panneaux sont utilisés afin de protéger le cryomodule de l'extérieur. Le choix des matériaux pour la réalisation des panneaux est laissé libre. Par contre, ceux-ci devront être manipulés par un opérateur seul, en respectant la norme NF X 35-109. Des poignées de transport devront être installées sur chaque panneau pour faciliter la manutention. Après installation des poignées, la largeur maximale du cadre de transport ne devra pas excéder 2350 mm. Des tiges filetées ancrées dans les tubes de la cage sont prévues pour la fixation des panneaux sur la cage.

Les panneaux d'extrémités devront présenter une trappe d'accès afin d'avoir accès aux racks d'instrumentation. Ces trappes doivent pouvoir être verrouillées durant le transport.

5.4 Bâche

Afin de protéger le cryomodule de l'eau et des intempéries, une bâche devra être prévue par-dessus les panneaux de protection. Les oreilles soudées et anneaux de levage devront être accessibles une fois la bâche mise en place. Cette bâche devra résister à un transport sur autoroute et être facilement installable. Le Titulaire est libre de choisir la solution de fixation de la bâche au cadre, en y mettant des éléments de fixation si besoin.

5.5 Visserie

Toute la visserie nécessaire comme indiquée dans les nomenclatures devra être fournie.

10 % de visserie supplémentaire pour tous les types de visserie est demandée (les quantités à approvisionner sont indiquées en annexe et prennent en compte les 10 % supplémentaires). La visserie qui ne sera pas livrée montée devra être livrée en même temps que l'ensemble de la fourniture, dans des sachets ou boîtes dûment identifiés.

5.6 Isolateurs à câbles

Les isolateurs à câbles **Vibrostop cavolex, référence H320-523-235-270** seront approvisionnés par le CEA. Ils seront envoyés au Titulaire par le CEA en deux lots, un premier lot pour le cadre TF1 et un second pour les cadres TF2 et TF3.

5.7 Anneaux de levage et manilles

Le Titulaire devra fournir un jeu complet d'anneaux de levage et manilles suivant les nomenclatures. Le Titulaire peut proposer des organes de levage équivalents, avec des performances identiques.

Tous les organes de levage devront être accompagnés d'un certificat de conformité et marqués CE.

5.8.1

5.8 Soudage

Qualification du mode opératoire de soudage

La qualification du mode opératoire de soudage se fera selon la norme NF EN ISO 15614-1 (avec si besoin la norme NF EN ISO 15613) et à l'aide des documents : registre de qualification des performances (QMOS) et spécification de procédure de soudage (DMOS).

Des éprouvettes pourront être demandées par le CEA afin de vérifier la tenue mécanique des soudures.

Qualification des soudeurs

Les soudeurs opérant sur le cadre de transport doivent être qualifiés selon la norme NF EN ISO 9606-1 et avoir une expérience comparable en termes de complexité et de géométrie.

5.9 Levage et mise en charge et certification

Des essais de levage des cages devront également être réalisés dans les locaux du Titulaire en présence du CEA et d'un organisme notifié (à charge du Titulaire), dans le but d'obtenir la certification des différents éléments suivant les directives et normes :

- 2006/42/CE Machinery Directive, CE
- ASME B30.20, BTH-1 Category B Class 0.

Pour les essais en charge au-delà des 7.5 tonnes du cryomodule, les isolateurs à câbles ne doivent pas être montés.

5.10 Tolérances dimensionnelles

Les tolérances générales et spécifiques sont indiquées dans les plans fournis par le CEA selon les normes ISO.

5.11 Etat de surface

Une rugosité avec un $Ra \leq 3,2 \mu m$ est exigé pour les surfaces usinées en interface avec les isolateurs à câbles. Ces surfaces sont indiquées sur les plans CEA.

5.12 Traitements de surface

Un décapage et une passivation des soudures inoxydables sont demandés.

5.13 Peinture

Toutes les parties en acier devront être peintes. Les parties en acier inoxydable ne devront pas être peintes, elles devront être décapées et passivées.

La cage devra être peinte en rouge CEA (RVB : 229, 0, 25).

5.14 Outillage

Le Titulaire est responsable de la définition et de la réalisation de tous les outillages qui seraient nécessaires aux différentes étapes de la fabrication des cadres de transport, de leur contrôle, leurs tests ou de leur expédition (liste non exhaustive).

5.15 Identification

Chaque cadre de transport sera identifié par TF1, TF2 ou TF3.

Chaque berceau et « top guard » doit être identifié selon les règles définies dans le document référence PIP2-00010.

La méthode utilisée pour ce marquage devra résister aux différents nettoyages et être validée par le CEA lors de la MRR1.

5.16 Emballage et transport

L'emballage des pièces en vue de leur livraison sur le site de Saclay incombe au Titulaire.

Le cadre de transport devra être livré assemblé, c'est-à-dire avec les berceaux, les panneaux et le top guard assemblés sur la cage de transport. Les isolateurs à câbles seront fournis au Titulaire afin de réaliser cet assemblage.

Il est de la responsabilité du Titulaire de prendre les dispositions nécessaires pour assurer le transport, la livraison et permettre la manutention de tous les composants sur le site du CEA à Saclay. En

particulier, le Titulaire doit développer et fabriquer les emballages de protection adéquats et assurer l'intégrité du matériel fourni.

La définition complète de cet emballage sera validée par le CEA lors de la MRR1.

6 TESTS ET CONTROLES EN USINE (FAT)

Cette section décrit les tests et contrôles qui seront effectués lors des FAT, ainsi que la documentation qui sera vérifiée. Ces tests et contrôles sont sous la responsabilité du Titulaire. Un représentant du CEA pourra être présent et à cette fin le Titulaire devra prévenir le CEA au minimum une semaine en amont.

6.1 Contrôle des soudures

Les soudures des organes de levage doivent subir les contrôles en adéquation avec l'obtention de leur certification CE.

Le niveau de qualité demandé pour les soudures est le niveau C selon la norme NF EN ISO 5817.

Le Titulaire devra mettre en place les méthodes nécessaires telles que définies dans la norme NF EN ISO 17635.

Le CEA demande un contrôle visuel à 100% suivant la norme NF EN ISO 17637.

Toutes les soudures doivent faire l'objet d'un ressuage.

La documentation relative à la qualification et au contrôle du soudage sera vérifiée lors de la FAT.

6.2 Contrôle dimensionnel

Le Titulaire doit mesurer les cotes de tous les composants fabriqués dans le cadre du contrat. Ceci inclut les mesures de toutes les dimensions et spécifications géométriques indiquées dans les plans, en particulier toutes les dimensions ne relevant pas des tolérances générales.

Un contrôle dimensionnel est considéré comme satisfaisant quand la pièce contrôlée est conforme aux dimensions et spécifications géométriques indiquées dans le plan concerné.

Les équipements de mesure doivent être suffisamment précis au regard du type et des valeurs de tolérances exprimées.

Une salle de contrôle avec température stabilisée est souhaitable pour garantir la précision des mesures des berceaux.

Chaque rapport doit faire figurer :

- Le nom de l'élément à contrôler
- Son numéro de série
- La référence du plan
- Le type de spécification (dimension, spécifications géométriques, rugosité...)
- La valeur théorique
- Les valeurs minimales et maximales
- Le résultat de la mesure
- L'outil de contrôle
- La date et le nom du contrôleur

6.3 Test d'assemblage

Un assemblage des isolateurs et berceaux sur le cadre devra être effectué en présence du CEA lors des tests de réception en usine (FAT).

6.4 Marquage et indications réglementaires

Dans le cadre du marquage CE et pour se conformer aux directives, actes et lois européennes en vigueur :

- Tous les équipements livrés doivent être accompagnés de la documentation nécessaire comme preuve de conformité.
- Toutes les opérations de fabrication, d'inspection et de test seront réalisées conformément aux principes d'assurance qualité des normes.

En accord avec la norme dédiée aux appareils de levage, les indications suivantes devront figurer de manière inamovible et lisibles à plusieurs mètres sur le palonnier réglable :

- CMU (Charge Maximum Utile) en Kilogrammes,
- Masse à vide en Kilogrammes,

La définition précise des indications à marquer sur le palonnier réglable sera précisée par l'organisme de certification.

6.5 Levage et mise en charge

Des essais de levage des cages devront également être réalisés dans les locaux du Titulaire en présence du CEA et d'un organisme notifié (à charge du Titulaire), dans le but d'obtenir la certification CE des différents éléments. La masse nécessaire à ces essais sera définie par le Titulaire en fonction de la réglementation applicable.

Si celle-ci est supérieure aux 7.5 tonnes du cryomodule, ces essais se feront sans les isolateurs à câbles montés sur le cadre.

Ces tests feront l'objet de rapports inclus dans le dossier constructeur revus lors de la FAT et illustrés à l'aide de photographies.

7 ASSURANCE QUALITE

Le Titulaire et ses sous-traitants doivent bénéficier d'une certification ISO 9001 ou équivalente, ou d'un organisme de qualité équivalent, approprié à la présente Spécification Technique.

7.1 Normes et standards

Au cours de l'exécution de ce marché, les codes et standards mentionnés ci-dessous devront être appliqués, dans leurs dernières versions (liste non exhaustive).

Normes /Standard	TITRE
ISO 9001	Système de management de la Qualité – Exigences
FD ISO 10005	Systèmes de management de la Qualité – Lignes directrices pour les plans qualité
NF EN 10204	Produits métalliques - Types de documents de contrôle (Type 3.1)
NF EN ISO 15614-1	Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques - Épreuve de qualification d'un mode opératoire de soudage - Partie 1 : soudage à l'arc et aux gaz des aciers et soudage à l'arc du nickel et des alliages de nickel
NF EN ISO 15613	Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques - Qualification sur la base d'un assemblage soudé de préproduction

NF EN ISO 9606-1	Épreuve de qualification des soudeurs - Soudage par fusion - Partie 1 : aciers
NF EN ISO 5817	Soudage - Assemblages en acier, nickel, titane et leurs alliages soudés par fusion (soudage par faisceau exclu) - Niveaux de qualité par rapport aux défauts
NF EN ISO 17635	Contrôle non destructif des assemblages soudés
NF EN ISO 17637	Contrôle non destructif des assemblages soudés - Contrôle visuel des assemblages soudés par fusion
Directive européenne 2006/42/CE	Directive européenne relative aux machines
ASME B30.20, BTH-1 Category B Class 0	Below-the-Hook lifting devices

7.2 Plan d'assurance qualité

Le Titulaire établit un Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ) relatif à sa fourniture, conformément aux exigences de la norme ISO 9001, complétées par l'ensemble des procédures mentionnées dans les présentes spécifications techniques.

Le Titulaire est responsable du respect des dispositions du PAQ par ses éventuels sous-traitants.

Ce plan inclut a minima :

- la nomination d'un représentant en charge du suivi du marché,
- la rédaction des rapports de contrôle sous une semaine maximum après la réalisation desdits contrôles,
- l'envoi du rapport de non-conformité au CEA sous 5 jours ouvrés maximum, après la constatation du défaut,
- la liste de tous les composants, fourniture, matière première et opérations de réalisation pour traçabilité,
- la référence physique des différents composants ; à ce titre, la méthode de marquage des pièces soumise à l'accord préalable du CEA,
- la mise en place et description de la gestion de la qualité utilisée pour le marché, présentée au plus tard durant la réunion de lancement du marché. Ce système de gestion de la qualité décrit en particulier comment les non-conformités et les modifications doivent être traitées.

Le PAQ doit être approuvé par le CEA au plus tard, à la réunion d'accord de production.

Le CEA se réserve la possibilité d'effectuer à tout moment des vérifications concernant l'application de ce PAQ par le Titulaire. À cette fin, le Titulaire laisse libre accès à ses installations et facilite les audits qualité effectués par du personnel CEA. Le représentant du CEA peut être présent s'il en formule la demande, durant toute opération d'essais, de fabrication et/ou de contrôle.

7.3 Gestion des non-conformités

Toute non-conformité doit être signalée sans délai au CEA et documentée par un Rapport de Non-Conformité (RNC) transmis dans un délai maximal de 5 jours ouvrés. En cas de RNC, le Titulaire doit proposer des mesures correctives (quand c'est possible) pour traiter la situation, et proposer des mesures préventives pour éviter des défauts similaires à l'avenir.

Toute poursuite d'activité sur un composant ayant fait l'objet d'une non-conformité ne peut s'effectuer qu'après accord écrit du CEA sur le rapport de non-conformité. A noter que si la non-conformité affecte

les interfaces, la sécurité, la durée de vie, les performances ou les exigences fonctionnelles, le CEA se doit d'en informer Fermilab, ce qui peut impacter le temps de traitement de celle-ci.

Le Titulaire doit tenir à jour la liste exhaustive de toutes les non-conformités établies au cours du marché. Le statut des non-conformités et la mise en œuvre de méthodes préventives et/ou correctives doit être discutée et examinée au cours des réunions d'avancement.

Les livrables associés à des non-conformités comprennent :

- Le détail de la non-conformité,
- L'accord avec le CEA, concernant la décision/conduite à tenir pour la résolution de la non-conformité,
- La preuve de la résolution de la non-conformité, incluant l'analyse.

8 RECEPTION DE LA FOURNITURE

La réception a le sens d'acceptation officielle des livrables concernés (définition dans le glossaire).

8.1 Préparation avant envoi

L'autorisation d'envoi sera donnée après réalisation des contrôles et tests en usine, listés à la section 6, ainsi qu'à l'approbation de la documentation (voir section 4.2.2). Elle sera actée par la signature des deux parties du procès-verbal de validation des tests usine.

8.2 Livraisons

Après validation des contrôles et tests en usine, les livraisons à Saclay par le Titulaire sont conditionnées par l'accord préalable écrit du CEA.

Le Titulaire est responsable du transport à partir de son site de production jusqu'au déchargement sur le site de Saclay du CEA. L'organisation et le coût lui incombent. Un transport dédié est préférable.

Avant chacun des envois, le Titulaire doit contacter le responsable technique du CEA et s'assurer que les modalités de transport conviennent. Les modalités d'accès au site sont quant à elles décrites dans le document PIP2-00099.

8.3 Réception

Après livraison sur site de chaque cadre de transport, le CEA procédera à des vérifications additionnelles (SAT) dans un délai tel que défini dans les documents contractuels relatifs à ce marché.

Ces vérifications porteront notamment sur les points décrits dans le document PIP2-00120.

La réception sera prononcée après signature par les deux parties du procès-verbal de validation des tests sur site (CEA Saclay).

8.4 Garantie

La garantie (pièces, main-d'œuvre et déplacements) débutant à compter de la date de réception de chaque cadre de transport, est détaillée dans les documents contractuels.

9 CONDITIONS GENERALES

9.1 Suivi du contrat

Organisation générale

- Correspondant technique du Titulaire

Le Titulaire doit nommer pour le projet un responsable de l'exécution technique du marché et son suivi pendant toute la durée du marché.

Les responsables CEA sont quant à eux indiqués dans les documents contractuels associés à ces spécifications techniques.

- Descriptif des réunions

Types de réunion	Description
Réunion de lancement	<p>L'ordre du jour de la Réunion de Lancement sera :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Présentation des deux parties, le CEA et le Titulaire, • Confirmation des spécifications techniques, incluant la conception mécanique détaillée, • Confirmation des différents jalons du contrat, • Liste des données d'entrée nécessaires au Titulaire pour commencer les activités, • Revue des plans techniques pour fabrication et spécifications techniques associées, <p>La réunion de lancement pourra avoir lieu soit à Saclay soit chez le Titulaire, après la signature du marché. Le planning et le PAQ (Plan d'Assurance Qualité) prévisionnels devront être délivrés et présentés au CEA au cours de cette réunion. Le CEA rédigera le procès-verbal de la réunion, qui sera validé par les deux parties.</p>
Réunions d'accord de production (MRR1 et MRR2)	<p>L'ordre du jour des Réunions d'accord de production sera :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liste finale de la nomenclature et des pièces, • Plan(s) d'ensemble du cadre de transport, • Plans de fabrication du cadre de transport, • Note de calcul de dimensionnement cadre de transport, • Plans de vérification de la production finale, inspection et vérification des livrets suiveurs, et documents d'assurance de la qualité et de contrôle de la qualité connexes, tels que les livrets suiveurs, le plan d'inspection de la fabrication et les procédures de manutention, • Mises à jour du planning en fonction des détails du plan de production, • Documents finaux de contrôle de fabrication. <p>À l'issue de la réunion, le CEA donnera son autorisation par écrit de débiter la réalisation, en commençant par la phase de qualification, si les solutions mécaniques mises en place par le Titulaire sont conformes aux exigences.</p> <p>La rédaction des comptes rendus de réunion d'accord de production est à la charge du Titulaire. Ils devront être validés par les deux parties.</p>
Réunions de suivi d'avancement	<p>Les réunions d'avancement seront organisées à la demande d'une des deux parties. Elles pourront avoir lieu soit en distanciel (par visioconférence), soit en présentiel chez le Titulaire ou au CEA.</p> <p>La rédaction des comptes rendus de réunion d'avancement est à la charge du Titulaire. Ils devront être validés par les deux parties.</p>

Communication

Toutes les informations importantes seront notifiées par écrit entre le Responsable technique CEA et le Titulaire.

L'ensemble des collaborateurs impliqués dans chacune des opérations de fabrication doit être informé des exigences particulières associées à la réalisation des cadres de transport. En particulier, il est essentiel que les collaborateurs directement impliqués dans la fabrication ne dérogent en aucun cas à la conception de l'ensemble, ou procèdent à des réparations sans l'accord préalable du CEA.

Inspection, visite et audit du site de fabrication

Pendant le suivi du contrat, plusieurs visites du CEA chez le Titulaire seront prévues a minima pour :

- Les MRR,

9.1.3 Les tests et contrôles en usine comme décrits dans la section 6.

Le Titulaire pourra proposer, s'il estime que c'est nécessaire, des réunions/visites supplémentaires.

Au cours de toutes les étapes des méthodes, de fabrication et des tests, le CEA se réserve le droit d'inspecter les ateliers de fabrication durant les heures de travail du Titulaire et de ses sous-traitants.

Les phases d'inspection, de contrôle et de tests en usine devront être assumées et exécutées par le Titulaire. Le CEA sera informé de la date, au moins huit jours ouvrables à l'avance, et pourra envoyer un représentant pour y assister. En cas de désaccord sur les résultats des tests, le CEA pourra faire appel à un organisme extérieur officiel pour une vérification.

Le Titulaire laisse libre accès à ses installations et facilite les audits qualité effectués par du personnel CEA. Le CEA devra impérativement prévenir à l'avance le Titulaire de sa visite sur site, au moins huit jours ouvrables à l'avance.

Le CEA se réserve le droit de prendre des photographies de chacun des composants et outillages associés à tout moment et en tout lieu au cours du processus de fabrication.

Avec l'accord du Titulaire, le CEA pourra être accompagné par des membres de la collaboration PIP-II lors de certaines visites.

9.2 Sous-traitance

La sous-traitance est autorisée dans le cadre défini par le marché et à l'agrément préalable du CEA. Les sous-traitants sont soumis aux mêmes exigences que le Titulaire.

9.3 Documentation technique

Les livrables documentaires seront de préférence bilingue, français et anglais. Néanmoins, le CEA acceptera des documents rédigés en français.

Toute version intermédiaire des livrables documentaires est transmissible sur simple demande du CEA au format approprié (Microsoft Office ou PDF pour les documents autres que les plans) sur Clé USB ou soit par envoi par courriel, soit en utilisant un outil de partage de fichiers.

Les versions finales validées par le CEA sont remises à celui-ci au format Word ou PDF sur Clé USB ou envoi par courriel.

Les plans, dans leur version intermédiaire ou finale, peuvent être transmis au CEA sous les formats suivants, classés par ordre de préférence :

- Siemens NX / STEP / DXF or DWG / PDF

Le Titulaire soumet les livrables, dans un format compatible avec ceux du CEA, à la validation du CEA avant la réception finale.

Le CEA dispose d'un délai de 15 jours ouvrés à compter de la date de remise des livrables pour faire part au Titulaire de son accord ou de ses remarques éventuelles sur le contenu et la présentation des livrables.

En cas de remarques, le Titulaire prend en compte, sans frais supplémentaires pour le CEA, les demandes de rectifications formulées par le CEA, ceci dans un délai maximum de 10 jours ouvrés. Ces rectifications doivent également être validées par le CEA.

10 CONFIDENTIALITÉ

Tous les documents communiqués au Titulaire devront être considérés comme confidentiels et ne pourront être divulgués à des tiers qu'avec l'accord du CEA.

Le Titulaire devra de même préciser pour chacun des documents et informations qu'il produira et mettra à la disposition du CEA durant le contrat, le caractère confidentiel de ces derniers. Les modalités devront alors être discutées avec le CEA.

11 ANNEXES

- **Charge maximale d'utilisation**

La CMU pour le cadre de transport est de **7.5 tonnes**.

- **LISTE DES PLANS (pour information uniquement)**

Référence	Intitulé	Révision
00029597	2801000_Assy_Transportation_Frame	AA
00027792	2801001_Transportation_Frame	AA
00029639	2801002_Cradle_VacVes_Interface	AA
00028667	2801003_Cradle_Stiffener	AA
00029653	2801004_Positioning_Pin	AA
00027726	2801005_Top_Guard	AA
00057864	2801101_Panel_Side_1	AA
00057925	2801102_Panel_Side_2	AA
00069066	2801103_Panel_Side_3	AA
00057917	2801104_Panel_Angle	AA
00057947	2801105_Panel_Top_1	AA
00069073	2801106_Panel_Top_2	AA
00057923	2801107_Panel_Top_US-DS	AA
00066143	2801108_Panel_Angle_with_trapdoor_US	AA
00066141	2801109_Panel_Angle_with_trapdoor_DS	AA
00057964	2801110_Panel_Top_guard	AA